

М. П. Шаскольская
И. А. Эльцин

СБОРНИК ИЗБРАННЫХ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

ИЗДАНИЕ ПЯТОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ

Под редакцией С. Э. ХАЙКИНА



МОСКВА «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1986

ББК 22.3
Ш27
УДК 530.1(023)

ШАСКОЛЬСКАЯ М. П., ЭЛЬЦИН И. А. Сборник избранных задач по физике: Учеб. руковод./Под ред. С. Э. Хайкина. — 5-е изд., перераб. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. — 208 с., ил.

В основе пособия — задачи, предлагавшиеся на физических олимпиадах, проводимых для школьников на физическом факультете Московского государственного университета. Все задачи снабжены решениями и методическими указаниями. Содержание задач не выходит за рамки программы средней школы, но понимание решений требует глубокого и продуманного освоения материала. В настоящем издании обновились формулировки и решения задач, терминология и наименование единиц физических величин.

Для учащихся общеобразовательной и профессиональной школы, а также лиц, занимающихся самообразованием.

Ил. 278

Ш 1704010000 — 009
053(02)-86 128-86

© Издательство «Наука».
Главная редакция
физико-математической
литературы, 1986

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к первому изданию	4	
	Задачи	Ответы и решения
1. Кинематика	5	66
2. Динамика поступательного движения	9	75
3. Статика	15	90
4. Работа, мощность, энергия. Закон сохранения им- пульса. Закон сохранения энергии	19	99
5. Динамика вращательного движения	24	111
6. Закон всемирного тяготения	28	119
7. Колебания. Волны. Звук	29	123
8. Механика жидкостей и газов	32	131
9. Теплота и капиллярные явления	43	153
10. Электричество и магнетизм	47	162
11. Оптика	61	184

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Настоящий сборник задач представляет дальнейшее развитие и переработку нашей книги «Избранные задачи по физике», которая была издана в 1949 г. и быстро разошлась. В основу прежней книги были положены задачи, предлагавшиеся в течение ряда лет на физических олимпиадах, проводимых для школьников физическим факультетом Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. В составлении и подборе олимпиадных задач принимало участие большое число преподавателей и ряд студентов физического факультета МГУ.

В переработанном виде наша книга дополнена большим количеством новых задач; лишь немногие из них являются олимпиадными. Мы старались сохранить прежний стиль задач, избегая тривиальных и подбирая только те задачи, которые требуют больше находчивости и изобретательности, чем обычные школьные задачи.

Для решения большинства этих задач достаточно знаний по физике, получаемых в школе, но мы не считали себя связанными программой для средней школы и рассчитывали на школьников, которые, интересуясь физикой, расширяют свой кругозор самостоятельным чтением. Решение таких задач или даже внимательный разбор готовых решений должны помочь школьникам научиться применять свои знания при рассмотрении конкретных вопросов.

Мы надеемся, что настоящая книга будет полезна не только школьникам, но и их учителям, а также студентам вузов и втузов.

Авторы

* * *

В настоящем издании существенным изменениям подверглись терминология и обозначения единиц физических величин, которые приведены в соответствие с ныне действующим ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78).

1. КИНЕМАТИКА *)

1.1. Два пассажира, имея секундомеры, решили найти скорость поезда: первый по стуку колес на стыках рельсов (зная, что длина рельса равна 10 м), а второй по числу телеграфных столбов, мелькавших в окне (зная, что расстояние между столбами равно 50 м). Первый пассажир при первом стуке колес пустил в ход свой секундомер и на 156-м стуке его остановил. Оказалось, что прошло 3 мин. Второй пассажир пустил в ход свой секундомер при появлении в окне 1-го столба и остановил секундомер при появлении 32-го столба. Оказалось, что и его опыт длился 3 мин. Первый пассажир нашел, что скорость поезда равна 31,2 км/ч, а второй — 32 км/ч. Кто из них ошибся и почему? Какова скорость поезда в действительности?

1.2. Переход пароходов из порта A в порт B длится ровно 12 суток. Каждый полдень из A в B и из B в A отходит по пароходу. Сколько пароходов встретит в открытом море каждый из вышедших пароходов?

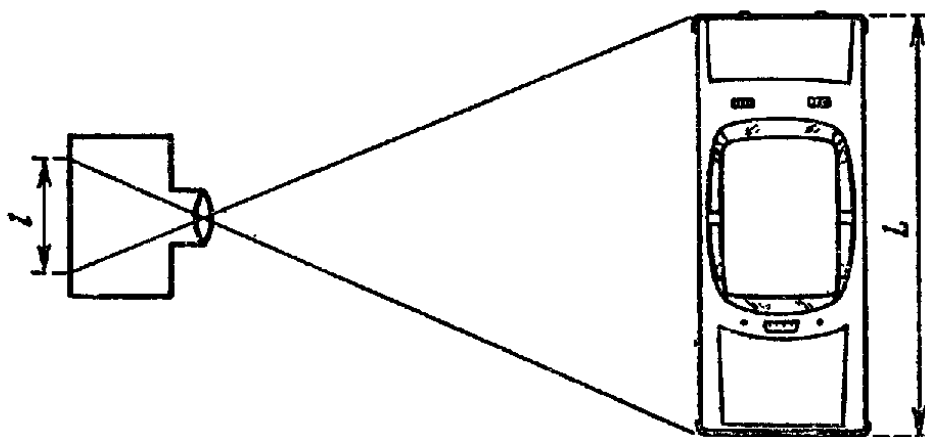


Рис. 1

1.3. Какую экспозицию нужно делать при фотографировании автомобиля, движущегося со скоростью $v = 36$ км/ч, чтобы его изображение на негативе не размылось (рис. 1), если для этого

*) В задачах этого раздела сопротивлением воздуха пренебречь.
(Примеч. ред.)

смещение изображения должно быть не более 0,1 мм? Длина автомобиля $L = 3$ м, а размер его изображения на негативе получается равным $i = 1,5$ см.

1.4. Автомобиль прошел расстояние от пункта A до пункта B со скоростью $v_1 = 40$ км/ч и обратно со скоростью $v_2 = 30$ км/ч. Какова средняя скорость $v_{\text{ср}}$ автомобиля?

1.5. Мальчик бросает мячи один за другим вверх, каждый следующий мяч в тот момент, когда предыдущий находится в наивысшей точке. На какую высоту h поднимаются мячи, если он бросает 2 мяча в секунду? Считать ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с².

1.6. Камень, падающий свободно с нулевой начальной скоростью, пролетел вторую половину пути за 1 с. С какой высоты h он падал? Считать ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с².

1.7. Два камня падают в шахту. Второй камень начал свое падение на 1 с позже первого. Определить движение первого камня относительно второго. Считать ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с².

1.8. Тело движется по прямой равноускоренно под действием постоянной силы F . Как изменится график скорости этого движения, если сила F начнет уменьшаться?

1.9. Два самолета летят на встречных курсах со скоростью $v = 200$ м/с каждый. Из пулемета, расположенного на борту самолета 1 и стреляющего перпендикулярно курсу, обстреливается самолет 2 (рис. 2). На каком расстоянии s друг от друга должны расположиться пулевые отверстия в борту самолета 2,

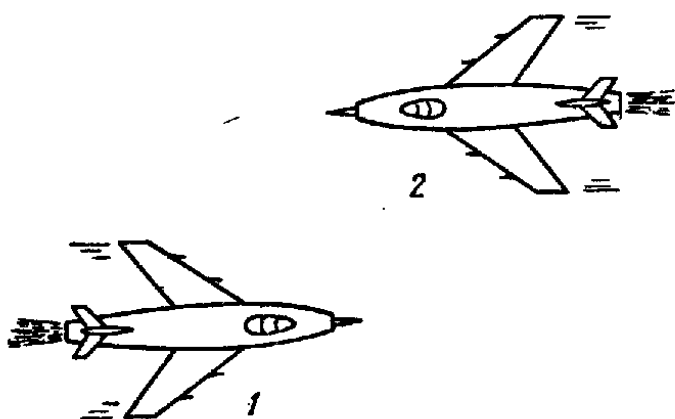


Рис. 2

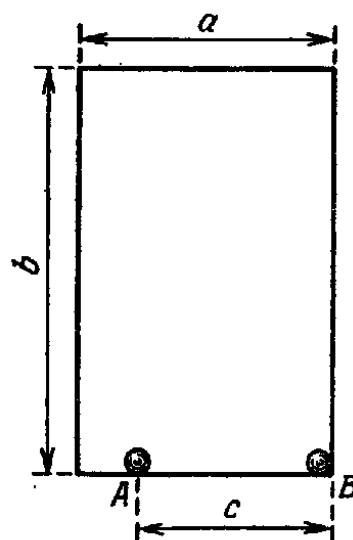


Рис. 3

если пулемет делает 900 выстрелов в минуту? Какую роль играет при этом сопротивление воздуха?

1.10. Бильярдный шар находится в точке A . Размеры бильярда и расстояние шара от лузы B даны на рис. 3. Под каким

углом α надо направить шар, чтобы попасть в лузу B после отражения шара от двух бортов? Считать, что при ударе о борт направление движения шара меняется по закону зеркального отражения, т. е. угол падения равен углу отражения.

1.11. Даны три бильярда разной длины, но одинаковой ширины. От длинных бортов бильярдов (рис. 4) одновременно



Рис. 4

посылают шары с одинаковой по модулю и направлению скоростью. Возможно ли, чтобы эти шары вернулись обратно к тому же борту неодновременно?

1.12. Ведро выставлено под дождь. Изменится ли скорость наполнения ведра водой, если подует ветер?

1.13. На движущейся горизонтально со скоростью $v_1 = 20$ м/с тележке установлена труба (рис. 5). Под каким углом α к горизонту нужно наклонить трубу, чтобы капля дождя, падающая отвесно со скоростью $v_2 = 60$ м/с, упала на дно трубы, не задев ее стенок?

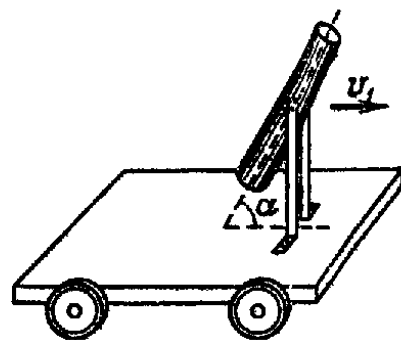


Рис. 5

1.14. Лодочник для определения скорости течения воды в реке решил провести такой опыт. Он опустил в воду деревянный ковш, а сам начал грести вниз по течению. Через 40 мин он достиг пункта A , находящегося на 1 км ниже места отправления, и повернул лодку назад. Поймав ковш, он снова повернул лодку по течению и через 24 мин после этого снова достиг пункта A . Сколько времени возвращался лодочник до встречи с ковшем, если считать, что течение воды в реке и скорость лодки относительно воды постоянны, а также что на повороты лодки времени не тратилось? Чему была равна скорость течения? Какова скорость лодки относительно воды?

1.15. Почему в кино, когда автомобиль движется вперед, зачастую кажется, что его колеса вертятся назад?

1.16. Если перед фонарем, который освещает падающие одну за другой капли воды, поставить диск с одним или несколькими отверстиями и привести его во вращение, то фонарь будет давать прерывистое освещение капель. Число вспышек будет зависеть от частоты вращения диска и от числа отверстий в нем. Такой способ освещения называется стробоскопическим;

он позволяет наблюдать периодические явления, происходящие со столь большой частотой, что их нельзя наблюдать глазом при обычном освещении. Если подобрать число оборотов диска стробоскопа так, чтобы за время между двумя вспышками капли успевали пролететь путь, равный расстоянию между соседними каплями, то последние будут казаться неподвижными.

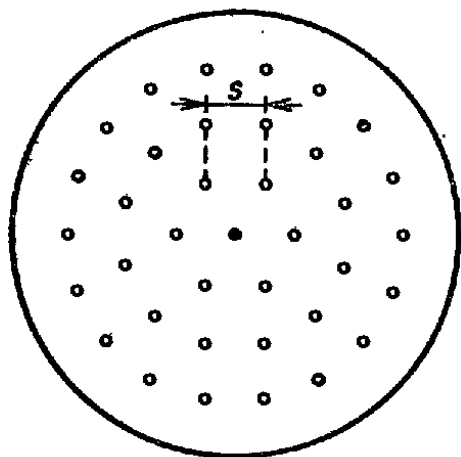


Рис. 6

Определить нужное для этого число оборотов диска, имеющего два отверстия, если расстояние между каплями $s = 2$ см, а высота, с которой падают капли, $h = 22,5$ см.

1.17. Диск с отверстиями, просверленными по окружностям на расстоянии $s = 1$ см друг от друга (рис. 6), освещен сзади лампой. Диск вращается с частотой $n = 30$ об/мин. На каком расстоянии r от центра диска мы увидим сплошной светящийся круг? (Человеческий глаз не ощущает колебаний яркости, если они происходят чаще, чем 16 раз в секунду.)

1.18. По горизонтальной плоскости катится без скольжения с постоянной скоростью v обруч радиусом R . Каковы ускорения различных точек обруча?

1.19. Человек держит один конец доски, а другой ее конец лежит на цилиндре (рис. 7). Доска при этом горизонтальна. Затем человек двигает доску вперед, вследствие чего цилиндр катится без скольжения по горизонтальной плоскости; отсутствует также скольжение доски по цилиндру. Какое расстояние должен пройти человек, чтобы достичь цилиндра, если длина доски равна l ?

1.20. На шероховатую горизонтальную плоскость бросают

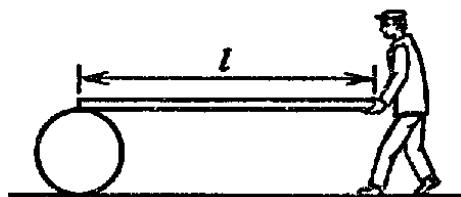


Рис. 7

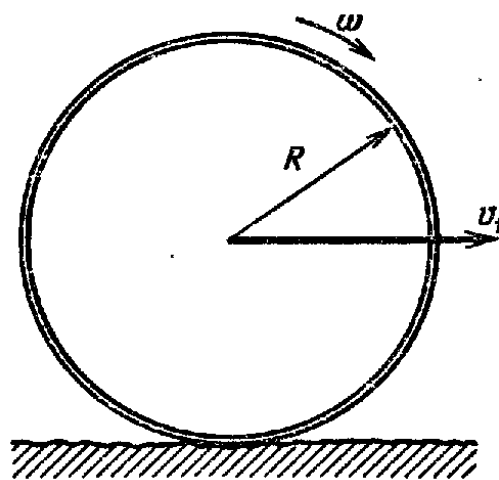


Рис. 8

обруч радиусом R с линейной скоростью v_1 . Одновременно ему сообщается вращательное движение в таком направлении, что он должен катиться по плоскости в ту же сторону (рис. 8).

При какой угловой скорости ω обруч покатится по плоскости без скольжения?

1.21. Почему когда колесо катится, то часто бывает, что нижние спицы видны отчетливо, а верхние спицы как будто сливаются?

1.22. С какой скоростью и в какое время суток должен лететь горизонтально самолет на широте Ленинграда ($\varphi = 60^\circ$), чтобы летчик видел Солнце все время на юге? Считать радиус Земли $R = 6300$ км.

1.23. Два человека решили устроить дуэль на револьверах в необычных условиях: они стреляются, стоя на карусели радиусом R , вращающейся с угловой скоростью ω . Первый дуэлянт стоит в центре O карусели, второй — на ее краю.

Как они должны прицеливаться, чтобы поразить одного? Какой из дуэлянтов находится в более благоприятных условиях? Считать, что пуля первого дуэлянта вылетает из точки O со скоростью, равной v_1 .

1.24. Центр квадрата совпадает с центром окружности, расположенной в той же плоскости; радиус окружности значительно меньше стороны квадрата. Из вершин квадрата одновременно начинают двигаться с равными постоянными скоростями собаки, каждая преследуя ближайшую, находящуюся впереди нее (все собаки в начальный момент смотрят в направлении вдоль стороны квадрата по часовой стрелке).

Как расположены точки окружности, к которым прибегают собаки? Как направлены скорости собак в этот момент?

2. ДИНАМИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

2.1. С самолета, летящего горизонтально с постоянной скоростью v , сбрасывается бомба. Где будет находиться самолет, когда бомба достигнет земли?



Рис. 9

2.2. Ствол ружья и центр яблока, подвешенного на нити, находятся на одной прямой (рис. 9). Попадет ли пуля в мишень, если нить обрывается и яблоко начинает свободно падать?

в момент вылета пули из дула? Сопротивление воздуха не учитывать.

2.3. В каком из двух случаев ружье стреляет дальше: когда оно закреплено в станке или когда оно просто подвешено, как на рис. 10?

2.4. Какие капли дождя падают быстрее — крупные или мелкие? Почему? Считать, что шарообразная форма капли при падении не изменяется.

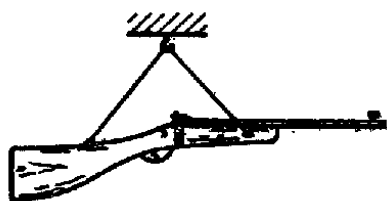


Рис. 10

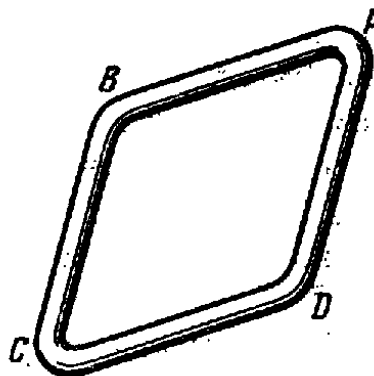


Рис. 11

2.5. Два шара одинакового радиуса и из одного и того же материала, но один сплошной, массой m_1 , а другой полый, массой m_2 , падают в воздухе с одинаковой высоты. Какой из шаров упадет быстрее?

2.6. Трубка в форме ромба со стороной a с закругленными углами расположена в вертикальной плоскости, как показано на рис. 11. Один раз шарик скатывается в трубке по сторонам AB и BC , а другой раз по сторонам AD и DC . В каком случае он скатится быстрее?

2.7. Тело массой m начинает скользить без трения с верхнего конца наклонной грани клина, лежащего на горизонтальной плоскости, причем между клином и плоскостью трение также отсутствует. Масса клина M , угол наклонной грани клина с горизонтом α . Найти силу давления тела на клин и клина на плоскость, а также ускорения клина и тела относительно плоскости.

2.8. На тонкое кольцо радиусом R в точках A, B, C, D , являющихся вершинами вписанного квадрата, действуют в направлении против часовой стрелки равные по модулю силы: $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 10 \text{ Н}$ (рис. 12). Кроме того, в точках A и B действуют две равные по модулю силы, направленные по диагоналям квадрата: $F_5 = F_6 = 10\sqrt{2} \text{ Н}$. Найти равнодействующую всех сил и точку ее приложения. Как будет двигаться кольцо под действием указанных сил?

2.9. К спиральной пружине, растяжение которой подчиняется закону Гука, прикреплена чашка весов с гирей (рис. 13). С какой силой надо оттянуть чашку с гирей вниз, чтобы, после того как ее отпустят, гиря в какой-то момент перестала давить на чашку?

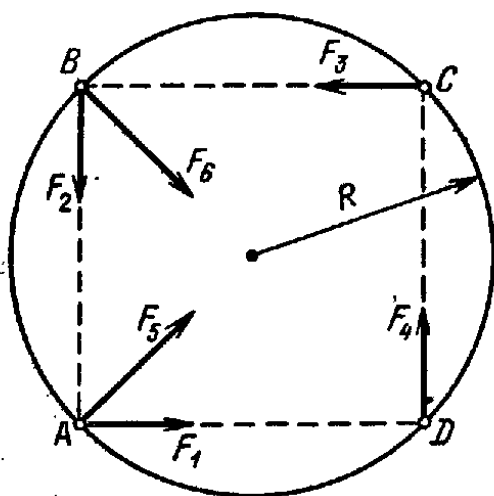


Рис. 12

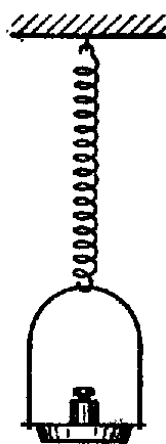


Рис. 13

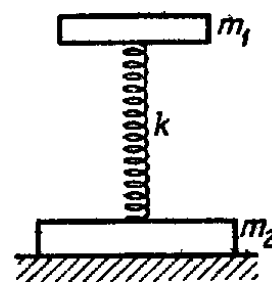


Рис. 14

2.10. Две пластины массами m_1 и m_2 соединены пружиной жесткостью k , массой которой можно пренебречь (рис. 14). С какой силой F надо надавить на верхнюю пластину, чтобы, после прекращения действия силы, верхняя пластина, подпрыгнув, приподняла и нижнюю? Считать, что закон Гука выполняется все время.

2.11. По наклонной плоскости равномерно спускается велосипедист массой m ; масса велосипеда равна M . Какова по модулю и направлению сила реакции N плоскости?

2.12. Доска массой M , наклоненная под углом α к горизонту, лежит на двух опорах A и B (рис. 15), по которым она может скользить вниз без трения. С каким ускорением a и в каком направлении должен двигаться по этой доске человек массой m , чтобы доска не скользила?

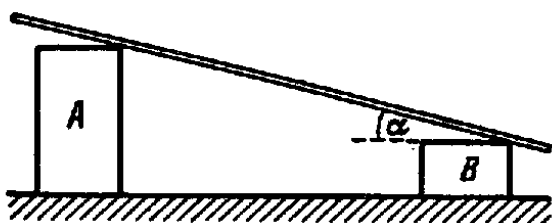


Рис. 15

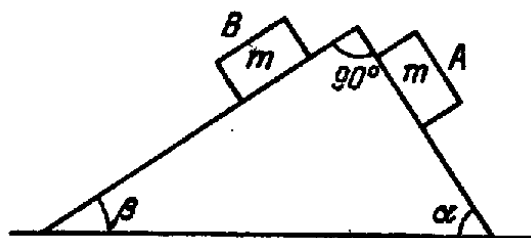


Рис. 16

2.13. Клин с углом при вершине в 90° и углами при основании α и β находится на гладком столе. По его боковым граням одновременно начинают скользить без трения бруски

A и B массой m каждый (рис. 16). Будет ли при этом клин скользить по столу, если трение отсутствует?

2.14. На дне закрытой пробирки сидит муха. Пробирка свободно падает, оставаясь в вертикальном положении (рис. 17).



Как изменится продолжительность падения, если муха во время падения перелетит из нижней части пробирки в верхнюю?

2.15. Птица находится в закрытом ящике, стоящем на одной из чашек весов. Пока птица сидит на дне ящика, весы уравниваются гирями, положенными на другую чашку. Нарушится ли равновесие весов, если птица взлетит и будет парить в воздухе внутри ящика?

2.16. Аэростат массой M опускается с постоянной скоростью v . Сила сопротивления воздуха f пропорциональна скорости. Подъемная сила аэростата равна Q . Какой массы m балласт надо выбросить из

гондолы аэростата, чтобы он поднимался вверх с той же по модулю скоростью v ?

2.17. Пуля массой m летит вертикально вверх, достигает максимальной высоты и вертикально же падает вниз. В каких точках этой траектории скорость и ускорение пули имеют максимальное и минимальное значения? Учесть силу сопротивления воздуха f , которая растет с увеличением скорости движения пули.

2.18. В массивную трубку вставлена пружина, которая в свободном состоянии занимает всю длину трубки. На пружину положен шарик, который сжимает ее примерно вдвое (рис. 18). В наклонном положении трубка начинает свободно падать. Что произойдет с шариком?

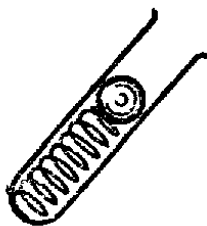


Рис. 18

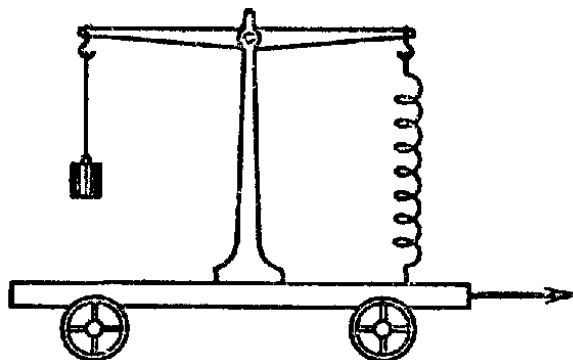


Рис. 19

2.19. На неподвижной тележке укреплено коромысло весов, на одном конце которого висит груз, а другой конец с помощью пружины соединен с полом тележки (рис. 19). Если тележке с

помощью постоянной силы сообщить ускорение в горизонтальном направлении, то груз отклонится на некоторый угол в сторону, противоположную ускорению. Изменится ли при этом натяжение пружины?

2.20. В цилиндрической части баллона со сжатым воздухом закреплен поршень. Объем цилиндрической части мал по сравнению с объемом баллона (рис. 20). Если освободить поршень от удерживающих его сил, то поршень выбрасывается из баллона вниз (трение между поршнем и стенками отсутствует). Как изменится время движения поршня в цилиндрической части, если: на поршень положить небольшой шарик? увеличить массу поршня на массу шарика?

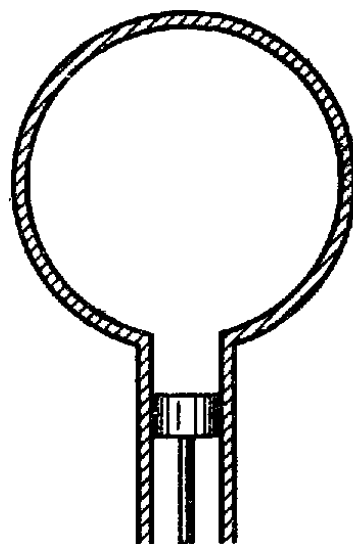


Рис. 20

2.21. В кинофильме «Смелые люди» герой фидьма на ходу поезда, идущего по ровному пути, вскакивает на крепление буферов и отцепляет два последних вагона. В каких случаях это возможно?

2.22. Два груза массами m_1 и m_2 соединены нерастяжимой нитью, перекинутой через неподвижный блок. Определить ускорение грузов a , силу натяжения нити T и силу давления F на ось блока. Массой блока и нити пренебречь.

2.23. Через середину стержня проходит горизонтальная ось O , вокруг которой он может вращаться. На концах стержня укреплены грузы массами $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 7$ кг (рис. 21). Стержень приведен в горизонтальное положение и освобожден без толчка. Какую силу давления F стержень оказывает на ось в начальный момент после освобождения? Массой стержня и трением в оси пренебречь.

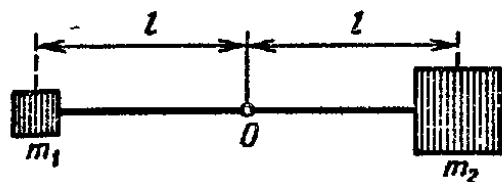


Рис. 21

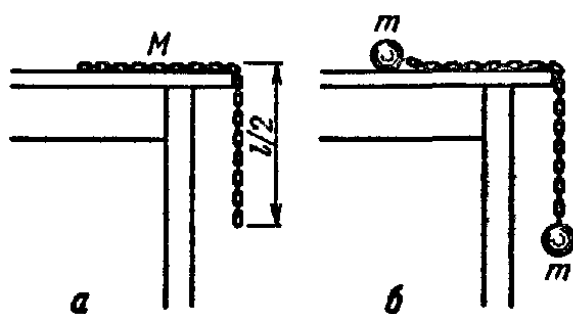


Рис. 22

2.24. На абсолютно гладком столе лежит цепочка массой M и длиной l , свешивающаяся наполовину за край стола (рис. 22, а). Как изменится время ее соскальзывания, если к концам цепочки прикрепить два одинаковых шарика массой m (рис. 22, б)?

2.25. Через невесомый блок A перекинута нить, к одному концу которой прикреплен груз m_1 , а к другому невесомый блок B , на нити которого висят грузы m_2 и m_3 . Блок A со всеми грузами подвешен к пружинным весам (рис. 23). Найти ускорение a_1 груза m_1 и показание T пружинных весов, считая, что $m_2 \neq m_3$, $m_1 > m_2 + m_3$.

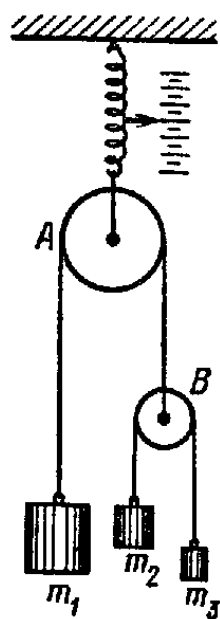


Рис. 23

2.26. Однородная цепочка массой M и длиной l свешивается со стола и удерживается в равновесии силой трения. Найти коэффициент трения покоя k , если известно, что наибольшая длина свисающего со стола конца, при которой цепочка еще не начинает скользить, равна l_1 .

2.27. Если локомотив не может сдвинуть тяжелый поезд с места, то машинист применяет следующий прием: он дает задний ход и, толкнув состав немного назад, затем дает передний ход. Объяснить, почему этот прием позволяет сдвинуть состав с места.

2.28. По закону Ньютона изменить состояние движения тела может только внешняя сила, действующая со стороны какого-нибудь другого тела. Какая же внешняя сила останавливает автомобиль или другой подобный самодвижущийся экипаж при торможении?

2.29. Щетка с длинной ручкой лежит горизонтально на вытянутых указательных пальцах широко раздвинутых рук (рис. 24). Что произойдет, если левая рука будет неподвижна,



Рис. 24

а правую мы будем придвигать к левой, держа ее все время на одном и том же уровне? Что произойдет, если неподвижна будет правая рука, а левую мы будем придвигать к ней? Что произойдет, если мы одновременно будем двигать обе руки навстречу друг другу?

2.30. Если быстро движущийся автомобиль резко затормозит, то его передок опускается книзу. Почему это происходит?

2.31. Небольшое тело скользит с трением из точки A в точку B по цилиндрическим поверхностям одинакового радиуса, один

раз по пути 1, второй раз по пути 2 (рис. 25). Сила трения не зависит от скорости и коэффициент трения в обоих случаях один и тот же. В каком из двух случаев скорость тела в точке B будет больше?

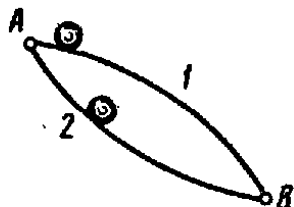


Рис. 25

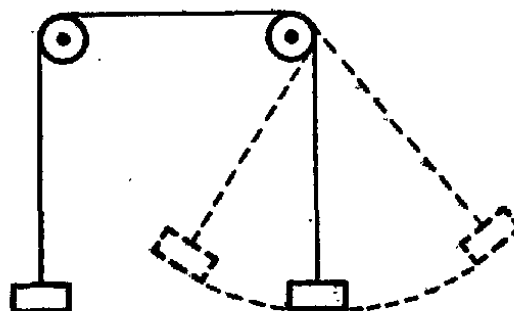


Рис. 26

2.32. Два одинаковых невесомых блока с параллельными осями установлены на одной и той же высоте. Через оба блока перекинута нерастяжимая и невесомая нить, на концах которой висят два груза одинаковой массы (рис. 26). Имеет место равновесие. Один из грузов отводят в сторону и отпускают. Нарушится ли при этом равновесие?

2.33. Шофер автомобиля, едущего со скоростью v , внезапно увидел перед собой на расстоянии s широкую стену. Что ему выгоднее: затормозить или повернуть?

3. СТАТИКА

3.1. Может ли человек, стоящий у стены так, что его правая нога и правое плечо упираются в стену (рис. 27), поднять левую ногу и не потерять при этом равновесия?

3.2. В каких случаях герои известной басни Крылова лебедь, щука и рак действительно не сдвинут воза, если считать что силы их равны по модулю? Силу трения между возом и землей не учитывать.

3.3. Для того чтобы отвести штангу троллейбуса от провода, водитель прежде отдергивает как можно дальше назад веревку, привязанную к кольцу, одетому на штангу. Зачем?

3.4. Лампа висит на кронштейне, состоящем из трех стержней, одни концы которых укреплены в стене (B , C , D), а другие сходятся в одной точке (A). Два верхних

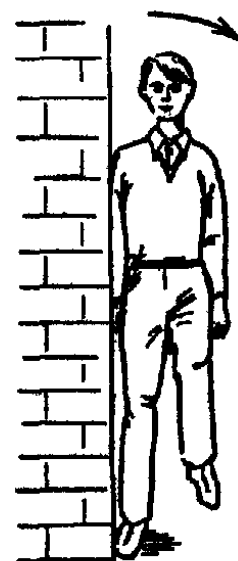


Рис. 27

стержня образуют равнобедренный треугольник с углом $\beta = 60^\circ$ между стержнями. Плоскость этого треугольника перпендикулярна к третьему стержню AB , который образует со стеной угол $\alpha = 30^\circ$ (рис. 28). Масса лампы с абажуром $m = 1$ кг. Найти силы, растягивающие и сдвливающие стержни.

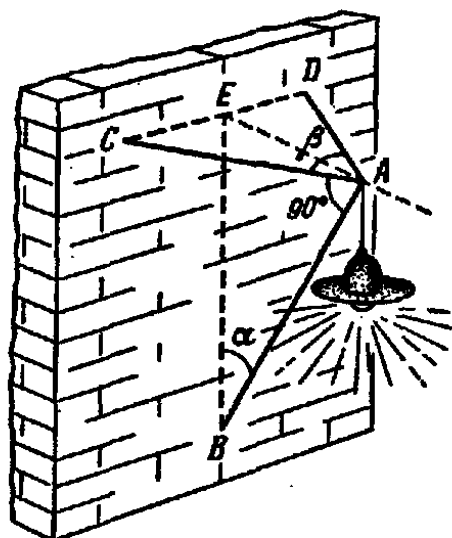


Рис. 28

3.5. Груз массой m закреплен и подвешен на двух веревках AB

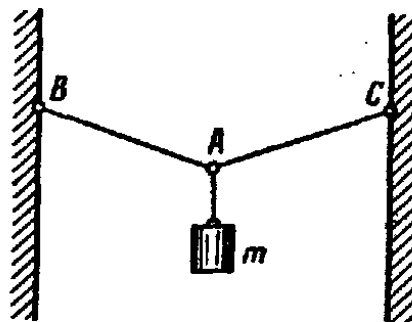


Рис. 29

и AC одинаковой длины (рис. 29). В каком случае веревки легче порвутся: когда они свисают или когда они натянуты почти горизонтально? Массу веревок не учитывать.

3.6. Чтобы сдвинуть с места застрявший автомобиль, иногда пользуются таким приемом: автомобиль привязывают длинной веревкой к дереву, по возможности сильно ее натянув. Затем, натягивая веревку посередине почти перпендикулярно к ее направлению, человек легко сдвигает автомобиль с места. Почему это возможно?

3.7. Гимнаст, идущий по натянутому канату, вызывает восхищение зрителей. Еще более искусным кажется он, когда идет по натянутому канату и несет на коромысле ведро с водой. В каком случае ему легче удержать равновесие?

3.8. Показать, пользуясь разложением сил по правилу параллелограмма, что «клин клином вышибают» (рис. 30).

3.9. Два рычага находятся в равновесии (рис. 31). На первом уравновешены два груза разной массы ($m_2 = 3m_1$) из одного материала, на втором — два груза разной массы ($m_2 = 3m_1$), но одинаковых по объему. Нарушится ли равновесие рычагов, если погрузить их в воду?

3.10. Уравновешенные весы со стальным коромыслом располагаются вдоль магнитного меридиана. Сохранится ли равновесие, если коромысло намагничивается вдоль его длины?

3.11. При легкой перегрузке одной из чашек весов коромысло лишь немного наклоняется в сторону большего груза и в этом положении остается в равновесии. Почему наступает равновесие несмотря на то, что массы грузов различны ($m_1 > m_2$)?

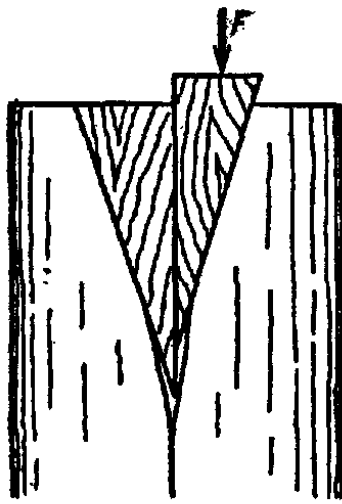


Рис. 30

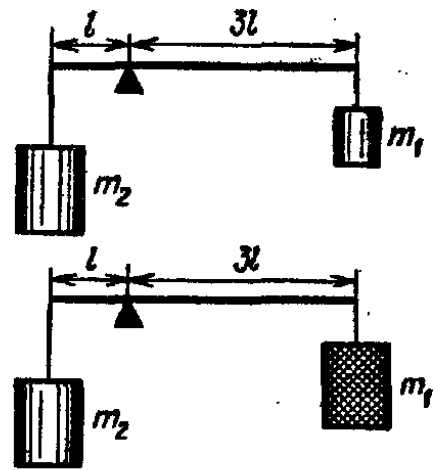


Рис. 31

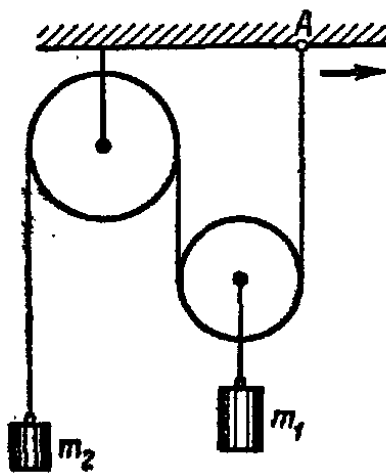


Рис. 32

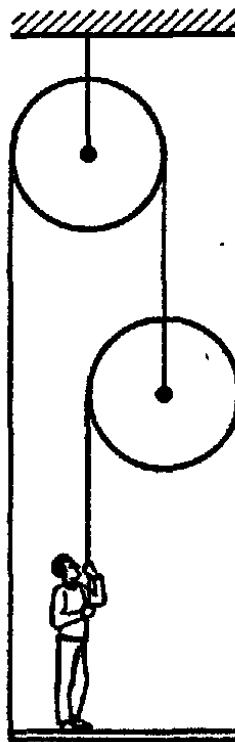


Рис. 33

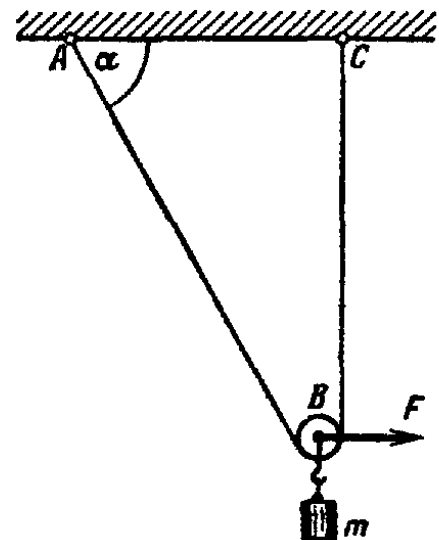


Рис. 34

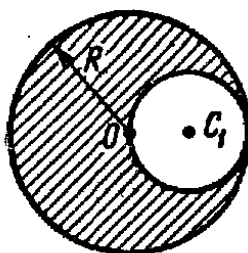


Рис. 35

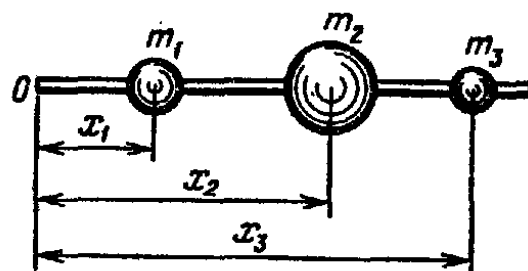


Рис. 36

3.12. В системе, состоящей из неподвижного и подвижного блоков, грузы массами m_1 и m_2 , висящие на блоках, находятся в равновесии, когда нити параллельны. Что произойдет, если точку закрепления нити A передвигать вправо (рис. 32)? Массами блоков пренебречь.

3.13. С какой силой T должен человек тянуть веревку, чтобы удержать доску в равновесии, если масса человека $m = 61,3$ кг (рис. 33)? Массами доски, блока и веревки пренебречь. Считать ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с².

3.14. Чему равна горизонтальная сила F , действующая на маленький блок B (рис. 34), если участок нити BC вертикален, когда к блоку подвешен груз массой m , а участок нити AB образует с горизонталью AC угол $\alpha = 60^\circ$?

3.15. Однородная тонкая пластинка радиусом R имеет форму круга, в котором вырезано круглое отверстие вдвое меньшего радиуса, касающееся края пластинки (рис. 35). Масса сплошной пластинки равна m . Где находится центр масс круга с таким отверстием?

3.16. Тонкий невесомый стержень проходит через центры трех шаров разных масс: m_1 , m_2 и m_3 . Центры масс всех трех шаров отстоят от левого конца стержня на расстояния x_1 , x_2 и x_3 соответственно (рис. 36). На каком расстоянии x_0 от того же конца стержня находится центр масс системы всех трех шаров?

3.17. На наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ лежит цилиндр массой m . Цилиндр удерживается в состоянии покоя с помощью огибающей его невесомой нити (рис. 37), один конец которой закреплен на наклонной плоскости, а другой натянут вертикально вверх силой T . Чему равна сила T ?

3.18. Колесо радиусом R и массой m стоит перед ступенькой высотой h (рис. 38). Какую минимальную горизонтальную силу F надо приложить к оси колеса O , чтобы оно могло подняться на ступеньку? Силу трения не учитывать.

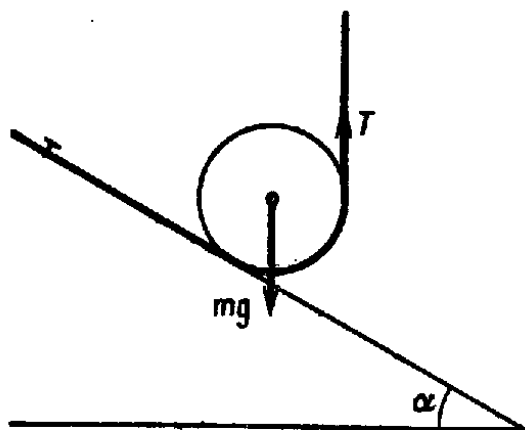


Рис. 37

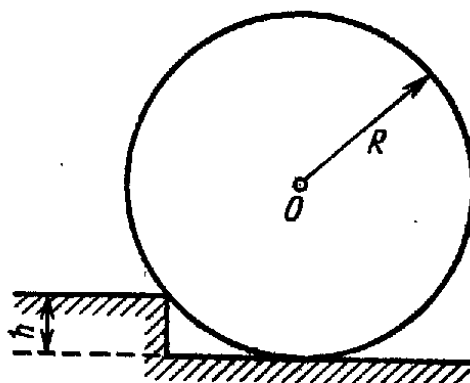


Рис. 38

3.19. В случаях *a* и *б*, изображенных на рис. 39, масса m_1 груза подобрана так, что масса m_2 шарика, опирающегося на гладкую поверхность, находится в равновесии. В каком из этих случаев равновесие устойчивое и в каком — неустойчивое?

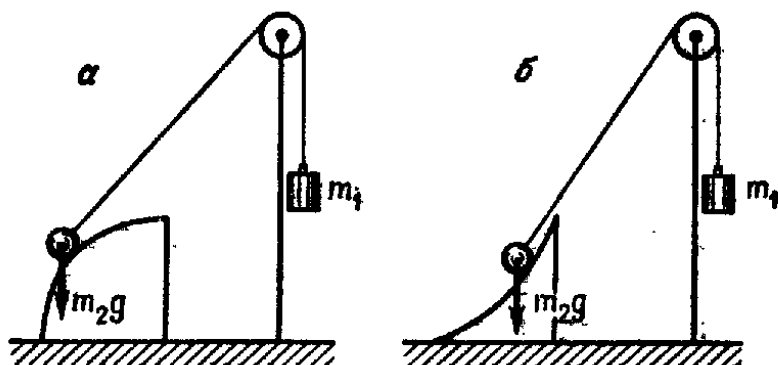


Рис. 39

Для упрощения будем предполагать, что блок расположен достаточно далеко, и поэтому направление нити, идущей от массы m_2 , совпадает с направлением касательной к поверхности.

3.20. В серванте имеется выдвижная доска для резки хлеба на ней. К доске спереди приделаны для удобства выдвижения симметрично относительно середины две ручки на расстоянии l друг от друга (рис. 40). Длина доски (в глубь серванта) равна L . При каком наименьшем значении коэффициента трения k между боком доски и стенкой серванта нельзя вытащить доску как бы ни была велика приложенная сила F , действующая на одну из ручек?

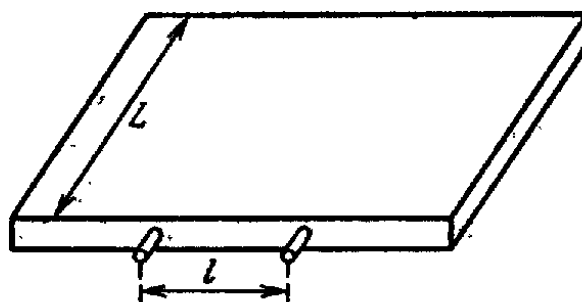


Рис. 40

4. РАБОТА, МОЩНОСТЬ, ЭНЕРГИЯ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

4.1. Цилиндр и куб из одинакового материала, одинаковой высоты и массы стоят на горизонтальной плоскости. Какое из этих двух тел труднее опрокинуть?

4.2. Подсчитать полную минимальную работу, которую необходимо совершить, чтобы перекантовать ящик массой $m = 10^3$ кг сначала вокруг ребра A_1B_1 , потом вокруг ребра A_2B_2 . Длина ящика $l = 0,8$ м, высота $h = 0,6$ м (рис. 41).

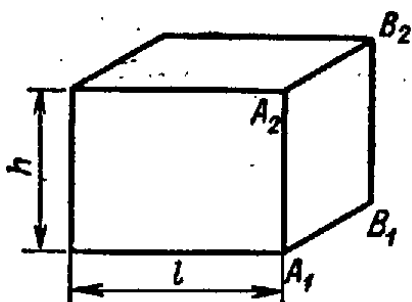


Рис. 41

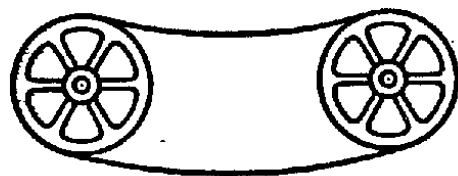


Рис. 42

4.3. Изменятся ли работа, совершенная мотором эскалатора, и мощность, если человек, стоящий на движущейся вверх лестнице эскалатора, будет сам также подниматься по эскалатору с постоянной скоростью?

4.4. Два шкива, находящихся на одном уровне, соединены ремнем; левый шкив ведущий (рис. 42). Когда возможно передать через эту трансмиссию большую мощность: когда шкивы вращаются по часовой стрелке или против?

4.5. Принцип действия автоматического оружия основан на использовании явления отдачи при выстреле: затвор отходит после выстрела назад и сжимает пружину; сжатая пружина приводит в действие механизм перезарядки. Определить, какую скорость v должна иметь пуля, чтобы затвор отошел назад на расстояние l , если масса пули m , масса затвора M и жесткость пружины k . Массой заряда пренебречь.

4.6. Две пружины одинаковых размеров (железная и медная) упруго растянуты на одну и ту же длину. На растяжение которой из них понадобилось совершить большую работу?

4.7. Две пружины одинаковых размеров (железная и медная) упруго растянуты одной и той же силой. На растяжение которой из них понадобилось совершить большую работу?

4.8. На нити длиной l подвешен груз массой m . Минимальный груз массой M , подвешенный на нити, разрывает ее, растягивая нить в момент разрыва на 1% от ее длины. Определить, на какую минимальную высоту h надо поднять груз массой m , чтобы он, падая, разорвал нить? Считать, что для нити справедлив закон Гука вплоть до ее разрыва.

4.9. С высоты H по гладкой наклонной плоскости длиной $l = H/3$ и с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ соскальзывает без трения шарик и затем падает на горизонтальную плоскость (рис. 43), удар о которую следует считать абсолютно упругим. На какую высоту h поднимается шарик после удара о плоскость?

4.10. Пуля массой m попадает в деревянный брусок массой M , подвешенный на нити длиной l («баллистический маятник»), и застревает в нем. Определить, на какой максимальный угол α отклонится маятник, если скорость пули равна v (рис. 44).

4.11. В пробирке массой M , закрытой пробкой массой m , находится капля эфира. При нагревании пробирки пробка вылетает под давлением паров эфира. Пробирка подвешена

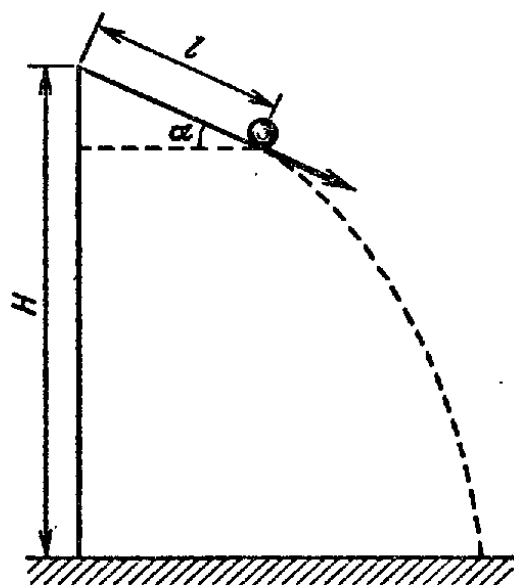


Рис. 43

на невесомом жестком стержне длины l (рис. 45). С какой минимальной скоростью v_1 должна вылететь пробка, чтобы пробирка сделала полный оборот вокруг точки подвеса O ?

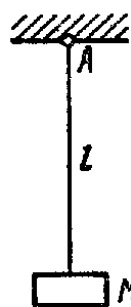


Рис. 44

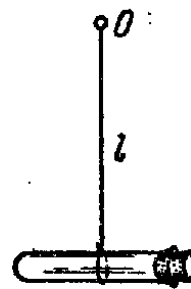


Рис. 45

4.12. Две легкие тележки массами m_1 и $m_2 = 3m_1$ соединены пружиной (рис. 46). Пружина сжата и связана ниткой. Нитку пережигают, пружина распрямляется и тележки разъезжаются в противоположные стороны. Найти: а) отношение скоростей тележек v_1 и v_2 ; б) отношение времен t_1 и t_2 , в течение которых тележки движутся; в) отношение расстояний s_1 и s_2 , пройденных тележками. Коэффициент трения k для обеих тележек считать одинаковым.



Рис. 46

4.13. Снаряд, вылетевший из орудия под некоторым углом к горизонту, в верхней точке своей параболической траектории разрывается на два осколка равной массы. Первый осколок под влиянием взрыва возвращается к исходной точке по прежней траектории. Где упадет второй осколок? Упадут ли оба осколка на землю одновременно? Сопротивление воздуха не учитывать.

4.14. Опытный игрок в мяч, ловя его, расслабляет руки и слегка подается назад вместе с мячом. Зачем?

4.15. В неподвижный шар ударяет боком (не по линии центров) другой шар такой же массы, движущийся со скоростью v . Под каким углом разлетятся шары, если они абсолютно упругие и абсолютно гладкие?

4.16. Несколько одинаковых стальных или костяных шаров подвешены на нитях, прикрепленных к одной доске (рис. 47).

Шары в начальном положении касаются друг друга, и нити параллельны между собой. Если крайний правый шар отвести и отпустить, то, после удара о неподвижные шары, он останется в покое, а крайний левый шар отскочит. Если же отвести справа не один, а два шара и отпустить их одновременно, то слева отскочат тоже два. Как объяснить этот опыт?

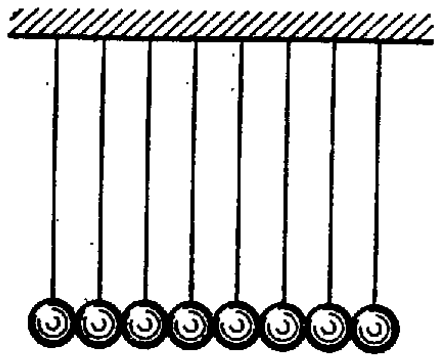


Рис. 47

4.17. Как будет протекать опыт в предыдущей задаче, если подвесить только три шарика и отвести в сторону два соседних шарика на одну и ту же высоту, отпустив их затем одновременно без начальной скорости?

4.18. Пусть шары из задачи 3.16, только не соединенные стержнем, движутся по параллельным траекториям равномерно со скоростями v_1 , v_2 и v_3 . С какой скоростью v_0 движется центр масс этих шаров?

4.19. Пользуясь классическими формулами скоростей двух шаров после упругого удара

$$v'_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}, \quad v'_2 = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2},$$

где v_1 , v_2 — скорости шаров до удара, v'_1 , v'_2 — скорости после удара, показать, что скорость центра масс двух шаров после удара (независимо от характера удара) равна скорости центра масс этих шаров до удара.

4.20. Через блок, подвешенный достаточно высоко, переброшен канат, по концам которого поднимаются две обезьяны одной и той же массы, причем одна перемещается по канату вдвое быстрее другой. Которая из них раньше доберется доверху? Блок считать невесомым, а канат — невесомым и нерастяжимым.

4.21. Лодка стоит неподвижно в стоячей воде. Человек, находящийся в лодке, переходит с носа на корму. На какое расстояние сдвинется лодка, если масса человека $m = 60$ кг, масса лодки $M = 120$ кг, длина лодки $l = 3$ м? Сопротивление воды не учитывать.

4.22. На железнодорожной платформе, которая может двигаться по рельсам, укреплены две одинаковые пушки, направленные в противоположные стороны (рис. 48). Прицелы установлены так, что при одновременных выстрелах оба снаряда попадают каждый в свою цель. Попадут ли снаряды в цели, если одна из пушек выстрелила немного раньше другой? Что



Рис. 48

произойдет с платформой после второго выстрела? Силу трения в колесах платформы не учитывать.

4.23. Три шара равных масс подвешены на пружинах с одной и той же жесткостью так, что расстояния между 1-м и 2-м и между 2-м и 3-м одинаковы (рис. 49). Таким образом, центр масс всей системы совпадает с центром 2-го шара. Если обрезать нить, удерживающую 1-й шар, то система будет падать, причем ускорение центра масс системы должно быть равно

$$(mg + mg + mg)/3m = g$$

(по второму закону Ньютона ускорение центра масс системы равно сумме сил, действующих на систему извне, деленной на массу всей системы). Но пружина I тянет 2-й шар вверх сильнее, чем пружина II тянет этот шар вниз (упругая сила пружины I в начальный момент $F_{10} = 2mg$, а упругая сила пружины II в начальный момент $F_{20} = mg$), и, следовательно, в начальный момент центр масс второго шара будет иметь ускорение меньше g . Между тем центр масс системы должен все время двигаться с ускорением g . В чем дело?

4.24. Карманные часы положены на горизонтальную подставку, которая может свободно

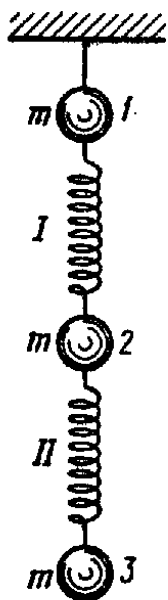


Рис. 49

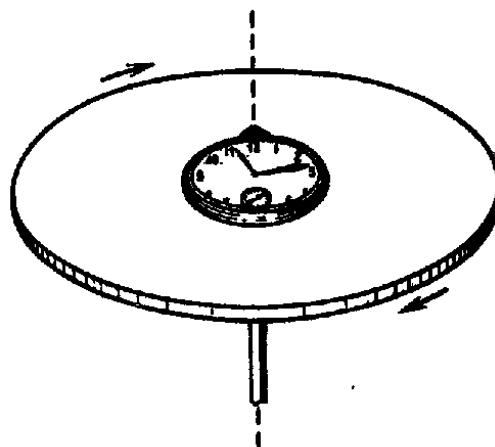


Рис. 50

вращаться вокруг вертикальной оси (рис. 50). Как изменится от этого ход часов? Трением диска об ось пренебречь.

4.25. Маленький шарик бросают вертикально вверх с некоторой начальной скоростью. В момент, когда он достигает

максимальной высоты, бросают другой такой же шарик с той же начальной скоростью по той же вертикали. На некоторой высоте шарики сталкиваются, и в этот момент из той же точки бросают вверх по той же вертикали с той же начальной скоростью третий такой же шарик. Через сколько времени с момента бросания третьего шарика упадут один за другим все три шарика? Удар шариков при встрече считать абсолютно упругим.

4.26. По принципу относительности Галилея две системы координат, движущиеся равномерно и прямолинейно друг относительно друга, равноправны, т. е. физические законы, справедливые в одной системе, справедливы и в другой. Пусть система *II* движется относительно системы *I* равномерно и прямолинейно со скоростью v . В этом же направлении движется тело *A* со скоростью v_1 по отношению к системе *I* (следовательно, со скоростью $v_1 - v$ относительно системы *II*). В течение некоторого времени t на тело *A* действует постоянная сила F , направленная по той же прямой, как и скорости v и v_1 ; она изменяет скорость тела относительно системы *I* от значения v_1 до значения v_2 . Изменение кинетической энергии тела будет в системе *I* равно

$$(m/2)(v_2^2 - v_1^2),$$

в системе *II*

$$(m/2)[(v_2 - v)^2 - (v_1 - v)^2] = (m/2)(v_2^2 - v_1^2) - mv(v_2 - v_1),$$

т. е. будет меньше. В разных системах координат изменение кинетической энергии разное. Как это согласовать с принципом относительности Галилея?

5. ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

5.1. Для уменьшения потерь на трение при вращении вала в опорном подшипнике было предложено сточить конец вала на конус (рис. 51). При этом модуль силы трения, очевидно, не изменится, поскольку при уменьшении площади соприкасающихся поверхностей увеличивается давление между ними и соответственно возрастает сила трения на единицу площади соприкосновения. Однако стачивание вала все же может уменьшить потери на трение, если трение на боковых стенках подшипника отсутствует. Почему уменьшаются потери на трение после стачивания?

5.2. К валу приложен вращающий момент $M = 1 \text{ кН} \cdot \text{м}$. На вал насажено колесо радиусом $R = 0,5 \text{ м}$ (рис. 52). С какой

силой F надо прижимать тормозные колодки к колесу, чтобы оно не вращалось? Коэффициент трения $k = 0,25$.

5.3. Через неподвижный блок с моментом инерции I переброшена нить, на которой висят грузы разных масс m_1 и m_2 (рис. 53). Каковы будут силы натяжения T_1 и T_2 нити по обе стороны блока?

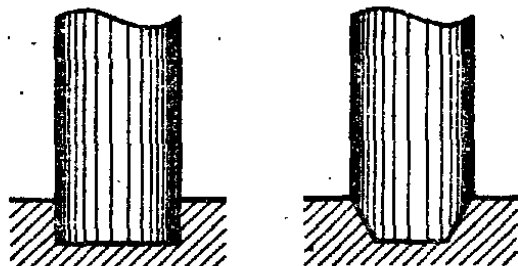


Рис. 51

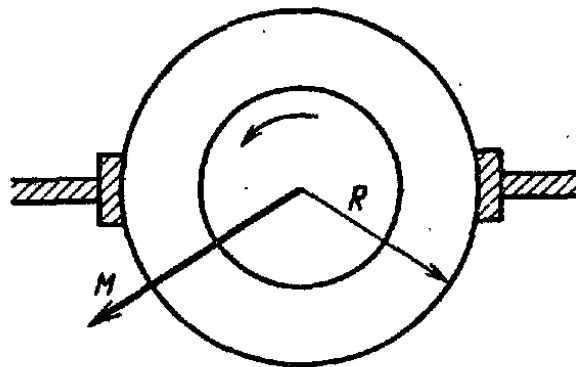


Рис. 52

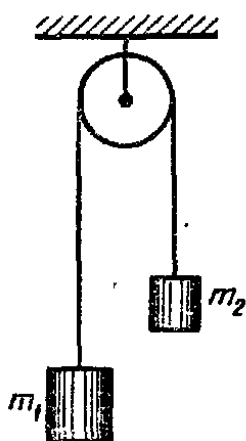


Рис. 53

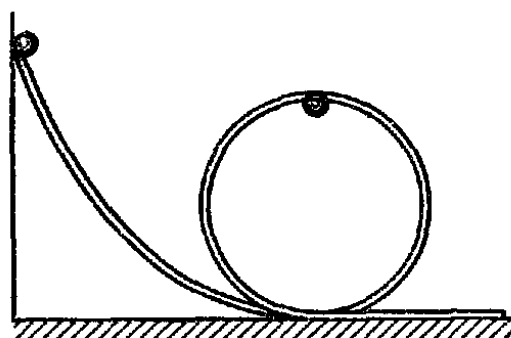


Рис. 54

5.4. Поворот автомобиля должен быть обусловлен внешней силой, действующей под некоторым углом к направлению движения. Этой внешней силой может быть только сила трения между шинами и землей. Почему же при повороте передних колес автомобиля направление силы трения изменяется таким образом, что она вызывает поворот всего автомобиля?

5.5. Тело соскальзывает по желобу в форме мертвой петли (рис. 54) с наименьшей допустимой высоты, описывает петлю и не падает. При этом в верхней точке петли тело на желоб не давит. На какое же тело действует в этот момент центробежная сила?

5.6. Желоб предыдущей задачи имеет в верхней части петли разрыв, симметричный относительно вертикали, проходящей через центр петли. Радиусы R желоба, идущие к краям A и B разрыва, образуют угол, равный 2α (рис. 55). С какой мини-

мальной высоты H должен начать скользить без трения шарик, чтобы пролететь разрыв и снова попасть на желоб? Какова траектория шарика в разрыве желоба?

5.7. На вращающемся диске укреплен отвес, который устанавливается под углом α к вертикали (рис. 56). Известны расстояние r от точки подвеса до оси вращения и длина нити отвеса l . Определить угловую скорость вращения ω .

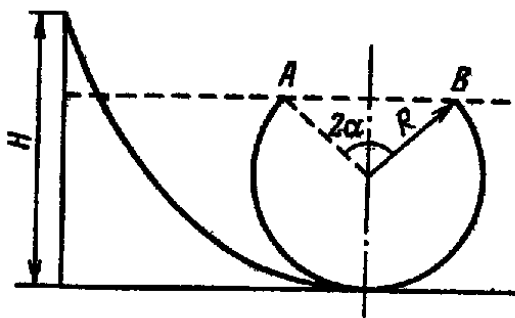


Рис. 55

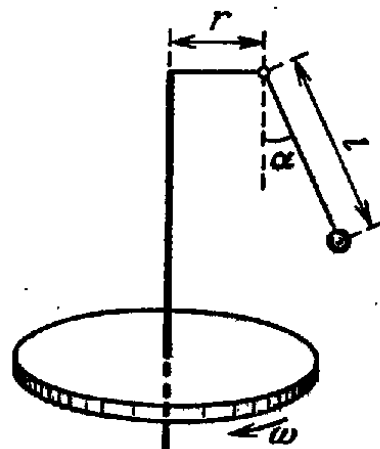


Рис. 56

5.8. Почему монета, катящаяся по плоскости в вертикальном положении (без наклона), движется по прямой, а наклоненная движется криволинейно?

5.9. Конькобежец может описать круг на льду, наклоняясь в сторону центра круга. Откуда берется центростремительная сила, необходимая для движения по окружности?

5.10. На шкив двигателя плотно надета цепочка. Двигатель приводят в быстрое вращение. Затем постепенно сдвигают цепочку на край шкива и, наконец, сбрасывают ее. Тогда цепочка катится как жесткий обруч по столу или по полу. Объяснить, как возникает центростремительная сила, необходимая для того, чтобы каждое звено цепочки описывало кривую? Как возникают силы, действующие на цепочку и создающие в ней напряжения?

5.11. Летчик массой $m = 70$ кг описывает на самолете, летящем со скоростью $v = 180$ км/ч, «мертвую петлю» радиусом $R = 100$ м. Откуда берется центростремительная сила, действующая на летчика в нижней и верхней точках петли, на что действует центробежная сила в этих же точках и с какой силой прижимается летчик к сидению в верхней и нижней точках петли? Считать ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с².

5.12. Если велосипедист на повороте не наклонится в сторону поворота, то он упадет в противоположную сторону. Почему?

5.13. Почему на большой скорости автобус на повороте наклоняется в сторону, противоположную повороту, но не падает, как велосипедист в предыдущей задаче?

5.14. Шарик массой m , подвешенный на нити длиной l , отклонили от положения равновесия так, что он поднялся на высоту h (рис. 57). Затем шарик отпустили. На какую высоту он поднимется, если на пути нити поставить стержень A , перпендикулярный к плоскости чертежа (опыт Галилея)?

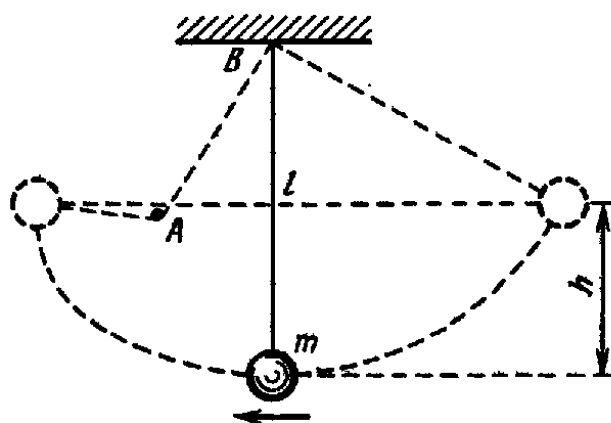


Рис. 57

5.15. Маленький шарик подвешен в точке A на нити, длина которой l . В точке O на расстоянии $l/2$ ниже точки A в стену вбит гвоздь. Шарик отводят так, что нить занимает горизонтальное положение, и отпускают (рис. 58). В какой точке траектории исчезнет натяжение нити? Как дальше будет двигаться шарик? До какой наивысшей точки поднимется шарик? В какой точке шарик пересечет вертикаль, проходящую через точку подвеса?

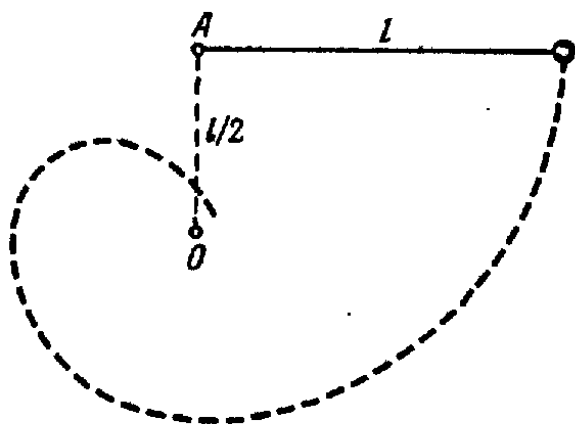


Рис. 58

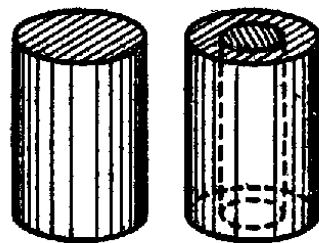


Рис. 59

5.16. Почему при ударе кием с силой F по нижней части бильярдного шара он движется замедленно, а при ударе по верхней части — первое время ускоренно?

5.17. Линейная скорость точек земного экватора — около 460 м/с. Что было бы с пулей, вылетевшей из ружья на экваторе параллельно земной поверхности в западном направлении с такой же скоростью, если бы отсутствовала атмосфера?

5.18. Даны два цилиндра одинаковых размеров и из одного и того же материала. Один цилиндр сплошной, другой сборный, состоящий из двух цилиндров, почти без зазора вложенных один в другой, причем трение между внешним и внутренним цилиндрами отсутствует (рис. 59). Какой из

цилиндров будет быстрее скатываться без скольжения по одной и той же наклонной плоскости? Какое положение будет занимать при скатывании внутренний цилиндр, если он не совсем плотно входит во внешний?

6. ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

6.1. В свинцовом шаре радиусом R сделана сферическая полость, которая касается поверхности шара и проходит через его центр. Масса шара до того, как была сделана полость, равнялась M . С какой силой F свинцовый шар будет притягивать маленький шарик массой m , находящийся на расстоянии r

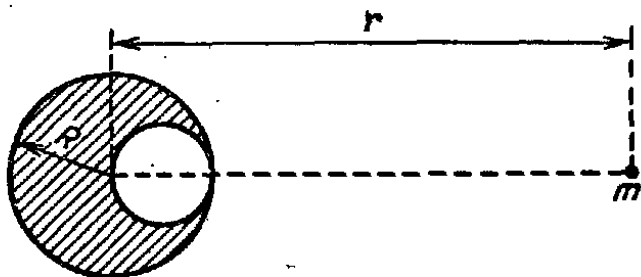


Рис. 60

от центра свинцового шара на прямой, соединяющей центры шаров и полости, со стороны полости (рис. 60)?

6.2. Солнце притягивает любую точку на земной поверхности сильнее, чем Луна, а между тем

явления приливов и отливов вызываются главным образом действием Луны, а не Солнца. Почему?

6.3. На все тела на Земле действует сила притяжения Солнца. Ночью (Солнце «под ногами») эта сила складывается с силой притяжения Земли, днем (Солнце «над головой») — из нее вычитается. Следовательно, ночью все тела должны быть тяжелее, чем днем. Верно ли это?

6.4. С помощью ракеты тело поднято на высоту 500 км.

1. Каково ускорение свободного падения на этой высоте?
2. С какой скоростью v нужно бросить это тело по направлению, перпендикулярному к земному радиусу, чтобы оно описывало окружность вокруг Земли?
3. Каков будет при этом период обращения T тела вокруг Земли? Радиус Земли считать равным 6500 км, ускорение свободного падения на поверхности Земли — $9,80 \text{ м/с}^2$. Сопротивления атмосферы не учитывать. (В данной задаче тело будет находиться в условиях почти таких, в каких находился первый советский искусственный спутник Земли.)

6.5. В романе Жюль Верна «Путешествие на Луну» говорится, что человек теряет свой вес, когда достигает точки, в которой притяжение к Земле становится равным притяжению к Луне. А как же наши космонавты находятся в состоянии невесомости, хотя орбиты космических кораблей с людьми пока еще далеко не достигают точки, где силы притяжения Земли и Луны одинаковы?

7. КОЛЕБАНИЯ. ВОЛНЫ. ЗВУК *)

7.1. На идеально гладкой поверхности лежит груз массой m , растянутый пружинами жесткостью k_1 и k_2 (рис. 61). Если груз вывести из положения равновесия (отклонить в сторону), он начнет колебаться с периодом T .

Изменится ли период колебаний, если те же пружины закрепить не в точках A_1 и A_2 , а в точках B_1 и B_2 ? Считать, что при всех растяжениях колебания пружины подчиняются закону Гука.

7.2. На чашку, подвешенную на пружине жесткостью k , падает с высоты h тело массой m и остается на чашке, т. е. его удар о дно чашки можно считать абсолютно неупругим (рис. 62). Чашка с телом начинают колебаться. Определить амплитуду их колебаний. (Для упрощения сначала рассмотреть случай, когда массой M чашки можно пренебречь.)

7.3. Как будет меняться период колебания маятника,

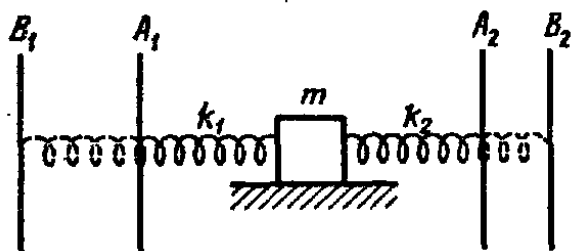


Рис. 61

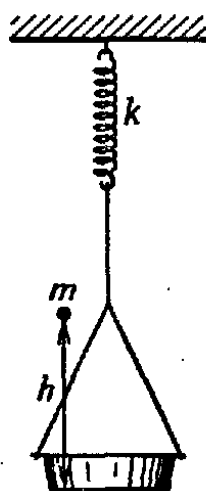


Рис. 62

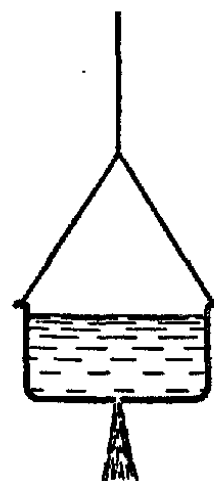


Рис. 63

состоящего из сосуда, подвешенного на длинной нити, если сосуд наполнен водой, которая постепенно вытекает через отверстие в дне сосуда (рис. 63)?

7.4. Два одинаковых маятника связаны невесомой пружиной (рис. 64). В одном случае оба маятника колеблются так, что они в каждый момент отклонены на одинаковый угол в одну сторону. В другом случае они колеблются так, что в каждый момент они отклонены на одинаковый угол в противоположные стороны. В каком случае период колебаний будет меньше?

7.5. Два одинаковых маятника, связанных невесомой пружиной (см. рис. 64), были отклонены в плоскости чертежа в одну и ту же сторону на один и тот же угол и вследствие этого

*) Считать в задачах этого раздела ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. (Примеч. ред.)

совершают колебания в плоскости чертежа. Увеличится или уменьшится период колебаний, если один из маятников удалить, а среднюю точку пружины закрепить неподвижно?

7.6. Подставка совершает в вертикальном направлении гармонические колебания (рис. 65), причем амплитуда этих колебаний $A = 0,5$ м. Каков должен быть наименьший период этих колебаний, чтобы лежащее на подставке тело не отделялось от нее?

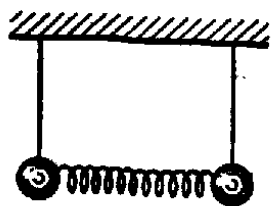


Рис. 64

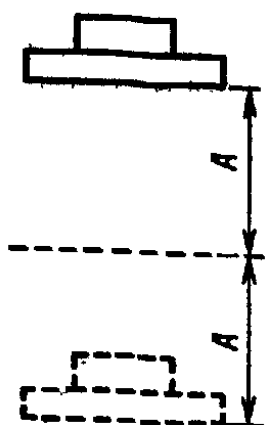


Рис. 65

7.7. Подставка совершает в горизонтальном направлении гармонические колебания с периодом $T = 5$ с. Находящееся на подставке тело начинает по ней скользить, когда амплитуда колебаний достигает значения $A = 0,6$ м. Каков коэффициент трения k между телом и подставкой?

7.8. Как изменится период колебаний математического маятника, если его точку подвеса двигать: а) вертикально вверх с ускорением a ; б) вертикально вниз с ускорением $a < g$ и в) горизонтально с ускорением a ?

7.9. Качающийся маятник прикреплен к массивной доске. В некоторый момент доска начинает свободно падать. Как при этом

будет продолжать двигаться маятник относительно доски? Разобрать два случая. Доска начинает падать в момент, когда маятник находится: а) в одном из крайних положений, б) в каком-нибудь промежуточном положении. Силу трения не учитывать.

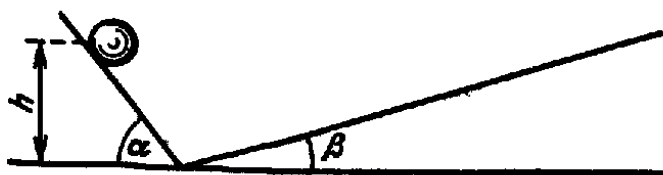


Рис. 66

7.10. Определить период колебаний шарика, скользящего с высоты h вниз и вверх по двум на-

клонным плоскостям с углами, равными α и β (рис. 66). Силу трения и потери скорости при ударе не учитывать.

7.11. Горизонтальный маятник, регистрирующий землетрясения, происходящие на большом расстоянии от места установки маятника, имеет ось качания, образующую небольшой угол α с вертикалью. Схематически маятник можно представить в виде равностороннего треугольника, одна из сторон которого является осью, а в противоположной вершине укреплен груз массой m (рис. 67). Стороны треугольника, каждая длиной l , можно считать невесомыми. Найти период малых колебаний маятника.

7.12. Имеется маятник, состоящий из металлического шарика, подвешенного на длинной шелковой нити. Как изменится период колебаний маятника, если шарик зарядить отрицательно, а другой, положительный, заряд поместить: а) внизу, на одной вертикали с точкой подвеса (рис. 68, а); б) в точке подвеса (рис. 68, б); в) сбоку, на одном уровне с шариком, так, что последний, качаясь, не может прикоснуться к этому заряду (рис. 68, в).

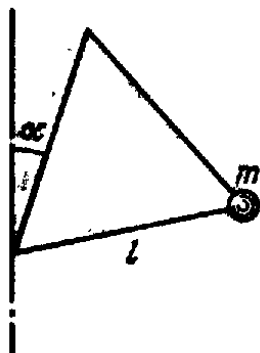


Рис. 67

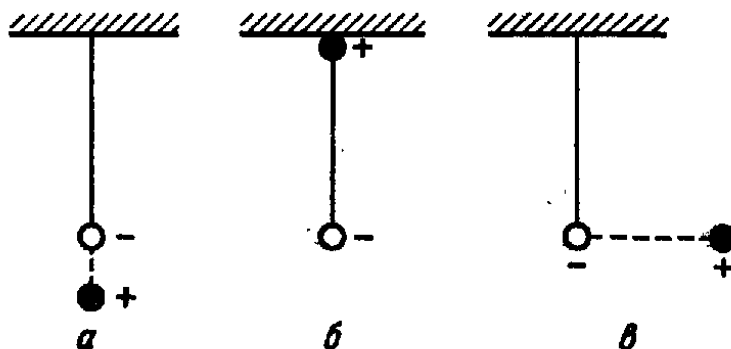


Рис. 68

7.13. Радиостанция, находящаяся в точке А, посылает сигнал проверки времени. Этот сигнал принимают в точках В и С два приемника (рис. 69). Слушатель, находящийся в точке В, принимает сигнал от своего приемника и через 1 с слышит звук того же сигнала, принятый в точке С приемником с мощным громкоговорителем. Чему равно расстояние между точками В и С?



Рис. 69

7.14. Желая настроить струну в резонанс с камертоном, их заставили звучать одновременно. Появились биения. После того как к ножке камертона прикрепили грузик, частота биений уменьшилась. Что надо сделать со струной (подтянуть или ослабить), чтобы настроить ее в резонанс с камертоном?

7.15. Всегда ли справедливо выражение: «как аукнется, так и откликнется», т. е. всегда ли отраженный звук имеет ту же высоту тона, что и падающий?

7.16. Зачем камертон (рис. 70) делается с двумя ножками? Годился ли бы камертон для своего обычного применения, если бы одну из его ножек отпилили?



Рис. 70

7.17. Герой одного из рассказов О'Генри дал пинок поросенку с такой силой, что тот полетел, «опережая звук собственного визга». С какой силой F должен был ударить

поросенка герой рассказа, чтобы описанный случай произошел в действительности? Массу поросенка примем равной $m = 5$ кг, а продолжительность удара $t = 0,01$ с.

7.18. Где человек должен слышать более громкий звук: в пучности или в узле смещений стоячей волны?

7.19. Прибор Квинке позволяет убедиться в том, что усиление звука будет происходить тогда, когда разность хода двух волн одной и той же длины, приходящих в одно место,

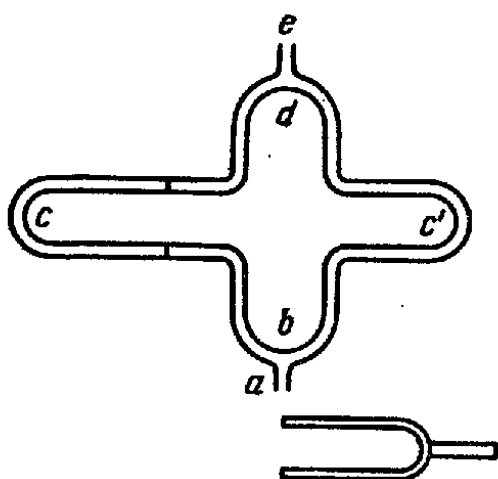


Рис. 71

будет равна четному числу полу-волн, а ослабление — когда разность хода равна нечетному числу полу-волн. Прибор состоит из металлической трубки ab (рис. 71), которая разветвляется на две ветви c и c' , сходящиеся снова в трубку de . Если к концу трубки a поднести звучащий камертон, то звуковая волна, разделяясь в b на две части bcd и $bc'd$, вновь соединяется в трубке de . Если $bcd - bc'd = 2n\lambda/2$, то в трубке d слы-

шен звук, а если эта разность равна $(2n + 1)\lambda/2$, то звука в d не слышно. В последнем случае куда девается энергия звуковых колебаний, возбуждаемых камертоном?

7.20. Почему звук в зале, заполненном публикой, звучит более глухо, чем в пустом?

8. МЕХАНИКА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

8.1. Как вы думаете, справедлив ли закон сообщающихся сосудов (однородная жидкость в сообщающихся сосудах имеет один и тот же уровень), если в одном из сосудов на

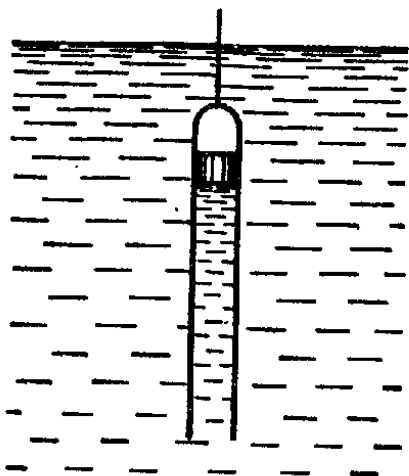


Рис. 72

поверхности жидкости находится некоторый поплавок (капиллярность не учитывать)?

8.2. Достаточно длинная открытая снизу трубка с плотно пригнанным поршнем, который может все же двигаться по трубке без трения, находится под водой и удерживается с помощью веревки (рис. 72). Верхний конец трубки над поршнем пустой. Как зависит сила натяжения веревки от глубины погружения трубки в воду?

8.3. Ведро, имеющее массу m , вместимость V , вытаскивают с водой из колодца. Плотность материала, из которого сделано ведро, равна ρ , плотность воды ρ_w . Какую силу необходимо приложить для подъема этого ведра, пока оно находится под водой и когда его вытащили из воды? Сопротивление воды движению ведра не учитывать.

8.4. Для того чтобы поднять уровень жидкости в сосуде на высоту h с помощью насоса, надо совершить некоторую работу. Изменится ли необходимая для этой же цели работа, если на поверхности жидкости плавает какое-нибудь тело?

8.5. Изменится ли осадка парохода, перешедшего из северных вод в экваториальные, вследствие изменения ускорения свободного падения с широтой?

8.6. Как зависит подъемная сила аэростата от температуры, при которой производится его подъем?

8.7. Когда объясняют опыт со взвешиванием воздуха, иногда говорят, что сначала взвешивают колбу с воздухом, а затем, после откачки воздуха из колбы, взвешивают одну колбу. Разность показаний весов в первом и втором случаях и составляет массу воздуха в объеме колбы. Правильно ли такое толкование опыта по взвешиванию воздуха?

8.8. Можно ли измерить плотность воздуха, взвешивая мягкий воздухонепроницаемый мешок сначала пустой (сжатый), а потом наполненный воздухом? Объем мешка в наполненном состоянии известен.

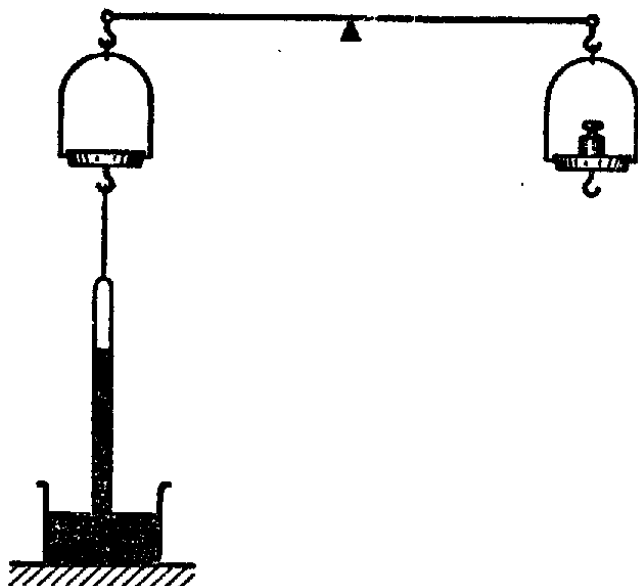


Рис. 73

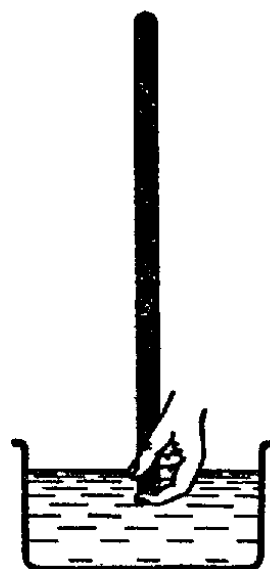


Рис. 74

8.9. К крючку одной из чашек весов подвешена трубка ртутного барометра. Определить массу гири, лежащей на другой чашке, если весы находятся в равновесии (рис. 73).

8.10. Удастся ли опыт Торричелли, если барометрическую трубку со ртутью поставить открытым концом не в чашку со ртутью, а в чашку с водой (рис. 74)?

8.11. Почему нельзя тушить горящий керосин, заливая его водой (плотность керосина меньше плотности воды)?

8.12. Во многих перегонных аппаратах труба, в которой конденсируется пар, окружена другой трубкой (рубашкой), по которой протекает холодная вода (рис. 75). При этом вода подается в рубашку снизу, а не сверху. Почему не наоборот?

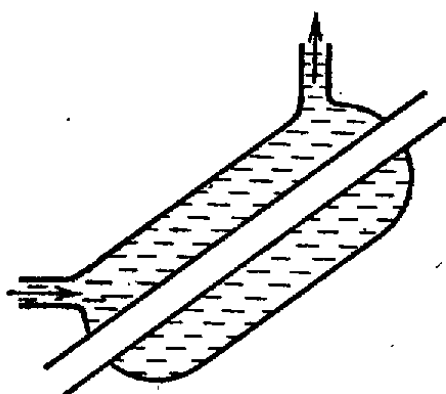


Рис. 75

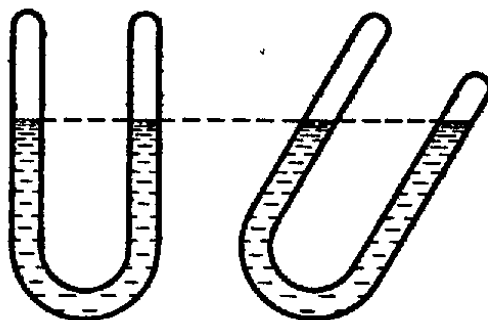


Рис. 76

8.13. Было обнаружено, что в запаянной с обоих концов U-образной трубке уровни воды в обоих коленах находятся на одной высоте, когда трубка вертикальна, а также когда она наклонена в вертикальной плоскости (рис. 76). При каком условии это возможно?

8.14. В изогнутой трубке более короткое колено затянато очень тонкой и мягкой непроницаемой пленкой. Трубка наполнена водородом и поставлена отверстием вниз (рис. 77). Какое положение займет пленка?



Рис. 77

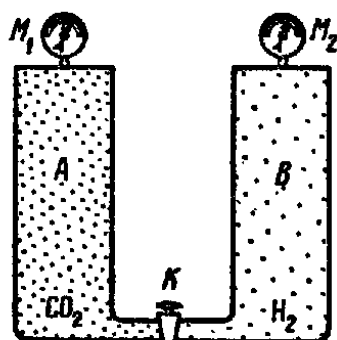


Рис. 78

8.15. В сосудах А и В находятся углекислый газ CO_2 и водород H_2 (рис. 78). Манометры M_1 и M_2 показывают одинаковое давление. В каком направлении потечет газ, если открыть кран К. Что произойдет, если тот же опыт произвести, повернув сосуды манометрами вниз?

8.16. Почему не устраивают «газонапорные» башни по аналогии с водонапорными?

8.17. В некоторых случаях в глубоких скважинах, пробуренных в земле, по трубе, опущенной в скважину, подается

сжатый воздух. Будет ли избыточное давление (т. е. разность между давлением внутри трубы и снаружи) внизу трубы таким же, как наверху, или другим? Потерей давления в трубе вследствие течения по ней воздуха пренебречь.

8.18. В некоторых домах газ в подвале горит лучше, чем на верхних этажах. Почему?

8.19. Две одинаковые по массе оболочки шара, сделанные одна из тонкой резины, а другая из прорезиненной ткани, наполнены одинаковым количеством водорода и у земли занимают одинаковый объем. Который из шаров поднимается выше, если водород из них выходить не может?

8.20. Пузырьковый уровень представляет собой слегка изогнутую трубку, заполненную жидкостью так, что остается очень маленькое пространство — пузырек, в котором находятся пары жидкости. Когда пузырек больше: летом или зимой?

8.21. В барометре, изображенном на рис. 79, отверстие *A* закрыто пробкой, и барометр наполнен ртутью. Что произойдет, если вынуть пробку из отверстия *A*?



Рис. 79

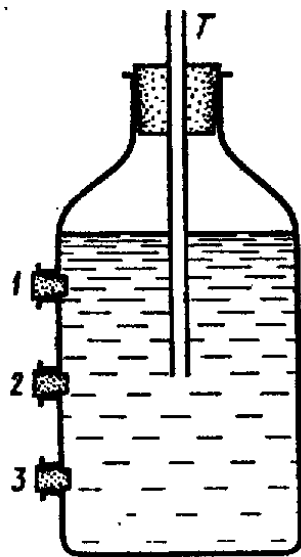


Рис. 80

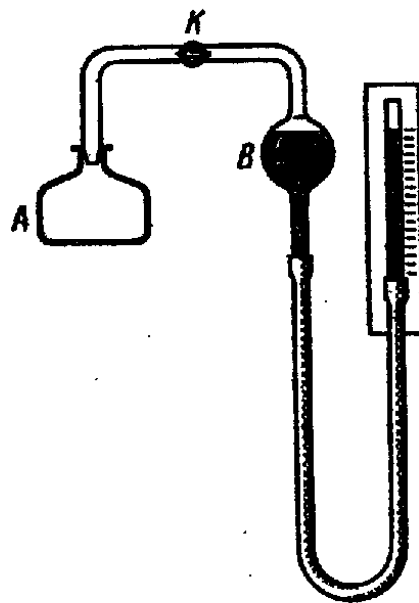


Рис. 81

8.22. В боковой стенке сосуда Мариотта (рис. 80) находятся три небольших отверстия 1, 2 и 3, закрытые пробками. Через пробку в горле сосуда проходит открытая с обоих концов трубка *T*. Уровень воды в сосуде Мариотта находится выше отверстия 1. Уровень воды в трубке *T* находится у самого основания трубки, расположенного на высоте отверстия 2. Что произойдет, если открыть одно из отверстий: 1, 2 или 3?

8.23. Для измерения объема порошка, не реагирующего с воздухом и не поглощающего воздух, пользуются прибором,

который носит название волюмометра. Этот прибор изображен на рис. 81. Чашка A с помощью шлифа соединяется с изогнутой стеклянной трубкой, снабженной краном K и оканчивающейся сосудом B , переходящим в прямую трубку. Последняя с помощью длинной резиновой трубки соединена с другой прямой стеклянной трубкой, которую можно перемещать вдоль шкалы вертикально. В верхней и нижней частях на сосуде B нанесены черточки, между которыми его вместимость точно измерена и равна V . Обе прямые трубки и резиновая содержат ртуть, образуя манометр.

Измерение объема порошка производится так. По манометру отмечается атмосферное давление H . При открытом кране K уровень ртути доводится до верхней черточки пузыря B , и кран закрывается. Затем прямую трубку манометра опускают вдоль шкалы вниз до тех пор, пока уровень ртути в пузыре не дойдет до нижней черточки, и отмечают теперь разность h_1 уровней ртути в прямых трубках. После этого прибор возвращают в начальное положение и кран K открывают.

Снимем чашку A и насыпем в нее порошок, объем которого желательно определить. Снова пришлифуем чашку и при одинаковых уровнях ртути у верхней черточки пузыря закроем кран K . Опустим опять прямую трубку манометра так, чтобы уровень ртути в пузыре B достиг нижней черточки, и измерим h_2 — новую разность уровней в прямых трубках.

Как, зная V , H , h_1 и h_2 , найти объем порошка?

8.24. Масляный насос, приводимый в действие электродвигателем, работает с постоянным числом оборотов n_0 в единицу времени. За каждый оборот он откачивает из сосуда определенный постоянный малый объем $\Delta V = \text{const}$. Обозначим p_0 первоначальное давление в откачиваемом сосуде, p_t — давление через время t после начала действия насоса. Доказать, что $\ln(p_0/p_t)$ растет линейно.

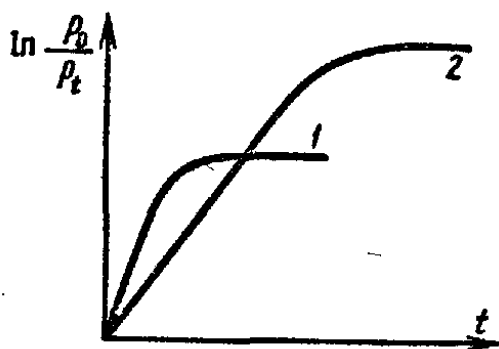


Рис. 82

8.25. На рис. 82 изображены графики зависимости логарифма относительного изменения давления насоса от времени (см. предыдущую задачу) для насосов 1 и 2. Какой из этих насосов качает быстрее и который создает лучший вакуум?

8.26. Пустой ящик размерами $1 \times 1 \times 3$ м, открытый снизу, погружен в вертикальном положении в воду так, что крышка

ящика находится на глубине 18,6 м. Найти выталкивающую силу F , действующую на ящик.

8.27. Какие силы совершают работу по подъему аэростата?

8.28. При определении плотности твердых тел с помощью гидростатических весов сначала взвешивают тело в воздухе (на обычных весах), а потом — погрузив его в воду. Как нужно изменить этот метод, если плотность тела меньше плотности воды?

8.29. В боковой стенке цилиндрического ведра сделано два отверстия, расположенные симметрично с противоположных сторон. Отверстия закрыты пробками, и ведро наполнено водой. Если вынуть пробки, то из отверстий вода будет вытекать струей. Что произойдет, если ведро будет свободно падать?

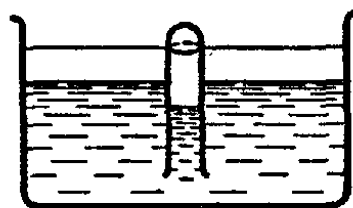


Рис. 83

8.30. Опрокинутая пробирка укреплена неподвижно над сосудом с водой (рис. 83). Как изменится в ней уровень воды, если вся система начнет свободно падать?

8.31. Подводная лодка, опустившись на глинистое или песчаное дно, иногда не может подняться. Как объясняется это явление «присасывания» подводной лодки?

8.32. Одно колено открытого U-образного ртутного манометра присоединено к колбе с водой, из которой выкачан воздух (рис. 84). Что будет показывать манометр, если колбу погрузить в сосуд с кипящей водой? Будут ли зависеть показания манометра от высоты над уровнем моря?

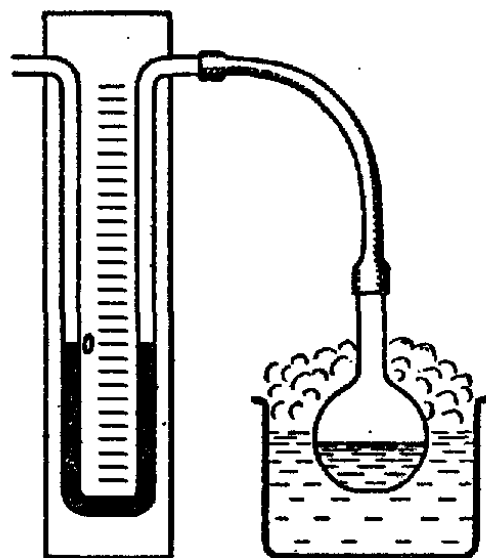


Рис. 84

8.33. Всасывающим насосом можно поднять воду при 0°C на высоту $h = 10$ м. На какую (большую или меньшую) высоту можно поднять горячую воду при 90°C ?

8.34. В стакане, наполненном до краев водой, плавает кусок льда (рис. 85). Перельется ли вода через край, когда лед растает? Что произойдет, если в стакане находится не вода, а жидкость более плотная или менее плотная?

8.35. В сосуде с водой плавает кусок льда, внутри которого находится кусок свинца (рис. 86). Изменится ли уровень воды

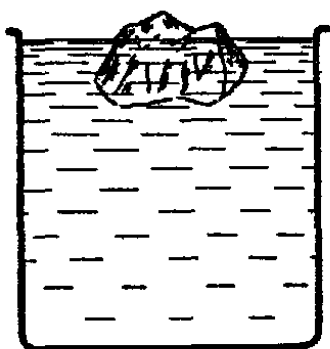


Рис. 85

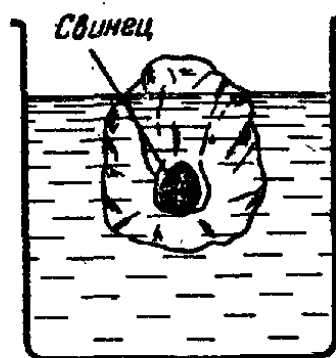


Рис. 86

в сосуде, когда лед растает? Что будет, если внутри льда находится не свинец, а пузырьки воздуха?

8.36. На одной чашке весов находится сосуд с водой, а на другой чашке — штатив, на перекладине которого подвешено на невесомой нити тело (рис. 87). Пока тело не погружено в воду, весы находятся в равновесии. Затем нить удлиняют так, что тело целиком погружается в воду. При этом равновесие нарушается. Что нужно сделать, чтобы восстановить равновесие?

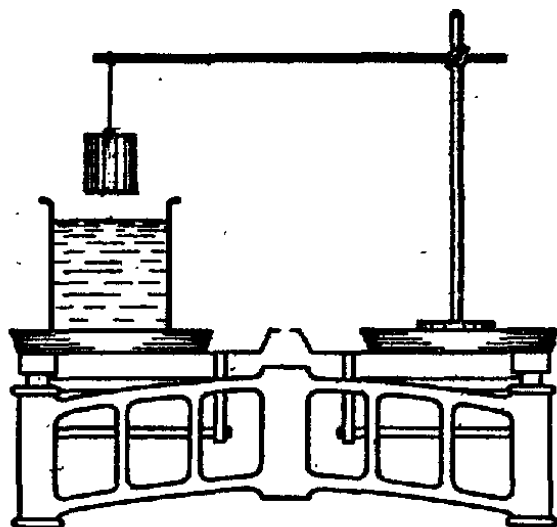


Рис. 87

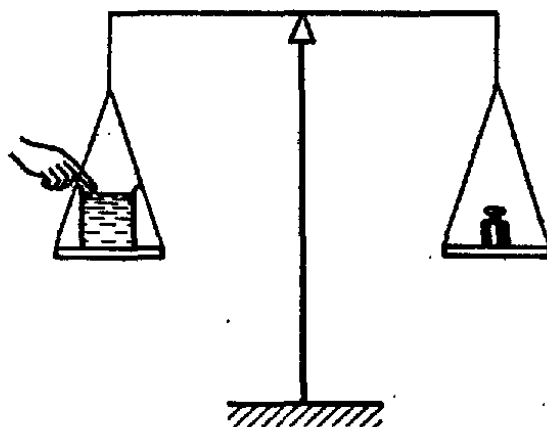


Рис. 88

8.37. Сосуд с водой уравновешен на весах. Изменится ли равновесие, если опустить палец в воду, не касаясь при этом дна сосуда (рис. 88)?

8.38. На весах уравновешено тело, погруженное в жидкость (рис. 89). Изменится ли показание весов при нагревании жидкости вместе с погруженным в нее телом?

8.39. Один из многочисленных ошибочных проектов вечных двигателей заключался в следующем: в вырез стенки бака с жидкостью вставлен вал, ось которого лежит в плоскости стенки (рис. 90); вал закрывает собой весь вырез, так что

жидкость не выливается. Вал может вращаться на своей оси. На половину его, погруженную в жидкость, действует выталкивающая сила (по закону Архимеда), которая, казалось бы, должна вызвать вращение вала по часовой стрелке. Это вращение, если бы оно возникло, должно было бы продолжаться вечно. В чем здесь ошибка?

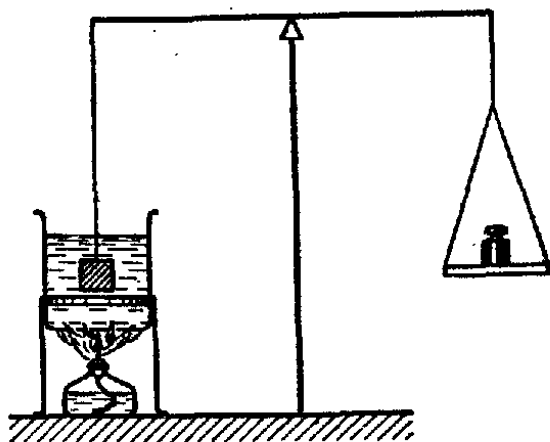


Рис. 89

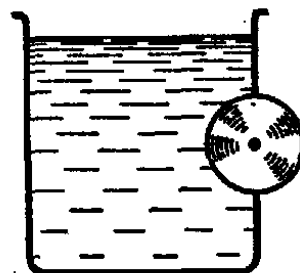


Рис. 90

8.40. В сосуд с водой погружается открытый стакан: один раз дном вверх, а другой раз дном вниз (рис. 91) на одну и ту же глубину. В каком из этих случаев работа, которую нужно совершить, чтобы погрузить стакан, будет больше? (Вода из сосуда не выливается, и в стакан, погруженный дном вниз, не вливается.)

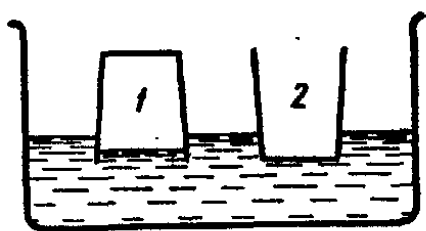


Рис. 91

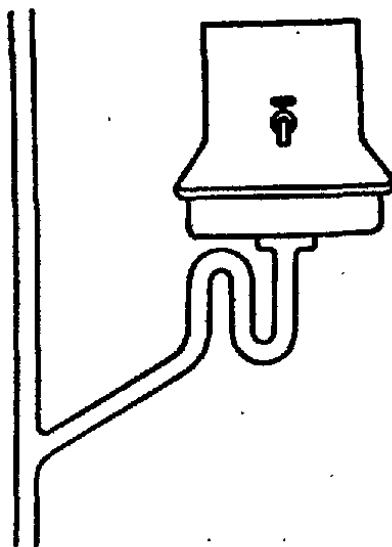


Рис. 92

8.41. Почему труба сливной раковины присоединяется к вертикальной канализационной трубе посредством сифонной трубки (рис. 92), а не идет прямо?

8.42. Будет ли работать гидравлический пресс, если его цилиндр заполнять не жидкостью, а газом?

8.43. Когда взрывается паровой котел, в котором давление пара составляет 10–15 атм, происходят большие разрушения; когда же взрывается гидравлический пресс, в котором давление гораздо выше, то взрыв значительных разрушений не причиняет. Почему?

8.44. Зачем фабричные трубы строят высокими, и какие трубы лучше — железные или кирпичные?

8.45. В дымогарную трубу паровоза вводится трубка, из которой вырывается струя пара (рис. 93). Зачем это делается?

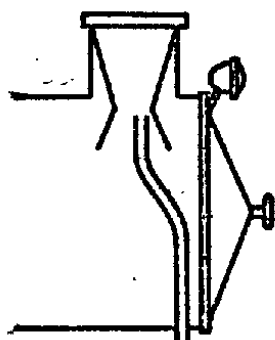
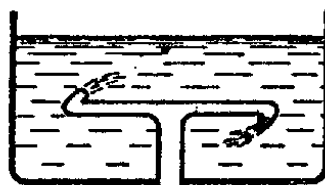
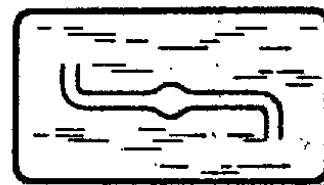


Рис. 93



Вид сбоку



Вид сверху

Рис. 94

8.46. В сосуд с водой внизу вставлена трубка, которая может свободно вращаться вокруг своей вертикальной оси. К верхнему концу трубки припаяны два наконечника, изогнутые так, как показано на рис. 94. Вся система представляет собой как бы обращенное сегнерово колесо. Что произойдет с трубкой, когда вода через нее будет вытекать из сосуда?

8.47. Почему тонущий корабль, погружившись в воду, часто опрокидывается?

8.48. В сосуд с жидкостью опущен на тонкой нити металлический шарик (рис. 95). Поднимем шарик на высоту h ; тогда его потенциальная энергия, очевидно, увеличится на величину mgh , где m — масса шарика. С другой стороны, объем жидкости V , равный объему шарика, опустится из положения 2 в положение 1, т. е. его потенциальная энергия уменьшится на величину ρVgh , где ρ — плотность жидкости. Потенциальная энергия всей системы (шарик — жидкость) изменилась. Как из этих энергетических соображений вывести закон Архимеда?

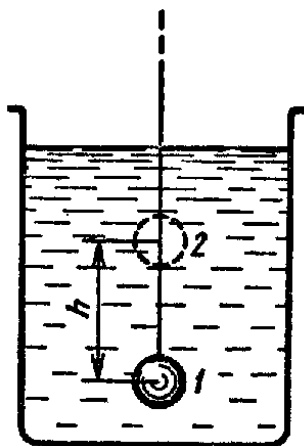


Рис. 95

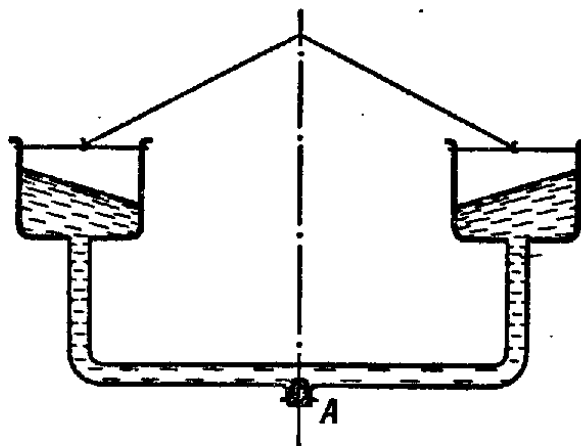


Рис. 96

8.49. Система двух сосудов, соединенных, как показано на рис. 96, наполнена водой и приведена во вращение. Что будет происходить, если вынуть пробку, закрывающую отверстие А, расположенное на оси вращения?

8.50. Определить форму поверхности жидкости в сосуде, скользящем без трения по наклонной плоскости с углом наклона, равным α (рис. 97).

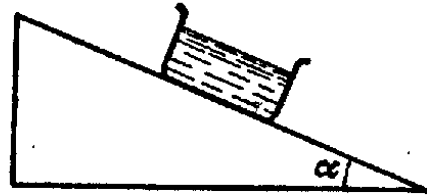


Рис. 97

8.51. На тележке стоит сосуд с жидкостью; тележка движется без трения с ускорением a в горизонтальном направлении. Определить форму поверхности жидкости.

8.52. В U-образную трубку налита вода. Трубка приводится во вращение с угловой скоростью ω вокруг оси, проходящей через одно из колен трубки (рис. 98). Как установить уровень воды в обоих коленах трубки?

8.53. К сосуду с водой, подвешенному на нитях в виде маятника, прикреплены две натянутые мягкие пружины (рис. 99). Что будет происходить с уровнем жидкости в сосуде, когда маятник будет качаться?

8.54. Как устроена резиновая груша для вдвухания воздуха в обыкновенный

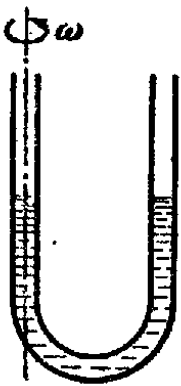


Рис. 98

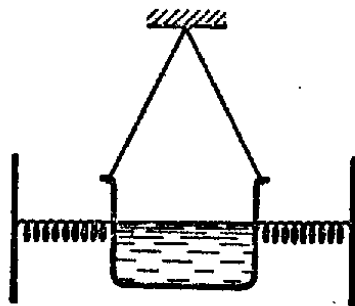


Рис. 99

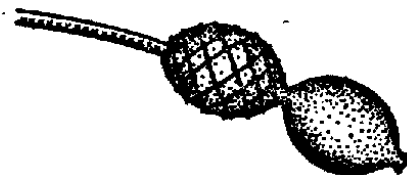


Рис. 100

пульверизатор? Зачем, кроме самой груши, еще добавляют резиновый шар? Почему груша делается из толстой резины, а шар — из тонкой? Зачем шар окружают сеткой (рис. 100)?

8.55. Если в сосуд налита жидкость и в нее погружены тельца более тяжелые, чем эта жидкость, то при вращении сосуда они отходят к стенке. Как объяснить хорошо известный факт, что чайники в стакане чая, отошедшие при помещивании к стенке, собираются после прекращения помещивания в середине дна?

8.56. На некоторых железных дорогах пополнение паровозного котла водой производится без остановки паровоза. Для этой цели применяется изогнутая под прямым углом труба,

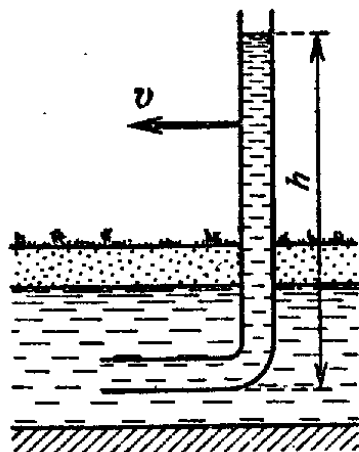


Рис. 101

которая опускается на ходу паровоза в канаву с водой, проложенную вдоль рельсов (рис. 101). При какой скорости паровоза v вода может подняться на высоту $h = 3$ м?

8.57. В сосуде с жидкостью сделано отверстие, площадь которого S мала по сравнению с высотой столба жидкости h . В одном случае отверстие закрыто пластинкой и измеряется сила давления жидкости F_1 на пластинку при высоте столба жидкости h (рис. 102, а). В другом случае тот же сосуд стоит на тележке, отверстие открыто и измеряется сила отдачи F_2 при установившемся токе жидкости в момент, когда высота столба жидкости будет та же, что и в первом случае (рис. 102, б). Будут ли силы F_1 и F_2 равны?

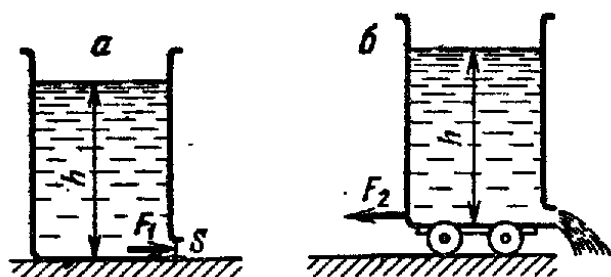


Рис. 102

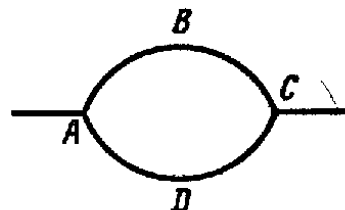


Рис. 103

8.58. Если полностью открытый водопроводный кран зажать пальцем так, чтобы оставалось только маленькое отверстие, то вода из этого отверстия вырывается с большей скоростью, чем при полностью открытом кране. Почему это происходит?

8.59. Как выгоднее самолету взлетать: по ветру или против ветра?

8.60. При каком условии самолет может летать «вверх колесами»?

8.61. Два однотипных самолета летят: первый по дуге ABC , а второй по дуге ADC (рис. 103). Обе дуги лежат в вертикальной плоскости, длины их одинаковы. У которого из самолетов скорость в точке C будет больше, если оба они имели в точке A одинаковые скорости и их двигатели развивают одинаковую и постоянную мощность?

8.62. Можно ли выдуть из воронки, дующая с узкого конца, вложенный в нее бумажный фильтр (рис. 104)?

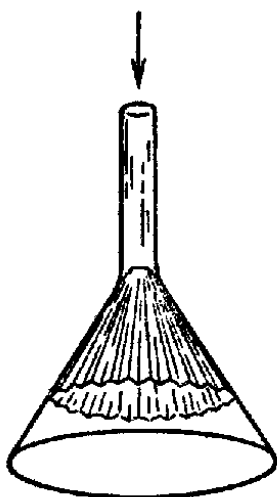


Рис. 104

8.63. Для того чтобы отделить друг от друга тонкие листы, сложенные в пачку (например, билеты в книжечке метро), достаточно подуть сбоку в торец этой пачки. Чем объясняется это явление?

9. ТЕПЛОТА И КАПИЛЛЯРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

9.1. Известен опыт, показывающий расширение металла при нагревании: металлический шарик, проходящий сквозь металлическое кольцо (рис. 105), застревает, если его нагреть. Что будет, если нагреть кольцо, а не шарик?



Рис. 105

9.2. Почему калориметры делают из металла, а не из стекла?

9.3. Какие термосы выгоднее при одной и той же высоте и вместимости: круглого или квадратного сечения?

9.4. В калориметре находятся два слоя воды — внизу более холодная, сверху более теплая. Изменится ли общий объем воды при выравнивании температур?

9.5. Имеются два чайника для заварки чая, вмещающие массу $m_{\text{в}} = 500$ г воды. Один чайник сделан из меди и его масса равна 200 г, другой из фарфора и его масса равна 300 г. Чай заваривается тем лучше, чем выше температура воды. В каком чайнике лучше заварился бы чай, когда кипятком наливают в чайник, первоначально находящийся при комнатной температуре $t = 20^\circ\text{C}$, если бы наружным охлаждением чайников можно было пренебречь? (Удельная теплоемкость воды $c_{\text{в}} = 4180$ Дж/(кг·К), меди $c_{\text{м}} = 380$ Дж/(кг·К), фарфора $c_{\text{ф}} = 830$ Дж/(кг·К).) Что дает предварительное споласкивание чайника кипятком? Какой чайник при этом оказывается выгоднее в действительности при наличии внешнего охлаждения?

9.6. Кусок металла и кусок дерева имеют одинаковую температуру. Почему наощупь холодный металл кажется холоднее дерева, а горячий металл — горячее дерева? При какой температуре и металл и дерево будут казаться наощупь одинаково нагретыми?

9.7. Пластика, спаянная из меди и железа, включена в цепь тока, как показано на рис. 106. Описать, что произойдет при прохождении в цепи достаточно сильного тока?

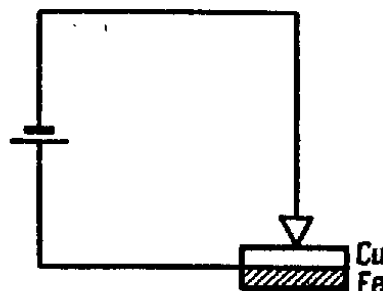


Рис. 106

9.8. Известно, что для измерения температуры человека медицинским термометром нужно 5–10 мин, а для того, чтобы сбросить ртуть термометра, когда он вынут, достаточно иногда секунды. Почему это происходит?

9.9. Какие свойства красной меди делают ее исключительно удобным материалом для паяльников? Есть ли другой материал, обладающий столь же необходимыми качествами?

9.10. Два стержня одинаковых размеров, но сделанные из различных металлов, сварены своими торцами (рис. 107).



Рис. 107

Теплоемкость стержня A вдвое больше теплоемкости стержня B , но теплопроводность A вдвое меньше теплопроводности B . Один из свободных концов стержней нагревается, а другой охлаждается, так что на каждом из концов поддерживается постоянная температура. Будет ли общее количество теплоты, протекающее в стержнях, зависеть от того, какой из свободных концов стержней (A или B) нагрет и какой охлажден? Теплообменом через боковые стенки стержней пренебречь.

9.11. Два цилиндра одинаковых размеров — железный и серебряный — стоят один на другом (рис. 108).

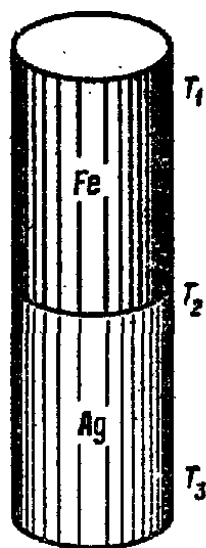


Рис. 108

Верхнее основание железного цилиндра поддерживается при температуре $T_1 = 100^\circ\text{C}$, а нижнее основание серебряного цилиндра поддерживается при температуре $T_3 = 0^\circ\text{C}$. Теплопроводность серебра в 11 раз больше теплопроводности железа: $k_{\text{Ag}} = 11k_{\text{Fe}}$. Чему равняется температура T_2 соприкасающихся оснований, если считать, что теплота через боковые поверхности цилиндров не уходит в окружающую среду?

9.12. Удельная теплота сгорания сосновых дров больше, чем березовых. Почему же говорят, что березовые дрова жарче горят?

9.13. На горизонтальную медную пластину положили тонкий лист слюды, а на него положили нагретый металлический конус. Конус начал катиться по слюде вокруг своей вершины. Почему? Что произошло бы, если бы под листом слюды был не лист из красной меди, а лист стекла?

9.14. Часто можно видеть, как хозяйки, желая ускорить варку, усиливают огонь под кастрюлей, в которой кипит вода. Правильен ли этот прием?

9.15. Какова температура воды в водоемах под слоем льда?

9.16. Температура 0°C является, как известно, одновременно и температурой таяния льда, и температурой замерзания воды. Что же произойдет, если мы в сосуд с водой при 0°C положим кусок льда при 0°C ?

9.17. Смешиваются равные по массе вода при температуре $+50^{\circ}\text{C}$ и лед при температуре -40°C . Какова будет окончательная температура смеси?

9.18. Для того чтобы быстрее нагреть кастрюлю с водой, всегда помещают нагреватель внизу (например, ставят кастрюлю на плитку). Желая охладить кастрюлю с водой как можно быстрее до комнатной температуры, хозяйка поставила ее на лед. Правильно ли это?

9.19. Будет ли кипеть вода в кастрюле, которая плавает в другой кастрюле с кипящей водой?

9.20. Сосуд с горячей водой нужно как можно сильнее охладить за 10 мин. Как лучше поступить: сначала положить в воду кусок льда, а потом поставить ее на 10 мин остывать или дать ей остыть в течение 10 мин, а затем положить такую же массу льда?

9.21. Температура воды в открытых водоемах (прудах, озерах, реках) почти всегда в летнюю погоду ниже температуры окружающего воздуха. Почему?

9.22. Можно ли заставить воду кипеть, не нагревая ее?

9.23. В кинетической теории газов при выводе закона Бойля — Мариотта предполагают, что каждая молекула, ударяя в стенку сосуда, отражается по закону упругого удара с той же скоростью и под тем же углом к перпендикуляру к стенке, т. е. что угол падения равен углу отражения. Как можно об этом говорить, если любая стенка для молекулы является чрезвычайно шероховатой поверхностью, глубоко изрезанной вроде береговой линии норвежских фиордов? В этих извилинах молекула находится некоторое время и выходит в результате случайного удара, направление которого никак не связано с направлением, по которому молекула ударилась о стенку. А все-таки вывод кинетической теории правилен. Чем это объяснить?

9.24. В два полых стеклянных шара, соединенных трубкой, введено некоторое количество воды, после чего из них откачан воздух и вся

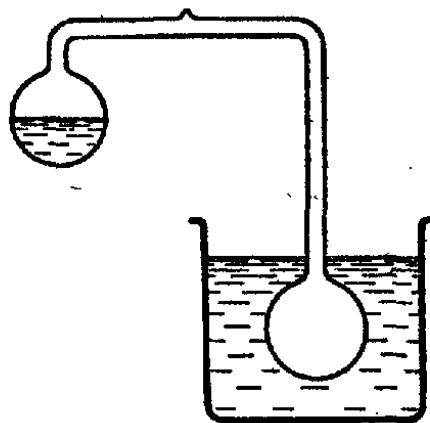


Рис. 109

система запаяна. Если перелить всю воду в верхний шар, а нижний, пустой, поместить в сосуд с жидким воздухом (рис. 109), то через некоторое время вся вода в верхнем шаре замерзнет, хотя он все время находится при комнатной температуре. Объяснить это явление.

9.25. Ртуть кипит при температуре $+367^{\circ}\text{C}$. Как же могут применяться ртутные термометры для измерений температур до $+550^{\circ}\text{C}$?

9.26. Два одинаковых сосуда, наполненные водородом, соединены трубкой, в которой находится столбик ртути (жидкая пробка) (рис. 110). В одном сосуде водород находится при температуре $t_1 = 0^{\circ}\text{C}$, а в другом — при температуре $t_2 = +20^{\circ}\text{C}$. Сместится ли столбик ртути, если оба сосуда нагреть на 10 градусов?



Рис. 110

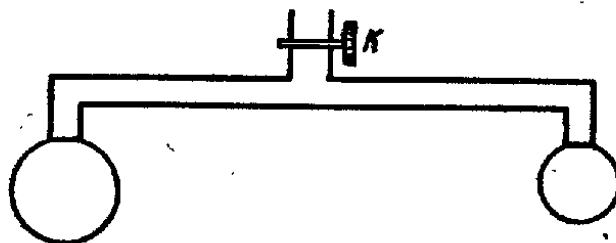


Рис. 111

9.27. На подоконнике был оставлен на ночь сосуд с мутной водой. К утру муть осталась только у той стенки, которая обращена к комнате. В какое время года произведен этот опыт?

9.28. В комнате при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ измерения влажности показали 40%. В это время на улице при температуре 0°C влажность оказалась равной 80%. Если в комнате открыть форточку, то куда пойдут водяные пары: с улицы в комнату или из комнаты на улицу?

9.29. У двух концов изогнутой стеклянной трубки выдуты два мыльных пузыря разных диаметров (рис. 111). Будут ли меняться диаметры пузырей, если кран K закрыт?

9.30. В дне стеклянного сосуда имеется небольшое отверстие радиуса r . До какой высоты h можно налить в этот сосуд жидкость (плотностью ρ), не смачивающую стекло, чтобы она не выливалась?

9.31. Космонавт после выхода корабля на орбиту обнаружил, что в закупоренном чистом стеклянном сосуде с водой весь находившийся в сосуде воздух собрался внутри воды в виде шара, а вода заполнила сосуд до пробки. Чем это объясняется?

9.32. В чистом стеклянном сосуде налито некоторое количество воды. Как она расположится, если сосуд с водой попадет в условия невесомости?

9.33. В жидкость погружена капиллярная трубка радиусом R так, что над поверхностью жидкости выдается лишь ее длина l , причем l меньше высоты поднятия данной жидкости в канале капилляра данного сечения при полном смачивании. Куда будет обращена выпуклость мениска и каков его радиус r , если поверхностное натяжение жидкости σ и ее плотность ρ ?

9.34. В манометре Мак-Леода (рис. 112), употребляемом для измерения очень малых давлений, параллельно запаянному капилляру идут две трубки: такая же капиллярная и широкая трубка. Зачем нужны обе эти трубки?

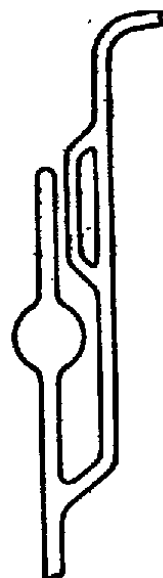


Рис. 112

10. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

10.1. Почему птицы слетают с провода высокого напряжения, когда включают напряжение?

10.2. Каким способом заряженный проводник может отдать весь свой заряд другому изолированному проводнику?

10.3. Как известно, заряженный шарик притягивает бумажку. Как изменится сила притяжения, если окружить концентрической металлической сферой заряженный шарик или бумажку?

10.4. Маленький металлический шарик заряжен до потенциала $\varphi_1 = +1$ В. Его вносят внутрь большой полый металлической сферы, заряженной до потенциала $\varphi_2 = 10$ кВ, и касаются шариком поверхности сферы. Заряд с маленького шарика переходит на сферу. Объяснить кажущееся противоречие: переход положительного заряда произошел в направлении от более низкого потенциала к более высокому, тогда как должно происходить как раз обратное.

10.5. Иногда говорят, что линия напряженности электростатического поля это линия, по которой будет двигаться электрический заряд в электростатическом поле. Правильно ли это?

10.6. N одинаковых маленьких капель ртути заряжены одновременно до одного и того же потенциала φ . Каков будет потенциал φ' большой капли, получившейся в результате слияния этих маленьких капель? (Капли считать шарообразными.)

10.7. Между шарами A и B , соединенными с электростатической машиной и укрепленными на изоляторе, происходит искровой разряд (рис. 113, a). С течением времени у изолятора появилась «утечка», т. е. он стал в незначительной степени проводить электричество, и поэтому искровой разряд прекратился.

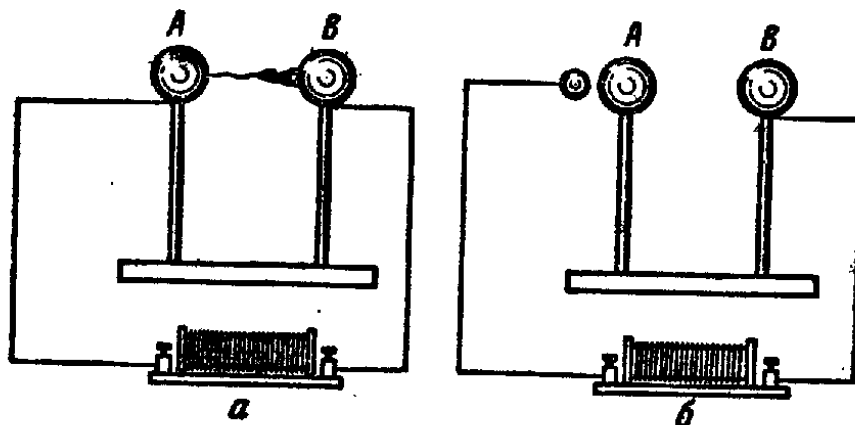


Рис. 113

Почему, устроив дополнительный искровой промежуток между электростатической машиной и шаром A (как показано на рис. 113, b), удастся восстановить искровой разряд между шарами A и B ?

10.8. Как известно, сила взаимодействия между двумя электрическими зарядами меньше в воде, чем в воздухе.

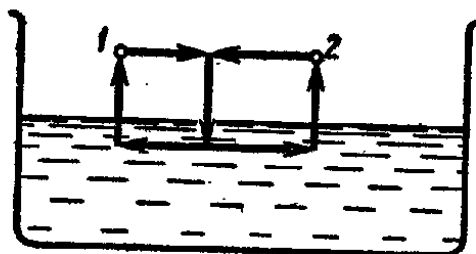


Рис. 114

Казалось бы, этим можно воспользоваться для создания «вечного двигателя» следующим образом: взяв два разноименных заряда в точках 1 и 2 (рис. 114), сблизить их в воздухе, затем одновременно опустить в воду, раздвинуть под

водой, затем одновременно поднять в воздух в прежние положения, и далее повторять весь процесс сначала. При этом работа, полученная при сближении, больше той, которая затрачивается при раздвигании, так как силы электрического взаимодействия в воздухе больше, чем в воде. Где ошибка?

10.9. Электрический заряд равномерно распределен по окружности радиусом R с линейной плотностью q . Найти напряженность E электростатического поля в центре окружности и в произвольной точке прямой, проходящей через центр окружности перпендикулярно к ее плоскости и отстоящей на расстояние h от центра.

10.10. На упругий шарик A , несущий заряд $+q$ и закрепленный неподвижно (рис. 115), начинает падать с высоты h с начальной скоростью, равной нулю, такой же шарик B и после упругого удара о шарик A подскакивает вверх. Как высоко поднимается шарик B , если он также имеет заряд $+q$?

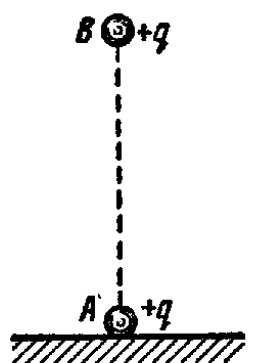


Рис. 115

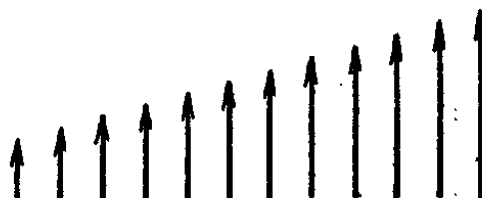


Рис. 116

10.11. Возможно ли такое электростатическое поле, напряженность которого во всех точках поля имеет одинаковое направление, а перпендикулярно к этому направлению изменяет свой модуль по линейному закону (рис. 116)?

10.12. Конденсатор подключен к аккумулятору. Раздвигая пластины конденсатора, мы преодолеваем силы электростатического притяжения между его пластинами и, следовательно, совершаем положительную работу. На что идет эта работа? Что происходит с энергией конденсатора?

10.13. Конденсатор подключен к аккумулятору через электроизмерительный прибор, регистрирующий кратковременные импульсы тока (баллистический прибор). Что покажет прибор: а) в момент включения аккумулятора? б) через некоторое время после включения, если раздвинуть пластины конденсатора?

10.14. Плоский конденсатор, обкладки которого велики по сравнению с расстоянием между ними, присоединен к источнику постоянного напряжения. Изменится ли напряженность электрического поля внутри конденсатора, если заполнить пространство между обкладками диэлектриком?

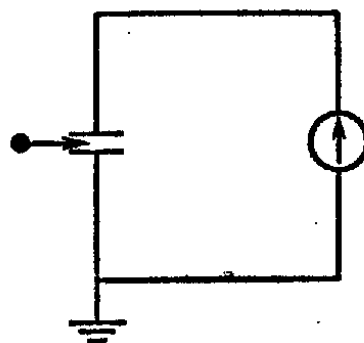


Рис. 117

10.15. Обкладки плоского конденсатора замкнуты на гальванометр (рис. 117). Одна из обкладок заземлена. Между обкладками вводят положительный заряд. Что покажет гальванометр?

10.16. Два металлических шара одинакового радиуса r , заряженные равными по модулю, но противоположными по

знаку зарядами $+q$ и $-q$, помещены далеко друг от друга, т. е. расстояние между их центрами много больше их радиуса. Какова емкость C системы, образованной этими двумя шарами?

10.17. Два металлических шарика радиусами r и R находятся один от другого на расстоянии значительно большем их радиусов. Шарики несут одинаковые электрические заряды q . Каковы будут их заряды, если их соединить проволокой?

10.18. Можно ли измерить электроскопом напряжение в цепи переменного тока?

10.19. На трамвайных линиях в некоторых местах установлены автоматические сигналы «Берегись трамвая». Сигнал зажигается заранее, до того как трамвай подходит, и гаснет, когда трамвай проходит. По какой схеме можно включить этот сигнал?

10.20. Желательно освещать коридор одной лампочкой, подвешенной в его середине, но так, чтобы можно было включать и выключать лампочку в любом конце коридора. При какой схеме включения это может быть осуществлено?

10.21. При вводе в дом осветительной проводки переменного тока с напряжением 220 В от трехфазной сети, в которой между двумя «фазами» существует напряжение 380 В, используют два провода: «нуль» и «фазу», причем воспрещается ставить предохранительные пробки на оба провода, их ставят только на провод, по которому подводится «фаза». Почему?

10.22. Две электрические лампочки мощностью $N = 40$ Вт включены последовательно в сеть с напряжением $U = 120$ В. У одной из лампочек нить вольфрамовая, у другой — угольная. Какая из лампочек будет накалена сильнее?

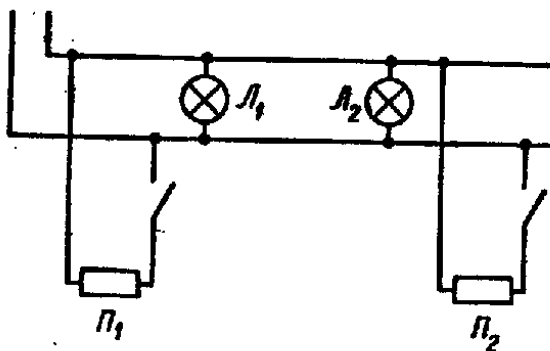


Рис. 118

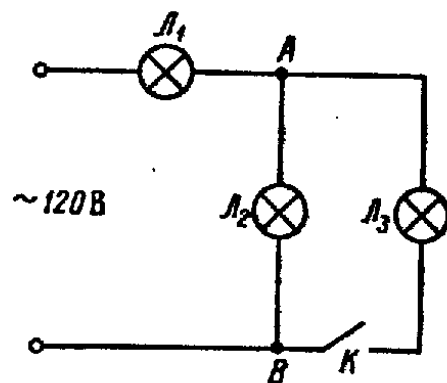


Рис. 119

10.23. Как влияет на накал электрических лампочек L_1 и L_2 в квартире включение и выключение электронагревательных приборов P_1 и P_2 , если эти приборы и лампочки соединены по схеме рис. 118.

10.24. Три лампочки $L_1 - L_3$ включены по схеме рис. 119. Все лампочки одинаковой мощности и рассчитаны на напряжение 120 В. Как изменится ток лампочек L_1 и L_2 , если замкнуть ключ K ?

10.25. Электрический чайник закипает через 15 мин после включения его в сеть. Нагревательный элемент намотан из 6 м проволоки. Как нужно переделать нагревательный элемент, чтобы тот же чайник закипал через 10 мин после включения? Потерями тепла в окружающее пространство пренебречь.

10.26. Определить электрическое сопротивление однородного проволочного каркаса в форме правильного шестиугольника с двумя диагоналями, которые в точке O соединены друг с другом (рис. 120). Напряжение к каркасу подводится в серединах A и B противоположных сторон шестиугольника. Сопротивление каждой стороны шестиугольника R .

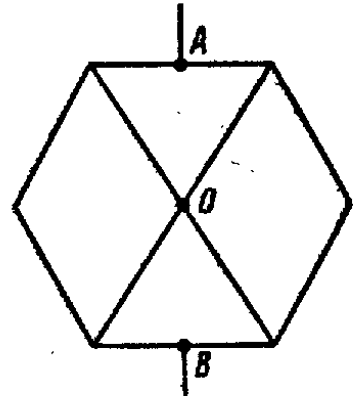


Рис. 120

10.27. Зависит ли сопротивление между точками A и E цепи, показанной на рис. 121, от значения сопротивления R_5 , если известно, что $R_1/R_2 = R_3/R_4$? Чему равно полное сопротивление этой цепи, если кроме приведенного соотношения соблюдается условие $R_2 = R_3$?

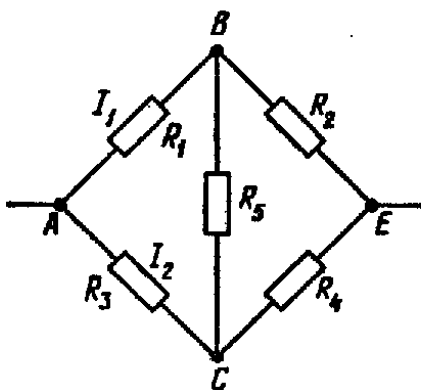


Рис. 121

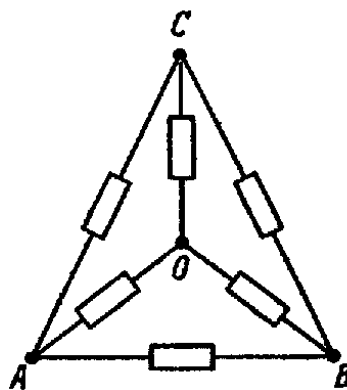


Рис. 122

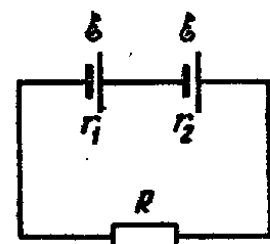


Рис. 123

10.28. Провода соединены по схеме рис. 122. Сопротивление каждого из проводов равно 1 Ом. Чему равно сопротивление R_{AB} между точками A и B ?

10.29. Два элемента с одинаковыми э.д.с. \mathcal{E} и разными внутренними сопротивлениями r_1 и r_2 соединяются последовательно и замыкаются на внешнее сопротивление R (рис. 123). Можно ли подобрать величину R так, чтобы разность потенциалов U_1 на полюсах первого элемента была равна нулю?

10.30. Две лампочки с сопротивлениями при полном накале R_1 и R_2 (причем $R_2 > R_1$) последовательно включают в осветительную сеть. Которая из лампочек светит ярче? В обеих лампочках вольфрамовые нити.

10.31. Может ли случиться, что два последовательно соединенных элемента с э.д.с. \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 и внутренними сопротивлениями r_1 и r_2 , будучи замкнуты на внешнее сопротивление R , дадут ток более слабый, чем один из этих элементов, замкнутый на то же сопротивление?

10.32. Три одинаковых гальванических элемента с э.д.с. \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r каждый соединены по схеме рис. 124. Что покажет вольтметр, присоединенный параллельно одному из элементов в точках A и B ? Изменится ли ответ, если увеличить число гальванических элементов, оставив точки включения A и B вольтметра неизменными? Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.

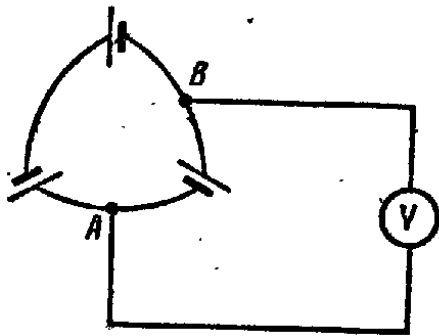


Рис. 124

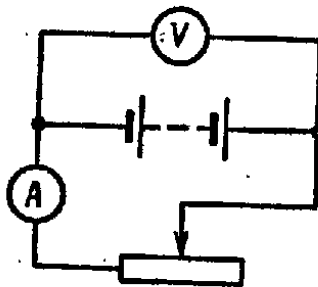


Рис. 125

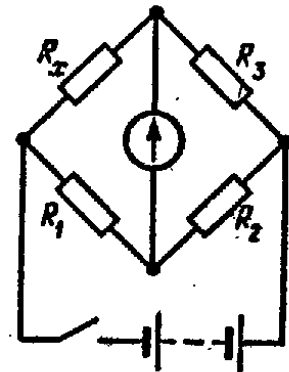


Рис. 126

10.33. Можно ли, включив приборы по схеме рис. 125, определить э.д.с. \mathcal{E} батареи?

10.34. Как на мосте Уитстона измерить сопротивление гальванометра R_g , который обычно включают в диагональ моста (рис. 126), не пользуясь вторым гальванометром?

10.35. При каком условии сила тока в проводнике получается одинаковой при последовательном и при параллельном соединении n одинаковых гальванических элементов?

10.36. Два гальванических элемента с э.д.с. \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 включены в цепь по схеме рис. 127. Сопротивления подобраны так, что амперметр показывает отсутствие тока. Что покажет вольтметр, включенный между точками 1 и 2?

10.37. На двухпроводной линии постоянного тока взяты произвольно две точки A и B на каждом из проводов (рис. 128). Как при помощи вольтметра и магнитной стрелки определить, с какой стороны находится источник напряжения?

10.38. Батарея элементов B , состоящая из $n = 60$ банок аккумуляторов, заряжается от источника постоянного напряжения $U = 115$ В (рис. 129). Зарядный ток должен быть равен $I = 2,5$ А, э.д.с. каждой банки в начале зарядки $\mathcal{E} = 1,2$ В, внутреннее сопротивление каждой банки $r = 0,02$ Ом. Каково должно быть сопротивление R потенциометра, включенного между источником и батареей?

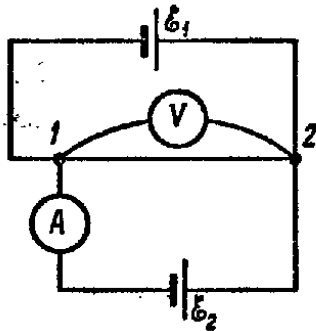


Рис. 127

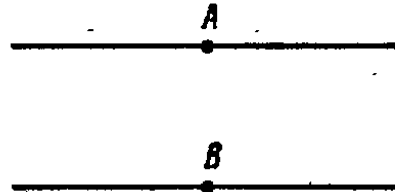


Рис. 128

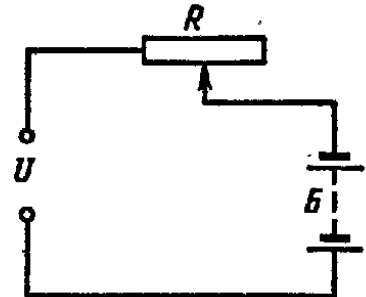


Рис. 129

10.39. Два одинаковых шунтовых электродвигателя включены каждый в цепь с напряжением U . Один двигатель вращается вхолостую, другой совершает некоторую работу. Какой из них быстрее нагреется?

10.40. При питании электропечи ЭП постоянным током нужная температура поддерживается, когда тепловой амперметр показывает ток $I = 5$ А (рис. 130, а). Будет ли поддерживаться та же температура при питании печи пульсирующим током (рис. 130, б), если тот же амперметр показывает тот же ток $I = 5$ А? Что будет, если вместо теплового амперметра включен магнитоэлектрический?

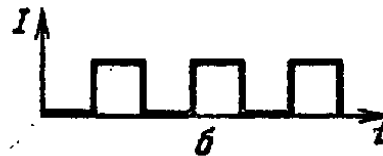
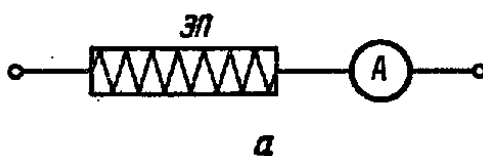


Рис. 130

10.41. Могут ли изменения температуры влиять на показания амперметра и вольтметра?

10.42. Проводники $MACN$ и $MBDN$ одинаковой длины, но с разными электрическими сопротивлениями R_1 и R_2 соединены по схеме рис. 131. Как надо расположить контакты A , B , C и D , чтобы не было тока в проводниках AB и CD ? Пойдет ли ток по AB и CD , если после такого подбора соединить между собой какие-нибудь точки E и F этих проводников?

10.43. К концам графитового стержня, сопротивление которого падает с повышением температуры, приложена постоянная разность потенциалов. Когда выделяемое стержнем тепло будет больше: когда он ничем не покрыт или когда он покрыт асбестом?

10.44. К штепсельной розетке, к которой подведено напряжение трехфазной осветительной сети, подключают цепь, состоящую из двух последовательно соединенных конденсаторов одинаковой емкости. Напряжение с обкладок одного конденсатора подается на одну из пар пластин электронного осциллографа, а напряжение с обкладок другого конденсатора подается на другую пару пластин осциллографа. На экране осциллографа появляется прямая, наклоненная под углом 45° к горизонту. Если теперь заземлить точку A (рис. 132), то картина на экране не меняется. Если заземлить точку B , то прямая на экране становится горизонтальной, а если заземлить точку C , то перегорает предохранитель в штепсельной розетке. Чем все это объясняется?

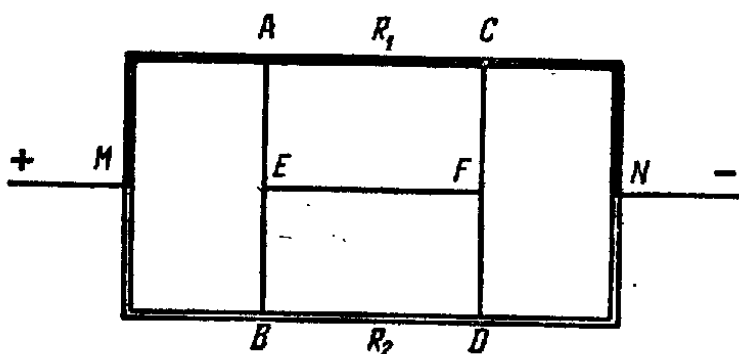


Рис. 131

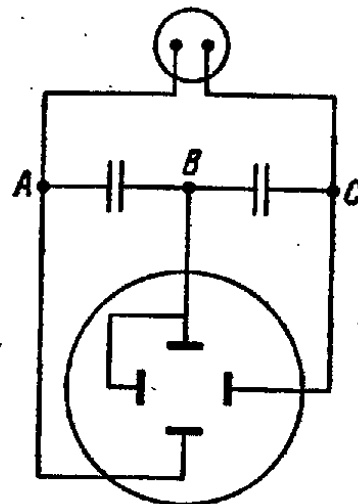


Рис. 132

10.45. Гирлянда елочных фонариков сделана из 40 электрических лампочек от карманного фонаря, соединенных последовательно и питаемых от городской сети. После того как одна лампочка перегорела, оставшиеся 39 лампочек снова соединили последовательно и включили в сеть городского тока. В каком случае в комнате было светлее, когда горело 40 лампочек или 39?

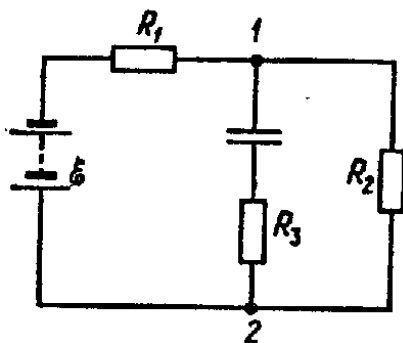


Рис. 133

10.46. Батарея с э. д. с. \mathcal{E} присоединена к цепи, как показано на схеме рис. 133. До какого напряжения U в конце концов зарядится конденсатор? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

10.47. Батарея аккумуляторов замыкается на банку с подкисленной водой. При разряде батареи получается такое количество гремучего газа, что при его сгорании выделяется 35 % энергии, затраченной на зарядку аккумуляторной батареи. Если вместо одной банки с подкисленной водой включить последовательно несколько банок, то, конечно, потребуется большее время, чтобы через них протекло то же количество электричества, как и в случае одной банки. Но количество выделившегося вещества зависит по закону Фарадея только от количества протекшего через электролит электричества. Поэтому через достаточно большой промежуток времени в каждой банке выделится такое же количество гремучего газа, как и в случае включения только одной банки с подкисленной водой. Тогда при сгорании образовавшегося во всех банках гремучего газа выделится энергия, значительно превышающая затраченную на зарядку аккумуляторной батареи. Иначе говоря, будет как будто нарушен закон сохранения энергии. Разъяснить недоразумение.

10.48. Выделение вещества на катоде при электролизе осуществляется положительными ионами. Полный ток в электролите складывается из двух токов: тока положительных ионов I_+ и тока отрицательных ионов I_- , движущихся в противоположных направлениях. Почему же количество вещества, выделяющегося на катоде, рассчитывается по полному току, т. е. по сумме токов I_+ и I_- , а не только по току I_+ ?

10.49. Трамвайная линия питается постоянным током, причем воздушный провод присоединен к положительному полюсу генератора постоянного тока, а рельсы — к отрицательному. Почему не наоборот?

10.50. Электрический ток в металлических проводниках представляет собой движение свободных электронов, сталкивающихся с ионами, из которых построена кристаллическая решетка металла, и отдающих при этом ионам весь импульс, который они приобрели до соударения.

Почему же металлический проводник, по которому идет ток, не испытывает никаких механических сил в направлении движения электронов?

10.51. В каких случаях электроны будут достигать анода с большей скоростью: при включении сетки электронной лампы по схеме *a* или по схеме *б* (рис. 134)?

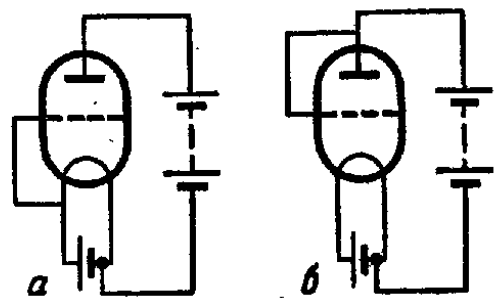


Рис. 134

Рассмотреть два случая: 1) внутренним сопротивлением анодной батареи можно пренебречь, 2) анодная батарея имеет большое внутреннее сопротивление.

10.52. Электронная лампа (диод) включена по схеме рис. 135. Анодный ток лампы $I_a = 0,1$ А, напряжение батареи накала $U_n = 5$ В, сопротивление накаливающей нити $R_n = 5$ Ом. Какой ток покажут амперметры A_1 и A_2 ? Сопротивлением подводящих проводов, батареи накала и амперметров пренебречь.

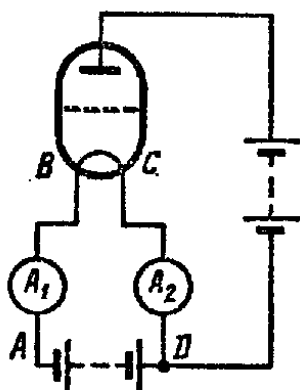


Рис. 135

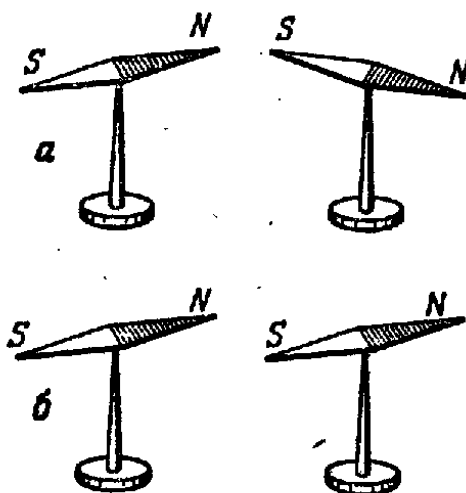


Рис. 136

10.53. Если потерять баллон неоновой лампочки, то можно заметить, что она короткое время светится. Как объяснить это явление?

10.54. Две магнитные стрелки, насаженные на вертикальные острия, расположены так, что их разноименные полюса находятся на небольшом расстоянии друг от друга (значительно меньшем длины стрелок). Если стрелки отклонить в одну сторону на небольшой угол и отпустить (рис. 136, а), то они начинают колебаться с некоторым периодом. Изменится ли период колебаний, если стрелки отклонить не в одну сторону, а в разные стороны (рис. 136, б)?

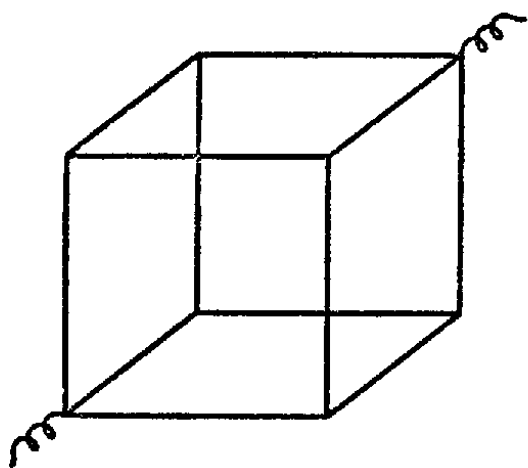


Рис. 137

10.55. Как узнать, намагничена ли пилка от лобзика, не пользуясь никаким другим телом?

10.56. Дан каркас из однородной проволоки в форме куба (рис. 137). К противоположным концам диагонали

куба подводится постоянное напряжение. По ребрам куба текут токи. Чему равна напряженность магнитного поля в центре куба?

10.57. К двум произвольным точкам A и B проволоки, имеющей форму окружности, приложена постоянная разность потенциалов, вследствие чего по дугам AMB и APB (рис. 138) идут токи. Чему равна напряженность магнитного поля в центре окружности?

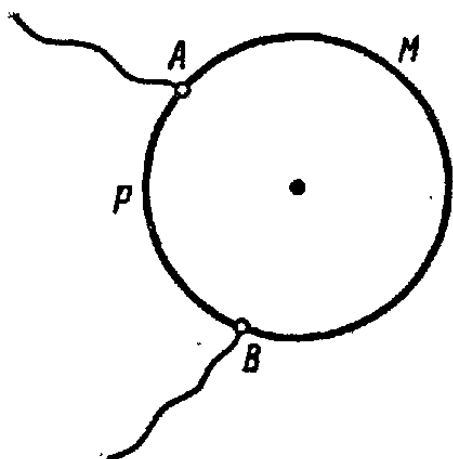


Рис. 138

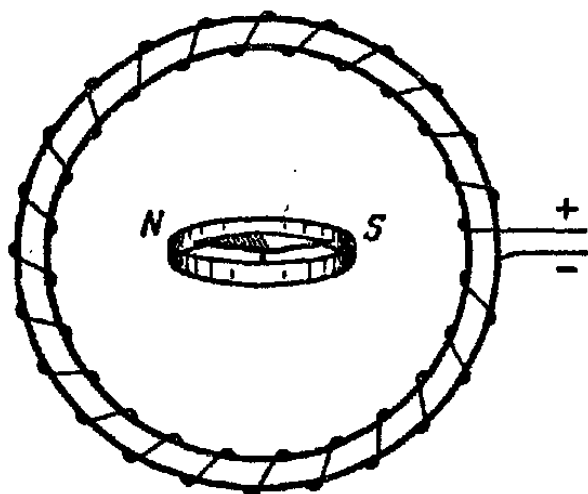


Рис. 139

10.58. Вдоль жесткого провода, по которому пропускается переменный ток от городской сети, расположена мягкая тонкая металлическая нить. В одном случае через нить пропускается также переменный ток от городской сети. В другом случае через нить пропускается постоянный ток. Что будет происходить с нитью в одном и в другом случаях?

10.59. Соленоид в форме тороида расположен в плоскости магнитного меридиана. В центре соленоида помещают компас (рис. 139). Как будет вести себя стрелка компаса, если по соленоиду пустить постоянный ток?

10.60. К вертушке, сделанной из железных проволок, поднесен магнит. Рядом с магнитом под вертушкой поставлена горелка, нагревающая одну из проволочек вертушки (рис. 140). Что будет происходить?

10.61. На рис. 141 дана принципиальная схема действия электромагнитного телеграфа. Расположение приборов на передающей и приемной станциях совершенно одинаковое. Очевидно, что передача

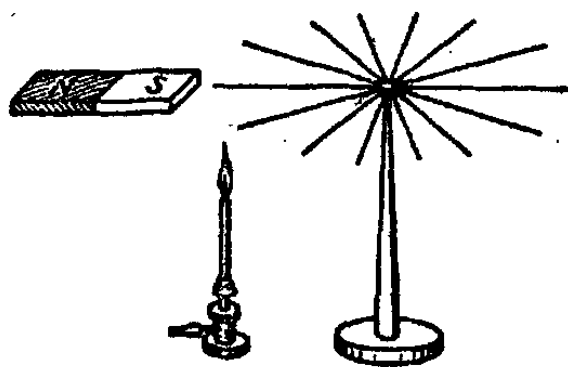


Рис. 140

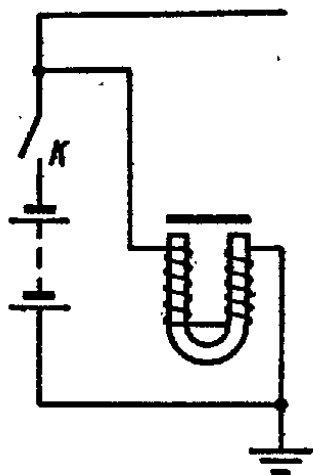


Рис. 141

телеграмм по указанной схеме происходит без оставления их копий на передающей станции, и, кроме того, одновременная передача телеграмм с обеих сторон, навстречу друг другу, невозможна. С помощью дополнительного электромагнита на каждой станции составить схему устройства, в котором устранены оба недостатка, т. е. на передающей станции получается копия переданной телеграммы и, кроме того, возможна одновременная передача телеграмм в обе стороны, навстречу друг другу.

10.62. В вертикальной плоскости подвешено на нити медное кольцо. Сквозь него в горизонтальном направлении вдвигается один раз железный стержень, а другой раз — магнит (рис. 142). Повлияет ли движение стержня и магнита на положение кольца?

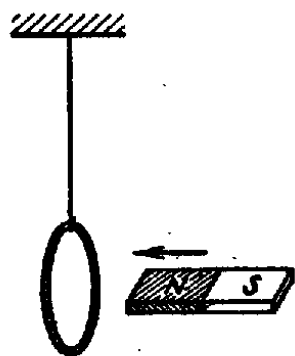


Рис. 142

10.63. По прямолинейному рельсовому пути, изолированному

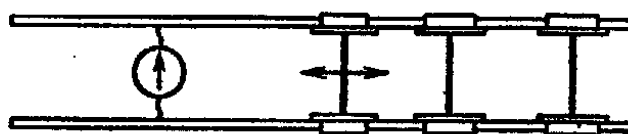


Рис. 143

от земли, равномерно идет поезд. В каком-то месте оба рельса замкнуты на гальванометр (рис. 143). Будут ли изменяться показания гальванометра в зависимости от того, приближается поезд к гальванометру или удаляется от него (для определенности считать, что в обоих случаях поезд находится по одну сторону от гальванометра)?

10.64. Как объяснить опыт Томсона: на железный стержень намотана катушка из большого числа витков медного провода. На сердечник свободно надето массивное кольцо из хорошо проводящего металла (медь). При включении катушки в цепь переменного тока кольцо подскакивает (рис. 144). Будет ли подскакивать кольцо, если включить катушку в цепь постоянного тока?

10.65. Прямой постоянный магнит падает сквозь металлическое кольцо (рис. 145). Будет ли магнит падать с ускорением свободного падения?

10.66. Катушка индуктивности *A* замкнута на вольтметр, а другая катушка *B* подключена к источнику переменного

тока (рис. 146). Как изменится напряжение, индуцируемое в катушке *A* током, идущим в катушке *B*, если между катушками положить большой медный лист?

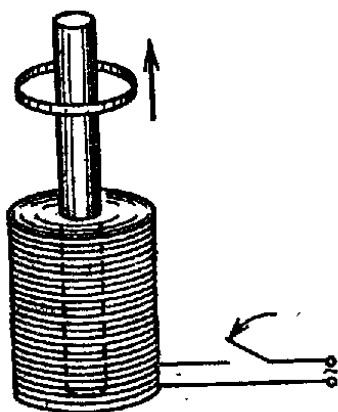


Рис. 144

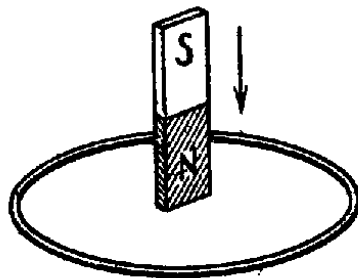


Рис. 145

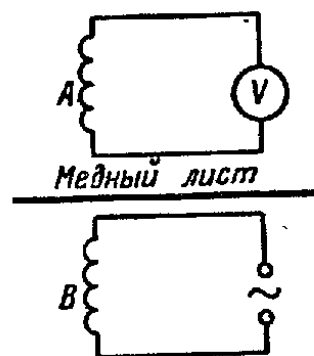


Рис. 146

10.67. Две катушки индуктивности, по которым текут токи, взаимодействуют между собой с определенной силой. Как изменится эта сила, если обе катушки свободно надеть на общий замкнутый железный сердечник, причем все линии индукции магнитного поля проходят внутри сердечника (рис. 147).

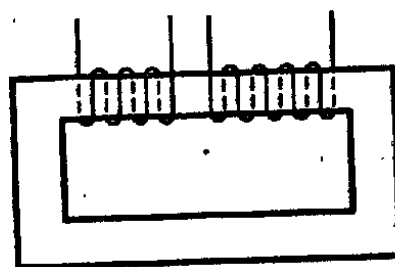


Рис. 147

10.68. Знаменитый английский физик Фарадей в 1831 г. открыл явление электромагнитной индукции. Фарадей долго и тщательно искал это явление, руководствуясь общей идеей о связи явлений электричества и магнетизма.

Одновременно с Фарадеем и независимо от него в этом же направлении работал швейцарский физик Колладон, руководствуясь той же идеей. Опыт Колладона состоял в следующем: концы соленоида соединялись с гальванометром, который для устранения непосредственного влияния магнита*) был вынесен в соседнюю комнату. Колладон вдвигал магнит в соленоид и шел в соседнюю комнату смотреть, что показывает гальванометр. В чем была ошибка Колладона? Почему ему не удалось открыть явление электромагнитной индукции?

10.69. Если водитель трамвая на полном ходу выключит напряжение на входных клеммах мотора и соединит их коротко, то вагон быстро остановится. Чем это объясняется?

*) Во времена Колладона применяли гальванометры, в которых легкая магнитная стрелка подвешивалась внутри катушки. По отклонению стрелки судили о наличии токов в катушке. При такой системе гальванометра неизбежно влияние магнита, перемещаемого вблизи гальванометра.

10.70. На замкнутый железный сердечник надеты две обмотки (рис. 148). Как определить число витков n_1 и n_2 в каждой из обмоток, если в распоряжении имеются источник переменного тока, провода и вольтметры любой чувствительности?

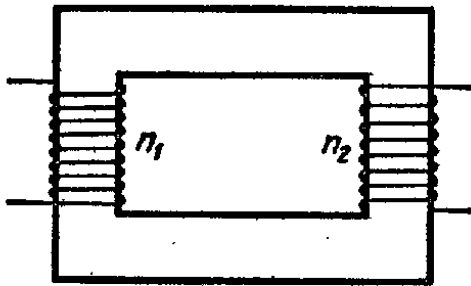


Рис. 148

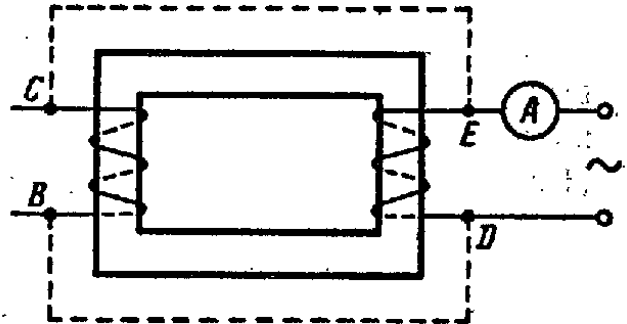


Рис. 149

10.71. Замкнутый железный сердечник имеет две совершенно одинаковые обмотки с омическим сопротивлением гораздо меньшим, чем индуктивное сопротивление. Одна обмотка через амперметр (рис. 149) соединена с источником переменного напряжения. Изменится ли показание амперметра, если концы второй обмотки B и C соединить с точками D и E первой обмотки так, чтобы магнитные потоки обеих обмоток были направлены одинаково?

10.72. Если электромагнит телефонной трубки питать переменным током, то мембрана телефонной трубки должна колебаться с двойной частотой, так как притяжение мембраны не зависит от направления тока, возбуждающего магнитное поле. Поэтому создаваемые микрофоном переменные токи должны были бы вызывать колебания мембраны с двойной частотой по сравнению с частотой передаваемых звуков. Вследствие этого каждый ток превращался бы в тон удвоенной частоты, т. е. искажался бы. Как устраняются эти искажения в телефоне?

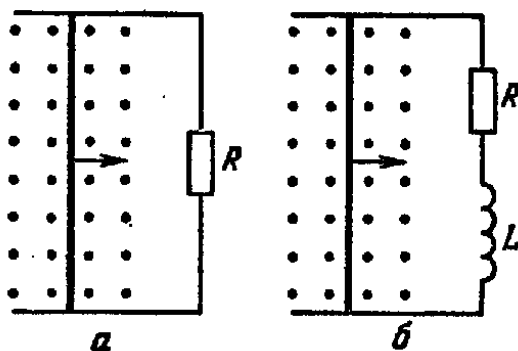


Рис. 150

10.73. Прямолинейный проводник начинает двигаться с возрастающей скоростью, пересекая линии индукции однородного магнитного поля, направленного перпендикулярно плоскости чертежа. В одном случае концы проводника замкнуты на омическое сопротивление R (рис. 150, а). В другом случае последовательно с таким же омическим сопротивлением R включена катушка индуктивностью L (рис. 150, б). Во что

в обоих случаях превращается работа, затрачиваемая на перемещение проводника? В каком из этих двух случаев при одинаковом перемещении будет совершена большая работа?

11. ОПТИКА

11.1. Вилка освещается пламенем свечи и дает тень на стене. При вертикальном положении вилки тень отчетливо воспроизводит форму ее зубцов, а при горизонтальном положении вилки тень размыта и зубцов почти не видно (рис. 151). Почему?

11.2. На некотором расстоянии l от точечного источника света S помещен экран \mathcal{E} . Какова будет освещенность E в центре экрана, если по другую сторону от источника на таком же расстоянии l поставить плоское зеркало 3 (рис. 152)? Сила света точечного источника равна I .

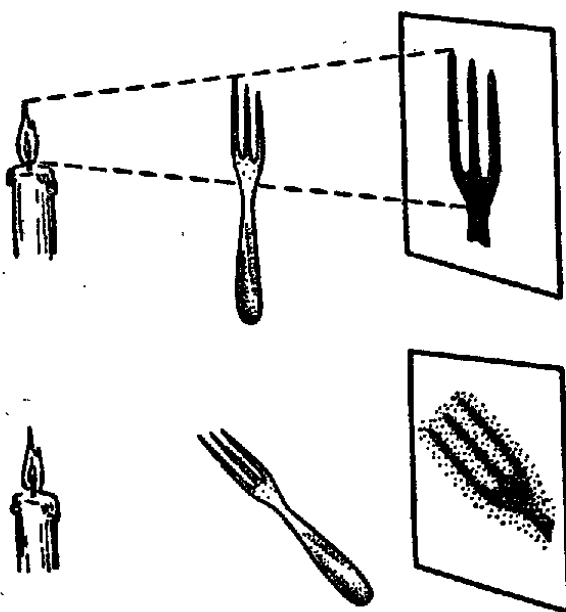


Рис. 151

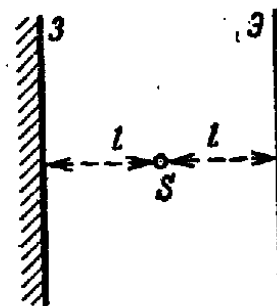


Рис. 152

11.3. Почему, глядя на ряд фонарей, расположенных вдоль длинной улицы, мы видим их одинаково яркими, хотя расстояния от глаза до фонарей неодинаковы?

Почему, если рассматривать тот же ряд фонарей в тумане, яркость их будет казаться постепенно уменьшающейся?

11.4. Какого наименьшего размера должно быть плоское зеркало, чтобы, став перед ним, человек увидел себя во весь рост?

11.5. Фотограф с помощью раздвижной фотокамеры сфотографировал человека, а затем фотографирует плывущие по небу облака. Должен ли он уменьшить или увеличить растяжение фотокамеры?

11.6. Светящаяся точка находится между двумя плоскими, параллельными друг другу зеркалами. Сколько изображений светящейся точки будет в зеркалах?

11.7. Светящаяся точка находится между двумя плоскими зеркалами, расположенными взаимно перпендикулярно. Сколько изображений точки видно в зеркалах?

11.8. Попробуйте расположить два плоских зеркала так, чтобы при любом угле падения луч падающий и луч, последовательно отразившийся от двух зеркал, были параллельны друг другу.

11.9. Попробуйте расположить три зеркала так, чтобы все они пересекались и чтобы при любом угле падения луч падающий и луч, последовательно отразившийся от трех зеркал, были параллельны друг другу.

11.10. В какой среде лучи света могут быть криволинейными?

11.11. Наблюдается солнечное затмение. В некоторый момент край Солнца, край Луны и глаз наблюдателя находятся на одной прямой. Как

скоро после этого наблюдатель увидит первые солнечные лучи?

11.12. Солнце при восходе часто кажется сплюснутым. Почему?

11.13. Сбоку от зеркала 3 в точке A стоит человек (рис. 153), второй человек приближается к зеркалу по перпендикуляру BC , проходящему через середину зеркала. Размер зеркала равен $2CO = OD = DA = l = 1$ м. На каком расстоянии x от зеркала

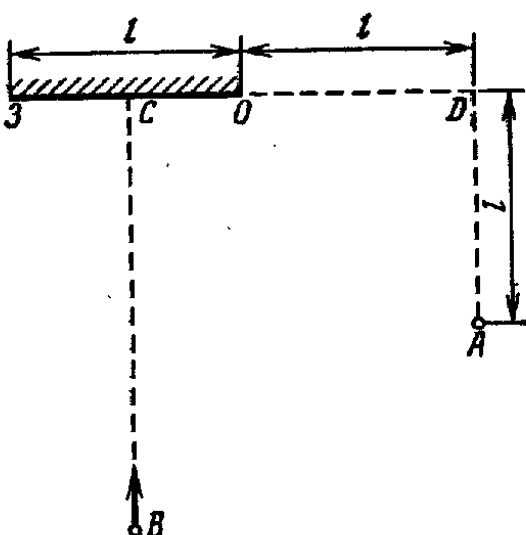


Рис. 153

будет находиться второй человек в момент, когда оба увидят друг друга в зеркале?

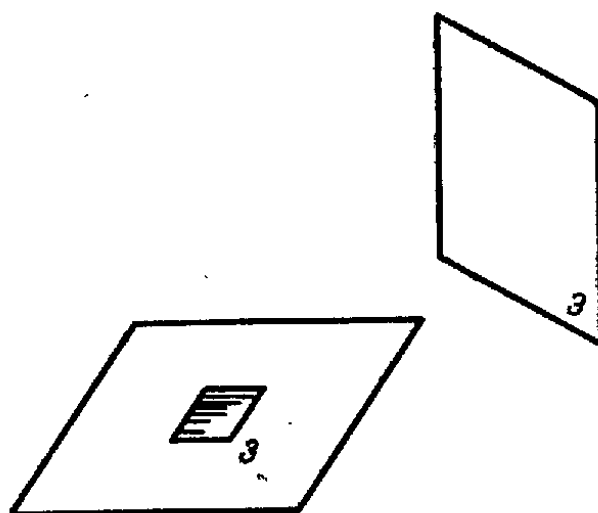


Рис. 154

11.14. Квадратное зеркало $З$ лежит на столе. Какую форму будет иметь солнечный зайчик от него на вертикальном, достаточно далеко расположенном экране $Э$ (рис. 154)?

11.15. Какую форму должна была бы иметь передняя поверхность роговицы глаза воображаемого животного, которое одинаково хорошо видело бы удаленные предметы в воздухе и под водой без дополнительной аккомодации?

11.16. С помощью двояковыпуклой линзы L получают на экране $Э$ изображение свечи AB . Как изменится это изображение, если линзу закрыть наполовину картоном K (рис. 155)?

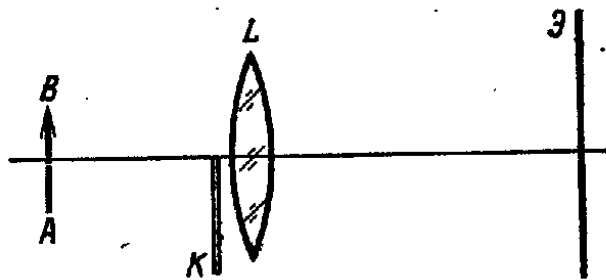


Рис. 155

11.17. Между источником света и экраном находится двояковыпуклая линза с фокусным расстоянием F . Расстояние от источника до экрана меньше $4F$. Известно,

что при этих условиях нельзя получить на экране изображения источника ни при каком положении линзы. Как с помощью простых средств, не двигая ни линзы, ни экрана, получить изображение источника на экране?

11.18. Как можно получить действительное изображение в воздухе при помощи двояковогнутой стеклянной линзы?

11.19. Чтобы яснее видеть под водой, пловец надевает выпуклые очки из сильно преломляющего стекла. Помогут ли такие очки пловцу, если они надеты под маской со стеклом, герметически закрывающей лицо пловца?

11.20. Как расположить двояковыпуклую сферическую линзу и сферическое вогнутое зеркало, чтобы лучи света, идущие от точечного источника, расположенного на общей оптической оси линзы и зеркала, пройдя через линзу и отразившись от зеркала, создали изображение источника в точке, где находится сам источник света?

11.21. На каком расстоянии от двояковыпуклой сферической линзы с фокусным расстоянием F_1 надо поставить двояковогнутую сферическую линзу с фокусным расстоянием F_2 , чтобы эта система линз с общей оптической осью стала телескопической?

11.22. В каком месте на главной оптической оси двояковыпуклой линзы надо поместить точечный источник света, чтобы его изображение оказалось в главном фокусе?

11.23. Луч света падает на однородный прозрачный шар и проникает в него. Проходя внутри шара, он достигает в точке A поверхности раздела шар — воздух (рис. 156).

Может ли в этой точке произойти полное внутреннее отражение?

11.24. На рис. 157 изображен путь луча света BC после преломления в двояковыпуклой линзе L с главным фокусом F и оптической осью OO . Найти построением ход этого луча до линзы.

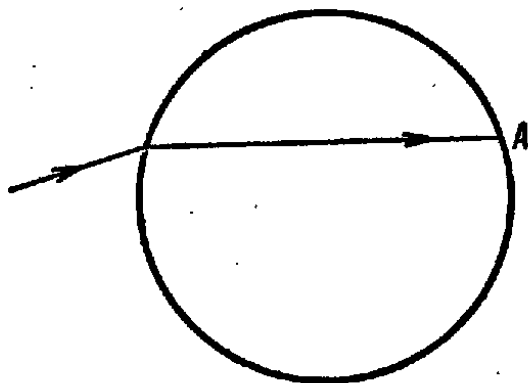


Рис. 156

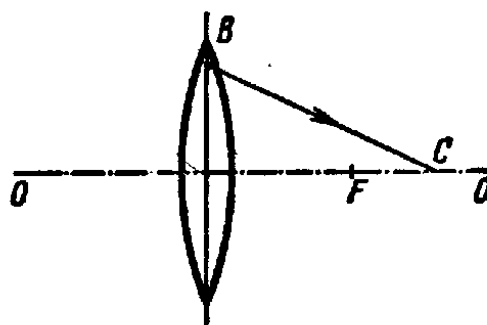


Рис. 157

11.25. С помощью линзы, оптическая ось которой OO , было получено изображение B точки A (рис. 158). Где расположена линза, какая это линза и где находятся ее фокусы?

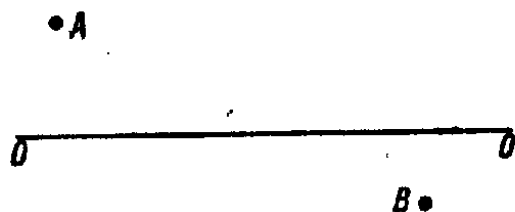


Рис. 158

11.26. Как нужно расположить две собирающие линзы, чтобы пучок параллельных лучей, пройдя через обе линзы, стал снова параллельным?

11.27. Где на оптической оси собирающей линзы должен находиться точечный источник света, чтобы ни из одной точки нельзя было одновременно увидеть источник и его изображение?

11.28. Плоскопараллельную пластинку разрезали, как показано на рис. 159, а, после чего получившиеся линзы раздвинули. Что будет с пучком параллельных лучей, падающих на

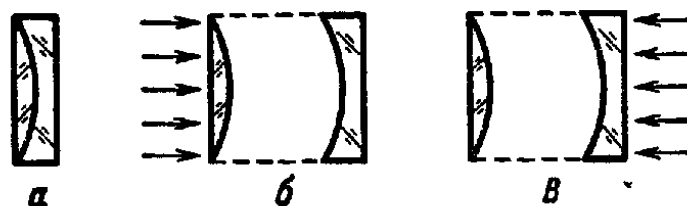


Рис. 159

получившуюся систему: со стороны собирающей линзы (рис. 159, б), со стороны рассеивающей линзы (рис. 159, в)?

Рассмотреть случаи, когда расстояния между линзами больше и меньше фокусного.

11.29. Широкий параллельный пучок света, в состав которого входят лучи двух спектральных цветов, распространяется в некоторой жидкости. Как отделить лучи разных цветов один от другого при помощи тонкой прозрачной плоскопараллельной пластинки, если коэффициент преломления у вещества пластинки меньше, чем у жидкости и значения его для лучей обоих цветов различны?

11.30. В романе Герберта Уэллса «Человек-невидимка» герой романа изобрел особый состав и, выпив его, стал совершенно прозрачен для световых лучей, а потому невидим. Сам же человек-невидимка видит все окружающее, оставаясь невидимым. Может ли такой человек видеть?

11.31. Почему окна домов днем кажутся темными, т. е. темнее наружных стен, даже если стены выкрашены темной краской?

11.32. Почему сухой песок светлый, а влажный песок кажется темным?

11.33. Если смотреть на разноцветную светящуюся рекламу (например, из газоразрядных трубок), то красные буквы всегда кажутся выступающими вперед по отношению к синим или зеленым. Чем это объяснить?

11.34. Чтобы защитить себя от жара раскаленной печи, выгодно поместить перед ней лист стекла, а не лист эбонита, так как стекло мало прозрачно для тепловых (инфракрасных) лучей, а эбонит для них прозрачен. Почему же парники покрывают стеклом, а не эбонитом?

11.35. Солнечные лучи собираются при помощи вогнутого зеркала и направляются в замкнутую полость через маленькое отверстие в ней (рис. 160).

Стенки полости не проводят тепла. Можно ли, увеличивая как угодно размеры зеркала, неограниченно повышать температуру внутри полости?

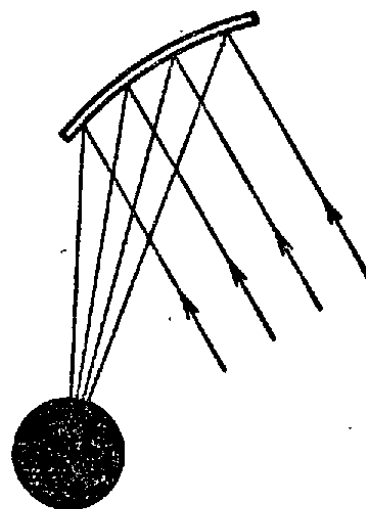


Рис. 160

1. КИНЕМАТИКА

1.1. Так как первый пассажир определил, что скорость поезда равна 31,2 км/ч, то, следовательно, за 3 мин = 0,05 ч поезд прошел расстояние $31,2 \cdot 0,05 = 1,56$ км = 1560 м. Ясно, что это расстояние пассажир получил, умножив 10 на 156, а ему следовало умножить 10 на 155, ибо первый рельс пройден к моменту второго стука. Второй пассажир определил скорость поезда в 32 км/ч. Значит, по его подсчету за 3 мин поезд прошел расстояние $32 \cdot 0,05 = 1,6$ км = 1600 м. Видимо, второй пассажир умножил 50 на 32, тогда как ему следовало умножить на 31, ибо первый отрезок пути в 50 м пройден к моменту появления второго столба. Значит, оба пассажира ошиблись, начав счет рельсов и столбов не от нуля, а от единицы. Истинная скорость поезда была $155 \times 10/0,05 = 31\,000$ м/ч = 31 км/ч или $50 \cdot 31/0,05 = 31\,000$ м/ч = 31 км/ч.

1.2. Пароход, вышедший из порта *A*, встретит, во-первых, те вышедшие из порта *B* пароходы, которые уже находятся в пути, и, во-вторых, те, которые выйдут из *B* за время пути. В момент выхода парохода из *A* в пути находятся 12 пароходов, считая тот, который вышел в этот момент из *B* (но не считая того, который в этот момент прибыл в *A*). Кроме того, за 12 суток пути парохода, вышедшего из *A*, из *B* выйдет 11 пароходов (не считая того, который выйдет из *B* в момент прибытия парохода из *A*). Таким образом, в открытом море каждый пароход встретит $12 + 11 = 23$ парохода.

Решение может быть пояснено графиком движения пароходов (рис. 161). Отложим по оси ординат расстояние между портом *A* и портом *B*, а по оси абсцисс — время пароходов в пути и построим графики движения каждого парохода, вышедшего из порта *B*, и одного парохода, вышедшего из *A*.

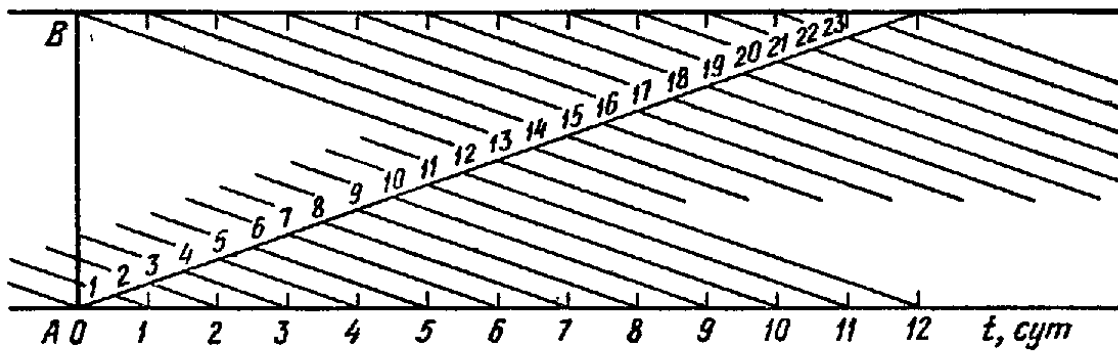


Рис. 161

По пересечениям этих линий сразу видно, что каждый пароход встретит 23 парохода в открытом море, и, кроме того, произойдут встречи: в порту A — в момент отплытия и в порту B — в момент прибытия.

1.3. Пусть искомое время равно t секунд. Тогда автомобиль успеет проехать за это время расстояние, равное vt . За это же время смещение изображения должно быть не более 0,1 мм. Отношение этих величин должно, очевидно, равняться отношению длины автомобиля к размеру его изображения, т. е. $L/l = 300/1,5 = 200$. Следовательно,

$$t \frac{36 \cdot 10^3}{3600} : 0,0001 = 200,$$

отсюда

$$t = \frac{200 \cdot 0,01}{10^3} = 0,002 \text{ с.}$$

1.4. Обычно на этот вопрос отвечают, что средняя скорость автомобиля равна 35 км/ч. Но это неверно. Так было, если бы автомобиль двигался одинаковые промежутки времени с каждой из скоростей. Однако из условия задачи ясно, что одно и то же расстояние s (туда и обратно) автомобиль проходит за разные времена t_1 и t_2 , так как $s = v_1 t_1 = v_2 t_2$. Поэтому $s = 40 t_1 = 30 t_2$, откуда

$$t_1 = (3/4) t_2.$$

Средняя скорость равна

$$v_{\text{ср}} = \frac{2s}{t_1 + t_2} = \frac{60 t_2}{(3/4) t_2 + t_2} \approx 34,3 \text{ км/ч.}$$

1.5. Пусть мальчик бросает n мячей в секунду. Тогда время полета каждого мяча вверх $t = (1/n)$ секунд. Время полета мяча вверх равно времени его падения. Но расстояние и время падения связаны между собой соотношением $h = gt^2/2 = g/2n^2$. Следовательно, высота, на которую подни-

маются мячи, равна

$$h = g/(2 \cdot 2^2) \approx 9,8/8 \approx 1,23 \text{ м.}$$

1.6. Уравнение движения камня: $h = gt^2/2$, откуда $t = \sqrt{2h/g}$. По условию задачи $\sqrt{2h/g} - \sqrt{s/g} = 1$, откуда

$$h = g/(\sqrt{2} - 1)^2 \approx 63 \text{ м.}$$

1.7. Оба камня движутся относительно Земли равноускоренно с одинаковым постоянным ускорением g . Очевидно, один камень относительно другого движется равномерно, причем постоянная скорость первого камня по отношению ко второму равна той скорости, которую первый камень приобрел за 1 с, т. е. за время, прошедшее между начальными моментами движения обоих камней.

Нетрудно провести и соответствующий расчет. Путь первого камня определяется уравнением $h_1 = gt^2/2$, путь второго — уравнением $h_2 = g(t - 1)^2/2$. Расстояние между камнями растет со временем по закону

$$h_1 - h_2 = gt - g/2 = g(t - 1/2),$$

т. е. первый камень движется относительно второго равномерно с постоянной скоростью, численно равной g .

1.8. Под действием постоянной силы F скорость тела растет по закону $v = v_0 + at$, где v_0 — начальная скорость тела, a — его ускорение (график скорости v — прямая 1 на рис. 162). Если сила F начнет уменьшаться, движение все же будет оставаться ускоренным, скорость будет продолжать нарастать, но так как модуль ускорения $a = F/m$ будет тоже уменьшаться, то уменьшится нарастание скорости. График скорости изобразится теперь кривой 2 на том же рис. 162. Когда сила F , постепенно уменьшаясь, станет равной нулю, скорость достигнет постоянного значения. Движение станет равномерным. График скорости приблизится к горизонтальной прямой.

1.9. Самолеты движутся друг относительно друга со скоростью, равной сумме скоростей обоих самолетов, т. е. со скоростью $v = 400$ м/с. Промежуток времени между двумя выстрелами равен $t = 1/900$ мин $= 1/15$ с. Расстояние между пулевыми отверстиями должно быть равно относительному перемещению самолета 2 за это время, т. е.

$$s = vt = 400/15 \approx 27 \text{ м.}$$

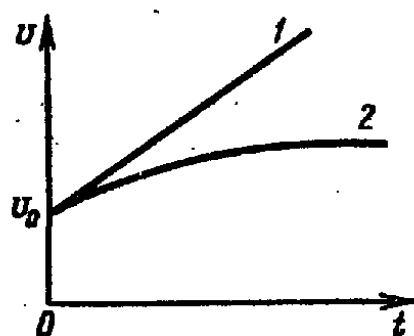


Рис. 162

Если длина фюзеляжа самолета не превышает 27 м, то при указанных условиях стрельбы более чем одна пуля обычно в самолет попасть не может.

Если учитывать сопротивление воздуха, то каждой пуле потребуется большее время, чтобы попасть в самолет 2. Однако все пули будут запаздывать на одно и то же время. Поэтому промежуток времени между попаданием двух вылетающих друг за другом пуль остается по-прежнему равным $1/15$ с и расстояние между пулевыми отверстиями по-прежнему должно быть равно 27 м.

1.10. Допустим, шару сообщена скорость, равная v . Разложим ее на составляющие по направлениям сторон бильярда и рассмотрим путь шара, например такой, как указано на рис. 163. Запишем два уравнения, очевидные из чертежа:

$$(2a - c)/t = v \cos \alpha, \quad 2b/t = v \sin \alpha.$$

Из этих уравнений получаем

$$\operatorname{ctg} \alpha = (2a - c)/2b,$$

т. е. находим угол α , под которым надо направить шар, чтобы попасть в лузу B.

1.11. У всех шаров составляющие скорости, параллельные короткому борту бильярда, в начальный момент времени одинаковы. При отражении от коротких бортов значение этих составляющих не меняется, и, следовательно, так как ширина бильярдов одинакова, все три шара достигнут другого борта бильярда одновременно (независимо от того, ударились ли они прежде о короткие борта или нет). При ударе о другой, длинный, борт рассматриваемая составляющая скорости

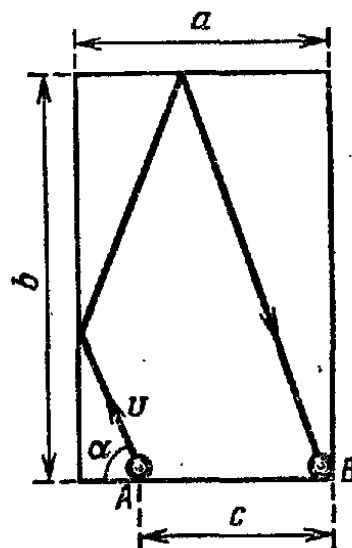


Рис. 163

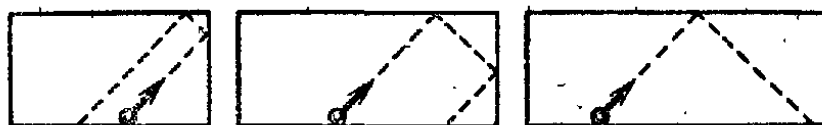


Рис. 164

изменяет направление, но ее модуль остается постоянным, следовательно, к тому борту, от которого они были посланы, все шары вернутся одновременно (рис. 164).

1.12. Скорость наполнения ведра водой (т. е. масса жидкости, попадающая в ведро в единицу времени) не изменится, так как, хотя площадь сечения падающего потока

дождя уменьшается: $S_1 = S \cos \alpha$ (рис. 165, а), скорость каплей дождя не только изменит направление, но и соответственно возрастет до значения $v_1 = v / \cos \alpha$ (рис. 165, б). Иначе говоря, скорость наполнения ведра водой зависит только от вертикальной составляющей скорости каплей, которую ветер не изменяет.

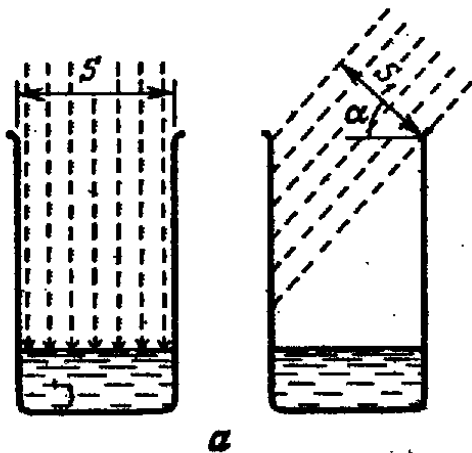


Рис. 165

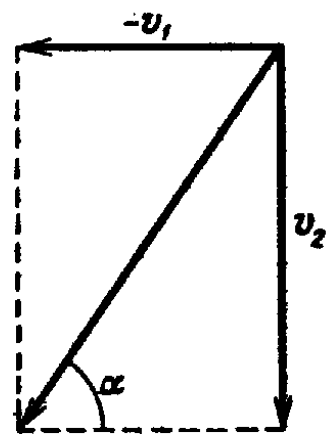
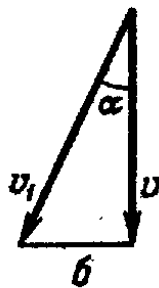


Рис. 166

1.13. Мы можем вместо движения тележки относительно капли вправо рассматривать движение капли относительно тележки влево с той же по модулю, но противоположно направленной скоростью $-v_1$. При этом результирующая скорость капли будет складываться из двух взаимно перпендикулярных скоростей: v_2 и $-v_1$ (рис. 166). По условию задачи требуется, чтобы эта результирующая скорость была параллельна оси трубы, т. е. составляла с горизонтом угол α , определяемый соотношением $\operatorname{tg} \alpha = v_2 / v_1 = 3$. Отсюда получаем искомый угол $\alpha \approx 71^\circ 35'$.

1.14. По отношению к ковшу (который плывет по течению) скорость лодки вверх и вниз по реке должна быть одинакова. Значит, до встречи с ковшем лодочник возвращался также 40 мин. Далее, скорость лодки относительно берега вниз по течению равна 25 м/мин (так как за 40 мин она прошла 1 км до точки А). После встречи с ковшем лодка шла вниз по течению 24 мин, значит, место встречи находится на 600 м выше точки А или на 400 м ниже места падения ковша в воду. Таким образом, за 80 мин, прошедших с момента падения ковша в воду до момента встречи, ковш проплыл 400 м, т. е. скорость течения равна 5 м/мин, а скорость лодки относительно воды 20 м/мин.

1.15. Это явление наблюдается, если частота смены кадров киноленты близка к частоте вращения колес автомобиля, но несколько больше ее: тогда за время смены кадров колесо успевает сделать несколько меньше полного оборота.

Например, в случае, изображенном на рис. 167, за время смены кадра колесо делает $3/4$ оборота против часовой стрелки. Нам же кажется, что оно делает за то же время $1/4$ оборота по часовой стрелке. Если за время смены кадров киноленты колесо успевает сделать полный оборот, нам будет казаться, что оно неподвижно.

1.16. Если диск стробоскопа, имеющего два отверстия, делает n оборотов в секунду, то общее число вспышек в секунду будет $2n$, а промежуток времени между двумя вспышками $t_1 = 1/2n$.

Скорость капель в том месте, где они освещаются стробоскопом, равна

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 980 \cdot 22,5} = 210 \text{ см/с} = 2,1 \text{ м/с}.$$

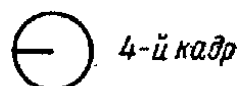
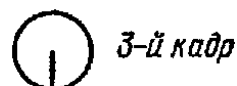
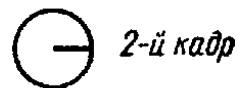
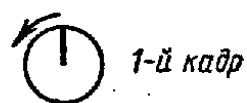


Рис. 167

Так как скорость капель велика, а расстояние между каплями мало ($s = 2$ см), то мы можем считать, что это расстояние капля пролетает с постоянной скоростью. Тогда время, за которое капля пройдет путь s , равно $t_2 = s/v = 2/210$ с.

Если капли кажутся неподвижными, то $t_2 = t_1$, т. е. $1/2n = 2/210$. Отсюда получаем искомую частоту вращения диска:

$$n = \frac{210}{4} = 52,5 \text{ об/с}.$$

Если за время между двумя вспышками капли успевают пройти путь, равный удвоенному, утроенному и т. д. расстоянию между ними, то они также будут освещаться в одинаковых положениях и казаться неподвижными. Следовательно, число оборотов диска может быть выбрано и в целое число раз меньшим, чем 52,5 об/с. Однако чем меньше число оборотов диска, тем большее время (при данной ширине щели) будет освещаться каждая капля и тем заметнее будет ее перемещение в течение этого времени. Поэтому картина будет становиться менее четкой.

1.17. Мы увидим светящийся круг там, где освещенные отверстия успевают сменить друг друга за время, меньшее или равное $1/16$ с. Так как отверстия отстоят друг от друга на расстояние $s = 1$ см, то, следовательно, их скорость должна быть равна $v = s/t = 16$ см/с. Таким образом, мы увидим сплошной светящийся круг там, где линейная скорость вращающегося диска $v \geq 16$ см/с. Из соотношения между линейной и угловой скоростями $v = \omega r = 2\pi n r$, находим

$$r \geq \frac{16 \cdot 60}{2\pi \cdot 30} = 5,1 \text{ см},$$

т. е. светящиеся отверстия сольются в сплошной круг на расстоянии $r \geq 5,1$ см от центра диска.

1.18. Равномерное качение обруча без скольжения по горизонтальной плоскости можно рассматривать следующим образом. Пусть заданы два любых его положения. Тогда из одного положения в другое обруч можно перевести так: поступательно переместить обруч из первого положения во второе со скоростью центра масс обруча и равномерно повернуть вокруг него с такой же линейной скоростью, чтобы все точки обруча заняли места, соответствующие второму его положению (рис. 168). Так как это верно для двух любых положений обруча, то это справедливо и для двух как угодно

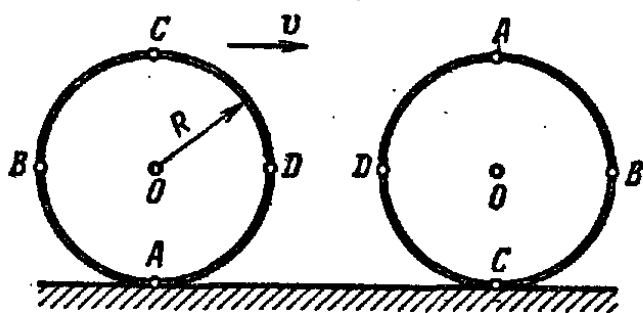


Рис. 168

близких положений. Следовательно, мы можем рассматривать равномерное качение без скольжения как совокупность одновременно происходящих двух движений: равномерного поступательного движения со скоростью центра масс и рав-

номерного вращения вокруг центра масс обруча с той же линейной скоростью точек на окружности обруча. Но при равномерном поступательном движении нет никакого ускорения, а при равномерном вращении вокруг центра у всех точек обруча одно и то же центростремительное ускорение, равное v^2/R .

1.19. Когда цилиндр катится без скольжения по горизонтальной плоскости, то его образующая, касающаяся плоскости, неподвижна в данный момент, а сам цилиндр вращается вокруг этой неподвижной прямой. Очевидно, что в этом случае образующая, касающаяся доски, движется вперед со скоростью, вдвое большей той, с которой движется ось цилиндра. Поэтому, когда человек, толкая доску, пройдет путь, равный длине доски, то цилиндр уйдет вперед на расстояние, равное половине длины доски. Таким образом, чтобы дойти до цилиндра, человек должен пройти расстояние, равное $2l$.

Это легко проверить с помощью круглого карандаша и линейки.

1.20. Чтобы обруч катился по плоскости без скольжения, его центр масс должен двигаться с такой же скоростью, с какой движется точка касания обруча и плоскости. Линейная скорость этой точки $v_2 = \omega R$. Следовательно, чтобы не

возникало скольжение, должно выполняться равенство $v_2 = v_1$, или $\omega = v_1/R$.

1.21. Когда колесо катится, то оно в каждый момент времени поворачивается вокруг точки касания с землей. Поэтому линейные скорости верхних спиц больше линейных скоростей нижних спиц, расположенных ближе к неподвижной в данный момент точке.

1.22. Самолет должен вылететь в полдень и лететь противоположно направлению вращения Земли, т. е. с востока на запад, со скоростью, равной линейной скорости Земли на широте Ленинграда. Угловая скорость вращения Земли

$$\omega = 2\pi/24 = \pi/12 \text{ рад/ч.}$$

Линейная скорость на широте Ленинграда равна (рис. 169)

$$v = r\omega = R\omega \cos \varphi = \frac{R\omega}{2} = 6300 \frac{\pi}{12} \cdot \frac{1}{2} = 833 \text{ км/ч.}$$

Двигаясь с такой скоростью с востока на запад, летчик будет видеть Солнце все время в том направлении, в каком оно было видно из Ленинграда, т. е. на юге.

1.23. Первый дуэлянт должен учитывать, что за время полета его пули второй дуэлянт переместится в другое положение. Время полета пули первого дуэлянта не зависит от

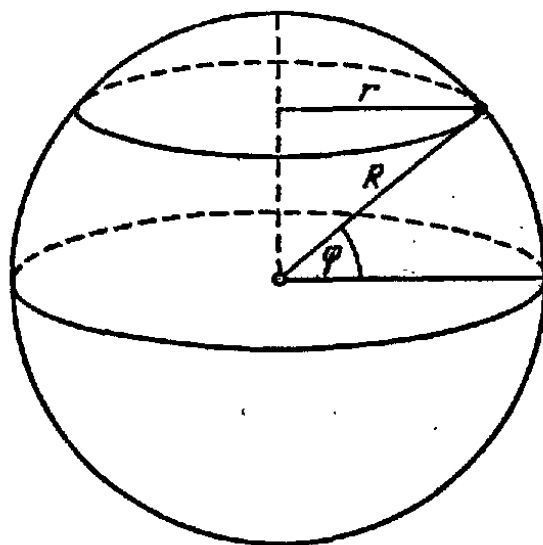


Рис. 169

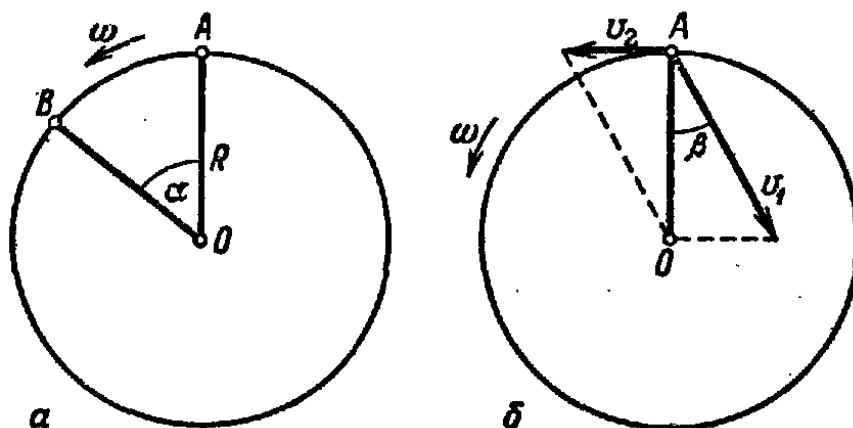


Рис. 170

вращения карусели: $t_1 = R/v_1$. За время t_1 карусель повернется и точка A переместится в B (рис. 170, а), т. е. на расстояние, равное длине дуги AB: $s = \omega R t_1$, поэтому первому дуэлянту

надо стрелять не по направлению OA , а по направлению OB . Угол α находится из условия $\alpha = \omega R t / v_1 t = \omega R / v_1$. Второй дуэлянт, стоящий на краю карусели, движется со скоростью $v_2 = \omega R$, поэтому скорость его пули складывается из двух скоростей: v_1 и v_2 . Чтобы попасть в центр карусели, он должен стрелять тоже не по направлению AO , а под некоторым углом β , который находится из условия $\sin \beta = \omega R / v_1$ (рис. 170, б). Пока $v_2 \ll v_1$, $\beta \approx \omega R / v_1$, т. е. оба дуэлянта должны прицеливаться одинаково, на один и тот же угол влево от противника (при указанном на рисунке направлении вращения карусели). Однако с увеличением ωR должен расти угол β и результирующая скорость пули будет уменьшаться, а значит, будет уменьшаться и возможность поражения первого дуэлянта.

При $\omega R = v_1$ $\sin \beta = 1$, т. е. второй дуэлянт должен был бы прицеливаться в направлении, противоположном направлению скорости его движения v_2 . Но при этом результирующая скорость пули была бы равна нулю.

Время полета пули второго дуэлянта t_2 зависит от скорости вращения карусели:

$$t_2 = \frac{R}{v_1 \cos \beta} = \frac{R}{v_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \omega^2 R^2 / v_1^2}} = \frac{1}{\sqrt{v_1^2 / R^2 - \omega^2}}.$$

При $\omega R = v_1$ получается, что время $t_2 = \infty$, т. е. пуля дуэлянта, стоящего на краю карусели, «повисает» в воздухе в точке A , и он подъезжает под свою собственную пулю (в этом случае, как мы убедились выше, результирующая скорость пули равна нулю).

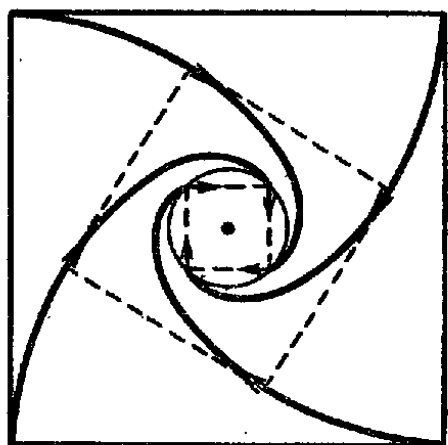


Рис. 171

При $\omega R > v_1$ результирующая скорость вообще не может быть направлена в точку O , т. е. первый дуэлянт не может быть поражен пулями второго. Первый же может поразить второго, если он правильно выбрал угол α .

1.24. В любой точке траектории скорость направлена по касательной к траектории в ту точку, где в данный момент находится преследуемая собака, так как собака, преследуя другую, не спускает с нее глаз и старается нагнать ее по кратчайшему пути (рис. 171). Поэтому их пути будут одинаково криволинейны и собаки одновременно достигнут окружности. Точки окружности, к которым

одновременно прибегают собаки, будут вершинами квадрата, вписанного в эту окружность, а скорости собак в этот момент, очевидно, направлены по сторонам этого квадрата, т.е. стороны квадрата будут являться касательными к траекториям.

2. ДИНАМИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

2.1. Самолет летит по горизонтали с постоянной скоростью v . Бомба летит по параболе, так как ее движение складывается из движения по горизонтали с начальной скоростью v и равноускоренного падения по вертикали. Если бы не было сопротивления воздуха, то скорость бомбы по горизонтали не отличалась бы от скорости самолета, и самолет все время, и в частности в момент падения бомбы, находился бы над бомбой. Однако в действительности, из-за сопротивления воздуха, горизонтальная скорость бомбы все время уменьшается, и бомба отстает от самолета (рис. 172). Поэтому падение на землю и взрыв бомбы происходят не под самолетом, а далеко позади.

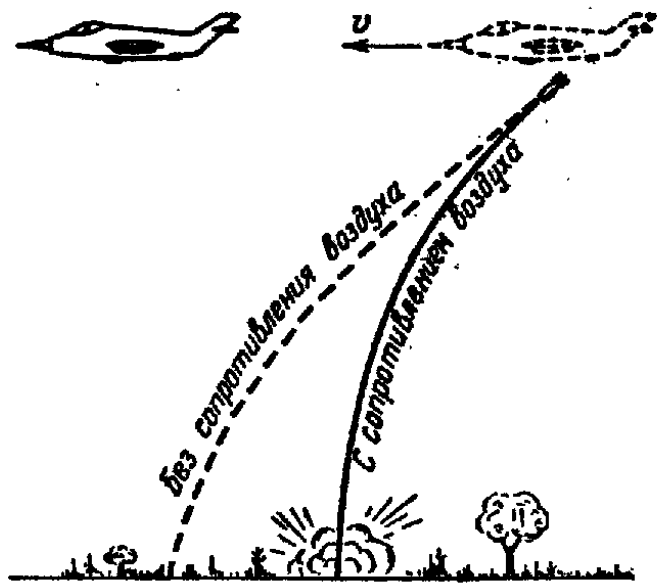


Рис. 172

2.2. Движение пули представляет собой сложение двух движений: по горизонтали с постоянной скоростью, с которой пуля вылетела из дула, и падения под действием силы тяжести, начинающегося в момент вылета пули из дула. В результате этих двух движений пуля будет двигаться по параболе.

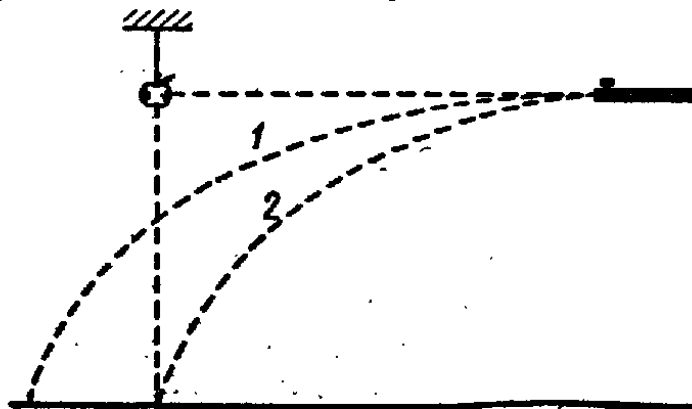


Рис. 173

В вертикальном направлении пуля пролетит расстояние $s = gt^2/2$, где t — время ее движения. Точно такое же расстояние пройдет по вертикали и падающее яблоко, так как сила тяжести сообщает всем телам одинаковые ускорения. Поэтому пуля попадет в яблоко или на лету (случай 1 на рис. 173), или в момент падения яблока на землю (случай 2), если только расстояние от стрелка до мишени не больше, чем дальность полета пули.

2.3. Дальность полета пули зависит при прочих равных условиях от начальной скорости пули (скорость при вылете). Если ружье подвешено так, что может отклоняться в горизонтальном направлении, то вследствие отдачи ружья при выстреле начальная скорость пули будет меньше и, следовательно, пуля полетит не так далеко, как в случае ружья, закрепленного в станке.

2.4. На падающую каплю действуют две силы: постоянная сила тяжести, ускоряющая движение капли, и сила сопротивления воздуха, замедляющая ее движение и растущая с ростом скорости капли. Сила сопротивления воздуха растет до тех пор, пока она не станет равной силе тяжести. Дальше прекращается изменение скорости, и падение капель происходит с постоянной скоростью.

При увеличении размеров капли сила тяжести увеличивается пропорционально объему, т. е. пропорционально третьей степени радиуса, а сила сопротивления — пропорционально сечению капли, т. е. пропорционально квадрату радиуса. Поэтому при увеличении радиуса капли сила тяжести увеличивается быстрее, чем сила сопротивления воздуха, а значит и та постоянная скорость, с которой капля падает на землю, растет по мере увеличения размеров капли.

2.5. Так как сечения шаров одинаковы, то при одинаковой скорости они будут испытывать одинаковую силу сопротивления воздуха. Для каждого шара в отдельности, учитывая, что сила тяжести равна mg , а сила сопротивления воздуха равна f , можно записать уравнение движения: $ma = mg - f$. Масса m_1 сплошного шара больше массы m_2 полого шара, поэтому (при $m_1 > m_2$) имеем $a_1 > a_2$. Следовательно, сплошной шар упадет быстрее, чем полый.

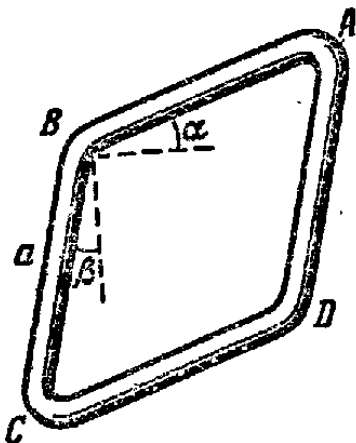


Рис. 174

2.6. Когда стороны AB и DC ромба (рис. 174) почти горизонтальны, сразу ясно, что во втором случае (движение по сторонам

AD и DC) шарик скатится быстрее. Это видно из того, что по стороне DC шарик будет проходить с большой средней скоростью, которую он приобретет, двигаясь по стороне AD . В первом же случае сторону AB шарик пройдет с очень малой средней скоростью (так как ускорение его мало).

Результат, полученный для этого частного случая, остается справедливым и в общем случае, в чем можно убедиться с помощью следующего расчета. Пусть стороны AB и DC образуют с горизонталью угол α , а стороны BC и DA образуют с вертикалью угол β . Если шарик скатывается по сторонам $AB + BC$, то он тратит на это время $t_1 + t_2$, где t_1 и t_2 — время, которое он тратит на скатывание по AB и BC соответственно. Ускорение при движении по AB равно $g \sin \alpha$. Поэтому для вычисления времени t_1 имеем уравнение

$$a = (g \sin \alpha) t_1^2 / 2.$$

Ускорение при движении по BC равно $g \cos \beta$, и это движение происходит с начальной скоростью $\sqrt{2ag \sin \alpha}$, следовательно, мы можем определить t_2 , решая уравнение

$$a = \sqrt{2a(g \sin \alpha)} t_2 + (g \cos \beta) t_2^2 / 2.$$

Для второго случая, при скатывании шарика по сторонам $AD + DC$, будем иметь такие же выражения с той лишь разницей, что ускорения $g \sin \alpha$ и $g \cos \beta$ нужно поменять местами. Поэтому для первого случая сумма двух времен равна

$$\sqrt{\frac{2a}{g \sin \alpha}} + \frac{-\sqrt{2ag \sin \alpha} + \sqrt{2ag \sin \alpha + 2ag \cos \beta}}{g \cos \beta},$$

а для второго случая та же сумма времен равна

$$\sqrt{\frac{2a}{g \cos \beta}} + \frac{-\sqrt{2ag \cos \beta} + \sqrt{2ag \cos \beta + 2ag \sin \alpha}}{g \sin \alpha}.$$

Так как ясно, что $g \sin \alpha$ меньше, чем $g \cos \beta$, то в первом случае сумма времен больше, чем во втором.

2.7. Рассмотрим силы, действующие на тело массой m и клин массой M (рис. 175). На тело действуют две силы — сила тяжести mg и сила реакции клина N_1 . На клин действуют: сила тяжести Mg , сила давления тела F и сила реакции плоскости N_2 . Под действием горизонтальной составляющей силы давления тела клин движется влево относительно плоскости с некоторым горизонтальным ускорением a_1 , определяемым уравнением

$$Ma_1 = F \sin \alpha. \quad (1)$$

В вертикальном направлении клин не имеет ускорения, поэтому

$$Mg - N_2 + F \cos \alpha = 0. \quad (2)$$

Обозначим составляющие ускорения тела относительно клина: горизонтальную через a_2 и вертикальную через a_3 .

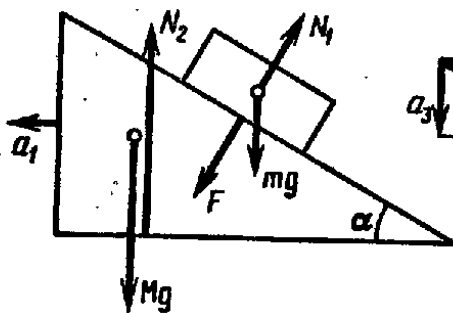


Рис. 175

Тогда составляющие ускорения тела относительно плоскости будут: горизонтальная $a_2 - a_1$ и вертикальная a_3 . Эти ускорения определяются уравнениями

$$m(a_2 - a_1) = N_1 \sin \alpha, \quad (3)$$

$$ma_3 = mg - N_1 \cos \alpha, \quad (4)$$

причем, очевидно, $N_1 = F$ и

$$a_3 = a_2 \tan \alpha. \quad (5)$$

Из уравнений (1) и (3) – (5) находим силу давления тела на клин:

$$F = m Mg \cos \alpha / (M + m \sin^2 \alpha). \quad (6)$$

Теперь из уравнения (2) можно найти силу давления клина на плоскость, равную по модулю силе реакции плоскости:

$$N_2 = Mg [1 + m \cos^2 \alpha / (M + m \sin^2 \alpha)].$$

Далее, из (1) и (6) находим ускорение клина относительно плоскости:

$$a_1 = (mg \cos \alpha \sin \alpha) / (M + m \sin^2 \alpha). \quad (7)$$

Из (3), (6) и (7) получаем горизонтальную составляющую ускорения тела относительно клина:

$$a_2 = (M + m)g \cos \alpha \sin \alpha / (M + m \sin^2 \alpha), \quad (8)$$

и горизонтальную составляющую ускорения тела относительно плоскости:

$$a_2 - a_1 = Mg \cos \alpha \sin \alpha / (M + m \sin^2 \alpha).$$

Из (8) и (5) находим вертикальную составляющую ускорения тела относительно плоскости:

$$a_3 = (M + m)g \sin^2 \alpha / (M + m \sin^2 \alpha).$$

2.8. Разложим силу F_5 на две составляющие по направлениям сторон квадрата (рис. 176). Полученные силы F'_1 и F'_2 будут равны каждая 10 Н. Поэтому силы F_2 и F'_2 взаимно уравновешиваются, а в точке А будет действовать по направлению AD сила $F_1 + F'_1 = 20$ Н. Перенесем силу F_6 по ее

направлению в точку D и разложим на две силы по направлениям сторон квадрата. Получим силы F'_3 и F'_4 , равные каждая 10 Н. Поэтому силы F_4 и F'_4 взаимно уравновешиваются, а по направлению DK будет действовать результирующая сила $F_1 + F'_1 + F'_3 = 30$ Н. Остается сложить эту силу с антипараллельной ей силой F_3 . Равнодействующая этих сил $R = 20$ Н, очевидно, будет параллельна складываемым силам и направлена по прямой, отстоящей от стороны AD на расстояние, равное половине стороны вписанного квадрата. Под действием этой силы кольцо будет двигаться

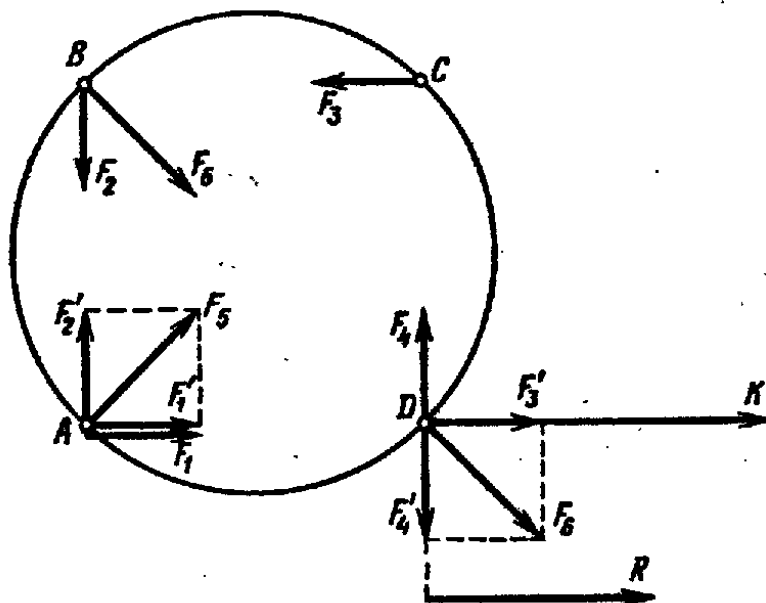


Рис. 176

поступательно с ускорением и одновременно вращаться (так как сила имеет момент относительно центра кольца) также с ускорением. Этот качественный вывод можно было бы сделать с самого начала из тех соображений, что силы $F_1 - F_4$ составляют две пары сил, вращающих кольцо в одну сторону, а силы F_3 и F_6 имеют равнодействующую, которая будет двигать кольцо поступательно с ускорением.

2.9. Когда чашка с гирей находится в покое, то пружина растянута настолько, что ее упругая сила уравновешивает вес чашки и гири. Если пружину вывести из этого положения, оттянув ее немного вниз, и отпустить, то начнутся колебания относительно положения равновесия. В верхнем положении растяжение пружины при этом будет наименьшим. Чтобы гиря перестала давить на чашку, необходимо, чтобы чашка начала двигаться вниз от верхнего положения с таким же ускорением, как гиря, т. е. с ускорением, равным ускорению свободного падения g . Это, очевидно, будет тогда, когда в верхнем положении пружина не будет растянута. Так как

крайнее верхнее положение симметрично с крайним нижним относительно положения равновесия чашки с грузом, то для того, чтобы чашка дошла кверху до положения, при котором пружина вовсе не растянута, нужно сначала оттянуть пружину еще на такое же расстояние, на какое она растянута в положении равновесия.

Следовательно, чашку с гирей надо оттянуть с силой, равной весу чашки и гири.

2.10. Пружина в начальный момент сжата (по сравнению с нормальной своей длиной) весом верхней пластины на величину $x_1 = m_1 g / k$. Чтобы пружина смогла приподнять при своем растяжении нижнюю пластину, она должна быть растянута по сравнению с нормальной своей длиной на величину, большую чем $x_2 = m_2 g / k$.

Следовательно, надо надавить на верхнюю пластину с такой силой, чтобы при прекращении действия силы пружина подпрыгнула на высоту, большую чем $x_1 + x_2 = (m_1 + m_2) g / k$, считая от того положения, которое занимала пластина, пока на нее не давили. Но освобожденная верхняя пластина подпрыгнет кверху на такое же расстояние от положения равновесия, на каком она при нажатии находилась ниже его. Значит, для того чтобы после прыжка верхняя пластина приподняла нижнюю, она должна быть прижата вниз на расстояние, большее чем $x_1 + x_2$. Для этого на верхнюю пластину нужно надавить с силой

$$F > k(x_1 + x_2) = (m_1 + m_2)g.$$

2.11. Так как велосипедист движется равномерно, то все силы, действующие на него, взаимно уравновешиваются. Зна-

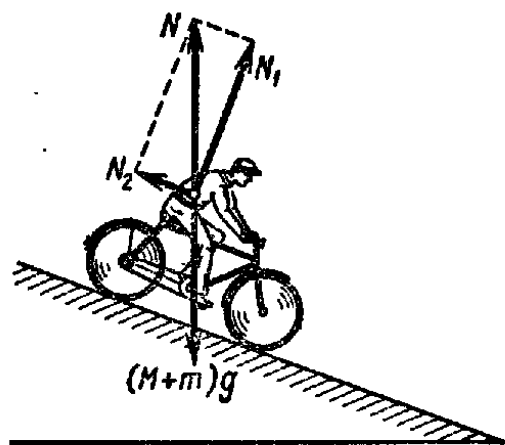


Рис. 177

чит, сила реакции наклонной плоскости N должна быть равна по модулю и противоположна по направлению силе тяжести велосипедиста вместе с велосипедом, т. е. должна быть направлена вертикально вверх. Таким образом, сила реакции плоскости в рассматриваемом случае не перпендикулярна к наклонной плоскости (рис. 177) и имеет, кроме перпендикулярной плоскости составляющей N_1 , еще составляющую N_2 , направленную вдоль плоско-

сти. Эта составляющая представляет собой силу трения, действующую на велосипед со стороны плоскости. Если бы

между плоскостью и велосипедом не было трения, то велосипедист, несмотря на наличие тормозов, спускался бы не равномерно, а с постоянным ускорением.

2.12. Чтобы доска не скользила, на нее вдоль ее направления должна действовать со стороны ног человека сила, уравнивающая составляющую силы тяжести доски (т. е. равная $Mg \sin \alpha$) и направленная кверху. При этом на человека со стороны доски будет действовать равная по модулю и противоположная по направлению сила, направленная вдоль доски вниз. Кроме того, на человека действует составляющая силы тяжести $mg \sin \alpha$. Следовательно, человек должен двигаться вдоль доски вниз с таким ускорением (относительно земли), чтобы

$$ma = Mg \sin \alpha + mg \sin \alpha,$$

отсюда находим ускорение:

$$a = g \sin \alpha (1 + M/m).$$

2.13. Брусок A , на который действует сила тяжести mg , давит на клин с силой $F_1 = mg \cos \alpha$, направленной перпендикулярно к соответствующей грани клина, а под действием силы F_2 скользит ускоренно вниз по грани клина (рис. 178). Силу F_1 можно разложить на две силы: вертикальную $mg \cos^2 \alpha$ и горизонтальную $mg \cos \alpha \sin \alpha$.

Рассуждая совершенно аналогично в отношении бруска B , мы получим, что брусок B действует на клин по вертикали с силой $mg \cos^2 \beta$ и по горизонтали вправо с силой $mg \cos \beta \sin \beta$. Так как угол при вершине клина равен 90° , $\cos \alpha = \sin \beta$, $\sin \alpha = \cos \beta$ и, следовательно, силы, с которыми бруски действуют на клин по горизонтали, равны друг другу по модулю, но противоположно направлены и клин по столу скользить не будет. А по вертикали на стол будут действовать, кроме силы тяжести самого клина, еще две силы: $mg \cos^2 \alpha$ и $mg \cos^2 \beta$. Их сумма равна

$$mg (\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta) = mg (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) = mg.$$

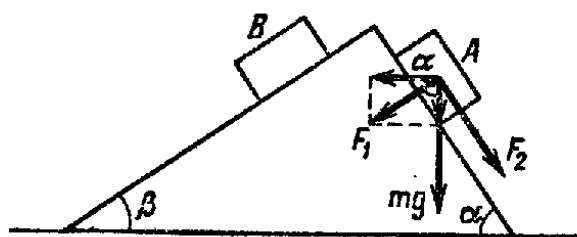


Рис. 178

2.14. Если какое-нибудь тело свободно падает и в это время внутри тела происходят какие-нибудь перемещения отдельных его частей, то центр масс тела продолжает двигаться с ускорением свободного падения. Поэтому и центр масс системы пробирка — муха будет двигаться по-прежнему с ускорением

свободного падения. Когда муха перелетает из нижней части пробирки в верхнюю, дно пробирки несколько опускается относительно центра масс системы пробирка — муха. Таким образом, дно пробирки скорее ударится о землю, чем в том случае, когда муха будет оставаться неподвижной. Иначе говоря, продолжительность падения уменьшится.

2.15. Равновесие весов не нарушится, если птица взлетит и будет парить в воздухе внутри ящика. Объясняется это тем, что при парении птица должна отбрасывать воздух вниз, чтобы создать подъемную силу, поддерживающую ее в воздухе. При этом отбрасываемый вниз воздух будет создавать добавочное давление на дно ящика и среднее значение силы этого давления как раз будет равно силе тяжести птицы. Правда, при взлете и резких движениях птицы (когда она будет двигаться с ускорением) значение силы давления может изменяться, так что весы начнут качаться около положения равновесия. Но в среднем равновесие нарушено не будет.

2.16. Если аэростат опускается с постоянной скоростью, то сила сопротивления воздуха направлена вверх и, значит, сила тяжести аэростата Mg уравновешена подъемной силой Q и сопротивлением воздуха f :

$$Mg = Q + f. \quad (1)$$

Если, после того как выброшен балласт массой m , аэростат начинает подниматься с той же по модулю скоростью v , то сила сопротивления воздуха изменит свое направление, т. е. будет действовать вниз. Следовательно, мы получим

$$Mg - mg = Q - f. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) находим массу балласта:

$$m = 2(M - Q/g) = 2f/g.$$

2.17. В каждой точке траектории полное ускорение пули направлено вниз; при движении вверх оно равно $g + f/m$, при движении вниз $g - f/m$.

Сила сопротивления воздуха f всегда направлена противоположно скорости движения и растет при возрастании скорости. Но максимальной скоростью пуля будет обладать в самой нижней точке на пути вверх (в момент вылета), а на обратном пути — в момент падения. (Заметим, кстати, что максимальная скорость на обратном пути меньше, чем на пути вверх, так как часть энергии пули расходуется на преодоление сопротивления воздуха.) Следовательно, и сила сопротивления воздуха f сначала направлена вниз и будет наибольшей в самой нижней точке пути (в момент вылета), затем

она будет уменьшаться по мере уменьшения скорости, пройдет через нуль (в верхней точке) и, изменив направление на обратное, снова начнет возрастать.

Ускорение же пули будет все время направлено вниз и будет максимальным в момент вылета, затем оно уменьшается и в момент падения пули будет минимальным.

2.18. Пока трубка неподвижна, шарик лежит в трубке, и сила давления шарика на пружину уравновешена упругой силой F сжатой пружины. Когда трубка начинает свободно падать, шарик сначала падает с меньшим ускорением, чем трубка, и отстает от нее — пружина распрямляется. Под действием упругой силы пружины шарик не только отстает от трубки в своем движении в вертикальном направлении, но и приобретает скорость в горизонтальном направлении. Поэтому шарик появляется у отверстия трубки, имея некоторую горизонтальную скорость, а дальше, как и всякое тело, брошенное с горизонтальной начальной скоростью, шарик будет падать по параболе (рис. 179).

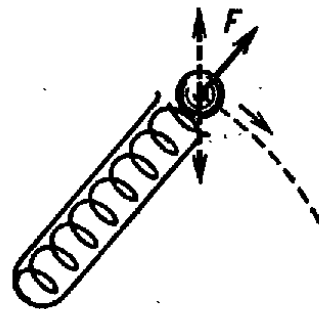


Рис. 179

2.19. Ускорение тележки скажется в том, что груз отклонится на некоторый угол, и сила натяжения нити, на которой висит груз, увеличится. Но момент сил, действующих на коромысло весов, определяется составляющей силы, перпендикулярной к плечу, т. е. вертикальной составляющей силы натяжения нити, которая не изменится. Это видно из того, что груз, отклонившись, остается неподвижным относительно тележки, т. е. его ускорение в вертикальном направлении равно нулю, а значит, вертикальная составляющая силы натяжения нити уравновешивает силу тяжести груза. Но если момент силы, действующий на левое плечо коромысла, не изменится, то и натяжение пружины тоже останется неизменным.

2.20. Если на поршень положить небольшой шарик, то поршню сообщают ускорение его сила тяжести и сила давления сжатого в баллоне воздуха (так как объем цилиндрической части мал по сравнению с объемом баллона, то давление воздуха во время движения поршня в цилиндрической части можно считать постоянным). Шарик, положенный на поршень, падает только под действием силы тяжести, т. е. с меньшим ускорением, чем поршень, и отстает от него. Поэтому шарик не изменяет ускорения, а значит, и времени движения поршня. Если же массу поршня увеличить на массу шарика, то сила давления газа прежняя, а масса поршня больше. Значит, ускорение поршня будет меньше, а время дви-

жения внутри цилиндрической части больше, чем в первом случае.

2.21. Чтобы можно было расцепить сцепку, она не должна быть натянута. Следовательно, это возможно только в том случае, когда поезд идет под уклон или с торможением по ровному месту. Но при этом отцепленные вагоны могут начать отставать от поезда, лишь когда уклон кончился или кончилось торможение (либо нужно начать тормозить отцепленные вагоны).

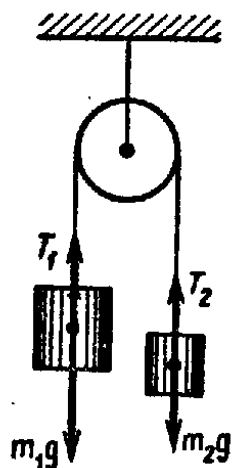


Рис. 180

2.22. Будем считать для определенности, что $m_1 > m_2$ (рис. 180). В таком случае m_1 опускается вниз, а m_2 поднимается вверх. Так как массой блока пренебрегаем, то моменты обеих сил натяжения нити равны между собой, а так как их плечи одинаковы, то, значит, и силы натяжения одинаковы, т. е. $T_1 = T_2$. Движение груза массы m_1 вниз происходит под действием двух сил: силы тяжести m_1g и силы натяжения нити T_1 , направленных, как показано на рис. 180. Поэтому, обозначая ускорение груза массы m_1 через a , запишем уравнение его движения:

$$m_1 a = m_1 g - T_1. \quad (1)$$

Груз массой m_2 движется вверх с тем же ускорением a под действием двух сил: силы тяжести m_2g и силы натяжения нити T_2 , поэтому

$$m_2 a = T_2 - m_2 g. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) получаем

$$a = (m_1 - m_2)g / (m_1 + m_2); \quad T = T_1 = T_2 = 2m_1 m_2 g / (m_1 + m_2).$$

Сила давления F на ось блока равна сумме сил натяжения нитей, т. е.

$$F = T_1 + T_2 = 4m_1 m_2 g / (m_1 + m_2).$$

2.23. Оба груза рассматриваем как материальные точки, расположенные в центрах масс грузов. Груз массой m_2 начинает опускаться с линейным ускорением a , не равным g , так как из-за наличия груза массой m_1 на него действует со стороны стержня направленная вверх сила F_1 . Поэтому, на основании второго закона Ньютона, можем написать

$$m_2 a = m_2 g - F_1. \quad (1)$$

Груз массой m_1 начинает подниматься с тем же по модулю ускорением a , так как из-за наличия груза m_2 на него действует со стороны стержня направленная вверх сила F_2 . Поэтому

$$m_1 a = -m_1 g + F_2. \quad (2)$$

Так как массой стержня можно пренебречь, то моменты сил F_1 и F_2 , действующих на стержень, относительно оси вращения должны быть равны по модулю и противоположно направлены, а значит, сумма их равняется нулю. (В противном случае стержень с исчезающе малой массой получил бы бесконечно большое угловое ускорение.) Но плечи этих сил равны, а потому $F_1 = F_2 = F$.

Тогда из уравнений (1) и (2) получаем

$$a = (m_2 - m_1)g / (m_1 + m_2); \quad F = 2m_1 m_2 g / (m_1 + m_2).$$

Равнодействующая сил F_1 и F_2 равна по модулю и противоположна по направлению силе давления стержня на ось в начальный момент. Следовательно, последняя сила равна

$$2F = 4m_1 m_2 g / (m_1 + m_2) = 34,3 \text{ Н.}$$

Рассмотренная нами задача принципиально не отличается от задачи 2.22; в ней роль блока выполняет стержень; закрепленный в середине.

2.24. Масса единицы длины цепочки равна $m_0 = M/l$. Пусть в некоторый момент со стола свисает часть цепочки длиной x ; по условию задачи в начальный момент времени $x = l/2$. Тогда сила, приводящая цепочку в движение, будет пропорциональна силе тяжести свисающей части, т. е. $m_0 x g$. Ускорение цепочки будет равно $m_0 x g / M$. В начальный момент, когда $m_0 x = M/2$, ускорение равно $g/2$, а затем оно возрастает, так что цепочка будет двигаться ускоренно.

Если к концам цепочки прикрепить одинаковые массы m , то в момент, когда со стола свисает часть цепочки длины x , движущей силой будет сила $m_0 x g + m g = (m_0 x + m) g$, а ускорение цепочки в этот момент равно $(m_0 x + m) g / (M + 2m)$. Для решения вопроса о том, в каком случае цепочка соскользнет быстрее, нужно выяснить, в каком случае ускорение нарастает быстрее; надо сравнить два ускорения:

$$m_0 x g / M \quad \text{и} \quad (m_0 x + m) g / (M + 2m).$$

Для этого приведем их к одному знаменателю и сравним числители. Числитель первой дроби равен $m_0 x g M + 2m_0 x g m$, числитель второй $m_0 x g M + m g M$. Ясно, что эти числители

равны между собой в начальный момент, когда $m_0x = M/2$. В последующие моменты ускорение в первом случае всегда больше, чем во втором.

Итак, цепочка соскользнет быстрее, когда шариков на ее концах не будет.

Этот же результат можно получить на основании закона сохранения энергии, учитывая, что в момент, когда конец цепочки соскальзывает со стола, ее центр масс находится на расстоянии $l/2$ ниже края стола. Тогда если v_1 — скорость в этот момент, то без шариков на концах

$$Mgl/2 = Mv_1^2/2, \text{ или } gl = v_1^2,$$

а с шариками на концах

$$(M + m)gl/2 = (M + 2m)v_2^2/2,$$

или

$$gl = (M + 2m)v_2^2/(M + m),$$

т. е. время соскальзывания цепочки должно быть меньше в том случае, когда шариков на ее концах нет.

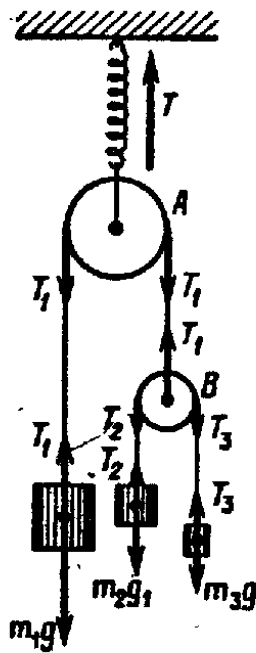


Рис. 181

2.25. Так как блоки невесомы, то $T_2 = T_3$ и $T_1 = 2T_2$ (см. задачу 2.22). Далее, показание пружинных весов $T = 2T_1$. Груз массой m_1 движется вниз с ускорением a_1 под действием двух сил: силы тяжести m_1g и силы натяжения нити T_1 (рис. 181). Поэтому уравнение движения для этого груза имеет вид

$$m_1a_1 = m_1g - T_1. \quad (1)$$

Если бы блок B не поднимался вверх с ускорением a_1 , то груз m_2 (для определенности считаем $m_2 > m_3$) двигался бы вниз с ускорением a_2 , а груз m_3 — вверх с тем же ускорением. Учитывая, что блок B движется вверх, мы будем иметь следующие уравнения движения грузов m_2 и m_3 :

$$m_2(a_2 - a_1) = m_2g - T_2, \quad (2)$$

$$m_3(a_2 + a_1) = -m_3g + T_2. \quad (3)$$

Из (2) и (3) получаем

$$a_2 = (m_2 - m_3)(a_1 + g)/(m_2 + m_3).$$

Подставляя это значение a_2 в уравнение (2), получим

$$T_2 = 2m_2m_3(g + a_1)/(m_2 + m_3) = T_1/2.$$

Теперь из уравнения (1) найдем, что ускорение груза m_1 равно

$$a_1 = (m_1 m_2 + m_1 m_3 - 4m_2 m_3) g / (m_1 m_2 + m_1 m_3 + 4m_2 m_3),$$

а показание пружинных весов равно

$$T = 2T_1 = 16m_1 m_2 m_3 g / (m_1 m_2 + m_1 m_3 + 4m_2 m_3).$$

2.26. На цепочку действуют две силы: сила тяжести свисающей части и сила трения со стороны стола на часть цепочки, лежащую на столе. При длине свисающей части l_1 уравновешивающая силу тяжести этой части сила трения покоя имеет наибольшее значение.

Обозначим через m_0 массу, приходящуюся на единицу длины цепочки ($m_0 = M/l$), и через k — коэффициент трения покоя, т. е. отношение максимальной силы трения покоя к силе нормального давления. Тогда условие равенства сил $m_0 g l_1 - k m_0 g (l - l_1) = 0$ дает искомую величину:

$$k = l_1 / (l - l_1).$$

2.27. Состав обычно останавливается в таком положении, что сцепки между вагонами оказываются натянутыми (так как сжатые при торможении буфера расталкивают вагоны и натягивают сцепки). Поэтому, чтобы состав двинулся вперед, сила тяги локомотива должна преодолеть силу трения покоя сразу всех вагонов. Толкая же состав назад, локомотив толкает сначала лишь первый вагон, для чего он должен преодолеть силу трения покоя только одного вагона. После того как вагон тронулся с места, вместо силы трения покоя начинает действовать сила трения скольжения в подшипниках осей колес и сила трения качения колес по рельсам. Эти силы трения значительно меньше, чем сила трения покоя. Поэтому, толкая вместе с первым вагоном второй, сила тяги локомотива в состоянии преодолеть силу трения покоя второго вагона, и т. д. После того как весь состав подался назад и буфера у всех вагонов сдавлены, машинист дает передний ход. При этом сила тяги локомотива, натягивая сцепку первого вагона, преодолевает сначала трение покоя лишь одного первого вагона, затем трение покоя лишь второго вагона и т. д., пока не сдвинет весь поезд. Сжатые буфера между вагонами также способствуют этому.

2.28. Торможение автомобиля, автобуса или вагона трамвая заключается в том, что тормозные колодки создают момент сил, которые должны вызвать замедление вращения колес. Но если бы вращение колес замедлилось без уменьшения скорости самодвижущегося экипажа, то должно было бы начаться скольжение колес по земле, направленное вперед. При этом со

стороны земли начинает действовать сила трения, препятствующая возникновению скольжения, т. е. направленная назад. Эта сила уменьшает скорость движения экипажа и, в конце концов, останавливает его. Следовательно, земля является тем внешним телом, со стороны которого действует сила, изменяющая скорость движения.

2.29. Пусть щетка находится на левом конце ручки. Центр масс ручки со щеткой находится между пальцами ближе к левому пальцу. Сила давления ручки со щеткой на оба пальца будет поэтому неодинакова: на левый палец она больше, чем на правый. Поэтому и сила трения между ручкой и пальцем, пропорциональная силе давления, будет больше для левого пальца.

Если правую руку двигать к левой, то щетка будет оставаться неподвижной, так как большая сила трения ручки о левый палец будет удерживать ее на месте до тех пор, пока оба пальца не окажутся на равных расстояниях от центра масс щетки. Дальше при движении правого пальца давление на него станет больше, чем на левый, и щетка будет двигаться вместе с правым пальцем, пока центр масс снова не окажется посредине между пальцами. Так будет продолжаться вплоть до того момента, когда пальцы сойдутся.

Если же левую руку двигать к правой, то щетка двинется вместе с левым пальцем, скользя по правому до тех пор, пока оба пальца не окажутся на равных расстояниях от центра масс. Дальнейшее движение будет происходить так же, как и в предыдущем случае.

Если двигать руки навстречу друг другу, то щетка будет двигаться вместе с левой рукой до тех пор, пока центр масс ручки со щеткой не окажется на одинаковом расстоянии от обоих пальцев, а затем оба пальца будут скользить под ручкой, а сама щетка будет оставаться неподвижной. Так как во всех этих случаях центр масс ручки со щеткой останется между пальцами, щетка все время находится в равновесии и не падает.

2.30. При торможении автомобиля на его колеса (для упрощения будем считать, что только на задние) со стороны земли начнет действовать сила трения f .

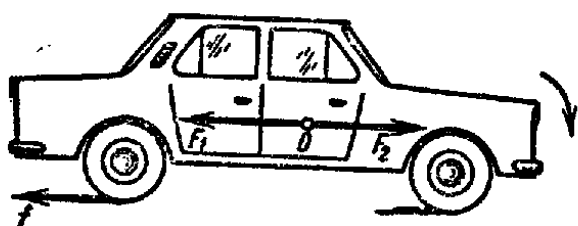


Рис. 182

Чтобы рассмотреть, как влияет эта сила на движение центра масс автомобиля, представим себе (рис. 182), что к центру масс O приложены две силы: F_1 и F_2 , равные по модулю

силе трения f , направленные параллельно ей и противоположно друг другу. Мы имеем право так поступить потому, что от приложения двух равных и противоположных сил F_1 и F_2 движение автомобиля не меняется. Но эти три силы можно рассматривать как силу F_1 и пару сил: F_2 и f . Нетрудно видеть, что сила F_1 тормозит автомобиль, а пара сил F_2 и f вызывает вращение в направлении, указанном стрелкой, т. е. опускание передней части автомобиля.

Если тормоза действуют также на передние колеса и, следовательно, сила трения со стороны земли действует на обе пары колес, то результат не изменится, так как при данной силе трения f момент ее относительно точки O не зависит от того, как распределена эта сила между колесами.

2.31. Скорость тела в точке B зависит от того, какую часть своей потенциальной энергии израсходует тело на работу против силы трения. На путях 1 и 2 силы трения не одинаковы, так как не одинаковы силы давления тела на поверхность. Это обусловлено следующими обстоятельствами.

При движении по любому криволинейному пути тело должно иметь центростремительное ускорение. На пути 1 это ускорение направлено вниз, на пути 2 — вверх.

Это ускорение, направленное нормально к поверхности, по которой скользит тело, возникает потому, что нормальная к поверхности составляющая силы тяжести тела и сила реакции поверхности, действующая на тело, не равны по модулю. Результирующая этих двух сил (их разность, поскольку эти силы направлены в противоположные стороны) и сообщает телу нужное центростремительное ускорение. Поэтому на пути 2, где центростремительное ускорение направлено кверху, сила реакции везде больше нормальной составляющей силы тяжести, а на пути 1 — везде меньше нормальной составляющей силы тяжести. Модули нормальной составляющей силы тяжести на путях 1 и 2, вообще говоря, различны, так как различен угол нормали к поверхности с вертикалью. Но так как обе поверхности одинакового радиуса, то нормальные составляющие силы тяжести изменяются на двух путях в одинаковых пределах, но в обратном порядке. Поэтому можно утверждать, что сила реакции поверхности, действующая на тело (а значит, и сила давления тела на поверхность) на пути 1 в среднем меньше, чем на пути 2. Поскольку коэффициент трения на обоих путях одинаков, то сила трения на пути 1 меньше, чем на пути 2, т. е. работа, совершенная против сил трения, будет меньше на пути 1. Таким образом, в точке B тело обладает большей кинетической энергией, а значит, и большей скоростью, если оно двигалось по пути 1, а не 2.

2.32. Равновесие нарушится, так как сила натяжения нити, на которой находится колеблющийся груз, не может оставаться постоянной и равной силе тяжести груза. В крайних точках, где скорость груза равна нулю, сила натяжения нити будет равна составляющей силы тяжести груза в направлении нити, т. е. будет меньше силы тяжести груза. В средней точке сила натяжения нити должна не только уравнивать силу тяжести груза, но и сообщать ему нужное центростремительное ускорение вверх, т. е. сила натяжения должна быть больше силы тяжести груза. Поэтому при колебаниях правого груза левый не может оставаться в покое, и движение приобретает более сложный характер, чем колебания маятника, подвешенного к неподвижной точке. Опыт и расчет показывают, что колеблющийся груз опускается.

2.33. Если шофер затормозит, автомобиль остановится, когда его кинетическая энергия израсходуется на работу против силы трения. При повороте автомобиля та же сила трения будет играть роль центростремительной силы, заставляющей автомобиль двигаться по дуге окружности.

В случае торможения $mv^2/2 = fx$, где f — сила трения, x — путь, который пройдет автомобиль после включения тормоза. Отсюда $x = mv^2/2f$. Очевидно, чтобы автомобиль не врезался в стену, должно быть

$$x = mv^2/2f \leq s, \quad \text{или} \quad f \geq mv^2/2s.$$

В случае поворота

$$f = mv^2/R,$$

и, чтобы автомобиль не разбился, должно быть

$$R = mv^2/f \leq s \quad \text{или} \quad f \geq mv^2/s.$$

Для того чтобы избежать столкновения со стенкой, при торможении нужна сила трения, вдвое меньшая, чем при повороте. Очевидно, выгоднее тормозить, чем поворачивать.

3. СТАТИКА

3.1. Нет. Человек может поднять левую ногу и не потерять при этом равновесия лишь в том случае, если проходящая через его центр масс вертикальная линия будет проходить также через ступню правой ноги. При описанном положении это невозможно.

3.2. 1-й случай: все три равные по модулю силы расположены в одной плоскости и составляют друг с другом углы в 120° , равнодействующая их равна нулю (рис. 183, а). 2-й случай:

рак и щука тянут воз в противоположные стороны, а лебедь — вертикально вверх (рис. 183, б), причем подъемная сила лебедя меньше силы тяжести воза (последнее условие, однако, в басне не оговорено).

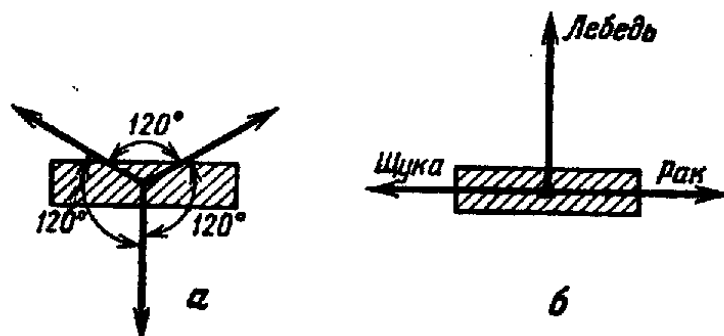


Рис. 183

3.3. Это делается для того, чтобы создать возможно большее плечо прилагаемой силы: чем больше плечо, тем меньшую силу надо приложить, чтобы преодолеть действие тугой пружины, поднимающей штангу и прижимающей ее к проводу (рис. 184).

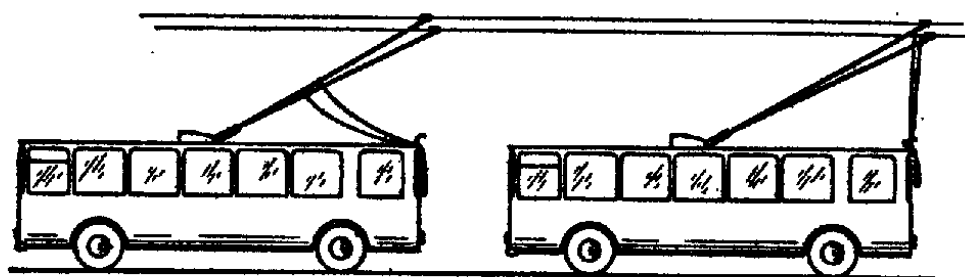


Рис. 184

3.4. Разложим силу тяжести лампы с абажуром по двум взаимно перпендикулярным направлениям: F_1 — по направлению продолжения высоты AE равнобедренного треугольника ACD и F_2 — по направлению стержня AB (рис. 185, а). Так как стержень AB образует угол $\alpha = 30^\circ$ с направлением подвеса лампы, то легко находим, что равнодействующая сила, растягивающая верхние стержни AC и AD , равна

$$F_1 = mg \sin \alpha = 4,9 \text{ Н},$$

а сила, сдвливающая стержень AB , равна

$$F_2 = mg \cos \alpha = 4,9 \sqrt{3} \text{ Н}.$$

Далее, разлагаем силу $F_1 = 4,9 \text{ Н}$ по направлениям стержней AC и AD (рис. 185, б). В данном случае параллелограмм сил будет ромбом, в котором, как известно, диагонали взаимно перпендикулярны, и так как, кроме того, угол при вершине A

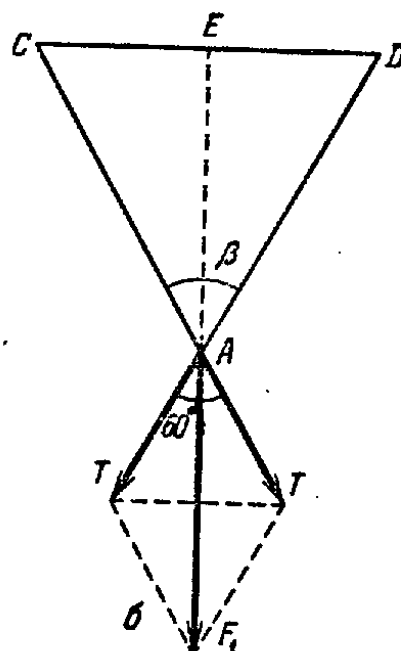
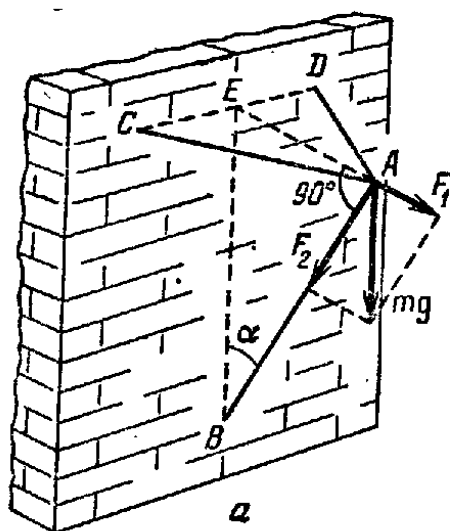


Рис. 185

ромба равен $\beta = 60^\circ$, то легко найдем силу, растягивающую стержни AC и AD :

$$F_1/2 \cos 30^\circ = 4,9/\sqrt{3} \text{ Н.}$$

3.5. Вербки рвутся тем легче, чем ближе они к горизонтальному направлению. Для объяснения рассмотрим силу натяжения веревки. Вдоль каждой из веревок действуют силы натяжения, равные T . Эти две силы и сила тяжести груза mg находятся в равновесии, т. е. равнодействующая R сил натяжения

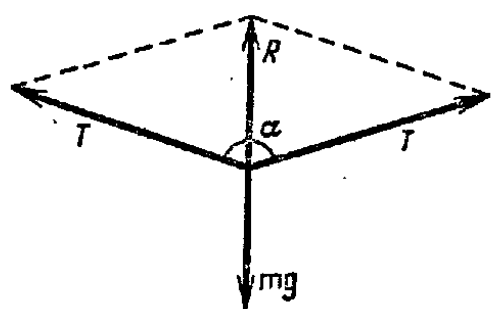


Рис. 186

равна по модулю и противоположна по направлению силе mg (рис. 186). Если угол α между силами натяжения составляет 120° , то треугольник сил будет равнобедренным и сила натяжения веревки будет равна силе тяжести груза. Если же этот угол меньше 120° , то каждая из сил натяжения меньше силы тяжести груза и становится тем

меньше, чем больше приближаются силы натяжения T к направлению силы mg . Наоборот, чем больше приближаются силы натяжения T к горизонтальному направлению, тем больше становятся их значения. Когда веревки принимают почти горизонтальное положение, силы натяжения становятся очень большими и веревки легко рвутся.

3.6. Решение этой задачи аналогично решению предыдущей. Если веревка уже натянута, то сила тяжести mg , действующая перпендикулярно к веревке, может создать очень большое натя-

жение последней. Это видно из того, что сила тяжести mg должна быть равна сумме сил натяжений T двух концов веревки, сходящихся в точке приложения силы тяжести (рис. 187). И если угол α близок к 180° , то сила натяжения T во много раз превосходит силу тяжести mg , с которой человек действует на веревку.

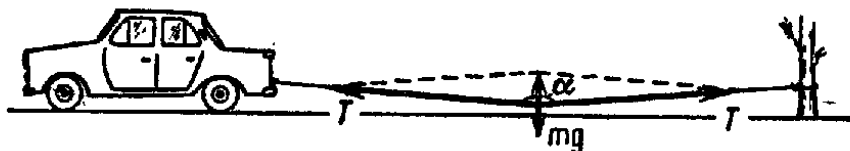


Рис. 187

3.7. Гимнасту, идущему по канату, легче удержать равновесие, когда он несет на коромысле ведра с водой, так как центр масс гимнаста с ведрами лежит ниже, т. е. ближе к канату. Конечно, гимнаст должен идти по канату так, чтобы не раскачивать ведер на коромысле. Если ведра сильно раскачиваются, то положение центра масс будет отклоняться от вертикали, проходящей через канат.

3.8. Силу F , действующую на клин 1, переносим вдоль ее направления в точку A , где разлагаем на силу F_1 , перпендикулярную к боковой поверхности клина, и силу F_2 , параллельную основанию клина (рис. 188). Сила F_1 вызывает равную по модулю силу реакции бревна. Сила F_2 действует на ранее вбитый клин 2 и вызывает силу реакции с его стороны. Силу F_2 переносим в точку B , где клин 2 упирается в бревно. Разлагаем силу F_2 на силу F_3 , перпендикулярную к боковой поверхности клина, и силу F_4 , перпендикулярную к основанию клина. Сила F_3 вызывает равную по модулю силу реакции со стороны бревна, сила F_4 выталкивает клин 2.

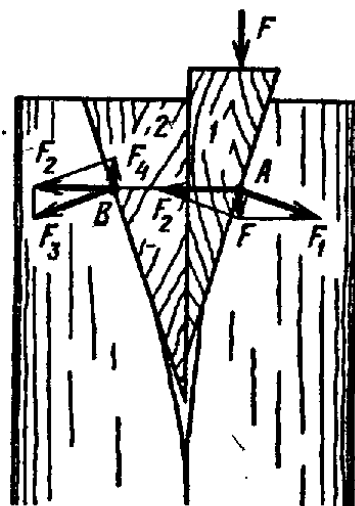


Рис. 188

3.9. На первом рычаге грузы имеют объемы, пропорциональные их массам. При погружении грузов в воду силы, действующие на плечи рычага, изменятся (по закону Архимеда) пропорционально объемам. Поэтому относительное изменение сил, действующих на рычаг, будет одно и то же для обоих концов рычага. Следовательно, под водой равновесие не нарушится.

На втором рычаге оба груза «нотеряют в весе» под водой одинаково, а так как их массы разные, то относительная

«потеря веса» будет больше для груза, у которого масса меньше. Отношение сил, действующих на плечи рычага, изменится, и равновесие нарушится. Опустится тот конец рычага, для которого относительная «потеря веса» меньше, т. е. перетянет груз m_2 .

3.10. Вообще говоря нет, так как в каждой точке земного шара имеется некоторое магнитное наклонение (направление напряженности магнитного поля Земли не горизонтально).

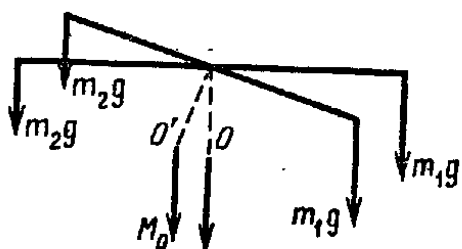


Рис. 189

3.11. Момент силы тяжести большего груза всегда остается больше момента силы тяжести меньшего груза, так как плечи сил m_1g и m_2g остаются равными при любом положении коромысла (рис. 189). Однако при смещении коромысла меняется

положение центра масс коромысла и стрелки весов: из точки O он перемещается в точку O' , и возникает дополнительный момент M_0 силы тяжести коромысла и стрелки весов, который добавляется к моменту силы тяжести m_2g . Положение равновесия определяется условием равенства моментов сил: момент силы m_1g равен сумме момента силы m_2g и момента M_0 .

3.12. Когда участки нити AB , CD и EF параллельны (рис. 190), то при равновесии сила натяжения нити должна быть равна половине силы тяжести груза массы m_1 и, следовательно, масса груза m_2 должна быть вдвое меньше массы груза m_1 . Если затем точка закрепления нити A перемещается вправо в точку A' , то соответствующие участки нити уже не параллельны и при силе

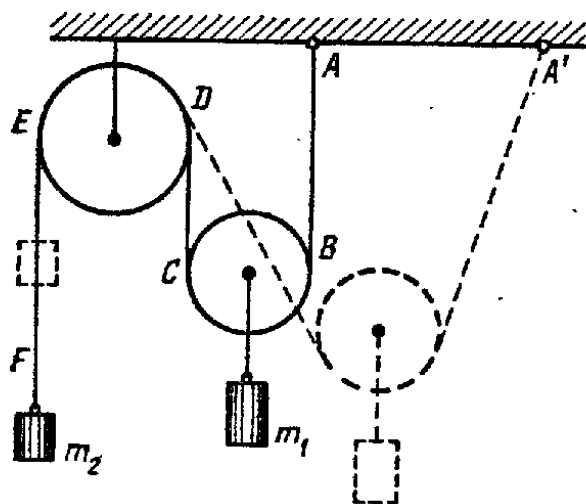


Рис. 190

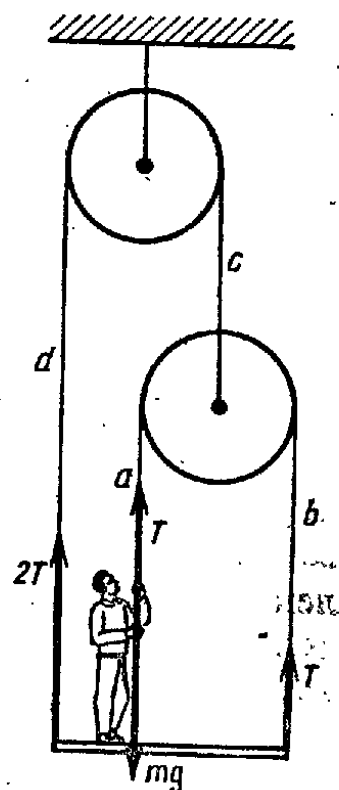


Рис. 191

натяжения, равной половине силы тяжести груза массы m_1 , нити уже не смогут удержать блок с грузом m_1 . Следовательно, равновесие нарушается, груз m_1 опускается, а груз m_2 поднимается.

3.13. Пусть человек тянет за веревку a с силой T , выраженной в ньютонах (рис. 191). Тогда сила натяжения веревки b тоже будет T . Сила натяжения веревки c уравнивает совокупное действие двух параллельных сил T и T , следовательно, она равна $2T$. Такова же должна быть и сила натяжения веревки d , являющейся продолжением веревки c , т. е. $2T$. Доска висит на двух веревках: b и d (веревка a не прикреплена к доске, а потому не поддерживает ее). Равнодействующая этих параллельных сил равна $3T$. Кроме этой силы, направленной вверх, на доску действует сила $mg - T$, где mg — сила давления человека на доску, T — сила натяжения веревки a . Так как доска находится в равновесии, сумма всех сил, действующих на доску, равна нулю:

$$mg - T - 3T = 0,$$

отсюда $T = 150$ Н.

3.14. На блок B действуют четыре силы (рис. 192): сила тяжести груза mg , горизонтальная сила F и две силы натяжения нити T по обе стороны блока (они одинаковы по модулю). Так как блок находится в равновесии, то сумма проекций всех сил на любое направление равна нулю.

Спроецируем силы на горизонтальное направление: $F = T \cos 60^\circ =$

$= 0$; спроецируем силы на вертикальное направление: $mg - T - T \cos 30^\circ = 0$. Из этих двух уравнений получаем, что горизонтальная сила $F = mg(2 + \sqrt{3})$.

3.15. Представим себе, что в пластинке сделано не одно, а два одинаковых отверстия, как показано на рис. 193. Тогда центр масс пластинки будет лежать в центре круга O , масса ее будет равна $m/2$ (так как масса каждой из удаленных частей пластинки равна $m/4$). Заполним теперь левое отверстие. При этом прибавится масса, равная $m/4$, и сила тяжести, приложенная в центре заполненного отверстия, т. е. в точке C_2 , лежащей на расстоянии $R/2$ от центра пластинки. Точка приложения (т. е. центр масс) равнодействующей сил тяжести заполненного

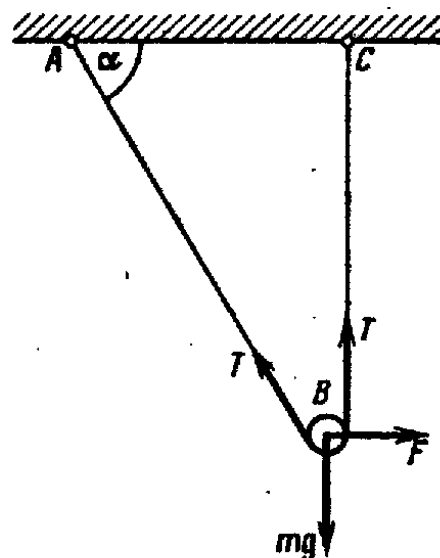


Рис. 192

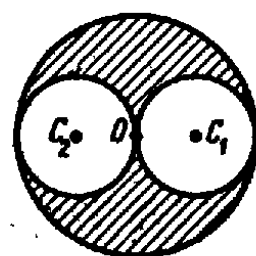


Рис. 193

левого круга и фигуры, заштрихованной на рис. 193, лежит между точками C_2 и O . Пусть ее расстояние от точки O равно x . Тогда $(m/2)x = (m/4)(R/2 - x)$, откуда $x = R/6$.

Этот же результат можно получить иначе. Заполним отверстие кружком и приложим в его центре C_1 силу, направленную вертикально вверх и равную силе тяжести этого кружка $mg/4$. Тогда будем иметь две антипараллельные силы: силу тяжести всей пластинки mg , направленную вниз и приложенную в точке O , и силу тяжести $mg/4$, направленную вверх и приложенную в точке C_1 . Точка приложения их равнодействующей, т. е. центр масс, находится на прямой OC_1 влево от O ; пусть x — расстояние центра масс от точки O . Тогда

$$mx = (m/4)(x + R/2), \quad x = R/6.$$

3.16. Найдем сначала положение центра масс первых двух шаров. Очевидно, что эта точка делит расстояние $x_2 - x_1$ на

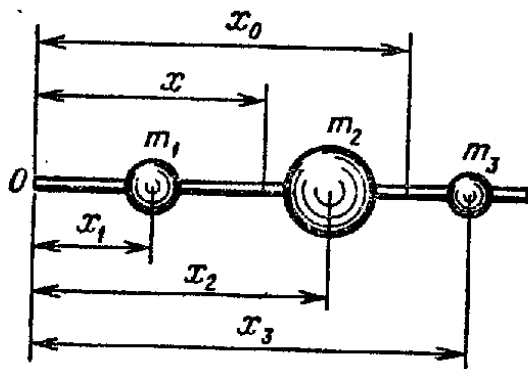


Рис. 194

части, обратно пропорциональные массам m_1 и m_2 . Обозначим ее расстояние от конца стержня через x (рис. 194). Тогда будем иметь

$$(x - x_1)/(x_2 - x) = m_2/m_1.$$

Отсюда получим

$$x = (m_1x_1 + m_2x_2)/(m_1 + m_2).$$

В этой точке действует сумма сил тяжести первых двух шаров, которую обозначим через mg . Тогда, применяя полученный нами результат к массам m и m_3 , находящимся от конца стержня на расстояниях x и x_3 , найдем, что центр масс системы всех трех шаров отстоит от конца стержня на расстояние

$$x_0 = (mx + m_3x_3)/(m + m_3);$$

подставляя в эту формулу значения x и m , получим, что

$$x_0 = (m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3)/(m_1 + m_2 + m_3),$$

или, вообще, при любом числе n шаров

$$x_0 = \sum_{i=1}^n m_i x_i / \sum_{i=1}^n m_i.$$

3.17. Так как цилиндр находится в состоянии покоя, то сумма проекций всех сил, действующих на цилиндр, на любое направление должна равняться нулю. Спроецируем все силы

на вертикальное направление (рис. 195):

$$T + T/2 + N\sqrt{3}/2 - mg = 0.$$

Спроецируем все силы на горизонтальное направление:

$$N/2 - T\sqrt{3}/2 = 0.$$

Из этих двух уравнений легко находим силу натяжения нити, удерживающую цилиндр:

$$T = mg/3.$$

3.18. При подъеме на ступеньку колесо должно вращаться вокруг точки A (рис. 196). Для этого нужно, чтобы момент силы F относительно точки A был больше или равен моменту силы тяжести колеса относительно той же точки.

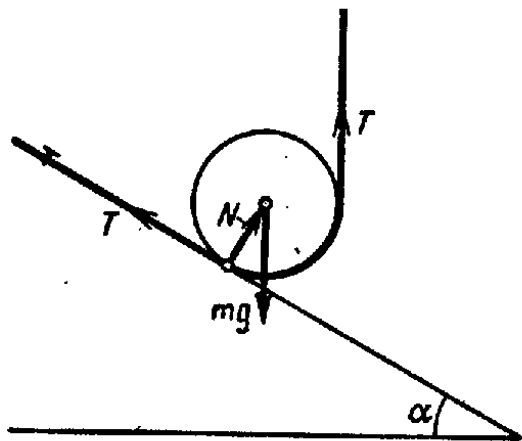


Рис. 195

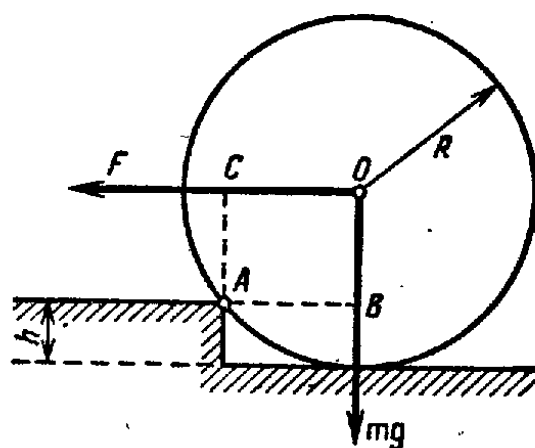


Рис. 196

Опуская перпендикуляры из точки A на направления силы тяжести mg и силы F , найдем плечи AB и AC этих сил. Для того чтобы колесо вкатилось на ступеньку, должно выполняться неравенство

$$F \cdot AC \geq mg \cdot AB, \quad F \geq mg \cdot AB/AC.$$

Так как $AC = R - h$, $AB = \sqrt{R^2 - (R - h)^2}$, получаем окончательно

$$F \geq mg \frac{\sqrt{R^2 - (R - h)^2}}{R - h} = mg \frac{\sqrt{h(2R - h)}}{R - h};$$

если $h \ll R$, то

$$F \geq mg \sqrt{2h/R}.$$

3.19. Равновесие в обоих случаях имеет место тогда, когда составляющая силы тяжести шарика массы m_2 в направлении нити равна силе натяжения нити T , т. е. силе тяжести шарика $m_1 g$ (рис. 197). Для того чтобы решить вопрос, устойчиво ли это

состояние равновесия, нужно рассмотреть, как изменяются силы при небольшом отклонении массы m_2 от положения равновесия. Тогда в случае а при смещении массы m_2 книзу от положения равновесия наклон касательной увеличится, а значит, увеличится и составляющая силы тяжести в направлении нити. Она станет больше силы натяжения нити T , и масса m_2 будет опускаться еще дальше. Наоборот, если массу m_2 сместить немного вверх, наклон касательной уменьшится, составляющая силы тяжести $m_2 g$ в направлении нити станет меньше силы натяжения нити T , и груз будет подниматься дальше. Следовательно, масса m_2 , немного отклоненная от положения равновесия, не будет к нему возвращаться, а будет от него уходить, т. е. равновесие неустойчиво.

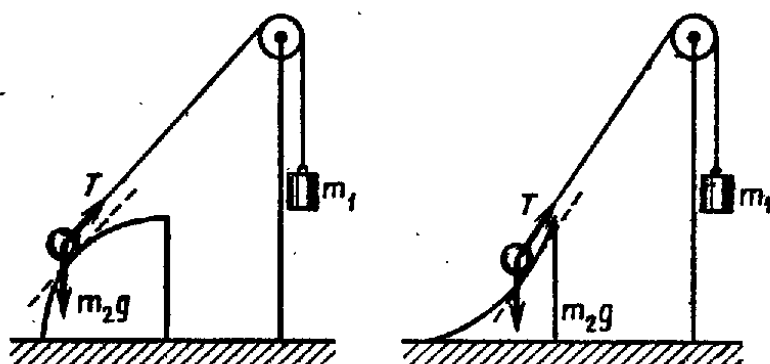


Рис. 197

В случае б, если мы сместим массу m_2 из положения равновесия вниз, то наклон касательной уменьшится, значит, уменьшится и составляющая силы тяжести $m_2 g$ в направлении нити; она станет меньше силы натяжения нити T , и нить потянет массу m_2 назад, к прежнему положению равновесия. Такие же рассуждения убедят нас в том, что при смещении массы m_2 вверх от положения равновесия она снова возвратится к нему,

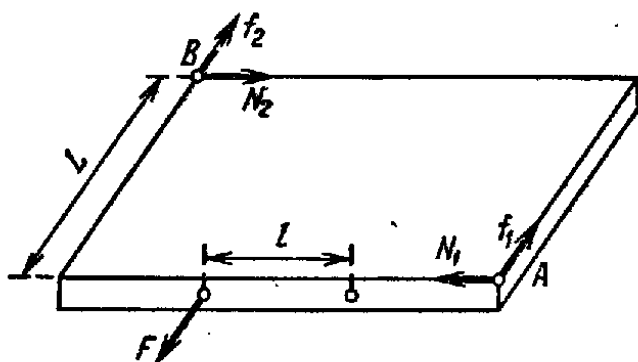


Рис. 198

т. е. равновесие в этом случае устойчивое.

3.20. Пусть сила F приложена к левой ручке доски. Она вызывает в точках A и B силы реакции стенок серванта (рис. 198), каждую из которых можно разложить на две составляющие: N_1 и N_2 , нормальные к стенкам серванта, и f_1 и f_2 , касатель-

ные к тем же стенкам (силы трения). Предполагая, что доску вытащить нельзя, мы должны иметь следующие равенства. Сила F должна быть равна сумме сил трения, чтобы

не было поступательного движения доски, т. е. $F = f_1 + f_2$. Момент силы F относительно центра масс доски должен быть равен сумме моментов нормальных составляющих сил реакции относительно того же центра масс доски (чтобы не было вращения доски), т. е.

$$Fl/2 = (N_1 + N_2) L/2.$$

Кроме того, по определению имеем

$$f_1/N_1 = f_2/N_2 = k.$$

Исключая из обоих уравнений силу F , получаем, что наименьшее значение коэффициента трения должно равняться L/l . При большем его значении вытянуть доску из серванта, действуя на одну из ручек, невозможно.

4. РАБОТА. МОЩНОСТЬ. ЭНЕРГИЯ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

4.1. Для того чтобы опрокинуть куб или цилиндр вокруг ребра, нужно повернуть их так, чтобы их диагональные плоскости $ABCD$ и $KLMN$ (рис. 199, а, б) заняли вертикальное положение; при этом центр масс тела поднимается. Следовательно, необходимо совершить работу, которая будет тем

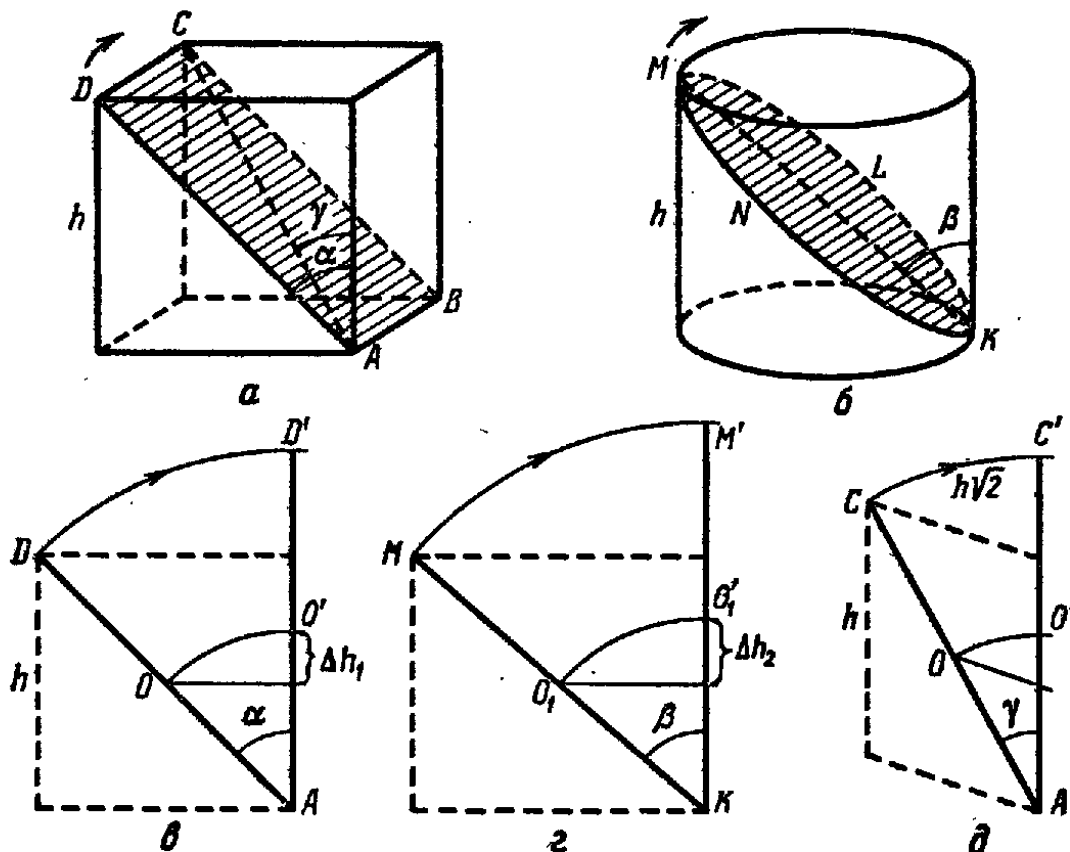


Рис. 199

больше, чем выше придется поднять центр масс (масса куба равна массе цилиндра).

Если диагональная плоскость (куба или цилиндра) займет вертикальное положение, для чего придется повернуть диагональ AD вокруг ребра AB на угол α , а диагональ цилиндра MK на угол β , то центр масс поднимается:

у куба на

$$\Delta h_1 = (h/2)(1/\cos \alpha - 1),$$

у цилиндра на

$$\Delta h_2 = (h/2)(1/\cos \beta - 1)$$

(рис. 199, в, г). Так как массы и высоты, а также и материалы куба и цилиндра одинаковы, то равны и площади их оснований, т. е. $h^2 = \pi R^2$, где R — радиус основания цилиндра. Для куба, очевидно, $\alpha = 45^\circ$. Для цилиндра находим

$$2R = h \operatorname{tg} \beta, \text{ или } 4R^2 = h^2 \operatorname{tg}^2 \beta.$$

Подставляя значение h^2 , получим

$$4R^2 = \pi R^2 \operatorname{tg}^2 \beta, \quad \operatorname{tg}^2 \beta = 4/\pi > 1,$$

т. е. $\beta > 45^\circ$. Следовательно, $\cos \beta < \cos \alpha$, а поэтому $\Delta h_2 > \Delta h_1$, следовательно, цилиндр опрокинуть через ребро труднее, чем куб.

Если попытаться опрокинуть куб через вершину (а не через ребро), то пришлось бы повернуть его так, чтобы диагональ AC заняла вертикальное положение AC' (рис. 199, д). Для этого нужно куб повернуть на угол γ , образуемый диагональю куба с высотой. Тогда $\operatorname{tg}^2 \gamma = 2$. Так как $\operatorname{tg}^2 \beta = 4/\pi < 2$, то $\gamma > \beta$. Следовательно, $\cos \beta > \cos \gamma$ и опрокинуть куб через вершину труднее, чем опрокинуть цилиндр.

4.2. Чтобы перекантовать ящик вокруг ребра A_1B_1 , надо повернуть ящик так, чтобы его диагональная плоскость стала вертикальной (см. задачу 4.1), а дальше ящик упадет под

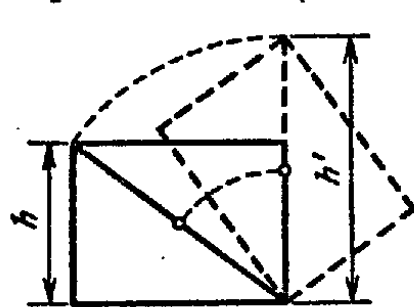


Рис. 200

действием силы тяжести. Таким образом, нужно совершить работу по подъему центра масс ящика на соответствующую высоту (рис. 200). Эта работа равна

$$A = mg(h'/2 - h/2).$$

При перекантровке через ребро A_1B_1 имеем $h = 0,6$ м, $h' = 1$ м; $A \approx 2$ кДж.

При перекантровке через ребро A_2B_2 : $h = 0,8$ м, $h' = 1$ м; $A \approx 1$ кДж. Полная минимальная совершенная работа равна 3 кДж.

4.3. Если человек поднимается по лестнице эскалатора с постоянной скоростью, то его среднее давление на лестницу останется неизменным (равным силе тяжести человека). Следовательно, и сила, с которой мотор должен тянуть лестницу, останется неизменной. Однако поднимающийся по лестнице эскалатора человек раньше достигнет верха эскалатора, а значит, и путь, пройденный эскалатором за все время подъема человека до верха, будет меньше, чем в том случае, когда человек на лестнице неподвижен. Поэтому работа, совершенная мотором эскалатора при подъеме движущегося человека, будет меньше работы, совершенной при подъеме неподвижного (остальную часть работы совершит человек). Затрачиваемая же мотором мощность останется неизменной, так как меньшая работа будет совершена за соответственно меньшее время.

4.4. Когда шкивы вращаются по часовой стрелке, ремень охватывает большую часть каждого из шкивов, так как нижняя часть ремня при этом прижата к шкивам вследствие того, что она натянута, а верхняя прогибается благодаря своей массе

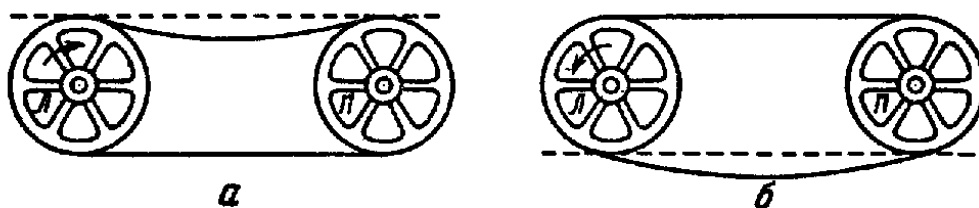


Рис. 201

(рис. 201, а). Поэтому сила трения будет больше, и скольжение ремня по шкиву начнется, очевидно, при большей нагрузке на шкив, а значит, и мощность можно будет передать большую, чем при вращении против часовой стрелки (рис. 201, б).

4.5. Для того чтобы затвор отошел назад на расстояние l , необходимо, чтобы против упругой силы пружины была совершена работа $kl^2/2$. Эта работа будет совершена за счет кинетической энергии, которую получает затвор при отдаче. Если затвор имеет начальную скорость u , то его кинетическая энергия $Mu^2/2 = kl^2/2$, откуда $u = l\sqrt{k/M}$. С другой стороны, импульс затвора Mu при выстреле должен по модулю равняться импульсу пули mv (так как они противоположны по направлению и в сумме должны дать нуль). Следовательно,

$$v = Mu/m = (l/m)\sqrt{kM}.$$

4.6. Модуль Юнга (модуль продольной упругости) для железа больше, чем для меди. Поэтому для растяжения пружин одинаковых размеров на одну и ту же длину для железной пружины нужна большая сила, чем для медной.

Значит, в первом случае совершена бóльшая работа, чем во втором.

4.7. (См. предыдущую задачу.) Если растяжение производилось одной и той же силой, то железная пружина растянута меньше, чем медная. Поэтому на этот раз для растяжения медной пружины понадобилось совершить бóльшую работу.

4.8. Груз массой m , упав с высоты h , обладает кинетической энергией, равной изменению потенциальной энергии, т. е. mgh . Эта кинетическая энергия должна превратиться в энергию упругой деформации нити, т. е. в случае, если справедлив закон Гука, должна быть равна $kx^2/2$, где x — наибольшее растяжение нити (в момент разрыва), k — жесткость нити. Согласно условию задачи $x = 0,01 l$ и $kx = Mg$. Подставляя эти соотношения в уравнение

$$kx^2/2 = mgh,$$

получим искомую высоту:

$$h = 0,01 Ml/2m.$$

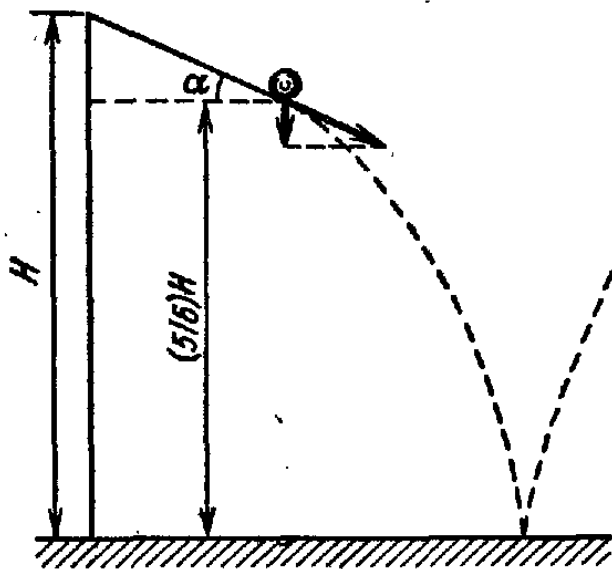


Рис. 202

4.9. Шарик соскальзывает с наклонной плоскости (рис. 202), имея скорость, равную $\sqrt{gH/3}$ и направленную под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Далее шарик летит по параболе и падает на горизонтальную плоскость

со скоростью, направленной под некоторым углом к горизонту. Но высота подъема шарика после абсолютно упругого удара о плоскость зависит только от вертикальной составляющей этой скорости, которая найдется как скорость, с которой упадет шарик с высоты $(5/6)H$ с начальной скоростью $v_0 = (1/2)\sqrt{gH/3}$. Из уравнения движения

$$(5/6)H = (1/2)\sqrt{gH/3}t + gt^2/2$$

находим время падения шарика: $t = [(\sqrt{21} - 1)/2]\sqrt{H/3g}$. Поэтому его скорость в конце падения будет равна

$$v = v_0 + gt = (\sqrt{21}/2)\sqrt{gH/3}.$$

Следовательно, высота подъема шарика после упругого удара о плоскость равна

$$h = v^2/2g = (7/8)H.$$

4.10. Пуля массой m , летя со скоростью v , обладает импульсом mv . После того как пуля застряла в деревянном

бруске, тем же импульсом будет обладать брусок вместе с пулей (абсолютно неупругий удар). Следовательно, скорость v_1 , которую приобретает брусок сразу после попадания в него пули, определится из закона сохранения импульса: $mv = (M + m)v_1$. При этом кинетическая энергия бруска с пулей будет равна

$$(M + m)v_1^2/2 = m^2v^2/[2(M + m)].$$

Затем брусок поднимается и эта кинетическая энергия превращается в потенциальную. Так как вся масса $M + m$ практически находится на расстоянии l от точки подвеса A (рис. 203), то центр масс, вследствие отклонения маятника на угол α , поднимается на высоту $\Delta h = l(1 - \cos \alpha)$. При наибольшем отклонении маятника потенциальная энергия должна быть равна начальной кинетической энергии, т. е.

$$(M + m)gl(1 - \cos \alpha) = m^2v^2/[2(M + m)].$$

Отсюда максимальный угол, на который отклоняется маятник, определяется соотношением

$$\sin^2(\alpha/2) = m^2v^2/[4(M + m)^2gl].$$

4.11. Скорость v_1 — та минимальная скорость, с которой долж-

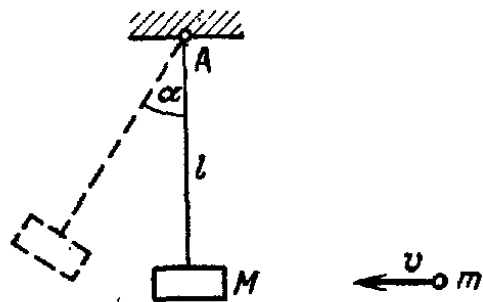


Рис. 203

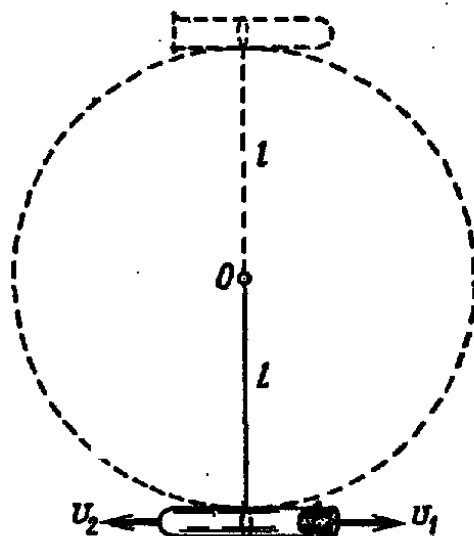


Рис. 204

на вылететь пробка для того, чтобы пробирка описала полный оборот вокруг точки O (рис. 204). В таком случае пробка получит импульс mv_1 , а пробирка поэтому должна получить импульс Mv_2 , причем по закону сохранения импульса $v_2 = mv_1/M$. В начальный момент своего движения пробирка будет обладать кинетической энергией $Mv_2^2/2$. Эта энергия должна пойти на то, чтобы поднять массу M на высоту $2l$.

По закону сохранения энергии будем иметь уравнение

$$Mv_2^2/2 = Mg2l.$$

Отсюда, подставляя значение скорости v_2 , получаем

$$v_1 = 2M\sqrt{gl}/m.$$

4.12. а) По модулю импульс первой тележки должен равняться импульсу второй тележки, так как в начальный момент сумма импульсов равна нулю, т. е. $m_1 v_1 = m_2 v_2$; откуда

$$v_1/v_2 = m_2/m_1 = 3.$$

б) Движение каждой тележки замедляется под действием силы трения. Сила трения определяется коэффициентом трения и массой тележки:

$$f_1 = km_1 g, \quad f_2 = km_2 g, \quad f_2/f_1 = m_2/m_1 = 3.$$

Под действием силы трения скорость каждой тележки убывает до нуля (тележки останавливаются). Импульс силы трения равен изменению импульса каждой тележки:

$$f_1 t_1 = m_1 v_1, \quad f_2 t_2 = m_2 v_2, \quad f_1 t_1 / f_2 t_2 = m_1 v_1 / m_2 v_2,$$

отсюда

$$t_1/t_2 = (m_1 v_1 / m_2 v_2) (f_2 / f_1) = 3.$$

в) Расстояние, пройденное каждой тележкой, можно найти, зная время движения и среднюю скорость:

$$s_1 = v_{1cp} t_1 = (v_1/2) t_1, \quad s_2 = v_{2cp} t_2 = (v_2/2) t_2, \quad s_1/s_2 = v_1 t_1 / v_2 t_2 = 9.$$

4.13. Так как первый осколок в результате взрыва возвращается по прежней траектории из верхней точки параболы, то, значит, он в результате взрыва получил импульс $-mv$, равный тому, которым он обладал до взрыва, но противоположный по знаку; иначе говоря, в результате взрыва произошло изменение импульса этого осколка на $-2mv$. По закону сохранения импульса второй осколок при взрыве должен получить такой же по модулю импульс, но направленный в противоположную сторону, т. е. $+2mv$ в сторону его прежнего движения. Поэтому у второго осколка после взрыва импульс будет равен $3mv$, и, следовательно, он начнет движение из верхней точки параболы с тройной скоростью, а поэтому пройдет по горизонтали втрое больший путь, чем первый осколок, т. е. упадет на землю вдвое дальше, чем упал бы снаряд, если бы взрыва в воздухе не было. Так как оба осколка в вертикальном направлении после взрыва не имели никакого импульса, то в этом направлении они будут свободно падать без начальной скорости с одной и той же высоты, а потому упадут на землю одновременно.

Можно предложить и другое решение исходя из того, что во время взрыва внешние силы не проявляются. Поэтому центр масс снаряда до и после взрыва имеет одинаковую скорость. Так как к тому же оба осколка после взрыва свободно

падают по вертикали, то центр масс снаряда будет продолжать описывать параболу, которую описывал бы неразорвавшийся снаряд. Так как осколки имеют равные массы, то они в своем движении будут всегда расположены симметрично относительно параболы центра масс (рис. 205). Следовательно, второй осколок упадет в точке D , причем $BD = AB$.

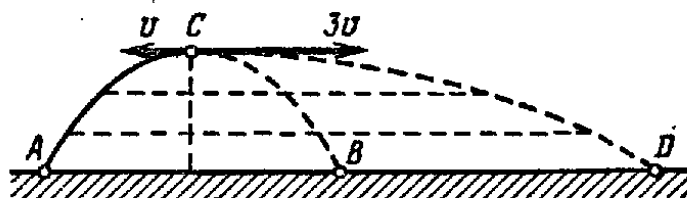


Рис. 205

4.14. Чтобы остановить мяч, игрок должен действовать на мяч со средней силой $F = mv/t$, где v — скорость мяча и t — время, в течение которого мяч останавливается. Расслабляя руки и подаваясь назад, игрок в мяч увеличивает время t и тем самым ослабляет силу, с которой он должен действовать на мяч, а значит и силу удара. Неопытный игрок, наоборот, напрягает руки и тело и тем самым увеличивает силу удара, рискуя при этом упустить мяч.

4.15. Как известно, в случае абсолютно упругого центрального удара двух шаров одинаковой массы, из которых один до удара был неподвижен, шары обмениваются скоростями, т. е. неподвижный продолжает двигаться со скоростью первого шара, а этот последний останавливается. Если же направление скорости движущегося шара не проходит через центр покоящегося шара, то в момент удара можно скорость v движущегося шара разложить по двум взаимно перпендикулярным направлениям, из которых одно проходит через центр покоящегося шара. Мы можем считать, что движущийся шар обладает двумя скоростями: v_1 и v_2 (рис. 206). В направлении скорости v_1 происходит абсолютно упругий центральный удар, в результате которого покоившийся шар начинает двигаться со скоростью v_1 , а ранее двигавшийся шар теряет скорость в этом направлении, но сохраняет скорость v_2 , в направлении которой продолжает двигаться.

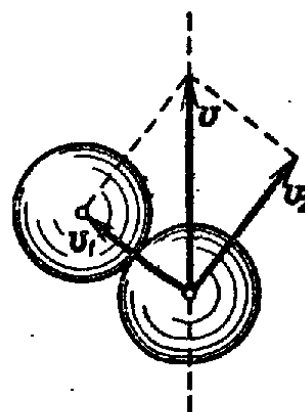


Рис. 206

Таким образом, после удара шары разлетаются под прямым углом.

4.16. Удар костяных шаров можно рассматривать как абсолютно упругий удар. Если при абсолютно упругом цент-

ральном ударе двух одинаковых шаров один до удара покоится, то, как известно, после удара покоившийся шар начинает двигаться со скоростью, равной той, которую имел первый шар до удара, а ранее двигавшийся шар останавливается. В нашей модели происходит ряд последовательных абсолютно упругих центральных ударов одного шара о другой с теми же результатами. Но промежуточные шары передают свою скорость следующему и останавливаются. Так же и последний шар отходит со скоростью, которой обладал первый шар в момент удара; но поскольку он уже не встречает на пути других шаров, то поднимается на такую высоту, как и та, с которой упал правый шар (потерями энергии мы пренебрегаем).

Если же отвести вправо не один, а два шара и отпустить их, то они будут падать независимо один от другого. При достижении ряда шаров (3–8) произойдет не один удар, а последовательно два удара один за другим, т. е. сначала ударится второй о третий, а затем первый о второй (рис. 207).

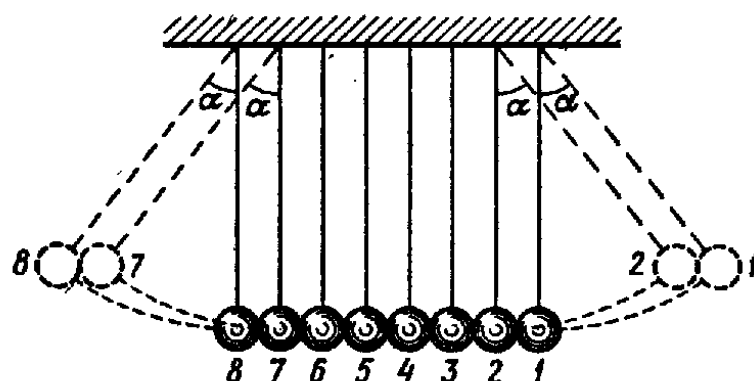


Рис. 207

Первый из этих ударов приведет к тому, что последний свободный шар (8-й) отойдет от седьмого и начнет подниматься кверху. После этого 7-й шар окажется свободным и в результате следующего удара (1-го шара) начнет подниматься кверху. Ясно, что оба эти шара (7-й и 8-й) отойдут на столько же, на сколько первоначально мы отвели 2-й и 1-й.

4.17. Второй из падающих шариков (средний из трех) ударяет упруго в покоящийся 3-й шарик. Они обмениваются скоростями. Ранее покоившийся 3-й шарик приобретает скорость ударившего его 2-го, а 2-й шарик останавливается. Но происходит тотчас второй упругий удар: 1-й из падающих шариков ударяет в остановившийся 2-й шарик. Снова происходит обмен скоростями и остановившийся 2-й шарик приобретает скорость ударившего (т. е. примерно такую же, как и 3-й шарик), а ударивший шарик останавливается. Таким образом, в результате двух упругих ударов отклоняются в сторону 2-й и 3-й

шарики на ту же высоту, на какую были отклонены два шарика первоначально.

4.18. Разделим обе части формулы, полученной при решении задачи 3.16, на промежуток времени t . Тогда отношение расстояния от края стержня к t будет пропорционально скорости движения. Таким образом, получим

$$v_0 = (m_1 v_1 + m_2 v_2 + m_3 v_3) / (m_1 + m_2),$$

или, вообще, при любом числе n шаров

$$v_0 = \sum_1^n m_i v_i / \sum_1^n m_i.$$

4.19. Используем классические формулы скоростей шаров после упругого удара:

$$v'_1 = \frac{(m_1 - m_2) v_1 + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2}, \quad v'_2 = \frac{(m_2 - m_1) v_2 + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2}.$$

Скорость центра масс шаров после удара на основании формулы, полученной при решении задачи 4.18, выразится так: $(m_1 v'_1 + m_2 v'_2) / (m_1 + m_2)$. Подставим в это выражение значения v'_1 и v'_2 . Тогда легко получим, что скорость центра масс шаров после упругого удара будет равна $(m_1 v_1 + m_2 v_2) / (m_1 + m_2)$, что совпадает со скоростью центра масс этих шаров до удара.

При неупругом ударе оба шара движутся вместе, т. е. с одной и той же скоростью. Поэтому их центр масс движется с этой скоростью, которая также выражается соотношением $(m_1 v_1 + m_2 v_2) / (m_1 + m_2)$. Следовательно, при неупругом ударе имеет место та же закономерность. Таким образом, импульс центра масс системы шаров до и после удара не изменяется. В частности, если до удара центр масс шаров покоился, то и после удара (как упругого, так и неупругого) центр масс будет оставаться неподвижным. То, что справедливо для шаров, является справедливым для любой системы материальных точек.

Выведенную нами закономерность следует рассматривать как иную формулировку закона сохранения импульса, т. е. при отсутствии внешних сил центр масс системы материальных точек сохраняет свой импульс, а следовательно, и свою скорость. Это положение иногда позволяет проще решать некоторые задачи механики. В дальнейшем мы это покажем.

4.20. Так как внешние силы, которые могли бы сообщать обезьянам импульс, отсутствуют, то обезьяны могут сообщать друг другу (через канат) только одинаковые импульсы. Поэтому независимо от того, как быстро обезьяны перебирают

лапами по канату, подниматься относительно земли они будут с одинаковой скоростью (поскольку массы их равны). Канат же будет передвигаться в сторону той обезьяны, которая быстрее перебирает лапами, именно с такой скоростью, чтобы скорость движения обеих обезьян относительно земли оказалась одинаковой. Поэтому обе обезьяны достигнут блока одновременно.

Задачу можно упростить так, чтобы этот ответ стал совершенно очевидным. Представим себе, что обезьяны находятся на абсолютно гладкой горизонтальной плоскости и держатся за концы каната. Поскольку внешние силы отсутствуют, центр масс двух обезьян должен оставаться неподвижным, а значит, они могут приближаться к нему только на одинаковые расстояния, как бы ни перебирала лапами канат та или другая из них. Поэтому обе обезьяны одновременно достигнут точки, лежащей на середине начального расстояния между ними.

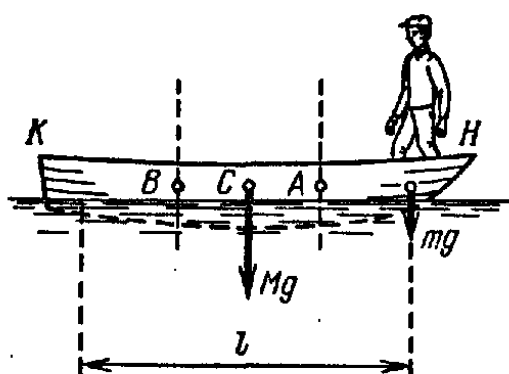


Рис. 208

Этот же метод позволяет легко ответить на вопрос задачи в случае, когда обезьяны имеют разные массы: более легкая доберется раньше.

4.21. Пусть человек переходит с носа на корму равномерно в течение времени t (рис. 208). Так как мы предположили, что внешних сил нет, то импульс системы лодка — человек не должен измениться, т. е. во все время движения человека лодка должна двигаться в противоположном направлении с такой скоростью, чтобы общий импульс был равен нулю. Пусть лодка за то же время t переместилась в противоположную сторону на расстояние x . Тогда скорость человека относительно земли за это время была $(l - x)/t$, а скорость лодки x/t . Закон сохранения импульса дает

$$m(l - x)/t - Mx/t = 0,$$

откуда

$$x = ml/(M + m) = 1 \text{ м.}$$

Этот же результат может быть получен на основании следствия, вытекающего из закона сохранения импульса: при отсутствии внешних сил центр масс системы не может переместиться. Когда человек стоит на носу H лодки, центр масс системы лодка — человек находится на вертикали, проходящей через точку A , причем $CA = 0,5$ м. Когда человек перешел на

корму K , то центр масс той же системы находится на вертикали, проходящей через точку B , причем $BC = 0,5$ м. Так как во время перехода человека с носа на корму никакие внешние силы на систему лодка — человек не действовали, то центр масс системы не может переместиться. Для этого лодка должна переместиться так, чтобы точка B совпала с прежним положением точки A , т. е. лодка должна переместиться вправо на расстояние BA , равное 1 м.

4.22. Очевидно, когда обе пушки стреляют одновременно, платформа остается неподвижной и именно при этом условии (стрельба с неподвижной платформы) снаряды попадают в цель. Если одна из пушек выстрелит раньше, то по закону сохранения импульса платформа начнет двигаться в противоположную сторону. Поскольку все условия движения снаряда в стволе орудия остались прежними, а сам ствол вместе с платформой начинает двигаться в противоположном направлении (это движение начинается вместе с движением снаряда, т. е. пока он находится еще в стволе), снаряд вылетит из ствола с меньшей начальной скоростью относительно земли, чем в случае неподвижной платформы. Следовательно, снаряд не долетит до цели. Движение платформы будет продолжаться вплоть до выстрела из второй пушки. Поэтому при выстреле ствол второй пушки вместе с платформой будет двигаться в сторону выстрела, и, значит, снаряд при вылете из пушки будет иметь несколько большую скорость, чем при стрельбе из неподвижной пушки. Следовательно, будет иметь место перелет снаряда.

Так как скорость снаряда при втором выстреле больше, чем при первом, то, как следует из закона сохранения импульса, после второго выстрела платформа должна начать двигаться в направлении, противоположном второму выстрелу. Для упрощения мы не учитываем того обстоятельства, что ствол пушки после выстрела движется относительно лафета. Но ясно, что это обстоятельство не изменит принципиально той роли, которую играет движение платформы.

4.23. Пружины I и II , имеющие одну и ту же жесткость, в начальный момент действуют с разными силами: $2mg$ и mg , но при этом имеют одинаковую длину. Значит, их длина в недеформированном состоянии должна быть различна. При свободном падении обе пружины должны быть не растянутыми, т. е. они сожмутся до нормальной длины (их деформации исчезнут), и так как эта длина у двух пружин разная, то расстояния между центрами 1-го и 2-го и 2-го и 3-го шаров уже не будут одинаковыми. Таким образом, центр второго шара после начала падения перестает быть центром масс системы трех шаров.

4.24. Пружина часов одним концом прикреплена к корпусу часов, а другой ее конец прикреплен к маятнику (рис. 209). Период колебаний маятника зависит от жесткости и длины пружины. Чем короче пружина, тем меньше период колебаний. Когда часы лежат на подставке, нужно считать, что корпус часов жестко соединен с ней. Если подставка может свободно вращаться вокруг вертикальной оси, то поворот маятника в одну сторону вызовет поворот подставки и корпуса часов в другую сторону. Вследствие этого пружина будет закручиваться с обоих концов в противоположные стороны. Поэтому неподвижная точка пружины окажется где-то внутри пружины — между

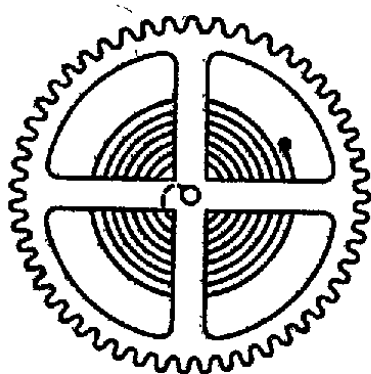


Рис. 209

концом, прикрепленным к корпусу часов, и маятником. Иначе говоря, длина пружины как бы уменьшается, что ведет к уменьшению периода колебаний. Итак, часы начнут спешить.

4.25. Наиболее наглядным является графическое решение задачи (рис. 210). Так как все три шарика имеют одинаковую начальную скорость, то, если бы столкновений не было, график зависимости пути (высоты) от времени для всех трех

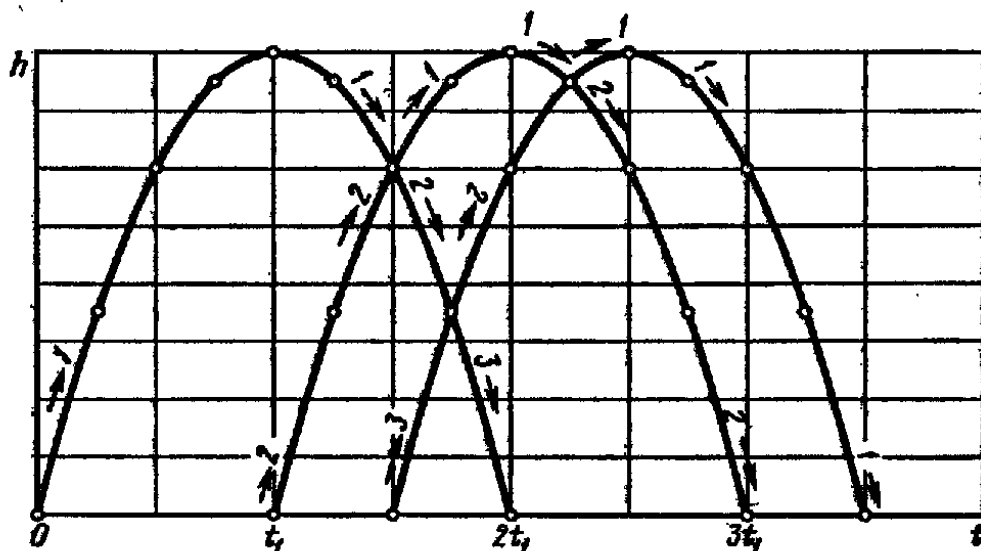


Рис. 210

шариков имел бы одинаковый вид. Чтобы учесть результат столкновений, нужно принять во внимание следующее: 1) шарики сталкиваются, когда графики их движения пересекаются, 2) при столкновении шарики обмениваются скоростями (удар упругий), т. е. после столкновения каждый шарик продолжает движение другого (по его графику). (На рис. 210 цифры указывают, движению какого шарика соответствуют разные участки графиков.) Будем отсчитывать время от момента бро-

сания первого шарика, и обозначим через t_1 время, необходимое для его подъема до максимальной высоты. Тогда третий шарик упадет через $2t_1$, второй через $3t_1$ и первый через $3,5t_1$.

4.26. Принцип относительности требует, чтобы в двух рассматриваемых системах соблюдались одни и те же физические законы и, в частности, закон сохранения энергии, по которому изменение энергии тела должно быть равно работе внешних сил. Поэтому в системе I должно быть справедливо соотношение

$$(m/2)(v_2^2 - v_1^2) = Fs, \quad (1)$$

где s — длина пути, пройденного телом в системе I за то время, в течение которого скорость возросла от v_1 до v_2 .

В системе II , соответственно,

$$(m/2)(v_2^2 - v_1^2) - mv(v_2 - v_1) = Fs_1, \quad (2)$$

где s_1 — длина пути, пройденного телом в системе II за то же время. Но так как скорость тела в системах I и II различна, то s и s_1 различны. В самом деле, так как тело движется под действием силы F с ускорением F/m , то в системе I имеем

$$s = v_1 t + (F/m)(t^2/2),$$

а в системе II , соответственно,

$$s_1 = (v_1 - v)t + (F/m)(t^2/2).$$

Следовательно, $s - s_1 = vt$. Но так как $F/m = a = (v_2 - v_1)/t$, то

$$t = m(v_2 - v_1)/F, \quad s - s_1 = mv(v_2 - v_1)/F,$$

а следовательно, $F(s - s_1) = mv(v_2 - v_1)$.

Таким образом, работа внешней силы в системе I настолько больше, чем в системе II , насколько изменение кинетической энергии в системе I больше изменения энергии в системе II . Так как в системе I изменение энергии равно работе внешних сил, то это же справедливо и для системы II . Следовательно, принцип относительности Галилея не нарушен.

5. ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

5.1. Сила трения в обоих случаях одинакова, но момент силы трения относительно оси вращения в случае сточенного конца вала меньше, а потери на трение при вращении определяются именно моментом сил трения.

5.2. Если сила, с которой надо прижимать тормозные колодки к колесу, равна F , то сила трения будет равна по

модулю kF . Момент сил трения, действующих на две колодки, будет равен $kF \cdot 2R$. Этот момент пары сил трения должен уравновешивать вращающий момент M : $2kFR = M$. Отсюда $F = M/2kR = 4 \text{ кН}$.

5.3. Если бы блок был невесомым, то силу натяжения нитей по обе стороны блока следовало бы считать одинаковой (см. задачу 2.22). Но так как блок обладает моментом инерции, нужно учесть, что нить будет натянута по обе стороны блока по-разному, и разность сил натяжения будет создавать момент, вращающий блок. Пусть сила натяжения нити слева T_1 , справа — T_2 . Тогда, применяя второй закон Ньютона к движению масс m_1 и m_2 , получим уравнения

$$m_1 a = m_1 g - T_1, \quad (1)$$

$$-m_2 a = m_2 g - T_2. \quad (2)$$

При этом мы считаем положительным направление ускорения груза массы m_1 , а поэтому ускорение a во втором уравнении взято со знаком минус.

Если угловое ускорение блока обозначить через β , причем $\beta = a/R$, где R — радиус блока, то, применяя второй закон Ньютона к вращению, будем иметь

$$I \beta = (T_1 - T_2) R. \quad (3)$$

Решая совместно уравнения (1), (2) и (3), найдем силы натяжения:

$$T_1 = m_1 g \frac{2m_2 + I/R^2}{m_1 + m_2 + I/R^2}, \quad T_2 = m_2 g \frac{2m_1 + I/R^2}{m_1 + m_2 + I/R^2}.$$

При $I = 0$ отсюда получаем $T_1 = T_2$, что совпадает с результатом задачи 2.22.

5.4. Автомобиль в момент поворота передних колес обладает скоростью поступательного движения v , которую можно разложить по двум взаимно перпендикулярным направлениям

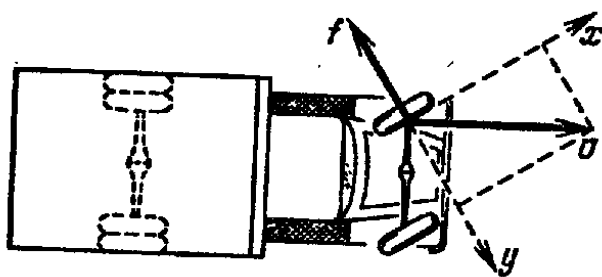


Рис. 211

x и y (рис. 211). Колеса должны были бы одновременно катиться по направлению x и скользить по направлению y . Но если должно возникнуть скольжение, то всегда появляется сила трения, направленная в сторону, противоположную той, в которую

должно было бы происходить скольжение. Эта внешняя сила f и вызывает поворот автомобиля в нужную сторону.

5.5. Так как в верхней точке петли центростремительная сила — это сила, с которой тело притягивается к земле, то центробежная сила — это сила, с которой земля притягивается к телу, т. е. она действует на землю.

5.6. Пусть уровень разрыва желоба на h ниже края желоба, с которого начинает скользить без трения шарик. Тогда скорость шарика на уровне разрыва дается уравнением

$$mgh = mv^2/2. \quad (1)$$

Длина хорды AB (рис. 212), равная $2R \sin \alpha$, — это дальность свободного полета, который должен совершить шарик, начавший движение от точки A со скоростью v под углом α к горизонту, т. е. $AB = v^2 \sin 2\alpha/g$. Таким образом, для определения скорости v имеем уравнение

$$2R \sin \alpha = v^2 \sin 2\alpha/g,$$

откуда

$$v^2 = 2Rg \sin \alpha / \sin 2\alpha. \quad (2)$$

Подставляя значение v^2 из (2) в уравнение (1), будем иметь после сокращения на $2mg \sin \alpha$: $h = R/2 \cos \alpha$, а высота края желоба над нижней точкой петли будет равна

$$H = R + R \cos \alpha + R/2 \cos \alpha = R(1 + \cos \alpha + 1/2 \cos \alpha).$$

Эта высота имеет минимальное значение при $\alpha = 45^\circ$. Траектория шарика в разрыве петли есть парабола.

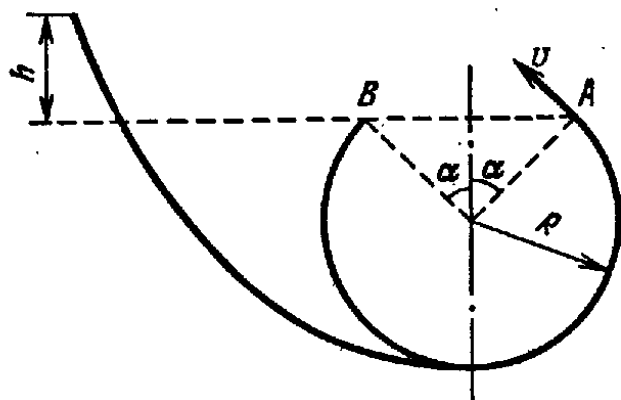


Рис. 212

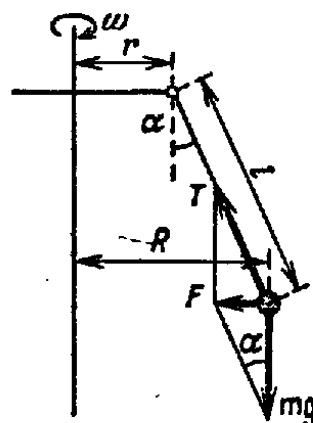


Рис. 213

5.7. Отвес устанавливается так, что равнодействующая сил тяжести mg и натяжения нити T дает центростремительную силу $F = m\omega^2 R$ (рис. 213). Очевидно, что $R = r + l \sin \alpha$. Следовательно,

$$\omega^2 = g \operatorname{tg} \alpha / (r + l \sin \alpha), \quad \omega = \sqrt{g \operatorname{tg} \alpha / (r + l \sin \alpha)}.$$

5.8. У монеты, катящейся в вертикальном положении, сила тяжести mg и сила реакции плоскости N уравновешивают

друг друга, поэтому они не могут искривить путь монеты (рис. 214, а). У наклоненной монеты (рис. 214, б) сила реакции N со стороны плоскости по-прежнему равна силе тяжести монеты, но, кроме того, возникает сила трения f , действующая вдоль плоскости. Ее появление объясняется тем, что при наклонном положении монеты должно было бы возникнуть скольжение

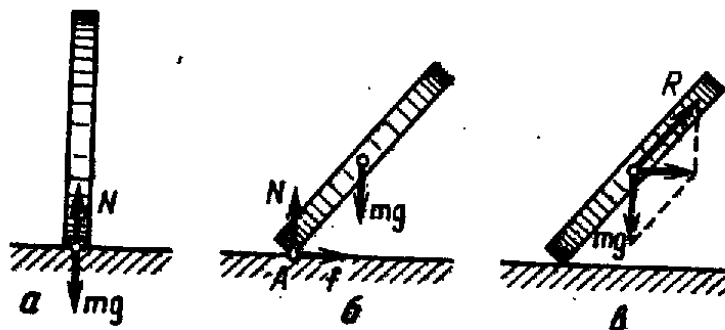


Рис. 214

точки А монеты влево. При этом всегда появляется сила трения, препятствующая возникновению скольжения. Таким образом, равнодействующая R силы реакции плоскости N и силы трения f оказывается наклоненной к плоскости (рис. 214, в).

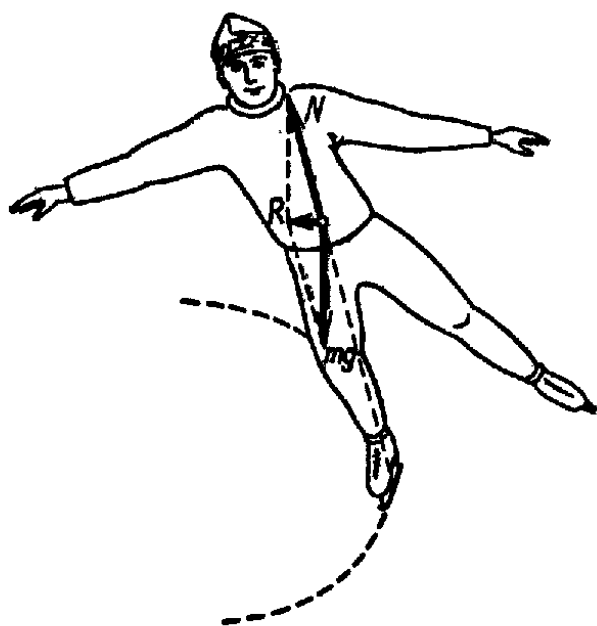


Рис. 215

Равнодействующая же силы тяжести mg и силы R , направленная горизонтально в сторону наклона, и вызывает искривление траектории движения центра масс монеты.

5.9. На конькобежца, наклонившегося в сторону центра круга, действуют две силы: сила тяжести и сила реакции ледяной дорожки, которая имеет горизонтальную составляющую и поэтому направлена наклонно. Горизонтальная составляющая реакции ледяной дорожки (рис. 215) возникает вследствие того, что конек, легко сколь-

зящий вдоль своего направления, не скользит в перпендикулярном направлении. Эта горизонтальная составляющая аналогична силе трения, действующей на монету в задаче 5.8.

Сила тяжести конькобежца mg и сила реакции N ледяной дорожки дают равнодействующую силу R , направленную горизонтально и сообщающую конькобежцу центростремительное ускорение, необходимое для движения по окружности.

5.10. При вращении цепочки на шкиве в ней возникает деформация — цепочка растягивается, как всякое быстро-вращающееся тело. Вследствие этого возникают упругие силы между отдельными звеньями цепочки. На каждое звено цепочки действуют два соседних звена. Эти упругие силы F_1 и F_2 направлены под углом друг к другу, а их равнодействующая R направлена к центру цепочки и является центро-стремительной силой (рис. 216, а), заставляющей это звено

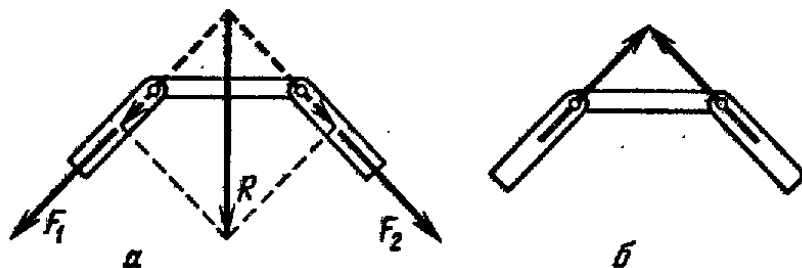


Рис. 216

описывать кривую. В свою очередь каждое звено цепочки действует на остальную часть цепочки с двумя силами, равными по модулю и противоположными по направлению тем, которые действуют на данное звено (рис. 216, б). Эти силы придают цепочке жесткость и делают ее подобной жесткому кольцу. Работа сил трения замедляет вращение цепочки, и цепочка в конце концов теряет жесткость и падает.

5.11. Для того чтобы летчик описывал указанную в условии задачи мертвую петлю, на него во всех точках петли должна действовать центростремительная сила

$$F_{ц.с} = mv^2/R = 1,750 \text{ кН.}$$

В нижней точке петли эта сила берется из составляющей силы реакции сидения, а в верхней точке — из силы тяжести летчика и из силы реакции сидения. Поэтому центробежная сила в нижней точке петли действует целиком на сидение, а в верхней точке — частично на сидение, а частично на землю. В нижней точке петли на сидение действует и сила тяжести летчика, и центробежная сила, поэтому летчик прижимается к сидению с силой 2,436 кН, а в верхней точке петли на сидение действует только часть центробежной силы, равная центробежной силе минус сила тяжести летчика, поэтому в верхней точке петли летчик прижимается к сидению с силой 1,064 кН.

5.12. Велосипед и велосипедист имеют общую скорость по касательной к закруглению. На повороте велосипедист поворачивает рулевое колесо в сторону поворота. Тогда прежняя скорость может быть разложена на две составляющие: по

направлению движения рулевого колеса и перпендикулярно к нему. В направлении первой составляющей скорости рулевое колесо может продолжать двигаться в сторону поворота, в направлении второй составляющей скорости движению велосипеда будет препятствовать трение колеса о землю и оно не будет двигаться в эту сторону. Велосипедист же должен продолжать двигаться в эту сторону, поскольку на него не действуют силы, уменьшающие эту составляющую скорости. Продолжая двигаться в этом направлении (в котором велосипед не движется), велосипедист неизбежно упадет.

5.13. При повороте автобуса центростремительное ускорение ему сообщают силы трения земли о колеса, приложенные к нижней точке колес. Центру масс эти силы непосредственно не сообщают ускорения, поэтому корпус автобуса движется по кривой большего радиуса, чем колеса. Корпус слегка сдвигается наружу, и это приводит к растяжению рессор, опирающихся на внутренние (по отношению к повороту) колеса, и сжатию рессор, поддерживающих внешние (по отношению к повороту) колеса. При этом возникает вращающий момент упругих сил, который препятствует дальнейшему увеличению наклона кузова.

Отметим, что со стороны рессор действует момент обратного направления. Однако на очень больших скоростях этот момент очень велик и может привести к тому, что колеса, описывающие внутреннюю кривую, оторвутся от земли и автобус все же опрокинется.

5.14. Если шарик поднялся на высоту h , то его потенциальная энергия возросла на величину mgh . Эта энергия будет при колебании маятника переходить в кинетическую и обратно, причем, когда шарик снова поднимется на наибольшую высоту и остановится, он будет обладать той же потенциальной энергией. Значит, шарик должен подняться на ту же высоту, так как при встрече нити со стержнем A кинетическая энергия маятника не изменяется. Поэтому, где бы ни был расположен стержень A , перпендикулярный к плоскости чертежа (лишь бы расстояние AB было меньше $l - h/2$), шарик поднимется на ту же высоту h . Если же AB больше $l - h/2$, то это будет невозможно. Но в этом случае шарик в наивысшей точке будет обладать еще некоторой скоростью (так как еще не вся кинетическая энергия превратилась в потенциальную). Он будет продолжать двигаться в том же направлении, и нить обовьется вокруг стержня.

5.15. Шарик сначала описывает четверть окружности радиуса, равного длине нити l . Затем нить задевает гвоздь, вбитый в стенку в точке O , и шарик описывает дугу окружности вдвое меньшего радиуса. Наконец, когда сила тяжести шарика будет

сообщать ему центростремительное ускорение, необходимое для движения по окружности, натяжение нити обратится в нуль. Пусть это произойдет в точке C (рис. 217). Ее положение определим следующим образом. Составляющая силы тяжести по направлению радиуса равна $mg \cos \alpha$, где α — угол, образованный нитью в этот момент. Далее, значение v^2 в точке C равно $2gH$, где $H = AB = AO - BO = l/2 - (l/2) \cos \alpha$. Поэтому центростремительная сила в точке C равна

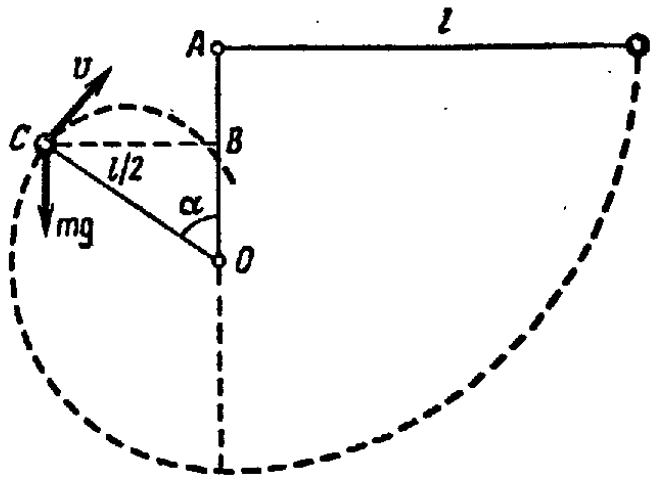


Рис. 217

$$F_{ц.с} = \frac{mv^2}{R} = \frac{2m[l/2 - (l/2) \cos \alpha]g}{l/2} = 2mg(1 - \cos \alpha).$$

Итак, в точке C имеем равенство $mg \cos \alpha = 2mg(1 - \cos \alpha)$, откуда $\cos \alpha = 2/3$. Далее шарик летит как тело, брошенное под углом α к горизонту с начальной скоростью $v = \sqrt{gl/3}$. В этом случае верхняя точка параболы находится выше уровня точки взлета на $(v \sin \alpha)^2 / 2g = (5/54)l$. Вертикаль, проходящая через точку подвеса, находится от точки C на расстоянии $CB = (l/2) \sin \alpha = (\sqrt{5}/6)l$. Чтобы пройти по горизонтали такой путь, шарик потребует время $t = CB/v \cos \alpha = (\sqrt{15}/4)\sqrt{l/g}$. За это время шарик по высоте пройдет путь

$$(v \sin \alpha)t - gt^2/2 = -(5/96)l,$$

т. е. пересечет вертикаль AO в точке, лежащей на $(5/96)l$ ниже точки B .

5.16. Шар будет двигаться замедленно, если сила трения будет направлена против движения, и ускоренно, если эта сила направлена по движению. Направление силы трения противоположно направлению скорости, с которой происходит скольжение в точке K — точке касания шара и поверхности (рис. 218, а). Скорость же скольжения в этой точке зависит от соотношения двух скоростей: скорости поступательного движения шара v_0 и скорости вращения вокруг центра масс.

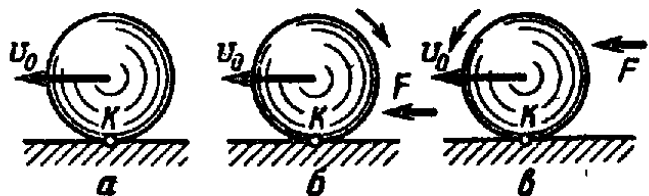


Рис. 218

При ударе кием по нижней части бильярдного шара (шар вращается по часовой стрелке, рис. 218, б) скорость в точке K , обусловленная вращением, направлена вперед, и возникает скольжение, также направленное вперед. Поэтому появляется сила трения, направленная назад, которая замедляет движение шара.

При ударе кием по верхней части бильярдного шара (рис. 218, в) шар вращается против часовой стрелки. При достаточно «высоком» ударе, когда скорость его вращения велика (так что обусловленная этим вращением линейная скорость в точке K больше скорости поступательного движения), возникает скольжение, направленное назад. Появляется сила трения, направленная по движению, и шар движется ускоренно.

5.17. Если смотреть на пулю извне, не с Земли, а, например, с Луны, то путь ее представится как вертикальное падение на Землю, так как скорость движения пули относительно Земли и скорость движения Земли относительно внеземного наблюдателя равны по модулю и противоположны по направлению.

Если смотреть на пулю с Земли, путь ее представится, как обычно, параболой, заканчивающейся падением пули на Землю.

5.18. Качение без скольжения можно рассматривать как вращение вокруг мгновенной оси O (образующей цилиндра, касающейся в данный момент наклонной плоскости) и поступательное движение этой оси. Вращающим моментом при этом является момент силы тяжести mg относительно оси O (рис. 219). Массы цилиндров, а значит, и их силы тяжести равны, поэтому и вращающие моменты для обоих цилиндров равны. Однако их моменты инерции различны.

Во втором (сборном) цилиндре играет роль момент инерции лишь наружного цилиндра, так как внутренний цилиндр, вследствие отсутствия сил трения, не вращается. Очевидно, что момент инерции первого

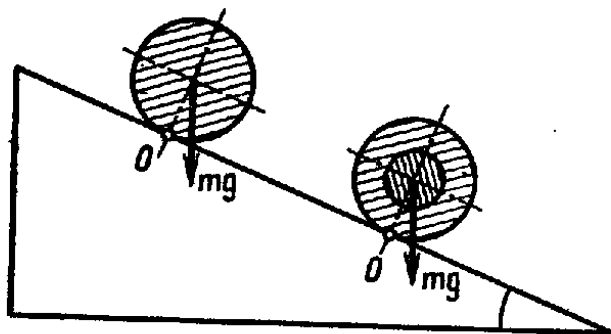


Рис. 219

(сплошного) цилиндра больше, чем момент инерции внешнего полого цилиндра во втором случае. При одном и том же вращающем моменте угловое ускорение обратно пропорционально моменту инерции цилиндра. Поэтому угловое ускорение сборного цилиндра больше, т. е. он скатывается быстрее.

Положение внутреннего цилиндра в зазоре можно определить из следующих соображений. Если бы внутренний цилиндр скользил без трения по наклонной плоскости, то его ускорение под действием силы тяжести было бы бóльшим, чем ускорение центра скатывающегося цилиндра. Это видно хотя бы из того, что потенциальная энергия, которой обладает цилиндр в поле тяжести, при скольжении превращается только в кинетическую энергию поступательного движения, а при скатывании — в энергию и поступательного и вращательного движений. Следовательно, скорость, а значит, и ускорение поступательного движения при скольжении должны быть больше, чем при скатывании. Так как в случае сборного цилиндра оба они — и внешний и внутренний — опускаются с одинаковым ускорением, то, значит, внешний цилиндр замедляет движение внутреннего. А для этого сила F , с которой внешний цилиндр давит на внутренний, должна иметь составляющую F_1 , направленную вдоль наклонной плоскости кверху, т. е. сила F должна быть отклонена несколько назад от направления перпендикуляра к наклонной плоскости (рис. 220). Так как трения нет, то сила F должна быть нормальна к поверхности цилиндров, и, чтобы при этом она была отклонена назад, цилиндры должны касаться друг друга по образующей, лежащей, во всяком случае, впереди радиуса, проведенного к точке касания внешнего цилиндра с наклонной плоскостью.

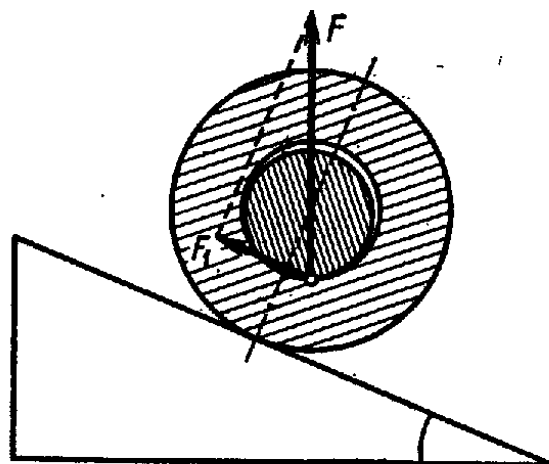


Рис. 220

6. ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

6.1. Если бы свинцовый шар был сплошной, то он притягивал бы маленький шарик с силой

$$F_{\text{спл}} = G \frac{Mm}{r^2},$$

где G — гравитационная постоянная. Можно считать, что сила притяжения $F_{\text{спл}}$ сплошного шара складывается из двух сил: из силы притяжения нашего шара со сферической полостью внутри (на рис. 60 заштрихован) и силы притяжения меньшего шара радиуса $R/2$, заполняющего сферическую полость в нашем шаре. Цель задачи — найти первую силу.

Масса шара, который заполнил бы сферическую полость, равна

$$M_{\text{пол}} = (4/3) \pi \rho (R/2)^3 = M/8,$$

а центр его лежит на расстоянии $r \sim R/2$ от шарика массы m . Искомая сила, равная разности сил притяжения сплошного шара и меньшего шара, заполняющего сферическую полость, выразится так:

$$F = G \frac{Mm}{r^2} - G \frac{(M/8)m}{(r - R/2)^2} = GMm \left[\frac{7r^2 - 8rR + 2R^2}{8r^2(r - R/2)^2} \right].$$

Очень часто эту задачу решают неверно. Так как ошибка поучительна, мы приведем решение и разъясним, в чем ошибка.

Вычислялось положение нового центра масс свинцового шара после того, как в нем сделана полость; расстояние нового центра масс от центра шара можно определить из уравнения

$$Mgx = (M/8)g(R/2 + x),$$

откуда $x = R/14$. Затем определялась сила притяжения свинцовым шаром с полостью (масса его равна $(7/8)M$) шарика массы m так, как будто это две точечные массы, находящиеся на расстоянии $l + R/14$ друг от друга, т. е. по формуле

$$F = G \frac{(7/8)Mm}{(l + R/14)^2}.$$

Нетрудно видеть, что этот результат отличается от полученного нами решения. Они совпадают, только если $R \ll l$. Ошибка заключается в неправильном предположении, что шар с полостью притягивает массу m так же, как его притягивала бы точечная масса той же величины, помещенная там, где находится центр масс шара с полостью.

Центр масс есть точка приложения равнодействующей всех параллельных сил, действующих на определенные элементы тела, причем каждая из этих сил пропорциональна массе данного элемента тела. Но силы, с которыми на массу m действуют отдельные элементы шара, во-первых, не параллельны друг другу, так как все они направлены к точке m ; и во-вторых, хотя они и пропорциональны массам элементов тела, но для элементов равной массы, вообще говоря, различны, так как зависят от расстояния данного элемента до точки m . Поэтому заменять силу тяготения данного тела силой тяготения точечной массы такой же величины, помещенной в центре масс данного тела, вообще говоря, нельзя. Только в специальных случаях, когда размеры тел малы

по сравнению с расстоянием между ними (т. е. когда тела можно считать материальными точками) или когда притягивающее тело особо симметричной формы, например однородный шар, можно вычислять силу тяготения этого тела, считая, что вся его масса сосредоточена в центре масс. Этим последним обстоятельством мы и пользовались, когда вычисляли силы тяготения сплошного шара и заполняющего полость меньшего шара.

6.2. Явление приливов и отливов возникает вследствие того, что данное небесное тело (Луна, Солнце) сообщает различные ускорения всему земному шару в целом и воде, находящейся на его поверхности. Всему земному шару в целом небесное тело сообщает такое же ускорение, какое оно сообщало бы телу, помещенному в центре земного шара. Но по закону всемирного тяготения ускорение, сообщенное телом массы M другому, находящемуся на расстоянии r , есть $a = GM/r^2$, где G — гравитационная постоянная. Следовательно, разность ускорений воды, находящейся на поверхности Земли, и всей Земли в целом выразится так:

$$\frac{GM}{(r-R)^2} - \frac{GM}{r^2} = \frac{GM(2rR - R^2)}{r^2(r-R)^2},$$

где r — расстояние от небесного тела до центра Земли, а R — радиус Земли (рис. 221). Так как величина R очень мала по сравнению с r , то приближенно для этой разности будем иметь

$$2R \frac{GM}{r^3}.$$

Значение этой разности для Солнца и Луны и определяет явления приливов и отливов, вызываемые ими. Так как

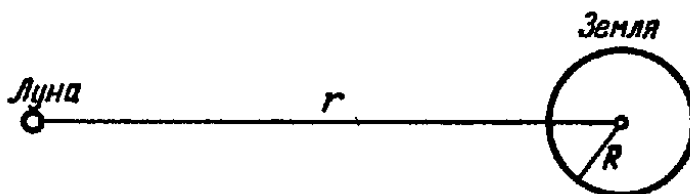


Рис. 221

r для Луны порядка $60 R$, r для Солнца порядка $25\,000 R$, то r^3 для Солнца больше, чем для Луны приблизительно в $75 \cdot 10^6$ раз, а масса Солнца больше массы Луны всего лишь в $27 \cdot 10^6$ раз. Поэтому приливное действие Луны почти в три раза больше приливного действия Солнца.

6.3. Сила притяжения Солнца действует не только на груз, находящийся на весах, но и на Землю, и поэтому сообщает

грузу и весам одинаковое ускорение (если пренебречь приливными эффектами; см. задачу 6.2). Поэтому сила притяжения Солнца не изменяет растяжения пружин, т. е. не влияет на показания весов. Так же как сила притяжения Земли не растягивает пружину, если груз вместе с пружиной и подставкой, к которой она прикреплена, свободно падает на Землю, так и сила притяжения Солнца не растягивает пружины, так как подставка вместе с Землей «падает» на Солнце. Это «падение» выражается в том, что Земля в своем движении по орбите обладает центростремительным ускорением, как раз равным тому ускорению свободного падения, которым обладала бы она или любое другое тело, помещенное на орбиту Земли и не имеющее начальной скорости. Следовательно, масса тел на Земле днем и ночью одна и та же.

6.4. 1. По закону всемирного тяготения ускорение свободного падения, приобретаемое телом, обратно пропорционально квадрату расстояния от Земли, и поэтому тело, поднятое на высоту 500 км и, следовательно, находившееся на расстоянии 7000 км от центра Земли, будет обладать ускорением свободного падения, равным

$$g = \frac{9,80 \cdot 6500^2}{7000^2} \approx 8,45 \text{ м/с}^2.$$

2. Чтобы тело могло описывать окружность вокруг Земли, ускорение, сообщаемое ему Землей, должно быть равно требуемому центростремительному ускорению. Поэтому $a_{ц.с} = 8,45 \text{ м/с}^2 = v^2/(7 \cdot 10^6)$. Отсюда получаем, что $v \approx 7,7 \text{ км/с}$.

3. При найденной скорости движения один оборот тела вокруг Земли будет совершен за время, равное

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \cdot 7000}{7,7 \cdot 3600} \text{ ч} \approx 1,5 \text{ ч}.$$

6.5. Жюль Верн полагал, что состояние невесомости наступает тогда, когда сила тяготения перестает действовать, в частности, например, потому, что силы тяготения Земли и Луны уравнивают друг друга. Однако это очень частный и потому наименее интересный случай. Состояние невесомости наступает и в том случае, когда на тело действуют только силы тяготения. При этом, так как и тела и подставки или подвесы, их поддерживающие, под действием сил тяготения испытывают одинаковое ускорение (g — вблизи поверхности Земли), то тела перестают давить на подставки и подвесы и сами не испытывают деформаций (которые возникают, когда тело, находящееся под действием силы тяго-

тения, не движется с ускорением g , а покоится на подставке или подвесе). На космический корабль, движущийся по орбите, и на все находящиеся в нем тела действует только сила тяготения, поэтому все тела и космонавты пребывают в состоянии невесомости.

7. КОЛЕБАНИЯ. ВОЛНЫ. ЗВУК

7.1. До тех пор пока справедлив закон Гука, смещение груза массы m на величину x от положения равновесия вызывает появление силы упругости

$$F = -(k_1 + k_2)x,$$

не зависящей от того, как были растянуты пружины, когда груз массой m находился в положении равновесия. Зависимость силы, действующей на m , от отклонения от положения равновесия определяет период колебаний; эта зависимость не изменяется при изменении растяжения пружин, соответствующего равновесию, поэтому и период колебаний не будет зависеть от этого растяжения. Следовательно, перемещение точек закрепления пружин из A_1 и A_2 в B_1 и B_2 (рис. 61) приведет лишь к смещению средней точки (около которой происходят колебания), но не повлияет на период.

7.2. Когда тело массой m достигнет чашки, она будет обладать кинетической энергией

$$mv^2/2 = mgh. \quad (1)$$

После удара тело и чашка будут обладать тем же импульсом, что и тело до удара, и (поскольку массой чашки мы пренебрегаем) той же скоростью и той же кинетической энергией, т. е. mgh . Чашка с телом после удара будет опускаться и растягивать пружину. Растяжение пружины будет происходить за счет начальной кинетической энергии и работы силы тяжести. Если отклонение чашки вниз считать положительным, то работа силы тяжести равна mgx , где x — отклонение чашки от начального положения. Поэтому наибольшее растяжение пружины x_0 определяется из условия, что вся кинетическая энергия и работа силы тяжести пошли на упругую деформацию пружины, т. е.

$$\begin{aligned} \frac{kx_0^2}{2} &= mgh + mgx_0, \\ x_0^2 - \frac{2mg}{k}x_0 - \frac{2mgh}{k} &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

откуда

$$x_0 = \frac{mg}{k} \pm \sqrt{\frac{m^2 g^2}{k^2} + \frac{2mgh}{k}}.$$

Наибольшему отклонению вниз соответствует положительный корень этого уравнения (так как мы условились считать отклонение вниз положительным). Так как это наибольшее отклонение больше, чем mg/k (что соответствует положению равновесия чашки, когда в ней лежит тело), то, достигнув наинизшего положения, чашка начнет подниматься кверху, пройдет через начальное положение и поднимется вверх, сжав пружину. Когда она остановится в верхнем положении, опять потенциальная энергия сжатой пружины будет равна сумме начальной кинетической энергии и работы силы тяжести, т. е. наибольшее отклонение вверх будет определяться также уравнением (2), но этому отклонению будет соответствовать второй, отрицательный корень уравнения.

Итак, чашка будет совершать колебания между двумя крайними положениями:

$$x_{01} = \frac{mg}{k} + \sqrt{\frac{m^2 g^2}{k^2} + \frac{2mgh}{k}}, \quad x_{02} = \frac{mg}{k} - \sqrt{\frac{m^2 g^2}{k^2} + \frac{2mgh}{k}}.$$

При этом положению равновесия чашки будет соответствовать смещение $x_0 = mg/k$. Следовательно, наибольшие отклонения чашки в обе стороны от положения равновесия будут одинаковы и равны

$$\sqrt{\frac{m^2 g^2}{k^2} + \frac{2mgh}{k}}. \quad (3)$$

Это и есть амплитуда колебаний чашки.

Если массой M чашки пренебречь нельзя, то скорость, с которой чашка начнет опускаться, не будет равна скорости, с которой тело достигает чашки и которая определяется уравнением (1). Для определения скорости V , с которой начнет опускаться чашка под давлением упавшего тела, надо применить закон сохранения импульса. В таком случае будем иметь

$$mv = (M + m)V, \quad V = mv/(M + m).$$

Подставляя значение v из уравнения (1), получим

$$V = m\sqrt{2gh}/(M + m).$$

Далее, необходимо иметь в виду, что движущейся массой теперь будет сумма масс чашки и тела: $M + m$. Кроме того,

в начальный момент пружина растянута на длину a весом чашки, причем

$$ka = Mg. \quad (4)$$

Поэтому закон сохранения энергии дает

$$\frac{kx^2}{2} - \frac{ka^2}{2} = \frac{(M+m)}{2} \left(\frac{m\sqrt{2gh}}{M+m} \right)^2 + (M+m)g(x-a).$$

Подставив в это выражение значение a из (4) и перенеся все члены в левую часть, получим после преобразований

$$x^2 - \frac{2(M+m)g}{k}x - \frac{2m^2gh}{(M+m)k} + \frac{M(M+2m)g^2}{k^2} = 0.$$

Отсюда

$$x = \frac{M+m}{k}g \pm \sqrt{\frac{m^2g^2}{k^2} + \frac{2m^2gh}{(M+m)k}}.$$

Новым положением равновесия будет

$$x_0 = (M+m)g/k.$$

Рассуждения, аналогичные предшествующему случаю, приведут к значению амплитуды

$$\sqrt{\frac{m^2g^2}{k^2} + \frac{2m^2gh}{(M+m)k}}. \quad (5)$$

Как и следовало ожидать, выражение (5) переходит в (3), если считать $M = 0$.

7.3. По мере вытекания жидкости из сосуда сначала центр масс жидкости, а значит и центр масс маятника, будет опускаться и расстояние от центра масс до точки подвеса увеличиваться. Поэтому вначале по мере вытекания воды период колебаний маятника будет постепенно расти.

Однако снижение центра масс сосуда с водой не происходит монотонно. Когда воды в сосуде останется мало, то при ее вытекании центр масс сосуда с водой может начать повышаться, а период колебаний маятника уменьшаться. Это можно усмотреть хотя бы из того, что, когда вся вода вытечет из сосуда, центр масс маятника будет выше, чем в том случае, когда уровень воды в сосуде лежит несколько ниже центра масс самого сосуда. Такого немонотонного хода изменения периода колебаний происходить не будет, если центр масс самого сосуда находится в дне сосуда.

7.4. Во втором случае период колебаний будет меньше. В самом деле, в первом случае (рис. 222, а) каждый маятник колеблется только под действием горизонтальной составляющей

силы тяжести, так как пружина не растягивается и не сжимается. Во втором случае (рис. 222, б) к составляющей силы тяжести прибавляется сила упругости пружины, направленная всегда к положению равновесия. Поэтому ускорение маятника в каждый момент во втором случае будет больше,

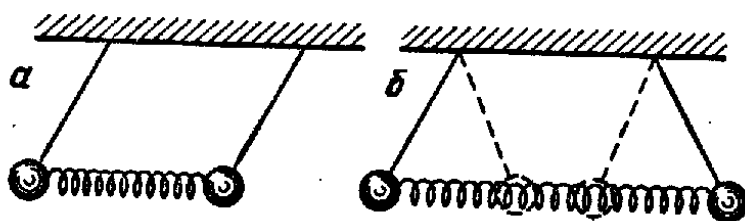


Рис. 222

чем в первом. Так как период колебаний тем меньше, чем больше ускорение, то во втором случае период колебаний будет меньше, чем в первом.

7.5. Если сначала маятники были отклонены в одну и ту же сторону на один и тот же угол, то и колебания они будут совершать так, что их отклонение в каждый момент времени будет одно и то же (т. е. колебания будут происходить с одинаковыми фазами). Тогда пружина не будет растягиваться и, если она невесома, никакого влияния на период колебания маятников не окажет: маятники колеблются с периодом, свойственным каждому из маятников в отдельности. Средняя точка пружины в этом случае тоже совершает колебания.

Если же среднюю точку пружины закрепить неподвижно, то пружина начнет влиять на период колебания маятника, так как при колебаниях она будет растягиваться и сжиматься. Колебания маятника будут происходить не только под действием горизонтальной составляющей силы тяжести, но и под действием силы упругости пружины, которая всегда действует в направлении к положению равновесия и поэтому увеличивает ускорение маятника по сравнению с тем, которое он имел бы под действием только силы тяжести. Это приводит к уменьшению периода колебаний.

7.6. Тело, лежащее на подставке, не будет отделяться от нее в крайнем верхнем положении, если ускорение силы тяжести будет не меньше направленного вниз ускорения подставки при ее гармоническом колебании. Наибольшее ускорение вниз подставка будет иметь в верхнем положении (см. рис. 65). Если амплитуда колебаний есть A , а период T , то амплитуда ускорения будет равна $A(2\pi/T)^2$. Мы получим наименьшее значение периода колебаний T , приравняв амплитуду ускорения подставки ускорению свободного падения,

т. е. $A(2\pi/T)^2 = g$; отсюда наименьший период колебаний равен

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{A}{g}} \approx 1,4 \text{ с.}$$

7.7. Тело, находящееся на подставке, не будет скользить по ней до тех пор, пока сила трения, действующая со стороны подставки на тело, будет достаточно велика для того, чтобы сообщать телу такое же ускорение, какое имеет подставка, т. е. будет больше произведения массы этого тела на наибольшее значение ускорения подставки. Если колебания происходят с амплитудой A и периодом T , то амплитуда ускорения будет равна $A(2\pi/T)^2$. Следовательно, тело остается в покое, пока силы трения $f \geq mA(2\pi/T)^2$.

С другой стороны, если mg — сила тяжести, k — коэффициент трения, то та же сила трения $f = kmg$. Поэтому тело начнет скользить, когда

$$k = \frac{A(2\pi/T)^2}{g} \approx 0,1.$$

7.8. Чтобы оценить влияние ускорения точки подвеса на характер движения маятника, можно воспользоваться аналогией с поведением пружинных весов (динамометра). Как известно, при ускорении точки подвеса динамометра, равном a и направленном вверх, динамометр показывает силу $F = m(g + a)$, где m — масса подвешенного груза; при ускорении, направленном вниз, $F = m(g - a)$. Следовательно, ускорение точки подвеса эквивалентно появлению добавочной силы ma , направленной противоположно ускорению; таким образом, при ускорении вверх она направлена вниз и складывается с mg , а при ускорении вниз — вычитается из mg . Так же будет влиять ускорение точки подвеса и на колебания маятника (рис. 223).

а) Ускорение маятника в каждой точке будет больше, чем при неподвижной точке подвеса, и период его колебаний уменьшится.

б) Ускорение маятника в каждой точке будет меньше, чем при неподвижной точке подвеса, и период его колебаний увеличится.

в) Сила тяжести и добавочная сила, которой эквивалентно

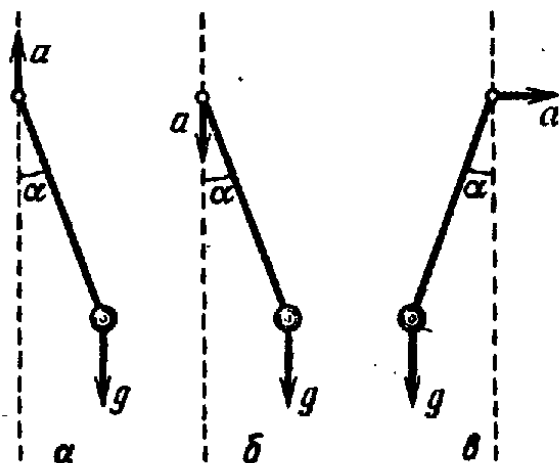


Рис. 223

движение точки подвеса, направлены под прямым углом друг к другу, и их результирующая будет отклонена от вертикали в сторону, обратную ускорению a и образующую с вертикалью угол α , который определяется из соотношения $\operatorname{tg} \alpha = g/a$ (рис. 223, в). Поэтому, если маятник не колеблется, он будет висеть отклоненным на угол α в сторону, противоположную ускорению a . Если вывести маятник из этого положения равновесия, то он будет колебаться около него с периодом, соответствующим ускорению $\sqrt{a^2 + g^2}$, т. е. большим g . Следовательно, период колебаний маятника уменьшится.

7.9. Если доска с маятником начинает свободно падать, то сила тяжести, действующая на маятник, сообщает маятнику ускорение свободного падения и уже не является силой, возвращающей маятник к положению равновесия, как при неподвижной доске. Так как доска массивна, то движение маятника не влияет на движение доски и она имеет ускорение свободного падения. Поскольку других внешних сил нет, маятник будет сохранять относительно доски то движение, которым он обладает в момент начала падения. Следовательно: а) маятник остается неподвижным относительно доски в своем крайнем положении (так как его скорость в этом положении равна нулю), б) маятник продолжает вращаться вокруг точки подвеса равномерно со скоростью, которой он обладал в момент начала падения. К этому же результату можно прийти с помощью рассуждений, приведенных в решении задачи 7.8, полагая $a = g$.

7.10. Если шарик начинает скользить с высоты h (см. рис. 66), то он приходит вниз со скоростью $v_0 = \sqrt{2gh}$. Дальнейшее движение его вверх по наклонной плоскости будет равнозамедленным со скоростью $v = v_0 - at$, где a — ускорение, сообщаемое шарiku силой тяжести.

Для движения шарика по правой из наклонных плоскостей ускорение $a = g \sin \beta$, поэтому его скорость

$$v = v_0 - gt \sin \beta.$$

Очевидно, шарик будет двигаться вверх по наклонной плоскости до тех пор, пока его скорость v не станет равной нулю, т. е. в течение промежутка времени $t_1 = v_0/g \sin \beta$.

Столько же времени шарик будет двигаться вниз, поэтому полное время его движения по правой наклонной плоскости

$$T_1 = 2t_1 = 2v_0/g \sin \beta.$$

Аналогично, для левой наклонной плоскости имеем

$$T_2 = 2v_0/g \sin \alpha.$$

Полный период колебания шарика равен

$$T = T_1 + T_2 = (2v_0/g)(1/\sin \alpha + 1/\sin \beta).$$

Подставляя значение $v_0 = \sqrt{2gh}$, получим

$$T = 2\sqrt{2h/g}(1/\sin \alpha + 1/\sin \beta).$$

7.11. Разложим силу тяжести груза mg на две силы (рис. 224): F_1 — по направлению, параллельному наклонной оси, и F_2 — по направлению, к нему перпендикулярному. Последняя сила и будет действовать подобно силе тяжести в обычном маятнике, а сила F_1 , параллельная наклонной оси, никакого влияния на колебания маятника оказывать не будет. Длиной данного математического маятника служит высота h треугольника. В данном случае она равна $l\sqrt{3}/2$. Поэтому период малых колебаний маятника (с учетом, что ускорение равно $g \sin \alpha$) равен

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l\sqrt{3}}{2g \sin \alpha}}.$$

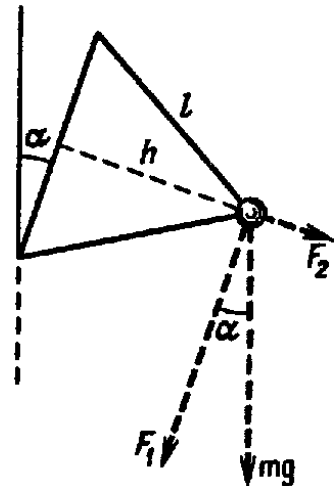


Рис. 224

7.12. а) Когда положительный заряд находится на одной вертикали с точкой подвеса, т. е. ниже шарика маятника, на шарик, кроме силы тяжести, будет действовать сила притяжения к положительному заряду по закону Кулона. Эта сила кулоновского взаимодействия будет давать составляющую, направленную к положению равновесия, тем самым увеличивая возвращающую силу. Таким образом, колебания будут происходить так, как если бы ускорение свободного падения g увеличилось. Поэтому период колебаний маятника уменьшится.

б) Когда положительный заряд помещен в точке подвеса, то сила кулоновского взаимодействия противоположных по знаку зарядов будет всегда направлена вдоль нити, поэтому возвращающая сила не изменится и период колебаний шарика останется прежним.

в) Когда заряд находится сбоку, на одном уровне с наинизшим положением шарика, то сила взаимодействия между зарядами в течение одного полупериода (справа от положения равновесия) будет противоположна возвращающей силе и, следовательно, будет уменьшать ускорение маятника, а в течение другого полупериода (слева от положения равновесия) будет совпадать по направлению с возвращаю-

щей силой и, следовательно, будет увеличивать ускорение маятника. Но сила взаимодействия уменьшается с расстоянием и будет в среднем больше при отклонении шарика в сторону заряда (т. е. когда она уменьшает ускорение) и меньше при отклонении шарика в противоположную сторону (т. е. когда она увеличивает ускорение маятника). Поэтому, в конечном счете, заряд, помещенный сбоку, уменьшает ускорение шарика и, следовательно, увеличивает период колебаний маятника. Кроме того, смещается в сторону заряда и среднее положение, около которого будут происходить колебания.

7.13. Так как радиосигналы распространяются со скоростью 300 000 км/с, то радиоприемники принимают сигналы почти мгновенно и можно считать, что сигналы радиостанции *A* одновременно достигли приемников в точках *B* и *C*, хотя они и находятся вообще на разных расстояниях от станции *A*. Звуковой же сигнал из *C* в *B* распространяется со скоростью 330 м/с. Поэтому расстояние *BC* определится как путь, пройденный звуком за 1 с, т. е. $BC = 330 \cdot 1 = 330$ м.

7.14. Частота биений равна разности частот колебаний струны и камертона. Прикрепление грузика к камертону уменьшает частоту его колебаний, а натяжение струны увеличивает частоту колебаний струны.

Поэтому если прикрепление грузика понижает частоту биений, то это значит, что частота колебаний камертона приблизилась к частоте струны, которая колеблется с меньшей частотой, чем камертон. Чтобы настроить струну в резонанс с камертоном, надо ее подтянуть.

7.15. Высота тона (частота колебаний) отраженного звука не равна высоте тона падающего звука в случаях, когда источник звука или препятствие, от которого звук отражается, движутся (эффект Доплера).

7.16. У нормально работающего камертона ножки колеблются в противоположных фазах, т. е. движутся всегда в противоположные стороны (рис. 225). Поэтому центр масс камертона остается неподвижным и, следовательно, не требуется никаких внешних сил, чтобы такие колебания происходили. Камертон может совершать такие колебания, не будучи жестко закреплен.

Если одна из ножек камертона отрезана, а оставшаяся ножка совершает колебания такого же типа, как и прежде, то его центр масс уже не остается неподвижным. Следовательно, чтобы такие колебания происходили, должна действовать внешняя сила, т. е. камертон должен быть жестко закреплен (например, рукоятка зажата в тиски); со стороны закрепления в этом случае



Рис. 225

действует внешняя сила, которая приводит в движение центр масс. Если же рукоятку держать в руке, то закрепление не будет достаточно жестким, и колебания прежнего типа не смогут происходить.

Таким образом, наличие двух ножек у камертона делает ненужным жесткое закрепление камертона, т. е. позволяет пользоваться камертоном, держа его рукоятку в руке.

7.17. По второму закону Ньютона импульс силы, приложенной к какому-нибудь телу, равен изменению количества движения этого тела. Обозначив силу, действующую на поросенка, через F , а скорость поросенка через v , получим $Ft = mv$. Чтобы поросенок обгонял свой собственный визг, он должен двигаться со скоростью, большей скорости звука, т. е. v должно быть больше 330 м/с. Следовательно,

$$F > \frac{mv}{t} = \frac{5 \text{ кг} \cdot 330 \text{ м/с}}{0,01 \text{ с}} = 165 \text{ кН}.$$

7.18. Человек воспринимает звук, когда на барабанную перепонку уха действует переменное давление. В пучности смещений стоячей волны имеет максимальное значение амплитуда колебаний смещения, а амплитуда давлений практически равна нулю. В узле же смещений стоячей волны амплитуда смещения равна нулю, а давление колеблется с максимальной амплитудой. Поэтому в узле смещений стоячей волны человек должен слышать более громкий звук.

7.19. Встреча волн в d не мешает их дальнейшему распространению. Волны идут друг другу навстречу, и в трубках bcd и $bc'd$ образуются стоячие волны, которые сходятся в b . Если звука в d не слышно, значит, здесь — пучность смещения и узел давления стоячей волны. В этом случае в b образуется узел смещения и пучность давления стоячей волны, и поэтому здесь звук будет отчетливо слышен, т. е. звуковая энергия вернулась к источнику. Как всегда, явление интерференции волн приводит к перераспределению энергии в пространстве.

7.20. В пустом зале звук отражается от стен почти без поглощения, а одежда людей представляет материал, который поглощает звук.

8. МЕХАНИКА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

8.1. Так как поплавков находится на поверхности жидкости в равновесии, то вес его равен весу вытесняемой им жидкости. Поэтому, если бы заменили поплавок той жидкостью, в которой он плавает, то она заняла бы объем, равный

объему погруженной части поплавок, и уровень жидкости не изменился бы. Следовательно, закон сообщающихся сосудов не нарушится, если на поверхности жидкости в одном из сосудов плавает поплавок.

8.2. На уровне основания цилиндрической трубки под водой давление всюду одинаково: и вне трубки, и внутри нее. Следовательно, веревку натягивают сила тяжести самой трубки, за вычетом выталкивающей силы (сила тяжести воды в объеме стенок трубки), и сила, с которой вода давит на закрытый конец трубки (сюда входит и сила атмосферного давления). Давление же столба воды пропорционально глубине погружения закрытого конца трубки. В самом деле, если мысленно закрыть открытый конец трубки, то ничего не изменится. Но тогда на веревку будут действовать следующие силы: 1) сила тяжести трубки вместе с тем, что находится в трубке, 2) сила давления столба воды сверху (плюс атмосферное давление), а также сила давления воды снизу, равная силе тяжести столба воды, высота которого равна глубине погружения открытого конца трубки под свободной поверхностью воды (плюс атмосферное давление). Но последняя сила уравновешена водой и поршнем, находящимся внутри трубки.

8.3. Когда ведро находится под водой, то для его подъема необходимо приложить силу, равную силе тяжести ведра минус сила тяжести воды, вытесненной стенками ведра. Считая, что плотность воды равна ρ_v , получим $mg - mg\rho_v/\rho = mg(1 - \rho_v/\rho)$. Когда же ведро вытащили из воды, необходимо приложить силу, равную силе тяжести ведра с водой, т. е. $mg + V\rho_v g$.

8.4. Если на поверхности жидкости в сосуде плавает какое-нибудь тело, то, по закону Архимеда, его масса равна массе вытесненной жидкости. Значит, если тело заменить равной по массе жидкостью, то уровень жидкости не изменится, а потому не изменится и та работа, которую необходимо совершить, чтобы поднять уровень жидкости на высоту h .

8.5. Изменение ускорения свободного падения с широтой одинаково сказывается как на пароходе, так и на воде, в которой плавает пароход. Поэтому осадка парохода не изменится.

8.6. Подъемная сила аэростата равна разности силы тяжести воздуха и силы тяжести газа, заполняющего аэростат, в объеме аэростата. Иначе говоря, подъемная сила пропорциональна разности плотностей воздуха и газа, заполняющего аэростат. Так как плотность газа обратно пропорциональна температуре, то и разность плотностей обратно пропорциональна температуре, т. е. подъемная сила тем больше, чем ниже температура.

8.7. Такое толкование неправильно. Когда на чашку рычажных весов кладут колбу, в которой есть воздух, то находят

массу колбы с воздухом, уменьшенную (по закону Архимеда) на массу занимаемого колбой объема воздуха, т. е. определяют массу только самой колбы (без воздуха). Когда же на чашку весов кладут колбу, из которой воздух удален, то определяют массу колбы (без воздуха), уменьшенную на массу воздуха в объеме колбы. Разность этих двух взвешиваний дает массу воздуха в объеме колбы.

8.8. При заполнении мешка воздухом при атмосферном давлении сила тяжести его не изменится. В самом деле, сила тяжести воздуха в мешке уравнивается подъемной силой, так как взвешивание производится в воздухе, а не в вакууме (объемом материала мешка мы пренебрегаем). Если воздух в мешке сжат, т. е. плотность его больше, чем плотность окружающей атмосферы, то сила тяжести мешка увеличится. Однако в этом случае для определения плотности воздуха необходимо знать не только объем и силу тяжести мешка, но и давление воздуха внутри него. Зная, во сколько раз давление, а значит и плотность воздуха внутри мешка, больше, чем плотность воздуха в окружающей атмосфере, и учитывая подъемную силу, можно найти плотность воздуха как внутри мешка, так и вне его при атмосферном давлении.

8.9. Масса гири на чашке весов при равновесии должна быть равна сумме масс стеклянной трубки и столба ртути внутри трубки над уровнем ртути в чашке. В самом деле, на верхний, закрытый, конец трубки действует атмосферное давление, т. е. давит весь столб воздуха, находящегося сверху, масса которого практически равна массе столба ртути в трубке. Толщину стенок трубки учитывать не нужно, так как на них снизу действует также атмосферное давление. Снизу же на трубку атмосферное давление не действует. (Атмосферное давление вызывает подъем ртути в трубке, но, поскольку ртуть не достигает верхнего конца трубки, на него это давление не передается.)

В нашем рассмотрении мы пренебрегаем потерей в массе конца барометрической трубки, погруженного в ртуть в чашке барометра.

8.10. Опыт Торричелли в таком случае не удастся. Хотя в вертикальном положении трубки мы будем иметь жидкости в положении равновесия, но это неустойчивое равновесие, так как их общий центр масс не занимает наинизшего положения. Поэтому ртуть вытечет из трубки, а вода ворвется в нее.

8.11. Вода будет опускаться вниз и не закроет доступа воздуха (который поддерживает горение) к керосину.

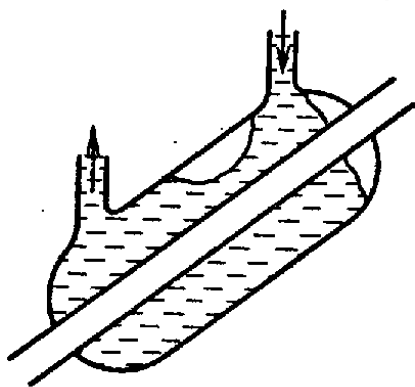


Рис. 226

8.12. Вода подается в рубашку снизу, а не сверху, чтобы она заполнила всю рубашку. В противном случае часть рубашки оказалась бы заполненной воздухом (рис. 226).

8.13. Уровни воды в обоих коленах не могли бы быть одинаковыми, если бы над поверхностью воды находился воздух, так как тогда давление воздуха, одинаковое при первом положении трубки, было бы неодинаково при втором, и вода не могла бы стоять на одном уровне. Следовательно, до запайки трубка была откачана.

Что касается давления водяных паров, то при наклоне трубки часть пара в одном из колен трубки конденсируется, а в другом соответственно часть воды испаряется и давление паров воды над уровнем жидкости в обоих коленах сохраняется одинаковым. Поэтому в обоих коленах уровни жидкости остаются на одной и той же высоте.

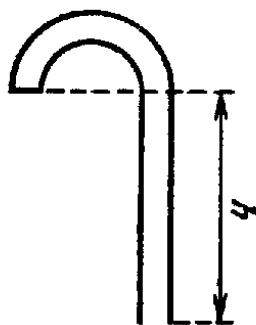


Рис. 227

8.14. Давление на пленку изнутри равно давлению воздуха у открытого конца трубки, уменьшенному на давление столба водорода с основанием, равным площади сечения трубки, и высотой h (рис. 227). Давление на пленку снаружи равно давлению воздуха у открытого конца, уменьшенному на давле-

ние столба воздуха с таким же основанием и высотой h . Так как воздух тяжелее водорода, то давление снаружи уменьшается на большую величину, чем внутри, т. е. наружное давление меньше внутреннего. Поэтому пленка выгнется наружу:

8.15. Давление на кран K с каждой стороны не будет равно давлению, показываемому манометрами. К этому давлению следует прибавить гидростатическое давление столба газа ρgh . Так как плотность CO_2 больше плотности H_2 , то давление слева от крана K будет больше, чем справа, и после открытия крана часть углекислого газа перейдет в сосуд, занимаемый водородом.

Во втором опыте манометры будут находиться внизу. Давления у крана будут в этом случае на ρgh меньше, чем давления, показываемые манометрами. Если показания манометров одинаковы, то давление водорода на кран больше, чем давление углекислого газа, и при открывании крана часть водорода перейдет в сосуд с углекислым газом.

8.16. Роль водонапорной башни — создание гидростатического давления в водопроводе. Истечение жидкости из крана обусловлено гидростатическим давлением, равным разности между давлением столба воды с единичной площадью сечения и высотой h и давлением такого же столба воздуха (рис. 228).

Посмотрим, может ли «газонапорная» башня создать давление в газовой сети? Пусть в баке находится газ под давлением p , равным давлению окружающей атмосферы. Тогда внизу, у крана, давление будет равно $p + \rho gh$, где ρ — плотность газа, т. е. будет выше, чем в баке. Однако атмосферное давление внизу будет равно $p + \rho_0 gh$, и так как плотность воздуха ρ_0 больше плотности светильного газа (если оба находятся примерно под одинаковым внешним давлением), то атмосферное давление внизу будет больше, чем давление в газовой сети. Таким образом, «газонапорная» башня сама по себе не может создать повышенного давления в газовой сети.

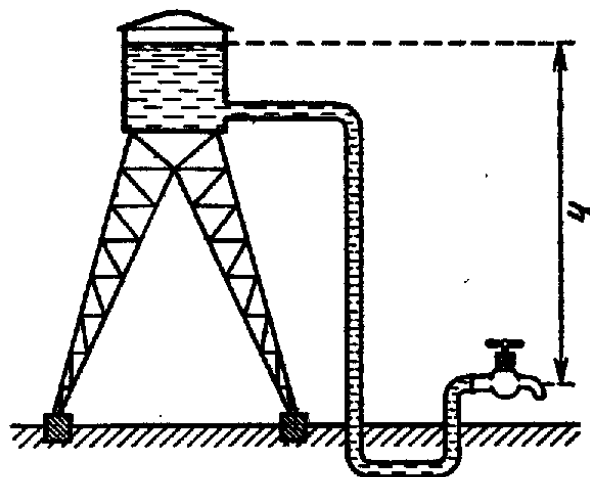


Рис. 228

Однако если в «газонапорной» башне газ находится под высоким давлением, так что плотность его больше плотности окружающего воздуха, то «газонапорная» башня создает некоторое избыточное давление. Очень большое давление в «газонапорной» башне создать практически трудно и опасно, а получающееся при этом избыточное давление было бы ничтожно мало по сравнению с тем давлением, которое дает водонапорная башня. Поэтому применение «газонапорных» башен практически нецелесообразно.

8.17. Избыточное давление внизу будет больше вследствие того, что столб сжатого воздуха весит больше, чем такой же столб воздуха снаружи трубы. Эта разность весов добавляется к избыточному давлению, существующему вверху.

8.18. В покоящемся столбе газа избыточное давление газа над атмосферным в верхних этажах должно быть больше, чем внизу (см. задачу 8.16). Однако при движении по трубам вследствие действия сил сопротивления происходит падение давления. Поэтому давление газа уменьшается по мере удаления от места ввода газа. Это падение давления может оказаться настолько большим, что давление газа в верхних

этажах будет меньше, чем в подвале (так как газ вводится в дом по подземным трубам).

8.19. По мере подъема шаров давление и плотность окружающей атмосферы уменьшаются. Следовательно, если объем шара остается постоянным, то подъемная сила, равная силе тяжести воздуха в объеме, занимаемом шаром, уменьшается с высотой. Так как прорезиненная ткань почти не растягивается, то объем шара из такой ткани будет оставаться почти постоянным, а подъемная сила будет падать с высотой. Когда подъемная сила упадет до величины, равной силе тяжести оболочки и содержащегося в ней водорода, дальнейший подъем шара прекратится — он достигнет «потолка». Наоборот, тонкая резина легко растягивается, поэтому по мере уменьшения внешнего давления с высотой шар, сделанный из тонкой резины, будет раздуваться. Благодаря увеличению объема шара подъемная сила не будет заметно уменьшаться с высотой (несмотря на уменьшение плотности воздуха), и шар будет продолжать подниматься. Таким образом, шар из тонкой резины поднимется гораздо выше, чем шар из прорезиненной ткани. Такие шары-пилоты и шары-зонды из тонкой резины, применяемые для метеорологических наблюдений, поднимаются на очень большую высоту: до 30—40 км.

8.20. Пузырек больше зимой, так как температурный коэффициент расширения жидкости больше, чем стекла. Объем жидкости при охлаждении уменьшается больше, чем объем трубки, и пространство, занятое парами, увеличивается. Летом же, наоборот, жидкость вследствие нагревания расширяется, и так как пары легко сжимаются под давлением, то пространство, занятое парами, уменьшается.

Это легко можно наблюдать на опыте. Возьмите колбу, наполните ее водой и доведите до кипения. Часть воды при этом уйдет из колбы. Слегка охладите колбу, чтобы можно было закрыть ее пробкой и чтобы вода заполняла колбу целиком. При дальнейшем охлаждении колбы, положенной горизонтально, над водой появится пузырек. Если продолжать охлаждать колбу, размер пузырька увеличивается.

8.21. Внутреннее давление на пробку, равное давлению столба ртути над уровнем отверстия, меньше атмосферного давления, уравнивающего весь столб ртути. Следовательно, если открыть пробку, то в трубку будет входить воздух и ртуть будет опускаться до тех пор, пока ее уровень в трубке не сравняется с уровнем ртути в чашке.

8.22. Очевидно, что на уровне нижнего конца трубки T , проходящей через горло сосуда, а следовательно на уровне отверстия 2, давление жидкости равно атмосферному. Поэтому,

когда открывают отверстие 1, давление снаружи больше, чем изнутри, и воздух будет входить пузырьками в сосуд, вода в сосуде будет опускаться и входить в трубку Т. Когда уровень воды в этой трубке достигнет высоты отверстия 1, воздух перестанет входить в сосуд. Если вместо отверстия 1 открыть отверстие 2, то, из-за равенства давления снаружи и изнутри, будет наблюдаться равновесие, т. е. воздух не будет входить в сосуд, и вода не будет из сосуда выливаться. Если открыть отверстие 3, то вода будет выливаться из сосуда, а воздух — входить в сосуд через трубку Т. При этом давление у нижнего конца этой трубки, независимо от изменения уровня воды в сосуде, будет оставаться равным атмосферному и вода будет выливаться с постоянной скоростью до тех пор, пока уровень ее в сосуде не опустится до нижнего конца трубки Т. После этого вода будет продолжать выливаться, но скорость истечения будет убывать.

8.23. Изменения давления в коленах манометра связаны с изменением объема воздуха внутри прибора законом Бойля — Мариотта.

Итак, мы имеем:

1) Кран К открыт. Порошка в чашке А нет. Уровень ртути доведен до верхней черточки сосуда В. Воздух в чашке А занимает некоторый объем v . Манометр показывает атмосферное давление H .

2) Кран К закрыт. Порошка нет. Уровень ртути доведен до нижней черточки сосуда В. Воздух занимает объем $v + V$. Давление равно $H - h_1$.

3) Кран К снова открыли, насыпали в чашку А порошок и при положении уровня ртути у верхней черточки сосуда, т. е. при атмосферном давлении H , закрыли кран К. Очевидно, теперь воздух в чашке и соединительной трубке занимает объем v_2 , причем $v - v_2 = v_1$ есть объем порошка.

4) При закрытом кране довели уровень ртути до нижней черточки, в результате чего объем воздуха стал равным $v_2 + V$, а давление изменилось на h_2 .

По закону Бойля — Мариотта из 1) и 2) имеем

$$vH = (v + V)(H - h_1), \quad v = V(H - h_1)/h_1.$$

Из 3) и 4) получаем

$$(v_2 + V)(H - h_2) = v_2H, \quad v_2 = V(H - h_2)/h_2.$$

Отсюда объем порошка равен

$$v_1 = v - v_2 = V \frac{H - h_1}{h_1} - V \frac{H - h_2}{h_2} = \frac{VH(h_2 - h_1)}{h_1 h_2}.$$

8.24. Поскольку температура остается все время постоянной, изменения объема и давления можно считать подчиняющимися закону Бойля — Мариотта. После первого оборота объем газа становится равным $V + \Delta V$ (так как насос откачал ΔV , а оставшийся газ расширился до объема V), а давление — p_1 . По закону Бойля — Мариотта

$$p_1(V + \Delta V) = p_0 V.$$

При втором обороте насос начинает качать от объема V (объем ΔV выброшен из сосуда) и от давления p_1 ; после второго оборота

$$p_2(V + \Delta V) = p_1 V, \quad p_2 = p_1 \frac{V}{V + \Delta V} = p_0 \left(\frac{V}{V + \Delta V} \right)^2$$

и после n оборотов

$$p_n = p_0 \left(\frac{V}{V + \Delta V} \right)^n.$$

Так как n_0 — число оборотов в единицу времени, то

$$n = n_0 t, \quad p_t = p_0 \left(\frac{V}{V + \Delta V} \right)^{n_0 t};$$

отсюда

$$\frac{p_0}{p_t} = \left(1 + \frac{\Delta V}{V} \right)^{n_0 t},$$

или

$$\ln \frac{p_0}{p_t} = n_0 t \ln \left(1 + \frac{\Delta V}{V} \right).$$

Так как число оборотов в единицу времени n_0 и выражение $1 + \Delta V/V$ постоянны, можно записать

$$\ln \frac{p_0}{p_t} = \text{const} \cdot t = C \cdot t.$$

Очевидно, чем больше константа C , тем больше скорость откачки. Зависимость между $\ln(p_0/p_t)$ и временем можно изобразить графически (рис. 229, а). Получается, что логарифм степени разрежения растет линейно со временем, а значит, растет и степень разрежения, т. е. каждый насос может дать любое разрежение. На самом деле для каждого насоса есть некоторое минимальное давление, ниже которого он не может продолжать откачку. По мере приближения к этому

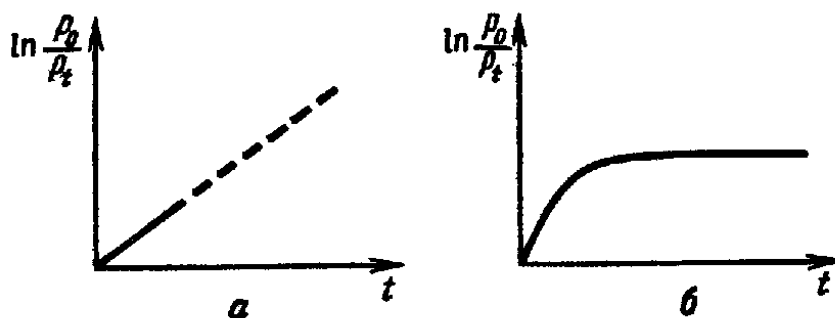


Рис. 229

предельному давлению скорость откачки замедляется, так что график зависимости $\ln(p_0/p_t)$ от времени на самом деле выглядит, как на рис. 229, б.

8.25. Первый насос качает быстрее (насыщение достигается за меньшее время t), но создает меньший вакуум, чем второй (предельное значение $\ln(p_0/p_t)$ меньше).

8.26. При погружении ящика в воду воздух в нем будет сжиматься и вода будет входить в ящик. Объем воздуха в ящике может быть определен из закона Бойля — Мариотта:

$$h_0 S p_0 = h_1 S p_1, \quad (1)$$

где соответственно для двух положений ящика (непогруженного и погруженного) h_0 и h_1 — высоты крышки ящика над уровнем воды в нем, p_0 и p_1 — давления воздуха в ящике, S — площадь основания. Давление в данном случае удобнее всего выразить в метрах водяного столба. Подставляя $h_0 = 3$ м, $p_0 = 0,76 \cdot 13,6$ м вод. ст., $p_1 = p_0 + 18,6 + (3 - h_1) = 10,3 + 18,6 + (3 - h_1)$ м вод. ст., получаем из (1) квадратное уравнение для h_1 :

$$(31,9 - h_1)h_1 = 3 \cdot 10,3;$$

решая его, находим $h_1 \approx 1$ м.

Таким образом, новый (сжатый) объем воздуха в ящике равен приблизительно 1 м^3 . Пренебрегая объемом, который занимают стенки ящика, получим, что выталкивающая сила, действующая на ящик, равна силе тяжести воды в объеме 1 м^3 , т. е. $F \approx 10 \text{ кН}$.

8.27. На аэростат действуют силы давления воздуха снизу и сверху, но первая больше второй, так как внизу, у основания аэростата, воздух сильнее сжат, чем вверху, у вершины аэростата. Разность этих двух сил направлена вверх, и она совершает работу по подъему аэростата. Значит, аэростат поднимается за счет упругой энергии сжатого воздуха атмосферы.

8.28. Проще всего прикрепить к телу груз с плотностью, большей плотности воды, что заставит тело погрузиться в воду. Взвешивание испытуемого тела с грузом надо произвести сначала в воздухе, а затем в воде. Предварительно нужно определить плотность груза, что можно сделать обычным способом. Зная силу тяжести груза и его плотность, можно найти плотность испытуемого тела с помощью следующего расчета.

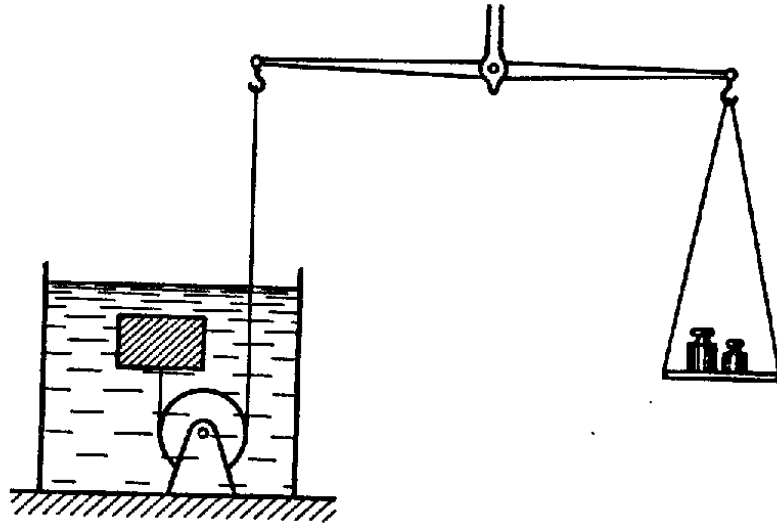


Рис. 230

Пусть сила тяжести испытуемого тела F_1 , сила тяжести груза F_2 , его плотность равна ρ_2 . Сила тяжести испытуемого тела и груза в воде равна F' . Разность между силой тяжести тела и груза в воздухе и воде позволяет определить объем тела с грузом:

$$V = (F_1 + F_2 - F') / \rho_v g,$$

где ρ_v — плотность воды. Так как объем V равен сумме объемов испытуемого тела V_1 и груза V_2 , а

$$V_2 = F_2 / \rho_2 g,$$

то

$$V_1 = V - F_2 / \rho_2 g$$

и искомая плотность тела равна

$$\rho_1 = \frac{F_1}{V_1 g} = \frac{F_1}{V g - F_2 / \rho_2} = \frac{F_1 \rho_v \rho_2}{(F_1 + F_2 - F') \rho_2 - F_2 \rho_v}.$$

На одной из физических олимпиад МГУ, где была предложена эта задача, несколько школьников дали другое решение, тоже возможное, хотя и труднее осуществимое. Схема этого

решения приведена на рис. 230. В дно сосуда вделан крючок с блоком, и тело с помощью веревки, перекинутой через блок, прикреплено к чашке весов. Тогда на другую чашку весов приходится для равновесия положить гири, сила тяжести которых равна выталкивающей силе минус сила тяжести тела.

8.29. При свободном падении ведра верхние слои воды перестают давить на нижние, а потому давления на боковую стенку не будет и истечение воды прекратится.

8.30. Первоначальная разность уровней воды в пробирке и в сосуде h определяется условием

$$p_0 = p - \rho_v g h,$$

где p_0 — внешнее давление, p — давление воздуха внутри пробирки, ρ_v — плотность воды. Свободно падающее тело ведет себя так, как будто оно не обладает весом. Поэтому при свободном падении столб воды не будет оказывать гидростатического давления, следовательно, уровень воды в пробирке будет опускаться до тех пор, пока не установится равенство $p = p_0$.

8.31. На погруженное в воду тело действуют силы давления окружающей воды. Эти силы действуют как на верхнюю, так и на нижнюю части тела. Но так как давление с глубиной растет, то силы, действующие на нижнюю часть тела и направленные вверх, больше сил, действующих на верхнюю его часть и направленных вниз. Разность этих двух сил и обуславливает выталкивающую силу. Когда подводная лодка плотно прижата к мягкому грунту так, что между ней и грунтом нет воды, давление воды на нижнюю часть лодки отсутствует, т. е. отсутствует сила, направленная вверх. Сила же давления воды на верхнюю часть лодки направлена вниз и вместе с силой тяжести лодки прижимает ее к грунту.

8.32. Над водой в колбе будет находиться насыщенный водяной пар при такой температуре, при какой кипит вода при данном атмосферном давлении. Условием кипения является равенство давления насыщенного пара и внешнего давления. Поэтому давление на конце манометра, присоединенном к колбе, всегда будет равно внешнему давлению, а следовательно, манометр всегда будет показывать нуль, независимо от высоты над уровнем моря.

8.33. Всасывающий насос поднимает воду за счет разности между внешним атмосферным давлением $p_0 = 1$ атм и остаточным давлением в насосе p_1 (рис. 231). Высота h , на которую поднимается вода, определяется из условия

$$\rho_v g h = p_0 - p_1,$$

где ρ_v — плотность воды. Отсюда находим

$$h = (p_0 - p_1) / \rho_v g.$$

В случае горячей воды ($+90^\circ\text{C}$) остаточное давление p_1 в насосе увеличится за счет упругости паров воды при $+90^\circ\text{C}$ (приблизительно равной 530 мм рт. ст.). Поэтому $(p_0 - p_1)_{\text{хол}} > (p_0 - p_1)_{\text{гор}}$. Следовательно, горячая вода будет поднята на

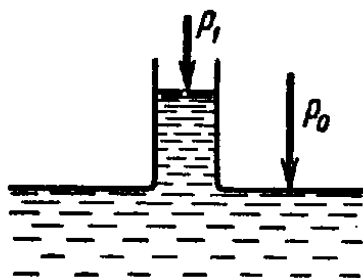


Рис. 231

значительно меньшую высоту. Правда, плотность горячей воды несколько меньше плотности холодной, но это изменение гораздо меньше, чем изменение упругости паров, поэтому на характер ответа это обстоятельство не влияет.

8.34. По закону Архимеда масса плавающего льда равна массе вытесненной им воды. Поэтому объем воды, образовавшийся при таянии льда, будет в точности равен объему вытесненной им воды, и уровень воды в стакане не изменится.

Если в стакане находится жидкость более плотная, чем вода, то объем воды, образовавшейся после таяния льда, будет больше, чем объем жидкости, вытесненной льдом, и вода перельется через край. Наоборот, в случае менее плотной жидкости, после того как лед растает, уровень понизится.

8.35. Так как кусок льда со свинцом имеет массу, большую, чем кусок чистого льда того же объема, то он глубже погружен в воду, чем чистый кусок льда, и вытесняет больший объем воды, чем тот, который займет вода, образовавшаяся при таянии льда (см. задачу 8.34). Поэтому, когда лед растает, уровень воды понизится (кусок свинца при этом упадет на дно, но его объем остается прежним, и он непосредственно уровня воды не изменяет).

При наличии пузырьков воздуха лед имеет массу, меньшую, чем сплошной кусок льда того же объема, и, следовательно, погружен на меньшую глубину, чем сплошной кусок льда того же объема. Однако поскольку массой воздуха можно пренебречь (по сравнению с массой льда), то кусок льда по-прежнему вытесняет воду, масса которой равна массе льда, и когда лед растает, уровень жидкости не изменится (когда лед растает, пузырьки подымутся кверху и уйдут из воды). Поэтому случай с пузырьками воздуха не является обратным случаем льда с куском свинца.

8.36. По закону Архимеда на тело, погруженное в жидкость, действует со стороны жидкости выталкивающая сила, равная си-

ле тяжести жидкости в объеме, занимаемом погруженным телом. Эта сила уменьшает натяжение нити, на которой висит тело. Поэтому на правую чашку весов действуют следующие силы: сила тяжести штатива и сила тяжести тела, уменьшенная на силу тяжести вытесненной им воды. По третьему закону Ньютона тело, погруженное в жидкость, будет давить на жидкость с силой, равной подъемной силе, и это действие через жидкость в сосуде будет передаваться на левую чашку весов. Указанная добавочная сила возникает потому, что уровень жидкости при погружении тела поднимается и, следовательно, давление на дно сосуда повышается. Итак, на левую чашку весов будут действовать следующие силы: сила тяжести стакана с водой и сила тяжести объема воды, равного объему погруженного тела. Так как масса штатива с телом такая же, как и стакана с водой, то для восстановления равновесия нужно на правую чашку весов положить груз массой, равной удвоенной массе того объема воды, который занимает погруженное тело.

8.37. На погруженный в воду палец будет действовать выталкивающая сила со стороны воды. Сила, равная и противодействующая ей, по третьему закону Ньютона будет действовать на дно сосуда (см. задачу 8.36). Равновесие нарушится и чашка весов, на которой стоит сосуд, опустится.

8.38. При температуре 0°C сила, действующая на тело, погруженное в жидкость, равна $g(m - \rho V)$, где m — масса тела, ρV — масса жидкости в объеме, который занимает погруженное тело (V — объем тела, ρ — плотность жидкости). С нагреванием объем тела увеличивается, плотность жидкости ρ уменьшается. Масса жидкости в объеме погруженного тела при температуре t равна

$$\rho V(1 + \alpha t)/(1 + \beta t).$$

Так как температурный коэффициент объемного расширения твердых тел α обычно меньше температурного коэффициента объемного расширения жидкостей β , то

$$\rho V(1 + \alpha t)/(1 + \beta t) < \rho V.$$

Поэтому в большинстве случаев выталкивающая сила, действующая со стороны жидкости на тело, уменьшается с повышением температуры, т. е. весы (рис. 89) отклонятся влево.

8.39. Вращения вала не возникает, так как вода давит на боковую поверхность вала во всех точках перпендикулярно к поверхности, т. е. по направлению радиуса. Поскольку эти силы проходят через ось вала, они не могут вызвать

его вращения. Все эти силы дают равнодействующую, направленную наружу, под некоторым углом вверх, но проходящую через ось вала и поэтому стремящуюся вытолкнуть вал из бака, а не поворачивать его вокруг оси.

8.40. При погружении стакана в воду сила, которую надо приложить к стакану для его погружения, будет увеличиваться по мере погружения стакана в воду, так как будет возрастать выталкивающая сила. Однако эта сила в рассматриваемых двух случаях не одинакова: в первом случае воздух внутри стакана сжимается и вода частично входит в стакан. Таким образом, при одинаковом погружении стаканов в воду в первом случае вытесненный объем меньше, значит, и выталкивающая сила меньше, чем во втором случае, а потому меньше и равная ей сила, которую надо приложить, чтобы погрузить стакан, а следовательно, и работа этой силы при одной и той же глубине погружения меньше.

8.41. Внутри U-образной части сифонной трубки задерживается некоторое количество воды. Эта вода образует пробку, изолирующую жилое помещение от газов из канализационных труб.

8.42. Пресс может работать, так как принцип, на котором основано его действие, справедлив как для жидкостей, так и для газов (в газе, как и в жидкости, давление передается по всем направлениям), но к.п.д. прессы будет крайне мал, так как подавляющая часть затрачиваемой работы будет идти на сжатие газа вследствие того, что сжимаемость газа велика — гораздо больше, чем сжимаемость жидкости.

8.43. Разрушения, причиняемые при взрыве, определяются той работой, которую может совершить пар или жидкость, расширяясь от начального объема до того объема, который они должны занимать при атмосферном давлении. Работа же эта зависит как от давления, так и от изменений объема. Пар, равно как и газ, обладает большой сжимаемостью, жидкости же, наоборот, чрезвычайно слабо сжимаемы; поэтому сжатый пар даже при сравнительно небольшом давлении (например, 15 атм), расширяясь, может совершить гораздо большую работу, чем жидкость, находящаяся под значительно более высоким давлением (например, 600 атм), так как при уменьшении давления до 1 атм увеличение объема газа будет несравненно больше, чем увеличение объема жидкости. В самом деле, если пар находится под давлением 15 атм, то его объем при переходе к атмосферному давлению увеличится в 15 раз. Вода же, находящаяся под давлением в 600 атм, при переходе к атмосферному давлению увеличит свой объем лишь на 0,03 начального объема.

8.44. Фабричные трубы строят высокими для усиления тяги в топке. У верхнего конца трубы давление выходящих газов равно атмосферному давлению на той же высоте. Поэтому у нижнего конца трубы давление воздуха больше, чем давление горячих (и поэтому более легких) газов внутри трубы. Этот избыток внешнего давления и создает тягу в топке и движение горячих газов вверх по трубе. Избыток давления, а значит и тяга, тем больше, чем выше столб газа (т. е. чем выше труба) и чем больше температура газа. Поэтому кирпичные трубы лучше, так как нагретый газ через кирпичные стенки отдает меньше тепла окружающему более холодному воздуху, чем через железные.

8.45. Струя пара, вырывающаяся из трубки, увлекает за собой дым и газы из топки и усиливает тягу в топке паровоза.

8.46. В отличие от сегнерова колеса трубка не будет вращаться, когда из нее вытекает вода. В самом деле, по закону сохранения момента импульса в не обладавшей ранее вращением системе, к которой не приложен момент внешних сил, общий момент импульса должен оставаться равным нулю.

В случае обычного сегнерова колеса вода, вытекающая из загнутых трубок, обладает некоторым моментом импульса. Поэтому сосуд с водой начинает вращаться в противоположную сторону так, что суммарный момент импульса остается равным нулю. В рассматриваемом случае обращенного сегнерова колеса вода, вытекающая снизу из прямой трубки, не обладает моментом импульса относительно оси вращения трубки (так как она течет вдоль этой оси), следовательно, и трубка не должна вращаться.

Может показаться, что жидкость, втекающая в изогнутые трубки, вследствие давления на стенки трубок должна создавать вращающий момент и вызывать вращение колеса. Однако, помимо давления втекающей жидкости на внутренние стенки трубок, на их внешние стенки действует давление окружающей жидкости. Это давление больше, чем у отверстия трубок (где давление понижено), и оно как раз компенсирует вращающий момент, создаваемый втекающей в трубки жидкостью.

8.47. Условия устойчивости для тел, плавающих на поверхности воды, и для тел, целиком погруженных в воду, различны. Рассмотрим эти условия для корабля.

В обоих случаях на корабль действует сила тяжести mg , приложенная к центру масс (ц. м) корабля, и выталкивающая сила F (равнодействующая сил давления со стороны жидкости), приложенная к центру масс вытесненного объема жидкости, или центру давлений (ц. д). Для устойчивости корабля необ-

ходимо, чтобы при его наклоне эти обе силы создавали момент, возвращающий корабль к положению равновесия. Для корабля, плавающего на поверхности, это условие будет выполнено, если точка пересечения направления выталкивающей силы с плоскостью симметрии корабля (эта точка называется метacentром (мц)) лежит выше центра масс корабля.

В самом деле, как видно из рис. 232, а, в этом случае силы mg и F создают момент, поворачивающий корабль назад, к положению равновесия. Следовательно, корабль, плавающий на поверхности, может быть устойчив и в том случае, если его центр масс лежит выше центра вытесненного объема.

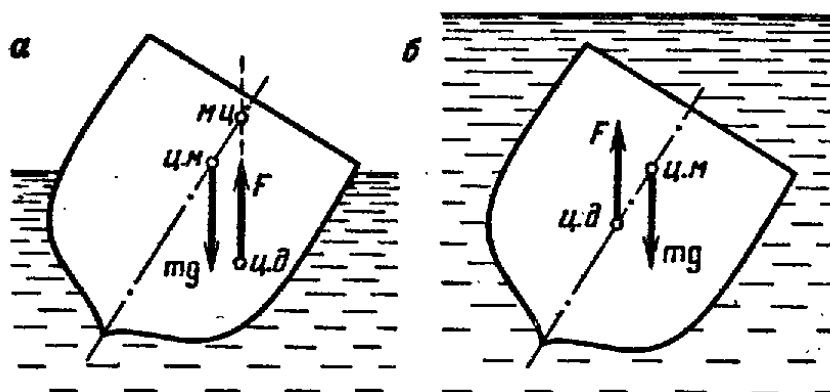


Рис. 232

Это достигается выбором соответствующей формы сечения («обводов») корабля, при которой, когда корабль наклоняется, центр давлений перемещается в ту же сторону. (Положение метacentра при этом практически не изменяется, пока крен не очень велик.)

Если же корабль целиком погружен в воду (рис. 232, б), то центр давлений, очевидно, лежит в плоскости симметрии корабля (так как он совпадает с центром масс жидкости, вытесненной кораблем). И если при этом центр масс корабля лежит выше центра давлений, то момент сил mg и F поворачивает корабль еще дальше от положения равновесия и корабль опрокидывается. Таким образом, в то время как при плавании на поверхности для устойчивости необходимо, чтобы центр масс корабля лежал ниже метacentра, расположенного обычно близко к верхнему краю сечения корабля, для погруженного целиком в воду корабля необходимо, чтобы центр масс лежал ниже центра давления, лежащего примерно в середине сечения корабля. Если первое условие выполнено, а второе нет, то корабль, погрузившись целиком в воду, опрокидывается.

Для упрощения мы считали, что положение центра масс корабля при крене остается неизменным. Но если корабль

тонет, то, значит, он набрал много воды и положение его центра масс зависит от расположения этой воды внутри корабля. При крене вода в корабле переливается в сторону крена, и в ту же сторону перемещается центр масс корабля. Легко видеть, что это обстоятельство еще больше способствует тому, чтобы корабль опрокинулся.

8.48. При перемещении металлического шарика внутри жидкости из положения 1 в положение 2 нужно совершить работу, равную изменению потенциальной энергии системы, т. е. $mgh - \rho Vgh = (m - \rho V)gh$. Так как расстояние между положениями 1 и 2 равно h , то сила, которая должна быть приложена, чтобы поднять шарик, есть $(m - \rho V)g$. Сила эта меньше силы тяжести металлического шарика на величину ρVg , т. е. на силу тяжести жидкости в объеме данного тела. Таким образом, мы пришли к формулировке закона Архимеда в его обычной форме.

8.49. Во вращающихся сосудах жидкость также принимает участие во вращении. Так как внешние силы на вращающуюся систему сосуд — жидкость не действуют, значит, и момент сил равен нулю. Поэтому момент импульса системы, равный произведению момента инерции на угловую скорость, должен оставаться неизменным. Когда откроют пробку А, вода начнет выливаться, вследствие чего момент инерции системы начнет уменьшаться, и поэтому угловая скорость вращения сосуда будет возрастать. Когда вода перестанет выливаться из отверстия, скорость вращения будет оставаться постоянной. (Из-за вращения системы уровни воды в сосудах не будут оставаться горизонтальными; см. задачу 8.52.)

8.50. Выделим у поверхности жидкости весьма малый объем массой m . Со стороны прилегающих слоев жидкости на него должны действовать силы, перпендикулярные к его поверхности (так как жидкость движется вся как целое) (рис. 233). Если взять объем в виде участка тонкого слоя, то силы, действующие на боковые грани, будут исчезающе малы и результирующая сила реакции N нижележащих слоев будет нормальна к поверхности выделенного объема. Кроме силы N на выделенный объем будет действовать его сила тяжести mg . Эти две силы должны сообщить выделенному объему жидкости ускорение, равное ускорению, с которым сосуд скользит по наклонной плоскости, т. е. $g \sin \alpha$. Таким образом, равнодействующая сил N и mg должна быть равна $mg \sin \alpha$. Но сила $mg \sin \alpha$ равна проекции mg на направление

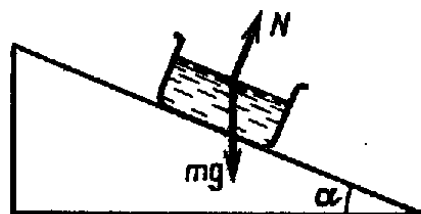


Рис. 233

наклонной плоскости. Следовательно, проекция силы N на то же направление должна быть равна нулю, т. е. сила N перпендикулярна к наклонной плоскости, а значит, поверхность жидкости параллельна ей.

8.51. Выделим мысленно малый объем жидкости массой m у самой поверхности (рис. 234). При установившемся движении этот малый объем движется, как и вся тележка, с ускорением a . Силы, действующие на объем массой m , должны давать равнодействующую, равную ma , направленную в сто-

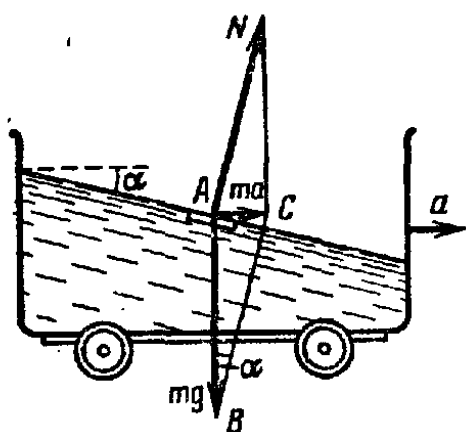


Рис. 234

рону ускорения. Этими силами будут сила тяжести mg и сила реакции N нижележащих слоев, нормальная к поверхности жидкости. Сила N должна иметь такой модуль и направление, чтобы равнодействующая сил N и mg была равна ma . Тогда из треугольника ABC мы будем иметь соотношение $ma = mg \cdot \operatorname{tg} \alpha$, откуда

$$\operatorname{tg} \alpha = a/g.$$

Следовательно, поверхность жидкости, перпендикулярная к силе реакции N , должна составлять с горизонтом угол α , определяемый этим соотношением.

8.52. Известно, что в сосуде, равномерно вращающемся вокруг вертикальной оси, проходящей через его центр, поверхность жидкости принимает форму параболоида вращения (рис. 235). Это объясняется тем, что для вращения жидкости

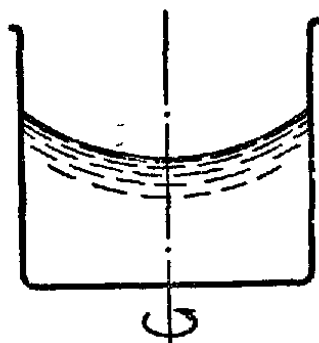


Рис. 235

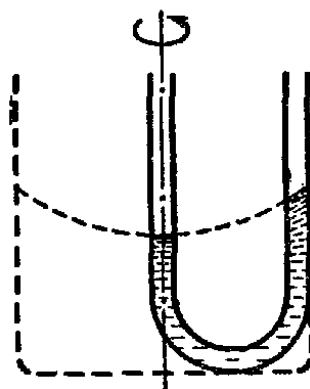


Рис. 236

необходимо, чтобы на каждый элемент внутри жидкости действовала сила, направленная к оси и сообщаящая данному элементу нужное центростремительное ускорение, равное произведению квадрата угловой скорости сосуда на расстояние данного элемента объема жидкости от оси вращения.

Для того чтобы существовала такая сила, направленная к оси, давление в жидкости от оси вращения к стенке сосуда должно возрастать. Так как в вертикальном направлении никаких ускорений нет, то давление в жидкости должно быть равно силе тяжести единичного столба жидкости от данной глубины до свободной поверхности. Следовательно, уровень жидкости, так же как и давление внутри нее, должен повышаться от оси к стенке сосуда.

Для ответа на вопрос, поставленный в задаче, представим себе, что столб воды, заполняющей трубку, составляет часть воды во вращающемся сосуде. Из рис. 236 непосредственно видно, что в том колене, через которое проходит ось вращения, уровень воды понизится, а в другом повысится.

8.53. При отсутствии пружин ускорения сосуда и воды обусловлены только притяжением Земли, поэтому они в каждом положении одинаковы, и при колебаниях вода движется вместе с сосудом, т. е. поверхность воды остается плоской и неподвижной по отношению к сосуду (рис. 237, а). При этом

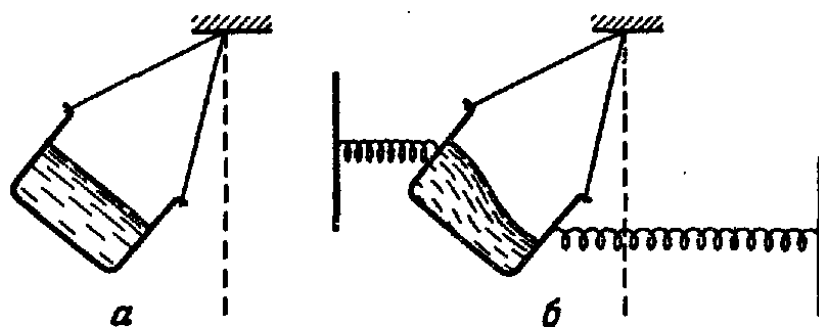


Рис. 237

в момент прохождения сосуда через среднее положение поверхность жидкости горизонтальна, так как в этом положении сосуд не обладает ускорением и поверхность жидкости должна быть перпендикулярна к направлению действующей на жидкость силы тяжести.

Мягкие пружины, присоединенные к сосуду, немного меняют ускорение сосуда, но не влияют на движение воды, ускорение которой будет по-прежнему определяться только притяжением Земли. Поверхность воды в этом случае не остается неподвижной, а колеблется по отношению к сосуду (рис. 237, б). По воде как бы проходит волна.

8.54. Резиновая груша А представляет сравнительно толсто-стенный резиновый шар с двумя клапанами N и M, открывающимися в одном направлении, указанном на рис. 238 стрелкой. К груше А присоединен шар В из тонкой резины, который соединяется с длинной резиновой трубкой, надевающейся на пульверизатор. Когда грушу надавливают рукой,

воздух внутри нее закрывает клапан N , открывает клапан M и входит в шар B . Когда грушу освобождают, она благодаря упругости толстой стенки возвращается к своей первоначальной форме. Давление воздуха внутри падает, и наружный воздух, открывая клапан N , входит в грушу. Воздух в

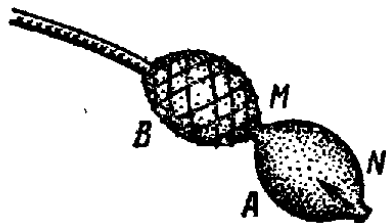


Рис. 238

шаре B в это время закрывает клапан M и частью по трубке направляется в пульверизатор. После нескольких таких «накачиваний» воздуха в шар B (так как воздух выходит через пульверизатор медленно) он сильно раздувается (для чего этот шар и делается из тонкой резины) и в нем создается повы-

шенное и примерно постоянное давление. Таким образом, благодаря шару B , который играет роль буфера, поддерживается приблизительно постоянная скорость истечения воздуха из пульверизатора. Шар B окружают сеткой, чтобы предохранить его от разрыва.

8.55. Когда чай в стакане заставляют вращаться с помощью ложки, то в результате этого вращения устанавливается распределение давлений на дно, увеличивающееся от середины дна к стенкам (так как у стенок уровень чая выше, чем в середине). После того как ложечку вынули, будет происходить постепенное выравнивание давлений на дно. Это приведет к образованию течений от стенок к середине дна, которые и соберут чайники к середине дна стакана.

8.56. Масса воды m , входящая в горизонтальную часть трубы вследствие движения паровоза, имеет по отношению к трубе скорость v и, следовательно, обладает кинетической энергией $mv^2/2$, за счет которой она может подняться на высоту h , определяемую из условия, что вся эта кинетическая энергия превратится в потенциальную. Таким образом,

$$mv^2/2 = mgh, \text{ откуда } v = \sqrt{2gh} \approx 28 \text{ км/ч.}$$

8.57. Сила F_1 равна силе тяжести столба жидкости высоты h и сечением, равным сечению S пластинки, т. е. $F_1 = hSp\rho$, где ρ — плотность жидкости. Сила же F_2 определяется импульсом, уносимым в единицу времени вытекающей струей. Если скорость истечения есть v , то импульс, уносимый в единицу времени, равен $mv = S\rho v^2 = S\rho v^2$. По формуле Торричелли v — скорость истечения жидкости из отверстия, находящегося на глубине h , равна $\sqrt{2gh}$. Следовательно,

$$F_2 = 2hSp\rho g = 2F_1.$$

То, что сила F_2 больше F_1 , объясняется перераспределением давлений внутри жидкости при ее истечении. Когда жидкость вытекает из широкого сосуда через малое отверстие, то вокруг отверстия линии тока сгущаются, а, следовательно, давление на стенку вблизи отверстия уменьшается, как это следует из закона Бернулли. Поэтому реакция вытекающей жидкости оказывается больше силы статического давления на площадь отверстия.

8.58. В водопроводной магистрали вода находится под повышенным давлением (в несколько атмосфер). При течении воды по трубе это давление из-за действия сил вязкости постепенно падает почти до атмосферного, под которым и вытекает вода из полностью открытого крана.

Если зажать кран пальцем, течение воды в трубе почти прекращается, а потому исчезает и падение давления внутри трубы. Таким образом, вода у оставшегося малого отверстия крана оказывается под полным давлением, существующим в магистрали, т. е. под давлением в несколько атмосфер. Тоненькая струйка воды, выбрасываемая этим высоким давлением, приобретает гораздо большую скорость, чем вода, вытекающая из полностью открытого крана.

При совсем маленьком отверстии скорость истечения воды уменьшится вследствие большого падения давления в самом отверстии.

8.59. Выгоднее взлетать против ветра. Подъемная сила тем больше, чем больше скорость самолета по отношению к окружающему воздуху. При взлете по ветру скорость самолета относительно воздуха равна его скорости относительно земли минус скорость ветра, а при взлете против ветра скорость самолета относительно воздуха равна сумме этих скоростей. Таким образом, при взлете против ветра та же скорость относительно воздуха получается при меньшей скорости относительно земли, чем при взлете по ветру. Поэтому при взлете против ветра подъемная сила достигает нужной величины и самолет отделится от земли при меньшей скорости относительно земли, что во многих отношениях выгоднее и безопаснее.

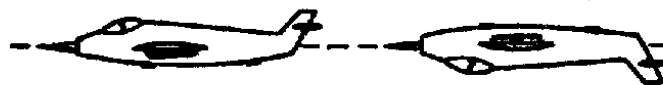


Рис. 239

8.60. Если бы самолет просто повернулся на 180° вокруг продольной оси (рис. 239), то действующая на него подъем-

ная сила, направление которой зависит только от положения крыльев по отношению к набегающему потоку воздуха, была бы направлена вниз, и самолет не только не мог бы держаться в воздухе, но должен был бы падать еще быстрее, чем свободно падающее тело. Для полета «вверх колесами» летчик при помощи руля высоты опускает хвост самолета (рис. 240) так, что в перевернутом положении передняя кромка крыльев опять окажется выше задней, благодаря чему создается подъемная сила, поддерживающая самолет.



Рис. 240

8.61. Если бы не было сопротивления воздуха и мотор самолета не работал, то скорости самолетов в точке *C* были бы одинаковы. При этом, однако, средняя скорость на дуге *ABC* меньше средней скорости на *ADC*, так как при подъеме скорость уменьшается, а при спуске увеличивается, и, следовательно, в точке *B* скорость меньше, чем в точке *D*.

В действительности самолет преодолевает лобовое сопротивление, пропорциональное квадрату скорости, и на это идет главным образом работа мотора. Поскольку на дуге *ADC* средняя скорость больше, постольку и работа, затрачиваемая на преодоление лобового сопротивления, будет на этой дуге больше. А если мощность, развиваемая двигателем, в обоих случаях одинакова, то кинетическая энергия самолета, летевшего по дуге *ADC*, а следовательно и скорость его в точке *C*, будет меньше, чем у самолета, летевшего по дуге *ABC*.

8.62. Фильтр выдуть из воронки нельзя. Чем сильнее дуть, тем сильнее фильтр втягивается в воронку. Объясняется это законом Бернулли, согласно которому давление в струе воздуха понижается в местах сужений. Поэтому в узком просвете между бумажным фильтром и стеклянной воронкой давление понижается, и давление воздуха извне удерживает фильтр в воронке.

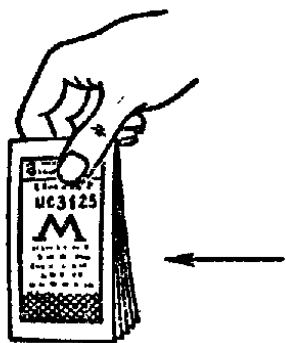


Рис. 241

8.63. Это явление объясняется законом Бернулли, согласно которому при течении жидкости или газа давление меньше там, где скорость больше. Создавая быструю струю воздуха, обдувающую крайние листочки пачки, мы уменьшаем давление на эти листочки снаружи, и они отгибаются в эту сторону (рис. 241). Это же явление используется в пульверизаторе, водоструйном насосе, горелке Бунзена и других приборах.

9. ТЕПЛОТА И КАПИЛЛЯРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

9.1. Шарик проходит сквозь кольцо при любой одинаковой температуре кольца и шарика. Нагревание кольца эквивалентно охлаждению шарика, следовательно, шарик будет свободно проходить сквозь нагретое кольцо.

9.2. Для калориметра важно, чтобы температура внутри него быстро выравнивалась. Этому способствует большая теплопроводность металла. Поэтому в металлическом сосуде температура выравнивается быстрее, чем в стеклянном. Кроме того, удельная теплоемкость металлов меньше, чем стекла, что позволяет уменьшить водяной эквивалент калориметра и повысить точность измерений.

Для калориметра также важно, чтобы возможно меньше тепла уходило наружу. И в этом отношении металлические калориметры имеют преимущество перед стеклянным, так как металл меньше излучает тепла, чем стекло.

9.3. Выгоднее должен быть тот термос, который теряет меньше тепла за одно и то же время. Обмен теплом между термосом и окружающим пространством происходит через боковые стенки и торцы термоса. Если вместимости и высоты одинаковы, то сечения, а значит, и торцовые поверхности термосов тоже одинаковы. Боковые же поверхности не одинаковы, а именно: у цилиндрического термоса боковая поверхность меньше, чем у квадратного термоса. Поэтому термос с круглым сечением теряет меньше тепла и, значит, является более выгодным, чем термос с квадратным сечением.

Для строгого доказательства того, что при одинаковом сечении боковая

поверхность у круглого термоса меньше, чем у квадратного, можно провести следующий расчет.

Из условия равенства торцовых площадок (рис. 242) $\pi d_1^2/4 = d_2^2$ следует, что $d_2 = d_1 \sqrt{\pi/4}$. Боковая поверхность цилиндрического термоса

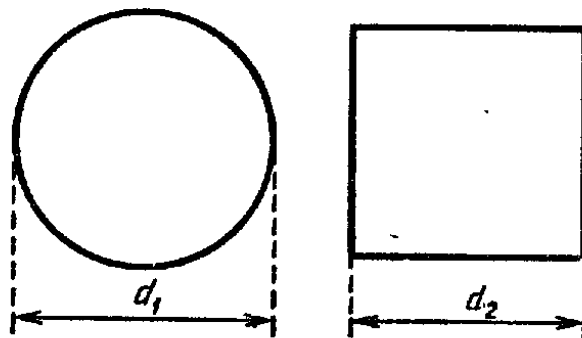


Рис. 242

$$S_1 = \pi d_1 h.$$

Боковая поверхность квадратного термоса

$$S_2 = 4d_2 h = 4hd_1 \sqrt{\pi/4} = d_1 h \sqrt{4\pi}.$$

Сравнивая, получим

$$S_1 < S_2.$$

9.4. Обозначим через t установившуюся общую температуру, через m_1, V_1, t_1 — соответственно массу, объем и температуру более холодной воды, V'_1 — объем, который она примет при температуре t ; m_2, V_2, t_2 — соответственно массу, объем и температуру более теплой воды, V'_2 — объем, который она примет при температуре t . Уравнение теплового баланса имеет вид

$$cm_2(t_2 - t) = cm_1(t - t_1). \quad (1)$$

С другой стороны, изменение объемов с температурой выразится так:

$$V_1 = m_1/\rho_1 = m_1(1 + \alpha t_1)/\rho_0,$$

где ρ_1 — плотность воды при температуре t_1 , ρ_0 — плотность ее при 0°C , α — температурный коэффициент объемного расширения (считаем его постоянным). Аналогично,

$$V'_1 = \frac{m_1(1 + \alpha t)}{\rho_0}, \quad V_2 = \frac{m_2(1 + \alpha t_2)}{\rho_0}, \quad V'_2 = \frac{m_2(1 + \alpha t)}{\rho_0}.$$

Отсюда найдем изменения объемов:

$$V_2 - V'_2 = m_2\alpha(t_2 - t)/\rho_0, \quad V'_1 - V_1 = m_1\alpha(t - t_1)/\rho_0. \quad (2)$$

Подставляя (1) в (2), получаем

$$V_2 - V'_2 = V'_1 - V_1, \quad V_2 + V_1 = V'_2 + V'_1,$$

т. е. общий объем жидкости не изменится.

9.5. Пусть $m_{\text{ч}}$ — масса чайника, $c_{\text{ч}}$ — удельная теплоемкость вещества, из которого сделан чайник, t_1 — температура, до которой нагревается чайник, когда в него вольют массу воды $m_{\text{в}}$ при температуре кипения $t_{\text{к}}$. Составим уравнение теплового баланса:

$$m_{\text{ч}}c_{\text{ч}}(t_1 - t) = m_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_{\text{к}} - t_1).$$

Отсюда находим

$$t_1 = (m_{\text{ч}}c_{\text{ч}}t + m_{\text{в}}c_{\text{в}}t_{\text{к}})/(m_{\text{в}}c_{\text{в}} + m_{\text{ч}}c_{\text{ч}}).$$

Подставляя значения всех величин из условия задачи, получим:
для медного чайника

$$t_{1\text{м}} = \frac{0,5 \cdot 4180 \cdot 373 + 0,2 \cdot 380 \cdot 293}{0,5 \cdot 4180 + 0,2 \cdot 380} \approx 97^\circ\text{C},$$

для фарфорового чайника

$$t_{1ф} = \frac{0,5 \cdot 4180 \cdot 373 + 0,3 \cdot 830 \cdot 293}{0,5 \cdot 4180 + 0,3 \cdot 830} \approx 91,4^\circ \text{C}.$$

Таким образом, если бы внешнего охлаждения не было, то медный чайник был бы более выгодным для заварки чая. Этот результат получается главным образом из-за большой теплоемкости фарфора по сравнению с теплоемкостью меди.

При предварительном споласкивании чайника кипятком он нагревается, и вода, налитая во второй раз (для заварки), оказывается более горячей. Нагретый при предварительном споласкивании фарфоровый чайник из-за большей теплоемкости и меньшей теплопроводности фарфора, чем меди, стывает медленнее, чем медный, и потому в действительности оказывается выгоднее медного.

9.6. Ощущение «степени» холода или тепла при соприкосновении нашего тела с каким-нибудь предметом определяется количеством теплоты, которое отдается или получается нашим телом в единицу времени. Теплопроводность у металла больше, чем у дерева. Если металл и дерево нагреты до одинаковой температуры, более высокой, чем температура нашего тела, то при соприкосновении с нашим телом металл передаст ему в единицу времени больше тепла, чем дерево. Если же металл холоднее нашего тела, то он отнимет от последнего в единицу времени опять-таки больше тепла, чем дерево при той же температуре. Поэтому в первом случае металл кажется теплее дерева, а во втором — холоднее. Очевидно, что при температуре, равной температуре нашего тела, когда обмена теплом не будет, и металл и дерево будут наощупь казаться одинаково нагретыми.

9.7. Температурный коэффициент расширения меди больше температурного коэффициента расширения железа; поэтому, нагреваясь, спаянная пластинка изогнется, как показано на рис. 243, что вызовет размыкание электрической цепи. Как только цепь разомкнется, прекратится нагревание, пластинка остынет и выпрямится, вернется в прежнее положение и снова замкнет цепь; снова начнется нагревание и т. д. Такие биметаллические пластинки могут, следовательно, служить прерывателями тока. Их иногда используют для автоматического отключения участка сети при перегрузке.

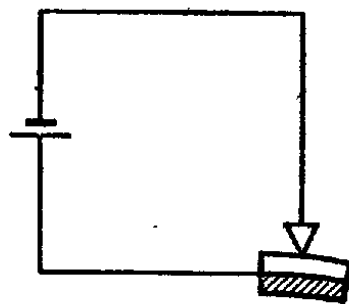


Рис. 243

9.8. При измерении температуры человека медицинским термометром происходит следующее. В первый момент разность температур термометра и человека значительна и ртуть расширяется при быстром нагревании. Когда же температура термометра становится близкой к температуре тела, то нагревание термометра происходит медленно и ртуть расширяется также медленно. Поэтому требуется значительное время для того, чтобы термометр нагрелся до температуры человека. Когда же термометр вынут, то имеется большая разность температур термометра и окружающего воздуха, ртуть быстро сокращается в объеме, и достаточно встряхнуть термометр, чтобы столбик ртути занял освободившийся объем в резервуаре термометра.

9.9. Красная медь обладает большой удельной теплоемкостью, благодаря чему при нагреве медного паяльника ему сообщается большое количество теплоты. Кроме того, у меди большая теплопроводность, благодаря чему медный паяльник быстро отдает большое количество теплоты олову или другому материалу, который нужно расплавить. Другим материалом, обладающим столь же необходимыми качествами, является серебро, но этот материал слишком дорог.

9.10. Будем рассматривать установившееся состояние, при котором температура T спая постоянна. Пусть C_A и C_B — теплоемкости стержней, k_A и k_B — их теплопроводности, T_A и T_B — температуры концов стержней (см. рис. 107). Так как стержни однородные и отдачи тепла через боковые стенки не происходит, то в установившемся состоянии температура вдоль каждого из стержней меняется по линейному закону, причем температура T спая определится из условия равенства потоков тепла, протекающих через два какие-либо сечения обоих стержней:

$$k_A(T_A - T) = k_B(T - T_B),$$

откуда

$$T = (k_A T_A + k_B T_B) / (k_A + k_B). \quad (1)$$

Количество теплоты, протекающее через каждый из стержней, можно найти, заменяя переменную температуру вдоль всего стержня средней температурой (так как распределение температуры вдоль стержня меняется по линейному закону). Общее количество теплоты, протекающее через стержни,

$$Q = \frac{C_A(T_A + T)}{2} + \frac{C_B(T + T_B)}{2} = \frac{C_A T_A}{2} + \frac{C_B T_B}{2} + \frac{(C_A + C_B)}{2} T. \quad (2)$$

Подставляя сюда значение для T из выражения (1), получим

$$Q = \frac{C_A T_A}{2} + \frac{C_B T_B}{2} + \frac{(C_A + C_B)(k_A T_A + k_B T_B)}{2(k_A + k_B)}.$$

Приведя правую часть к общему знаменателю и собрав члены, содержащие T_A и T_B , окончательно найдем

$$Q = \frac{2k_A C_A + k_A C_B + k_B C_A}{2(k_A + k_B)} T_A + \frac{2k_B C_B + k_A C_B + k_B C_A}{2(k_A + k_B)} T_B.$$

Это выражение и дает ответ на поставленный вопрос. Так как коэффициенты при T_A и T_B , вообще говоря, различны, то величина Q получится разной, если мы заменим T_A на T_B , т. е. суммарное количество теплоты, протекающее через стержни, вообще, будет зависеть от того, какой из концов нагревается, а какой охлаждается. При этом так как коэффициенты при T_A и T_B отличаются лишь значением членов $k_A C_A$ и $k_B C_B$, то количество теплоты будет больше, если мы будем нагревать конец того стержня, для которого произведение теплоемкости на теплопроводность будет больше. Физически это совершенно ясно: роль теплоемкости очевидна, а чем больше теплопроводность — тем меньше падение температуры вдоль стержня и тем выше температура всех точек стержня.

Только в том случае, когда $k_A C_A = k_B C_B$, как это предполагается в условиях нашей задачи, количество теплоты, протекающее через стержни, будет одинаково, независимо от того, какой из концов нагрет и какой охлажден.

9.11. Так как потери через боковые поверхности цилиндров отсутствуют, то в установившемся состоянии количество теплоты, протекающее в единицу времени через любое сечение нашей системы, будет одинаково. Если между какими-либо двумя сечениями, находящимися в однородной среде на расстоянии одно от другого, равном l , существует разность температур $T_1 - T_2$, то количество теплоты, протекающее в единицу времени от первого сечения ко второму через любое сечение между ними, выразится так:

$$Q = kS \frac{T_1 - T_2}{l},$$

где k — теплопроводность, S — сечение.

Количество теплоты, протекающее через любое сечение железного цилиндра, равно

$$Q_{\text{Fe}} = k_{\text{Fe}} S \frac{T_1 - T_2}{l}.$$

Для любого сечения серебряного цилиндра аналогично будем

иметь

$$Q_{Ag} = k_{Ag} S \frac{T_2 - T_3}{l},$$

где T_1 — температура верхнего основания железного цилиндра, T_2 — температура соприкасающихся оснований, T_3 — температура нижнего основания серебряного цилиндра. Приравнивая эти выражения, получим

$$k_{Fe}(T_1 - T_2) = k_{Ag}(T_2 - T_3),$$

откуда

$$T_2 = (k_{Fe}T_1 + k_{Ag}T_3)/(k_{Ag} + k_{Fe}).$$

Подставляя сюда значения $T_1 = 100^\circ\text{C}$, $T_3 = 0^\circ\text{C}$ и $k_{Ag} = 11k_{Fe}$, находим температуру соприкасающихся оснований:

$$T_2 = 100/12 = 8,3^\circ\text{C}.$$

9.12. Березовые дрова быстрее сгорают и поэтому в единицу времени выделяют больше тепла, чем сосновые.

9.13. Под разогретым металлическим конусом слюда деформируется и образует в результате нагревания выпуклость, которая и заставляет конус катиться. Медный лист под слюдой быстро охлаждает нагретое место слюды, и конус в каждый момент касается холодной слюды и, нагревая, деформирует ее. Если бы под слюдой лежал лист стекла, то такого охлаждения слюды не было бы, она бы быстро нагрелась и движение конуса по слюде прекратилось.

9.14. Если температура всей воды уже достигла 100°C , то она не будет повышаться, пока не кончится кипение, т. е. пока вся вода не превратится в пар. Поэтому усиливать огонь совершенно бесполезно. Надо только, чтобы подводимое тепло было достаточно для поддержания кипения во всей кастрюле и для компенсации потерь тепла.

9.15. Известно, что вода обладает наибольшей плотностью при 4°C . При понижении температуры от более высокой до 4°C вода сжимается, но при дальнейшем остывании от 4°C до точки замерзания, т. е. до 0°C , она опять расширяется. Когда наступают морозы, то прежде всего охлаждаются и сжимаются поверхностные слои воды. Сжимаясь, они становятся тяжелее, чем нижележащие, более теплые слои; поэтому поверхностные слои опускаются вниз, а на их место поднимаются глубинные, более легкие слои воды. Когда вся масса воды охладится до 4°C , процесс охлаждения с поверхности и смена слоев прекратятся. Начиная с этой температуры, верхние слои воды уже не будут опускаться, потому что при дальнейшем

охлаждении они становятся легче лежащих ниже, т. е. эти слои останутся наверху до замерзания. Самый верхний слой льда примет температуру окружающего воздуха, затем в глубину температура постепенно повышается и слои воды, лежащие глубоко, будут иметь температуру $+4^{\circ}\text{C}$ даже в самые сильные морозы (рис. 244).

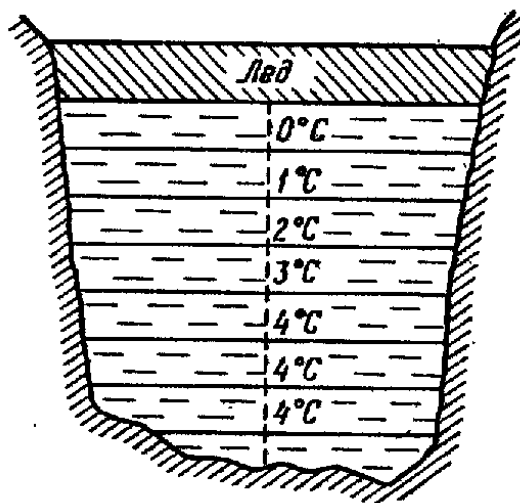


Рис. 244

9.16. Лед тает при 0°C лишь в том случае, если ему сообщают необходимое количество теплоты, а именно порядка 335 Дж на каждый грамм льда, а вода при 0°C будет замерзать, если такое же количество теплоты будут отнимать от нее. Поэтому, если сосуд извне не нагревается и не охлаждается, вода не будет замерзать и лед не будет плавиться.

Смесь воды со льдом при температуре 0°C будет находиться в «термодинамическом равновесии».

9.17. Количество теплоты, которое выделит вода при охлаждении до 0°C , недостаточно, чтобы растопить весь лед, так как каждый грамм воды отдаст при этом 209 Дж, а чтобы нагреть до 0°C и растопить 1 г льда, необходимо затратить $2,09 \cdot 40 + 335 \approx 419$ Дж (теплоемкость льда 2,09 Дж/К).

С другой стороны, количество теплоты, которое отнимет лед, нагреваясь до 0°C , недостаточно, чтобы заморозить всю воду, так как каждый грамм льда поглотит при этом около 84 Дж, а для того, чтобы превратить воду в лед, требуется на каждый грамм отнять от нее $209 + 335 \approx 544$ Дж. В результате в калориметре остается и лед, и вода, а следовательно, окончательная температура смеси будет равна 0°C .

9.18. Нет, неправильно. Нагреватель ставится внизу, потому что нагретые слои воды, как более легкие, поднимаются вверх и таким образом достигается наиболее эффективное перемешивание и нагревание всей воды. При охлаждении же дело происходит как раз наоборот: более холодные слои воды, как более тяжелые, опускаются вниз. Поэтому если поместить холодильник внизу, то перемешивания не будет и остывание будет идти очень долго. Для более быстрого охлаждения надо поместить лед сверху.

9.19. Вода не будет кипеть в кастрюле, плавающей в другой (в которой кипит вода), так как вследствие неизбежных потерь тепла температура воды в плавающей кастрюле будет ниже температуры кипения воды.

9.20. Остывание нагретого тела происходит тем быстрее, чем больше разность температур между этим телом и окружающей средой. Поэтому выгоднее сначала остудить воду, а потом положить лед.

9.21. Вода является плохим проводником тепла и, нагреваясь с поверхности солнечными лучами, не прогревается глубоко. Кроме того, вода, испаряясь, охлаждается. Это ведет часто к тому, что воздух, нагревающийся снизу от соприкосновения с нагретой землей, имеет более высокую температуру, чем вода в водоемах.

9.22. Можно, поместив ее под колокол воздушного насоса и откачав из него воздух. Так, вода может закипеть при комнатной температуре, если давление воздуха над ней упадет приблизительно до 15 мм рт. ст.

9.23. Молекул так много (при давлениях, при которых справедлив закон Бойля — Мариотта), что в любой момент для всякой молекулы, ударившейся о стенку с некоторой скоростью и под некоторым углом падения, практически всегда найдется другая молекула, которая покинет стенку с той же скоростью, как первая, и под углом отражения, равным углу падения первой молекулы. Такая пара молекул всегда найдется, потому что для падения и отражения молекул нет преимущественных направлений, все направления равновероятны. А для вывода закона не обязательно, чтобы это произошло с одной и той же молекулой.

Важно, чтобы в среднем импульс, сообщаемый в единицу времени ударяющимися молекулами каждому квадратному сантиметру стенки, равнялся тому импульсу, какой в среднем уносится каждую секунду молекулами, отражаемыми от такой же площади стенки.

9.24. Охлаждение нижнего шара вызывает в нем усиленную конденсацию паров. Это в свою очередь вызывает испарение воды в верхнем шаре. Испарение воды ведет к ее охлаждению. По мере конденсации паров в нижнем шаре испарение воды в верхнем шаре идет все быстрее и быстрее. В результате этого температура воды в верхнем шаре падает настолько сильно, что вода замерзает.

9.25. В ртутных термометрах, предназначенных для измерения высоких температур, над ртутью находится азот под давлением 14 атм, вследствие чего температура кипения ртути соответственно повышается.

9.26. Для водорода, находящегося первоначально при температуре $t_1 = 0^\circ\text{C}$, будем иметь уравнение

$$pV/273 = p'V/283,$$

а для водорода при температуре $t_2 = +20^\circ\text{C}$ — уравнение

$$pV/293 = p''V/303.$$

Очевидно, что p'' меньше, чем p' , а потому столбик сместится в сторону сосуда, в котором водород находился первоначально при температуре $t_2 = +20^\circ\text{C}$.

9.27. При неравномерном нагревании сосуда в нем непрерывно существуют конвекционные потоки, которые у дна направлены от холодной стенки к теплой. Эти потоки переносят оседающую на дно муть к более теплой стенке. Зимой, очевидно, стенка, обращенная к комнате, теплее, чем обращенная к окну. Значит, опыт производился зимой.

9.28. Водяные пары пойдут из комнаты на улицу, так как при влажности 40% и температуре $+20^\circ\text{C}$ упругость водяного пара больше, чем при температуре 0°C и влажности 80%.

9.29. Мыльные пузыри разных диаметров не могут быть в равновесии, потому что избыточное давление сил поверхностного натяжения, направленное внутрь сферического пузыря по радиусу к центру, тем больше, чем меньше радиус пузыря. Поэтому внутри малого пузыря давление больше, и воздух из него будет перетекать в больший пузырь; в результате меньший пузырь будет стягиваться, а больший расти. Так как край К закрыт, т. е. объем воздуха внутри трубки и пузырей остается постоянным, это перетекание прекратится, когда радиусы кривизны пузырей сравняются. Как видно из рис. 245, это возможно, если больший пузырь будет представлять собой почти полную сферу без маленького сегмента, а меньший пузырь — этот недостающий сегмент.

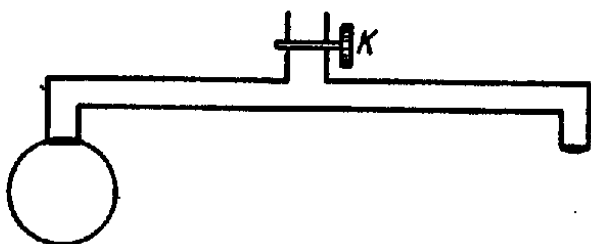


Рис. 245

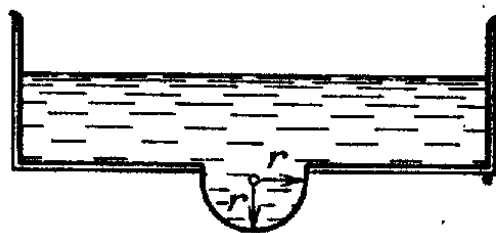


Рис. 246

9.30. Так как жидкость не смачивает стекло, то ее поверхностный слой, прогибаясь, оказывает давление, направленное внутрь и равное $\sigma/2r$ (рис. 246), если считать радиус кривизны слоя приблизительно равным радиусу r отверстия. Пока эта сила давления больше действующей вниз силы тяжести ρgh , жидкость не выльется. Таким образом, мы имеем неравенство

$$\sigma/2r \geq \rho gh, \text{ откуда } h \geq \sigma/2r\rho g.$$

9.31. В чистом стеклянном сосуде, в котором налита вода, происходит полное смачивание водой стенок сосуда. Поэтому вода в условиях невесомости (возникающей после выхода корабля на орбиту) растекается по стенкам, а поверхность жидкости на границе раздела вода — воздух принимает шарообразную форму, так как площадь свободной поверхности воды должна быть минимальной при данном объеме воздуха. Полное смачивание внутренней поверхности сосуда и сокращение до минимума свободной поверхности жидкости соответствуют минимуму поверхностной энергии, что обеспечивает устойчивость состояния системы (подобно тому, как для тяжелого тела устойчивым является его наинизшее состояние).

9.32. Вследствие невесомости и полного смачивания водой стенок сосуда вода покроет все стенки сосуда как внутри, так и снаружи.

9.33. Так как жидкость смачивает капилляр и трубка возвышается над водой, то выпуклость мениска обращена внутрь жидкости, иначе она не смогла бы стоять в капилляре выше, чем в широком сосуде. Жидкость будет доходить до конца капилляра, образуя слабовогнутый мениск. Силы поверхност-

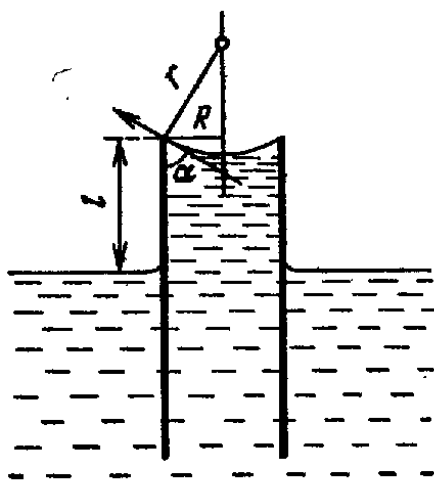


Рис. 247

ного натяжения, касательные к поверхности жидкости, будут образовывать со стенкой капилляра некоторый угол α . Поэтому сила, поддерживающая столб жидкости (рис. 247) в капилляре, будет равна $2\pi R \sigma \cos \alpha$. С другой стороны, сила тяжести столба жидкости в капилляре равна $\pi R^2 l \rho g$. Приравняв одно выражение к другому, получим

$$R / \cos \alpha = 2\sigma / l \rho g,$$

но $R / \cos \alpha$ равно как раз радиусу r мениска жидкости в капилляре.

9.34. Капиллярная трубка нужна для того, чтобы при отсчете разности уровней ртути устранить ошибку, вызванную поверхностным натяжением ртути, а широкая трубка нужна для того, чтобы показания манометра отвечали тому давлению газа, которое имеется в вакуумной установке.

10. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

10.1. При включении высокого напряжения на перьях птицы возникает статический электрический заряд, из-за наличия которого перья птицы расходятся, как расходятся кисти бумажного

султана, соединенного с электростатической машиной. Это действие статического заряда и побуждает птицу улететь.

10.2. Если заряженный проводник ввести внутрь другого изолированного проводника и прикоснуться заряженным проводником к его внутренней стенке, то заряд целиком перейдет на внешнюю поверхность этого второго проводника (цилиндр Фарадея).

10.3. Если окружить заряженный шарик концентрической металлической сферой, то на внутренней поверхности сферы появится индуцированный заряд, равный по модулю, но противоположный по знаку заряду шарика; вследствие этого на внешней поверхности сферы появится заряд такой же величины и того же знака, что и заряд шарика. Он создаст во внешнем пространстве такое же электрическое поле, какое создавал шарик. И шарик, и металлическая сфера действуют как заряд, сосредоточенный в точке, находящейся в центре шарика, поэтому сила, действующая на бумажку, не изменится. Если окружить сферой бумажку, сила притяжения обратится в нуль: бумажка попадет в цилиндр Фарадея; на металлической сфере появится заряд, а внутри нее поля не будет. Металлическая сфера будет притягиваться к шарiku, а бумажка нет.

10.4. В пространстве внутри большого шара, заряженного до потенциала $\varphi_2 = 10$ кВ, все точки имеют один и тот же потенциал, равный $+10$ кВ. При внесении внутрь большой полой металлической сферы маленького шарика, заряженного до более низкого потенциала $\varphi_1 = +1$ В, совершается работа, в результате которой маленький шарик заряжается также до потенциала $+10$ кВ. Таким образом, когда маленьким шариком касаются внутренней поверхности большой сферы, то заряд переходит при одном и том же потенциале с внутренней поверхности проводника на наружную.

10.5. Нет, неправильно. На электрический заряд действует сила, равная напряженности поля, умноженной на заряд. Заряд получает ускорение, направленное по касательной к линии напряженности. Но если линии напряженности кривые, а не прямые, то с направлением линии напряженности совпадает направление ускорения, а не скорости заряда.

10.6. Пусть r — радиус маленькой капли, а R — радиус большой капли. Тогда, очевидно, при слиянии N маленьких капель в одну большую будем иметь равенство объемов:

$$N \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi R^3,$$

отсюда

$$R = r \sqrt[3]{N}.$$

Заряд каждой маленькой капли равен

$$q = C\varphi = 4\pi\epsilon_0 r\varphi.$$

Общий заряд маленьких капель сохраняется при слиянии всех капель в одну. Поэтому

$$4\pi\epsilon_0 N r\varphi = R\varphi'.$$

Подставляя сюда значение R , получаем

$$4\pi\epsilon_0 N r\varphi = r\sqrt[3]{N}\varphi'.$$

Следовательно,

$$\varphi' = \sqrt[3]{N^2}\varphi/4\pi\epsilon_0.$$

10.7. Если изолятор между шарами A и B стал проводящим, то электростатическая машина уже не в состоянии поддерживать достаточную разность потенциалов между ними и разряд между шарами произойти не может. Дополнительный же электрод хорошо изолирован, и между ним и шаром A разность потенциалов близка к напряжению источника. Поэтому она оказывается достаточной для того, чтобы произошел разряд. К тому же дополнительный электрод — шар маленького радиуса, и поле у его поверхности очень большое. Разряд происходит чрезвычайно быстро, искровой промежуток становится на это время проводящим, и шар A принимает потенциал полюса источника; между шарами A и B , таким образом, создается большая разность потенциалов, которая не может быстро исчезнуть, так как изолятор все же плохо проводит электричество. Поэтому, после того как проскакивает искра в дополнительном промежутке, искра проскакивает также и между шарами A и B .

10.8. Ошибка в рассуждениях, изложенных в условии, заключается в том, что мы не учитываем работу при погружении зарядов в воду и подъеме из воды. При приближении зарядов к границе раздела вода — воздух возникают поляризационные заряды на поверхности воды, так что движение обоих зарядов в вертикальном направлении (когда расстояние между ними не изменяется) связано с совершением работы, которой пренебречь нельзя. Работа, затраченная при вертикальных перемещениях раздвинутых зарядов, будет больше, чем сдвинутых (так как поле на границе диэлектрика сильнее), и полная работа за цикл будет равна нулю.

10.9. Если заряд распределен по окружности равномерно, то из соображений симметрии ясно, что в центре окружности напряженность поля равна нулю, так как два заряда, расположенные на концах одного диаметра, создают напряжен-

ности поля, равные по модулю и противоположные по направлению.

Напряженность электростатического поля на оси MK в произвольной точке A (рис. 248), отстоящей от центра на расстояние h , создаваемая зарядом $q \Delta l$, приходящимся на элемент Δl дуги окружности, равна $q \Delta l / [4\pi\epsilon_0 (h^2 + R^2)]$. Разложим ее на составляющую, перпендикулярную к оси MK , и на составляющую вдоль оси. Первые составляющие напряженности от всех зарядов окружности, так же как и в центре окружности, в сумме дают нуль, а вторые составляющие в сумме дают

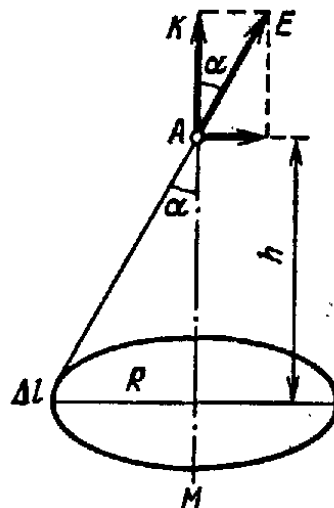


Рис. 248

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum \frac{q \Delta l \cos \alpha}{h^2 + R^2} = \frac{1}{2\epsilon_0} \frac{qhR}{(h^2 + R^2)^{3/2}}.$$

Эта напряженность имеет наибольшее значение при $h = R/\sqrt{2}$.

10.10. Поля силы тяжести и электростатическое являются потенциальными полями. Поэтому шарик B на высоте h над шариком A обладает некоторой потенциальной энергией. Так как при упругом ударе шариков их кинетическая энергия не изменяется, то по закону сохранения энергии шарик должен подняться на ту же высоту, с которой он начал падение, иначе говоря, наличие зарядов не изменяет результатов упругого соударения шариков.

10.11. Электростатическое поле есть поле потенциальное, в котором работа при перемещении заряда по любому замкнутому контуру равна нулю. Пусть контур

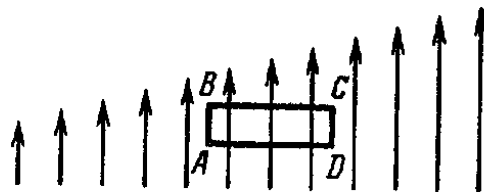


Рис. 249

$ABCD$ (рис. 249) служит контуром, по которому в электростатическом поле, указанном в условии, перемещается заряд. При перемещении заряда по сторонам BC и DA работа совершаться не будет, так как сила, действующая на заряд, перпендикулярна к перемещению. При перемещении заряда по сторонам AB и CD работы будут противоположны по знаку и различны по модулю, так как напряженности поля, а значит, и действующие на заряды силы различны по модулю, а перемещения равны между собой. Поэтому сумма всех работ по перемещению заряда по контуру $ABCD$ не была бы равна нулю, т. е. такое электростатическое поле невозможно.

10.12. Эта работа идет на увеличение энергии аккумулятора. Поскольку пластины конденсатора все время остаются присоединенными к клеммам аккумулятора, разность потенциалов, приложенная к ним, остается постоянной, следовательно, заряд на них должен уменьшаться. В самом деле, заряд конденсатора

$$q = CU = U\varepsilon_0 S/d,$$

где C — емкость конденсатора, U — разность потенциалов, S — площадь пластин конденсатора, d — расстояние между ними.

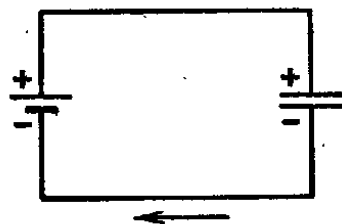


Рис. 250

Если U остается постоянным, а d возрастает, q должно уменьшиться. Происходит частичный разряд конденсатора, и в цепи протекает ток в направлении, указанном стрелкой на рис. 250, вследствие чего аккумулятор заряжается.

При раздвигании пластин конденсатора энергия электрического поля W в конденсаторе уменьшается. В самом деле, $W = CU^2/2$, и если U постоянно, а C уменьшается, то W также уменьшается. Освободившаяся энергия конденсатора идет на зарядку аккумулятора. Таким образом, на увеличение энергии аккумулятора идет вся работа, затрачиваемая на раздвигание пластин, и часть энергии, запасенной в конденсаторе.

10.13. а) При включении аккумулятора в течение некоторого промежутка времени пройдет ток зарядки конденсатора. Прибор отметит импульс тока, направление которого совпадает с полярностью аккумулятора.

б) При раздвигании пластин конденсатора уменьшается его емкость, а так как конденсатор остается подключенным к аккумулятору, т. е. напряжение на обкладках конденсатора не изменяется, то заряд на пластинах уменьшится. Прибор отметит кратковременный импульс тока, направление которого противоположно полярности аккумулятора.

10.14. Так как при этом разность потенциалов на обкладках не меняется (остается равной э. д. с. источника), то и напряженность поля между обкладками не изменится. Но емкость конденсатора при заполнении диэлектриком увеличивается. От источника к конденсатору будут притекать дополнительные электрические заряды в таком количестве, чтобы во время заполнения конденсатора диэлектриком разность потенциалов на обкладках оставалась неизменной. Такой же она остается и после заполнения.

10.15. При введении положительного заряда внутрь конденсатора на внутренних сторонах обкладок конденсатора инду-

пируется отрицательный заряд, который будет на них удерживаться, а на наружных сторонах обкладок возникает положительный заряд. С заземленной обкладки этот заряд уйдет в землю. С другой обкладки он также уйдет в землю, пройдя через гальванометр. Поэтому стрелка гальванометра даст отброс. Когда же введенный положительный заряд начнет выходить из конденсатора, отрицательный заряд с обкладок начнет стекать в землю. Заряд, стекающий с одной из обкладок, пройдет через гальванометр, стрелка которого даст отброс в противоположную сторону.

10.16. Если шары удалены далеко друг от друга, то можно считать, что присутствие одного шара не влияет на заряд и потенциал другого. Если шары заряжены одинаковыми, но противоположными по знаку зарядами $+q$ и $-q$ и находятся в воздухе, то потенциал первого из них $\varphi_1 = q/4\pi\epsilon_0 r$, а емкость $C_1 = q/\varphi_1 = 4\pi\epsilon_0 r$. Потенциал второго шара $\varphi_2 = -q/4\pi\epsilon_0 r$, емкость $C_2 = 4\pi\epsilon_0 r$. Разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2 = q/4\pi\epsilon_0 r + q/4\pi\epsilon_0 r = q/2\pi\epsilon_0 r$. Следовательно, емкость системы из двух шаров равна $C = q/(\varphi_1 - \varphi_2) = 2\pi\epsilon_0 r$, т. е. емкость этой системы вдвое меньше, чем емкость уединенного шара.

Чтобы пояснить этот результат, проследим переход от случая уединенного шара к рассмотренному в задаче случаю двух шаров. Емкость уединенного шара можно рассматривать как взаимную емкость этого шара и охватывающей его сферы очень большого радиуса (заряд на сфере при этом должен быть равен по модулю и противоположен по знаку заряду шара). Поместим теперь внутрь сферы второй шар с зарядом, равным по модулю и противоположным по знаку заряду первого. (При этом общий заряд на сфере должен быть равен нулю.)

Так как сфера очень велика, то шары внутри нее можно удалить друг от друга на такое большое расстояние, что поле одного не будет влиять на поле другого. Тогда взаимную емкость между шарами можно рассматривать как емкость, получившуюся в результате последовательного включения двух емкостей: 1) взаимной емкости первого шара и большой сферы и 2) взаимной емкости второго шара и той же большой сферы (эти емкости изображены на рис. 251 в виде двух конденсаторов).

Как и в случае последовательного включения двух конденсаторов, здесь есть несоединенные между собой одна «обкладка» одного конденсатора и одна другого (два шара) и две соединенные

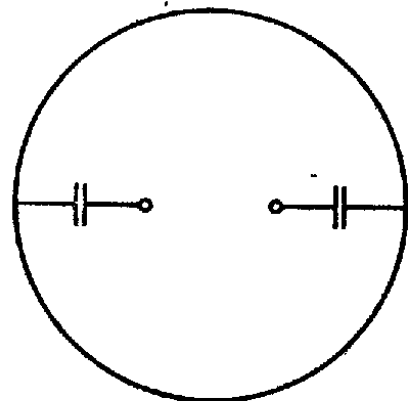


Рис. 251

между собой «обкладки», общий заряд которых равен нулю (эти две соединенные обкладки в нашем случае слились в одну сферу). А емкость двух одинаковых конденсаторов, включенных последовательно, как известно, вдвое меньше емкости каждого из конденсаторов.

10.17. Емкость металлического шара пропорциональна его радиусу. Когда шары соединяются проволокой, то заряды будут перераспределяться между шарами до тех пор, пока потенциалы обоих шаров не окажутся одинаковыми. Следовательно, общий заряд двух шаров $2q$ распределится между шарами так, чтобы было выполнено условие $q_R/R = q_r/r$, где q_R и q_r — заряды шаров радиусом R и радиусом r . Но, с другой стороны, $q_R + q_r = 2q$. Из этих двух уравнений находим неизвестные заряды q_R и q_r :

$$q_R = 2qR/(r + R), \quad q_r = 2qr/(R + r).$$

10.18. Можно. Листочки электроскопа расходятся независимо от знака заряда листочков и корпуса, поскольку эти заряды всегда противоположны по знаку. В случае переменного тока в течение обоих полупериодов силы взаимодействия между листочками и корпусом будут направлены в одну и ту же сторону, листочки будут притягиваться к корпусу, а потому среднее за период значение этой силы будет отлично от нуля, и листочки разойдутся на величину тем большую, чем больше напряжение в сети.

10.19. Одна из наиболее простых схем указана на рис. 252. На нужном участке линии параллельно воздушному проводу

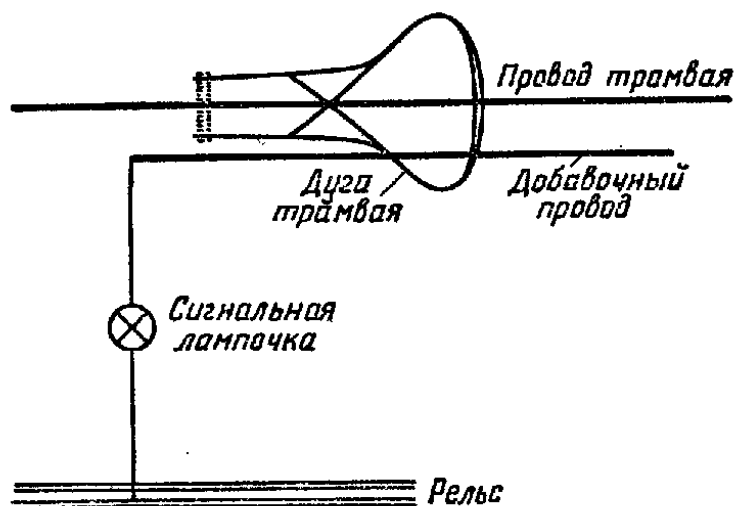


Рис. 252

трамвая подвешен добавочный провод, соединенный с лампочкой, другая клемма которой соединена с рельсом. Так как между воздушным проводом и рельсом есть напряжение,

то дуга трамвая, соединяя воздушный провод с добавочным, замыкает цепь, и сигнальная лампочка загорается.

10.20. На рис. 253 представлена одна из возможных схем, удовлетворяющая поставленным требованиям. Вместо выключателей в ней должны быть поставлены переключатели на два направления.

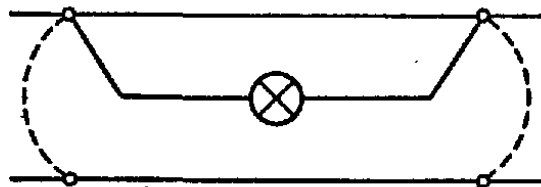


Рис. 253

10.21. Если поставить пробки на оба провода, то в случае перегрузки может случиться, что перегорит пробка на нулевом проводе, а не на фазовом. В этом случае свет погаснет, а вся проводка будет под напряжением относительно земли.

10.22. При включении в сеть каждой лампочки отдельно (т. е. при нормальном накале нитей) сопротивления лампочек одинаковы (поскольку одинаковы мощности):

$$R'_b = R'_{yt} = U^2/N = 360 \text{ Ом.}$$

Когда лампочки включены последовательно, через каждую из них идет ток $I' = U/(R'_b + R'_{yt})$, где R'_b и R'_{yt} — сопротивления нитей лампочек при последовательном включении. Этот ток I' меньше тока, идущего через лампу при обычном включении. Следовательно, и температура канала нити меньше, чем при обычном включении. Но тогда и сопротивления лампочек разные вследствие того, что у вольфрама температурный коэффициент сопротивления положительный, т. е. сопротивление вольфрама при понижении температуры уменьшается, а у угля, наоборот, температурный коэффициент сопротивления отрицательный, т. е. при понижении температуры сопротивление угля увеличивается. Следовательно, при токе I сопротивление $R'_b < R'_{yt}$, откуда падение напряжения на лампочках $U_b = R'_b I' < U_{yt} = R'_{yt} I'$, а следовательно, $U_b I' < U_{yt} I'$, т. е. на нити угольной лампочки будет выделяться большая мощность и она будет накалива сильнее.

10.23. При включении электронагревательных приборов P_1 и P_2 , потребляющих большой ток, увеличивается падение напряжения в сети и накал лампочек уменьшается. При этом влияние включения электронагревательного прибора P_2 , особенно на накал лампочки L_2 , сильнее, чем включения P_1 , так как включение P_2 вызывает падение напряжения в проводах, идущих по квартире, сечение которых меньше, а, значит, сопротивление больше, чем у проводов, подводящих напряжение к квартире.

10.24. При замыкании ключа K , т. е. при включении лампочки L_3 , сопротивление участка AB уменьшается, а значит, умень-

шается и падение напряжения на этом участке. Поэтому сила тока в лампочке L_2 уменьшается, а в лампочке L_1 увеличивается.

10.25. Так как чайник включается на заданное напряжение U , то количество теплоты Q , выделяющееся в его нагревательном элементе за время t , выражается формулой (закон Джоуля — Ленца)

$$Q = \frac{U^2}{R} t,$$

где R — сопротивление нагревателя. Поскольку потерями тепла в окружающее пространство пренебрегаем, то можно считать, что в обоих случаях для того, чтобы довести воду в чайнике до кипения, нужно одно и то же количество теплоты Q . Если чайник должен закипеть не через 15 мин, а через 10 мин, то $15/R_1 = 10/R_2$, т. е. сопротивление нагревательного элемента должно быть уменьшено в 1,5 раза. Так как сопротивление проволоки пропорционально ее длине, то нужно укоротить проволоку нагревательного элемента в 1,5 раза, т. е. нагревательный элемент должен быть намотан из 4 м проволоки*).

10.26. От точки A до точки B имеем две параллельно соединенные цепи: каждая состоит из последовательно включенных половины стороны шестиугольника, ромба и снова половины стороны шестиугольника. Сопротивление ромба равно R , а потому сопротивление одной из цепей равно $2R$. Следовательно, сопротивление всего каркаса будет R . То, что в точке O вершины двух ромбов соединены между собой, не играет роли, так как вследствие идентичности двух рассматриваемых цепей соединенные вершины ромбов находятся под одинаковым напряжением. Поэтому сопротивления двух цепей можно рассчитывать, не учитывая того, что они соединены в точке O .

10.27. Допустим, что сопротивление R_5 отсутствует. В этом случае силы токов I_1 и I_2 в ветвях ABE и ACE будут обратно пропорциональны сопротивлениям этих ветвей, т. е. $I_1/I_2 = (R_3 + R_4)/(R_1 + R_2)$, или, согласно данному в условии задачи соотношению, из которого следует, что

$$R_3/R_1 = (R_3 + R_4)/(R_1 + R_2),$$

отношение токов I_1/I_2 может быть заменено таким: $I_1/I_2 = R_3/R_1$; откуда $I_1 R_1 = I_2 R_3$. Следовательно, разности потенциалов между точками A и B , а также между точками A и C равны между собой. Таким образом, при соблюдении

*) Однако это решение не всегда возможно, так как сила тока в нагревателе может превысить допустимую и нагреватель перегорит.

приведенного в условии задачи соотношения между точками B и C нет разности потенциалов, и поэтому включение между ними какого угодно сопротивления не изменит величин и распределения сил токов в ветвях, а это значит, что сопротивление R_5 не влияет на сопротивление между точками A и E цепи. Обозначим полное сопротивление через R . Так как обе ветви включены параллельно, то

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3 + R_4},$$

или

$$\begin{aligned} \frac{1}{R} &= \frac{1}{R_1 + R_2} \left(1 + \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \right) = \frac{1}{R_1 + R_2} \left(1 + \frac{R_1}{R_3} \right) = \\ &= \frac{R_1 + R_3}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{R_3}. \end{aligned}$$

Так как $R_2 = R_3$, то $1/R = 1/R_3$ и $R = R_3$.

10.28. $R_{AOB} = R_{ACB}$, значит, $\varphi_C = \varphi_O$, и ток в ветви OC равен нулю. Эта ветвь не изменяет сопротивления между A и B , и последнее равно сопротивлению трех ветвей ACB , AOB и AB , включенных параллельно между точками A и B . Поэтому

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1 = 2, \quad R_{AB} = 0,5 \text{ Ом.}$$

10.29. Разность потенциалов на зажимах первого элемента будет равна нулю, если $R = r_1 - r_2$. Это видно из следующих соображений. Ток в цепи

$$I = 2\mathcal{E} / (r_1 + r_2 + R).$$

Разность потенциалов на зажимах первого элемента

$$U_1 = \mathcal{E} - Ir_1 = \mathcal{E} - 2 \frac{\mathcal{E} r_1}{r_1 + r_2 + R} = \frac{\mathcal{E} (r_2 - r_1 + R)}{r_1 + r_2 + R}.$$

Очевидно,

$$U_1 = 0, \text{ если } r_2 - r_1 + R = 0, \text{ т. е. } R = r_1 - r_2.$$

10.30. Если включить лампочки, как обычно, т. е. параллельно (рис. 254, a), то ярче будет светить лампочка с меньшим сопро-

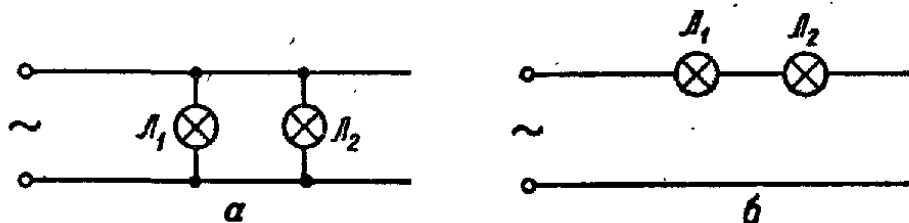


Рис. 254

тивлением (J_1). При параллельном включении напряжения на лампочках одинаковы, а, следовательно, мощность, выделяющаяся на нити лампочки (от которой и зависит ее яркость), будет обратно пропорциональна сопротивлению:

$$Q_1 = U^2/R_1, \quad Q_2 = U^2/R_2, \quad \text{т. е.} \quad Q_1 > Q_2.$$

Если же включить лампочки последовательно (рис. 254, б), то теперь напряжения на них разные, а ток в лампочках один и тот же. Поэтому

$$Q_1 = I^2 R_1, \quad Q_2 = I^2 R_2, \quad Q_1 < Q_2,$$

т. е. ярче будет светить лампочка с бóльшим сопротивлением (J_2).

10.31. Может при условии $\mathcal{E}_2/\mathcal{E}_1 < r_2/(r_1 + R)$. Это видно из следующих соображений. Если на внешнее сопротивление R замкнут один элемент с э. д. с. \mathcal{E}_1 и внутренним сопротивлением r_1 , то ток, идущий в контуре, равен

$$I_1 = \mathcal{E}_1/(r_1 + R).$$

Если подключить последовательно второй элемент с э. д. с. \mathcal{E}_2 и внутренним сопротивлением r_2 , то ток равен

$$I_2 = (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2)/(r_1 + r_2 + R).$$

Очевидно, $I_2 < I_1$, если $\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2/(r_1 + r_2 + R) < \mathcal{E}_1/(r_1 + R)$, откуда

$$\frac{\mathcal{E}_2}{\mathcal{E}_1} < \frac{r_2}{r_1 + R}.$$

Иначе говоря, для выполнения этого неравенства внутреннее сопротивление r_2 второго элемента должно быть достаточно большим.

10.32. Напряжение между точками A и B должно равняться э. д. с. элемента, уменьшенной на падение напряжения внутри элемента. Но сила тока в цепи равна

$$I = 3\mathcal{E}/3r = \mathcal{E}/r.$$

Следовательно, в нашем случае напряжение между точками A и B будет $\mathcal{E} - Ir = \mathcal{E} - \mathcal{E} = 0$. Таким образом, вольтметр, включенный между точками A и B , покажет нуль.

Полученный результат можно пояснить следующим образом. Если один гальванический элемент замкнуть накоротко (т. е. соединить его полюсы проводником, имеющим исчезающе малое сопротивление), то внутреннее падение напряжения будет равно э. д. с. элемента и напряжение на зажимах элементов будет равно нулю. Аналогичная картина получается и в

рассматриваемой цепи. Здесь три одинаковых элемента, включенные последовательно, замкнуты на себя при помощи проводов, сопротивлением которых пренебрегаем, что совершенно аналогично тому, как если бы каждый элемент был замкнут накоротко. Поэтому напряжение на зажимах каждого из элементов равно нулю.

Очевидно, от увеличения числа гальванических элементов показания вольтметра, включенного между точками *A* и *B*, не изменяются.

10.33. Как известно, вольтметр, подключенный непосредственно к источнику тока, показывает не э. д. с., а напряжение на зажимах источника:

$$U = \mathcal{E} - Ir,$$

где *r* — внутреннее сопротивление источника. Так как *r* неизвестно, то по показаниям вольтметра и амперметра при одном положении движка на потенциометре определить э. д. с. нельзя. Но если передвинуть движок и измерить ток и разность потенциалов при новом положении, то получим очевидное равенство:

$$\mathcal{E} = U_1 + I_1 r = U_2 + I_2 r, \text{ откуда } r = (U_1 - U_2)/(I_2 - I_1).$$

Искомая э. д. с. равна

$$\mathcal{E} = U_1 + I_1 r = U_1 + I_1 (U_1 - U_2)/(I_2 - I_1).$$

10.34. Следует включить гальванометр в то плечо, в которое обычно включают искомое сопротивление *R_x*, а в диагональ моста вместо гальванометра поставить ключ. Сопротивления *R₁* и *R₂* следует подобрать так, чтобы гальванометр давал одно и то же отклонение как при замкнутом, так и при разомкнутом ключе. Это будет означать, что тока в диагонали моста нет, и, следовательно, соблюдено известное соотношение

$$R_1/R_3 = R_1/R_2, \text{ откуда } R_1 = R_3 R_1/R_2.$$

10.35. При последовательном соединении гальванических элементов сила тока равна

$$I_1 = \frac{n\mathcal{E}}{nr + R} = \frac{\mathcal{E}}{r + R/n},$$

где \mathcal{E} — э. д. с. каждого элемента, *r* — его внутреннее сопротивление, *R* — внешнее сопротивление. При параллельном соединении сила тока равна

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}}{r/n + R}.$$

Очевидно, $I_2 = I_1$, если $R = r$, т. е. если сопротивление проводника равно внутреннему сопротивлению элемента.

10.36. Если амперметр показывает отсутствие тока в цепи батареи \mathcal{E}_2 , то, очевидно, падение напряжения между точками 1 и 2, созданное током, текущим в цепи батареи \mathcal{E}_1 , как раз равно электродвижущей силе \mathcal{E}_2 . Эту величину и покажет вольтметр, включенный между точками 1 и 2.

10.37. Включая между точками A и B вольтметр, определяем, какая из точек имеет более высокий потенциал. Пусть оказалось, что у точки A потенциал выше, чем у точки B . Затем подносим снизу к соответствующему проводу, например к верхнему, магнитную стрелку, насаженную на вертикальное острие. По отклонению северного полюса магнитной стрелки определяем направление тока в проводе. Например, если северный полюс магнитной стрелки отклонился из плоскости рисунка на нас, то, значит, ток в этом проводе течет через точку A справа налево. Отсюда следует, что источник тока в нашем примере расположен справа от точки A .

10.38. Так как э. д. с. батареи элементов B направлена навстречу э. д. с. сети, то результирующая э. д. с., действующая в цепи, составляет

$$U - n\mathcal{E} = 115 - 60 \cdot 1,2 = 43 \text{ В.}$$

Чтобы при такой э. д. с. в цепи протекал ток $I = 2,5 \text{ А}$, общее сопротивление цепи должно быть равно $(U - n\mathcal{E})/I = 43/2,5 = 17,2 \text{ Ом}$. Таким образом, сопротивление потенциометра

$$R = (U - n\mathcal{E})/I - nr = 17,2 - 60 \cdot 0,02 = 16 \text{ Ом.}$$

10.39. Как известно, при вращении якоря электродвигателя в проводах якоря возникает э. д. с. индукции, обратная э. д. с. источника. Эта обратная э. д. с. тем больше, чем больше оборотов в секунду делает якорь. Чем больше обратная э. д. с., тем слабее сила тока в цепи якоря. Если мотор работает вхолостую, то якорь вращается быстрее, а когда мотор совершает работу, якорь вращается медленнее. Следовательно, если двигатель работает на нагрузку, то в цепи якоря идет более сильный ток, а потому работающий двигатель нагревается быстрее, чем вращающийся вхолостую.

10.40. Количество теплоты, выделяющееся в цепи с данным сопротивлением, пропорционально среднему значению квадрата силы тока в цепи. Показания теплового амперметра также пропорциональны среднему значению квадрата силы тока (независимо от формы тока). Поэтому если тепловой амперметр показывает в обоих случаях ток $I = 5 \text{ А}$, то и нагревание в обоих случаях будет одинаковым.

Амперметр же с постоянными магнитами (магнито-электрический) дает показания, пропорциональные среднему значению тока. Он будет давать отклонения и в случае пульсирующего тока и показывать среднюю силу этого пульсирующего тока. Но среднее значение квадрата пульсирующего тока не равно квадрату среднего значения этого тока. Поэтому при одинаковых показаниях магнитоэлектрического амперметра в случаях постоянного и пульсирующего токов нагревание электропечи будет различным.

10.41. Рассмотрим сначала влияние изменения температуры на показания амперметра.

Амперметр обычно употребляется с шунтом, т. е. с сопротивлением, параллельно присоединенным к прибору. Сопротивление амперметра очень мало, сопротивление шунта еще меньше, а поэтому он обычно делается из меди, как и катушка прибора. Распределение сил тока через катушку прибора и через шунт зависит от соотношения между их сопротивлениями. Так как при изменении температуры относительные изменения сопротивления медной катушки и медного шунта будут одинаковы, то их отношение с температурой изменяться не будет. Итак, показания амперметра с шунтом из того же материала, что и катушка прибора, не зависят от температуры.

Рассмотрим теперь, как будут влиять изменения температуры на показания вольтметра.

Вольтметры, как известно, должны иметь большое внутреннее сопротивление, для чего приходится включать последовательно с катушкой прибора, обладающей вообще небольшим сопротивлением, большое добавочное сопротивление из материалов с большим удельным сопротивлением, как, например, манганин, константа. Поэтому общее сопротивление вольтметра определяется в основном этим добавочным сопротивлением, и, для того чтобы показания прибора не изменялись с температурой, это добавочное сопротивление должно оставаться неизменным. Так как сопротивление указанных сплавов с большим удельным сопротивлением очень мало зависит от температуры, то показания вольтметра практически также почти не будут зависеть от температуры окружающей среды.

Помимо влияния на сопротивления, изменения температуры могут влиять на жесткость спиральных пружин, удерживающих подвижную систему прибора в положении равновесия. Чтобы устранить это влияние, в точных приборах пружины делают из сплава, жесткость которого не зависит от температуры (элинвар).

10.42. Так как проводники $MACN$ и $MBDN$ включены параллельно между точками M и N , то падение напряжения на всей длине этих проводников одно и то же. Вдоль каждого из этих проводников падение напряжения распределяется равномерно. Поэтому, если длина MA проводника равна длине MB , то потенциалы в точках A и B одинаковы и ток по проводнику AB не пойдет. То же самое можно сказать и об участках MC и MD . Если они будут одинаковой длины, то ток по проводу CD не пойдет. Однако проводники AB и CD будут находиться под разными потенциалами, и если соединить их точки E и F , то по EF , а следовательно и по AE , BE , FC и FD , пойдет ток. Это будет иметь место, где бы ни выбрать точки E и F на проводниках AB и CD , так как потенциал точки E будет всегда выше потенциала точки F .

10.43. Количество теплоты, выделяемое током в стержне при постоянной разности потенциалов, приложенной к концам стержня, по закону Джоуля — Ленца равно

$$Q = \frac{U^2}{R} t.$$

Оно, очевидно, будет тем больше, чем меньше сопротивление R . Так как асбест замедляет отдачу тепла в окружающее пространство, то стержень в асбесте будет горячее. Но сопротивление R графита падает с повышением температуры; поэтому Q будет больше, когда стержень покрыт асбестом.

10.44. К розетке осветительной сети подводится два провода: нулевой и фазовый. При заземлении точки A картина на экране осциллографа не изменилась, значит, этот провод присоединен к нулевому проводу розетки. Заземление точки B снимает колебания напряжения, поданного на одну из пар пластин осциллографа, и поэтому электронный пучок прочерчивает на экране прямую, перпендикулярную другой паре пластин. Заземление точки C закорачивает фазовый и нулевой провода розетки, ток в проводе резко возрастает, и предохранитель розетки перегорает.

10.45. При заданном напряжении на концах цепи выделяемая в ней мощность равна U^2/R , т. е. она тем больше, чем меньше сопротивление R . Следовательно, в цепи из 39 лампочек, общее сопротивление которых меньше, чем у 40, будет выделяться большая мощность, поэтому температура накаливаемых нитей будет выше, а их свечение ярче. Таким образом, при 39 лампочках в комнате будет светлее, чем при 40. (Конечно, намного уменьшать число лампочек нельзя просто потому, что они перегорят.)

10.46. Батарея элементов с э. д. с. \mathcal{E} заряжает конденсатор до определенного напряжения U , после чего ток в цепи R_3 прекращается и продолжает течь лишь по цепи R_1 и R_2 . Когда ток в цепи конденсатора прекратится, падения напряжения на сопротивлении R_3 не будет, и напряжение на конденсаторе должно быть равно напряжению между точками 1 и 2, т. е. падению напряжения на сопротивлении R_2 . По закону Ома установившийся ток равен

$$I = \mathcal{E} / (R_1 + R_2).$$

Этот ток создает на концах сопротивления R_2 , т. е. между точками 1 и 2, напряжение

$$U = IR_2 = \mathcal{E} R_2 / (R_1 + R_2).$$

До этого напряжения и зарядится конденсатор.

10.47. В рассуждениях упущено из вида одно весьма важное обстоятельство. При выделении вещества на электродах электролитической ванны возникает поляризация электродов, в результате которой появляется обратная э. д. с. Это явление служит основой при создании вторичных элементов, т. е. аккумуляторов. При последовательном включении нескольких банок с подкисленной водой обратная э. д. с., представляющая собой сумму э. д. с., возникающих в каждой банке, достигает значения э. д. с. аккумуляторной батареи раньше, чем от нее будет взято количество электричества, на которое она рассчитана, и ток прекратится.

10.48. Через любое сечение между электродами, перпендикулярное к направлению движения ионов, в электролите текут токи

$$I_+ = en_+v_+, \quad I_- = en_-v_-,$$

где e — заряд одного иона, n_+ и n_- — концентрации соответствующих ионов, v_+ и v_- — их скорости. Полный ток равен

$$I = I_+ + I_- = e(n_+v_+ + n_-v_-).$$

Вблизи катода при уходе n_-v_- отрицательных ионов остается столько же положительных ионов, которые вместе с прибывшими к катоду n_+v_+ положительными ионами выделяются на нем. Таким образом, число положительных ионов, выделяющихся на катоде, определяется полным током.

Вблизи анода имеем аналогичное положение.

10.49. В противном случае вследствие электролиза грунтовой влаги на рельсах выделялся бы кислород, что привело бы к преждевременной коррозии.

10.50. Электрическое поле в металле, вызывающее движение электронов, действует с одинаковой силой и на электроны, и на ионы решетки, но силы эти направлены в противоположные стороны. Сила, действующая на электроны, вызывает их ускоренное движение. Под действием поля электроны приобретают некоторый импульс, который они при столкновении отдают ионам. При этом средняя сила, с которой действуют на проводник электроны, сталкиваясь с ионами решетки, как раз равна той силе, с которой электрическое поле действует непосредственно на ионы решетки, но противоположна ей по направлению. Поэтому металлический проводник, по которому идет ток, не испытывает никаких механических сил в направлении движения электронов.

10.51. Скорость электрона у анода определяется разностью потенциалов на всем пути от катода до анода и будет тем больше, чем больше эта разность потенциалов. Если анодная батарея не обладает внутренним сопротивлением, то в обоих случаях разности потенциалов одинаковы и равны э. д. с. батареи. В таком случае скорости электронов, достигающих анода, в схеме *a* и в схеме *б* одинаковы. Если внутреннее сопротивление батареи значительно, то $U = \mathcal{E} - Ir$, где I — сила анодного тока, а r — сопротивление батареи. Следовательно, напряжение на аноде и соответственно скорость электронов у анода будут больше в том случае, когда анодный ток меньше. Но при включении по схеме *a* электрическое поле у катода меньше, чем при включении по схеме *б*, так как сетка электронной лампы находится в первом случае под меньшим напряжением, чем во втором. Следовательно, анодный ток при включении сетки электронной лампы по схеме *a* меньше, а, значит, скорость электронов у анода больше, чем при включении по схеме *б*.

10.52. Батарея накала дает ток, идущий по цепи *ABCD* от положительного полюса к отрицательному (см. рис. 135). Сила тока накала $I_n = U_n/R_n = 5 \text{ В}/5 \text{ Ом} = 1 \text{ А}$. Электроны движутся в лампе от катода к аноду. Следовательно, во внешней цепи электроны, образующие анодный ток, будут двигаться от точки *D* к катоду. При этом для электронов возможны два пути к катоду: *DC* и *DAB*. Но на пути *DC* они не встречают никакого сопротивления (сопротивлением проводов и амперметров мы пренебрегли), а на пути *DAB* их движению препятствует э. д. с. батареи накала (направленная так, что она положительные заряды продвигает от *D* к *A*). Следовательно, весь анодный ток пойдет по пути *DC*; амперметр A_1 покажет силу тока $I_1 = 1 \text{ А}$, а амперметр A_2 — силу тока $I_2 = 1,1 \text{ А}$.

10.53. Для свечения газа в неоновой лампе нужно создать в ней электрическое поле. В результате трения на стеклянном баллоне неоновой лампы возникают электрические заряды, поле которых вызывает кратковременное свечение лампы.

10.54. Если стрелки отклонить в разные стороны, то период их колебаний несколько уменьшится, так как при этом увеличится плечо возвращающей силы, т. е. увеличится ее момент относительно оси стрелки.

10.55. Разломить пилку пополам и посмотреть, будут ли ее половинки притягивать друг друга. Если пилка была намагничена, то каждая из ее половинок тоже будет магнитом, имеющим северный и южный полюсы; эти два магнита будут взаимодействовать друг с другом.

10.56. Из рис. 255 ясно, что для любого ребра куба можно найти в соответствующей диагональной плоскости другое ребро, в котором течет такой же по силе и направлению ток. Эти токи дают в центре куба равные напряженности магнитного поля, но противоположно направленные, а потому результирующая напряженность магнитного поля будет равна нулю.

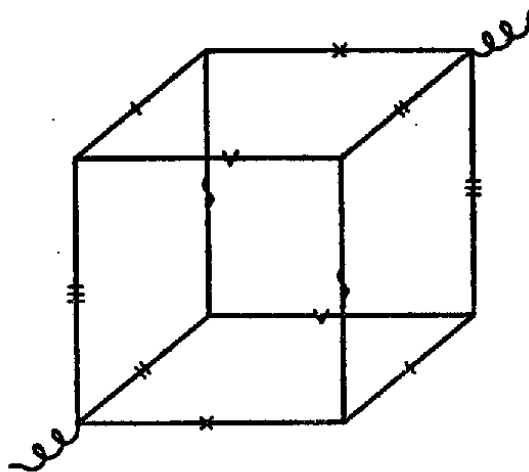


Рис. 255

10.57. Напряженность магнитного поля тока, идущего между точками A и B по дуге AMB , в центре окружности противоположна по направлению напряженности магнитного поля тока, идущего между теми же точками по дуге APB , так как токи текут по этим дугам в противоположных направлениях. Напряженность магнитного поля в центре окружности пропорциональна силе тока, идущего по дуге окружности, и длине дуги проводника. Так как отношение длин дуг AMB и APB прямо пропорционально их сопротивлениям, то силы тока в этих дугах обратно пропорциональны длинам дуг. Поэтому в центре окружности напряженности магнитных полей, создаваемых в дугах AMB и APB , равны, но поскольку они противоположны по направлениям, результирующая напряженность магнитного поля в центре окружности равна нулю.

10.58. В первом случае направление тока в проводе и в нити меняется одновременно. Поэтому в зависимости от того, как будут присоединены концы нити к сети, направления токов в нити и в проводе в каждый момент будут либо одинаковы,

и тогда нить притянется к проводу, либо противоположны, и тогда нить оттолкнется от провода.

Во втором случае в течение одного полупериода направления токов будут совпадать, а в течение следующего полупериода они будут противоположны, поэтому нить будет то притягиваться к проводу, то отталкиваться от него, т. е. будет совершать колебания около положения равновесия; частота колебаний будет равна частоте переменного тока городской сети.

10.59. Соленоид создает вне кольца магнитное поле одного кругового тока, радиус которого близок к радиусу кольца. Поэтому магнитная стрелка компаса отклоняется в согласии с правилом буравчика. На нашем рисунке южный полюс магнитной стрелки отклонится за плоскость рисунка.

10.60. Магнит притянет ближайшую к нему ненагретую проволочку вертушки, но вследствие нагревания горелкой эта проволочка потеряет свои магнитные свойства, и магнитное взаимодействие между ней и магнитом прекратится;

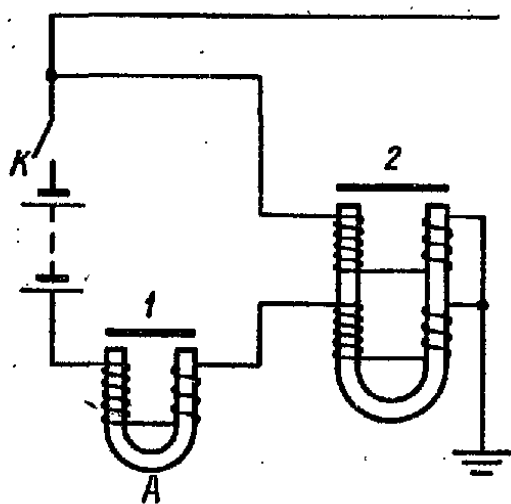


Рис. 256

тогда магнит притянет следующую ненагретую и потому сильно намагничивающуюся проволочку, явление опять повторится и т. д. В результате возникает непрерывное вращение вертушки.

10.61. На рис. 256 представлена одна из возможных схем, обеспечивающая получение копии телеграммы на передающей стадии и возможность одновременной передачи в обе стороны.

В самом деле, когда замыкают ключ K , замыкается, во-первых,

цепь на самой передающей станции A , содержащая оба электромагнита 1 и 2 , причем работает только электромагнит 1 , а другой не работает, так как ток проходит по двум его обмоткам, создающим противоположные по направлению магнитные поля. Таким образом, принимается копия посылаемой телеграммы. Во-вторых, замыкается цепь, включающая приемную станцию B (через землю), на которой аналогичный электромагнит 2 работает, так как в эту цепь включена только одна его обмотка. Так же ясно, что нажатие ключа на приемной станции B вызовет действие электромагнита 2 на передающей станции A и действие электромагнита 1 на станции B . Таким образом, обе станции A и B могут работать одновременно.

10.62. Если железный стержень не обладает никаким остаточным магнетизмом, то движение этого стержня сквозь медное кольцо никакого влияния на положение кольца оказывать не будет. Когда же будет вдвигаться магнит, то по закону Ленца в кольце возникает индукционный ток, который, взаимодействуя с магнитом, будет препятствовать его движению, а следовательно, магнит в свою очередь будет с такой же силой действовать на кольцо. Поэтому движение магнита будет отклонять кольцо от первоначального вертикального положения.

10.63. Показания гальванометра определяются э. д. с. индукции, возникающей в замкнутом контуре, образованном отрезками рельсов и замыкающими эти отрезки с одной стороны цепью гальванометра, а с другой осью ближайшей к гальванометру пары колес поезда (см. рис. 143); э. д. с. индукции возникает вследствие того, что рассмотренный контур пронизывается вертикальной составляющей напряженности магнитного поля Земли, а при движении поезда площадь контура изменяется, в результате чего изменяется магнитный поток, пронизывающий контур. При равномерном движении поезда скорость изменения площади контура, т. е. скорость изменения магнитного потока, постоянна, а значит, постоянна и э. д. с. Но в случае, когда поезд приближается к гальванометру, площадь контура и магнитный поток уменьшаются, а когда поезд удаляется от гальванометра, то площадь контура и магнитный поток возрастают. Вследствие этого в двух рассматриваемых случаях гальванометр будет давать одинаковые по модулю, но противоположные по направлению отклонения.

10.64. При включении катушки в сеть переменного тока в кольцо индуцируется также переменный ток, направленный в каждый данный момент противоположно току катушки, так как омическое сопротивление кольца очень мало. Магнитные поля противоположно направленных токов, взаимодействуя, стремятся оттолкнуть друг от друга проводники, по которым эти токи текут. Вследствие того, что токи, направленные в противоположные стороны, отталкиваются, кольцо подскакивает. При включении катушки в цепь постоянного тока кольцо подскочит в момент включения вследствие возникновения индукционного тока противоположного направления.

10.65. При падении магнита сквозь металлическое кольцо в нем возникает э. д. с. индукции и по кольцу течет индукционный ток. Взаимодействие магнитных полей этого тока и падающего магнита по закону Ленца таково, что препятствует движению магнита, вызывающему э. д. с. индукции. Поэтому падение магнита сквозь металлическое кольцо будет

происходить с ускорением, меньшим, чем ускорение свободного падения.

10.66. В большом медном листе возникнут токи (индукционные токи Фуко), магнитное поле которых будет значительно, если не полностью, ослаблять поле катушки индуктивности B . Вольтметр, на который замкнута катушка индуктивности A , либо ничего не покажет, либо покажет небольшое напряжение.

10.67. Силы взаимодействия между двумя токами обусловлены взаимодействием их магнитных полей, причем это взаимодействие можно представлять себе так, что каждая линия индукции магнитного поля стремится сократиться в длину, а соседние линии индукции, направленные в одну сторону, стремятся удалиться друг от друга. Первое приводит к тому, что токи, направленные в одну сторону, притягиваются, а второе — к тому, что токи, направленные в противоположные стороны, отталкиваются. Но если катушки с установившимися в них токами надеты на сердечник, магнитная проницаемость которого очень велика, и поэтому все линии индукции магнитного поля проходят по сердечнику, то перемещение какой-либо из катушек вдоль по сердечнику никак не изменяет расположения линий индукции магнитного поля внутри сердечника. Поскольку взаимодействие между проводниками с током всегда связано с изменением их магнитного поля, а в случае железного сердечника характер магнитного поля задан формой сердечника и не изменяется при изменении взаимного расположения катушек, сил взаимодействия между катушками не должно быть.

10.68. Явление электромагнитной индукции заключается в появлении электрического тока в контуре при изменении магнитного потока через этот контур. Стрелка гальванометра, соединенного с соленоидом, отклоняется, только пока магнит вдвигается в катушку. Когда магнит вдвинут в катушку, изменение магнитного поля прекращается, а значит, прекращается и ток индукции. Поэтому в опыте Колладона стрелка гальванометра отклонялась, пока Колладон в первой комнате вдвигал магнит и не мог видеть гальванометра. Когда же, оставив магнит неподвижным, Колладон приходил посмотреть на гальванометр, стрелка успевала вернуться к начальному положению.

10.69. При выключении внешнего напряжения мотор с быстровращающимся якорем превращается в динамо-машину*). Динамо-машина с короткозамкнутыми клеммами создает силь-

*) Устаревший термин, сейчас — генератор постоянного тока. (Примеч. ред.)

ный ток, который по правилу Ленца направлен так, что, взаимодействуя с магнитным полем машины, он тормозит вращение якоря и останавливает вагон. Однако этот метод торможения трамвая или электропоезда применять при очень большой скорости нельзя, так как ток короткого замыкания при быстром вращении якоря может оказаться настолько сильным, что обмотки мотора сгорят. Поэтому практически клеммы мотора замыкают не накоротко, а через переменное сопротивление, которое подбирается так, чтобы при этом не возникала опасность перегорания обмоток мотора.

10.70. Железный сердечник с двумя обмотками представляет собой обычный трансформатор. Если подключить одну из обмоток трансформатора к источнику переменного тока и измерить вольтметром напряжение на концах обеих обмоток U_1 и U_2 , то можно определить отношение чисел витков в двух обмотках, так как

$$U_1/U_2 = n_1/n_2, \quad (1)$$

где n_1 и n_2 — числа витков в первой и второй обмотках. Однако это измерение не дает возможности определить n_1 и n_2 порознь. Но если намотать на сердечник дополнительную обмотку, имеющую известное число витков n , и измерить напряжение на концах этой обмотки U , то можно написать соотношение

$$U_1/U = n_1/n,$$

откуда определяется n_1 , а затем из соотношения (1) и n_2 . При наличии достаточно чувствительного вольтметра можно взять $n = 1$, т. е. просто пропустить кусок провода через ярмо сердечника и замкнуть концы провода на зажимы вольтметра.

10.71. Две совершенно одинаковые обмотки, намотанные в одном и том же направлении на общий сердечник и соединенные параллельно, эквивалентны одной обмотке с вдвое большим сечением провода. Но от увеличения сечения провода уменьшится его омическое сопротивление, индуктивность же практически не изменится. А поскольку омическое сопротивление и так мало по сравнению с индуктивным, то общее сопротивление двух катушек останется неизменным, а значит, и сила тока не изменится.

10.72. Сердечник электромагнита телефонной трубки представляет собой постоянный магнит (такое устройство называется поляризованным электромагнитом). Поэтому переменное магнитное поле, создаваемое переменными токами, возникающими из-за звуков, издаваемых перед микрофоном, накладывается на постоянное магнитное поле сердечника (рис. 257).

В результате такого наложения полей получается поле одного знака, но переменной величины. В максимумах тока притяжение мембраны наибольшее, а в минимумах тока притяжение мембраны наименьшее. При этом частота колебаний мембраны сохраняется равной частоте питающего телефон тока.

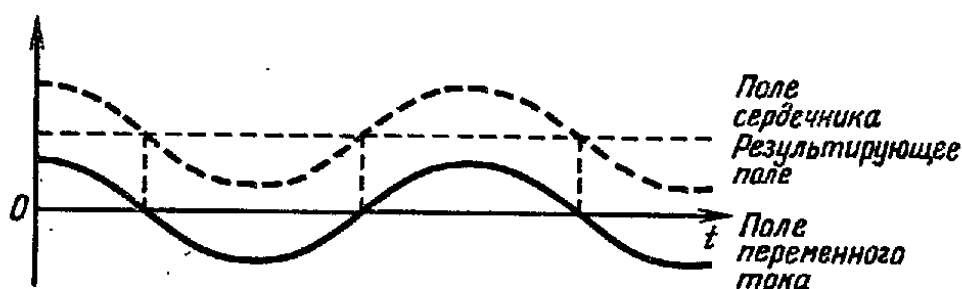


Рис. 257

10.73. В первом случае работа, совершаемая при перемещении проводника, превращается целиком в джоулево тепло, выделяющееся в сопротивлении R ; во втором случае часть совершаемой работы идет на увеличение магнитной энергии поля, возникающего вокруг катушки индуктивности.

Работа, совершенная при перемещении проводника в единицу времени, равняется $\mathcal{E}I$, где \mathcal{E} — одинаковая в обоих случаях электродвижущая сила, возникающая вследствие перемещения проводника в магнитном поле, I — ток в контуре. Однако в первом случае ток I_1 больше, чем ток I_2 во втором, так как э.д.с. индукции замедляет нарастание тока. Следовательно, и работа в единицу времени $\mathcal{E}I_1 > \mathcal{E}I_2$.

Это справедливо также и для равномерного движения проводника, но только до установления в контуре стационарного тока, после чего наличие самоиндукции в цепи уже никак не сказывается.

11. ОПТИКА

11.1. Причина в том, что источник света (пламя свечи) вытянут в вертикальном направлении. Когда вилка расположена вертикально, то для каждого из зубцов граница света и тени на экране от всех частей источника расположена примерно в одних и тех же местах и поэтому получается отчетливая тень зубцов. Когда же вилка расположена горизонтально, то граница света и тени от одной части источника для данного зубца будет сдвинута на экране относительно границы света и тени, создаваемой другой частью источника от того же зубца, а поэтому вся тень вилки будет размыта.

11.2. Добавление зеркала равносильно добавлению второго мнимого источника света S_1 на расстоянии $3l$ от экрана

(мнимое изображение S_1 источника получается за зеркалом на расстоянии l от него (рис. 258)). Известно, что освещенность в случае точечного источника прямо пропорциональна силе света и обратно пропорциональна квадрату расстояния. Если первый источник дает в центре экрана освещенность I/l^2 , то второй добавляет освещенность $I/(3l)^2$. Следовательно, если поставить зеркало, освещенность в центре экрана будет

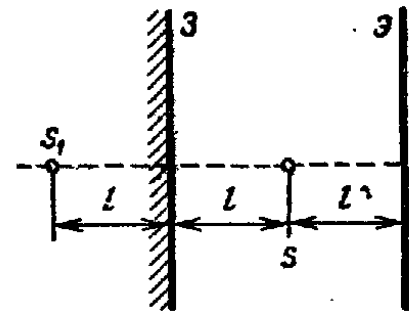


Рис. 258

$$E = I/l^2 + I/9l^2 = (10/9)I/l^2.$$

11.3. Видимая яркость фонаря равна освещенности изображения на сетчатке глаза, т. е. отношению светового потока, попадающего в глаз, к площади изображения на сетчатке. При увеличении расстояния до источника света уменьшается световой поток, попадающий в глаз, но одновременно также уменьшается и площадь изображения на сетчатке. Отношение этих двух величин остается постоянным, если можно пренебречь потерей световой энергии вследствие поглощения и рассеяния света при распространении в воздухе.

В тумане видимая яркость изображения падает по мере удаления источника света, поскольку становятся заметными поглощение и рассеяние энергии.

11.4. Построим изображение предмета AB в плоском зеркале CD , поставленном параллельно предмету (рис. 259). Как известно из законов отражения света, изображение $A'B'$ в плоском зеркале расположено симметрично с предметом AB , т. е. на таком же расстоянии от зеркала, как и предмет ($CA' = CA$). Из построения ясно, что достаточно иметь зеркало такого размера CD , чтобы из точки A было видно и точку A' , и точку B' . Но $CD = 0,5A'B' = 0,5AB$, т. е. достаточно иметь зеркало в половину человеческого роста.

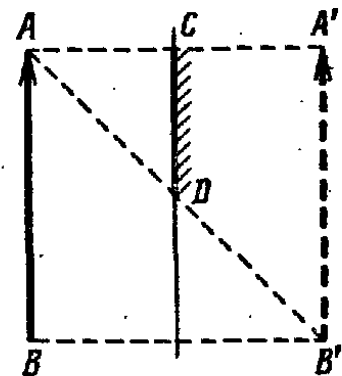


Рис. 259

11.5. Так как облака, плывущие по небу, находятся от объектива аппарата на более далеком расстоянии, чем человек, то изображение облаков получится ближе к объективу, чем изображение человека. Чтобы это изображение попало на пленку, необходимо, следовательно, уменьшить растяжение фотокамеры.

11.6. Число изображений светящейся точки будет бесконечным. Первое изображение S_1 точки S в зеркале Z_1 дает

изображение S'_2 в зеркале $З_2$; в свою очередь S'_2 отражается в зеркале $З_1$ и т. д. (рис. 260). Такую же последовательность изображений даст отражение точки S в зеркале $З_2$. Таким образом, возникает бесконечный ряд изображений, отстоящих друг от друга на расстояние, равное расстоянию между зеркалами.

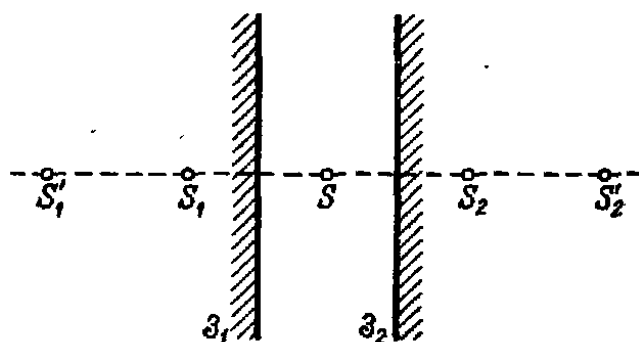


Рис. 260

Конечно, при каждом последующем отражении яркость изображения ослабляется, поэтому практически число изображений будет конечным.

11.7. При отражении светящейся точки S в зеркалах $ОМ_1$ и $ОМ_2$ образуются два изображения S_1 и S_2 . Положение каждого из них находится как обычно, т. е. из светящейся точки на плоскость зеркала опускается перпендикуляр, который продолжается за плоскость зеркала на равное расстояние.

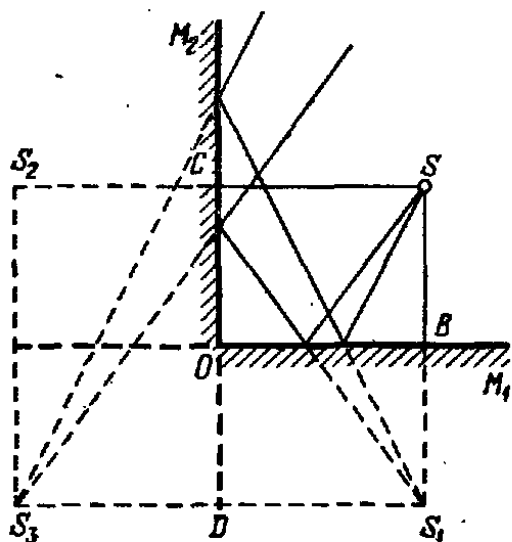


Рис. 261

Но, кроме того, надо учесть возможность образования изображения мнимого источника S_1 в зеркале $ОМ_2$ и, аналогично, S_2 — в зеркале $ОМ_1$ (рис. 261).

Найдем изображение S_3 мнимого источника S_1 в зеркале $ОМ_2$. Глазу будет казаться, что это изображение находится на таком же расстоянии за зеркалом $ОМ_2$, на каком находится перед ним мнимый источник S_1 . Поэтому, чтобы найти положение S_3 , надо опустить из S_1 перпендикуляр на продолжение линии $ОМ_2$ и продолжить этот перпендикуляр на расстояние $DS_3 = S_1D$.

Отразиться в зеркале $ОМ_1$ мнимый источник S_1 не может, так как он находится за плоскостью этого зеркала. Так же не может получиться изображение мнимого источника S_2 в зеркале $ОМ_2$.

Остается еще найти изображение мнимого источника S_2 в зеркале $ОМ_1$. Но если повторить построение, аналогичное вышеприведенному, то нетрудно видеть, что изображения мнимого источника S_2 в зеркале $ОМ_1$ и мнимого источника S_1 в зеркале $ОМ_2$ совпадают в точке S_3 .

Таким образом, всего в плоских зеркалах, расположенных взаимно перпендикулярно, будет видно три изображения: S_1, S_2, S_3 .

11.8. Два плоских зеркала надо расположить под прямым углом, как показано на рис. 262. Тогда

$$\alpha + \delta = \beta + \gamma = 90^\circ,$$

а следовательно,

$$\varepsilon + \theta = 360^\circ - (\alpha + \beta + \gamma + \delta) = 180^\circ.$$

Нетрудно убедиться, что это условие выполняется при любом угле падения.

11.9. Решение следует из предыдущей задачи: зеркала надо расположить так, чтобы они пересекались под прямыми углами, сходясь в одной вершине. Такая полая пирамида с тремя взаимно перпендикулярными зеркальными гранями отражает любой луч по направлению падающего.

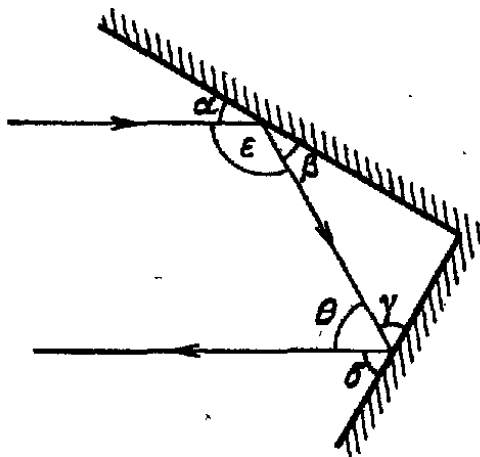


Рис. 262

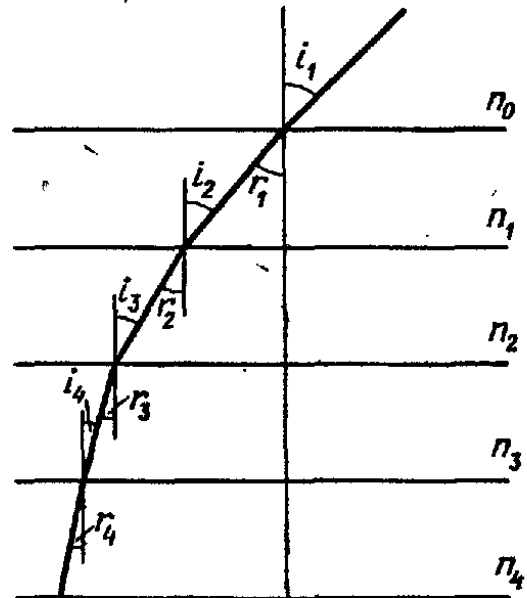


Рис. 263

11.10. Свет может распространяться криволинейно в среде с переменным показателем преломления. В самом деле, рассмотрим ход луча через ряд плоскопараллельных пластинок (рис. 263) с постепенно меняющимися показателями преломления $n_0, n_1, n_2, n_3, n_4, \dots$. Пусть

$$n_0 < n_1 < n_2 < n_3 < n_4 < \dots \quad (1)$$

Переходя из одной пластинки в другую, луч света каждый раз меняет направление:

$$\sin i_1 / \sin r_1 = n_1 / n_0, \quad \sin r_1 = (n_0 / n_1) \sin i_1.$$

По построению видно, что $\sin r_1 = \sin i_2$. При преломлении

в следующей пластине

$$\sin i_2 / \sin r_2 = \sin r_1 / \sin r_2 = n_2 / n_1,$$

откуда

$$\sin r_2 = (n_1 / n_2) \sin r_1 = (n_0 / n_2) \sin i_1.$$

Далее, $\sin r_2 = \sin i_3$,

$$\frac{\sin i_3}{\sin r_3} = \frac{\sin r_2}{\sin r_3} = \frac{n_3}{n_2},$$

$$\sin r_3 = \frac{n_2}{n_3} \sin r_2 = \frac{n_0 n_2}{n_2 n_3} \sin i_1,$$

причем $\sin r_3 = \sin i_4$. Следующее преломление дает

$$\frac{\sin i_4}{\sin r_4} = \frac{\sin r_3}{\sin r_4} = \frac{n_4}{n_3}, \text{ откуда } \sin r_4 = \frac{n_3}{n_4} \sin r_3 = \frac{n_0}{n_4} \sin i_1.$$

В силу условия (1), очевидно, $\sin r_1 > \sin r_2 > \sin r_3 > \sin r_4$, т. е., переходя из одной пластинки в другую, луч света каждый раз меняет свое направление. При постепенно возрастающем показателе преломления угол преломления последовательно уменьшается. Если луч света проходит через множество таких тонких пластинок с постепенно меняющимися показателями преломления, то он искривляется.

Такой средой с постепенно меняющимся показателем преломления может быть, например, неоднородная жидкость или слои атмосферы с постепенно меняющейся плотностью.

11.11. Наблюдатель увидит первые солнечные лучи через промежуток времени, который требуется свету, чтобы пройти расстояние от Луны до глаза наблюдателя, т. е. приблизительно через 1,3 с.

11.12. Рефракция солнечных лучей в земной атмосфере от краев диаметра и хорд солнечного диска, параллельных плоскости видимого горизонта, происходит в одинаковых условиях, и поэтому в этом направлении мы не замечаем никакого искажения солнечного диска. Иначе обстоит дело с лучами, идущими от краев диаметра и хорд солнечного диска, перпендикулярных плоскости видимого горизонта. Когда наблюдатель видит нижний край солнечного диска, лучи от нижних краев падают на верхний слой земной атмосферы под большим углом, чем лучи, идущие от верхних краев солнечного диска, и, следовательно, первые искривляются сильнее вторых. Поэтому нижние края Солнца кажутся нам более приподнятыми, чем верхние (рис. 264, где A — наблюдатель, CC' — истинный, а $C_1C'_1$ — видимый диаметр Солнца,

перпендикулярный к плоскости видимого горизонта, $\alpha > \beta$). Это приводит к тому, что в этом направлении Солнце кажется сплюснутым.

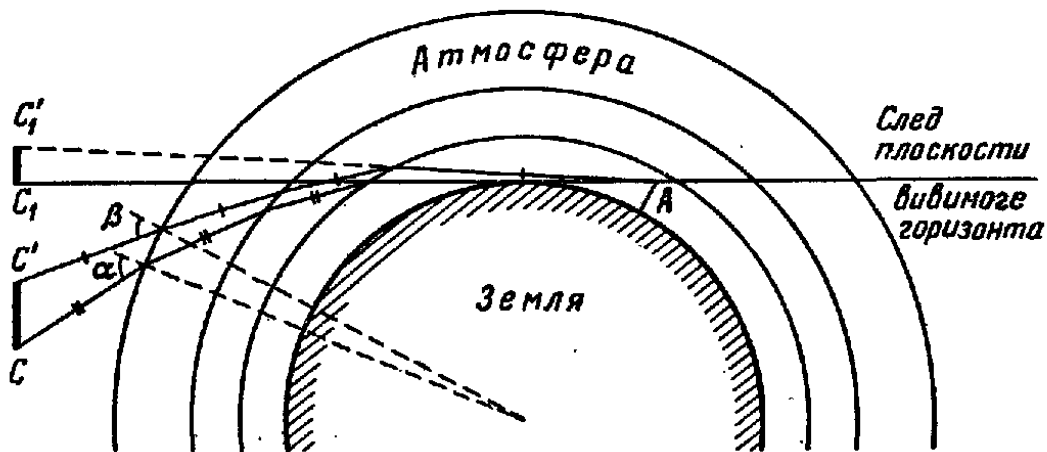


Рис. 264

11.13. Оба человека увидят друг друга в зеркале, когда крайний, вышедший из точки A луч света попадает в точку K после отражения от зеркала и, обратно, луч, вышедший из K , попадет в A (рис. 265). Так как угол падения равен углу отражения, очевидно, лучи KO и AO должны падать на зеркало под одинаковыми углами. Следовательно, при приведенных в задаче условиях

$$x = KC = CO = 0,5 \text{ м},$$

т. е. оба человека увидят друг друга, когда второй будет на расстоянии 0,5 м от зеркала.

11.14. Возьмем точку A на краю Солнца S и построим ход лучей, упавших из точки A и отразившихся от маленького зеркала $З$, лежащего на столе (рис. 266).

Исходящий из этой точки пучок лучей мы можем считать параллельным. В таком случае лучи упадут на зеркало под одним и тем же углом, а потому и отразятся от зеркала под тем же углом; таким образом, точка A Солнца даст на вертикальном экране светлое пятно, имеющее форму четырехугольника; вид этого четырехугольника зависит от того, под каким углом падает на зеркало пучок лучей из точки A . (Если этот угол равен 45° , то стороны квадратного зеркала спроецируются на экран $Э$ равными же сторонами.) Однако Солнце имеет

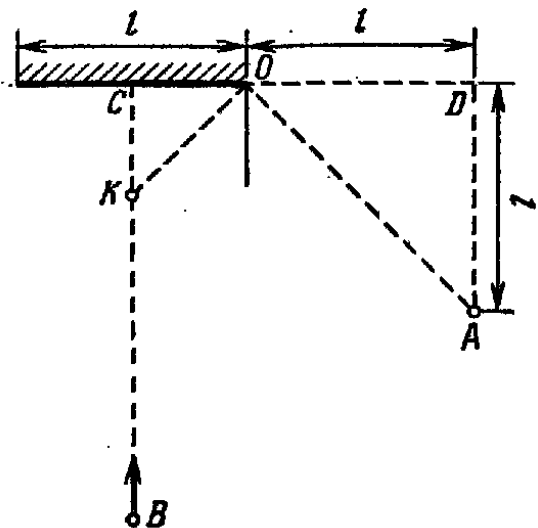


Рис. 265

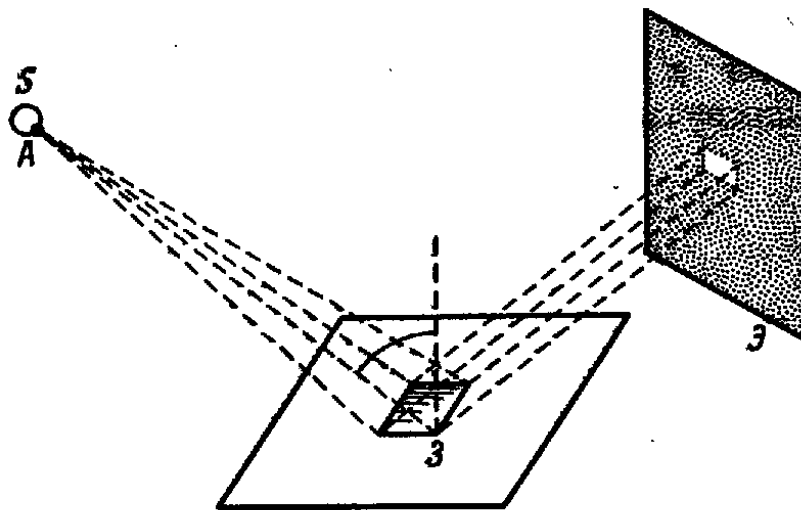


Рис. 266

конечные размеры. Поэтому пучки лучей, идущие от разных точек Солнца, будут давать светлые четырехугольные пятна, смещенные друг относительно друга на экране, и в своей совокупности эти пятна образуют пятно эллиптической (близкой к круглой) формы. Это будет справедливо, если экран находится достаточно далеко от зеркала. Если же экран расположен близко около зеркала, то вследствие узости конического пучка, идущего от Солнца, пятна будут близко накладываться друг на друга и результирующее пятно будет либо прямоугольным, либо квадратным с едва размытыми краями.

11.15. Чтобы фокусное расстояние глаза сохранялось одинаковым и в воздухе, и под водой, нужно, чтобы отсутствовало преломление лучей, идущих от удаленных предметов (т. е. лучей параллельных), на передней поверхности роговицы глаза. Значит, эта поверхность должна быть плоской.

11.16. Построим изображение свечи AB , получаемое на экране с помощью линзы L (рис. 267). Для этой цели

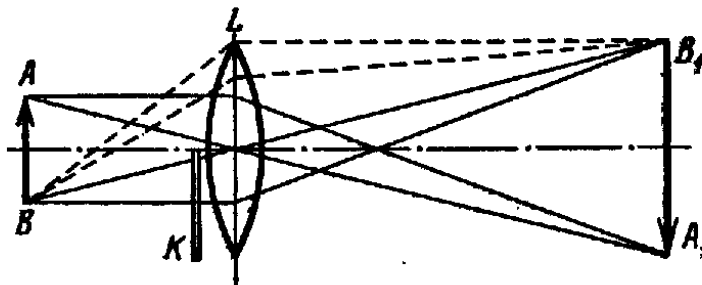


Рис. 267

обычно проводят от крайних точек A и B предмета по два луча, ход которых известен (один луч — параллельно главной оптической оси, другой — через оптический центр линзы). Но ясно, что в точке B_1 , например, сходятся не только

указанные два луча, вышедшие из B , а весь конический пучок, вышедший из B и попадающий на линзу (два луча этого пучка показаны штрихом). Поэтому, если половину линзы закрыть картоном K , то все же от каждой точки предмета лучи попадут на экран, т. е. в этом случае также получится полное изображение предмета, но число лучей будет вдвое меньше, а потому изображение будет вдвое менее ярким.

11.17. Для того чтобы получить изображение источника света на экране, необходимо простыми средствами увеличить расстояние между источником и экраном, не изменяя положения ни того, ни другого. Это можно осуществить, поместив плоское зеркало сзади источника на соответствующем расстоянии. Чтобы свет от самого источника не мешал, можно заслонить его с помощью непрозрачного экрана небольших размеров.

11.18. Для того чтобы с помощью двояковогнутой стеклянной линзы получить в воздухе действительное изображение, необходимо направить на нее сходящийся пучок лучей. Это

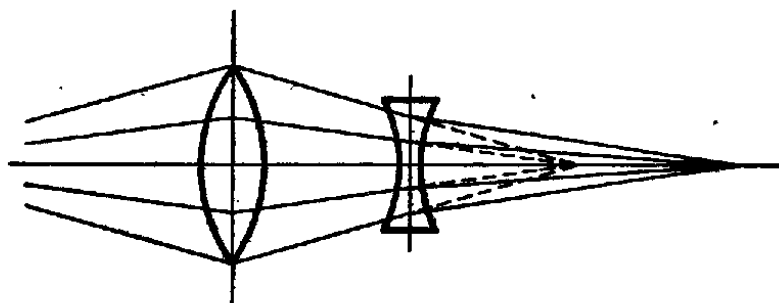


Рис. 268

можно осуществить, поместив перед двояковогнутой линзой, т. е. ближе к источнику света, собирающую линзу, имеющую подходящее фокусное расстояние (рис. 268).

11.19. Нет, не помогут. Выпуклые очки улучшают зрение, поскольку они увеличивают оптическую силу глаза, находящегося в воде. Если лицо закрыть маской, т. е. глаза окажутся в воздухе, то стеклянные очки не будут увеличивать оптическую силу глаза.

11.20. Для этого изображение, даваемое линзой, должно совпасть с центром зеркала (рис. 269), так как тог-

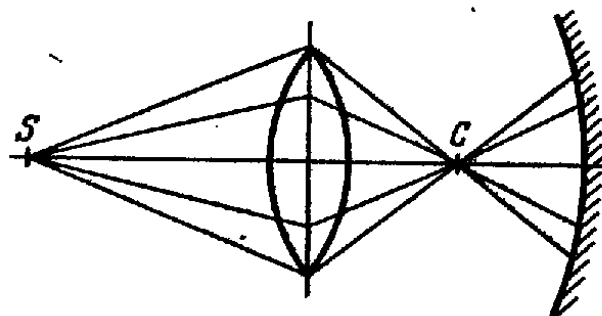


Рис. 269

да лучи, идущие из центра зеркала после отражения от зеркала, снова соберутся в центре зеркала и, пройдя затем через линзу,

соберутся в точке, где находится сам источник, ибо источник и его изображение в сферической линзе обратимы.

11.21. Чтобы система линз стала телескопической, надо, чтобы пучок лучей света на входе и выходе системы был параллельным. Для этого фокусы линз должны совпадать, а

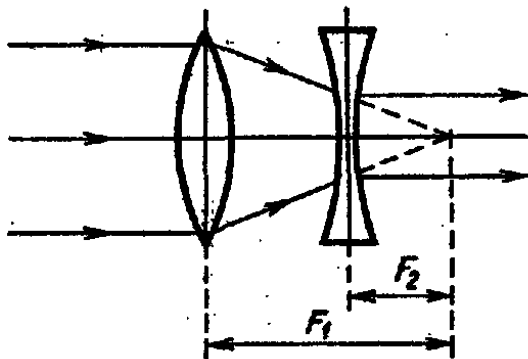


Рис. 270

потому расстояние между линзами должно равняться разности фокусных расстояний линз, т. е. $F_1 - F_2$. Решение возможно, если фокусное расстояние F_1 двояковыпуклой линзы больше фокусного расстояния F_2 двояковогнутой линзы (рис. 270).

11.22. Если речь идет о действительном изображении, то из уравнения $1/d + 1/f = 1/F$, подставляя $f = F$, получим $d = \infty$, т. е. точечный источник света должен находиться чрезвычайно далеко по сравнению с главным фокусным расстоянием линзы, чтобы изображение его было практически в главном фокусе линзы. Если же речь идет о мнимом

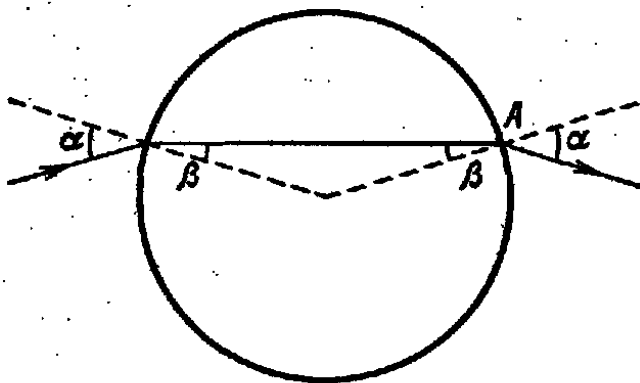


Рис. 271

изображении, то из того же уравнения, подставляя $f = -F$, получаем $d = F/2$, т. е. точечный источник света должен быть вдвое ближе главного фокуса.

11.23. Луч света, упав на шар под углом α (рис. 271), преломляется под углом β и входит в шар. Из элементарных

геометрических соображений ясно, что в точке A луч падает на поверхность шара под углом β . Поэтому он обязательно преломится и выйдет из шара под углом α (обратимость хода световых лучей). Конечно, небольшая часть света в точке A отразится внутрь шара, и луч выйдет из шара несколько ослабленным.

11.24. Для построения хода луча света BC до линзы воспользуемся двумя основными свойствами линзы:

- 1) луч света, идущий через оптический центр линзы, проходит через линзу, не преломляясь;
- 2) все лучи, падающие на линзу параллельным пучком, после преломления сходятся в одной точке на фокальной плоскости линзы.

Проведем через точку F фокальную плоскость. Луч BC пересекает ее в точке D (рис. 272). Проводим луч ED , проходящий через оптический центр линзы O_1 и через точку D . На основании двух вышеизложенных свойств линзы делаем вывод, что до преломления в линзе искомый луч света должен был проходить параллельно лучу ED и падать на линзу в точке B . Таким образом, путь луча BC до преломления в линзе изобразится прямой линией AB .

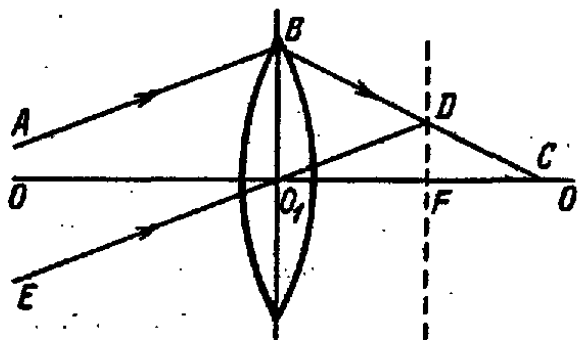


Рис. 272

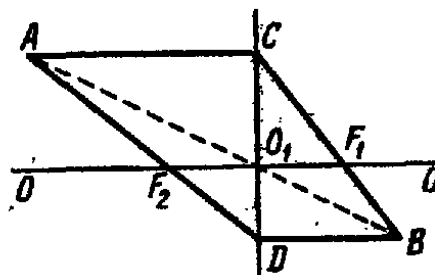


Рис. 273

11.25. Из того что предмет и изображение расположены по разные стороны от оптической оси, можно заключить, что изображение действительное и, очевидно, получено с помощью двояковыпуклой линзы. Значит, прямая линия, проведенная из A в B , пересечет оптическую ось OO в оптическом центре линзы O_1 (рис. 273). Восставим перпендикуляр к OO в точке O_1 и проведем от точки A луч AC , параллельный оптической оси. После преломления в линзе этот луч должен пройти через задний фокус линзы F_1 и попасть в точку B . Точка пересечения CB и OO_1 и даст положение фокуса F_1 . Проведя линии BD и DA , аналогично находим передний фокус F_2 .

11.26. Линзы надо расположить так, чтобы совпали их главные фокусы. Ход лучей показан на рис. 274.

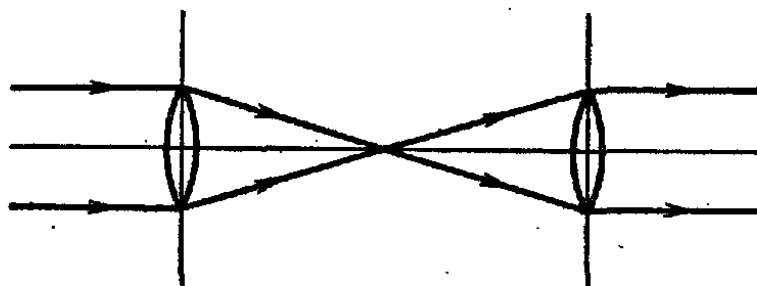


Рис. 274

11.27. Допустим, что точечный источник света S находится от собирающей линзы на расстоянии, большем двойного фокусного (рис. 275, а). Тогда конус лучей, исходящих из S

и падающих на линзу, соберется за линзой в точке S_1 , лежащей от линзы на расстоянии, большем F и меньшем $2F$. Конус лучей, прошедших через линзу, более широк, чем конус лучей, падающих на линзу. Поэтому в пространстве будет область, в которой лучи, расходящиеся от изображения источника S_1 , будут пересекать лучи, вышедшие из S и прошедшие мимо линзы. Ясно, что в любой точке, находящейся внутри этой области, можно одновременно увидеть и источник S , и его изображение S_1 . Для выполнения требования, приведенного в условии задачи, необходимо, очевидно,

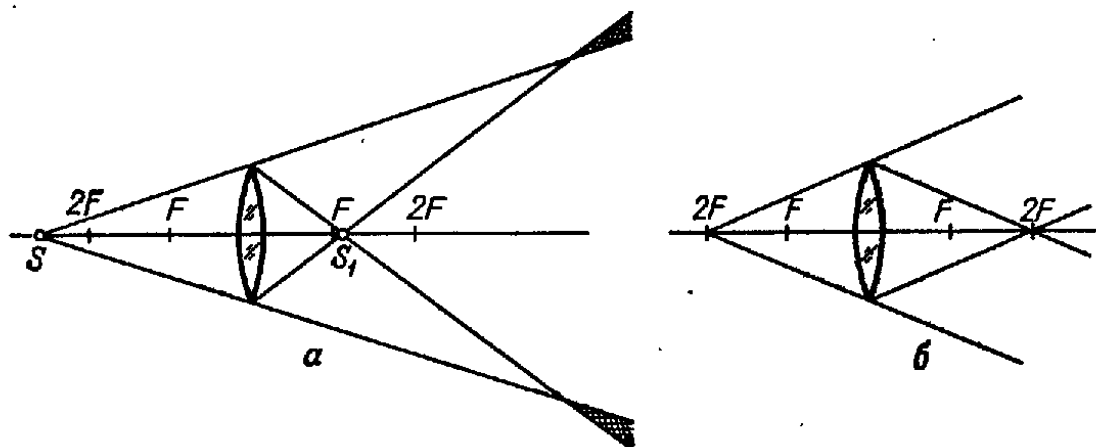


Рис. 275

чтобы конус лучей, сходящихся за линзой в S_1 , был уже, чем конус лучей, выходящих из S и падающих на линзу. В граничном случае оба конуса должны быть одинаково широкими (рис. 275, б). Тогда крайние лучи этих двух конусов нигде не будут пересекаться и в пространстве не будет точки, из которой можно было бы одновременно увидеть S и S_1 .

11.28. Параллельный пучок лучей, упавший нормально на плоскопараллельную пластинку, выходит параллельным. Представим себе эту пластинку разрезанной, как указано в условии, но линзы не раздвинутыми (рис. 276, а). Тогда все остается по-прежнему. Но мы можем толковать этот случай так: когда лучи падают со стороны собирающей линзы, они сходятся в фокусе F , который одновременно является мнимым фокусом рассеивающей линзы, а потому эти лучи выходят из рассеивающей линзы параллельными. Если линзы несколько раздвинуть, то фокус F , где должны сойтись лучи после прохождения собирающей линзы, будет ближе мнимого фокуса рассеивающей линзы. Поэтому лучи выйдут из рассеивающей линзы сходящимися (рис. 276, б). Очевидно, что результат зависит от расстояния, на которое раздвинули линзы. Если это расстояние больше фокусного, то лучи будут падать на

рассеивающую линзу расходящимся пучком и будут еще больше расходиться после прохождения линзы (рис. 276, в).

Теперь рассмотрим случай, когда на соприкасающиеся линзы падает пучок параллельных лучей со стороны рассеивающей линзы. Этот случай мы можем толковать так: пучок параллельных лучей после рассеивающей линзы сходится в мнимом фокусе F , который является одновременно фокусом собирающей линзы. Поэтому лучи выйдут из собирающей линзы параллельными (рис. 276, г). Если линзы раздвинуть, то мнимый

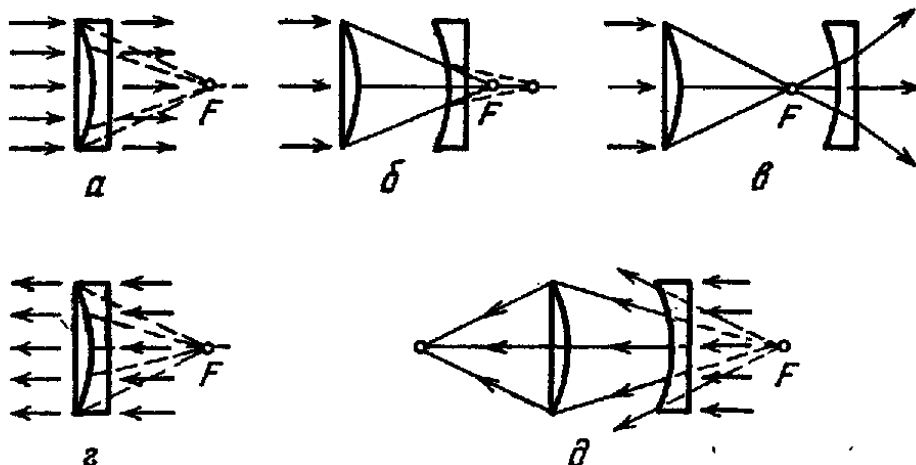


Рис. 276

фокус F рассеивающей линзы будет дальше от собирающей линзы, чем ее фокус, а потому лучи выйдут из собирающей линзы сходящимися (рис. 276, д). Очевидно, что этот результат не будет зависеть от расстояния, на которое раздвинули линзы.

11.29. Разделить лучи разного цвета можно, поставив пластинку под углом к пучку лучей и подобрав этот угол так, чтобы угол падения пучка был заключен между предельными углами полного внутреннего отражения для обоих цветов. Тогда лучи одного цвета отразятся от пластинки, а другого — пройдут через пластинку (рис. 277).

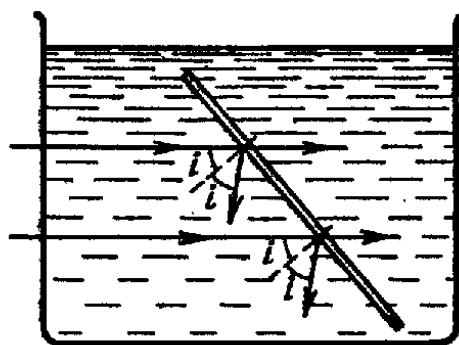


Рис. 277

11.30. Для того чтобы человек мог видеть, свет должен поглощаться на главной сетине. Но если человек стал совершенно прозрачен, то и сетина его прозрачна и, значит, она не поглощает света. Кроме того, для того чтобы человек мог видеть, а не просто ощущать свет, на сетине должно получаться изображение объектов. Следовательно, если оболочки глаза станут

прозрачными, то человек также потеряет способность видеть изображения, потому что свет будет попадать на сетину помимо зрачка.

11.31. Потому что отражение света от стен всегда больше, чем отражение от прозрачных, т. е. пропускающих свет, окон.

11.32. Влажный песок кажется темным, потому что отражение от песка значительно уменьшилось и большая часть света проходит внутрь, где и поглощается.

11.33. Фокусное расстояние глаза, как и любой линзы, различно для разных длин волн, т. е. для разных цветов спектра. Красные лучи преломляются слабее, поэтому возникает

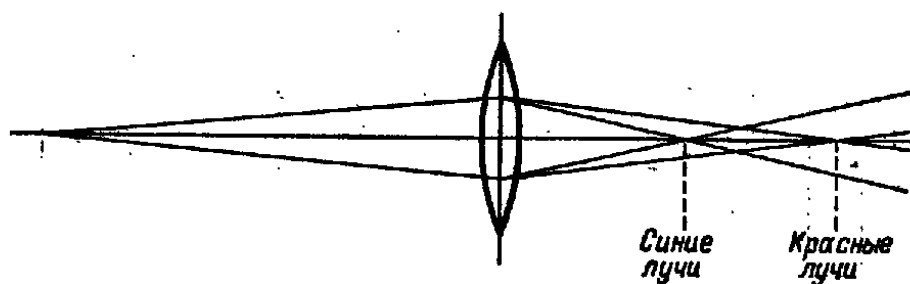


Рис. 278

зрительное впечатление, что красные предметы находятся ближе к наблюдателю, чем синие (рис. 278).

11.34. При высокой температуре печи наибольшее количество энергии приходится на инфракрасную часть спектра, которая в значительной мере задерживается стеклом. В солнечном же спектре наибольшее количество энергии приходится на видимую часть спектра, которая стеклом пропускается. Поэтому, накрывая парники стеклом, мы пропускаем к земле солнечное тепло и не выпускаем тепло земли наружу.

11.35. Нельзя, так как одновременно с поглощением энергии полостью происходит и излучение энергии этой же полостью. Последнее быстро растет с повышением температуры полости. Поэтому в конце концов наступит момент, когда полость будет излучать столько же тепла, сколько она получает. Тогда температура полости перестанет расти. Какова будет установившаяся температура, зависит от соотношения между размерами зеркала и отверстия в полости.

ЕДИНИЦЫ И РАЗМЕРНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СИ

Определения единиц физических величин приведены для основных (выделены полужирным шрифтом) и дополнительных единиц СИ. Внесистемные единицы, допустимые к применению наравне с единицами СИ, отмечены кружком

Величина		Единица		
наименование	размерность	наименование	обозначение	связь с основными единицами СИ
Длина	L	метр	м	Основная единица Метр равен расстоянию, проходимому в вакууме плоской электромагнитной волной за $1/299\,792\,458$ долю секунды
		° астрономическая единица длины	а. е.	$1 \text{ а. е.} = 1,49598 \cdot 10^{11} \text{ м}$
		° световой год	св. год	$1 \text{ св. год} = 9,4605 \cdot 10^{15} \text{ м}$
		° парсек	пк	$1 \text{ ПК} = 3,0857 \cdot 10^{16} \text{ м}$
Площадь	L ²	квадратный метр	м ²	
		° гектар	га	$1 \text{ га} = 10^4 \text{ м}^2$
Объем	L ³	кубический метр	м ³	
		° литр	л	$1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$

Величина		Единица		
наименование	размерность	наименование	обозначение	связь с основными единицами СИ
Плоский угол		радиан	рад	<i>Дополнительная единица</i> Радиан равен углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу $1^\circ = (\pi/180) \text{ рад}$ $1' = (\pi/10800) \text{ рад}$ $1'' = (\pi/648000) \text{ рад}$
		$^\circ$ градус	$^\circ$	
		$'$ минута	$'$	
		$''$ секунда	$''$	
Телесный угол	—	стерадиан	ср	<i>Дополнительная единица</i> Стерадиан равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы-площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы
Время	Т	секунда	с	<i>Основная единица</i> Секунда равна 9 192 631 770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133
		$^\circ$ минута	мин	1 мин = 60 с
		$^\circ$ час	ч	1 ч = 3600 с
		$^\circ$ сутки	сут	1 сут = 86 400 с

Скорость	$L T^{-1}$	метр в секунду	м/с	
Ускорение	$L T^{-2}$	метр на секунду в квадрате	м/с ²	
Угловая скорость	T^{-1}	радиан в секунду	рад/с	1 рад/с = 1 с ⁻¹
Угловое ускорение	T^{-2}	радиан на секунду в квадрате	рад/с ²	1 рад/с ² = 1 с ⁻²
Частота периодического процесса	T^{-1}	герц	Гц	1 Гц = 1 с ⁻¹
Частота вращения	T^{-1}	секунда в минус первой степени	с ⁻¹	
Масса	M	килограмм °тонна °атомная единица массы	кг т а. е. м.	Основная единица Килограмм равен массе международного прототипа килограмма 1 т = 10 ³ кг 1 а. е. м. = 1,6605655 · 10 ⁻²⁷ кг
Плотность	$L^{-3} M$	килограмм на кубический метр	кг/м ³	

Величина		Единица		
наименование	размерность	наименование	обозначение	связь с основными единицами СИ
Удельный объем	$L^3 M^{-1}$	кубический метр на килограмм	$м^3/кг$	
Массовый расход	MT^{-1}	килограмм в се- кунду	кг/с	
Объемный расход	$L^3 T^{-1}$	кубический метр в секунду	$м^3/с$	
Сила	LMT^{-2}	ньютон	Н	$1 Н = 1 кг \cdot м \cdot с^{-2}$
Давление	$L^{-1} MT^{-2}$	паскаль	Па	$1 Па = 1 Н/м^2 = 1 м^{-1} \cdot кг \cdot с^{-2}$
Жесткость	MT^{-2}	ньютон на метр	Н/м	$1 Н/м = 1 кг \cdot с^{-2}$
Напряжение	$L^{-1} MT^{-2}$	паскаль	Па	$1 Па = 1 Н/м^2 = 1 м^{-1} \cdot кг \cdot с^{-2}$
Динамическая вязкость	$L^{-1} MT^{-1}$	паскаль-секунда	Па·с	$1 Па \cdot с = 1 м^{-1} \cdot кг \cdot с^{-1}$
Кинематическая вязкость	$L^2 T^{-1}$	квадратный метр в секунду	$м^2/с$	
Поверхностное натяжение	MT^{-2}	ньютон на метр	Н/м	$1 Н/м = 1 кг \cdot с^{-2}$

Импульс (количество движения)	$LM T^{-1}$	килограмм-метр в секунду	кг·м/с	
Момент силы	$L^2 M T^{-2}$	ньютон-метр	Н·м	$1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Момент импульса (момент количества движения)	$L^2 M T^{-1}$	килограмм-метр в квадрате в секунду	кг·м ² /с	
Момент инерции	$L^2 M$	килограмм-метр в квадрате	кг·м ²	
Работа, энергия	$L^2 M T^{-2}$	джоуль	Дж	$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Мощность, поток энергии	$L^2 M T^{-3}$	ватт	Вт	$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Температура (термодинамическая)	Θ	кельвин ° градус Цельсия	К °C	Основная единица Кельвин равен 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды $t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$
Температурный коэффициент	Θ^{-1}	кельвин в минус первой степени	К ⁻¹	
Температурный градиент	$L^{-1} \Theta$	кельвин на метр	К/м	
Количество вещества	N	моль	моль	Основная единица Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг

Величина		Единица		
наименование	размерность	наименование	обозначение	связь с основными единицами СИ
Молярная масса	MN^{-1}	килограмм на моль	кг/моль	
Молярный объем	L^3N^{-1}	кубический метр на моль	м ³ /моль	
Количество теплоты (теплота)	L^2MT^{-2}	джоуль	Дж	1 Дж = 1 Н·м = 1 м ² ·кг·с ⁻²
Удельная теплота	L^2T^{-2}	джоуль на килограмм	Дж/кг	1 Дж/кг = 1 м ² ·с ⁻²
Молярная теплота	$L^2MT^{-2}N^{-1}$	джоуль на моль	Дж/моль	1 Дж/моль = 1 м ² ·кг·с ⁻² моль ⁻¹
Теплоемкость, энтропия	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	джоуль на кельвин	Дж/К	1 Дж/К = 1 м ² ·кг·с ⁻² ·К ⁻¹
Удельная теплоемкость, удельная энтропия	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг·К)	1 Дж/(кг·К) = 1 м ² ·с ⁻² ·К ⁻¹
Молярная теплоемкость, молярная энтропия	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$	джоуль на моль-кельвин	Дж/(моль·К)	1 Дж/(моль·К) = 1 м ² ·кг·с ⁻² ·К ⁻¹ ·моль ⁻¹
Тепловой поток	L^2MT^{-3}	ватт	Вт	1 Вт = 1 Дж/с = 1 м ² ·кг·с ⁻³
Плотность теплового потока	MT^{-3}	ватт на квадратный метр	Вт/м ²	1 Вт/м ² = кг·с ⁻³

Теплопроводность	$\text{LMT}^{-3}\Theta^{-1}$	ватт на метр-кельвин	$\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	$1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}) = 1 \text{ м}\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-3}\cdot\text{К}^{-1}$
Коэффициент теплопередачи	$\text{MT}^{-3}\Theta^{-1}$	ватт на квадратный метр-кельвин	$\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$	$1 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}) = 1 \text{ кг}\cdot\text{с}^{-3}\cdot\text{К}^{-1}$
Концентрация (плотность числа частиц)	L^{-3}	метр в минус третьей степени	м^{-3}	
Молярная концентрация	L^{-3}N	моль на кубический метр	$\text{моль}/\text{м}^3$	
Коэффициент диффузии	L^2T^{-1}	квадратный метр на секунду	$\text{м}^2/\text{с}$	
Сила электрического тока	I	ампер	А	Основная единица Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении безконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2\cdot 10^{-7} \text{ Н}$

Величина		Единица			
наименование	размерность	наименование	обозначение	связь с основными единицами СИ	
Плотность электрического тока	$L^{-2}I$	ампер на квадратный метр	A/m^2		
Количество электричества (электрический заряд)	TI	кулон	Кл	$1 \text{ Кл} = 1 \text{ с} \cdot A$	
Поверхностная плотность электрического заряда	$L^{-2}TI$	кулон на квадратный метр	$Кл/м^2$	$1 \text{ Кл}/м^2 = 1 \text{ м}^{-2} \text{ с} \cdot A$	
Пространственная плотность электрического заряда	$L^{-3}TI$	кулон на кубический метр	$Кл/м^3$	$1 \text{ Кл}/м^3 = 1 \text{ м}^{-3} \text{ с} \cdot A$	
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	вольт	В	$1 \text{ В} = 1 \text{ Вт}/A = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot A^{-1}$	
Напряженность электрического поля	$LMT^{-3}I^{-1}$	вольт на метр	$В/м$	$1 \text{ В}/м = 1 \text{ Вт}/(A \cdot м) = 1 \text{ м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot A^{-1}$	
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	Ом	$1 \text{ Ом} = 1 \text{ В}/A = 1 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot A^{-2}$	
Удельное электрическое сопротивление	$L^3MT^{-3}I^{-2}$	ом·метр	Ом·м	$1 \text{ Ом} \cdot м = 1 \text{ м}^3 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot A^{-2}$	

Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	сименс	См	$1 \text{ См} = 1 \text{ Ом}^{-1} = 1 \text{ м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$
Удельная электрическая проводимость	$L^{-3}M^{-1}T^3I^2$	сименс на метр	См/м	$1 \text{ См/м} = 1 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} = 1 \text{ м}^{-3} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарад	Ф	$1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл/В} = 1 \text{ м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Электрическая постоянная, абсолютная диэлектрическая проницаемость	$L^{-3}M^{-1}T^4I^2$	фарад на метр	Ф/м	$1 \text{ Ф/м} = 1 \text{ м}^{-3} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Поток электрического смещения	ТИ	кулон	Кл	$1 \text{ Кл} = 1 \text{ с} \cdot \text{А}$
Электрическое смещение	$L^{-2}TI$	кулон на квадратный метр	Кл/м ²	$1 \text{ Кл/м}^2 = 1 \text{ м}^{-2} \cdot \text{с} \cdot \text{А}$
Магнитный поток (поток магнитной индукции)	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	Вб	$1 \text{ Вб} = 1 \text{ В} \cdot \text{с} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2 = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Магнитная индукция (плотность магнитного потока)	$MT^{-2}I^{-1}$	тесла	Тл	$1 \text{ Тл} = 1 \text{ В} \cdot \text{с/м}^2 = 1 \text{ Вб/м}^2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Индуктивность	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	генри	Гн	$1 \text{ Гн} = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Магнитная постоянная, абсолютная магнитная проницаемость	$LMT^{-2}I^{-2}$	генри на метр	Гн/м	$1 \text{ Гн/м} = 1 \text{ м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$

Величина		Единица		
наименование	размерность	наименование	обозначение	связь с основными единицами СИ
Напряженность магнитного поля	$L^{-1}I$	ампер на метр	А/м	
Энергия излучения	L^2MT^{-2}	джоуль	Дж	$1 \text{ Дж} = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Мощность излучения (поток излучения)	L^2MT^{-3}	ватт	Вт	$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Интенсивность излучения (плотность потока излучения)	MT^{-3}	ватт на квадратный метр	Вт/м ²	$1 \text{ Вт/м}^2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Поток частиц	T^{-1}	секунда в минус первой степени	с^{-1}	
Плотность потока частиц	$L^{-2}T^{-1}$	секунда в минус первой степени на метр в минус второй степени	$\text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$	
Сила света	J	кандела	кд	Основная единица Кандела равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683 \text{ Вт/ср}$

Световой поток	J	люмен	лм	1 лм = 1 кд·ср
Световая энергия	TJ	люмен-секунда	лм·с	1 лм·с = 1 с·кд·ср
Светимость	L ⁻² J	люмен на квадратный метр	лм/м ²	1 лм/м ² = 1 м ⁻² ·кд·ср
Освещенность	L ⁻² J	люкс	лк	1 лк = 1 лм/м ² = 1 м ⁻² ·кд·ср
Яркость	L ⁻² J	кандела на квадратный метр	кд/м ²	
Оптическая сила	L ⁻¹	диоптрия	дптр	1 дптр = 1 м ⁻¹
Энергетическая сила света (сила излучения)	L ² MT ⁻³	ватт на стерадиан	Вт/ср	1 Вт/ср = 1 м ² ·кг·с ⁻³ ·ср ⁻¹
Энергетическая светимость (излучательность)	MT ⁻³	ватт на квадратный метр	Вт/м ²	1 Вт/м ² = 1 кг·с ⁻³
Энергетическая освещенность (облученность)	MT ⁻³	ватт на квадратный метр	Вт/м ²	1 Вт/м ² = 1 кг·с ⁻³
Энергетическая яркость (лучистость)	MT ⁻³	ватт на стерадиан-квадратный метр	Вт/(ср·м ²)	1 Вт/(ср·м ²) = 1·кг·с ⁻³ ·ср ⁻¹

Марианна Петровна Шаскольская, Иосиф Абрамович Эльцин

Сборник избранных задач по физике

Под редакцией С. Э. Хайкина

Редактор Н. А. Михалина

Художественный редактор Т. Н. Кольченко

Технический редактор Л. В. Лихачева

Корректор Е. В. Сидоркина

ИБ № 12931

Сдано в набор 17.07.85. Подписано к печати 30.01.86.
Формат 84 × 108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Гарнитура таймс.
Печать высокая. Усл. печ. л. 10,92. Усл. кр.-отт. 11,24.
Уч.-изд. л. 11,52. Тираж 275 000 экз. Заказ № 21.
Цена 40 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»
Главная редакция физико-математической литературы
117071 Москва В-71, Ленинский проспект, 15

Ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового
Красного Знамени Ленинградское производственно-тех-
ническое объединение «Печатный Двор» им. А. М. Горь-
кого Союзполиграфпрома при Государственном комитете
СССР по делам издательств, полиграфии и книжной
торговли. 197136, Ленинград, П-136, Чкаловский пр., 15