Физика

Библиотечка
физико-математической школы

В. Н. ЛАНГЕ

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ НА СМЕКАЛКУ

В. Н. ЛАНГЕ

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ НА СМЕКАЛКУ

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ, ИСПРАВЛЕННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ

Москва «Наука»
Главная редакция
физико-математической литературы
1985

ББК 22.3
Л 22
УДК 53

Физика

*Библиотечка физико-математической школы*

Редактор серии
Я. А. Смородинский

**ЛАНГЕ В. Н. Экспериментальные физические задачи на смекалку:** Учебное руководство.— М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. — 128 с. — (Библиотечка физико-математической школы).

Основная цель книги состоит в воспитании навыков нестандартного мышления. Знакомство с историей физики показывает, что успех эксперимента часто определяется применением новых, совершенно неожиданных, специально для этого случая разработанных методов измерения. В книге приведено свыше ста задач, в которых предлагается придумать способ измерения величин, используя самые примитивные приборы, казалось бы, совсем не подходящие для этой цели. В новом издании сделаны некоторые дополнения к предыдущему изданию (1979 г.).

Для учащихся общеобразовательных и профессиональных школ, интересующихся физикой, учащихся физико-математических школ; может быть полезна преподавателям физики средних школ и техникумов, а также студентам педагогических специальностей вузов.

Табл. 10. Ил. 45

Л $\frac{1704010000-052}{053(02)-85}$ 143—85

© Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, 1979, 1985

Всякое знание остается мертвым, если в учащихся не развивается инициатива и самостоятельность.

*Н. А. Умов*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В любой области своей деятельности, будь то наука или техника, промышленность или сельское хозяйство, космонавтика или медицина, человеку постоянно приходится сталкиваться с необходимостью измерить ту или иную величину — температуру воздуха или высоту горы, объем тела или возраст археологических находок и т. д. Измерение является наиболее простым познавательным процессом, заключающимся в экспериментальном сравнении данной величины с известной величиной, принятой за единицу сравнения. Иногда необходимые измерения можно выполнить специально предназначенными для этого приборами или инструментами. Линейные размеры тела, например, определяют линейкой, микрометром, штангенциркулем; температуру измеряют термометром; массу — с помощью различных весов. В подобных случаях измерения называют прямыми или непосредственными. Однако значительно чаще вместо непосредственного определения интересующей нас величины приходится измерять совсем другие, а нужную — вычислять затем по соответствующим формулам. Тогда измерения называют косвенными. Так, для определения плотности вещества обычно измеряют массу и объем некоторого тела, состоящего из этого вещества, и первую величину делят на вторую.

Как правило, для измерения величин существуют специально разработанные, «стандартные» методы, примеры которых (измерение длины и плотности) только что приведены. Но бывают случаи, когда обычные приемы оказываются неудобными, а то и вовсе невозможными.

Представьте, что возникла необходимость определить диаметр тонкого капилляра, положим, в обычном медицинском термометре. Канал капилляра на-

столько узок, что «залезть» в него линейкой или иным инструментом никак нельзя. К тому же линейка, которой вы располагаете, — чересчур грубый для этих целей прибор. Как же поступить? Оказывается, прямое измерение диаметра капилляра уместно заменить косвенным, причем можно предложить не один, а множество различных способов. Об одном из них вы узнаете, ознакомившись с решением задачи 104 в лежащей перед вами книге. Измерение плотности стандартным методом тоже не всегда возможно. В самом деле, мы сразу же столкнемся с трудностями, если захотим узнать среднюю плотность вещества некоторой планеты: ведь на весы ее не положить! Приходится придумывать обходные пути, примеры которых изложены в решениях задач 135 и 139.

В некоторых задачах, помещенных в этом сборнике, для определения тех или иных величин предлагается воспользоваться, казалось бы, совершенно не подходящими для этой цели приборами и предметами. Однако умело распорядившись ими, задачу можно решить. Ну, а если задача не получается, посмотрите вначале раздел «Подсказки» и только уж потом, когда и это не поможет, загляните в решения, приведенные в конце книги. Сверьте ответы и в том случае, если вы справнлись с заданием самостоятельно. Может быть, ваше решение окажется более простым и изящным, тогда вы получите особое удовольствие.

В сборнике имеются также задачи, не требующие количественного определения каких-либо величин. В этих задачах нужно лишь предложить способ выполнения некоторой операции. С задачами первого типа последние роднит некоторая необычность — либо начальной ситуации, либо набора предметов, которыми разрешено пользоваться. (Справедливости ради стоит сказать, что необычность некоторых задач только кажущаяся. Например, средняя плотность вещества Земли была определена именно так, как об этом рассказано в решении задачи 139).

Хотя все задачи имеют экспериментальный характер, важно только *указать* принципиально правильный путь решения. При этом предполагается, что приборы и инструменты, упомянутые в условии задачи, идеально точны, и допускается использование

«подручного материала», если не оговаривается обратное. Например, подразумевается, что, находясь дома, вы всегда найдете стакан или катушку с нитками, сможете набрать воды из водопровода или колодца и т. д.

В некоторых случаях с помощью предложенного набора нужную величину можно определить только приближенно, но иногда и такие результаты представляют большую ценность. Так, к примеру, длины световых волн определяются в настоящее время с поразительной точностью (напомним, что за единицу длины «метр» в Международной системе единиц принимается отрезок, на котором в вакууме укладывается 1 650 763,73 длин волн оранжевой линии спектра благородного газа криптона, точнее — его изотопа с атомной массой 86). Однако довольно грубые опыты английского физика Т. Юнга, произведенные в 1802 г., в которых впервые была определена длина световых волн, имели большое принципиальное значение, поскольку до Юнга не был известен даже порядок этих величин.

Большинство положений, в которое ставит нас условие задачи, выглядит надуманно и вряд ли действительно встретится в жизни, но заранее предусмотреть все случаи нельзя, и надо быть готовым ко всяким неожиданностям. Знакомство с историей науки убедительно показывает, что экспериментаторам часто приходится «хитрить», придумывая различные косвенные, часто очень остроумные способы измерения величин и исследования явлений. Достаточно, пожалуй, вспомнить, что определение заряда электрона, химического состава звезд, структуры атомного ядра и многое, многое другое было произведено именно косвенными методами. Во всех этих случаях ученым помогала фантазия — весьма ценное для естествоиспытателя качество. Полезно и вам проверять свою изобретательность на простых примерах, чтобы не растеряться в более сложных случаях.

Предлагаемая вашему вниманию книга мало напоминает обычный школьный сборник задач, так как при решении многих задач могут понадобиться сведения из самых разных глав физики. Поэтому автор и решил разбить задачи на разделы по обстановке, в которой предлагается выполнить задание. Внутри каждого раздела задачи расположены в порядке на-

растания трудности, хотя, безусловно, мнения автора и читателей о сложности задач не обязательно должны совпадать.

Большинство из приведенных в книге задач составлено автором, однако некоторая часть заимствована из ранее опубликованных сборников.

В первую очередь книга рассчитана на учащихся старших классов, располагающих уже солидным запасом знаний по физике, но со многими задачами справятся и только что приступившие к изучению этой замечательной науки. Вместе с тем уместно обратить внимание преподавателей физики средней школы и СПТУ на возможность использования задач настоящего сборника не только при организации викторин на вечерах занимательной физики, но и для создания на уроках проблемных ситуаций с ярко выраженным информационно-познавательным противоречием.

При решении некоторых задач рекомендуется пользоваться справочником физических величин. Большинство необходимых сведений можно почерпнуть в приложениях к настоящей книге или к школьным задачникам по физике, но иногда придется заглядывать и в более подробные таблицы.

Настоящее, третье, издание отличается от предыдущих бóльшим числом задач и несущественными изменениями старого текста. Пользуясь случаем, автор сердечно благодарит своего старого друга А. П. Рымкевича за ряд ценных советов.

### В ДОМАШНЕЙ ОБСТАНОВКЕ

1. Вам предложили найти плотность сахара. Как это сделать, располагая только бытовой мензуркой, если опыт нужно провести с сахарным песком?

2. Как с помощью 100-граммовой гирьки, трехгранного напильника и линейки с делениями приближенно определить массу некоторого тела, если она не особенно отличается от массы гирьки? Как поступить, если вместо гирьки дан набор «медных» монет?

3. Как с помощью медных монет найти массу линейки?

4. Шкала весов, имеющихся в доме, проградуирована только до 500 г. Как с их помощью взвесить книгу, масса которой около 1 кг, располагая также катушкой с нитками?

5. В вашем распоряжении имеются наполненная водой ванна, маленькая банка с широким горлышком, несколько копеечных монет, пипетка, цветной мелок (или мягкий карандаш). Как с помощью этих — и только этих — предметов найти массу одной капли воды?

6. Как с помощью весов, набора гирь и сосуда с водой определить плотность камня, если его объем невозможно измерить непосредственно?

7. Как различить, имея в распоряжении пружину (или полоску резины), шпагат и кусок железа, в какой из двух непрозрачных сосудов налит керосин, а в каком — керосин с водой?

8. Как, пользуясь весами и набором гирь, можно найти вместимость (т. е. внутренний объем) кастрюли?

9. Как разделить содержимое цилиндрического стакана, до краев наполненного жидкостью, на две одинаковые части, располагая еще одним сосудом, но другой формы и несколько меньшего объема?

**10.** Два товарища отдыхали на балконе и размышляли над тем, как определить, не открывая спичечных коробков, в чьем коробке осталось меньше спичек. А какой способ можете предложить вы?

**11.** Как определить положение центра масс гладкой палки, не пользуясь никакими инструментами?

**12.** Как измерить диаметр футбольного мяча с помощью *жесткой* (например, обычной деревянной) линейки?

**13.** Как найти диаметр небольшого шарика с помощью мензурки?

**14.** Необходимо возможно точнее узнать диаметр сравнительно тонкой проволоки, располагая для этой цели только школьной тетрадью «в клетку» и карандашом. Как следует поступить?

**15.** Имеется частично заполненный водой сосуд прямоугольного сечения, в котором плавает погруженное в воду тело. Как с помощью одной линейки найти массу этого тела?

**16.** Как с помощью стальной спицы и мензурки с водой найти плотность пробки?

**17.** Как, имея только линейку, найти плотность дерева, из которого изготовлена палочка, плавающая в узком цилиндрическом сосуде?

**18.** Стеклянная пробка имеет внутри полость. Можно ли с помощью весов, набора гирь и сосуда с водой определить объем полости, не разбивая пробки? А если можно, то как?

**19.** Имеются железный лист, прибитый к полу, легкая деревянная палка (стержень) и линейка. Разработайте способ определения коэффициента трения дерева о железо с применением только перечисленных предметов.

**20.** Находясь в комнате, освещенной электрической лампой, нужно узнать, какая из двух собирающих линз с одинаковыми диаметрами имеет бо́льшую оптическую силу. Никаких специальных приборов для этой цели не дано. Укажите способ решения задачи.

**21.** Имеются две линзы с одинаковыми диаметрами: одна собирающая, другая рассеивающая. Как определить, какая из них обладает бо́льшей оптической силой, не прибегая к помощи приборов?

**22.** В длинном коридоре, лишенном окон, висит электрическая лампа. Ее можно зажечь и погасить выключателем, установленным у входной двери в

начале коридора. Это неудобно выходящему на улицу, поскольку до выхода он вынужден пробираться в темноте. Впрочем вошедший и включивший при входе лампу тоже недоволен: пройдя коридор, он оставляет горящую напрасно лампу. А нельзя ли придумать схему, позволяющую включать и выключать лампу из разных концов коридора?

**23.** Представьте себе, что для измерения высоты дома вам было предложено воспользоваться пустой консервной банкой и секундомером. Сумели бы вы справиться с заданием? Расскажите, как нужно действовать?

**24.** Как найти скорость истечения воды из водопроводного крана, имея цилиндрическую банку, секундомер и штангенциркуль?

**25.** Из неплотно прикрытого водопроводного крана тоненькой струйкой вытекает вода. Как с помощью только одной линейки можно определить скорость истечения воды, а также ее объемный расход (т. е. объем воды, вытекающий из крана в единицу времени)?

**26.** Предлагается определить ускорение свободного падения, наблюдая за струйкой воды, вытекающей из неплотно закрытого водопроводного крана. Как выполнить задание, располагая для этой цели линейкой, сосудом известного объема и часами?

**27.** Допустим, что вам нужно наполнить водой большой бак известного объема с помощью гибкого шланга, снабженного цилиндрической насадкой. Вы хотите знать, сколько времени продлится это скучное занятие. Нельзя ли его вычислить, располагая только линейкой?

**28.** Как с помощью гирьки известной массы, легкого шнура, двух гвоздей, молотка, кусочка пластилина, математических таблиц и транспортира определить массу некоторого предмета?

**29.** Как определить давление в футбольном мяче с помощью чувствительных весов и линейки?

**30.** Как с помощью цилиндрического сосуда с водой и линейки определить давление внутри перегоревшей электрической лампочки?

**31.** Попробуйте решить предыдущую задачу, если вам разрешено использовать наполненную водой кастрюлю и весы с набором гирь.

**32.** Дана узкая стеклянная трубка, запаянная с одного конца. Трубка содержит воздух, отделенный

от окружающей атмосферы столбиком ртути. Имеется также миллиметровая линейка. Определите с их помощью атмосферное давление.

**33.** Как определить удельную теплоту парообразования воды, располагая домашним холодильником, кастрюлей неизвестного объема, часами и равномерно горящей газовой горелкой? Удельную теплоемкость воды считать известной.

**34.** Нужно узнать мощность, потребляемую от городской сети телевизором (или другим электрическим прибором), с помощью настольной лампы, катушки с нитками, кусочка железа и электросчетчика. Как выполнить это задание?

**35.** Как найти сопротивление электрического утюга в рабочем режиме (сведения о его мощности отсутствуют) с помощью электросчетчика и радиоприемника? Рассмотреть отдельно случаи радиоприемников, питающихся от батарей и городской сети.

**36.** За окном снег, а в комнате тепло. К сожалению, измерить температуру нечем — нет термометра. Но зато есть батарея гальванических элементов, очень точные вольтметр и амперметр, сколько угодно медной проволоки и физический справочник. Нельзя ли с их помощью найти температуру воздуха в комнате?

**37.** Как решить предыдущую задачу, если физического справочника не оказалось, но дополнительно к перечисленным предметам разрешено пользоваться электрической плиткой и кастрюлей с водой?

**38.** У имеющегося в нашем распоряжении подковообразного магнита стерлись обозначения полюсов. Конечно, существует множество способов узнать, какой из них является южным, а какой — северным. Но вам предложено выполнить это задание с помощью ... телевизора! Как вы должны поступить?

**39.** Как определить знаки полюсов немаркированной батареи с помощью мотка изолированной проволоки, железного стержня (лучше, если он согнут дугой) и телевизора.

**40.** Как узнать, намагничен ли стальной стержень, имея в распоряжении кусок медной проволоки и катушку с нитками?

**41.** Дочь обратилась к отцу, записывающему при свете лампы показания электросчетчика, с просьбой отпустить ее погулять. Давая разрешение, отец по-

просил дочь вернуться ровно через час. Как отец сможет проконтролировать длительность прогулки, не пользуясь часами?

**42.** Задача 22 довольно часто публикуется в различных сборниках и поэтому хорошо известна. А вот задание того же характера, но несколько более сложное.

Придумайте схему, позволяющую включать и выключать электрическую лампу или какой-нибудь другой прибор, работающий от электросети, из *любого* числа различных пунктов.

**43.** Если поставить деревянный кубик на покрытый сукном диск проигрывателя радиолы близко к оси вращения, кубик будет вращаться вместе с диском. Если же расстояние до оси вращения велико, кубик, как правило, сбрасывается с диска. Как определить коэффициент трения дерева о сукно с помощью одной лишь линейки?

**44.** Разработайте метод определения объема комнаты с помощью достаточно длинной и тонкой нити, часов и гирьки.

**45.** При обучении музыке, балетному искусству, в тренировке спортсменов и для некоторых других целей часто используется метроном — прибор, издающий периодические отрывистые щелчки. Длительность интервала между двумя ударами (щелчками) метронома регулируется перемещением грузика по специальной качающейся шкале. Как проградуировать шкалу метронома в секундах с помощью нити, стального шарика и рулетки, если это не сделано на заводе?

**46.** Грузик метронома с неотградуированной шкалой (см. предыдущую задачу) нужно установить в такое положение, чтобы промежуток времени между двумя ударами был равен одной секунде. Для этой цели разрешено воспользоваться длинной лестницей, камнем и рулеткой. Как следует распорядиться этим набором предметов, чтобы выполнить задание?

**47.** Имеется деревянный прямоугольный параллелепипед, у которого одно ребро значительно превышает два других. Как с помощью одной только линейки определить коэффициент трения бруска о поверхность пола в комнате?

**48.** Современные кофемолки приводятся в действие электродвигателем небольшой мощности. Как, не

разбирая кофемолки, определить направление вращения ротора ее двигателя?

**49.** Два полых шара, имеющих одинаковую массу и объем, покрашены одинаковой краской, царапать которую нежелательно. Один шар изготовлен из алюминия, а другой — из меди. Как проще всего узнать, какой шар алюминиевый, а какой — медный?

**50.** Как определить массу некоторого тела с помощью однородной рейки с делениями и куска не очень толстой медной проволоки? Разрешено также пользоваться физическим справочником.

**51.** Как оценить радиус вогнутого сферического зеркала (или радиус кривизны вогнутой линзы) с помощью секундомера и стального шарика известного радиуса?

**52.** Две одинаковые сферические колбы из стекла наполнены различными жидкостями. Как определить, в какой жидкости скорость света больше, располагая для этой цели только электрической лампочкой и листом бумаги?

**53.** Окрашенную целлофановую пленку можно использовать как простейший монохроматор — приспособление, выделяющее из сплошного спектра довольно узкий интервал световых волн. Как с помощью настольной лампы, проигрывателя с пластинкой (лучше долгоиграющей), линейки и листа картона с небольшим отверстием определить среднюю длину волны из этого интервала? Хорошо, если в вашем эксперименте будет участвовать товарищ с карандашом.

## НА ПРОГУЛКЕ

**54.** Взрослому и ребенку нужно перейти через ручей: одному с левого берега на правый, второму — в противоположном направлении. На обоих берегах имеется по доске, но каждая из них несколько короче ширины ручья. Каким образом взрослый и ребенок могут перебраться с одного берега на другой?

**55.** Как с помощью секундомера можно в некоторых случаях оценить длину молнии по продолжительности грома?

**56.** На столбе подвешен колокол, по которому регулярно, с интервалом в одну секунду, производятся удары. Можно ли, наблюдая за ударами по

колоколу и слушая его звучание, определить скорость распространения звука в воздухе, производя измерения только одной рулеткой?

**57.** Как с помощью линейки можно найти в солнечный день высоту дерева, не влезая на него.

**58.** На перекрестках улиц некоторых городов Советского Союза установлены электронные устройства, автоматически рассчитывающие и показывающие на световом табло скорость, которую должны поддерживать водители автомашин, чтобы подъехать к следующему светофору на зеленый свет. Обычно показания табло меняются в такой последовательности: сначала 45, затем 50, 55 и, наконец, 60 км/ч, после чего табло гаснет, так как скорость более 60 км/ч разрешена лишь на небольшом числе улиц. Как, стоя у перекрестка и наблюдая за показаниями табло, определить расстояние до следующего светофора с помощью одних часов?

**59.** Два мальчика на катке хотят сравнить, кто из них больше по массе и во сколько раз. Как им выполнить свое намерение с помощью одной лишь рулетки?

**60.** Вы стоите вечером у небольшой реки, на противоположном берегу которой вкопан столб с фонарем. Как определить расстояние до столба, а также его высоту, если для решения задачи предлагается пользоваться небольшой деревянной рейкой и рулеткой?

**61.** Как определить начальную скорость пули игрушечного пистолета, располагая только рулеткой?

**62.** Как решить предыдущую задачу, если вместо рулетки экспериментатору предложили воспользоваться секундомером?

**63.** Как с помощью рулетки найти, во сколько раз большую скорость сообщает мячику при броске мальчик по сравнению с девочкой?

**64.** Вы хотите определить ширину реки в шагах. Как это сделать, разумеется приблизительно, с помощью сорванной на берегу травинки?

**65.** Для определения направления магнитного меридиана предлагается воспользоваться стаканом с водой, щепоткой нашатыря $NH_4Cl$, ножницами, мотком медной проволоки, небольшой цинковой пластинкой и пробкой. Как с помощью перечисленного набора предметов выполнить задание?

66. Представьте, что для определения высоты башни (или какого-нибудь другого здания) вас снабдили блюдцем со ртутью, транспортиром, небольшим грузиком и нитью. Справитесь ли вы с заданием, если точно знаете расстояние от своих глаз до земли.

67. Как определить высоту горы с помощью нагревателя, кастрюли с водой и точного термометра?

68. Необходимо измерить силу света источника, подойти близко к которому нельзя. Для этой цели в вашем распоряжении имеется прибор для измерения освещенности (люксметр) и рулетка. Опишите опыт, позволяющий выполнить задание.

69. Пусть вы находитесь на вращающейся платформе (например, наподобие «колеса смеха», имеющегося в некоторых парках отдыха). Платформа со всех сторон закрыта, так что окружающие предметы не видны. Вы хотите узнать направление вращения платформы. Как это сделать с помощью небольшого шарика?

70. Мимо человека, стоящего у железнодорожного полотна, с протяжным сигналом проносится электричка. Если человек обладает достаточно развитым музыкальным слухом, он может довольно точно определить скорость электрички, не пользуясь никакими специальными приборами; ему необходимо лишь знать скорость звука в воздухе при данной температуре. Попробуйте объяснить, как он должен поступить?

### НА ОЗЕРЕ

71. Не пользуясь никакими приборами, покажите, что коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора меньше, чем чистой воды.

72. В тихую безветренную погоду два приятеля отправились покататься на двух совершенно одинаковых по внешней форме и размерам лодках по озеру. Во время прогулки им захотелось устроить соревнование на скорость. Желая сделать поединок абсолютно честным, ребята решили распределить имевшуюся у них поклажу таким образом, чтобы массы обеих лодок были одинаковыми. Как им выполнить свое намерение, пользуясь оказавшейся у них длинной веревкой?

**73.** Находящийся в лодке человек хочет определить ее массу. Сможет ли он это сделать, если собственная масса ему известна, но ничем, кроме длинной веревки, он не располагает?

**74.** Туристы перешли с одного берега озера, где располагалась их база, на другой и, посмотрев на часы, решили, что пора устроить краткий отдых. Стояла тихая погода, и им были хорошо слышны передачи радиоузла базы, так что последние известия они смогли прослушать, выключив свой транзисторный приемник. После этого один из туристов заявил, что расстояние до базы — почти 3 км. Как он определил это расстояние?

**75.** Аквалангисту необходимо определить глубину озера. К сожалению, никаких иных инструментов, кроме цилиндрической мензурки с делениями, у него не оказалось. Однако аквалангист сумел справиться со своей задачей. Не смогли бы вы сказать, как он это сделал? Можно ли выполнить задание, если цилиндрическая мензурка заменена на коническую?

**76.** Покупая в магазине капроновую леску, рыболов забыл поинтересоваться, какую нагрузку она выдерживает. Однако после некоторого размышления он придумал способ определения этой величины с помощью гири массы 1 кг и транспортира, которые у него случайно оказались. Попробуйте догадаться, каким образом рыболов решил задачу?

**77.** Сможет ли рыбак определить прочность лески (см. предыдущую задачу), располагая гирей массы 1 кг и рулеткой?

**78.** Рыболов решил определить предел прочности (т. е. отношение разрывающей силы к площади поперечного сечения, которое называют также сопротивлением на разрыв) материала, из которого изготовлена леска, располагая для этой цели куском лески известной длины и известного диаметра, гирей и секундомером. Как должен быть поставлен опыт по определению интересующей рыболова величины?

**79.** Камень был брошен в озеро со спокойной водой. Как определить дальность броска, конечно приблизительно, с помощью метровой линейки и секундомера?

80. Как в безветренную погоду определить скорость падения дождевых капель по тем полосам, которые они оставляют на окнах движущегося железнодорожного вагона? Для решения задачи разрешено пользоваться только часами и транспортиром.

81. Как с помощью масштабной линейки определить скорость падения дождевых капель по тем следам, которые они вычерчивают на стеклах боковых окон едущего автомобиля? Погода безветренная.

82. Трогаясь со станции, поезд некоторое время движется практически равноускоренно. Как определить его ускорение в этот период с помощью нити, 100-граммовой гирьки и масштабной линейки?

83. Как решается предыдущая задача, если масштабная линейка заменена на динамометр?

84. Как решить задачу 82, если вместо масштабной линейки экспериментатору предложили воспользоваться транспортиром?

85. В одном из вагонов пригородной электрички установлен точный счетчик оборотов колеса и термометр, измеряющий температуру внешнего воздуха. Как с их помощью определить температурный коэффициент линейного расширения металла, из которого изготовлены колеса вагонов электрички?

86. Выехав рано утром из города на ровное и пустынное шоссе, шофер решил устроить первую остановку ровно через час. Как ему выполнить свое намерение, не прибегая к помощи часов? Радиоприемник в автомобиле отсутствует.

87. Представьте, что вы едете по горизонтальному участку шоссе на автомобиле. Как приближенно определить коэффициент сопротивления движению автомобиля, пользуясь только имеющимися на щитке приборами?

88. Как определить угол наклона шоссе к плоскости горизонта, имея деревянный брусок и динамометр?

89. Как определить знаки полюсов автомобильной аккумуляторной батареи, пользуясь переносной лампой из шоферского набора, куском проволоки и компасом?

**90.** Как решить предыдущую задачу, если в вашем распоряжении имеется лишь два проводника и стакан с водой?

**91.** Как решить задачу 89, располагая только двумя медными проводниками и ... сырой картофелиной?

**92.** Автомобилиста попросили определить угол, который образует шоссе с горизонтом. Для этой цели его снабдили обручем и секундомером. Как должен поступить автомобилист?

## В ШКОЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

**93.** Имеются два маятника. Период одного из них известен. Как проще всего узнать период другого?

**94.** Из нескольких сортов фильтровальной бумаги нужно выбрать тот, в котором по́ры меньше. Как это сделать, не применяя никаких приборов?

**95.** Имеется алюминиевый шарик. Как с помощью весов и мензурки определить, сплошной шарик или внутри него есть воздушная полость?

**96.** На рис. 1 изображен малоизвестный прибор, изобретенный американским физиком Артуром Комптоном. Стеклянная трубка, свернутая в кольцо (тор) диаметра около 1 м, заполнена водой, в которой взвешены маленькие частицы. Трубку не трогают до тех пор, пока жидкость внутри нее совершенно не успокоится. Затем ее резко поворачивают на 180° и с помощью микроскопа наблюдают за частицами, чтобы определить, движется ли жидкость вдоль оси тора, и если движется, то в каком направлении. Как с помощью такого прибора определить направления стран света?

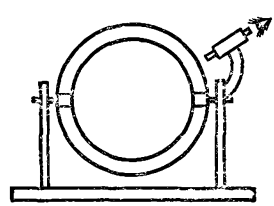

Рис. 1

**97.** В ящике стола лежали два одинаковых бруска. Один из них был изготовлен из мягкого железа и магнитными свойствами не обладал (точнее, не был магнитом), а второй — стальной и намагничен. Как, пользуясь только этими двумя брусками, отличить магнит от простого железа?

**98.** Одна из двух одинаковых сферических стеклянных колб заполнена водой, а другая — спиртом.

Колбы плотно закупорены, и открывать их не разрешается. Как с помощью настольной лампы узнать, в какую из них налита вода, а в какую — спирт?

**99.** Вам предложили определить массу некоторого тела с помощью гири известной массы, разрешив использовать для этой цели два блока, транспортир, легкий шнур, математические таблицы и еще одно тело, масса которого неизвестна. Как вы должны поступить? При каких условиях решение этой задачи возможно?

**100.** Как решить предыдущую задачу, если блок только один и нет второго тела? Вместо них вам вручили гвоздь и молоток.

**101.** С помощью гирь, секундомера и установки, схематически показанной на рис. 2, нужно определить массу тела $m_x$. Как проще всего это сделать?

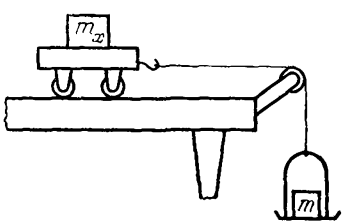

Рис. 2

**102.** На замкнутый железный сердечник надеты две катушки. Как определить число витков в каждой из них, если в вашем распоряжении имеется источник переменного тока, моток изолированного провода и весьма чувствительный многошкальный (иначе — многопредельный) вольтметр?

**103.** Как узнать массу и длину медного проводника, из которого сделана обмотка катушки электромагнита, если катушку разматывать не хотелось бы. Можно ли выполнить задание, располагая источником тока, вольтметром, амперметром и микрометром?

**104.** Как определить диаметр канала однородного стеклянного капилляра от обычного медицинского термометра с помощью линейки (слишком грубой, чтобы ею можно было воспользоваться для непосредственного измерения диаметра), резиновой груши, точных весов с разновесом и капельки ртути?

**105.** Для измерения скорости винтовочной пули экспериментатор располагает электродвигателем с известной частотой вращения, двумя картонными дисками, линейкой, клеем и транспортиром. Как он должен распорядиться этим набором предметов?

**106.** Как определить массу некоторого тела с помощью штатива, пружины, линейки и единственной гири известной массы?

**107.** Даны деревянная доска, брусок из того же материала и линейка. Как определить коэффициент трения дерева о дерево с помощью только этих предметов?

**108.** Как с помощью динамометра определить коэффициент трения бруска о наклонную плоскость, на которой он находится? Наклон плоскости постоянен и не очень велик, так что без приложения направленной вниз силы брусок по плоскости не скользит.

**109.** Обычно для определения массы тел пользуются весами и набором гирь. Ну, а как быть, если весов нет? Некоторые из способов «взвешивания» тел без весов уже рассмотрены выше в задачах 99—101 и 106. Теперь нужно разработать еще один вариант, в котором разрешается использовать гирю известной массы, моток тонкого, но прочного шнура, легкий блок и секундомер. Как бы вы ими распорядились для достижения цели?

**110.** Как определить массу небольшого стального бруска с помощью спиртовки, банки с водой, калориметра, термометра и мензурки? Разрешено также воспользоваться физическим справочником. Масса калориметра и вещество, из которого он изготовлен, известны.

**111.** Влажный снег — это смесь кристалликов льда с водой. Как определить относительное содержание льда во влажном снеге с помощью весов без гирь, двух совершенно одинаковых калориметров, газовой или электрической плитки (возможно применение также нагревателя любого другого типа) и термометра.

**112.** Как приблизительно определить температуру сильно нагретого стального бруска с помощью перечисленных в условии задачи 110 приборов, если данный термометр рассчитан на измерение температур не более 100 °С?

**113.** Имеются аккумулятор, электродвижущая сила и внутреннее сопротивление которого неизвестны, амперметр, соединительные провода и два резистора — с известным и неизвестным сопротивлениями. Как определить неизвестное сопротивление? Можно ли определить электродвижущую силу (э. д. с.) аккумулятора и его внутреннее сопротивление?

**114.** В вашем распоряжении имеется элемент Грене (электроды — цинк и уголь, электролит — разбавленная серная кислота с добавкой двухромовокислого калия в качестве деполяризатора), точные весы с набором гирь, реостат, амперметр, линейка, физический справочник и географическая карта области. Как с помощью перечисленного набора предметов можно определить среднюю скорость, с которой ваш товарищ проезжает на велосипеде путь от города, где вы живете, до соседнего поселка и обратно?

**115.** Имеется выпрямитель с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением, не содержащий фильтра для сглаживания пульсаций выпрямленного тока. Нужно определить, по какой схеме собран выпрямитель — однополупериодной или двухполупериодной. Для этой цели вам предложено использовать два одинаковых калориметра с одинаковыми электрическими нагревателями, два термометра, диод и конденсатор очень большой емкости (уменьшение напряжения на конденсаторе, подключенном к нагревателю, за время 0,02 с настолько мало, что им можно пренебречь). Как решить задачу?

**116.** Имеется сложная электрическая цепь, состоящая из одинаковых конденсаторов известной емкости, соединенных между собой как последовательно, так и параллельно. Вначале емкость батареи была рассчитана теоретически. Поскольку цепь была весьма сложной, естественно сделать попытку проверить экспериментально значение, полученное теоретическим путем. Для этой цели предложено воспользоваться набором одинаковых резисторов, вольтметром, амперметром и батареей аккумуляторов. Как следует поступить?

**117.** Как можно измерить объем аудитории, располагая для этой цели мотком медной проволоки, весами с набором гирь, аккумулятором, вольтметром, амперметром и физическим справочником?

**118.** Придумайте способ определения объема аудитории в том случае, если из перечисленного в предыдущей задаче набора разрешено воспользоваться только мотком проволоки, весами с набором гирь и физическим справочником.

**119.** Камертон, изготовленный из инвара (сплав с очень маленьким температурным коэффициентом объемного расширения), имеет частоту 440 Гц, прак-

тически не зависящую от температуры. Как можно определить температуру в лаборатории, считая биения между камертоном и органной трубой, имеющей при 0 °С ту же частоту колебаний, если длина органной трубы не меняется с температурой.

## НА ЗАВОДЕ

**120.** Как узнать, намагничено ли старое ножовочное полотно или нет, не пользуясь никакими приборами или другими телами?

**121.** Как определить площадь однородной пластины неправильной формы с помощью угольника, имеющего деления, ножниц и весов с набором гирь?

**122.** Имеется сосуд с расплавленным веществом и кусочек того же вещества в твердом состоянии. Как, не дожидаясь затвердевания, предсказать, что произойдет с объемом вещества при переходе в твердое состояние?

**123.** Как с *помощью одной лишь линейки*, не имеющей делений, определить положение центра масс однородной металлической пластинки (рис. 3), все углы у которой прямые?

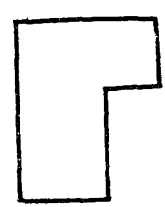

Рис. 3

**124.** Как с помощью сильного магнита (лучше подковообразного) определить, постоянным или переменным током питается электрическая лампочка?

**125.** На ваттметре (приборе, предназначенном для измерения мощности, потребляемой из сети электрическими установками) имеются две пары клемм, к которым присоединены обмотки двух катушек ваттметра — токовой, включающейся последовательно с установкой и имеющей, следовательно, небольшое сопротивление, и обмотки напряжения, подсоединяемой параллельно установке. Обозначения около клемм стерлись. Можно ли, не вскрывая прибора, определить с помощью двух проводников и карманного фонарика, к каким клеммам какие обмотки присоединены?

**126.** Как с помощью вольтметра определить, с какой стороны находится источник тока в двухпроводной линии?

**127.** Неопытный токарь изготовил партию деталей с ошибкой, в результате которой масса каждой детали оказалась на 10 г меньше положенной. Перед отправлением на переплавку неверно изготовленные детали хранились на складе в отдельном ящике, рядом с которым стояло еще девять точно таких же, но с безошибочно изготовленными деталями, имеющими правильную массу.

Рассеянный кладовщик забыл, в каком именно ящике лежат бракованные детали. Конечно, это нетрудно выяснить, взвесив поочередно детали, взятые из всех ящиков. Но предназначенные к переплавке могут оказаться в самом последнем, и тогда придется выполнить девять взвешиваний (взвешивать детали из десятого ящика не обязательно, так как, если в первых девяти бракованных не оказалось, они, следовательно, лежат в последнем). Между тем подошедший заведующий складом сказал, что для поиска нужного ящика вполне достаточно произвести одно взвешивание. Как должен действовать кладовщик?

**128.** Как осмотреть поверхность детали, закрепленной в патроне токарного станка, не останавливая его?

**129.** Электродвигатель переменного тока с последовательным возбуждением включается в сеть через реостат, с помощью которого можно плавно изменять число оборотов. Как, имея в своем распоряжении неоновую лампу, циркуль, линейку, карандаш, клей, ножницы и лист картона, установить частоту вращения двигателя, равную: а) 750 об/мин, б) 1500 об/мин?

**130.** Быстрое вращение вала машины угадывается лишь по частому «мерцанию» поверхности. Нужно определить частоту вращения вала, но тахометра — прибора, специально предназначенного для этой цели, у вас нет. Вам разрешено воспользоваться кусочком мела и часами с секундной стрелкой. Как же выполнить задание?

**131.** С первого этажа здания на второй проложен многожильный кабель. Жилы в нем изолированы друг от друга, причем цвет изоляции у всех жил одинаков. Концы жил, находящиеся на первом этаже, перенумерованы. Как с помощью батарейки, лампочки и небольшого куска проволоки узнать номера концов кабеля на втором этаже помещения? Желательно, ко-

нечно, выполнить при этом наименьшее число операций.

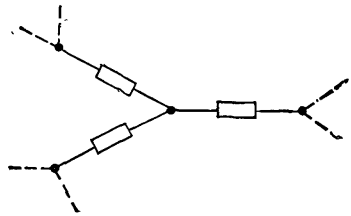

Рис. 4

**132.** На рис. 4 показана часть сложной схемы. Как определить сопротивление изображенных на рисунке резисторов с помощью амперметра, вольтметра, источника тока и набора соединительных проводников, не разрывая ни одного контакта в схеме? Задача имеет очень короткое и интересное решение. Попробуйте его найти.

## В КОСМОСЕ

**133.** Космонавту, находящемуся в открытом космосе, необходимо вернуться на корабль. На земле это задача нехитрая — знай себе шагай, но в космосе все значительно сложнее, так как оттолкнуться ногами не от чего. Как же космонавту сдвинуться с места?

**134.** Для определения массы тел пользуются либо рычажными, либо пружинными весами. Как те, так и другие в условиях невесомости, например на небольшом искусственном спутнике Земли или на космическом корабле, движущемся с выключенными двигателями, работать, казалось бы, не могут. Как бы вы поступили, если бы вам предложили все же определить массу тела в этих условиях именно с помощью весов? Какими весами — пружинными или рычажными — следует воспользоваться и как?

**135.** Подлетев к незнакомой планете, космический корабль, выключив двигатели, вышел на круговую орбиту, и космонавты приступили к предварительным исследованиям. Могут ли они определить среднюю плотность вещества планеты, пользуясь для этой цели только часами?

**136.** Для экспериментального определения ускорения свободного падения на вновь обнаруженной планете космонавты решили воспользоваться небольшим стальным шариком, мощной лампой, электродвигателем с известной частотой вращения, на оси которого закреплен картонный диск с узкой радиальной щелью, куском черного полотна, линейкой с делениями и фотоаппаратом, заряженным высокочувстви-

тельной пленкой. Как следует распорядиться этим набором приборов и предметов, чтобы выполнить поставленную задачу?

**137.** Как решить предыдущую задачу с помощью гири известной массы и динамометра?

**138.** Космонавты решили определить массу планеты, на которую их доставила ракета. Для этой цели они использовали динамометр и килограммовую гирю. Как они выполнили свое намерение, если радиус планеты им был известен ранее из астрономических измерений?

**139.** Продолжая изучать планету, на которую они попали, космонавты вторично (см. задачу 135) определили среднюю плотность ее вещества. Как они это сделали, располагая тонкой нитью известной длины, небольшим грузом и секундомером? Длина экватора планеты космонавтам была известна.

**140.** Наблюдая у себя дома по телевизору высадку космонавтов на Луну, преподаватель одного из американских колледжей заметил, что у одного из отсеков спускаемого аппарата («лунного модуля») свисал рядом с фигурой космонавта, качаясь на чем-то вроде каната, какой-то тяжелый предмет. Посмотрев на свои часы, преподаватель сумел довольно точно определить ускорение свободного падения на Луне. Как он сделал это?

**141.** Как, прилетев на незнакомую планету, космонавты могут с помощью чувствительного гальванометра и мотка проволоки определить, обладает планета магнитным полем или нет?

**142.** Космонавту, вышедшему в открытый космос и не связанному ни с кораблем, ни с каким-либо иным объектом, необходимо повернуться на 180°. Как он должен поступить?

**143.** Представим, что на Венере зародилась жизнь и с течением времени там появились разумные существа. Развивая науку, они, в силу специфики окружающих условий, постоянно сталкивались бы с такими трудностями, которые совершенно незнакомы жителям Земли. На Венере, например, настолько густая облачность, что ее жители никогда бы не видели небесных светил. Возникает вопрос, смогли бы они догадаться о вращении Венеры вокруг своей оси и определить направление вращения? Попробуйте предложить свой способ.

**1.** На бытовой мензурке нанесено несколько различных шкал для сыпучих продуктов: муки, манной крупы, сахарного песка и т. д. Эти шкалы проградуированы в граммах. Имеется также одна шкала для любых жидкостей, проградуированная в кубических сантиметрах.

**2—4.** Вспомните условия равновесия тела, имеющего ось вращения.

**5—7.** Используйте для решения закон Архимеда.

**8.** Взвесьте вначале пустую кастрюлю, а потом кастрюлю с водой.

**9.** Подумайте, как можно провести плоскость, разделяющую цилиндр на две равные по объему части.

**10.** Постарайтесь вначале понять, почему при раскрытии парашюта скорость падения парашютиста резко уменьшается.

**11.** Палка будет находиться в равновесии, если ее подпереть в центре масс.

**12.** Катящийся по плоскости шар за один оборот проходит путь, равный длине его окружности.

**13.** Диаметр шарика довольно просто выражается через его объем.

**14.** Намотайте на карандаш вплотную несколько витков проволоки.

**15.** Смотрите подсказку в задаче 5.

**16.** Решайте эту задачу также с помощью закона Архимеда. Спица нужна лишь затем, чтобы погрузить пробку под воду.

**17.** Чем больше плотность плавающего тела, тем меньшая его часть находится под водой.

**18.** По широко известной легенде Архимед открыл свой закон, размышляя над тем, как установить, изготовил ли придворный ювелир царю Гиерону корону из чистого золота или часть его утаил, заменив на серебро. В нашей задаче роль короны выпол-

няет пробка, роль золота — стекло, а роль серебра — воздух.

**19.** Поставленная у стены палка начинает скользить и падает, если угол ее наклона к плоскости пола достаточно мал.

**20.** Оптически более сильной называется линза с меньшим фокусным расстоянием.

**21.** Оптическая сила системы двух тонких линз, сложенных вплотную, равна сумме оптических сил отдельных линз.

**22.** Для решения задачи проще всего, вероятно, воспользоваться однополюсными переключателями (рис. 5).

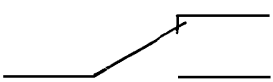

Рис. 5

**23.** Если банку сбросить с крыши дома, то звук ее удара о земную поверхность будет отчетливо слышен наверху.

**24.** Чем больше диаметр сосуда, тем дольше он заполняется.

**25, 26.** Обратите внимание на изменение диаметра струи по мере удаления от крана.

**27.** Высота фонтана определяется скоростью истечения воды.

**28.** Воспользуйтесь для решения задачи законом сохранения импульса (количества движения).

**29.** Вспомните, как плотность газа связана с давлением.

**30—32.** При неизменной температуре объем газа обратно пропорционален давлению.

**33.** Вспомните формулы, позволяющие рассчитать количества теплоты, необходимые для нагревания и испарения вещества.

**34, 35.** Подумайте над тем, как устроен электросчетчик и от чего зависят его показания.

**36, 37.** При нагревании металла его сопротивление возрастает по линейному закону.

**38, 39.** Свечение телевизионного экрана возникает в результате воздействия на него электронного пучка.

**40.** Вспомните правило Ленца для направления индукционного тока.

**41.** Количество энергии, потребляемой из электросети, пропорционально мощности включенного прибора, а также времени его действия.

**42.** Попробуйте использовать двухполюсные переключатели (рис. 6).

43. Подумайте над тем, какая сила заставляет кубик двигаться по окружности, т. е. играет роль центростремительной.

44, 45. Вспомните формулу для расчета периода колебаний математического маятника.

46. Время падения тела с не очень большой высоты легко рассчитать.

47. Попробуйте привести брусок в движение, прикладывая силу на разной высоте, и понаблюдайте за его поведением. Опыт проделайте для разных граней.

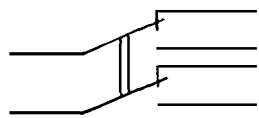

Рис. 6

48. Для вращательного движения справедлив закон сохранения *момента* импульса (момента количества движения), аналогичный закону сохранения импульса (количества движения) при поступательном перемещении.

49. При одной и той же массе маховик, у которого масса распределена по ободу, раскрутить труднее, чем сплошной.

50. Прочность проволоки на разрыв зависит от ее материала и диаметра.

51. Центр масс шарика, катающегося по вогнутой поверхности зеркала, совершает такое же движение, как маятник.

52. Вспомните различные формулировки законов преломления света.

53. Длину световой волны не так уж трудно определить с помощью дифракционной решетки, период которой известен.

54. Если плечи у рычага имеют разную длину, ребенок может уравновесить взрослого.

55. Чем дальше находится источник звука, тем позже слышен звук.

56. За одну секунду свет проходит 300 000 км, а звук — немногим более 300 м.

57. Воспользуйтесь тем, что в подобных треугольниках сходственные стороны пропорциональны.

58. При любой скорости автомашины от одного светофора до другого должны пройти один и тот же путь.

59. Воспользуйтесь вторым и третьим законами Ньютона.

60. Смотрите подсказку к задаче 57.

**61—63.** Чем больше скорость тела, брошенного под углом к горизонту, тем выше оно поднимется и дальше улетит.

**64.** Смотрите подсказку к задаче 57.

**65.** Вокруг катушки, по которой идет электрический ток, образуется магнитное поле, подобное существующему около постоянного магнита.

**66.** Блюдце со ртутью надо использовать как горизонтально расположенное зеркальце, в котором можно увидеть отражение вершины башни.

**67.** Температура кипения зависит от давления, которое убывает с высотой.

**68.** Используйте зависимость освещенности от расстояния до источника света.

**69.** Вспомните первый закон Ньютона и учтите, что вращающаяся платформа не является инерциальной системой.

**70.** Обратите внимание на изменение высоты тона сигнала электрички во время ее движения мимо вас.

**71.** Понаблюдайте за поведением мыльной пены, сброшенной на поверхность чистой воды.

**72, 73.** Воспользуйтесь основными законами динамики.

**74.** Вспомните, что перед последними известиями обычно передаются сигналы точного времени.

**75.** Попробуйте воспользоваться законом Бойля — Мариотта.

**76, 77.** Обратите внимание на тот факт, что, как бы сильно вы не натягивали леску с подвешенной к ней гирей, натянуть ее строго горизонтально не удается.

**78.** Проанализируйте выражение для центростремительной силы.

**79.** Используйте волны, распространяющиеся от места падения камня к берегу.

**80, 81.** Скорость капли относительно поезда или автомобиля равна векторной сумме ее скорости относительно земли и скорости земли относительно экипажа.

**82—84.** Рассмотрите силы, действующие на гирьку, подвешенную к нити.

**85.** Все тела при нагревании расширяются.

**86.** При равномерном движении $s = vt$.

**87.** Ознакомьтесь с устройством и назначением спидометра автомобиля.

**88.** Сравните силы, необходимые для перемещения бруска вверх и вниз по наклонной плоскости.

**89.** Вспомните опыт Эрстеда и правило буравчика.

**90.** Погрузите концы проводников, идущих от электродов аккумуляторной батареи, в воду и наблюдайте происходящие явления.

**91.** Присоедините проводники к электродам аккумуляторной батареи и воткните свободные концы в картофелину. Объясните наблюдаемое явление.

**92.** Время скатывания обруча зависит от наклона шоссе.

**93.** Заставьте оба маятника колебаться и наблюдайте.

**94.** Вспомните сущность явления капиллярности и описывающие его законы.

**95.** Плотность чистого алюминия приведена в физических справочниках.

**96.** Линейная скорость точек земной поверхности зависит от их расстояния до земной оси.

**97.** Если погрузить магнит в железные опилки, больше всего их прилипает к полюсам.

**98.** Оптическая сила линзы зависит от показателя преломления вещества, из которого она изготовлена.

**99, 100.** Чтобы материальная точка находилась в равновесии, векторная сумма сил, действующих на нее, должна равняться нулю.

**101.** Одинаковые силы сообщают равным по массе телам одинаковые ускорения.

**102.** Вспомните устройство и принцип действия трансформатора.

**103.** Сопротивление и масса проводника зависят от его диаметра и длины.

**104.** Масса цилиндра прямо пропорциональна его высоте и квадрату диаметра.

**105.** Пока пуля летит между дисками, насаженными на ось двигателя, они продолжают вращаться.

**106.** Воспользуйтесь законом Гука.

**107.** Брусок не будет скользить по наклонной плоскости, пока наклон ее не очень велик.

**108.** Смотрите подсказку к задаче 88.

**109.** Перекиньте шнур через блок и привяжите к его концам груз и гирю.

**110.** Количество теплоты, необходимое для изменения температуры тела, пропорционально его массе.

**111.** Если подводить тепло к воде, имеющей температуру 0 °С, то она сразу же начинает нагреваться; первоначальная, нулевая, температура льда не меняется, пока весь лед не растает.

**112.** Смотрите подсказку к задаче 110.

**113.** Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи.

**114.** Прохождение электрического тока через гальванический элемент сопровождается растворением вещества отрицательного электрода.

**115.** Вспомните, какое напряжение называется действующим (или эффективным).

**116.** В цепях переменного тока конденсатор ведет себя как резистор, сопротивление которого определяется емкостью конденсатора и частотой переменного тока.

**117.** Сопротивление проводника прямо пропорционально его длине.

**118.** Смотрите подсказку к задаче 50.

**119.** При решении этой задачи следует иметь в виду, что скорость звука одного порядка со скоростью газовых молекул.

**120.** Сломайте полотно на две части.

**121.** Масса однородной по толщине пластины пропорциональна ее площади.

**122.** Тело плавает в жидкости, если плотность его вещества меньше, чем плотность жидкости.

**123.** Центр масс тела всегда оказывается на прямой, соединяющей центры масс любых двух частей, на которые мысленно разбивается тело.

**124.** В магнитном поле на проводник с током действует сила, направление которой зависит от направления тока.

**125.** Сопротивления двух катушек ваттметра сильно различаются.

**126.** Разность потенциалов на концах участка пропорциональна силе тока, текущего по участку.

**127.** Если из трех наудачу выбранных из ящиков деталей бракованными оказались две, общая масса деталей будет на 20 г меньше положенного. Если же среди выбранных трех деталей бракованной окажется только одна, общая масса будет меньше правильной только на 10 г.

**128.** Обратите внимание на тот факт, что через каждый оборот деталь оказывается в одном и том же положении.

**129.** Неоновая лампа, включенная в сеть переменного тока, вспыхивает 100 раз в секунду.

**130.** Проведите кусочком мела вдоль оси вращающегося вала.

**131.** Лампа горит только в замкнутой цепи.

**132.** Составьте такую схему, чтобы через амперметр проходил только тот ток, который идет через резистор, сопротивление которого нас интересует.

**133.** Вспомните принцип действия ракеты.

**134.** Силы инерции, появляющиеся в ускоренно движущихся системах, по своим проявлениям эквивалентны гравитационным силам.

**135.** Запишите выражение для центростремительной силы через период обращения и приравняйте полученное выражение гравитационной силе.

**136.** Пути, проходимые падающим телом за равные промежутки времени, относятся как последовательные нечетные числа.

**137.** Воспользуйтесь вторым законом Ньютона.

**138.** Вспомните закон всемирного тяготения.

**139.** Прочитайте подсказки к задачам 137 и 138.

**140.** Воспользуйтесь формулой для определения периода колебаний математического маятника.

**141.** При изменении магнитного потока, пронизывающего катушку, в последней возникает электродвижущая сила индукции.

**142.** У электродвигателя с закрепленным ротором начнет вращаться статор, если ему ничто не будет мешать.

**143.** Вспомните свойства гироскопа и маятника.

1. Насыпав в мензурку (об устройстве бытовой мензурки рассказано в разделе «Подсказки») немного сахарного песка, найдем его массу по соответствующей шкале, а объем — по шкале жидкостей. После этого рассчитаем плотность обычным образом. Полученное значение будет, однако, несколько меньше плотности кристаллического сахара, поскольку в найденный объем вносят вклад заполненные воздухом промежутки между крупинками сахара. Иными словами, мы нашли именно плотность сахарного песка, но не плотность кристаллического сахара.

2. На ребро напильника положим середину линейки, что нетрудно сделать, руководствуясь имеющимися на ней делениями. Затем для гирьки и исследуемого тела подберем такое положение, при котором система будет находиться в равновесии (рис. 7), т. е. будет выполняться условие

$$m_x g l_1 = m g l_2.$$

Отсчитав $l_1$ и $l_2$ по делениям на линейке и подставляя $m = 100$ г (из условия задачи) и $g = 9{,}8$ м/с$^2$ (из таблиц), определим искомую массу $m_x$. Заметим, что

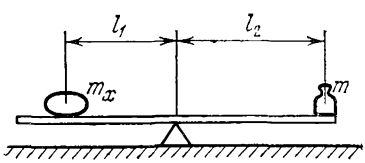


Рис. 7

в равенстве, выражающем условие равновесия рычага, силу тяжести, действующую на линейку, учитывать не нужно, поскольку относительно оси вращения момент этой силы равен нулю. Равен нулю и момент силы реакции опоры, плечо которой, как и для силы тяжести, тоже равно нулю.

Для ответа на второй вопрос задачи следует вспомнить, что масса советских «медных» монет, выраженная в граммах, совпадает с обозначенной на них в копейках стоимостью.

**3.** Положим монеты вблизи конца линейки, а затем подопрем ее в такой точке $O$, чтобы вся система оказалась уравновешенной (рис. 8).

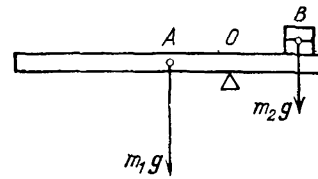

Рис 8

Сила тяжести $m_1g$, действующая на линейку со стороны Земли и приложенная к центру масс $A$ линейки (совпадающему с ее геометрическим центром), вращает систему против часовой стрелки, а сила тяжести $m_2g$, действующая на монеты в точке $B$, стремится повернуть линейку с монетами в противоположном направлении. Из условия равенства моментов сил $m_1g \cdot AO = m_2g \cdot OB$ получим, что

$$m_1 = m_2 OB/AO.$$

Расстояния $AO$ и $OB$ находим по делениям на линейке, а способ определения $m_2$ указан в решении предыдущей задачи.

**4.** Оторвем кусок нитки, длина которого равна длине книги, сложим затем нить вдвое, вчетверо, в восемь раз и отложим от верхнего обреза книги отрезки, равные 1/2, 1/4 и 1/8 ее длины. Полученные точки отметим карандашом. После этого положим нижний край книги на весы и подопрем книгу пальцем в одной из отмеченных точек (рис. 9), выбрав ее так, чтобы стрелка весов не выходила за пределы шкалы, но отклонение не было бы в то же время слишком малым. Масса книги $m_x$ находится из следующих соображений.

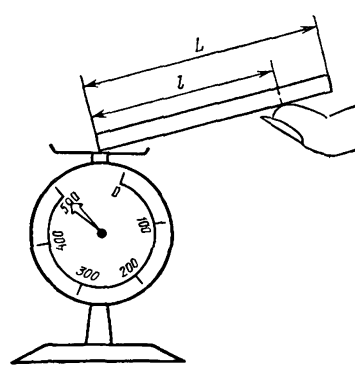

Рис. 9

Поскольку книга находится в покое, то сумма моментов сил, вращающих книгу против часовой стрелки вокруг оси, проходящей через кончик пальца, равна сумме моментов сил, стремящихся повернуть ее относительно той же оси по часовой стрелке. Против часовой стрелки книгу старается повернуть действующая на нее сила тяжести $m_x g$. Плечо этой силы равно $l - L/2$, так как она приложена к центру масс книги, находящемуся посередине нее. По часовой стрелке книгу вращает сила реакции, равная по модулю $mg$ ($m$ — показания весов), приложенная со стороны чашки весов к нижнему (на рисунке левому) краю книги; ее плечо равно $l$. Следовательно, условие равенства моментов сил имеет вид

$$m_x g\left(l - \frac{L}{2}\right) = mgl, \quad \text{откуда} \quad m_x = \frac{2lm}{2l - L}.$$

Если, к примеру, палец расположен в точке, для которой $l = (7/8)L$, то $m_x = (7/3)m$. Добавим, что книгу, в особенности толстую, следует располагать на весах и пальцах как можно более горизонтально, иначе плечо силы тяжести нельзя будет считать равным $l - L/2$.

5. Погрузим банку в воду так, чтобы горлышко оставалось над водой, и осторожно начнем наполнять ее монетами, штука за штукой, до тех пор, пока банка не будет плавать, не опрокидываясь и не наклоняясь. Теперь добавим еще одну монету. В случае необходимости чуть встряхнем монеты, чтобы банка плавала вертикально. На наружной ее стороне отметим мягким карандашом или мелом уровень воды. Вытащим из банки одну монету. Она немного всплывет. Теперь с помощью пипетки начнем добавлять по каплям воду, не забывая их считать, пока банка не погрузится до прежнего уровня.

По закону Архимеда, выталкивающая сила равна по модулю силе тяжести $mg$, действующей на вытесненную воду. Если банка оба раза (с «лишней» монетой и водой вместо нее) погружалась до одного и того же уровня, значит, и выталкивающая сила оба раза была одна и та же. Следовательно, и масса вытесненной воды оба раза одна и та же.

Чтобы решить задачу, вспомним, что масса каждой копеечной монеты равна 1 г. Допустим, вам понадобилось 10 капель воды, чтобы восстановить пер-

воначальный уровень, до которого банка погружалась в воду. Теперь вам известно, что 10 капель притягиваются к Земле с такой же силой, как и одна копеечная монета. Следовательно, масса 10 капель равна массе одной монеты, т. е. одна капля воды имеет массу 0,1 г.

**6.** Можно предложить несколько вариантов решения этой задачи, но самым простым, вероятно, будет следующий.

Прежде всего, с помощью весов определим массу камня $m_1$ и найдем массу сосуда $m_2$, доверху наполненного водой. После этого снимем сосуд с весов, положим в него камень (часть воды при этом выльется), вытащим камень и измерим $m_3$ — массу сосуда с оставшейся водой. Нетрудно видеть, что разность $m_2 - m_3$ равна массе воды $\gamma_в V$, вытесненной камнем:

$$m_2 - m_3 = \gamma_в V,$$

где $\gamma_в$ — плотность воды, а $V$ — объем камня. Поделив массу камня $m_1$ на его объем, найденный из последней формулы, получим искомую величину, равную

$$\gamma_к = m_1 \gamma_в / (m_2 - m_3).$$

Изложенный способ дает хорошие результаты, если объем камня не очень мал (точнее, близок к объему сосуда). В противном случае нужно использовать другие методы, например так называемое гидростатическое взвешивание, с которым обычно знакомят в школе.

**7.** Привязав кусок железа шпагатом к пружине, опустим его поочередно в оба сосуда. В том сосуде, где находится керосин, растяжение пружины будет во время движения оставаться неизменным, тогда как в сосуде, содержащем в своей нижней части воду, оно будет скачком уменьшаться (или длина резиновой полоски резко сократится), когда кусок железа перейдет из керосина в воду.

**8.** Пусть масса пустой кастрюли равна $m_1$, а масса кастрюли, наполненной водой, — $m_2$. Тогда разность $m_2 - m_1$ равна массе воды, наполняющей кастрюлю. Поделив эту разность на плотность воды $\gamma$, найдем вместимость кастрюли $V$:

$$V = (m_2 - m_1)/\gamma.$$

**9.** Если через точки $M$ и $N$ мысленно провести плоскость так, как это показано на рис. 10, *а*, то она рассечет цилиндр на две симметричные и поэтому равные по объему части. Отсюда вытекает решение задачи.

Постепенно наклоняя стакан, отливайте содержащуюся в нем жидкость до тех пор, пока чуть-чуть не покажется дно (рис. 10, *б*). В этот момент в стакане останется ровно половина жидкости.

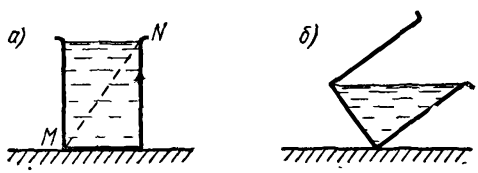


Рис. 10

**10.** На падающий коробок действуют две силы — сила тяжести $mg$ и сила сопротивления воздуха $F_{\text{сопр}}$. Первая сила определяется массой и для более полного коробка́ оказывается большей. В то же время вторая при равных скоростях одна и та же для обоих коробко́в. Поэтому для более полного коробка́ равнодействующая этих сил будет, вообще говоря, больше. Следовательно, он будет иметь большее ускорение*) и, быстрее набирая скорость, раньше достигнет земной поверхности. Таким образом, следует одновременно уронить оба коробка с балкона. Тот из них, который раньше достигнет земной поверхности, содержит больше спичек. Убедительные результаты получатся, безусловно, лишь в том случае, если разница в числе спичек в коробка́х не особенно мала.

**11.** Проще всего, конечно, найти центр масс палки, уравновешивая ее на ребре ладони. Равновесие, как известно, свидетельствует, что центр масс располагается как раз над точкой опоры. Однако существует более интересный и поучительный способ решения.

Если положить палку горизонтально на края ладоней обеих рук, поставленных ребром, и медленно сдвигать руки, то они всегда сойдутся в центре масс

*) Ускорение возрастает с увеличением массы, так как

$$a = (mg - F_{\text{сопр}})/m = g - F_{\text{сопр}}/m.$$

и палка не будет падать, каким бы образом не сдвигать руки.

Это происходит потому, что при движении одной руки к центру масс сила давления на нее возрастает по сравнению с силой давления на другую руку, более удаленную от центра масс. Так как одновременно с силой давления увеличивается сила трения скольжения, то последняя превзойдет силу трения покоя между палкой и второй рукой, вследствие чего движение относительно первой руки прекратится и начнется движение относительно второй. Таким образом, центр масс будет все время находиться между ладонями и в конце концов будет ими «пойман».

**12.** Достаточно прокатить смоченный водой мяч по полу, чтобы он сделал один оборот, и измерить длину $l$ влажной дорожки. Диаметр $D$ вычислим по формуле $D = l/\pi$. Можно также обернуть мяч по «экватору» один раз ниткой, определить ее длину и вычислить диаметр тем же способом.

**13.** Вначале с помощью мензурки обычным способом определяем объем $V$ шарика, а затем по формуле $D = \sqrt[3]{6V/\pi}$ рассчитываем диаметр $D$.

**14.** В школьных тетрадях сторона каждой клеточки довольно точно равна 0,5 см (автор проверил несколько тетрадей и лишь в самом худшем случае 40 клеточек составили не менее 200 мм, как это должно быть, а 202 мм, что соответствует погрешности 1 %). Этим можно воспользоваться для решения задачи.

Следует намотать проволоку на карандаш вплотную виток к витку так, чтобы она занимала целое число клеток. При этом нужно выбирать не слишком малое число витков, иначе, как станет ясно из дальнейшего, погрешность окажется большой. После этого, разделив длину $l$, занятую на карандаше проволокой, на число витков $n$, получим искомую величину: $D = l/n$ (см. рис. 11, на котором тетрадный лист заменен линейкой).

Известно, что относительная погрешность дроби равна сумме относительных погрешностей числителя и знаменателя. В нашем случае $l$ определяется с погрешностью около 1 % (см. выше). Подсчитывая число витков, можем вполне ошибиться на один, поскольку часто трудно сказать, что правильнее взять — например, 49 витков или 50. Поэтому для относитель-

ной погрешности знаменателя получим около 2 %. Таким образом, относительная погрешность в определении диаметра проволоки составляет 3 %, а абсолютная — при диаметре 0,1 мм — всего 0,003 мм, что не так уж плохо. К сожалению, фактическая погрешность будет всегда больше, так как намотать проволоку вплотную трудно.

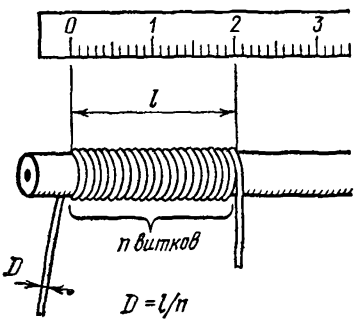

Рис 11

**15.** Из закона Архимеда следует, что тело плавает, если действующая на него сила тяжести $m_т g$ равна силе тяжести $m_ж g$ вытесненной им жидкости, т. е. если массы тела и вытесненной жидкости равны. Поэтому поступим так. Сначала определим объем вытесненной воды, умножая площадь сечения сосуда, найденную с помощью линейки, на понижения уровня воды в сосуде после удаления тела (измеряется также линейкой). Перемножая затем объем вытесненной воды и ее плотность, находим массу воды, а следовательно, и массу плавающего тела.

**16.** Бросив пробку в мензурку и отсчитав увеличение уровня воды, найдем массу пробки разобранным в решении предыдущей задачи способом. Объем пробки определим, полностью утопив ее в воде с помощью спицы. После этого легко рассчитать плотность. Нетрудно видеть, что предполагаемый способ позволяет определить среднюю (без учета пор) плотность пробки.

**17.** Кроме способа, предложенного в предыдущей задаче, можно указать следующий. Измерим полную длину палочки, а затем опустим ее в воду. Пусть вся длина палочки равна $l_1$, а длина части, находящейся под водой, равна $l_2$. Тогда масса палочки равна $m_д = l_1 S \gamma_д$, где $\gamma_д$ — плотность дерева, $S$ — площадь поперечного сечения палочки; масса вытесненной воды равна $m_в = l_2 S \gamma_в$, где $\gamma_в$ — плотность воды. Поскольку палочка плавает, эти массы равны:

$$l_1 S \gamma_д = l_2 S \gamma_в; \quad \text{отсюда} \quad \gamma_д = \gamma_в l_2 / l_1.$$

Важно, чтобы палочка плавала вертикально или с небольшим наклоном, так как, если она будет плавать «плашмя», задачу решить значительно труднее. Для того чтобы палочка плавала вертикально, и служит узкий цилиндрический сосуд, стенки которого мешают палочке расположиться горизонтально.

**18.** Объем полости $V_{пол}$ связан с объемом пробки $V_{пр}$ и объемом стекла $V_{ст}$ очевидным соотношением:

$$V_{пол} = V_{пр} - V_{ст}.$$

Пусть масса пробки равна $m_1$. Если же вся пробка во время взвешивания находится в воде (так называемое гидростатическое взвешивание), показания весов уменьшаются до $m_2$, поскольку на нее, в согласии с законом Архимеда, действует выталкивающая сила. Нетрудно сообразить, что кажущееся уменьшение массы $m_1 - m_2$ равно массе вытесненной воды. Разделив эту разность на плотность воды $\gamma_в$, находим объем вытесненной воды и, следовательно, объем пробки: $V_{пр} = (m_1 - m_2)/\gamma_в$. Для определения объема стекла достаточно массу пробки разделить на взятое из таблиц значение плотности стекла $\gamma_{ст}$: $V_{ст} = m_1/\gamma_{ст}$. После этого получим окончательно объем полости:

$$V_{пол} = (m_1 - m_2)/\gamma_в - m_1/\gamma_{ст}.$$

**19.** Упремся в железный лист вертикально поставленной палкой, а затем будем постепенно наклонять ее, нажимая на верхний конец (рис. 12). При некотором угле наклона $\alpha$ палка начнет скользить по железу. Это произойдет в тот момент, когда горизонтальная составляющая силы $F$, приложенной к верхнему концу палки в направлении ее длины, станет больше максимальной силы трения покоя между нижним концом палки и железным листом.

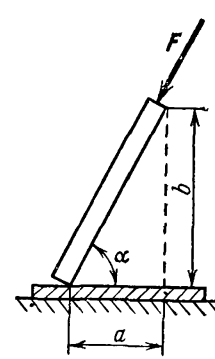

Рис. 12

Горизонтальная составляющая силы $F$ по модулю равна $F\cos\alpha$. В то же время максимальное значение силы трения покоя можно записать следующим образом:

$$F_{тр} = k(mg + F\sin\alpha),$$

где $k$ — искомый коэффициент, $mg$ — сила тяжести палки, а $F\sin\alpha$ — модуль вертикальной составляющей силы $\boldsymbol{F}$, прижимающей палку (вместе с силой ее притяжения к Земле) к жести. Приравнивая эти силы, получим

$$k(mg + F\sin\alpha) = F\cos\alpha,$$

откуда

$$k = F\cos\alpha/(mg + F\sin\alpha).$$

Так как по условию задачи палка имеет *небольшую* массу, первым слагаемым в скобке можно пренебречь, тем более что сила $\boldsymbol{F}$, с которой экспериментатор действует на верхний конец палки, ограничена только его возможностями и прочностью палки. Тогда

$$k = \frac{F\cos\alpha}{F\sin\alpha} = \operatorname{ctg}\alpha = \frac{a}{b}.$$

Таким образом, для определения коэффициента трения достаточно измерить только $a$ и $b$, что нетрудно сделать с помощью линейки.

**20.** Отодвигая линзы от стенки, получим на ней резкое изображение нити лампы. Та линза, которая при этом окажется расположенной ближе к стенке, имеет бóльшую оптическую силу.

**21.** Сложим обе линзы вплотную. Если полученная система будет действовать как собирающая линза, оптическая сила собирающей линзы больше. В противном случае большей оптической силой обладает рассеивающая линза.

**22.** Воспользуемся двумя однополюсными переключателями $K_1$ и $K_2$, включив их в цепь питания лампы $Л$ так, как это показано на рис. 13. Один из переключателей устанавливается у входной двери коридора, а другой — в конце коридора. При показанном на рис. 13 положении переключателей электрическая цепь включена, но достаточно любой переключатель перебросить в другое положение, как лампа погаснет.

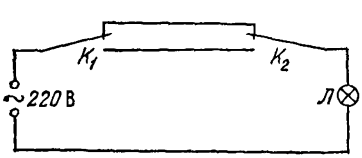

Рис. 13

**23.** Встав на крышу дома, выпустим банку из рук, одновременно нажав на пусковую кнопку секундомера. Услышав звук удара банки о землю, остановим

секундомер. Показания секундомера $t$ складываются из времени падения банки $t_1$ и времени $t_2$, за которое звук ее удара о земную поверхность достигнет наблюдателя. Первое время связано с высотой дома $h$ следующим образом: $h = gt_1^2/2$, тогда как связь между $h$ и $t_2$ имеет вид $h = vt_2$, где $v$ — скорость звука, которую при расчетах, не требующих высокой точности, можно положить равной 340 м/с (что соответствует температуре около 20 °С). Определяя $t_1$ и $t_2$ из этих выражений и подставляя их значения в формулу, связывающую $t_1$, $t_2$ и $t$, получим иррациональное уравнение

$$\sqrt{2h/g} + h/v = t,$$

из которого можно найти высоту дома.

При приближенном вычислении (в особенности, если дом невысок) второе слагаемое слева можно считать малым и отбросить, тем более, что неучитываемая нами поправка, связанная с силой сопротивления воздуха, может быть большей, чем упоминаемая поправка на время распространения звука. Тогда

$$\sqrt{2h/g} \approx t, \quad h \approx gt^2/2.$$

**24.** Штангенциркулем измерим высоту $h$ и диаметр $D_1$ сосуда и вычислим его объем: $V = \pi D_1^2 h/4$. После этого определим с помощью секундомера время $t$, за которое текущая вода заполняет банку. Тогда объемный расход воды $Q$ (т. е. объем воды, вытекающий из крана в единицу времени) составит

$$Q = V/t = \pi D_1^2 h/4t.$$

С другой стороны, $Q$ можно выразить как произведение искомой скорости $v$ истечения воды на площадь $S$ поперечного сечения крана:

$$Q = Sv = \pi D_2^2 v/4,$$

где $D_2$ — диаметр крана. Приравнивая правые части, получим

$$v = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \frac{h}{t}.$$

Поскольку $D_2$ также можно измерить штангенциркулем, задача, в принципе, решена.

25. Так как движение воды в струе происходит с ускорением свободного падения $g$, между скоростью $v_1$ истечения ее из крана и той скоростью $v_2$, которой она обладает на расстоянии $h$ от крана, существует простая связь:

$$v_2^2 - v_1^2 = 2gh.$$

С другой стороны, через сечение крана и сечение, проведенное поперек струи на расстоянии $h$ от крана, за единицу времени протекают равные объемы воды:

$$Q = \pi D_1^2 v_1/4 = \pi D_2^2 v_2/4,$$

где $D_1$ и $D_2$ — диаметры струи у крана и на расстоянии $h$ от него соответственно*). Находя из последнего равенства $v_2$ и подставляя его в предыдущее, получим

$v_1^2(D_1^4/D_2^4 - 1) = 2gh$, откуда $v_1 = D_2^2\sqrt{2gh/(D_1^4 - D_2^4)}$.

После этого находим объемный расход воды:

$$Q = \frac{\pi D_1^2}{4} v_1 = \frac{\pi D_1^2 D_2^2}{4}\sqrt{\frac{2gh}{D_1^4 - D_2^4}}.$$

Таким образом, задача сводится к измерению $D_1$, $D_2$ и $h$, что действительно можно сделать только одной линейкой.

26. Воспользуемся формулой для расчета расхода воды, полученной в решении предыдущей задачи:

$$Q = \frac{\pi D_1^2 D_2^2}{4}\sqrt{\frac{2gh}{D_1^4 - D_2^4}}$$

(смысл обозначений дан в упомянутом решении). Учитывая, что $Q = V/t$ ($V$ — объем воды, вытекающий за время $t$), получим в конечном итоге ускорение свободного падения:

$$g = 8\frac{V^2}{t^2}\frac{D_1^4 - D_2^4}{\pi^2 D_1^4 D_2^4 h}.$$

*) Отсюда видно, что диаметр струи убывает с удалением от крана. При падении с больших высот водяные струи настолько утончаются, что рассыпаются на отдельные мелкие капли; к примеру, высокие водопады внизу превращаются в облако водяной пыли.

Значения $D_1$, $D_2$ и $h$ измеряются линейкой, $t$ — часами, а объем $V$ сосуда дан в условии задачи.

Предложенный метод не претендует на большую точность. Не останавливаясь на всех его погрешностях, отметим главные. Во-первых, конечный результат заметно искажается вязкостью воды. В случае еще более вязких жидкостей для $g$ можно получить значение, весьма далекое от истинного. Во-вторых, даже сравнительно небольшая погрешность в определении $D_1$ и $D_2$ сильно скажется на погрешности конечного результата, поскольку в расчетную формулу входят *четвертые* степени этих величин (можно показать, что относительная погрешность в определении степени равна относительной погрешности основания, умноженной на показатель степени).

27. Направив шланг вертикально вверх, определим с помощью линейки высоту $h$, на которую поднимется вода. Тогда скорость истечения $v$ можно найти, пользуясь формулой $v = \sqrt{2gh}$. Умножив найденную скорость на площадь $S$ сечения насадки (ее диаметр $D$ измеряется также линейкой), найдем расход воды $Q$:

$$Q = Sv = \frac{\pi D^2}{4}\sqrt{2gh}.$$

После этого оказывается возможным определение времени наполнения бака, так как его объем $V$ был известен заранее:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{4V}{\pi D^2\sqrt{2gh}} \approx \frac{0{,}9V}{D^2\sqrt{gh}}.$$

28. Подвесим гирьку известной массы и тело на шнурах так, чтобы они соприкасались, а шнурки были параллельны (рис. 14). Отклонив гирьку в плоскости, проходящей через оба подвеса, измерим транспортиром угол отклонения $\alpha_1$, затем прилепим с той стороны гирьки, которая обращена к телу, пластилин и выпустим ее из рук. Возвратившись в положение равновесия, гирька ударится о предмет, прилипнет к нему и дальше оба тела будут двигаться вместе, пока не отклонятся на некоторый угол $\alpha_2 < \alpha_1$.

Приравняв потенциальную энергию гирьки в отклоненном положении ее кинетической энергии:

$$mgh_1 = mgl(1 - \cos\alpha_1) = mv^2/2$$

($m$ — масса гирьки, $v$ — ее скорость в момент удара; смысл остальных обозначений ясен из рис. 14), найдем скорость и импульс гирьки перед соударением:

$$v = \sqrt{2gl(1 - \cos\alpha_1)} = 2\sqrt{gl}\sin(\alpha_1/2),$$

$$mv = 2m\sqrt{gl}\sin(\alpha_1/2).$$

Поскольку внешние силы, действующие в горизонтальном направлении, отсутствуют, закон сохранения импульса дает

$$2m\sqrt{gl}\sin(\alpha_1/2) = (m + m_x)u,$$

где $m_x$ — искомая масса, а $u$ — скорость обеих тел

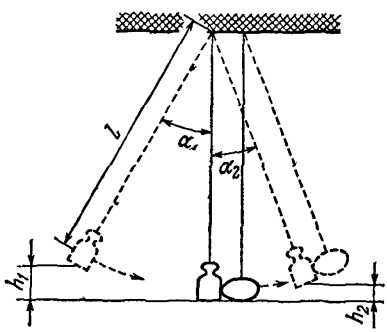


Рис. 14

после неупругого соударения. Отсюда скорость и кинетическая энергия системы непосредственно после удара равны

$$u = 2\frac{m}{m + m_x}\sqrt{gl}\sin(\alpha_1/2),$$

$$T = \frac{m + m_x}{2}u^2 = 2\frac{m^2}{m + m_x}gl\sin^2(\alpha_1/2).$$

Приравнивая кинетическую энергию потенциальной энергии тел после их отклонения на угол $\alpha_2$, получаем

$$2\frac{m^2}{m + m_x}gl\sin^2(\alpha_1/2) = (m + m_x)gh_2.$$

Зная, что $h_2 = l(1 - \cos\alpha_2)$, окончательно имеем

$$2\frac{m^2}{m + m_x}gl\sin^2(\alpha_1/2) = 2(m + m_x)gl\sin^2(\alpha_2/2).$$

Отсюда определяем нужную величину:

$$m_x = m\left(\frac{\sin(\alpha_1/2)}{\sin(\alpha_2/2)} - 1\right).$$

**29.** На все тела, находящиеся в воздухе, действует выталкивающая (архимедова) сила, равная силе тяжести вытесненного воздуха. Поэтому результат взвешивания мяча, накачанного до давления $p$, можно представить в следующем виде:

$$m = m_м + m_в - m_x,$$

где $m_м$ — масса камеры и покрышки, $m_в$ — масса воздуха, содержащегося в мяче, и $m_x$ — масса воздуха, вытесненного мячом. Нетрудно видеть, что если пренебречь объемом камеры и покрышки (и, следовательно, действующей на них архимедовой силой), то два последних слагаемых для мяча, содержащего воздух при атмосферном давлении, равны между собой, и взвешивание даст массу камеры и покрышки $m_м$.

Поскольку при накачивании объем $V$ мяча практически не меняется, последний член справа остается постоянным, как, разумеется, и первый. Таким образом, разность $m - m_0$ (где $m$ и $m_0$ — определенные с помощью весов массы мяча, накачанного соответственно до «рабочего» давления $p$ и атмосферного давления $p_0$), деленная на объем мяча, даст приращение плотности воздуха от значения $\gamma_0$, соответствующего нормальному атмосферному давлению, до величины $\gamma$ при искомом давлении:

$$(m - m_0)/V = \gamma - \gamma_0.$$

Так как объем мяча при накачивании не изменяется, то плотность газа возрастает прямо пропорционально давлению *):

$$\gamma/\gamma_0 = p/p_0.$$

Из двух последних выражений получаем следующее значение интересующей нас величины:

$$p = \frac{p_0}{\gamma_0}\gamma = \frac{p_0}{\gamma_0}\left(\gamma_0 + \frac{m - m_0}{V}\right) = p_0 + \frac{p_0}{\gamma_0}\frac{m - m_0}{V}.$$

*) Действительно, из уравнения Клапейрона — Менделеева $pV = (m/M)RT$ следует, что $\gamma = m/V = pM/RT \sim p$.

Разность масс в этом выражении определяется с помощью весов, объем мяча рассчитывается по диаметру, измеренному линейкой (см. задачу 12), а величины $p_0$ и $\gamma_0$ берутся из таблиц ($p_0 = 1$ атм $=$ $= 101{,}3$ кПа, $\gamma_0 = 1{,}293$ кг/м$^3$). Если желателен более точный результат, то следует принять во внимание изменение плотности с температурой, т. е. вместо величины 1,293 кг/м$^3$, соответствующей 0 °С, подставлять в приведенную формулу плотность, соответствующую температуре воздуха в данный момент.

30. Прежде всего, осторожно, чтобы не разбить лампочку, удалим цоколь и, погрузив ее целиком в воду, найдем с помощью линейки повышение $\Delta h_1$ уровня воды в сосуде. После этого, не вынимая лампы из воды, сломаем кончик штенгеля (стеклянного отростка, через который производится откачка лампы и ее заполнение инертным газом). В лампу войдет некоторая масса воды, а ее уровень в сосуде понизится, станет лишь на $\Delta h_2$ больше, чем в самом начале. Этих сведений достаточно для решения задачи.

В самом деле, при искомом давлении $p$ газ занимал весь объем $V_1$ лампы, который, пренебрегая объемом стеклянных стенок колбы, можно записать как произведение площади поперечного сечения сосуда $S$ на прирост высоты уровня воды в сосуде при погружении лампы: $V_1 = S\Delta h_1$. После того как был сломан штенгель, давление газа в лампе стало равно атмосферному (давлением столбика воды, находящейся над лампой, по сравнению с атмосферным можно пренебречь), а его объем уменьшился до $V_2 = S\Delta h_2$. Считая температуру газа неизменной, запишем на основании закона Бойля — Мариотта

$$pS\Delta h_1 = p_0 S\Delta h_2, \quad \text{откуда} \quad p = p_0\Delta h_2/\Delta h_1.$$

Изменения уровня $\Delta h_1$ и $\Delta h_2$ измеряются линейкой, а $p_0$ либо берется по барометру, либо полагается равным одной атмосфере ($p_0 = 1$ атм $= 101{,}3$ кПа).

31. Вначале, как и в первом варианте решения задачи, осторожно удалим цоколь, а затем взвесим лампу. Пусть ее масса равна $m_1$. Затем погрузим лампу целиком под воду и обломаем кончик штенгеля. Когда вода перестанет поступать в колбу и незаполненным водой останется только пространство, занятое газом, сжатым до атмосферного давления $p_0$, вынем лампу из воды и вновь определим ее массу.

Предположим, что масса лампы, частично заполненной водой, оказалась равной $m_2$. Заполним теперь лампу водой целиком и еще раз определим ее массу. Допустим, она окажется равной $m_3$.

Нетрудно сообразить, что разность $m_1 - m_3$ дает массу воды, целиком заполняющей колбу лампы. Разделив эту разность на плотность воды $\gamma$, найдем внутренний объем лампы, иначе говоря, объем газа при искомом давлении $p$. С другой стороны, разность $m_3 - m_2$, деленная на плотность воды, даст объем того же газа при атмосферном давлении $p_0$. Считая, что во время сжатия газа его температура не меняется, можем записать на основании закона Бойля — Мариотта

$$p\,\frac{m_3 - m_1}{\gamma} = p_0\,\frac{m_3 - m_2}{\gamma}.$$

Отсюда искомое давление равно

$$p = p_0\,\frac{m_3 - m_2}{m_3 - m_1}.$$

**32.** Если трубка расположена вертикально отверстием вверх, то заключенный в ней воздух находится под давлением

$$p_1 = p_0 + \gamma g h,$$

где $p_0$ — атмосферное давление, $\gamma$ — плотность ртути, $g$ — ускорение свободного падения и $h$ — высота ртутного столбика. Это давление сжимает воздух в трубке до объема $V_1 = l_1 S$, где $l_1$ — длина воздушного столбика, $S$ — площадь поперечного сечения трубки.

В трубке, расположенной вертикально отверстием вниз, давление составляет

$$p_2 = p_0 - \gamma g h,$$

а объем воздуха равен $V_2 = l_2 S$.

Считая температуру воздуха в обоих случаях одинаковой, имеем из закона Бойля — Мариотта

$$(p_0 + \gamma g h)\, l_1 S = (p_0 - \gamma g h)\, l_2 S,$$

откуда

$$p_0 = \gamma g h\,\frac{l_2 + l_1}{l_2 - l_1}.$$

Плотность ртути и ускорение свободного падения берем из таблиц, а значения $l_1$, $l_2$ и $h$ находим с по-

мощью линейки. Если давление атмосферы выразить в мм рт. ст., формула упрощается:

$$p_0 = h\frac{t_2 + t_1}{t_2 - t_1}.$$

**33.** Пусть кастрюля содержит воду, охлажденную в холодильнике до 0 °С (в воде еще плавают крохотные кусочки льда). Поставим ее на газовую плиту, одновременно заметив показания часов. Пусть до момента закипания воды пройдет время $\tau_1$, а затем еще время $\tau_2$ до того момента, как вся вода испарится.

Если при сгорании газа ежесекундно образуется $q$ джоулей тепла, то количества теплоты $Q_1$ и $Q_2$, необходимые соответственно для нагревания воды до кипения и последующего ее обращения в пар, можно записать в следующем виде:

$$Q_1 = mc(t_2 - t_1) = q\tau_1, \quad Q_2 = mr = q\tau_2,$$

где $m$ — масса воды, налитой в кастрюлю, $c$ — удельная теплоемкость, а $r$ — удельная теплота парообразования воды, $t_1 = 0\,°C$ — температура охлажденной воды, $t_2 = 100\,°C$ — температура кипения. Поделив равенства почленно, получим

$$(t_2 - t_1)\,c/r = \tau_1/\tau_2, \quad \text{откуда} \quad r = (t_2 - t_1)c\tau_2/\tau_1.$$

Поскольку учет тепловых потерь (на излучение в окружающее пространство, на нагревание кастрюли и пр.) невозможен, полученный результат не должен претендовать на большую точность.

**34.** Изготовив из нити и кусочка железа математический маятник и заставив его качаться, определим число оборотов $K_1$ и $K_2$ диска электросчетчика за *одинаковое* число колебаний маятника (т. е. за равные интервалы времени) вначале при работающем телевизоре, а затем при включенной лампе. Поскольку число оборотов диска, совершаемое за определенное время, пропорционально мощности включенного в сеть прибора, мы имеем право написать равенство

$$K_1/K_2 = P_1/P_2,$$

где $P_1$ и $P_2$ — мощности телевизора и электрической лампы. Отсюда находим интересующую нас величину:

$$P_1 = P_2K_1/K_2,$$

так как мощность электрической лампы $P_2$ обычно указывается на ее баллоне или цоколе.

**35.** Настроим радиоприемник на программу «Маяк», позывные которой передаются через каждые полчаса, и определим с помощью счетчика электроэнергию $A$, израсходованную за промежуток времени между двумя сигналами (т. е. за 30 мин). После этого из формулы $A = Pt$ рассчитаем мощность утюга $P$, а затем, зная напряжение $U$ в городской сети, определим интересующее нас сопротивление:

$$R = U^2/P = U^2t/A.$$

Так решается задача в случае батарейного приемника.

Если приемник питается от сети, определим вначале с помощью счетчика электроэнергию $A_0$, потребляемую в течение 30 мин только радиоприемником, а затем энергию $A$, потребляемую за такое же время приемником и утюгом вместе. Тогда из системы уравнений

$$A_0 = P_0t, \quad A = (P + P_0)t,$$

где $P_0$ и $P$ — мощности приемника и утюга, находим вначале мощность утюга:

$$P = (A - A_0)/t,$$

а затем и его сопротивление:

$$R = U^2t/(A - A_0).$$

**36.** Соединим последовательно батарею, моток проволоки и амперметр, а вольтметр включим так, чтобы он показывал напряжение на мотке. Запишем показания приборов и рассчитаем сопротивление мотка при комнатной температуре: $R_t = U/I$. После этого принесем с улицы снег, погрузим в него моток и подождав немного, чтобы снег начал таять, а проволока приобрела его температуру, тем же способом определим сопротивление проволоки $R_0$ при температуре тающего снега, т. е. при 0 °С. Используя затем зависимость между температурой проводника и его сопротивлением, $R_t = R_0(1 + \alpha t)$, найдем температуру воздуха в комнате:

$$t = \frac{R_t - R_0}{R_0\alpha}.$$

При расчете воспользуемся значением температурного коэффициента сопротивления, взятым из физи-

ческого справочника. В области комнатных температур для чистой меди $\alpha = 4{,}3 \cdot 10^{-3}$ К$^{-1}$. Если содержание примесей в меди, из которой изготовлена проволока, не особенно велико, а электроизмерительные приборы имеют класс точности 0,1 *), то температуру можно определить с погрешностью, значительно меньшей одного градуса.

37. Способом, разобранным в решении предыдущей задачи, определим сопротивление проволоки сначала при температуре таяния льда ($R_0$), затем при искомой температуре ($R_t$) и, наконец, — в кипящей воде ($R_{100}$). После этого из системы уравнений

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad R_{100} = R_0(1 + t_{100}\alpha)$$

найдем как температурный коэффициент сопротивления, равный

$$\alpha = (R_{100} - R_0)/t_{100}R_0,$$

так и интересующую нас температуру воздуха в комнате:

$$t = t_{100}(R_t - R_0)/(R_{100} - R_0).$$

38. Движущиеся в магнитном поле заряженные частицы отклоняются в ту или иную сторону в зависимости от знака их заряда, направления движения и направления линий индукции. Поэтому, если мы приблизим к экрану телевизора подковообразный магнит так, чтобы их плоскости были параллельными, изображение несколько сместится (это явление удобнее наблюдать, когда на экране находится статичное изображение, например заставка или таблица для настройки). После этого, пользуясь правилом левой руки, нетрудно определить направление линий индукции и, следовательно, полюсы магнита.

39. Изготовим из проволоки и железного стержня электромагнит, подключим его к батарее и поднесем к экрану телевизора. По направлению отклонения изображения определим, на каком конце стержня

---

*) Это очень хорошие приборы! В технике применяются приборы класса 0,5; 1,0 или даже 2,0. Напомним, что класс точности электроизмерительных приборов равен наибольшей погрешности прибора, выраженной в процентах от максимального значения измеряемой прибором величины. Итак, вольтметр класса 0,1 со шкалой на 200 В измеряет напряжение с погрешностью $\pm 0{,}2$ В.

получился южный полюс, а на каком — северный (см. об этом решение предыдущей задачи). После этого следует обхватить (хотя бы мысленно) электромагнит правой рукой так, чтобы отогнутый большой палец был направлен от южного полюса к северному, иначе говоря, совпадал бы с направлением линий индукции, выходящих, как известно, из северного полюса. Тогда четыре пальца, охватывающие электромагнит, покажут направление тока в его обмотке, после чего без всякого труда можно найти и знаки полюсов батареи. Вместо «правила обхвата» можно воспользоваться «правилом буравчика», «правилом пловца» и т. д.

**40.** Изготовим из проволоки замкнутое кольцо и подвесим его на нитях. Если стержень намагничен, то его приближение к кольцу вызовет, согласно правилу Ленца, взаимное отталкивание тел. Если же кольцо останется в покое, значит, стержень не намагничен.

**41.** Определить длительность прогулки, располагая лампой и счетчиком электроэнергии, которые упоминаются в тексте задачи, можно следующим образом. Нужно включить лампу в момент ухода девочки, одновременно записав показания счетчика. Второе показание записывается, когда девочка вернется. Зная расход электроэнергии $A$, можно рассчитать время прогулки $t$ из выражения $t = A/P$, где $P$ — мощность электрической лампы, определенная по надписи на цоколе или баллоне.

У обычных бытовых электросчетчиков диск делает 1250 оборотов при расходе 1 кВт·ч. Таким образом, при мощности лампы 100 Вт диск должен совершить за час 125 оборотов, что нетрудно отсчитать по обычно имеющейся у подобных счетчиков круглой шкале, на которой регистрируются целые обороты диска.

**42.** Наиболее простое решение задачи для случая, когда лампа $Л$ может быть включена с помощью однополюсных и двухполюсных переключателей $K_1 — K_4$ из четырех разных мест, иллюстрируется схемой, приведенной на рис. 15. Легко видеть, что, добавив соответствующее число двухполюсных переключателей, можно собрать схему, позволяющую включать и выключать прибор из любого числа различных пунктов.

**43.** Чтобы кубик массы $m$ вращался с диском по окружности радиуса $R$, делая $n$ оборотов в секунду, к нему должна быть приложена со стороны диска центростремительная сила

$$F_{цс} = mv^2/R = 4\pi^2 n^2 mR,$$

где $v$ — линейная скорость центра масс кубика. Из приведенного выражения видно, что при постоянной угловой скорости (частоте вращения) центростреми-

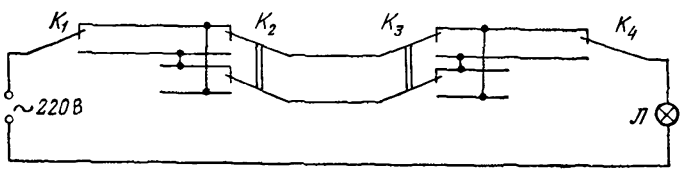


Рис. 15

тельная сила должна монотонно возрастать с увеличением радиуса вращения. Между тем сила трения покоя $F_{тр}$, играющая роль центростремительной, не может превысить значения

$$F_{тр} = kmg,$$

где $k$ — коэффициент трения, $g$ — ускорение свободного падения.

Измерив линейкой значение $R_{кр}$, при котором кубик перестает держаться на вращающемся диске и сбрасывается с него, найдем, приравнивая написанные выше выражения, что коэффициент трения равен

$$k = 4\pi^2 n^2 R_{кр}/g.$$

Величина $n$ здесь также известна: в зависимости от положения соответствующего переключателя частота вращения диска составляет 33, 45 или 78 об/мин; поделив эти числа на 60, найдем частоту вращения в об/с — нужных нам единицах.

**44.** Привязав к концу нити гирьку, изготовим маятник, длина которого равна высоте комнаты. Так как масса нити мала, маятник можно считать математическим, т. е. использовать формулу, связывающую период его колебаний $T$ с длиной $l$ и ускорением свободного падения $g$ в следующем виде:

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}.$$

Определив с помощью часов период колебаний маятника (для этого достаточно подсчитать число колебаний, совершаемое маятником за достаточно длительное время, а затем вторую величину разделить на первую), рассчитаем по приведенной формуле длину подвеса $l$, т. е. высоту комнаты, взяв значение $g$, соответствующее данной географической широте, из физического справочника или приняв его, для простоты, равным 9,8 м/с$^2$. Таким же образом определяем далее длину комнаты и ее ширину, а затем простым перемножением всех трех измерений — объем.

Если длина маятника окажется слишком большой (комната велика) и измерять его период будет неудобно, можно определить половину соответствующего размера, сложив нить вдвое.

**45.** Проще всего, видимо, поступить так. Постепенно изменяя длину маятника, изготовленного из нити и шарика, добьемся совпадения периодов маятника и метронома. Измерив после этого длину нити $l$ и радиус шарика $R$, по формуле

$$T = 2\pi \sqrt{(l + R)/g}$$

рассчитаем период маятника, который и будет равен периоду метронома. Эту операцию следует проделать для как можно большего числа положений грузика на шкале метронома.

Можно и не менять длину нити. В этом случае период маятника рассчитываем только один раз. Затем для каждого положения грузика метронома определяем скольким ударам соответствует целое число колебаний маятника. Умножая число качаний маятника на его период, находим время работы метронома. Разделив эту величину на число ударов метронома, находим его период. Более подробно этот способ рассмотрен далее в решении задачи 93.

**46.** Поставим лестницу около стены высокого здания и сделаем на расстоянии 4,9 м от его основания отметку. С этой высоты камень будет падать в течение времени

$$t = \sqrt{2h/g} = \sqrt{(2 \cdot 4{,}9 \text{ м})/(9{,}8 \text{ м/с}^2)} = 1 \text{ с}.$$

Теперь остается подобрать такое положение грузика на шкале, чтобы за время падения камня маятник метронома совершал одно колебание.

**47.** Если к бруску приложить на небольшом расстоянии $h$ от его основания горизонтально направленную силу $F$ (рис. 16), превышающую максимальную силу трения покоя $F_{тр} = kmg$, брусок придет в движение. Если же сила $F$ приложена достаточно высоко, брусок может, не трогаясь с места, опрокинуться. Это будет в том случае, когда момент силы $F$ относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости чертежа через точку $A$, окажется больше момента силы тяжести $mg$ относительно той же оси:

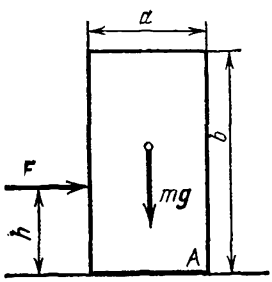

Рис. 16

$$Fh > mga/2,$$

где $a$ — ширина бруска.

Необходимо найти такую точку приложения силы $F$, в которой наблюдается переход от одного случая к другому. Тогда коэффициент трения может быть найден из системы уравнений

$$F = kmg, \quad Fh = mga/2,$$

решая которую, получаем $k = a/2h$. Отсюда видно, что экспериментальное определение коэффициента трения возможно лишь в том случае, если высота бруска $b$ удовлетворяет условию $b > a/2k$.

**48.** Можно, например, повесить кофемолку на шнуре и включить ее в сеть. При этом корпус кофемолки начнет вращаться в сторону, противоположную вращению ротора электродвигателя. Впрочем, можно обойтись и без подвешивания: если держать кофемолку в руке, то в момент включения рука ощущает толчок, стремящийся повернуть ее в сторону, противоположную направлению вращения дигателя.

**49.** Если положить шары рядом на наклонную плоскость и отпустить их, то медный шар, скатываясь, отстанет от алюминиевого. Причина этого явления состоит в том, что при вращательном движении (а скатывание можно рассматривать как скольжение поступательного и вращательного движений) ускорение определяется не массой тела, а его *моментом инерции* — величиной, играющей во вращательном движении такую же роль (меры инертности), какую

масса играет в поступательном. У медного шара момент инерции больше, поскольку у него отдельные элементы в среднем дальше удалены от оси вращения. (Подробнее о моменте инерции можно прочитать в любом курсе физики для высшей школы.)

**50.** Следует подпереть рейку в середине (уравновесив ее, к примеру, на спинке стула) и закрепить на одном конце взвешиваемое тело. На второе плечо рычага накидываем петлю из проволоки. Натягивая проволоку вертикально вниз, нетрудно уравновесить систему. Чем ближе к точке опоры расположена петля, тем больше необходимая для этого сила. При достаточно малом расстоянии она может превысить прочность проволоки и последняя разорвется. Используя условие равновесия рычага, можем записать для момента разрыва

$$mgl_1 = \frac{\pi D^2}{4}\sigma l_2,$$

где $m$ — искомая масса тела, $l_1$ — расстояние взвешиваемого тела до оси рычага, $D$ — диаметр проволоки, $\sigma$ — предел прочности меди при растяжении (сопротивление на разрыв) и $l_2$ — расстояние петли до точки опоры. Расстояния $l_1$ и $l_2$ находятся по делениям на рейке, а значение $\sigma$ берется из физического справочника.

Для нахождения диаметра проволоки используется способ, суть которого ясна из рассмотрения рис. 11, причем в качестве изображенной на нем линейки применяется та же рейка.

**51.** Расположите зеркало горизонтально и опустите на него шарик. Если шарик не попал в самую нижнюю точку, то он начнет двигаться по поверхности зеркала. Нетрудно видеть, что если шарик движется без вращения (т. е. скользит по поверхности зеркала), то его движение полностью аналогично движению маятника с длиной подвеса $R - r$ (рис. 17). Тогда из формулы для периода колебаний маятника $T = 2\pi\sqrt{(R-r)/g}$ можно найти интересующую нас величину:

$$R = gT^2/4\pi^2 + r.$$

Период определяем с помощью секундомера, а $r$ известно из условия задачи. Поскольку обычно трение достаточно велико, чтобы шарик двигался по поверх-

ности зеркала с вращением, это решение плохо согласуется с опытом. На самом деле

$$T = 2\pi\sqrt{1{,}4\,(R-r)/g}, \quad \text{а} \quad R = gT^2/5{,}6\pi^2 + r.$$

52. Поставив обе колбы на пути лучей, идущих от лампочки, и перемещая лист бумаги, определим, у какой из этих «сферических линз» фокусное расстояние $F$ больше. После этого из формулы

$$1/F = 2\,(n-1)/R,$$

связывающей фокусное расстояние $F$ с радиусом кривизны $R$ колбы и показателем преломления $n$ ее содержимого, можно найти, где показатель преломления больше. Но показатель преломления вещества может быть выражен через скорости света в вакууме ($c$) и в данном веществе ($v$):

$$n = c/v,$$

что и позволяет окончательно определить, в какой жидкости скорость света больше.

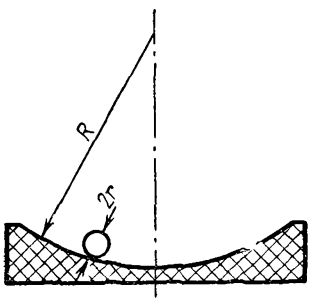

Рис. 17

53. В процессе записи звука на граммпластинку на равных расстояниях друг от друга наносятся бороздки. Эти бороздки рассеивают падающий на пластинку свет, а промежутки между ними отражают его так, что пластинка ведет себя подобно отражательной дифракционной решетке, период которой $d$ равен расстоянию между бороздками.

Пусть на дифракционную решетку под углом $\theta$ падает монохроматическая волна длины $\lambda$. В соответствии с принципом Гюйгенса — Френеля каждая точка отражающей поверхности становится центром вторичных волн, распространяющихся по всевозможным направлениям. Рассмотрим те из них, которые пойдут под углом $\varphi$ к решетке (рис. 18). С помощью собирающей линзы, роль которой может играть и хрусталик глаза, их можно собрать в одну точку. Найдем условие, при котором сложение волн приведет к их взаимному усилению.

Разность хода лучей *1* и *2*, идущих от соответствующих точек *A* и *B* двух соседних отражающих участков решетки (рис. 19), равна

$$AK - NB = d \sin \varphi - d \sin \theta = d(\sin \varphi - \sin \theta),$$

где $AN$ — фронт падающей волны, $KB$ — фронт волны, идущей от решетки под углом $\varphi$. Если разность хода кратна длине волны, то фазы колебаний, пришедших из точек *A* и *B*, будут одинаковыми, и колебания будут усиливать друг друга. Аналогичным об-

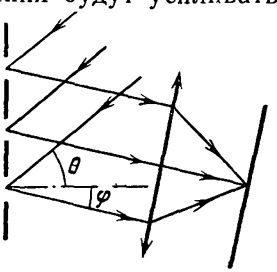


Рис. 18

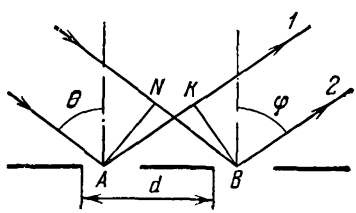


Рис. 19

разом ведут себя все остальные участки решетки. Стало быть, условие образования максимумов (точнее, *главных* максимумов) имеет вид

$$d|\sin \varphi - \sin \theta| = k\lambda,$$

где $k = 0, 1, 2, 3$ и т. д. Центральному (иначе нулевому) максимуму соответствует $k = 0$. По обе стороны от него располагаются вначале два максимума первого порядка, затем два — второго и т. д. Последняя формула позволяет рассчитать $\lambda$, если известны период решетки $d$, угол $\theta$ падения волны и направление на какой-либо, например первый, максимум — угол $\varphi_1$.

Период решетки нетрудно найти, измерив расстояние $\Delta R$, на которое перемещается за время $\Delta t$ вдоль радиуса игла при проигрывании пластинки:

$$d = \Delta R / n \Delta t,$$

где $n$ — число оборотов пластинки за единицу времени; его можно прочитать на этикетке пластинки.

В качестве источника света используем настольную лампу, лучи от которой проходят через небольшое отверстие в картонном экране. Установив лампу

около одной стены комнаты, положим пластинку горизонтально около противоположной стены и найдем изображение щели (рис. 20). Оно является нулевым дифракционным максимумом. Одновременно по обе стороны от него мы увидим цветные полосы, обращенные фиолетовыми концами к нулевому максимуму. Это спектры первого, второго и т. д. порядков. Наиболее отчетливо видны спектры первого порядка, спектры второго и третьего порядков уже частично перекрываются, а потому наблюдаются хуже (кроме

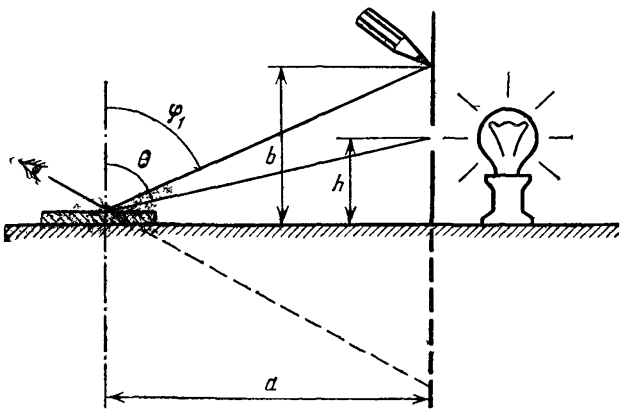


Рис. 20

того, с увеличением номера спектра его интенсивность быстро убывает). Закрыв отверстие в экране светофильтром, мы увидим, как разноцветные полосы превратятся в узкие одноцветные линии.

Для определения $\sin\varphi_1$ попросим товарища подержать карандаш (или заостренную палочку) над щелью так, чтобы его изображение в ограженном от решетки (как от плоского зеркала) свете совпало с первым дифракционным максимумом (рис. 20). Измерив линейкой $a$, $b$ и $h$, найдем

$$\sin\varphi_1 = a/\sqrt{a^2+b^2}, \quad \sin\theta = a/\sqrt{a^2+h^2}.$$

Поскольку $a \gg b$ и $a \gtrsim h$, то

$$a/\sqrt{a^2+b^2} = 1/\sqrt{1+b^2/a^2} \approx 1 - b^2/2a^2,$$

$$a/\sqrt{a^2+h^2} = 1/\sqrt{1+h^2/a^2} \approx 1 - h^2/2a^2.$$

Поэтому длина волны равна

$$\lambda = d\,|\sin\varphi_1 - \sin\theta| \approx d\,|h^2 - b^2|/2a^2.$$

Легко проверить, что с увеличением угла падения $\theta$ растет угол $\varphi_1$, что облегчает его измерение. Именно поэтому пластинку нужно располагать подальше от лампы.

**54.** Им следует поступить так, как это показано на рис. 21. Сначала по доскам пройдет взрослый и встанет на место ребенка, а затем по мостику перейдет ребенок.

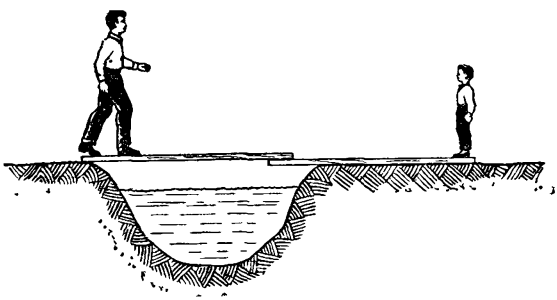

Рис. 21

**55.** Пусть молния проскочила между точками $A$ и $B$ соседних облаков (рис. 22). Находящийся в точке $C$ человек услышит вначале звук, пришедший из точки $B$, а затем уже — из более удаленной точки $A$. Разница возникает потому, что путь $AC$ больше, чем $BC$, на отрезок $AD$. Если наблюдатель находится в благоприятных условиях (т. е. точки $A$, $B$ и $C$ лежат практически на одной прямой), разница между $AD$ и $AB$ невелика. Поэтому, подсчитав расстояние $AD$, умножением длительности грома на скорость звука, можно считать его равным длине молнии.

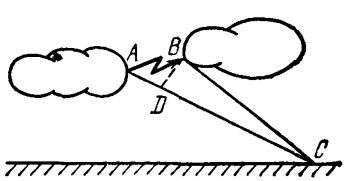


Рис. 22

**56.** Если экспериментатор находится непосредственно у колокола, он воспринимает звук в момент удара. Однако по мере удаления от колокола видимые и слышимые удары перестают совпадать, так

как на прохождение пути от колокола до человека звуковым волнам требуется значительно большее время, чем световым (в большинстве практически важных случаев можно считать, что свет распространяется мгновенно). Сначала разница во времени растет, но затем начинает уменьшаться, и на некотором расстоянии человек снова услышит и увидит удар одновременно. По мере удаления от колокола это будет *происходить периодически.*

В первый раз совпадение произойдет на таком расстоянии, которое звук проходит за промежуток времени между двумя последующими ударами. При этом, наблюдая удар, человек будет слышать звук предыдущего удара. Поскольку по условию задачи интервал между ударами равен одной секунде, то достаточно измерить расстояние от колокола до того места, где слышимые и видимые удары снова начинают совпадать, чтобы найти числовое значение скорости звука.

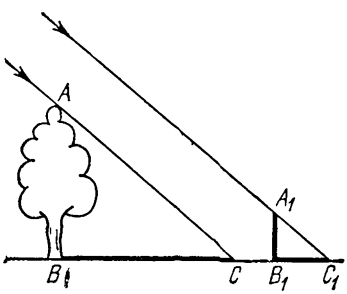

Рис. 23

**57.** Решение иллюстрирует рис. 23. Поставив линейку вертикально, отметим на земле длину тени $B_1C_1$, а потом измерим ее, а также длину тени $BC$ от дерева. Из подобия треугольников $ABC$ и $A_1B_1C_1$ находим высоту дерева, равную

$$AB = \frac{A_1B_1}{B_1C_1} BC,$$

где $A_1B_1$ — известная длина линейки.

**58.** Нужно нажать пусковую кнопку секундомера в тот момент, когда на световом табло значение скорости $v_1$ меняется на следующее, $v_2$, и остановить секундомер, когда происходит очередное изменение показаний от значения $v_2$ до $v_3$.

Если автомобиль начнет движение со скоростью $v_1$ непосредственно перед сменой показаний табло, то он подъедет к следующему светофору на зеленый свет, пройдя расстояние $L$ до светофора за время $t_1 = L/v_1$. Если же движение начинается в момент

смены показаний табло с $v_2$ на $v_3$ (т. е. в момент остановки секундомера), то скорость автомашины должна быть не менее $v_2$, и расстояние $L$ будет пройдено за время $t_2 = L/v_2$. Совершенно очевидно, что разность $t_1 - t_2$ равна показаниям секундомера $\tau$. Таким образом,

$$\tau = L/v_1 - L/v_2, \quad \text{откуда} \quad L = v_1 v_2 \tau/(v_2 - v_1).$$

Например, если $v_1 = 45$ км/ч, $v_2 = 50$ км/ч и $\tau = 8$ с, то расстояние до следующего светофора равно

$$L = \frac{45 \text{ км/ч} \cdot 50 \text{ км/ч}}{(50 \text{ км/ч} - 45 \text{ км/ч})} \cdot \frac{8}{3600} \text{ ч} = 1 \text{ км}.$$

**59.** Нужно измерить рулеткой расстояния $l_1$ и $l_2$, которые мальчики, оттолкнувшись друг от друга, проедут до полной остановки. Умножив эти расстояния на соответствующие массы, коэффициент трения $k$ и ускорение свободного падения $g$, найдем работы тормозящих сил:

$$A_1 = km_1gl_1, \quad A_2 = km_2gl_2,$$

которые равны, разумеется, первоначальным кинетическим энергиям:

$$A_1 = m_1v_1^2/2, \quad A_2 = m_2v_2^2/2.$$

Отсюда имеем следующие равенства:

$$kgl_1 = v_1^2/2, \quad kgl_2 = v_2^2/2.$$

Поделив их почленно, получим

$$l_1/l_2 = v_1^2/v_2^2.$$

С другой строны, импульсы, полученные мальчиками при отталкивании друг от друга, должны быть равны по модулю:

$$m_1v_1 = m_2v_2, \quad \text{откуда} \quad v_1^2/v_2^2 = m_2^2/m_1^2.$$

Приравнивая отношение квадратов скоростей, получим для искомой величины отношение

$$m_2/m_1 = \sqrt{l_1/l_2}.$$

Поскольку расстояния $l_1$ и $l_2$ измерены, задача решена. Следует только отметить, что заслуживающий доверия результат можно получить лишь в том случае, если измерения проделаны неоднократно и во внимание принято среднее значение.

**60.** Установим рейку вертикально и измерим рулеткой длину $l_1$ тени, которую она отбрасывает. Затем отойдем от берега немного дальше, вновь поставим рейку перпендикулярно земной поверхности и опять измерим длину $l_2$ ее тени. Из подобия треугольников

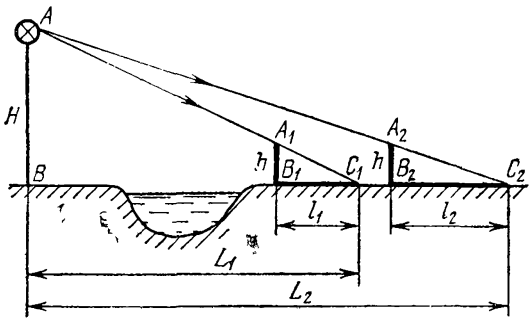


Рис. 24

$ABC_1$ и $A_1B_1C_1$, а также $ABC_2$ и $A_2B_2C_2$ (рис. 24) запишем пропорциональность сходственных сторон:

$$H/h = L_1/l_1, \quad H/h = L_2/l_2.$$

Из полученных пропорций найдем $L_1$ и $L_2$:

$$L_1 = Hl_1/h \tag{1}$$

$$L_2 = Hl_2/h. \tag{2}$$

Вычитая из второго выражения первое, получим

$$L_2 - L_1 = (H/h)(l_2 - l_1).$$

Отсюда высота столба $H$ равна

$$H = (L_2 - L_1)\,h/(l_2 - l_1).$$

Чтобы ответить на второй вопрос задачи, уравнение (1) разделим на уравнение (2):

$$L_1/L_2 = l_1/l_2.$$

Воспользовавшись свойствами производных пропорций (см. Приложение VII к книге), имеем

$$L_1/(L_2 - L_1) = l_1/(l_2 - l_1),$$

откуда расстояние $L_1$ до столба равно

$$L_1 = (L_2 - L_1)\,l_1/(l_2 - l_1).$$

Необходимые для вычисления $H$ и $L_1$ значения $h$, $l_1$, $l_2$ и $L_2 - L_1$ находим с помощью рулетки.

**61.** Возможны, например, следующие два варианта решения.

А. Установим ствол пистолета вертикально вверх, произведем выстрел и измерим рулеткой высоту $h$, на которую поднимется пуля. Из закона сохранения энергии $mv^2/2 = mgh$, легко получить следующее выражение для скорости пули: $v = \sqrt{2gh}$.

Б. Можно также установить пистолет горизонтально и измерить расстояние $l$, на которое улетит пуля. Если высота ствола над уровнем пола (земли) равна $h$, то пуля будет находиться в полете в течение времени $t = \sqrt{2h/g}$, пролетев за это время по горизонтали расстояние $l = vt$. Исключая из этих двух уравнений время $t$, получим

$$v = l\sqrt{g/2h}.$$

В этой и двух последующих задачах мы пренебрегаем влиянием сопротивления воздуха на характер движения рассматриваемых объектов, что допустимо ввиду малости их скоростей.

**62.** Установив ствол пистолета вертикально вверх, определим по секундомеру время $t_0$, прошедшее с момента выстрела до падения пули на землю. Высота $h$, на которой находится тело, брошенное вертикально вверх с начальной скоростью $v_0$, спустя время $t$ после броска может быть найдена из уравнения

$$h = v_0 t - gt^2/2.$$

Полагая в этом выражении $h = 0$, что соответствует как началу, так и концу полета пули, получим неполное квадратное уравнение

$$gt^2/2 - v_0 t = 0,$$

решения которого имеют вид

$$t_1 = 0, \quad t_2 = 2v_0/g.$$

Первое решение, как нетрудно догадаться, относится к моменту выстрела, второе — к моменту падения пули на землю. Поэтому, полагая $t_2$ равным полному времени полета пули $t_0$, получим

$$t_0 = 2v_0/g, \quad \text{откуда} \quad v_0 = gt_0/2.$$

Можно предложить и более простое решение. Так как в верхней точке траектории скорость пули равна нулю, из соотношения $v_t = v_0 - gt = 0$ находим время подъема $t = v_0/g$. После этого имеем

$$t_0 = 2v_0/g,$$

поскольку путь вверх и вниз занимает одинаковое время. Но, во-первых, последнее утверждение требует отдельного (и, в сущности, не особенно простого) обоснования, а во-вторых, полезно ознакомиться и с изложенным методом рассуждений, который может пригодиться при решении более сложных задач.

**63.** Пусть мальчик и девочка поочередно бросят мяч горизонтально. Измерим рулеткой дальности полета $L_1$ и $L_2$ мяча в обоих случаях.

Дальность полета мяча можно записать как произведение начальной скорости на время движения. Последняя величина находится из рассмотрения движения по вертикали. Если высота, на которой начинается полет мяча, равна $h$, то время полета равно $t = \sqrt{2h/g}$, и для дальностей полета получаем соответственно

$$L_1 = v_1\sqrt{2h_1/g}, \quad L_2 = v_2\sqrt{2h_2/g}.$$

Разделив первое выражение на второе, имеем для отношения дальностей полета

$$L_1/L_2 = (v_1/v_2)\sqrt{h_1/h_2}.$$

Отсюда отношение скоростей равно

$$v_1/v_2 = (L_1/L_2)\sqrt{h_2/h_1}.$$

Таким образом, для решения задачи достаточно измерить рулеткой дальности бросков и высоты, с которых начинаются полеты мячика. Чтобы упростить измерения и решение, можно уравнять $h_1$ и $h_2$, попросив более низкого из соревнующихся встать на подставку подходящей высоты. Тогда $v_1/v_2 = L_1/L_2$.

**64.** Встав у самой реки, выберем на противоположном берегу, в непосредственной близости от воды, два хорошо заметных предмета и найдем такую травинку, чтобы, находясь в вытянутой руке, она закрывала промежуток между выбранными предметами. Разумеется, один глаз при этом должен быть закрыт. После этого сложим травинку вдвое и отойдем от

берега на такое расстояние, пока травинка вновь не закроет промежуток между теми же ориентирами. Затем измерим расстояние между точками, где мы стояли сначала и потом. Оно и будет равно ширине реки.

Действительно, из подобия треугольников $ABC$ и $ODC$ (рис. 25, *а*) можно записать

$$AB/OD = AC/OC, \qquad (1)$$

где $AB$ — расстояние между выбранными предметами, $AC$ — расстояние от них до первой точки наблюдения

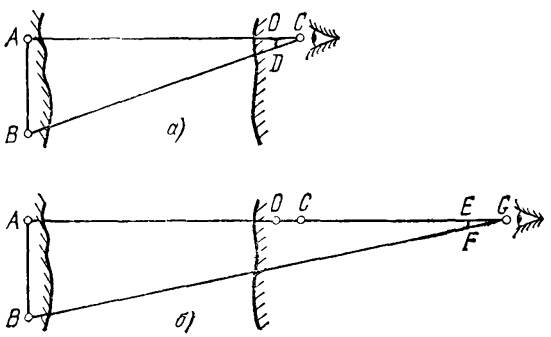


Рис. 25

(ширина реки), $OD$ — размер травинки и $OC$ — длина вытянутой руки.

Аналогично, из подобия треугольников $ABG$ и $EFG$ (рис. 25, *б*) имеем

$$AB/EF = AG/EG,$$

или, поскольку $EF = OD/2$ и $EG = OC$,

$$2AB/OD = AG/OC. \qquad (2)$$

Поделив равенства (2) и (1) почленно, получим

$$2 = AG/AC, \quad \text{откуда} \quad AC = AG/2 = CG.$$

Расстояние $CG$ измеряется шагами.

**65.** Из перечисленного в условии задачи набора предметов легко соорудить простейший гальванический элемент, использовав в качестве электролита раствор нашатыря в воде, а для изготовления электродов — медную проволоку и цинк. Проткнув проволоку и цинк через пробку, можно сделать «плавающие электроды», как это показано на рис. 26.

Если замкнуть электроды соленоидом, состоящим из нескольких витков проволоки (на рис. 26 показан всего один виток), то по цепи пойдет ток и ось соленоида установится по магнитному меридиану. Поскольку знаки полюсов изготовленного элемента известны (медь — положительный полюс, цинк — отрицательный), нетрудно, пользуясь правилом буравчика, определить магнитные полюса соленоида, а после этого — направление на Северный и Южный полюсы Земли.

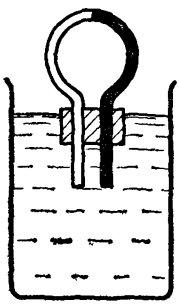

Рис. 26

**66.** Прежде всего, из транспортира и грузика соорудим примитивный эклиметр — прибор для измерения лежащего в вертикальной плоскости угла $\alpha$ между горизонталью и направлением на некоторую точку (схематически прибор показан на рис. 27). Затем поставим блюдце со ртутью на землю и отойдем от него на такое расстояние, чтобы видеть в нем отражение вершины башни, после

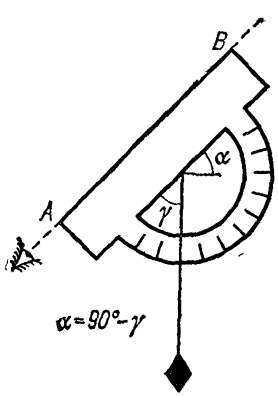


Рис. 27

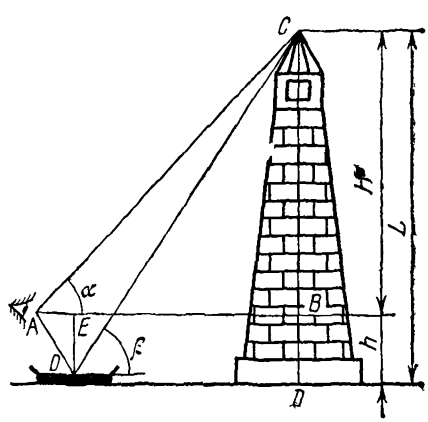


Рис. 28

чего измерим эклиметром показанные на рис. 28 углы $\alpha$ и $\beta$.

Из треугольника $ABC$ имеем

$$AB = BC \operatorname{ctg} \alpha = (L - h) \operatorname{ctg} \alpha,$$

С другой стороны,

$$AB = AE + EB,$$

причем

$$AE = OE \operatorname{ctg} \beta = h \operatorname{ctg} \beta, \quad EB = DC \operatorname{ctg} \beta = L \operatorname{ctg} \beta.$$

Подставляя эти значения в предыдущую формулу и приравнивая оба выражения для $AB$, получим

$$(L - h) \operatorname{ctg} \alpha = h \operatorname{ctg} \beta + L \operatorname{ctg} \beta,$$

откуда

$$L = \frac{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta}{\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta} h = \frac{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha} h,$$

где $h$ — расстояние от земной поверхности до глаз человека, известное по условию задачи.

Поскольку ртуть токсична, то в опыте следует соблюдать осторожность. Можно также, хотя и с меньшим успехом, заменить ртуть водой. В этом случае полезно дно блюдца зачернить.

**67.** По мере увеличения высоты над уровнем моря атмосферное давление убывает. С другой стороны, с уменьшением давления уменьшается температура кипения воды. Это обстоятельство иногда используется альпинистами для определения высоты подъема. Точные результаты получаются, если применяются специальные таблицы, а для грубых подсчетов достаточно помнить, что понижение температуры кипения воды составляет примерно 0,3 °С на каждые 100 м подъема.

**68.** Пусть на некотором (неизвестном) расстоянии $L$ от источника света измеренная люксметром освещенность равна $E_1$. Отойдем от источника света дополнительно на расстояние $l$ и вновь воспользуемся люксметром. Пусть во втором случае его показания составят $E_2$. На основании законов освещенности можем записать, что

$$E_1 = I/L^2, \quad E_2 = I/(L + l)^2,$$

где $I$ — сила света источника, подлежащая определению. Находя $L$ из первого уравнения и подставляя полученное значение во второе, получим иррациональное уравнение, откуда и определим силу света $I$:

$$E_2 = \frac{I}{(\sqrt{I/E_1} + l)^2}.$$

Необходимое для вычислений значение $l$ определим рулеткой.

**69.** На неподвижное относительно вращающейся системы тело, например сидящую на диске проигрывателя муху, действует *в этой системе* сила, называемая центробежной силой инерции, которая стремится удалить тело от оси вращения. Если же тело приходит в движение относительно вращающейся системы (муха начинает ползти по диску), появляется, независимо от направления движения, еще одна сила инерции, именуемая кориолисовой, действующая под прямым углом к направлению вектора скорости движения тела.

Двигающиеся по поверхности Земли люди не замечают этой силы только потому, что ее значение мало́ вследствие сравнительно медленного вращения Земли. Однако именно силы Кориолиса приводят к тому, что все реки, текущие в северном полушарии в самых разных направлениях, подмывают сильнее правые берега, а в южном — левые (этот закон был сформулирован русским академиком К. М. Бэром в 1857 г.). По этой же причине ветры и морские течения в северном полушарии заворачивают направо, а в южном — в противоположном направлении.

Сила Кориолиса исчезает только в том случае, когда скорость предмета направлена вдоль оси вращения системы. Наоборот, если движение происходит в перпендикулярном направлении, сила Кориолиса максимальна.

Используя эти сведения, можно решить задачу следующим образом.

Встанем лицом к периферии платформы и покатим шарик от себя. Из-за вращения платформы и появляющейся по этой причине силы Кориолиса его траектория не будет прямой линией. Если наблюдается отклонение направо, вращение происходит против часовой стрелки (при взгляде на платформу сверху), и наоборот.

Отметим, что задачу можно решить и не привлекая сил Кориолиса, а на основании первого закона динамики (закона инерции).

**70.** Ощущение звука вызывается упругими волнами, распространяющимися в воздухе и имеющими частоту от 20 Гц до 20 кГц. Поскольку в газах возможны лишь продольные волны, распространение звука в воз-

духе сопровождается перемещением от источника к наблюдателю чередующихся областей сжатия и разрежения газа.

Обозначим частоту колебаний, генерируемых сиреной (т. е. число колебаний, излучаемых за 1 с), через $\nu_0$, а скорость их распространения в воздухе через $v$. Если бы электричка находилась в покое, то к концу каждой секунды (т. е. к моменту ухода от сирены $\nu_0$-го колебания) колебание, возникшее в начале этой секунды, удалялось бы от сирены на расстояние, численно равное $v$, так что соседние области сжатий (или разрежений) были бы отделены друг от друга расстоянием $\lambda_0 = v/\nu_0$.

Однако на самом деле сирена вместе с электропоездом движется со скоростью $u$, которую наблюдатель должен определить. Поэтому колебания, издаваемые сиреной *приближающегося* поезда в начале и конце каждой секунды, разделены интервалом, численно равным $v - u$, а области соседних сжатий воздуха — промежутком, равным $\lambda_1 = (v - u)/\nu_0$. Поскольку последовательность колебаний распространяется в воздухе с прежней скоростью $v$, то время, отделяющее приход одного колебания от другого, составит

$$T_1 = \lambda_1/v = (v - u)/\nu_0 v.$$

Следовательно, частота колебаний, воспринимаемая наблюдателем, окажется равной

$$\nu_1 = 1/T_1 = \nu_0 v/(v - u),$$

т. е. больше, чем в случае неподвижной сирены. Рассуждая аналогичным образом, можно получить для частоты звука сирены, *удаляющейся* от наблюдателя, значение

$$\nu_2 = \nu_0 v/(v + u)$$

(меньше, чем для источника звука, *покоящегося* относительно наблюдателя и воздуха)*). Поделив равенства почленно, получим

$$\nu_1/\nu_2 = (v + u)/(v - u).$$

*) Изменение частоты колебаний может происходить также и за счет приближения наблюдателя к *неподвижному* источнику или удалению от него, т. е. при изменении их взаимного рас-

Обозначив для краткости левую часть через $k$, легко находим

$$u = v\,(k - 1)/(k + 1).$$

Таким образом, зная во сколько раз изменяется во время прохождения электрички мимо наблюдателя частота воспринимаемого от сирены звука (это наблюдатель определяет по изменению высоты тона сирены), можно рассчитать скорость электрички. При этом точность расчета может быть довольно высокой, так как в области частот до 4 кГц человеческое ухо способно различить по высоте тоны, отличающиеся на одно колебание в секунду, т. е. для частоты 500 Гц — на 0,002. В то же время при изменении скорости электрички от 20 до 21 м/с (т. е. с 72 до 75,6 км/ч) отношение частот меняется от 1,125 до 1,130, иначе говоря, на 0,005.

**71.** Частицы мыльной пены, упавшей на чистую воду, разбегаются в разные стороны, что объясняется уменьшением сил поверхностного натяжения воды при растворении в ней мыла.

**72.** Если ребята подтягиваются друг к другу за веревку, то ускорения лодок будут одинаковыми только в том случае, когда массы лодок равны, так как силы, действующие на лодки, одинаковы (в соответствии с третьим законом Ньютона обе силы равны по модулю силе $F$ натяжения веревки):

$$a_1 = F/m_1, \quad a_2 = F/m_2.$$

Но тогда должны оказаться одинаковыми и пути, пройденные лодками до встречи, поскольку времена их движения, разумеется, одинаковы:

$$L_1 = a_1 t^2/2, \quad L_2 = a_2 t^2/2.$$

Следовательно, в равенстве масс обеих лодок со всем содержимым мальчики могут быть уверены, добившись равенства путей, проходимых лодками до встречи. Сравнить пройденные пути легко, отмерив веревкой равные расстояния.

---

положения по любой причине. Это явление было предсказано теоретически в 1842 г. австрийским физиком и астрономом Х Доплером (поэтому оно и называется «эффект Доплера»). В 1845 г. голландский ученый Х. Байс-Балло впервые экспериментально подтвердил существование эффекта Доплера для звуковых волн.

**73.** Пусть человек стоит на носу неподвижной лодки. Тогда сумма импульсов (количеств движения) лодки и человека равна нулю. Если пренебречь сопротивлением воды (что можно делать при малых скоростях), эта сумма должна оставаться прежней и в том случае, когда человек начнет перемещаться к корме. Поэтому можно записать:

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

где индексами 1 и 2 обозначены величины, относящиеся к человеку и лодке. Умножив обе части уравнения на время, за которое человек проходит расстояние от носа к корме, получим

$$m_1 v_1 t + m_2 v_2 t = 0, \quad \text{или} \quad m_1 L_1 + m_2 L_2 = 0,$$

откуда

$$m_2 = -m_1 L_1 / L_2.$$

В этом выражении $L_1$ и $L_2$ — перемещения человека и лодки относительно неподвижной воды («абсолютные» перемещения). Учитывая, что человек проходит относительно лодки расстояние $l$, связь между ними можно записать в виде $L_1 = L_2 + l$. Таким образом,

$$m_2 = -m_1 (L_2 + l)/L_2.$$

Следовательно, измеряя длину лодки и пройденный ею путь, можно рассчитать массу лодки, поскольку масса человека по условию известна.

Производя вычисления, нужно иметь в виду, что смещения $l$ и $L_2$ направлены в противоположные стороны и поэтому в приведенной формуле должны фигурировать с разными знаками. Легко видеть, что независимо от принятого правила знаков искомая величина в обоих случаях получится положительной, так как $|l| > |L_2|$. Если под $L_2$ и $l$ понимать *модули* соответствующих перемещений, то расчетную формулу нужно записать таким образом:

$$m_2 = m_1 (l - L_2)/L_2.$$

Поскольку в оба последних выражения входит отношение отрезков $l - L_2$ и $L_2$, совершенно не обязательно выражать их в общепринятых единицах; можно, например, выломать небольшой прутик и определить, сколько раз он укладывается на этих отрезках. Так что можно обойтись даже и без веревки. Однако

удобнее вначале отмерить от нее два куска, равные отрезкам $L_2$ и $l - L_2$, а затем измерять уже их.

**74.** По-видимому, турист выключил свой походный приемник в тот момент, когда услышал первый сигнал проверки времени, одновременно заметив показания секундной стрелки часов. Второй раз он засек время, услышав тот же сигнал проверки, пришедший от громкоговорителя, установленного на базе. Разность времен $\Delta t$, умноженная на скорость звука $v$, дает расстояние между местом привала туристов и базой:

$$l = v\,\Delta t.$$

Можно подсчитать, что при расстояниях порядка 3 км относительная погрешность расчета не более 10 %, что не так уж плохо.

Легко видеть, что расчет можно выполнить не только во время проверки времени: вместо сигнала точного времени можно выбрать конец какой-либо фразы, передаваемой по радио. Однако пользуясь сигналами точного времени (по программе «Маяк» они передаются каждый час), можно приближенно определить расстояние до базы, если оно не очень велико, даже без помощи часов. Действительно, пусть пятый сигнал (напоминаем, что всего их передается шесть с секундными интервалами), который услышат туристы по своему приемнику, совпадет с первым сигналом, дошедшим от установленного на базе громкоговорителя. Это означает, что на прохождение пути от базы до места привала звуку потребовалось 4 с. Умножая это время на скорость звука, находим искомое расстояние по прямой.

Нетрудно видеть, что использованный здесь прием несколько напоминает тот, о котором рассказано в решении задачи 56.

**75.** Эта задача решается с помощью закона Бойля — Мариотта. Аквалангисту следует погрузиться на дно озера, держа мензурку отверстием вниз, и посмотреть, на каком делении установится уровень вошедшей в нее воды (рис. 29). При нормальном атмосферном давлении $p_0$ воздух в мензурке занимал объем $V_1 = lS$, где $l$ — высота, а $S$ — площадь поперечного сечения мензурки. На дне озера давление возрастет до значения, равного

$$p = p_0 + \gamma g h,$$

где $h$ — искомая глубина озера, $\gamma$ — плотность воды и $g$ — ускорение свободного падения. Поэтому объем воздуха в мензурке уменьшится до $V_2 = xS$, где $x$ — высота воздушного столбика в мензурке, когда она находится на дне озера.

Считая температуру и плотность воды на различных глубинах неизменными, имеем на основании закона Бойля — Мариотта следующее равенство:

$$p_0 lS = (p_0 + \gamma g h) xS,$$

откуда, после несложных преобразований, находим, что

$$h = \frac{p_0}{\gamma g} \frac{l - x}{x}.$$

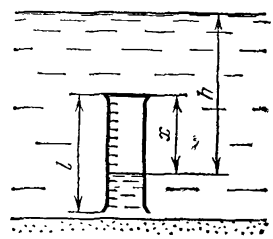

Рис. 29

При этом совершенно несущественно, в каких единицах выражены величины $l$ и $x$. В частности, их можно подставить и в делениях шкалы, нанесенной на мензурке. Дело в том, что в конечное выражение входит отношение *однородных* величин $l - x$ и $x$, которое не зависит, естественно, от выбора единиц длины. Поскольку атмосферное давление меняется во времени сравнительно мало, мы можем считать его постоянной величиной, равной 101,3 кПа. Точно так же практически постоянными являются плотность воды ($10^3$ кг/м$^3$) и ускорение свободного падения (9,8 м/с$^2$).

Цилиндрическая мензурка, очевидно, может быть заменена на коническую. В этом случае уравнение закона Бойля — Мариотта имеет вид

$$p_0 V_1 = (p_0 + \gamma g h) V_2$$

($V_1$ и $V_2$ — объемы, занимаемые воздухом в мензурке соответственно на поверхности и у дна озера, которые можно отсчитать по делениям), и для глубины озера находим

$$h = \frac{p_0}{\gamma g} \frac{V_1 - V_2}{V_2}.$$

Желательно, чтобы деления на мензурках (цилиндрической или конической) были нанесены до самого верха. В противном случае нужно, погрузив мензурку чуть-чуть в воду, зачерпнуть в нее немного

воды, чтобы уровень последней совпал с началом делений.

**76.** Подвесим гирю на леску так, как это показано на рис. 30, а затем потянем леску в направлении, указанном стрелкой $a$. Между силами $F$ и $mg$ существует соотношение

$$mg = 2F\cos(\alpha/2), \quad \text{откуда} \quad F = \frac{mg}{2\cos(\alpha/2)}.$$

Постепенно натягивая леску, мы увеличиваем угол $\alpha$, в результате чего возрастает сила натяжения $F$. Заметив по транспортиру угол, при котором наступает разрыв лески, можно подсчитать допустимую нагрузку. Если леска разрывается даже при $\alpha = 0°$, ее следует сложить вдвое и заново проделать описанную операцию, не забывая разделить конечный результат на два.

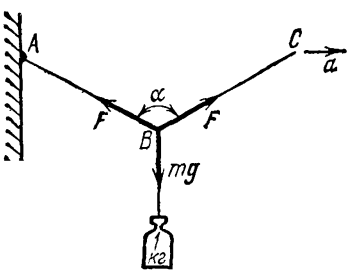

Рис. 30

**77.** Формулу

$$F = \frac{mg}{2\cos(\alpha/2)},$$

полученную при решении предыдущей задачи, можно переписать в следующем виде (рис. 30):

$$F = \frac{mg}{2\sqrt{1-\sin^2(\alpha/2)}} = \frac{mg}{2\sqrt{1-(AC/2)^2/(AB)^2}}.$$

Натягивая леску, нужно определить расстояние между точками $A$ и $C$ в момент обрыва, а также половину длины лески. Эти измерения выполняются с помощью рулетки.

**78.** Постепенно увеличивая частоту вращения лески с привязанной к ней гирей, добиваемся разрыва лески. Действующая на вращающееся тело центростремительная сила равна

$$F_{цс} = mv^2/R = 4\pi^2 n^2 mR,$$

где $n$ — частота вращения, т. е. число оборотов в единицу времени (1 с), $m$ — масса вращающегося тела, $R$ — радиус вращения, $v$ — линейная скорость тела.

Из приведенного выражения видно, что центростремительная сила должна возрастать вместе с ча-

стотой вращения. Но практически возрастать беспредельно она не может, поскольку центростремительная сила обязана своим происхождением натяжению лески, сила которого не превышает величины

$$\frac{\pi D^2}{4}\sigma,$$

где $D$ — диаметр лески, а $\sigma$ — предел прочности (сопротивление на разрыв) материала, из которого она изготовлена.

Приравнивая два последних выражения, получим следующую формулу для определения интересующей нас величины:

$$\sigma = 16\pi n^2 mR/D^2.$$

Необходимое для вычислений значение критической частоты вращения определяется непосредственным подсчетом числа оборотов за некоторое время при частоте, лишь немного меньше критической.

**79.** Вначале с помощью секундомера определим время $t_1$, прошедшее от момента падения камня в воду до прихода к берегу образовавшихся в результате волн, а также их число $n$, достигающее берега за некоторое время $t_2$. Хотя и не особенно точно, можно все же определить линейкой расстояние между двумя «горбами» или двумя «впадинами», т. е. длину приходящих волн $\lambda$.

Очевидно, что искомое расстояние можно записать следующим образом: $x = vt_1$, где $v$ — скорость распространения волн. Поскольку $v = \lambda\nu$, причем $\nu = n/t_2$ ($\nu$ — частота колебаний в приходящей волне), то $x = \lambda\nu t_1 = \lambda(t_1/t_2)n$.

**80.** Если поезд движется слева направо со скоростью $v_п$, то относительно него капли имеют точно такую же по модулю, но противоположно направленную горизонтальную составляющую скорости $v_п'$. Кроме того, дождевые капли движутся относительно вагона также сверху вниз со скоростью, которую нам надо определить и которую мы обозначим $v_x$. Вектор результирующей скорости $v$, как это видно из рис. 31, образует с вертикалью угол $\alpha$, удовлетворяющий условию $\operatorname{tg}\alpha = v_п'/v_x$. Из этого выражения получим для скорости падения дождевых капель $v_x = v_п' \operatorname{ctg}\alpha$. Угол $\alpha$ определим транспортиром, а скорость поезда $v_п$ находим по времени, за которое он проходит путь

от одного километрового столба до другого (эти столбы хорошо видны даже в дождливую погоду).

**81.** Относительно автомобиля капля участвует в двух движениях одновременно — по вертикали и по горизонтали. Результирующая скорость $v$ направлена под некоторым углом $\alpha$ к вертикали, причем (см. решение предыдущей задачи) $\operatorname{tg}\alpha = v_a/v_x$, где $v_a$ — скорость автомобиля, а $v_x$ — интересующая нас скорость падения капли. Тангенс угла $\alpha$ определим, измеряя катеты в прямоугольном треугольнике, образованном следом капли (гипотенуза) и рамками окна (катеты); скорость автомобиля можно отсчитать по спидометру. После этого рассчитаем скорость $v_x$: $v_x = v_a/\operatorname{tg}\alpha$.

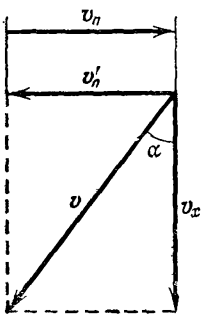

Рис. 31

**82.** Привяжем гирьку к нити и подвесим полученный маятник к потолку вагона. При равноускоренном движении поезда маятник будет отклоняться до тех пор, пока равнодействующая $\boldsymbol{R}$ силы тяжести $mg$ и силы натяжения нити $\boldsymbol{F}$ не приобретет значения, достаточного для сообщения гирьке того ускорения, которым обладает поезд.

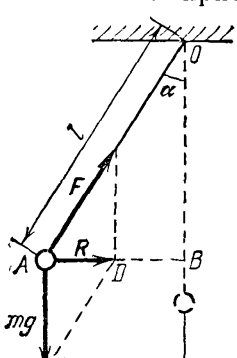

Рис. 32

Из подобия треугольников $AOB$ и $ACD$ (рис. 32) имеем

$$AD/AC = AB/OB,$$

или

$$ma/mg = x/\sqrt{l^2 - x^2},$$

откуда получаем ускорение

$$a = gx/\sqrt{l^2 - x^2},$$

где $l$ — длина маятника, $x$ — его отклонение от положения равновесия, отсчитанное по горизонтали. Таким образом, измерив линейкой длину подвеса и отклонение маятника, можно рассчитать ускорение поезда.

**83.** Из треугольника $ACD$, изображенного на рис. 32, находим

$$(AD)^2 = (DC)^2 - (AC)^2, \text{ или } R = \sqrt{F^2 - (mg)^2}.$$

Последнее равенство можно представить в виде $ma = \sqrt{F^2 - (mg)^2}$, откуда

$$a = \frac{\sqrt{F^2 - (mg)^2}}{m} = g\,\frac{\sqrt{F^2 - (mg)^2}}{mg} = g\sqrt{\left(\frac{F}{mg}\right)^2 - 1},$$

где $mg$ — показания динамометра в поезде, покоящемся или идущем равномерно, а $F$ — в движущемся равноускоренно.

84. Измерив транспортиром угол $AOB$ (рис. 32), находим из соотношения

$$\operatorname{tg} \angle AOB = \operatorname{tg} \angle ACD = R/mg = ma/mg = a/g$$

ускорение поезда: $a = g \operatorname{tg} \alpha$.

85. При изменении температуры от $t_1$ до $t_2$ радиус колеса изменится от $r_1 = r_0(1 + \alpha t_1)$ до $r_2 = r_0(1 + \alpha t_2)$, а длина окружности —

от $l_1 = 2\pi r_1 = 2\pi r_0(1 + \alpha t_1) = l_0(1 + \alpha t_1)$

до $l_2 = l_0(1 + \alpha t_2)$.

Поэтому число оборотов колеса на каком-то расстоянии $L$ изменится

$$\text{от } N_1 = \frac{L}{l_1} = \frac{L}{l_0(1 + \alpha t_1)} \quad \text{до } N_2 = \frac{L}{l_0(1 + \alpha t_2)}.$$

Поделив эти равенства почленно друг на друга, получим

$$N_1/N_2 = (1 + \alpha t_2)/(1 + \alpha t_1),$$

откуда

$$\alpha = (N_2 - N_1)/(N_1 t_1 - N_2 t_2).$$

Величины $N_1$ и $N_2$ определяются по счетчику оборотов, а $t_1$ и $t_2$ — с помощью термометра.

Для стального колеса ($\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\,\text{К}^{-1}$) радиуса 0,5 м число оборотов на пути 100 км при увеличении температуры от —25 до +25 °С (что требует выполнения опыта в разные времена года — зимой и летом!) меняется всего на 19; так что этот метод, конечно, не может претендовать на высокую точность.

86. В комбинации приборов, называемой спидометром, имеется не только указатель скорости, но и счетчик пройденного пути. Поддерживая по спидометру строго постоянную скорость $v$, нужно проехать такое расстояние $s$, чтобы частное от деления второй

величины на первую равнялось одному часу. Иначе говоря, пройденный автомобилем путь в километрах должен быть численно равен его скорости, выраженной в км/ч.

87. Разогнав автомобиль, следует отключить двигатель от ведущих колес и, заметив по спидометру скорость $v$, определить с помощью того же прибора расстояние $s$, пройденное автомобилем до остановки. Приравнивая кинетическую энергию автомобиля работе сил сопротивления, $mv^2/2 = mgks$, находим коэффициент сопротивления движению:

$$k = v^2/2gs.$$

По цифре в правом окошечке спидометра (сотни метров) пройденный путь можно отсчитать с точностью до 50 м (а при некотором навыке и до 30 м). Стрелка спидометра позволяет найти скорость с погрешностью около 2 км/ч. Пользуясь формулами теории погрешностей, находим, что при скорости 80 км/ч и пройденном до остановки пути 600 м относительная погрешность в определении $k$ составляет

$$\frac{\Delta k}{k} = \frac{2\,\Delta v}{v} + \frac{\Delta s}{s} = \frac{2 \cdot 2 \text{ км/ч}}{80 \text{ км/ч}} + \frac{30 \text{ м}}{600 \text{ м}} = 0{,}1 = 10\%.$$

Это не такая уж большая погрешность, так как коэффициенты сопротивления вообще определяются с малой погрешностью, что можно видеть и по величинам, приведенным в соответствующих таблицах.

88. Чтобы привести брусок в равномерное движение вверх по наклонной плоскости, необходимо приложить силу $F_{\text{вверх}}$, равную сумме максимальной силы трения покоя $F_{\text{тр}} = kmg\cos\alpha$ и составляющей $F_1$ силы тяжести бруска, направленной параллельно плоскости. В соответствии с рис. 33 получаем

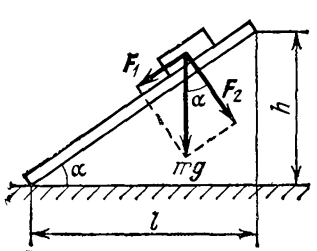

Рис. 33

$$F_{\text{вверх}} = kmg\cos\alpha + mg\sin\alpha.$$

Аналогично можно найти значение силы $F_{\text{вниз}}$, необходимой для равномерного перемещения бруска вниз:

$$F_{\text{вниз}} = kmg\cos\alpha - mg\sin\alpha.$$

Вычитая из первого уравнения второе, имеем $F_{\text{вверх}} - F_{\text{вниз}} = 2mg \sin\alpha$, откуда

$$\sin\alpha = \frac{F_{\text{вверх}} - F_{\text{вниз}}}{2mg}.$$

Так как силы $F_{\text{вверх}}$, $F_{\text{вниз}}$ и $mg$ можно найти с помощью динамометра, последнее выражение позволяет рассчитать синус угла наклона, а затем по таблицам найти и значение самого угла.

При небольшом наклоне можно, впрочем, обойтись и без таблиц, поскольку для малых углов $\sin\alpha \approx \alpha$, если, конечно, угол $\alpha$ выражен в радианах. В этом случае

$$\alpha \approx \frac{F_{\text{вверх}} - F_{\text{вниз}}}{2mg}.$$

Вспомнив, что 1 рад $\approx 57°$ и умножив полученную в радианах величину на 57°/рад, будем знать примерное значение угла наклона в градусах.

**89.** Составив с помощью имеющихся проводников цепь из лампы и аккумулятора, поднесем компас снизу к одному из проводников, выбрав на последнем прямолинейный участок. Магнитное поле заставит стрелку компаса повернуться. По направлению поворота, пользуясь правилом буравчика (или правилом «пловца», или правилом «обхвата») определим направление тока, а затем и знаки полюсов аккумулятора. Наличие лампы для решения задачи не обязательно, поскольку ее роль сводится лишь к ограничению тока в цепи, о чем при кратковременном включении аккумулятора можно не беспокоиться.

**90.** Соединим проводники с полюсами батареи и опустим свободные концы в стакан с водой. В стакане начнется электролиз воды, который можно наблюдать по пузырькам газов, выделяющихся на погруженных в воду концах проводников (чтобы усилить процесс электролиза, полезно капнуть в стакан немного серной кислоты). Так как молекула воды состоит из двух атомов водорода и лишь одного атома кислорода, а при равных давлениях равные объемы должны содержать одинаковое число молекул газа, водорода при электролизе должно выделяться в два раза больше. Поэтому, посмотрев, на каком электроде видно больше пузырьков, легко установить,

где выделяется газообразный водород. После этого нетрудно узнать, с каким полюсом соединен соответствующий проводник, поскольку ионы водорода имеют положительный заряд и этот газ должен выделяться на катоде.

**91.** Присоединим медные проводники к выводным клеммам аккумулятора, а свободные концы воткнем в картофелину. Проходя по ней, электрический ток вызовет электролиз содержащейся в картофелине воды. В результате этого процесса вблизи проводника, ведущего к отрицательному полюсу батареи, будет выделяться водород, а около соединенного с положительным полюсом — кислород. Взаимодействуя с медью, кислород образует окислы и гидроокислы меди, ионы которых окрашивают область около соответствующего проводника в голубовато-зеленый цвет. У второго проводника окрашивания наблюдаться не будет. Таким образом, проводник, около которого картофель зеленеет, соединен с положительным полюсом аккумулятора.

**92.** Пусть автомобилист определит с помощью секундомера время $t$, за которое обруч, выйдя из состояния покоя, скатится по шоссе на расстояние $l$, отмеренное по спидометру автомобиля (это расстояние можно отложить также по известной длине окружности колеса). При этом потенциальная энергия обруча убывает на величину

$$\Delta П = mgh = mgl \sin \alpha,$$

где $\alpha$ — искомый угол. Убыль потенциальной энергии равна приобретенной обручем кинетической энергии. Если бы обруч *скользил* по плоскости, его кинетическую энергию можно было бы рассчитать по формуле

$$T = mv^2/2,$$

где $v$ — скорость движения центра обруча, а $m$ — его масса. Однако при *скатывании* кинетическая энергия является суммой двух слагаемых, выражающих кинетическую энергию, связанную с поступательным перемещением, и кинетическую энергию, обусловленную наличием вращения:

$$T = T_{\text{поступ}} + T_{\text{вращат}}.$$

Поэтому для нахождения кинетической энергии катящегося обруча надо подсчитать кинетическую энер-

гию поступательного движения, не обращая внимания на вращение, а затем, наоборот, вычислить кинетическую энергию, связанную с вращением, забыв о поступательном перемещении, и полученные выражения сложить.

Вообще говоря, кинетическую энергию вращающегося тела вычислить довольно трудно, так как разноудаленные от оси вращения точки обладают различной линейной скоростью (в такого рода вычислениях очень полезным является понятие момента инерции тела, о котором мы уже упоминали в решении задачи 49). Но для обруча задача сильно упрощается, поскольку все его точки отстоят от оси вращения на одинаковое расстояние, равное радиусу обруча.

Если центр масс обруча движется относительно земли со скоростью $v$, то все точки обода обладают относительно центра масс (точнее, относительно системы отсчета, связанной с центром масс) такой же скоростью. Следовательно, второе слагаемое в написанном выше выражении можно представить в следующем виде:

$$T_{\text{вращат}} = \frac{m_1 v^2}{2} + \frac{m_2 v^2}{2} + \ldots + \frac{m_n v^2}{2} = \\ = \frac{v^2}{2}(m_1 + m_2 + \ldots + m_n) = \frac{mv^2}{2},$$

где $m_i$ — массы отдельных «точек» обруча, дающие в сумме $m$ — его полную массу. Следовательно, для полной кинетической энергии обруча получаем

$$T = mv^2/2 + mv^2/2 = mv^2.$$

Считая движение обруча равноускоренным, находим его конечную скорость $v$ после прохождения пути $l$ по необходимому для этого времени $t$, определяемому секундомером:

$$v = 2l/t,$$

после чего выражение для кинетической энергии обруча приобретает вид

$$T = 4ml^2/t^2.$$

Приравнивая это значение убыли потенциальной энергии, получаем

$$mgl \sin \alpha = 4ml^2/t^2,$$

откуда можно найти синус угла наклона шоссе:

$$\sin\alpha = 4l/gt^2.$$

Все величины в последнем выражении либо известны, либо могут быть непосредственно измерены.

Остается добавить, что ввиду относительной малости наклона шоссе, как обычно бывает в большинстве случаев (однако наклон, вместе с тем, не должен быть очень малым, иначе обруч просто не покатится), можно пользоваться приближенным равенством $\sin\alpha \approx \alpha$ (см. решение задачи 88). Кроме того, следует помнить, что приведенное решение справедливо лишь в тех случаях, когда силы сопротивления малы.

**93.** Подвесим оба маятника рядом, чтобы наблюдения за ними можно было вести совместно. Отклонив маятники, одновременно выпустим их из рук. В начальный момент фазы колебаний будут одинаковыми, но постепенно маятник с меньшим периодом «обгонит» другой. Однако через некоторое время колебания снова совпадут по фазе.

Очевидно, что если к этому времени первый маятник совершит $N$ колебаний, то второй на единицу меньше. Поэтому можно записать

$$NT_1 = (N-1)T_2,$$

где $T_1$ и $T_2$ — периоды колебаний первого и второго маятников. Из полученного выражения видно, что, зная период одного маятника (дан по условию), а также $N$ (определяется счетом на опыте), можно определить период второго:

$$T_2 = \frac{N}{N-1}T_1, \quad \text{или} \quad T_1 = \frac{N-1}{N}T_2.$$

**94.** Вырезав из всех сортов бумаги узкие полоски, погрузим их концы в воду. В той полоске, где поры меньше, вода поднимется на бо́льшую высоту.

**95.** Определив сначала с помощью весов массу шарика и измерив мензуркой его объем, рассчитаем среднюю плотность. Получив для нее значение, заметно отличающееся от $2{,}7\cdot10^3$ кг/м$^3$ (табличное значение плотности алюминия), можно быть уверенным, что шарик имеет внутри полость (см. решение задачи 18). Чтобы выяснить, где находится полость, опустим шарик в сосуд с водой. Если полость смещена

относительно центра масс, то шарик будет плавать на поверхности воды (если его средняя плотность окажется меньше плотности воды, что будет в случае полости больших размеров) или погружаться на дно всегда таким образом, чтобы полость находилась в наивысшем положении.

**96.** Будем поворачивать трубку Комптона вокруг горизонтальной оси на 180° и наблюдать за возникающим при этом движением частиц в приборе.

Пусть вначале тор располагался в вертикальной плоскости, параллельной направлению «восток — запад». Тогда перед перевертыванием трубки жидкость, находящаяся в ее верхней части, двигалась на восток вокруг центра Земли с бóльшей скоростью, чем в нижней (чем больше радиус вращения, тем больше линейная скорость). После того как трубка была перевернута, объем, который двигался быстрее, оказался внизу, а двигавшийся медленнее — вверху. В результате возникает медленная циркуляция жидкости по часовой стрелке (если смотреть на трубку с северной стороны).

Чем больше плоскость трубки отклоняется от направления «восток — запад», тем слабее возникающая циркуляция, а если трубка ориентирована в направлении «север — юг», циркуляция не появится вообще. Следовательно, чтобы определить направление «восток — запад», нужно несколько раз повернуть трубку Комптона, всякий раз ориентируя ее поразному, пока не выяснится положение, при котором жидкость циркулирует особенно интенсивно.

Для определения периода циркуляции рассмотрим наиболее простой случай, когда прибор Комптона находится на экваторе, причем его трубка расположена в вертикальной плоскости «восток — запад».

Скорость, которую имеют нижние участки трубки из-за вращения Земли, найдем, разделив проходимый ими за сутки путь $2\pi R$ ($R$ — радиус Земли) на длительность суток $T$: $v_1 = 2\pi R/T$. Если диаметр тора равен $D$, то скорость верхних точек трубки составляет $v_2 = 2\pi(R + D)/T$. После переворачивания трубки на 180° частицы воды, имеющие скорость $v_1$, попадают в участки трубки, движущиеся со скоростью $v_2$. Наоборот, в верхних участках трубки, скорость которых равна $v_2$, оказываются частицы, движущиеся со скоростью $v_1$. Разница скоростей в обоих случаях

одинакова и равна

$$\Delta v_0 = 2\pi D/T.$$

Внизу вода вначале обгоняет стенки трубки, а вверху, напротив, стенки движутся быстрее воды, так что по отношению к оси тора $\Delta v_0$ сверху и снизу направлено в одну сторону (вправо сверху и влево снизу, если смотреть на тор в направлении с юга на север). Поэтому в трубке и возникает циркуляция, скорость которой примерно равна $\Delta v_0$, что при диаметре тора $D = 1$ м составит немногим более 0,07 мм/с (фактически же несколько меньше из-за тормозящего действия воды, находящейся на промежуточных участках, и трения воды о стенки трубки). Путь, равный длине оси тора $\pi D$, частицы воды будут проходить за время

$$T_0 = \pi D/\Delta v_0 = T/2,$$

т. е. за 12 ч.

Также нетрудно показать, что на географической широте $\varphi$ скорость циркуляции и период составят

$$\Delta v_\varphi = 2\pi D \cos\varphi/T, \quad T_\varphi = T/2 \cos\varphi.$$

Из последних двух формул видно, что в приполярных областях циркуляцию наблюдать становится трудно, а на полюсах она будет отсутствовать вообще.

**97.** К середине одного бруска приложите конец второго. Если первый является магнитом, второй притягиваться не будет, поскольку на середине прямолинейного магнита располагается, как правило, так называемая нейтральная линия. Если же наблюдается притяжение, значит, намагничен приложенный брусок. Можно, впрочем, намагнитить прямой брусок и так, что у него на середине будет один из полюсов, например южный, а два северных — на концах (такой брусок можно рассматривать как два магнита, приставленные друг к другу южными полюсами). В этом случае нужно концом одного бруска провести вдоль второго. Если при этом постоянно наблюдается притяжение, значит, первый брусок является магнитом (ведь на его конце обязательно будет полюс). Если же притяжение наблюдается по мере перемещения лишь в некоторых точках, намагничен второй брусок.

**98.** Поставив обе колбы перед настольной лампой, рассмотрим ход лучей через обе жидкости. Поскольку

показатель преломления у воды $n_1 = 1{,}33$, а у спирта $n_2 = 1{,}36$, лучи соберутся после прохождения через колбу со спиртом ближе к колбе, чем после прохождения через колбу с водой.

**99.** Подвесим на блоках гирю известной массы $m_1$ и оба тела $m_2$ и $m_3$ так, как показано на рис. 34, и после того, как система придет в состояние равновесия, измерим транспортиром углы $\alpha_1$, $\alpha_2$ и $\alpha_3$.

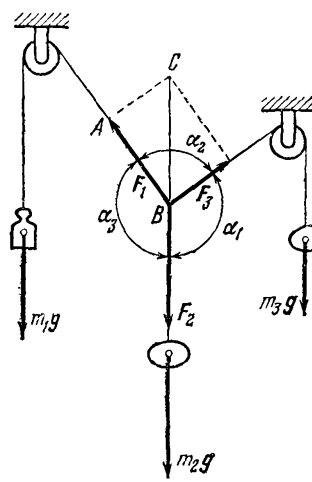

Рис. 34

Рассмотрим силы, действующие на каждое из тел. Из треугольника $ABC$, где $AB = |\boldsymbol{F}_1|$, $BC = |\boldsymbol{F}_2|$ и $CA = |\boldsymbol{F}_3|$, по теореме синусов имеем

$$F_1/\sin \angle ACB = F_2/\sin \angle BAC = F_3/\sin \angle CBA. \quad (1)$$

Из рис. 34 видно, что выполняются следующие равенства:

$$\angle ACB = 180° - \alpha_1,$$
$$\angle BAC = 180° - \alpha_2,$$
$$\angle CBA = 180° - \alpha_3.$$

Поэтому, воспользовавшись известным тригонометрическим тождеством $\sin(180° - \alpha) = \sin\alpha$, равенству (1) можно придать вид

$$F_1/\sin\alpha_1 = F_2/\sin\alpha_2 = F_3/\sin\alpha_3. \quad (2)$$

Поскольку $F_1 = m_1 g$, $F_2 = m_2 g$, $F_3 = m_3 g$, выражение (2) можно переписать следующим образом:

$$m_1/\sin\alpha_1 = m_2/\sin\alpha_2 = m_3/\sin\alpha_3,$$

откуда

$$m_2 = m_1 \sin\alpha_2/\sin\alpha_1, \quad m_3 = m_1 \sin\alpha_3/\sin\alpha_1.$$

Легко сообразить, что задача выполнима лишь в том случае, когда различие в массах тел не особенно велико. Действительно, если, например, $m_1 \gg m_2$ и $m_3$, то какое бы из трех показанных на рис. 34 положений не занимала гиря, система не найдет равновесного положения (гиря перетянет в свою сторону оба других тела). Попробуйте самостоятельно найти условие,

при котором задача может быть выполнена описанным способом.

**100.** Представим, что правый блок на рис. 34 отсутствует и идущий к нему шнур привязан к гвоздю, вбитому на месте блока, а гиря $m_1$ и интересующее нас тело $m_x$ остались на старых местах. Решая задачу так же, как и предыдущую, мы получим в конечном итоге, что искомая масса

$$m_x = m_1 \sin \alpha_2 / \sin \alpha_1.$$

В отличие от предыдущей задачи в этом случае, независимо от соотношения между массами $m_1$ и $m_x$, равновесное положение для системы найдется обязательно.

**101.** Проще всего поступить следующим образом. Пользуясь секундомером, измерим время, в течение которого тележка, двигаясь под действием силы тяжести поставленного на чашку прибора груза массы $m$, проходит определенный путь, допустим от начала подставки до конца. Затем, сняв с тележки исследуемое тело, поставим на нее гири в таком количестве, чтобы тележка проходила прежний путь за то же время, что и в первом случае. Тогда суммарная масса гирь на тележке и даст массу тела.

**102.** Железный сердечник с двумя катушками можно рассматривать как обычный трансформатор. Если одну из его обмоток подключить к источнику переменного тока и измерить напряжения $U_1$ и $U_2$ на его обмотках, можно определить *отношение* числа витков в обмотках, используя пропорцию $U_1/w_1 = U_2/w_2$. Однако эти измерения не дадут возможности определить $w_1$ и $w_2$ *по отдельности*. Поэтому намотаем поверх имеющихся еще одну катушку с известным числом витков $w$. Тогда записанную пропорцию можно будет дополнить еще одним отношением, содержащим напряжение $U$ на дополнительной обмотке:

$$U_1/w_1 = U_2/w_2 = U/w.$$

После этого получим

$$w_1 = wU_1/U, \quad w_2 = wU_2/U.$$

Напряжения $U$, $U_1$ и $U_2$ определяются вольтметром, а $w$ — подсчетом витков при намотке вспомогательной катушки.

**103.** Собрав изображенную на рис. 35 схему и пользуясь законом Ома, определим по показаниям вольтметра ($U$) и амперметра ($I$) сопротивление $R$ катушки электромагнита:

$$R = U/I.$$

После этого микрометром измерим диаметр проволоки $D$ и рассчитаем ее длину:

$$l = \frac{RS}{\rho} = \frac{\pi D^2 U}{4\rho I},$$

а затем и массу:

$$m = \gamma l S = \frac{\pi^2 D^4 U \gamma}{16\rho I}.$$

В последних формулах $\rho$ — удельное сопротивление меди, $\gamma$ — ее плотность; эти величины можно взять из физического справочника.

**104.** Пусть масса пустого капилляра, определенная на весах, равна $m_1$. Наберем в него путем всасывания немного ртути (разумеется, делать это нужно не ртом, поскольку ртуть ядовита, а с помощью резиновой груши) и вновь проведем взвешивание. Пусть масса окажется теперь равной $m_2$. Следовательно, масса $m$ ртутного столбика в капилляре равна

$$m = m_2 - m_1.$$

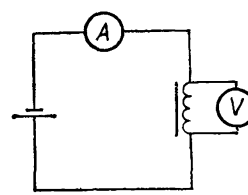

Рис. 35

С другой стороны, $m$ можно выразить через длину $l$ ртутного столбика, его диаметр $D$ и плотность ртути $\gamma$ следующим образом:

$$m = \gamma \frac{\pi D^2}{4} l.$$

Из этих двух равенств получаем, что диаметр однородного стеклянного капилляра равен

$$D = \sqrt{\frac{4(m_2 - m_1)}{\pi \gamma l}}.$$

Поскольку длину ртутного столбика легко найти с помощью линейки, а плотность ртути можно взять из соответствующих таблиц, искомую величину нетрудно рассчитать.

**105.** Закрепим клеем оба картонных диска на оси двигателя на расстоянии $l$ друг от друга так, чтобы их плоскости были перпендикулярны к оси. Если во время работы двигателя выстрелить из винтовки вдоль оси, то пробоины в обоих дисках окажутся смещенными друг относительно друга на угол $\varphi = \omega t = 2\pi nl/v$, где $\omega$ — круговая частота вращения двигателя, которую легко определить по частоте вращения $n$, $t$ — время, необходимое пуле, чтобы пролететь расстояние между дисками, и $v$ — искомая скорость пули. Из записанного равенства находим, что скорость равна $v = 2\pi nl/\varphi$. Рулеткой измеряем $l$, транспортиром — угол $\varphi$, а частота вращения известна по условию задачи.

Отметим, что изложенная здесь идея была использована в 1920 г. немецким физиком О. Штерном в его опытах по определению скорости газовых молекул.

**106.** По закону Гука при не очень больших нагрузках удлинение $x$ пружины прямо пропорционально приложенной силе $F$:

$$F = kx,$$

где $k$ — жесткость пружины, зависящая от материала.

Пусть под действием гири известной массы $m$ закрепленная на штативе пружина испытывает растяжение $x_1$, а под действием тела массы $m_x$ пружина растягивается на $x_2$. Тогда имеем следующие два равенства:

$$mg = kx_1, \quad m_x g = kx_2.$$

Поделив их почленно друг на друга, находим

$$m_x/m = x_2/x_1, \quad \text{откуда} \quad m_x = mx_2/x_1.$$

**107.** Положим брусок на доску, будем приподнимать один ее конец до тех пор, пока брусок не придет в движение. Из рис. 33 видно, что сила $F_1$, стремящаяся сдвинуть его в направлении, параллельном плоскости, равна $mg\sin\alpha$, где $mg$ — сила тяжести бруска. В то же время максимальная сила трения покоя между бруском и плоскостью и сила трения скольжения при не слишком больших скоростях могут быть записаны в виде $F_{тр} = k\,mg\cos\alpha$, где $k$ — искомый коэффициент трения.

При равномерном движении составляющая $F_1$ силы тяжести бруска равна тормозящей силе, т. е.

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

откуда для коэффициента трения получим

$$k = \operatorname{tg} \alpha = h/l.$$

Таким образом, для нахождения коэффициента трения достаточно измерить линейкой $h$ и $l$.

**108.** В решении задачи 88 (рис. 33) найдены выражения для сил, необходимых, чтобы привести брусок в равномерное движение вверх и вниз по наклонной плоскости. Напомним их:

$$F_{\text{вверх}} = kmg \cos \alpha + mg \sin \alpha,$$

$$F_{\text{вниз}} = kmg \cos \alpha - mg \sin \alpha.$$

Вычитая из первого уравнения второе, находим выражение, позволяющее определить синус угла наклона плоскости к горизонту:

$$\sin \alpha = \frac{F_{\text{вверх}} - F_{\text{вниз}}}{2mg}.$$

Складывая те же уравнения, можно получить соотношение для вычисления косинуса того же угла:

$$\cos \alpha = \frac{F_{\text{вверх}} + F_{\text{вниз}}}{2kmg}.$$

Возведя два последних равенства в квадрат и складывая, получаем

$$1 = \left(\frac{F_{\text{вверх}} - F_{\text{вниз}}}{2mg}\right)^2 + \left(\frac{F_{\text{вверх}} + F_{\text{вниз}}}{2kmg}\right)^2,$$

откуда находим коэффициент трения, равный

$$k = (F_{\text{вверх}} + F_{\text{вниз}}) / \sqrt{4m^2g^2 - (F_{\text{вверх}} - F_{\text{вниз}})^2}.$$

Необходимые для выполнения расчета силы $F_{\text{вверх}}$, $F_{\text{вниз}}$ и $mg$ находим с помощью динамометра.

**109.** Закрепим блок на некоторой высоте над полом (например, привинтим его к потолку) и, перекинув через него шнур, привяжем к концам шнура гирю и исследуемое тело. Для упрощения последующих расчетов полезно эти два предмета разместить на одной высоте (расстоянии от пола $h$), как показано на рис. 36. После этого дадим гире и исследуемому телу возможность двигаться. В зависимости от

соотношения между массами гири $m$ и тела $m_x$ возможны следующие три случая.

а) Система покоится. Это будет в том случае, когда масса гири равна массе тела: $m = m_x$. Тогда дальнейшие процедуры не требуются, так как масса определена.

б) Гиря опускается, а тело идет вверх. В этом случае масса гири превышает массу тела: $m > m_x$.

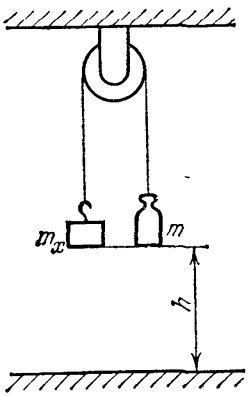

Рис. 36

Пользуясь вторым законом динамики, найдем ускорения обоих тел:

$$a = \frac{mg - m_x g}{m + m_x} = \frac{m - m_x}{m + m_x} g.$$

Путь, пройденный за время $t$ телом, движущимся с постоянным ускорением $a$ при нулевой начальной скорости, может быть найден из уравнения $h = at^2/2$. Подставив сюда записанное выше значение ускорения, получим

$$h = \frac{1}{2} \frac{m - m_x}{m + m_x} gt^2.$$

Отсюда можно найти, что искомая масса равна

$$m_x = \frac{gt^2 - 2h}{gt^2 + 2h} m.$$

Величина $m$ известна по условию задачи, $g$ — ускорение свободного падения, а $t$ — измеряется секундомером. Таким образом, для решения задачи нужно указать способ определения пути $h$, проходимого гирей и телом за время $t$. Здесь можно воспользоваться методом, предложенным в решении задачи 44 для вычисления высоты, длины и ширины комнаты; этот метод сводится к тому, что с помощью длинной нити и гирьки изготавливается «математический маятник», длина которого, равная искомому расстоянию (в нашем случае расстоянию гири или тела до пола), в дальнейшем рассчитывается по формуле маятника, период которого $T$ определен с помощью секундомера: $h = gT^2/4\pi^2$.

в) Гиря поднимается, а тело идет вниз. В этом случае масса гири меньше массы тела: $m < m_x$, и

выражения для ускорения системы и массы исследуемого тела имеют следующий вид:

$$a = \frac{m_x - m}{m_x + m} g, \quad m_x = \frac{gt^2 + 2h}{gt^2 - 2h} m.$$

Все входящие в последнее выражение величины либо известны, либо могут быть определены уже рассмотренными способами.

Остается добавить, что во всех трех случаях для правильного решения задачи необходимо, чтобы трение в оси блока было как можно меньше, а для двух последних, т. е. б) и в), требуется, чтобы как можно меньшей была и масса блока, точнее — его момент инерции.

**110.** Нагреем брусок до 100 °С в банке с водой, поставленной на спиртовку. После этого переместим брусок в калориметр, куда предварительно налита определенная, отмеренная мензуркой, масса воды. Измерим термометром первоначальную и конечную температуры воды, и из уравнения теплового баланса

$$m_1 c_1 (t_{100} - t) = m_2 c_2 (t - t_1) + m_3 c_3 (t - t_1)$$

определим массу бруска $m_1$. В этом уравнении $m_2$ и $m_3$ — массы налитой в калориметр воды и самого калориметра; $c_1$, $c_2$ и $c_3$ — удельные теплоемкости стали, воды и вещества, из которого изготовлен калориметр; $t_1$ и $t$ — начальная и конечная температуры воды в калориметре, $t_{100} = 100$ °С.

**111.** Набьем внутренний стакан одного из калориметров влажным снегом и поставим стакан на плитку. Расплавим снег и доведем образовавшуюся воду (ее должно быть немного меньше половины стакана) до кипения. Пока вода нагревается, охладим внутренний сосуд второго калориметра до 0 °С, поместив туда на некоторое время тающий снег. Когда вода закипит, наполним второй калориметр свежей порцией снега и поставим его на весы. Будем отливать из первого калориметра кипяток, пока весы не уравновесятся. После этого вольем остаток кипятка во влажный снег и, хорошо перемешав их, определим температуру смеси. Последние операции нужно проделывать достаточно быстро, чтобы потери тепла в окружающее пространство не были особенно велики. Теперь можно приступить к расчетам.

Обозначим массы влажного снега и влитого в него кипятка через $m$, температуру после их смешивания $\theta$, удельную теплоемкость воды через $c$, удельную теплоту плавления льда через $\lambda$ и содержание льда во влажном снеге (искомая величина) через $k$. Тогда: количество теплоты, необходимое для плавления льда, содержавшегося во влажном снеге, составит $km\lambda$; количество теплоты, пошедшего на нагревание до температуры $\theta$ воды, образовавшейся при плавлении льда и уже бывшей во влажном снеге, будет равно $mc\theta$; количество теплоты, выделившееся при охлаждении кипятка от температуры 100 °С до температуры $\theta$, выразится таким образом: $mc(t_{100} - \theta)$. Затем из уравнения теплового баланса

$$km\lambda + mc\theta = mc(t_{100} - \theta)$$

находим интересующую нас величину:

$$k = (t_{100}c - 2c\theta)/\lambda.$$

Выясним, при любом ли содержании льда во влажном снеге можно решить задачу таким образом; не окажется ли в некоторых случаях кипятка недостаточно, чтобы расплавить весь лед (тогда термометр покажет 0 °С независимо от первоначального содержания льда)? Для ответа на поставленный вопрос решим уравнение теплового баланса относительно $\theta$:

$$\theta = (t_{100}c - k\lambda)/2c,$$

и заметим, что описанным способом задача разрешима только в том случае, если $\theta$ будет больше 0 °С. Решая неравенство

$$(t_{100}c - k\lambda)/2c > 0,$$

находим необходимое условие:

$$k < t_{100}c/\lambda.$$

Подставляя в правую часть удельные теплоемкость воды и теплоту плавления льда, находим

$$\frac{100\text{К} \cdot 4{,}2\ \text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}}{336\ \text{кДж/кг}} = 1{,}25.$$

Поскольку $k$ по смыслу не может превышать единицу, задача, следовательно, всегда разрешима.

**112.** Уравнение теплового баланса (см. решение задачи 110) в этом случае имеет вид

$$m_1c_1(t_x - t) = m_2c_2(t - t_1) + m_3c_3(t - t_1),$$

где $t_x$ — искомая температура. Таким образом, ее легко найти, решив это уравнение. Масса бруска, если она не известна, определяется разобранным в задаче 110 способом.

**113.** Составим цепь из аккумулятора, амперметра, резистора известного сопротивления $R$ и измерим в ней силу тока $I_1$. По закону Ома

$$I_1 = \mathscr{E}/(R + r), \qquad (1)$$

где $\mathscr{E}$ — э. д. с. аккумулятора, $r$ — его внутреннее сопротивление. Затем вместо резистора известного сопротивления включим в ту же цепь резистор неизвестного сопротивления $R_x$ и снова измерим ток. Новое значение силы тока $I_2$ по тому же закону равно

$$I_2 = \mathscr{E}/(R_x + r). \qquad (2)$$

Следовательно, для определения *трех* величин $\mathscr{E}$, $r$ и $R_x$ имеются лишь *два* уравнения. Такая система, как известно, не имеет единственного решения, и для определения неизвестных величин необходимо еще одно уравнение. Многие затрудняются его составить. Между тем сделать это нетрудно. Достаточно соединить резисторы с искомым и известным сопротивлением либо последовательно, либо параллельно и найти идущий при этом ток; при последовательном соединении этот ток равен

$$I_3 = \mathscr{E}/(R + R_x + r), \qquad (3)$$

а при параллельном —

$$I_4 = \frac{\mathscr{E}}{RR_x/(R + R_x) + r}. \qquad (4)$$

Дополнив уравнения (1) и (2) соотношением (3) или (4), получим систему из трех уравнений, откуда можно найти три неизвестные величины: $\mathscr{E}$, $r$ и $R_x$. В частности, получаем

$$R_x = \frac{I_2(I_3 - I_1)}{I_1(I_3 - I_2)} R,$$

если использованы уравнения (1), (2) и (3), или

$$R_x = \sqrt{\frac{I_1(I_4 - I_2)}{I_2(I_4 - I_1)}} R,$$

если в систему включены уравнения (1), (2) и (4). Подставив значение $R_x$ в (2), получим вместе с уравнением (1) систему, из которой можно найти как $\mathscr{E}$, так и $r$.

**114.** Для вычисления средней скорости велосипедиста понадобится знать путь и время. Путь определим линейкой по карте (масштаб карты обычно указывается), а элемент Грене дает возможность найти время. Дело в том, что при работе любого гальванического элемента в электролите растворяется вещество, из которого изготовлен отрицательный электрод. В элементе Грене, например, протекает следующая реакция:

$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2.$$

Массу $m$ перешедшего в раствор цинка можно найти из первого закона Фарадея по времени $t$ работы элемента и силе тока $I$, текущего по цепи, в которую включен элемент:

$$m = kIt,$$

где $k$ — электрохимический эквивалент цинка. Отсюда вытекает решение задачи. С помощью соединительных проводов составим цепь из элемента, реостата и амперметра, предварительно взвесив цинковый электрод. Эта цепь замыкается во время старта велосипедиста и выключается в момент его возвращения. После этого цинк вновь взвешивается и по разности масс $m_1 - m_2 = m$, силе тока $I$ и взятому из таблиц значению электрохимического эквивалента $k$ определяется время путешествия.

**115.** Чтобы выполнить задание, нужно собрать схему, представленную на рис. 37. Тогда напряжение на первом нагревателе будет меняться со временем либо так, как показано на рис. 38, *а* (при однополупериодной схеме выпрямителя), либо так, как показано на рис. 38, *б* (при двухполупериодной схеме выпрямителя); штриховая линия иллюстрирует зависимость напряжения от времени в обычной сети переменного тока.

Нетрудно видеть, что при двухполупериодном выпрямлении в первом нагревателе за время $\tau$ выделится такое же количество теплоты $Q_1$, как при обычном переменном токе с действующим напряже-

нием $U$*):

$$Q_1' = \frac{U^2}{R}\tau = \frac{U_м^2}{2R}\tau,$$

где $R$ — сопротивление нагревателя.

При однополупериодном выпрямлении ток через нагреватель в первом калориметре идет только в течение половины времени, так что за тот же период $\tau$

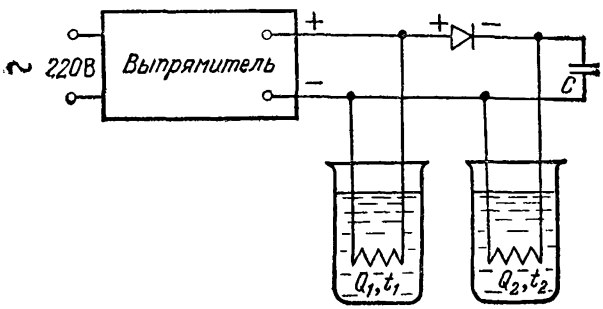


Рис. 37

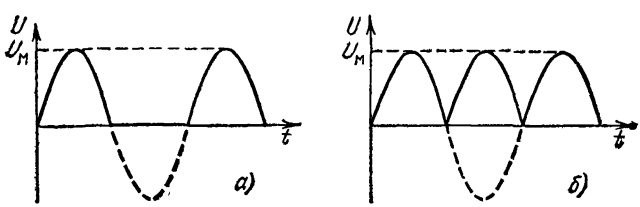


Рис. 38

в этом калориметре выделится количество теплоты $Q_1''$, равное

$$Q_1'' = \frac{Q_1'}{2} = \frac{U_м^2}{4R}\tau.$$

(Если ввести понятие действующего напряжения и для этого случая, то оно окажется равным половине максимального.)

*) Напомним, что действующее напряжение в $\sqrt{2}$ раз меньше максимального $U_м$: в обычной городской сети с действующим (раньше его называли эффективным) напряжением 220 В максимальное, или амплитудное, напряжение составляет примерно 310 В.

Рассчитаем теперь количество теплоты $Q_2$, которое выделится за то же время во втором калориметре. Конденсатор емкости $C$, включенный в цепь так, как показано на рис. 37, заряжается до максимального напряжения $U_м$. Если емкость конденсатора $C$ достаточно велика, то напряжение, подаваемое с него на нагреватель, будет практически постоянным, так что $Q_2$ будет равно

$$Q_2 = \frac{U_м^2}{R}\tau.$$

Таким образом,

$$Q_1'/Q_2 = 1/2, \quad \text{а} \quad Q_1''/Q_2 = 1/4.$$

При одинаковых массах воды в калориметрах и одной и той же начальной температуре воды $t_0$ количества теплоты $Q_1$ и $Q_2$, выделяемые нагревателями, относятся как

$$Q_1/Q_2 = (t_1 - t_0)/(t_2 - t_0),$$

где $t_1$ и $t_2$ — температуры воды в калориметрах, измеренные термометрами через некоторое время после включения выпрямителя в цепь. Из сказанного следует, что если $(t_1 - t_0)/(t_2 - t_0) = 1/4$, то выпрямитель собран по однополупериодной схеме; если же $(t_1 - t_0)/(t_2 - t_0) = 1/2$, выпрямитель собран по двухполупериодной схеме.

**116.** Следует помнить, что в цепи переменного тока каждый конденсатор ведет себя как резистор, сопротивление которого обратно пропорционально емкости, $R = 1/\omega C$, где $\omega$ — круговая частота переменного тока. Таким образом, общее сопротивление составленной из конденсаторов схемы в цепи переменного тока будет пропорционально $C_{общ}^{-1}$. Если сопротивление схемы, состоящей из одинаковых резисторов, включенных между собой так же, как конденсаторы, равно $R_{общ}$, то можно написать пропорцию

$$C_{общ}/C = R/R_{общ}, \qquad (1)$$

из которой получим

$$C_{общ} = RC/R_{общ}.$$

По условию задачи емкость одного коиденсатора известна, а $R$ и $R_{общ}$ можно найти по закону Ома, со-

ставив цепь из батареи аккумуляторов, амперметра, вольтметра и резисторов.

К этому же заключению можно прийти несколько иным способом. При последовательном соединении резисторов складываются их сопротивления, а при последовательном соединении конденсаторов — величины, обратные их емкостям. Наоборот, при параллельном соединении резисторов складываются величины, обратные их сопротивлениям, а при параллельном соединении конденсаторов суммируются их емкости. Следовательно, в любой комбинации из параллельных и последовательных соединений $1/C$ ведет себя так же, как величина $R$, откуда снова вытекает прежнее равенство (1).

**117.** Сопротивление $R$ отрезка проволоки, равного по длине высоте комнаты, можно определить по закону Ома, собрав цепь, в которой источником тока является аккумулятор, а внешним участком (нагрузкой) — упомянутый отрезок. Если амперметр, включенный последовательно с ним, показывает ток силы $I$, а соединенный параллельно вольтметр регистрирует разность потенциалов $U$, то

$$R = U/I = \rho l/S,$$

где $S$ — площадь поперечного сечения проводника, а $\rho$ — удельное сопротивление меди.

С другой стороны, массу $m$ этого отрезка, определенную с помощью весов, можно выразить через его длину $l$, площадь сечения $S$ и плотность меди $\gamma$ следующим образом:

$$m = \gamma l S.$$

Перемножая равенства, получаем

$$mU/I = \rho\gamma l^2, \quad \text{откуда} \quad l = \sqrt{mU/\rho\gamma I}.$$

Величины $I$, $U$ и $m$ измеряем на опыте, а значения $\rho$ и $\gamma$ берем из справочника. (Таким же образом мы определяли длину и ширину комнаты, а затем находили ее объем.) Если падение напряжения на отрезке, равном длине комнаты, мало́ и с трудом определяется по вольтметру, нужно включить в цепь отрезок, длина которого в некоторое целое число раз превышает размер комнаты (для этого достаточно уложить проволоку по длине, ширине или высоте комнаты несколько раз).

**118.** Из решения предыдущей задачи следует, что, взвесив отрезок проволоки, длина которого равна высоте комнаты, и используя взятое из справочника значение плотности меди, можно рассчитать произведение длины отрезка на площадь его поперечного сечения:

$$lS = m/\gamma.$$

Постепенно увеличивая массу подвешенных к проволоке гирь, определим критическую нагрузку $P_{кр}$, при которой произойдет разрыв проволоки. Эта нагрузка пропорциональна площади поперечного сечения проволоки:

$$P_{кр} = m_{кр}g = \sigma S,$$

где $\sigma$ — предел прочности меди (см. решение задач 50 и 78), значение которого можно взять из справочника. Перемножая последние два равенства почленно, получим после сокращения на $S$:

$$m_{кр}gl = m\sigma/\gamma, \quad \text{откуда} \quad l = m\sigma/m_{кр}\gamma g.$$

Таким же образом определяется длина и ширина аудитории, а после этого — ее объем. К сожалению, для различных сортов меди предел прочности меняется в довольно широких пределах. Поэтому хорошие результаты есть надежда получить лишь в том случае, когда используется медь, для которой сопротивление на разрыв известно достаточно точно.

**119.** Частота $N$ биений между камертоном и органной трубой равна

$$N = \nu_к - \nu_т,$$

где $\nu_к$ — частота звука, издаваемого камертоном, и $\nu_т$ — частота звука, издаваемого органной трубой. Первая величина постоянна по условию, тогда как $\nu_т$ меняется при нагревании или охлаждении воздуха в помещении. В самом деле, длину $\lambda$ звуковой волны, идущей от органной трубы, можно выразить через скорость распространения звука $v$ и его частоту $\nu_т$ следующим образом:

$$\lambda = v/\nu_т.$$

С другой стороны, для открытой органной трубы длина волны основного тона

$$\lambda = 4l,$$

где $l$ — длина трубы. Из двух последних равенств получаем, что частота звука, издаваемого органной трубой, равна

$$\nu_т = v/4l. \qquad (1)$$

Звуковые волны распространяются в воздухе со скоростью того же порядка, какой при данной температуре обладают его молекулы. Так как кинетическая энергия последних прямо пропорциональна термодинамической температуре $T$ ($mv_м^2/2 \sim T$), то скорость молекул $v_м$, а следовательно, и скорость звука $v$ прямо пропорциональны корню квадратному из $T$: $v_м \sim v \sim \sqrt{T}$. Отсюда отношение скорости звука $v$ при некоторой температуре $T$ к ее значению $v_0$ при температуре $T_0 = 0\,°C$ равно

$$v/v_0 = \sqrt{T/T_0}.$$

Учитывая записанное выше равенство (1), выражающее зависимость между частотой звука, издаваемого органной трубой, и скоростью распространения звуковых волн, мы можем переписать последнее выражение в следующем виде:

$$\nu_т/\nu_0 = \sqrt{T/T_0},$$

где $\nu_0$ — частота органной трубы при 0 °C, равная по условию задачи 440 Гц. Подставив полученное отсюда значение частоты органной трубы при температуре $T$ в исходное выражение для частоты биений, получаем

$$N = \nu_к - \nu_0\sqrt{T/T_0},$$

откуда для температуры в лаборатории имеем значение, равное

$$T = T_0(\nu_к - N)^2/\nu_0^2 = T_0(\nu_к - N)^2/\nu_к^2.$$

Это выражение легко проверить. Подставив $N = 0$, получим $T = T_0$. Действительно, при $T = 0\,°C$ частоты камертона и органной трубы совпадают и биения отсутствуют.

**120.** Надо разломать полотно на две части. Если полотно было намагничено, обе половинки будут взаимодействовать между собой.

**121.** Вначале с помощью весов определим массу $m$ всей пластины. Затем при помощи угольника построим на ней прямоугольник с известными сторонами, вырежем его ножницами и определим на весах его

массу $m_0$. Если пластина везде одинакова по толщине, ее масса $m$ во столько раз превышает массу $m_0$, во сколько раз площадь $S$ всей пластины больше площади $S_0$ прямоугольника:

$$m/m_0 = S/S_0, \quad \text{откуда} \quad S = S_0 m/m_0.$$

Площадь $S_0$ находим перемножением длин сторон. Если пластину разрезáть нежелательно, следует обвести ее контур карандашом на листе картона или плотной бумаги, вырезать полученную фигуру и проделать все описанные измерения на ней.

**122.** Если плотность при затвердевании уменьшается, брошенный в расплав кусочек того же вещества будет плавать по поверхности. Так, например, ведет себя в воде лед, у которого плотность в 1,1 раза меньше, чем у воды. Наоборот, кусочек твердого железа тонет в расплаве, что означает увеличение плотности железа при затвердевании. В первом случае объем вещества при затвердевании расплава увеличивается, во втором — уменьшается.

**123.** Разобьем мысленно пластинку на прямоугольники, как показано штриховой линией на рис. 39, *а*.

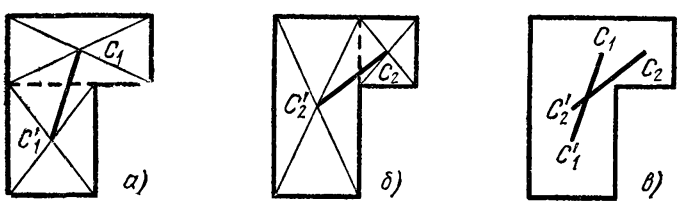


Рис. 39

Центр масс первого прямоугольника будет лежать в точке $C_1$, где пересекаются его диагонали. Аналогично находится положение центра масс $C_1'$ второго прямоугольника. Следовательно, центр масс пластины должен лежать на прямой $C_1C_1'$. Рассуждая подобным же образом, находим, что искомая точка должна лежать на прямой $C_2C_2'$, где $C_2$ и $C_2'$ — центры масс прямоугольников, показанных на рис. 39, *б*. Но если центр масс одновременно находится на двух разных прямых, он должен совпасть с точкой их пересечения (рис. 39, *в*).

А теперь попробуйте, используя разобранный метод, найти центры масс изображенных на рис. 40

плоских фигур, имеющих форму неправильных четырехугольников.

**124.** Для решения задачи нужно вспомнить правило левой руки, с помощью которого определяется направление силы, действующей на проводник с током в магнитном поле. Если лампа питается переменным током, то поднесенный к ней магнит приведет нить лампы в колебательное движение и очертания

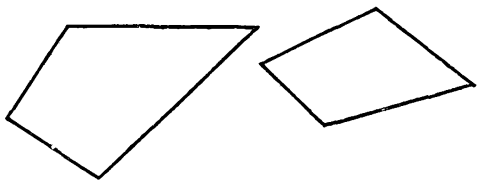

Рис. 40

нити станут расплывчатыми. При постоянном токе нить будет видна отчетливо, так как она лишь отклонится в сторону от начального положения.

**125.** Следует разорвать цепь питания лампочки карманного фонарика и включить в разрыв поочередно обе катушки. Токовая катушка имеет незначительное сопротивление, и при ее включении в цепь накал лампочки практически не изменится. Наоборот, сопротивление катушки напряжения очень велико, и при ее включении лампочка гореть вообще не будет.

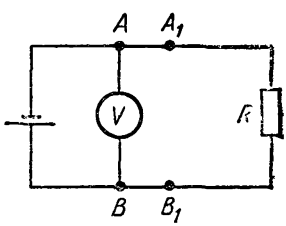


Рис. 41

**126.** Подсоединим вольтметр вначале к точкам $A$ и $B$ (рис. 41), а затем к точкам $A_1$ и $B_1$, лежащим несколько правее. Пусть показания вольтметра будут $U$ и $U_1$. Если $U > U_1$, то источник тока находится слева от точек $A$ и $B$: показания вольтметра при переходе к точкам $A_1$ и $B_1$ уменьшаются за счет падения напряжения на участках $AA_1$ и $BB_1$. Если $U < U_1$, то батарея находится в правом конце линии. В этом случае показания вольтметра увеличиваются за счет падения напряжения на тех же участках.

Эта задача решается одинаково для цепей переменного и постоянного тока, нужно только выбрать вольтметр соответствующего типа. Важно также,

чтобы его чувствительность была достаточно высокой, чтобы зарегистрировать в общем-то малое изменение разности потенциалов при переходе от положения $AB$ к положению $A_1B_1$.

127. Нужно взять из первого ящика одну деталь, из второго — две, из третьего — три и так далее до последнего, из которого берутся десять деталей, а затем взвесить все детали вместе. Если бы во всех ящиках лежали правильно изготовленные детали, то общая масса отобранных деталей оказалась бы равной, положим, $m_1$. Поскольку в $n$-м ящике каждая деталь имеет массу на 10 г меньше положенного, показания весов $m_2$ будут на $10n$ г меньше, чем $m_1$:

$$m_1 - m_2 = 10n.$$

Отсюда находим $n$ — номер ящика с бракованными деталями:

$$n = (m_1 - m_2)/10.$$

(Для получения правильного ответа следует, очевидно, $m_1$ и $m_2$ подставлять в последнюю формулу в граммах.)

128. Если для освещения используется периодически работающая (импульсная) лампа, частота вспышек которой равна числу оборотов шпинделя за единицу времени, то деталь будет все время видна в одном и том же положении и ее поверхность можно будет отчетливо рассмотреть. Для питания лампы следует применить генератор с плавной регулировкой частоты. Вместо импульсной лампы и генератора переменной частоты можно применить обычную яркую лампу, пропустив идущие от нее лучи через радиальную щель в картонном диске, закрепленном на оси электродвигателя, частоту вращения которого можно менять.

Эффект, при котором в результате прерывистого освещения тела́, участвующие во вращательном движении, кажутся неподвижными, называется стробоскопическим. Некоторым его применениям посвящена также следующая задача.

129. Начертим на картоне циркулем окружность и разрежем по ней лист ножницами. На полученном картонном диске нанесем радиальную черту и приклеим диск к валу двигателя так, чтобы плоскость диска была перпендикулярна к валу. Затем включим

двигатель и неоновую лампу в сеть. В сети переменного тока частота вспышек лампы составит 100 Гц (лампа вспыхивает 2 раза в течение периода изменения тока, или 6000 раз в минуту). Если за время между вспышками двигатель делает ровно один оборот (т. е. частота вращения составляет 6000 об/мин), то нанесенная на диске черта будет видна все время в одном и том же положении, т. е. будет казаться, несмотря на вращение, неподвижной (рис. 42, *а*).

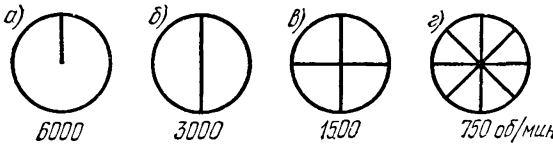


Рис. 42

Если частота вращения уменьшится вдвое, то за время между двумя вспышками лампы вал двигателя совершит только половину оборота, и черта будет видна в положении, лежащем на одном диаметре с тем, в котором мы ее видели во время предыдущей вспышки. В результате мы увидим более длинную черту, пересекающую по диаметру весь диск (рис. 42, *б*). При частоте вращения 1500 об/мин будет виден крест (рис. 42, *в*), а при частоте вращения 750 об/мин — два креста, повернутые друг относительно друга на 45° (рис. 42, *г*).

Следует отметить, что показанная на рис. 42, *а* картина будет наблюдаться не только в том случае, если за время между последующими вспышками лампы диск повернется на один оборот, но и тогда, когда он сделает за это время два, три и т. д. оборотов (т. е. при частоте вращения 12 000, 18 000 об/мин и т. д.). Картина, изображенная на рис. 42, *б*, будет видна также при частотах вращения 9000, 15 000 об/мин и т. д. (диск за время между вспышками успевает повернуться на 1,5; 2,5 и т. д. оборотов). Крест (рис. 42, *в*) можно наблюдать при частотах вращения 1500, 4500, 7500 об/мин и т. д., а два креста (рис. 42, *г*) — при 750, 2250, 3750 об/мин и т. д. Имея в виду сказанное, следует увеличивать частоту вращения постепенно, подходя к нужной «снизу» от нулевой.

**130.** Проведем кусочком мела вдоль оси вращающегося вала. В результате сложения двух движений меловая черта на поверхности вала будет иметь вид пространственной спирали. Разделив число витков спирали на время движения мела, замеченное по секундомеру, получим частоту вращения вала. Например, если за 5 с образуется 20 витков, частота вращения составляет 4 об/с или 240 об/мин.

**131.** Соединим между собой две произвольно взятые жилы на первом этаже и найдем эту пару наверху (для этого достаточно собрать электрическую цепь из батарейки, куска проволоки, лампочки и закороченных жил). Потом поступим так со следующей парой и т. д., пока не окажутся разбитыми на пары все жилы в кабеле.

В случае четного числа жил следует затем соединить два провода из разных пар на верхнем этаже, а внизу определить (также с помощью батарейки и лампочки), какие жилы закорочены. Дальнейшие действия очевидны. Если число жил в кабеле нечетное, то номер жилы, оставшейся без пары, определится «автоматически», а номера остальных находятся так, как описано выше для случая четного числа.

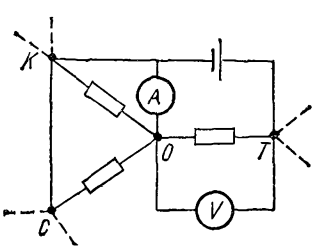

Рис. 43

**132.** С помощью соединительных проводников дополним схему перечисленными в условии задачи приборами так, как показано на рис. 43. Поскольку сопротивление амперметра мало и падением напряжения на нем можно пренебречь, точки $O$, $K$ и $C$ в полученной схеме будут иметь одинаковые потенциалы. Следовательно, по проводникам, их соединяющим, ток идти не будет. Таким образом, амперметр покажет ток, идущий через резистор, включенный между точками $O$ и $T$. В то же время вольтметр показывает разность потенциалов на концах этого резистора. Разделив показания вольтметра на показания амперметра, получим сопротивление этого резистора. Аналогично определяются сопротивления остальных резисторов.

Можно предложить и другие способы решения этой задачи, однако они будут более сложными.

**133.** Необходимо бросить какой-нибудь предмет (если его не окажется, положение космонавта станет трагическим) в сторону, противоположную ракете. Тогда в соответствии с законом сохранения импульса человек приобретет направленную к ракете скорость: $u = (m/M)v$, где $M$ и $m$ — массы человека и предмета, а $v$ — скорость последнего. Подобным же образом, как известно, движется в космическом пространстве и сама ракета, отбрасывая продукты горения в одну сторону и перемещаясь за счет этого в другую.

**134.** Задание можно выполнить двумя способами. Рассмотрим их поочередно.

а) Пусть на одну чашку рычажных весов положено интересующее нас тело массы $m_1$, а на вторую — гиря массы $m_2$. Так как спутник и все тела на нем (в том числе взвешиваемое тело и гиря) имеют в гравитационном поле Земли одинаковое ускорение (непрерывно «падают» на Землю), весы окажутся в состоянии безразличного равновесия. Однако равновесие нарушится, если весы с находящимися на них телами привести в ускоренное движение. Ведь чтобы разным по массе телам сообщить одинаковое ускорение $a$, нужны разные силы:

$$F_1 = m_1 a, \quad F_2 = m_2 a.$$

Нетрудно добиться, во всяком случае приблизительно, чтобы стрелка весов не отклонялась от нулевого положения и при ускоренном движении — для этого нужно, чтобы массы тела и гирь были равными.

б) Можно воспользоваться и пружинными весами — динамометром. Если подвесить к нему исследуемое тело и привести систему в движение с некоторым постоянным ускорением $a$, то указатель динамометра зафиксирует силу

$$F_1 = m_1 a.$$

Затем следует подвесить вместо тела гирю известной массы $m_2$ и привести динамометр в движение с тем же ускорением $a$. В этом случае показания динамометра будут

$$F_2 = m_2 a.$$

Поделив последние два равенства друг на друга почленно, получим

$$F_1/F_2 = m_1/m_2, \quad \text{откуда} \quad m_1 = m_2 F_1/F_2.$$

Необходимого в случае динамометра равенства ускорений в двух последовательных опытах добиться довольно трудно. Можно попытаться осуществить его, вращая динамометр с подвешенным к нему телом, а затем с гирей с постоянной угловой скоростью, для чего, очевидно, понадобится секундомер. Так что лучше, если это возможно, воспользоваться двумя динамометрами: к одному из них подвесить исследуемое тело, а ко второму — гирю известной массы; затем оба динамометра взять в одну руку и привести одновременно в ускоренное движение.

При решении этой задачи мы пользуемся тем, что ускоренно движущаяся система эквивалентна полю сил тяготения. Эквивалентность гравитационных сил и сил инерции, действующих на тела в ускоренно движущихся системах, послужила одной из основ теории тяготения, развитой в общей теории относительности А. Эйнштейном (1915 г.). Поэтому, если экспериментатор находится на космическом корабле или управляемом спутнике, достаточно включить двигатели, чтобы появилась «искусственная сила тяжести» и весы *любого* типа начали функционировать.

**135.** Если космический корабль движется вокруг планеты с выключенными двигателями, то единственной силой, действующей на него, является сила $F_{\text{грав}}$ притяжения к планете:

$$F_{\text{грав}} = GMm/R^2,$$

где $G$ — гравитационная постоянная, $M$ — масса планеты, $m$ — масса корабля и $R$ — расстояние между кораблем и центром планеты. При небольшой высоте полета $R$ можно считать равным радиусу планеты (мы полагаем, что она по форме близка к шару).

Выразим массу планеты через ее радиус и среднюю плотность $\gamma$:

$$M = V\gamma = \frac{4}{3}\pi R^3\gamma,$$

и подставим полученное значение $M$ в предыдущую формулу; тогда

$$F_{\text{грав}} = \frac{4}{3}\pi GRm\gamma.$$

Поскольку корабль движется по круговой орбите, на него действует центростремительная сила, которую

можно записать в виде

$$F_{цс} = mv^2/R = m\omega^2 R = 4\pi^2 mR/T^2,$$

где $v$ — линейная и $\omega$ — угловая скорости движения космического корабля, $T$ — период его обращения вокруг планеты. Так как роль центростремительной силы играет сила гравитационного притяжения, можно приравнять правые части двух последних выражений и получить плотность:

$$\gamma = 3\pi/GT^2. \qquad (1)$$

Таким образом, определив с помощью часов период обращения корабля вокруг планеты, можно рассчитать ее среднюю плотность.

Запущенные на круговую орбиту искусственные спутники Земли имеют обычно период обращения около полутора часов (5400 с). Подставляя это значение в последнюю формулу, получим для средней плотности Земли значение, равное

$$\gamma_З = \frac{3 \cdot 3{,}14}{[6{,}67 \cdot 10^{-11}\ м^3/(кг \cdot с^2)] \cdot (5400\ с)^2} \approx 5000\ кг/м^3.$$

Вышедшая 17 октября 1970 г. на круговую орбиту вокруг Луны автоматическая станция «Луна-16» имела период 1 ч 59 мин (7140 с), откуда для средней плотности Луны получаем

$$\gamma_Л = \frac{3 \cdot 3{,}14}{[6{,}67 \cdot 10^{-11}\ м^3/(кг \cdot с^2)] \cdot (7140\ с)^2} \approx 3000\ кг/м^3.$$

На самом же деле плотности Земли и Луны примерно на 10 % больше. Разница возникает по той причине, что спутники обычно движутся довольно высоко, и тогда приходится считаться с различием между радиусом планеты и орбиты. Если в приведенную выше формулу для плотности (1) подставить значения $T$, соответствующие полетам по орбитам, проходящим непосредственно над поверхностью Земли (практически неосуществимым из-за сопротивления воздуха) или Луны, которые равны соответственно 1 ч 24 мин и 1 ч 48 мин, получим правильные значения плотностей: $5{,}5 \cdot 10^3$ кг/м$^3$ и $3{,}36 \cdot 10^3$ кг/м$^3$.

Для высокой орбиты формула плотности имеет вид

$$\gamma = \frac{3\pi}{GT^2}\left(1 + \frac{h}{R}\right)^3,$$

где $h$ — высота орбиты. При $h=0$ последнее выражение автоматически переходит в соотношение (1). С другой стороны, уже при $h/R=1$ значения $\gamma$, рассчитанные двумя способами, различаются в $(1+1)^3=8$ раз, так что при высоких орбитах получается весьма далекий от истинного результат. Но, пользуясь последней формулой, можно получить правильные значения плотности и в случае высокой орбиты.

Думается, что, после ознакомления с решением данной задачи, читатели поймут, почему астрономы так «любят» планеты (и звезды), имеющие спутников — ведь по периоду обращения последних можно определить (с той или иной погрешностью) плотность центрального тела системы. Так, например, была вычислена плотность Юпитера и некоторых звезд.

**136.** Поставим линейку вертикально на фоне черного полотна и осветим ее прерывистым пучком лучей, идущих от лампы через щель на равномерно вращающемся диске. Затем откроем затвор фотоаппарата и выпустим шарик из рук так, чтобы он пролетел мимо линейки. На полученном фотоснимке будет видна линейка и ряд светлых пятен, отвечающих положениям шарика в те моменты, когда на него падал свет. Расстояния $l_1$, $l_2$, $l_3$ и т. д. между этими положениями легко отсчитать по делениям на линейке (рис. 44).

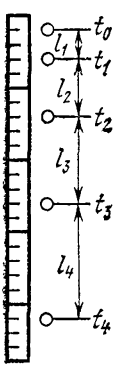

Рис. 44

Первое светлое пятно соответствует моменту, когда от начала движения прошло время $t_0$; за это время шарик успел пройти расстояние $s_0=g^*t_0^2/2$, где $g^*$ — ускорение свободного падения на планете. Во второй раз шарик запечатлен через время $t_1$ от начала движения, когда он прошел путь $s_1=g^*t_1^2/2$. Третьему положению соответствует время $t_2$ и пройденный путь $s_2=g^*t_2^2/2$ и т. д. Очевидно, что

$$l_1=s_1-s_0=\frac{g^*t_1^2}{2}-\frac{g^*t_0^2}{2}=\frac{g^*}{2}(t_1^2-t_0^2),$$

$$l_2=s_2-s_1=\frac{g^*}{2}(t_2^2-t_1^2).$$

Кроме того,

$$t_1=t_0+\tau,\quad t_2=t_1+\tau=t_0+2\tau,$$

где $\tau$ — интервал между двумя последовательными моментами освещения шарика, равный периоду вращения электродвигателя. После этого мы можем записать

$$l_1 = \frac{g^*}{2}[(t_0 + \tau)^2 - t_0^2] = \frac{g^*}{2}(2t_0\tau + \tau^2),$$

$$l_2 = \frac{g^*}{2}[(t_0 + 2\tau)^2 - (t_0 + \tau)^2] = \frac{g^*}{2}(2t_0\tau + 3\tau^2).$$

Вычитая из второго уравнения первое, получаем

$$l_2 - l_1 = g^*\tau^2, \quad \text{откуда} \quad g^* = (l_2 - l_1)/\tau^2.$$

Значения $l_1$ и $l_2$ отсчитываются по делениям на линейке, а $\tau$ определяется по известной частоте вращения электродвигателя.

**137.** Достаточно определить динамометром силу $F^*$, с которой планета притягивает гирю. Тогда находим ускорение свободного падения на данной планете: $g^* = F^*/m$, где $m$ — масса гири, известная по условию.

**138.** Воспользовавшись динамометром, следует измерить $F^*$ — силу притяжения гири к планете. В соответствии с законом всемирного тяготения сила $F^*$ выражается через массу гири $m$, гравитационную постоянную $G$, массу планеты $M$ и ее радиус $R$:

$$F^* = G\frac{mM}{R^2}.$$

Отсюда для массы планеты получаем значение, равное

$$M = \frac{F^*R^2}{Gm}.$$

Сила $F^*$ известна из опыта, а $m$ и $R$ — из условия задачи.

**139.** Изготовив из грузика и нити «математический маятник», следует определить его период $T$ с помощью секундомера. После этого из формулы маятника можно найти $g^*$ — ускорение свободного падения на планете:

$$g^* = 4\pi^2 l/T^2,$$

так как длина маятника $l$ по условию задачи известна. С другой стороны, ускорение свободного падения можно записать, исходя из закона всемирного

тяготения, следующим образом:

$$g^* = F^*/m = GM/R^2,$$

где $M$ — масса планеты, $F^*$ — сила притяжения к планете тела массой $m$, $R$ — радиус планеты, $G$ — гравитационная постоянная.

Приравнивая правые части равенств, получаем для массы планеты:

$$M = \frac{4\pi^2 R^2 l}{GT^2}.$$

Радиус планеты $R$ нетрудно выразить через известную длину $L$ экватора планеты: $R = L/2\pi$, после чего средняя плотность $\gamma$ вещества планеты равна

$$\gamma = \frac{M}{V} = \frac{6\pi^2 l}{GT^2 L}.$$

Так как все величины в этом выражении известны, можно рассчитать плотность планеты $\gamma$.

**140.** Длину подвеса можно было оценить, сравнивая ее с ростом оказавшегося рядом космонавта; она оказалась равной примерно 1 м. Период колебаний, определенный с помощью часов, составил около 5 с. После этого, пользуясь формулой для периода колебаний маятника $T = 2\pi\sqrt{l/g^*}$, можно найти для ускорения свободного падения на Луне значение

$$g^* = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \frac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 1 \text{ м}}{(5 \text{ с})^2} \approx 1{,}6 \text{ м/с}^2,$$

весьма близкое к получаемому более точными методами.

**141.** Изготовив из проволоки катушку, подключим ее концы к гальванометру. Если планета обладает достаточно сильным магнитным полем, то при поворотах катушки гальванометр зарегистрирует импульсы индукционного тока, возникающего в результате изменения магнитного потока через плоскость катушки. В принципе таким образом можно установить не только наличие магнитного поля, но модуль и направление магнитной индукции. Рассмотренная идея положена в основу устройства некоторых типов магнитометров, применяемых на практике.

**142.** Наряду с законом сохранения импульса (мы им пользовались при решении задач 73 и 133) природные процессы подчиняются также закону сохра-

нения *момента* импульса (момента количества движения). В соответствии с этим законом космонавт, вращающий в своих руках диск или какой-либо другой предмет, должен поворачиваться в противоположном направлении (если, конечно, он не встречает к этому препятствий со стороны других тел). Когда космонавт повернется на нужный угол, вращение можно прекратить.

Ну, а если никакого предмета у космонавта не оказалось? В этом случае закон сохранения импульса запрещает ему изменить модуль и направление скорости (относительно ракеты, например), однако закон сохранения момента импульса не исключает возможности изменения его ориентации. Для поворота космонавта, скажем, в направлении часовой стрелки (если смотреть на него «сверху») ему достаточно проделать следующий цикл движений: вытянуть правую руку в сторону; затем вытянуть ее, не сгибая, вперед; прижать к груди; снова вытянуть в сторону и т. д.

Эта задача напоминает широко известную задачу о падающей кошке. Как известно, кошка обладает поразительной способностью приземляться на лапки даже в том случае, если она начала падать спиной вниз. «Замедленная» (правильнее — ускоренная!) съемка показывает, что в момент падения кошка начинает быстро вращать хвостом, в результате чего ее туловище поворачивается в противоположную сторону. Вращение хвоста прекращается, когда лапки оказываются внизу.

Убедительно иллюстрирует возможность поворота живых организмов без помощи извне следующий простой пример.

Пусть в пространстве, вытянувшись в направлении $OO_1$, располагается спиной вверх змея (рис. 45, *а*). Законы природы и строение тела не запрещают ей занять положение, показанное на рис. 45, *б*. После этого она может, поворачивая переднюю и заднюю части туловища в направлениях, указанных стрелками, повернуться брюхом вверх (рис. 45, *в*) и затем вытянуться вдоль прямой $OO_1$ (рис. 45, *г*). В результате этой последовательности движений она действительно повернется вокруг своей продольной оси на 180°. (Пример, конечно, искусственный, так как змея обычно движется по земле и использует для переворачи-

вания силы трения. Однако, оказавшись в воздухе — вспомните Ужа из «Песни о Соколе» М. Горького, она могла бы поступить так, как сказано выше.)

**143.** Жители Венеры могли бы догадаться о вращении своей планеты и установить направление вращения несколькими способами. Можно было бы, например, изучить поведение маятника. В 1851 г. французский физик Жан Бернар Леон Фуко использовал

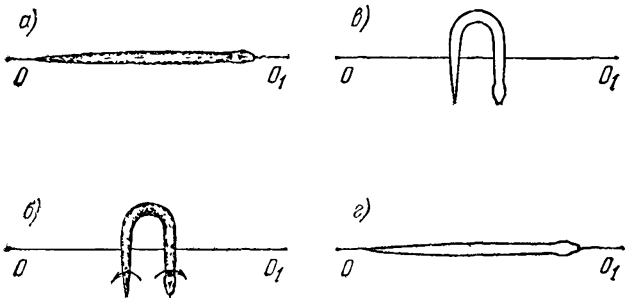


Рис. 45

маятник для доказательства вращения Земли. Предназначенные для этой цели маятники представляют собой массивный груз на длинной проволоке в несколько десятков метров (самый длинный маятник в мире — 98 м — установлен в Исаакиевском соборе в Ленинграде; маятник Фуко, сооруженный в Парижском Пантеоне, имел длину 67 м); груз укрепляется на опоре с помощью карданова подвеса или горизонтального подшипника, дающего возможность качания маятника в любой вертикальной плоскости. В результате вращения Земли плоскость качания маятника медленно поворачивается относительно указателей на земной поверхности.

Действующие на груз маятника силы притяжения к Земле и натяжения нити лежат в плоскости качания и не могут вызвать ее поворот. С точки зрения внеземного наблюдателя вращение плоскости качания объясняется вращением земной поверхности вместе с указателями, относительно которых определяется положение этой плоскости. На полюсах Земли, где плоскость качания сохраняет неизменным положение относительно звезд, наблюдатель на земной поверхности видел бы вращение плоскости качания

с угловой скоростью, равной угловой скорости вращения Земли, но направленной в противоположную сторону.

В точках, расположенных между полюсами, плоскость качания маятника, проходящая через линию отвеса, не может сохранять постоянное положение относительно звезд и в некоторой степени, зависящей от географической широты, участвует во вращении Земли. Соответственно плоскость качания маятника вращается относительно указателей на земной поверхности медленнее. На экваторе эффект отсутствует вообще. Вращение плоскости качания маятника Фуко можно объяснить и с точки зрения наблюдателя, находящегося на Земле. Для этого необходимо привлечь к рассмотрению силы Кориолиса, с которыми мы впервые встретились в решении задачи 69.

Второй вариант решения предложенной задачи предусматривает применение гироскопа — быстро вращающегося массивного волчка, установленного в карданове подвесе. Если центр масс гироскопа совпадает с центром подвеса, а силы трения практически отсутствуют (такой гироскоп называют уравновешенным или свободным), его ось будет сохранять неизменное направление по отношению к «неподвижным» звездам. В случае несовпадения центра масс гироскопа с геометрическим центром подвеса ось гироскопа начинает описывать в пространстве конус (это явление называется прецессией). Для гироскопа массы 1 кг, вращающегося с частотой 30 000 об/мин, смещение центра масс на 1 мкм вызывает прецессию со скоростью около 1 градуса в час. Так как Земля вращается со значительно большей угловой скоростью — 15 градусов в час,— подобным гироскопом легко обнаружить факт вращения Земли, как это и было сделано в 1852 г. тем же Фуко. Разумеется, чем медленнее вращение планеты, тем точнее должен быть сбалансирован гироскоп и тем меньше должно быть трение в осях подвеса.

## I. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ

| | |
|---|---|
| Скорость света в вакууме | $c = 2{,}998 \cdot 10^8$ м/с |
| Гравитационная постоянная | $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Н · м$^2$/кг$^2$ |
| Постоянная Авогадро | $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ |
| Универсальная газовая постоянная | $R = 8{,}31$ Дж/(К · моль) |
| Нормальное атмосферное давление | $p_0 = 1$ атм $= 760$ мм рт. ст. $=$ $= 101{,}3$ кПа |
| Плотность воздуха при нормальных условиях | $\gamma_0 = 1{,}293$ кг/м$^3$ |
| Элементарный заряд | $e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ Кл |
| Электрическая постоянная | $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м |
| Магнитная постоянная | $\mu_0 = 1{,}26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м |
| Масса покоя электрона | $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг |
| Масса покоя протона | $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг |
| Постоянная Планка | $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с |

## II. ТЕМПЕРАТУРА КИПЕНИЯ ВОДЫ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ДАВЛЕНИИ

| $p$, мм рт. ст. | 710 | 720 | 730 | 740 |
|---|---|---|---|---|
| $t$, °C | 98,11 | 98,49 | 98,88 | 99,26 |
| $p$, мм рт. ст. | 750 | 760 | 770 | 780 |
| $t$, °C | 99,63 | 100 | 100,4 | 100,7 |

## III. ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

| $t$, °C | —20 | —10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $v$, м/с | 319 | 325 | 332 | 338 | 344 | 349 | 354 |

## IV. ЗАВИСИМОСТЬ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ НА УРОВНЕ МОРЯ ОТ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ МЕСТА

За «нормальное» ускорение свободного падения принимается 9,80665 м/с$^2$; таково примерно значение $g$ на уровне моря в большинстве точек с географической широтой 45°

| $\varphi$, град | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
|---|---|---|---|---|---|
| $g$, м/с$^2$ | 979,3 | 980,2 | 981,1 | 981,9 | 982,6 |

## V. НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ, УПОМИНАЕМЫХ В ЗАДАЧАХ

| Вещество | Плотность, $10^3$ кг/м$^3$ | Сопротивление на разрыв, МПа | Удельное сопротивление, $10^{-8}$ Ом·м | Температурный коэффициент сопротивления, $10^{-4}$ К$^{-1}$ | Электрохимический эквивалент, мг/Кл |
|---|---|---|---|---|---|
| Вода | 1 | — | — | — | — |
| Лед | 0,9 | — | — | — | — |
| Ртуть | 13,6 | — | 96 | 9 | 1,03 |
| Стекло | 2,6 | — | — | — | — |
| Алюминий | 2,7 | 100 | 2,8 | 38 | 0,09 |
| Латунь | 8,5 | 200 | 8 | 10 | — |
| Медь | 8,9 | 245 | 1,7 | 43 | 0,33 или 0,66 |
| Цинк | 7,1 | 160 | 60 | 37 | 0,34 |
| Сталь (железо) | 7,8 | 600 | 12 | 62 | 0,19 или 0,29 |

## VI. ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ, УПОМИНАЕМЫХ В ЗАДАЧАХ

| Вещество | Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К) | Температурный коэффициент линейного расширения, $10^{-6}$ К$^{-1}$ | Удельная теплота плавления, кДж/кг |
|---|---|---|---|
| Вода | 4,2 | — | — |
| Лед | 2,1 | 276 | 330 |
| Ртуть | 0,13 | — | 12 |
| Стекло | 0,84 | 9 | — |
| Алюминий | 0,88 | 26 | 380 |
| Латунь | 0,39 | 19 | — |
| Медь | 0,38 | 17 | 180 |
| Цинк | 0,39 | 29 | 115 |
| Сталь (железо) | 0,46 | 11 | 210 |

## VII. СВЕДЕНИЯ ИЗ МАТЕМАТИКИ, ПОЛЕЗНЫЕ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ

1. *Производные пропорции*

а) Если

$$\frac{a}{b}=\frac{c}{d},$$

то

$$\frac{a\pm b}{a}=\frac{c\pm d}{c},\quad \frac{a\pm b}{b}=\frac{c\pm d}{d},\quad \frac{a+b}{a-b}=\frac{c+d}{c-d},$$

$$\frac{a^m}{b^m}=\frac{c^m}{d^m},\quad \frac{am+bn}{ap+bq}=\frac{cm+bn}{cp+bq}.$$

б) Если

$$\frac{a_1}{b_1}=\frac{a_2}{b_2}=\frac{a_3}{b_3}=\ldots=\frac{a_n}{b_n},$$

то

$$\frac{a_1+a_2+\ldots+a_n}{b_1+b_2+\ldots+b_n}=\frac{a_1}{b_1}=\frac{a_2}{b_2}=\ldots=\frac{a_n}{b_n},$$

$$\frac{p_1a_1^m+p_2a_2^m+\ldots+p_na_n^m}{p_1b_1^m+p_2b_2^m+\ldots+p_nb_n^m}=\frac{a_1^m}{b_2^m}=\ldots=\frac{a_n^m}{b_n^m}.$$

2. *Приближенные равенства, справедливые при малом значении* $x$ $(x\ll 1)$

а) $(1\pm x)^n\approx 1\pm nx$,

откуда, в частности, получаем при разных значениях $n$:

$$n=-1:\quad 1/(1\pm x)\approx 1\mp x;$$

$$n=1/2:\quad \sqrt{1\pm x}\approx 1\pm x/2;$$

$$n=-1/2:\quad \frac{1}{\sqrt{1\pm x}}\approx 1\mp x/2.$$

б) $\sin x\approx \operatorname{tg} x\approx 0$; $\cos x\approx 1$,

или, более точно,

$$\sin x\approx x-x^3/6,\quad \operatorname{tg} x\approx x+x^3/3,\quad \cos x\approx 1-x^2/2$$

(предполагается, что $x$ в этих формулах выражен в радианной мере).

в) $e^x\approx 1+x$.

г) $\ln(1+x)\approx x$.

3 *Значения синусов и тангенсов углов от 1° до 90°* ($\sin 0° = \operatorname{tg} 0° = 0$)

| α, ° | sin α | tg α | α, ° | sin α | tg α | α, ° | sin α | tg α |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,0175 | 0,0175 | 16 | 0,2756 | 0,2867 | 31 | 0,5150 | 0,6009 |
| 2 | 0,0349 | 0,0349 | 17 | 0,2924 | 0,3057 | 32 | 0,5299 | 0,6249 |
| 3 | 0,0523 | 0,0524 | 18 | 0,3090 | 0,3249 | 33 | 0,5446 | 0,6494 |
| 4 | 0,0698 | 0,0699 | 19 | 0,3256 | 0,3443 | 34 | 0,5592 | 0,6745 |
| 5 | 0,0872 | 0,0875 | 20 | 0,3420 | 0,3640 | 35 | 0,5736 | 0,7002 |
| 6 | 0,1045 | 0,1051 | 21 | 0,3584 | 0,3839 | 36 | 0,5878 | 0,7265 |
| 7 | 0,1219 | 0,1228 | 22 | 0,3746 | 0,4040 | 37 | 0,6018 | 0,7536 |
| 8 | 0,1392 | 0,1405 | 23 | 0,3907 | 0,4245 | 38 | 0,6157 | 0,7813 |
| 9 | 0,1564 | 0,1584 | 24 | 0,4067 | 0,4452 | 39 | 0,6293 | 0,8098 |
| 10 | 0,1736 | 0,1763 | 25 | 0,4226 | 0,4663 | 40 | 0,6428 | 0,8391 |
| 11 | 0,1908 | 0,1944 | 26 | 0,4384 | 0,4877 | 41 | 0,6561 | 0,8693 |
| 12 | 0,2079 | 0,2126 | 27 | 0,4540 | 0,5095 | 42 | 0,6691 | 0,9004 |
| 13 | 0,2250 | 0,2309 | 28 | 0,4695 | 0,5317 | 43 | 0,6820 | 0,9325 |
| 14 | 0,2419 | 0,2493 | 29 | 0,4848 | 0,5543 | 44 | 0,6947 | 0,9657 |
| 15 | 0,2588 | 0,2679 | 30 | 0,5000 | 0,5774 | 45 | 0,7071 | 1,0000 |

| α, ° | sin α | tg α | α, ° | sin α | tg α | α, ° | sin α | tg α |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 46 | 0,7193 | 1,036 | 61 | 0,8746 | 1,804 | 76 | 0,9703 | 4,011 |
| 47 | 0,7314 | 1,072 | 62 | 0,8829 | 1,881 | 77 | 0,9744 | 4,331 |
| 48 | 0,7431 | 1,111 | 63 | 0,8910 | 1,963 | 78 | 0,9781 | 4,705 |
| 49 | 0,7547 | 1,150 | 64 | 0,8988 | 2,050 | 79 | 0,9816 | 5,145 |
| 50 | 0,7660 | 1,192 | 65 | 0,9063 | 2,145 | 80 | 0,9848 | 5,671 |
| 51 | 0,7771 | 1,235 | 66 | 0,9135 | 2,246 | 81 | 0,9877 | 6,314 |
| 52 | 0,7880 | 1,280 | 67 | 0,9205 | 2,356 | 82 | 0,9903 | 7,115 |
| 53 | 0,7986 | 1,327 | 68 | 0,9272 | 2,475 | 83 | 0,9925 | 8,114 |
| 54 | 0,8090 | 1,376 | 69 | 0,9336 | 2,605 | 84 | 0,9945 | 9,514 |
| 55 | 0,8192 | 1,428 | 70 | 0,9397 | 2,747 | 85 | 0,9962 | 11,43 |
| 56 | 0,8290 | 1,483 | 71 | 0,9455 | 2,904 | 86 | 0,9976 | 14,30 |
| 57 | 0,8387 | 1,540 | 72 | 0,9511 | 3,078 | 87 | 0,9986 | 19,08 |
| 58 | 0,8480 | 1,600 | 73 | 0,9563 | 3,271 | 88 | 0,9994 | 28,64 |
| 59 | 0,8572 | 1,664 | 74 | 0,9613 | 3,487 | 89 | 0,9998 | 57,29 |
| 60 | 0,8660 | 1,732 | 75 | 0,9659 | 3,732 | 90 | 1,0000 | ∞ |

## VIII. ЕДИНИЦЫ И РАЗМЕРНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СИ

| Наименование | Размерность | Единица | | Связь с основными единицами СИ |
|---|---|---|---|---|
| **Длина** | **L** | **метр** | **м** | **Основная единица** |
| Площадь | $L^2$ | квадратный метр | $м^2$ | |
| Объем | $L^3$ | кубический метр | $м^3$ | |
| Плоский угол | — | радиан | рад | *Дополнительная единица* |
| Телесный угол | — | стерадиан | ср | *Дополнительная единица* |
| **Время** | **T** | **секунда** | **с** | **Осиовная единица** |
| Скорость | $LT^{-1}$ | метр в секунду | м/с | |
| Ускорение | $LT^{-2}$ | метр на секунду в квадрате | $м/с^2$ | |
| Угловая скорость | $T^{-1}$ | радиан в секунду | рад/с | 1 рад/с = 1 $с^{-1}$ |
| Угловое ускоренне | $T^{-2}$ | 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** | **кг** | **Основная единица** |
| Плотность | $L^{-3}M$ | килограмм на кубический ниий метр | $кг/м^3$ | |
| Массовый расход | $MT^{-1}$ | килограмм в секунду | кг/с | |
| Объемный расход | $L^3T^{-1}$ | кубический метр в секунду | $м^3/с$ | |
| Сила | $LMT^{-2}$ | ньютон | Н | 1 Н = 1 м·кг·$с^{-2}$ |
| Давление | $L^{-1}MT^{-2}$ | паскаль | Па | 1 Па = 1 Н/$м^2$ = 1 $м^{-1}$·кг·$с^{-2}$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Жесткость | $MT^{-2}$ | ньютон на метр | Н/м | 1 Н/м = 1 кг·с$^{-2}$ |
| Импульс | $LMT^{-1}$ | кнлограмм-метр в секунду | кг · м/с | |
| **Момент иперции** | $L^2M$ | килограмм-метр в квадрате | кг · м$^2$ | |
| Момент импульса | $L^2MT^{-1}$ | кнлограмм-метр в квадрате в секунду | кг · м$^2$/с | |
| Импульс силы | $LMT^{-1}$ | ньютон-секунда | Н·с | 1 Н·с = 1 м·кг·с$^{-1}$ |
| Момент снлы | $L^2MT^{-2}$ | ньютон-метр | Н·м | 1 Н·м = 1 м$^2$·кг·с$^{-2}$ |
| Вязкость (динамическая) | $L^{-1}MT^{-1}$ | паскаль-секунда | Па·с | 1 Па·с = 1 м$^{-1}$·кг·с$^{-1}$ |
| Работа, энергня, колнчество теплоты (теплота) | $L^2MT^{-2}$ | джоуль | Дж | 1 Дж = 1 Н·м = 1 м$^2$·кг·с$^{-2}$ |
| Мощность, поток энергин | $L^2MT^{-3}$ | ватт | Вт | 1 Вт = 1 Дж/с = 1 м$^2$·кг·с$^{-3}$ |
| Плотность потока энергии | $MT^{-3}$ | ватт на квадратный метр | Вт/м$^2$ | 1 Вт/м$^2$ = 1 кг·с$^{-3}$ |
| **Температура (термодииамическая)** | **Θ** | **кельвин** | **K** | **Основная единица** $t$/°C = $T$/K = 273,15 |
| **Количество вещества** | **N** | **моль** | **моль** | **Основная единица** |
| Молярная масса | $MN^{-1}$ | кнлограмм на моль | кг/моль | |
| 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 | $L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$ | джоуль на кельвнн | Дж/К | 1 Дж/К = 1 м$^2$·кг·с$^{-2}$·К$^{-1}$ |

*Продолжение*

| Наименование | Размерность | Единица | | Связь с основными единицами СИ |
|---|---|---|---|---|
| Удельная теплоемкость | $L^2T^{-2}\Theta^{-1}$ | джоуль на килограмм-кельвин | Дж/(кг·К) | 1 Дж/(кг·К) = 1 $м^2 \cdot с^{-2} \cdot К^{-1}$ |
| Молярная теплоемкость | $L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$ | джоуль на моль-кельвин | Дж/(моль·К) | 1 Дж/(моль·К) = 1 $м^2 \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot К^{-1} \cdot моль^{-1}$ |
| Концентрация (плотность числа частиц) | $L^{-3}$ | метр в минус третьей степени | $м^{-3}$ | |
| **Сила электрического тока** | **I** | **ампер** | **А** | **Основная единица** |
| Плотность электрического тока | $L^{-2}I$ | ампер на квадратный метр | $А/м^2$ | |
| Количество электричества (электрический заряд) | TI | кулон | Кл | 1 Кл = 1А·с |
| Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила | $L^2MT^{-3}I^{-1}$ | вольт | В | 1 В = 1 Вт/А = 1 $м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-1}$ |
| Напряженность электрического поля | $LMT^{-3}I^{-1}$ | вольт на метр | В/м | 1 В/м = 1 Вт/(А·м) = 1 $м \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-1}$ |
| Электрическое сопротивление | $L^2MT^{-3}I^{-2}$ | ом | Ом | 1 Ом = 1 В/А = 1 $м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-2}$ |
| Удельное электрическое сопротивление | $L^3MT^{-3}I^{-2}$ | ом-метр | Ом·м | 1 Ом·м = 1 $м^3 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-2}$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Электрическая проводимость | $L^{-2}M^{-1}T^3I^2$ | симеис | См | 1 Ом = 1 $Ом^{-1}$ = = 1 $м^{-2}\cdot кг^{-1}\cdot с^3\cdot А^2$ |
| Удельная электрическая проводимость | $L^{-3}M^{-1}T^3I^2$ | сименс на метр | См/м | 1 См/м = 10 $м^{-1}\cdot м^{-1}$ = = 1 $м^{-3}\cdot кг^{-1}\cdot с^3\cdot А^2$ |
| Электрическая емкость | $L^{-2}M^{-1}T^4I^2$ | фарад | Ф | 1 Ф = 1 Кл/В = = 1 $м^{-2}\cdot кг^{-1}\cdot с^4\cdot А^2$ |
| Абсолютная диэлектрическая проницаемость | $L^{-3}M^{-1}T^4I^2$ | фарад на метр | Ф/м | 1 Ф/м = 1 $м^{-3}\cdot кг^{-1}\cdot с^4\cdot А^2$ |
| Магнитный поток (поток магнитной индукцин) | $L^2MT^{-2}I^{-1}$ | вебер | Вб | 1 Вб = 1 В·с = 1 Тл·$м^2$ = = 1 $м^2\cdot кг\cdot с^{-2}\cdot А^{-1}$ |
| Магнитная индукция (плотность магнитного потока) | $MT^{-2}I^{-1}$ | тесла | Тл | 1 Тл = 1 В·с/$м^2$ = = 1 Вб/$м^2$ = 1 $кг\cdot с^{-2}\cdot А^{-1}$ |
| Индуктивность | $L^2MT^{-2}I^{-2}$ | генри | Гн | 1 Гн = 1 $м^2\cdot кг\cdot с^{-2}\cdot А^{-2}$ |
| Абсолютная магнитная проницаемость | $LMT^{-2}I^{-2}$ | генри на метр | Гн/м | 1 Гн/м = 1 $м\cdot кг\cdot с^{-2}\cdot А^{-2}$ |
| Напряженность магнитного поля | $L^{-1}I$ | ампер на метр | А/м | |
| Энергия излучения | $L^2MT^{-2}$ | джоуль | Дж | 1 Дж = 1 $м^2\cdot кг\cdot с^{-2}$ |
| Мощность излучения (поток излучения) | $L^2MT^{-3}$ | ватт | Вт | 1 Вт = 1 Дж/с = 1 $м^2\cdot кг\cdot с^{-3}$ |
| Интенсивность излучения (плотность потока излучения) | $MT^{-3}$ | ватт на квадратный метр | Вт/$м^2$ | 1 Вт/$м^2$ = 1 $кг\cdot с^{-3}$ |

*Продолжение*

| Наименование | Размерность | Единица | | Связь с основными единицами СИ |
|---|---|---|---|---|
| Поток частиц | $T^{-1}$ | секунда в минус первой степени | $с^{-1}$ | |
| Плотность потока частиц | $L^{-2}T^{-1}$ | секунда в минус первой степени-метр в минус второй степени | $с^{-1} \cdot м^{-2}$ | |
| **Сила света** | **J** | **кандела** | **кд** | **Основная единица** |
| 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 | $кд/м^2$ | |
| Энергетическая сила света | $L^2MT^{-3}$ | ватт на стераднан | Вт/ср | 1 Вт/ср = 1 $м^2$·кг·$с^{-3}$·$ср^{-1}$ |
| Энергетическая светимость | $MT^{-3}$ | ватт на квадратный метр | $Вт/м^2$ | 1 $Вт/м^2$ = 1 кг·$с^{-3}$ |
| Энергетическая освещенность | $MT^{-3}$ | ватт на квадратный метр | $Вт/м^2$ | 1 $Вт/м^2$ = 1 кг·$с^{-3}$ |
| Энергетическая яркость | $MT^{-3}$ | ватт на стерадиан-квадратный метр | $Вт/(ср \cdot м^2)$ | 1 $Вт/(ср.·м^2)$ = 1 кг·$с^{-3}$·$ср^{-1}$ |

## IX. ВНЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ, ДОПУСКАЕМЫЕ К ПРИМЕНЕНИЮ НАРАВНЕ С ЕДИНИЦАМИ СИ

| Величина | Единица и ее связь с единицами СИ |
|---|---|
| Длина | Астрономическая единица длины: 1 а. е. = $1{,}49597870 \cdot 10^{11}$ м |
| | Световой год: 1 св. год = $9{,}460530 \cdot 10^{15}$ м |
| | Парсек: 1 пк = $3{,}085678 \cdot 10^{16}$ м |
| Площадь | Гектар: 1 га = $10^4$ м$^2$ |
| Объем | Литр: 1 л = $10^{-3}$ м$^3$ |
| Плоский угол | Градус: $1^\circ = (\pi/180)$ рад |
| | Минута: $1' = (\pi/10\,800)$ рад |
| | Секуида: $1'' = (\pi/648\,000)$ рад |
| Время | Минута: 1 мин = 60 с |
| | Час: 1 ч = 3600 с |
| | Сутки: 1 сут = 86 400 с |
| Масса | Тонна: 1 т = $10^3$ кг |
| | Атомная единица массы: 1 а. е. м. = $1{,}6605655 \cdot 10^{-27}$ кг |
| Энергия | Электронвольт: 1 эВ = $= 1{,}6021892 \cdot 10^{-10}$ Дж |
| Оптическая сила | Диоптрия: 1 дптр = 1 м$^{-1}$ |

## X. МНОЖИТЕЛИ И ПРИСТАВКИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

| Множитель | Приставка | | Множитель | Приставка | |
|---|---|---|---|---|---|
| | наименование | обозначение | | наименование | обозначение |
| $10^{18}$ | экса | Э | $10^{-1}$ | деци | д |
| $10^{15}$ | пета | П | $10^{-2}$ | санти | с |
| $10^{12}$ | тера | Т | $10^{-3}$ | милли | м |
| $10^9$ | гига | Г | $10^{-6}$ | микро | мк |
| $10^6$ | мега | М | $10^{-9}$ | иано | и |
| $10^3$ | кило | к | $10^{-12}$ | пико | п |
| $10^2$ | гекто | г | $10^{-15}$ | фемто | ф |
| $10^1$ | дека | да | $10^{-18}$ | атто | а |

## СОДЕРЖАНИЕ

**Предисловие** . . . . . 3
**Задачи** . . . . . 7
В домашней обстановке . . . . . 7
На прогулке . . . . . 12
На озере . . . . . 14
Во время путешествия . . . . . 16
В школьной лаборатории . . . . . 17
На заводе . . . . . 21
В космосе . . . . . 23
**Подсказки** . . . . . 25
**Решения задач** . . . . . 32
**Приложения** . . . . . 114

*Виктор Николаевич Ланге*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ
НА СМЕКАЛКУ

Редактор *Н. Л. Михалина*
Художественный редактор *Т. Н. Кольченко*
Технический редактор *В. Н. Кондакова*
Корректоры *Л. И. Назарова, И. Я. Кришталь*

ИБ № 12702

Сдано в набор 30.08.84. Подписано к печати 15.02.85. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 3. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 6,72. Усл. кр.-отт. 6,93. Уч.-изд. л. 6,26. Тираж 300 000 экз. Заказ № 295. Цена 25 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»
Главная редакция физико-математической литературы
117071 Москва В-71, Ленинский проспект, 15

Ленинградская типография № 2 головное предприятие ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном Комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
198052 Ленинград Л-52, Измайловский проспект, 29

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
117071 Москва В-71, Ленинский проспект, 15

*Имеются в продаже книги по физике для поступающих в вузы*

**БУТИКОВ Е. И., БЫКОВ А. А., КОНДРАТЬЕВ А. С.** Физика для поступающих в вузы.— 2-е изд., 1982, 608 с., 1 р. 20 к.

**БУТИКОВ Е. И., БЫКОВ А. А., КОНДРАТЬЕВ А. С.** Физика в примерах и задачах.— 2-е изд, 1983, 464 с., 95 к.

**ГУРСКИЙ И. П.** Элементариая физика с примерами решеиия задач.— 3-е изд, 1984, 448 с., 1 р. 10 к.

Задачи по физике/Воробьев И. И., Зубков П. И., Кутузова Г. А. и др.; Под ред. О. Я. Савченко, 1981, 432 с., 95 к.

Задачи по физике для поступающих в вузы/Беидриков Г. А., Буховцев Б. Б., Керженцев В. В., Мякишев Г. Я., 1984, 400 с., 1 р.

Сборник задач по физике/Баканина Л. П., Белончукии В. Е., Козел С. М., Мазанько И. П.; Под ред. С. М. Козела, 1983, 288 с., 75 к.

**ЯВОРСКИЙ Б. М., ПИНСКИЙ А. А.** Основы физики. В 2-х т. Т. I. Механика. Молекуляриая физика. Электродииамика.— 3-е изд., 1981, 480 с., 1 р. 20 к.

**ЯВОРСКИЙ Б. М., ПИНСКИЙ А. А.** Основы физики. В 2-х т. Т. II. Колебания и волиы. Квантовая физика.— 3-е изд., 1981, 448 с., 1 р. 20 к.

**ПИНСКИЙ А. А.** Задачи по физике, 1977, 288 с., 65 к.

**ЖДАНОВ Л. С., ЖДАНОВ Г. Л.** Физика для средиих специальных учебных заведений.— 4-е изд., 1984, 512 с., 1 р. 30 к.

Сборник задач и вопросов по физике для средних специальных учебиых заведеиий/Гладкова Р. А., Добронравов В. Е., Ждаиов Л. С., Цодиков Ф. С.; Под ред. Р. А. Гладковой — 6-е изд., 1983, 320 с., 80 к.

Приобретайте перечисленные выше издания в магазииах Книготорга, распространяющих литературу даниой тематики

25 коп.