Физика Библиотечка физико-математической школы

В. Н. ЛАНГЕ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ НА СМЕКАЛКУ

Издательство «Наука»
Главная редакция
физико-математической литературы
Москва 1974

530
Л 22
УДК 530.1

Физика

Библиотечка физико-математической школы

Редактор серии
Я. А. Смородинский

$Л \frac{20401-086}{053(02)-74} 109-74$

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

Н. А. Умов

ПРЕДИСЛОВИЕ

В любой области 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 так далее. Иногда необходимые измерения можно выполнить специально для того предназначенными приборами или инструментами. Линейные размеры тела, например, определяют линейкой, рулеткой, микрометром, штангенциркулем; температуру измеряют термометром, массу — с помощью весов. В подобных случаях измерения называются прямыми или непосредственными. Однако значительно чаще вместо непосредственного определения интересующей величины приходится измерять совсем другие, а нужную — вычислять затем по соответствующим формулам. Тогда измерения называют косвенными. Так, для определения плотности вещества обычно измеряется масса и объем некоторого тела, состоящего из этого вещества, и первая величина делится на вторую.

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

Представьте, что возникла необходимость определить диаметр тонкого капилляра, положим, в обычном медицинском термометре. Канал капилляра настолько узок, что «залезть» в него линейкой или другим 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 № 82 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, два из которых изложены в решении задач №№ 108 и 112.

В части задач, помещенных в этом сборнике, для определения тех или иных величин предлагается воспользоваться, казалось бы, совершенно неподходящими 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, если и это не поможет, загляните в решения, приведенные в конце книги. Сверьте ответы и в том случае, если вы справились 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 объединяет 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 № 112.)

Хотя все задачи имеют экспериментальный характер, важно только *указать* принципиально правильный путь решения. При этом предполагается, что приборы и инструменты, упомянутые в тексте 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 прикидочные результаты представляют большую ценность. Так, например, в настоящее время длины световых волн измеряются с поразительной точностью (напомним, что за 1 метр в Интернациональной системе единиц принимается отрезок, на котором укладывается в вакууме 1650763,73 длин одной из волн спектра благородного газа криптона, точнее — изотопа криптона с массовым числом 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 него не был известен даже их порядок.

Большинство положений, в которое вас ставит 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 сложные 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, так как при решении многих задач могут понадобиться сведения из самых различных глав физики. Поэтому автор решил разбить задачи на разделы по обстановке, в которой предлагается выполнить задание. Внутри каждого раздела задачи расположены в порядке нарастания трудности, хотя, безусловно, впечатление автора о сложности задачи не обязательно должно совпадать с мнением читателя.

Большинство из приведенных в книге задач составлено автором и печатается впервые, 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. По-видимому, книга может оказаться полезной и учителям средней школы, например при составлении викторин для вечера занимательной физики.

При решении некоторых задач рекомендуется пользоваться справочником физических величин. Большинство необходимых сведений можно почерпнуть в приложениях к школьным задачникам по физике, но иногда придется заглянуть и в более подробные таблицы, имеющиеся, например, в «Кратком физико-техническом справочнике» («Физматгиз», М., тт. 1 и 2, 1960 г.; т. 3, 1962 г.).

Пользуясь случаем, автор сердечно благодарит рецензентов книги М. И. Блудова и А. С. Ирисова за доброжелательную и конструктивную критику, а также А. П. Рымкевича за ряд ценных советов.

Автор

В домашней обстановке

1. Вам предложили определить плотность сахара. Как это сделать, располагая только бытовой мензуркой, если опыт предложено произвести с сахарным песком?

2. Даны стограммовая гирька и линейка с делениями. Как с их помощью определить приближенно массу некоторого тела, если она не особенно сильно отличается от массы гирьки? Как поступить, если вместо гирьки дан набор медных монет?

3. Каким образом можно найти емкость кастрюли, пользуясь весами и набором гирь?

4. Имеется цилиндрический стакан, до краев наполненный жидкостью. Как разделить содержимое стакана на две совершенно равные части, располагая еще одним сосудом, но уже иной формы и несколько меньшего размера?

5. Два товарища стояли на балконе и отдыхали. От нечего делать они размышляли над тем, как определить, в чьей коробке осталось меньше спичек, не открывая коробок.

А какой метод можете предложить вы?

6. Как определить положение центра тяжести гладкой палки, не пользуясь никакими инструментами?

7. Как определить диаметр футбольного мяча *жесткой* (например, обычной деревянной) линейкой?

8. Как найти диаметр небольшого шарика с помощью мензурки?

9. Необходимо возможно точнее узнать диаметр сравнительно тонкой проволоки, располагая для этой цели только школьной тетрадью «в клетку» и карандашом.

Как следует поступить?

10. Имеется заполненный водой сосуд прямоугольной формы, в котором плавает некоторое тело. Как с помощью одной линейки определить массу тела?

11. Даны стальная спица и мензурка с водой. Как определить плотность кусочка пробки?

12. Укажите, как, имея только линейку, определить плотность дерева, из которого изготовлена палочка, плавающая в узком цилиндрическом сосуде.

13. Стеклянная пробка имеет внутри полость. Нужно определить объем полости, не разбивая пробки. Можно ли это сделать с помощью весов, набора гирь и сосуда с водой?

14. Имеется железный лист, прибитый к полу, легкий деревянный цилиндрический стержень (палка) и линейка. Разработайте способ определения коэффициента трения дерева о железо с применением только перечисленных предметов.

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

16. Имеются две линзы: одна — собирающая, вторая — рассеивающая. Как определить, какая из них обладает большей оптической силой, не прибегая к помощи никаких приборов?

17. Длинный коридор, лишенный окон, освещается электрической лампой. Ее можно зажечь и погасить выключателем, установленным у входной двери. Это неудобно выходящему на улицу, поскольку до выхода он вынужден добираться в темноте. Впрочем, вошедший и включивший при входе лампу тоже недоволен: пройдя коридор, он оставляет лампу, которая будет гореть напрасно.

А нельзя ли придумать схему, которая позволяла бы включать и выключать лампу из разных концов коридора?

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

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

20. Допустим, что вам нужно наполнить водой большой бак известной емкости с помощью гибкого шланга, снабженного цилиндрической насадкой. Вы хотите знать,

сколько времени продлится это скучное занятие. Нельзя ли его вычислить, располагая только линейкой?

21. Нужно определить давление в футбольном мяче с помощью чувствительных весов и линейки. Как это сделать?

22. Имеется перегоревшая электрическая лампочка. Как с помощью цилиндрического сосуда с водой и линейки с делениями узнать давление внутри этой лампочки?

23. Попробуйте решить предыдущую задачу, если вам разрешено использовать наполненную водой кастрюльку и весы с набором гирь.

24. 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 давлеиие.

25. Как определить теплоту парообразования воды, располагая домашним холодильиником, кастрюлей неизвестиой емкости, часами и равномерно горящей газовой горелкой? Теплоемкость воды считать известной.

26. За окном снег, а в комнате тепло. К сожалению, измерить температуру нечем — нет термометра. Но зато есть батарея, очень точный вольтметр и такой же амперметр, сколько угодно медной проволоки и подробный физический справочник. Нельзя ли с их помощью найти температуру воздуха в комнате?

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

28. Дочь обратилась к отцу, записывавшему показания электросчетчика, с просьбой отпустить ее погулять. Давая разрешение, отец попросил дочь вернуться ровно через час. Как отец сможет проконтролировать продолжительность прогулки, не пользуясь часами?

29. Задача № 17 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 мест.

30. Если поставить деревянный кубик на покрытый сукном диск проигрывателя радиолы близко к оси вращения, он 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?

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

32. При обучении музыке и 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, если это не сделано на заводе, с помощью нитки, стального шарика и рулетки?

33. 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, куском кирпича и рулеткой. Как следует распорядиться этим набором, чтобы выполнить задание?

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

35. Два полых шара, имеющих одинаковые вес 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?

36. Как определить вес некоторого тела с помощью прочной однородной рейки с делениями и куска не очень толстой медной проволоки? Разрешено пользоваться также справочником физических величин.

37. Требуется найти радиус сферического зеркала (или радиус кривизны *вогнутой* линзы) с помощью секундомера и стального шарика известного радиуса. Как это сделать?

38. 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 расстояния между берегами. Каким образом взрослый и ребенок могут перебраться с одного берега на другой?

39. Как при помощи одного секундомера можно в некоторых случаях оценить длину молнии по продолжительности грома?

40. На столбе подвешен колокол, по которому регулярно с интервалом точно 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?

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

42. 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 под зеленый свет. Обычно показания табло меняются в такой последовательности: вначале 45 *км/час*, затем 50 *км/час*, 55 *км/час* и, наконец, 60 *км/час*, после чего табло гаснет, так как скорость более 60 *км/час* разрешена лишь на небольшом числе улиц.

Как, стоя у перекрестка и наблюдая за показаниями табло, определить расстояние до следующего светофора с помощью одних лишь часов?

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

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

45. Нужно определить начальную скорость пули игрушечного пистолета, располагая только рулеткой. Как это сделать?

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

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

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

49. Для определения направления магнитного меридиана предлагается воспользоваться стаканом с водой, щепоткой нашатыря (NH_4Cl), куском проволоки, ножницами, мотком медной проволоки, небольшой цинковой пластинкой и пробкой. Как с помощью перечисленного набора выполнить задание?

50. Представьте, что для определения высоты башни (или какого-то другого здания) вас снабдили блюдечком со ртутью, транспортиром, небольшим грузиком и нитью. Справитесь ли вы с заданием, если размеры отдельных частей своего тела вы знаете?

51. Как определить высоту горы с помощью нагревателя, кастрюльки с водой и точного термометра?

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

53. 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 стального шарика?

На озере

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

55. 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 вес обеих лодок был одинаковым.

Как им выполнить свое намерение, пользуясь оказавшейся у них длинной веревкой?

56. 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?

57. 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 транзистор. После этого один из туристов заявил, что расстояние до базы — почти три километра. Каким образом он определил это расстояние?

58. 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?

59. 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 весом 1 килограмм и транспортира, которые у него случайно оказались.

Попробуйте догадаться, каким образом рыболов решил задачу.

60. Сможет ли рыбак определить прочность лески, располагая гирей весом 1 килограмм и рулеткой?

61. Рыболов решил вычислить 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, гирькой и секундомером.

Как должен быть поставлен опыт по определению интересующей его величины?

62. Камень был брошен в озеро со спокойной водой. Как определить примерно дальность броска с помощью метровой линейки и секундомера?

63. 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.

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

65. Трогаясь со станции, поезд некоторое время движется практически равноускоренно. Укажите способ определения величины ускорения в этот период с помощью нити, стограммовой гирьки и масштабной линейки.

66. Как решить предыдущую задачу, если масштабная линейка заменена на динамометр — точные пружинные весы?

67. Как решается задача № 65, если вместо масштабной линейки экспериментатору предложили воспользоваться транспортиром?

68. В одном из моторных вагонов пригородной электрички установлен точный счетчик оборотов колеса и термометр, измеряющий температуру внешнего воздуха.

Как с их помощью определить термический коэффициент линейного расширения металла, из которого изготовлены колеса вагонов электрички?

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

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

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

72. Как выполнить задание предыдущей задачи, если в вашем распоряжении имеется два проводника и стакан с водой?

73. Как решить задачу № 71, располагая двумя медными проводниками и сырой картофелиной?

74. Автомобилиста попросили определить угол, образуемый шоссе с горизонтом. Для этой цели его снабдили обручем и секундомером. Как должен поступить автомобилист?

В школьной лаборатории

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

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

77. В ящике стола лежали два совершенно одинаковых по внешнему виду бруска. Один из них был изготовлен из мягкого железа, а второй — стальной и намагничен. Как, пользуясь только этими двумя брусками, отличить магнит от простого железа?

78. Одна из двух совершенно одинаковых сферических стеклянных колб заполнена водой, а другая — спиртом. Колбы плотно закупорены. Как с помощью настольной лампы, не открывая колб, узнать, в которой из них налита вода, а в какой находится спирт?

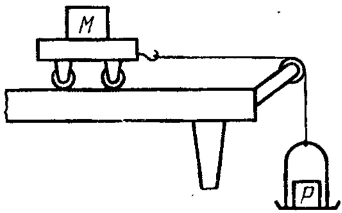

Рис. 1.

79. С помощью гирь, секундомера и установки, схематически показанной на рис. 1, нужно определить массу тела M. Как проще всего это сделать?

80. На замкнутый железный сердечник надеты две катушки. Как определить число витков в каждой из них, если в распоряжении имеется источник переменного тока, моток изолированной проволоки и весьма чувствительный многошкальный вольтметр?

81. Нужно узнать массу и длину медного проводника, из которого сделана обмотка катушки электромагнита.

Катушку разматывать не хотелось бы. Можно ли выполнить задание, располагая источником тока, вольтметром, амперметром и микрометром?

82. Как определить диаметр канала однородного стеклянного капилляра, например, от обычного медицинского термометра, с помощью линейки, резиновой груши, точных весов с разновесом и капельки ртути?

Линейка слишком груба, чтобы ею можно было воспользоваться для непосредственного измерения диаметра.

83. Для измерения скорости винтовочной пули экспериментатор располагает электромотором с известной скоростью вращения, двумя картонными дисками, клеем, линейкой и транспортиром.

Каким образом он должен распорядиться этим набором предметов?

84. Определение веса некоторого тела предложено произвести с помощью штатива, пружины, линейки и единственной гири с известным весом. Каким образом это можно сделать?

85. Даны деревянная доска, брусок из того же материала и линейка. Разработайте способ определения коэффициента трения дерева о дерево, в котором использовались бы только эти предметы.

86. Как с помощью динамометра определить коэффициент трения между бруском и наклонной плоскостью, на которой он находится? Наклон плоскости постоянен и не очень велик, так что без приложения сил извне брусок по плоскости не скользит.

87. Обычно для определения массы тел пользуются весами и набором гирь. Ну, а как быть, если весов нет? Один из способов «взвешивания» тела без весов рассмотрен в задаче № 79. Теперь нужно разработать иной вариант, так как гиря всего одна, а вместо изображенной на рис. 1 установки предлагается воспользоваться мотком тонкого, но прочного шнура, легким блоком и секундомером.

88. 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.

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

90. Имеется аккумулятор, электродвижущая сила и внутреннее сопротивление которого неизвестны, амперметр, соединительные провода и два сопротивления — известное и неизвестное. Как определить величину неизвестного сопротивления?

91. 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, справочник по физике и географическая карта области. Как с помощью перечисленного набора предметов можно определить среднюю скорость, с которой ваш товарищ проезжает на велосипеде путь от вашего города до соседнего поселка и обратно?

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

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

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

95. Камертон, изготовленный из инвара (сплав с очень маленьким коэффициентом теплового расширения), имеет частоту 440 *гц* практически независимо от температуры. Каким образом можно определить температуру в лаборатории, считая биения между камертоном и органной трубой, дающей при 0 °C также 440 колебаний в секунду, если длина органной трубы не изменяется с температурой?

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

97. Предложите способ определения площади однородной пластины неправильной формы с помощью треугольника, имеющего деления, ножниц и весов с набором гирь.

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

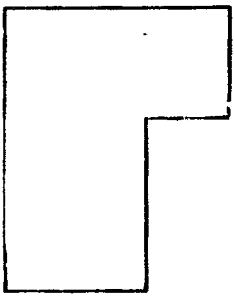

Рис. 2.

99. Как с помощью одной лишь линейки, не имеющей делений, определить положение центра тяжести однородной металлической пластинки (рис. 2), все углы у которой прямые?

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

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

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

103. Неопытный токарь изготовил партию деталей с ошибкой, в результате которой вес каждой детали оказался на 10 граммов меньше положенного. Перед отправлением на переплавку неверно изготовленные детали хранились на складе в отдельном ящике, рядом с кото-

рым стояло еще девять точно таких же, но с безошибочно изготовленными деталями, имеющими, поэтому, правильный вес.

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 детали 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 же должен действовать кладовщик?

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

105. Коллекторный мотор 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 скорость вращения мотора, равную: а) 750 оборотов в минуту, б) 1500 оборотов в минуту?

В космосе

106. 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?

107. Для определения масс 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 все же предложили определить массу тела в этих условиях именно с помощью весов?

Какими весами — пружинными или рычажными — следует воспользоваться и как?

108. 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?

109. Для экспериментального определения ускорения силы тяжести на вновь обнаруженной планете космонавты решили воспользоваться небольшим стальным шариком, мощной лампой, электромотором с постоянной (известной) скоростью вращения, на оси которого закреплен картонный диск с узкой радиальной щелью, куском черного полотна, линейкой с делениями и фотоаппаратом, заряженным высокочувствительной пленкой.

Как следует распорядиться этим набором предметов и приборов, чтобы решить поставленную задачу?

110. Как решить предыдущую задачу с помощью гири известной массы и пружинных весов — динамометра?

111. Космонавты решили определить массу планеты, на которую их доставил ракетоплан. Для этой цели они использовали пружинные весы и килограммовую гирю. Каким образом они выполнили свое намерение, если радиус планеты был им известен ранее из астрономических измерений?

112. Продолжая изучать планету, на которую они попали, космонавты предприняли вторичное (см. задачу № 108) определение средней плотности ее вещества. Укажите, как им сделать это, располагая тонкой нитью известной длины, небольшим грузиком и часами. Космонавтам известна также длина экватора планеты, которую удалось определить еще перед посадкой.

113. Наблюдая у себя дома по телевизору высадку космонавтов на Луну, преподаватель одного из американских колледжей заметил, что у одного из отсеков корабля свисал рядом с фигурой космонавта, качаясь на чем-то вроде каната, какой-то тяжелый предмет. Посмотрев на свои часы, преподаватель сумел определить ускорение силы тяжести на Луне. Как он сделал это?

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

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

116. Представим, что на Венере зародилась жизнь, и с течением времени там появились разумные существа («гуманоиды», по терминологии современных писателей-фантастов). 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 венеряне 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.

ПОДСКАЗКИ

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. Подоприте линейку посередине, положив ее, например, на ребро трехгранного напильника, и вспомните условие равновесия рычага.

3. Взвесьте пустую кастрюлю, а потом — кастрюлю с водой.

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

5. Подумайте вначале над тем, почему при раскрытии парашюта скорость падения парашютиста резко уменьшается.

6. Палка будет находиться в равновесии, если ее подпереть в центре тяжести.

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

8. Диаметр шарика очень просто выражается через его объем.

9. Намотайте на карандаш вплотную несколько витков проволоки.

10. Вспомните закон Архимеда.

11. Эту задачу следует решать также с помощью закона Архимеда. Спица нужна лишь для того, чтобы погрузить пробку под воду.

12. Чем больше плотность плавающего тела, тем меньшая часть его объема находится над водой.

13. Существует легенда, что Архимед открыл свой закон, размышляя над тем, как установить, изготовил ли придворный ювелир царю Гиерону корону из чистого золота или часть его заменил на серебро. В нашей задаче

роль короны выполняет пробка, роль золота — стекло, а роль серебра — воздух.

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

15. Оптически более сильной называется линза с меньшим фокусным расстоянием.

16. Оптическая сила системы двух вплотную сложенных тонких линз равна сумме оптических сил отдельных линз.

17. Для решения задачи, вероятно, проще всего воспользоваться однополюсным переключателем (рис. 3).

18. Если банку сбросить с крыши дома, то звук удара банки о земную поверхность будет отчетливо слышен.

19. Чем больше диаметр сосуда, тем медленнее он заполняется.

20. Высота фонтана определяется скоростью истечения воды.

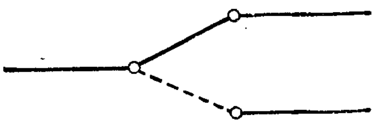

Рис. 3.

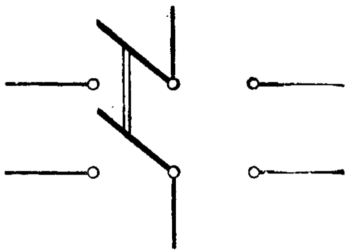

Рис. 4.

21. Плотность газа зависит от давления, под которым он находится.

22—24. При неизменной температуре объем газа обратно пропорционален давлению.

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

26, 27. При нагревании металла его сопротивление возрастает по линейному закону.

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

29. Попробуйте использовать двухполюсные переключатели (см. рис. 4).

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

31, 32. Вспомните формулу для расчета периода колебаний математического маятника.

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

34. Попробуйте привести брусок в движение, прикладывая силу на разной высоте, и пронаблюдайте за его поведением.

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

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

37. Центр катающегося по поверхности зеркала шарика совершает такое же движение, как маятник.

38. Если плечи у рычага различной длины, то ребенок может уравновесить взрослого.

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

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

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

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

43. Воспользуйтесь вторым и третьим законами Ньютона.

44. Смотрите подсказку к задаче № 41.

45—47. Чем больше скорость тела, брошенного под углом к горизонту, тем выше оно поднимется и дальше улетит.

48. Смотрите подсказку к задаче № 41.

49. Вокруг катушки, по которой течет электрический ток, образуется магнитное поле, подобное существующему около постоянного магнита.

50. Блюдечко со ртутью надо использовать как горизонтально расположенное зеркальце, в котором можно увидеть отражение вершины башни.

51. Температура кипения зависит от давления, а давление убывает с высотой.

52. Используйте зависимость освещенности от расстояния до источника света.

53. Вспомните первый закон Ньютона и учтите, что вращающаяся платформа не является инерциальной системой отсчета.

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

55, 56. Воспользуйтесь основными законами динамики.

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

58. Попробуйте воспользоваться законом Бойля — Мариотта.

59, 60. Обратите внимание на тот факт, что, как бы сильно вы ни натягивали леску с подвешенной на ней гирей, натянуть ее строго горизонтально не удастся.

61. Проанализируйте выражение для центростремительной силы.

62. От места падения камня начинают распространяться волны, достигающие берега.

63, 64. Скорость капли относительно поезда или автомобиля равна векторной сумме ее скорости относительно земли и скорости земли относительно экипажа. Рассмотрите взаимную ориентацию этих трех векторов.

65—67. Рассмотрите силы, действующие на гирьку, подвешенную на нити.

68. Все тела при нагревании расширяются.

69. Ознакомьтесь с устройством и назначением спидометра автомобиля.

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

71. Вспомните опыт Эрстеда и правило буравчика.

72. Погрузите концы проводников, ведущих к электродам, в воду и наблюдайте происходящие явления.

73. Присоедините проводники к электродам и воткните свободные концы в разрезанную картофелину.

74. Время скатывания обруча зависит от наклона шоссе.

75. Заставьте оба маятника колебаться и наблюдайте.

76. Вспомните явление капиллярности и описывающие его законы.

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

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

79. Одинаковые силы сообщают равным по массе телам одинаковые ускорения.

80. Вспомните устройство и принцип действия трансформатора.

81. Сопротивление и масса проводника зависят от его диаметра и длины.

82. Масса цилиндра прямо пропорциональна его высоте и квадрату диаметра.

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

84. Воспользуйтесь законом Гука.

85. Брусок не будет скользить по плоскости, пока ее наклон не очень велик.

86. Смотрите подсказку к задаче № 70.

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

88, 89. Количество тепла, необходимое для изменения температуры тела, пропорционально его массе.

90. Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи.

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

92. В цепях переменного тока конденсатор ведет себя как сопротивление, величина которого определяется емкостью конденсатора и частотой переменного тока.

93. Сопротивление проводника прямо пропорционально его длине.

94. Смотрите подсказку к задаче № 36.

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

96. Сломайте полотно на две части.

97. Масса однородной по толщине пластинки пропорциональна ее площади.

98. Тело плавает в жидкости, если его плотность меньше плотности жидкости.

99. Центр тяжести системы двух тел лежит на прямой, соединяющей центры тяжести этих тел.

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

101. Сопротивления обеих катушек ваттметра сильно различаются.

102. Разность потенциалов на концах участка пропорциональна текущему по участку току.

103. Если из трех наудачу выбранных из ящиков деталей бракованными оказались две, общий вес деталей окажется на двадцать граммов меньше положенного. Если же среди трех деталей бракованной оказалась только одна, общий вес будет меньше правильного только на десять граммов.

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

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

106. Вспомните принцип действия ракеты.

107. Как впервые на это обратил внимание А. Эйнштейн, силы инерции, появляющиеся в ускоренно движущихся системах, эквивалентны гравитационным силам.

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

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

110. Воспользуйтесь вторым законом Ньютона.

111. Вспомните закон всемирного тяготения.

112. Прочитайте подсказки к двум предыдущим задачам.

113. Воспользуйтесь формулой для периода качаний математического маятника.

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

115. Если ротор электромотора закрепить, начнет вращаться статор, если ему ничто не мешает.

116. Вспомните свойства гироскопа и маятника.

1. Насыпав в мензурку (об устройстве бытовой мензурки рассказано в разделе «Подсказки») некоторое количество сахарного песка, находим его массу по соответствующей шкале, а объем — по шкале жидкостей. После этого плотность рассчитывается обычным образом. Полученное значение будет, однако, несколько меньше истинного, поскольку в найденный объем вносят вклад заполненные воздухом промежутки между крупинками сахара.

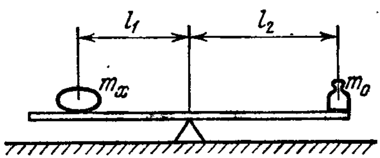

Рис. 5.

2. Решение иллюстрируется рисунком 5. Нужно на ребро напильника положить середину линейки, что нетрудно сделать, руководствуясь имеющимися на ней делениями. Затем для гирьки и исследуемого тела подбирается положение, при котором система будет находиться в равновесии. Тогда из условия равновесия рычага

$$m_x g l_1 = m_0 g l_2$$

(g — ускорение силы тяжести) можно найти искомую массу m_x. Величины l_1 и l_2 отсчитываются по делениям на линейке, а m_0 равна 100 *г* по условию задачи. В равенстве, выражающем условие равновесия рычага, вес линейки можно не учитывать, так как относительно оси вращения момент этой силы равен нулю.

Для ответа на второй вопрос задачи следует знать, что вес советских «медных» монет в граммах совпадает с их стоимостью в копейках.

3. Пусть масса пустой кастрюли равна m_1, а после наполнения водой она составляет m_2. Тогда разность $m_2 - m_1$ дает массу воды в объеме кастрюли. Поделив эту разность на плотность воды ρ, находим объем

кастрюли V:

$$V = \frac{m_2 - m_1}{\rho}.$$

4. Если через точки M и N мысленно провести плоскость так, как это показано на рис. 6, *а*, то она рассечет цилиндр на две симметричные и поэтому равные по объему фигуры. Отсюда вытекает решение задачи.

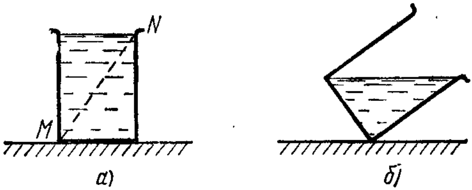

Рис. 6.

Постепенно наклоняя стакан, нужно отливать содержащуюся в нем жидкость до тех пор, пока чуть-чуть не покажется дно (рис. 6, *б*). В этот момент в стакане останется ровно половина жидкости.

5. На падающий коробок действуют две силы — притяжение к Земле и сопротивление воздуха. Первая определяется массой и для более полного коробка оказывается большей. В то же время вторая при равных скоростях одинакова для обоих коробков. Поэтому для более полного коробка равнодействующая этих сил будет, вообще говоря, больше. Следовательно, он будет иметь большее ускорение *) и, быстрее набирая скорость, раньше достигнет земли. Таким образом, следует одновременно уронить обе коробки с балкона. Та из них, которая раньше достигнет земной поверхности, содержит больше спичек. Убедительные результаты получатся, конечно, лишь в том случае, если разница в количестве спичек в коробках не особенно мала.

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

---

*) Ускорение увеличивается с ростом массы, так как

$$a = \frac{P - F_{\text{сопр}}}{m} = \frac{mg - F_{\text{сопр}}}{m} = g - \frac{F_{\text{сопр}}}{m}.$$

Если положить палку горизонтально на края ладоней обеих рук, поставленных ребром, и медленно сдвигать руки, то они всегда сойдутся в центре тяжести, и палка не будет падать, каким бы образом ни сдвигать руки.

Это происходит потому, что при приближении одной руки к центру тяжести давление на нее возрастает по сравнению с давлением на вторую руку, более удаленную от центра тяжести. Так как одновременно с давлением увеличивается сила трения, то она превзойдет силу трения между палкой и второй рукой, вследствие чего движение палки относительно первой руки прекратится и начнется движение относительно второй. Таким образом, центр тяжести будет все время находиться между ладонями и в конце концов будет ими «пойман».

7. Достаточно прокатить смоченный водой мяч по полу, чтобы он сделал один оборот, и измерить длину l влажной дорожки. Диаметр d вычисляется затем по формуле

$$d = l : \pi.$$

Можно также обернуть мяч «по экватору» один раз ниткой, измерить ее длину и вычислить диаметр тем же способом.

8. Вначале с помощью мензурки определяется обычным образом объем V шарика, а затем по формуле

$$d = \sqrt[3]{6V/\pi}$$

рассчитывается диаметр d.

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

Следует намотать проволоку на карандаш вплотную виток к витку в таком количестве, чтобы она занимала целое число клеток. При этом нужно выбирать не слишком малое число витков, иначе ошибка, как станет ясно из дальнейшего, окажется большой. После этого, разделив длину l, занятую на карандаше проволокой, на число витков n, получим искомую величину:

$$d = l/n$$

(см. рис. 7, на котором тетрадный лист заменен линейкой).

В теории ошибок доказывается, что относительная ошибка дроби равна сумме относительных ошибок числителя и знаменателя. В нашем случае l определено с точностью около 1% (см. выше). Подсчитывая число витков, экспериментатор вполне может ошибиться на один, так как часто трудно сказать, что правильнее взять, например 49 витков или 50. Поэтому для относительной ошибки знаменателя получаем около 0,02. Таким образом, относительная ошибка в определении диаметра проволоки составит 3%, а абсолютная — при диаметре 0,1 *мм* — всего 0,003 *мм*, что не так уж плохо. К сожалению, фактическая ошибка будет всегда больше, так как намотать проволоку вплотную трудно.

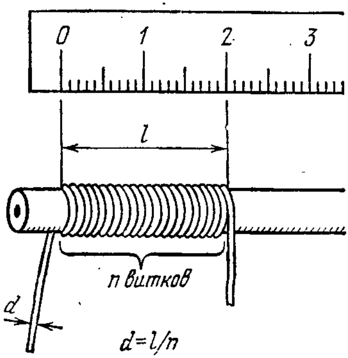

Рис. 7.

10. Если тело плавает, то его масса равна массе вытесненной воды. Сначала находим объем вытесненной воды, умножая площадь сечения сосуда, найденную с помощью линейки, на уменьшение уровня воды в сосуде после удаления тела (измеряется также линейкой). Умножая объем вытесненной воды на ее плотность, находим массу воды, а, следовательно, и массу плавающего тела.

11. Бросив пробку в мензурку и отсчитав увеличение уровня воды, найдем массу пробки разобранным в решении предыдущей задачи способом. Объем пробки можно определить, полностью утопив ее с помощью спицы в воде. После этого легко рассчитать плотность.

12. Кроме способа, предложенного в предыдущей задаче, можно указать следующий. Измерим полную длину палочки, а затем опустим ее в воду. Пусть вся длина составляет l_1, а находящаяся под водой часть равна l_2. Тогда масса палочки

$$m_1 = l_1 S \rho_1,$$

где ρ_1 — плотность дерева, а S — площадь поперечного сечения палочки.

В то же время масса вытесненной воды

$$m_2 = l_2 S \rho_2,$$

где ρ_2 — плотность воды. Поскольку палочка плавает, эти массы равны:

$$l_1 S \rho_1 = l_2 S \rho_2,$$

откуда находим:

$$\rho_1 = \rho_2 (l_2/l_1).$$

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

13. Объем полости $V_{пол}$ связан с объемом пробки $V_{пр}$ и объемом стекла $V_{ст}$ очевидным равенством:

$$V_{пол} = V_{пр} - V_{ст}.$$

Пусть масса пробки равна m_1. Если же 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. Поэтому, разделив эту разность на плотность воды ρ_1, находим объем вытесненной воды и, стало быть, объем пробки:

$$V_{пр} = (m_1 - m_2)/\rho_1.$$

Для определения объема стекла достаточно массу пробки разделить на взятое из таблиц значение плотности стекла ρ_2:

$$V_{ст} = m_1/\rho_2.$$

После этого имеем окончательно:

$$V_{пол} = \frac{m_1 - m_2}{\rho_1} - \frac{m_1}{\rho_2}.$$

14. Упритесь в железный лист вертикально поставленной палкой, а затем постепенно наклоняйте ее, нажимая на верхний конец (см. рис. 8). При некотором угле наклона α палка начнет скользить по железу. Это произойдет в тот момент, когда горизонтальная составляющая силы F, приложенной к верхнему концу палки в направлении ее длины, сравняется с силой трения.

Горизонтальная составляющая силы F равна $F\cos\alpha$. В то же время силу трения можно выразить следующим образом:

$$F_{\text{тр}} = k(P + F\sin\alpha),$$

где k — искомый коэффициент трения, P — вес палки, а $F\sin\alpha$ — вертикальная составляющая силы F, прижимающая палку (вместе с ее весом) к жести. Приравнивая эти силы, получаем:

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

откуда

$$k = \frac{F\cos\alpha}{P + F\sin\alpha}.$$

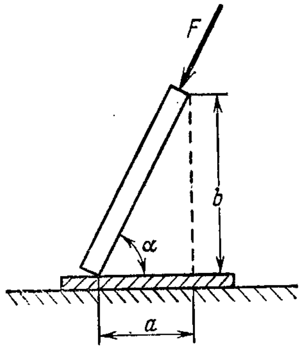

Рис. 8.

Так как по условию задачи палка имеет небольшой вес, первым слагаемым в знаменателе можно пренебречь, тем более что сила F, с которой экспериментатор действует на верхний конец палки, ограничена только возможностями экспериментатора 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.

15. Отодвигая линзы от стены, следует получить на ней резкое изображение нити лампы. Та линза, которая при этом будет расположена ближе к стене, имеет бóльшую оптическую силу.

16. Следует сложить обе линзы вплотную. Если полученная система будет собирать лучи, оптическая сила собирающей линзы больше. В противном случае большей оптической силой обладает рассеивающая линза.

17. Нужно воспользоваться двумя однополюсными переключателями, включив их в цепь питания лампы так, как это показано на рисунке 9.

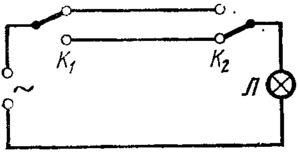

Рис. 9.

18. Встав на крышу дома, нужно выпустить банку из рук, одновременно нажав на пусковую кнопку секундомера. Услышав звук удара банки о землю, следует остановить секундомер. Показания секундомера t складываются из времени падения банки t_1 и времени t_2, за которое звук удара ее о земную поверхность дойдет до 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

$$h = ct_2,$$

где c — скорость звука, которую при расчетах мы положим равной 340 *м/сек.*

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

$$\sqrt{\frac{2h}{g}} + \frac{h}{c} = t,$$

из которого можно найти высоту дома.

При приближенном вычислении (в особенности если дом невысок) второе слагаемое слева можно считать малым и отбросить. Тогда

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

19. Штангенциркулем измеряем высоту h и диаметр d_1 сосуда и вычисляем его объем:

$$V = \frac{\pi d_1^2}{4} h.$$

После этого определяем с помощью секундомера время t, за которое текущая вода заполняет банку.

Тогда количество Q воды, вытекающей за единицу времени, составит

$$Q=\frac{V}{t}=\frac{\pi d_1^2}{4}\cdot\frac{h}{t}.$$

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

$$Q=Sv=\frac{\pi d_2^2}{4}v,$$

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.

20. Направив шланг вертикально вверх, определим с помощью линейки высоту h, на которую поднимается 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), находим расход воды Q, т. е. количество ее, вытекающее ежесекундно:

$$Q=vS=\sqrt{2gh}\,\frac{\pi d^2}{4}.$$

После этого оказывается возможным определение времени наполнения бака, так как его емкость V была известна заранее:

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

21. На все тела, находящиеся в воздухе, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненного воздуха. Поэтому результат взвешивания мяча, накачанного до давления p, можно представить в следующем виде:

$$M=M_{\text{м}}+M_{\text{в}}-m,$$

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

Поскольку при накачивании объем V мяча практически не изменяется, 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 увеличение плотности воздуха от значения ρ_0, соответствующего атмосферному давлению, до величины ρ при искомом давлении:

$$\frac{M - M_0}{V} = \rho - \rho_0.$$

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

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{p}{p_0}.$$

Из двух последних выражений получаем следующее выражение для интересующей нас величины:

$$p = \frac{p_0}{\rho_0}\rho = \frac{p_0}{\rho_0}\left(\rho_0 + \frac{M - M_0}{V}\right) = p_0 + \frac{p}{\rho_0} \cdot \frac{M - M_0}{V}.$$

Разность масс в этом выражении определяется с помощью весов, объем мяча рассчитывается по величине диаметра, измеренного линейкой (см. задачу № 7), а величины p_0 и ρ_0 берутся из таблиц (они равны соответственно 1 атмосфере и 1,293 *кг/м*^{3}). Если желателен более точный результат, то следует принять во внимание изменение плотности воздуха с температурой, т. е. вместо величины 1,293, соответствующей 0 °C, подставлять в приведенную формулу значение плотности, соответствующее температуре воздуха в данный момент.

22. Прежде всего осторожно, чтобы не разбить лампочку, удалим цоколь и, погрузив ее целиком в воду, найдем с помощью линейки повышение Δh_1 уровня воды в сосуде. После этого, не вынимая лампы из воды, сломаем штангель (трубку, через которую производится откачка лампы и ее заполнение инертным газом). В лампу войдет некоторое количество воды, и ее уровень в сосуде понизится, станет лишь на Δh_2 больше, чем в самом начале. Этих сведений вполне достаточно для решения задачи.

В самом деле, при искомом давлении p газ занимал весь объем лампы V_1, который, пренебрегая объемом стеклянных стенок, можно записать как произведение площади поперечного сечения сосуда S на увеличение уровня воды в сосуде при погружении лампы: $V_1 = S\,\Delta h_1$.

После того как был сломан штангель, давление газа стало равным атмосферному (давлением столба 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:

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

Изменения уровня воды Δh_1 и Δh_2 измеряются линейкой, а p_0 либо берется по барометру, либо полагается равным одной атмосфере (760 *мм* рт. ст.).

23. Прежде всего, 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 сломаем штангель. Когда вода перестанет поступать в лампу 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, равна m_2. Заполним теперь лампу водой целиком и вновь определим массу. Допустим, она окажется равной m_3.

Нетрудно сообразить, что разность $m_3 - m_1$ дает массу воды, целиком заполняющей колбу лампы. Разделив эту разность на плотность воды ρ, мы 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:

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

Отсюда искомое давление равно

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

24. Если трубка поставлена вертикально отверстием вверх, заключенный в ней воздух находится под давлением

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

где через p_0 обозначено атмосферное давление, ρ — плотность ртути, g — ускорение силы тяжести и h — высота ртутного столбика. Это давление сжимает воздух в трубке до объема

$$V_1 = l_1 S$$

(l_1 — длина воздушного столбика, S — площадь поперечного сечения трубки).

В трубке, поставленной вертикально отверстием вниз, давление составляет

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

а объем воздуха

$$V_2 = l_2 S.$$

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

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

откуда

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

Плотность ртути и ускорение силы тяжести берутся из таблиц, а величины l_1, l_2 и h измеряются линейкой.

Если давление атмосферы достаточно выразить в *мм* рт. ст., формула упрощается:

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

25. Пусть кастрюля содержит воду, охлажденную в холодильнике до 0 °C (в воде еще плавают маленькие кусочки льда). Поставим ее на газовую плиту, одновременно заметив показания часов. Пусть до момента закипания пройдет время τ_1, а затем еще τ_2 до того, как вся вода испарится.

Если при сгорании газа ежесекундно образуется q джоулей, то количества теплоты Q_1 и Q_2, потребные соответственно для нагревания воды и на обращение нагретой воды в пар, можно записать в следующем виде:

$$Q_1 = mc\,(t_{100^\circ} - t_{0^\circ}) = 100\,mc = q\tau_1,$$

$$Q_2 = mr = q\tau_2,$$

где m — масса налитой в кастрюлю воды, c — теплоемкость воды, а r — теплота парообразования. Поделив равенства почленно, получим:

$$\frac{100\,c}{r} = \frac{\tau_1}{\tau_2},$$

откуда

$$r = 100\,c\,\frac{\tau_2}{\tau_1}.$$

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

26. 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. Пользуясь затем зависимостью между сопротивлением проводника и его температурой

$$R_t = R_0\,(1 + \alpha t),$$

находим температуру воздуха в комнате:

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

При расчете используется значение температурного коэффициента сопротивления α, взятое из справочника. В области комнатных температур для чистой меди $\alpha = 0{,}0043$ *град*$^{-1}$. Если содержание примесей в меди, из которой изготовлена проволока, не особенно велико, а электроизмерительные приборы имеют класс точности 0,1 *), то температуру воздуха можно определить с погрешностью, значительно меньшей одного градуса.

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

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

можем определить как температурный коэффициент сопротивления

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \cdot 100},$$

так и интересующую нас температуру воздуха в комнате:

$$t = \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} \cdot 100.$$

28. Определить длительность прогулки, располагая электрической лампочкой и счетчиком, о котором упоминается в тексте задачи, можно следующим образом.

Нужно включить лампу в момент ухода девочки, одновременно записав показания счетчика. Второе показание снимается по ее возвращении. Зная расход электроэнергии A, можно рассчитать время прогулки t из выражения

$$t = A/N,$$

где N — мощность электрической лампы, определяемая по надписи на цоколе или баллоне.

У счетчиков, обычно применяющихся в быту, при расходе энергии в 1 *квт-час* диск делает 1250 оборотов. Таким образом, при мощности лампы 100 *вт* за час диск должен совершить 125 оборотов, что нетрудно от-

*) Это очень хорошие приборы! В технике обычно применяются приборы класса 0,5; 1,0 или даже 2,0.

считать по обычно имеющейся у подобных счетчиков круглой шкале, на которой регистрируются целые обороты диска.

29. Наиболее простое решение задачи для случая, когда лампа может быть включена и выключена из четырех различных мест, иллюстрируется схемой, приведенной на рис. 10.

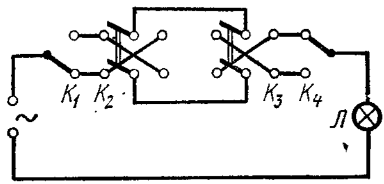

Рис. 10.

Легко видеть, что, добавив соответствующее число переключателей, можно собрать схему, позволяющую включать и выключать прибор из *любого* числа разных мест.

30. Чтобы кубик массой m вращался вместе с диском по окружности радиуса R, делая ν оборотов в секунду, к нему должна быть приложена со стороны диска центростремительная сила

$$F_{\text{цс}} = mv^2/R = 4\pi^2\nu^2 mR,$$

где v — линейная скорость центра тяжести кубика.

Из приведенного выражения видно, что при постоянной угловой скорости центростремительная сила должна монотонно возрастать с увеличением радиуса вращения. Между тем сила трения $F_{\text{тр}}$, играющая роль центростремительной, не может превысить значения

$$F_{\text{тр}} = kmg,$$

где k — коэффициент трения и g — ускорение силы тяжести.

Измерив линейкой значение $R_{\text{кр}}$, при котором кубик перестает держаться на вращающемся диске и сбрасывается с него, находим, приравнивая написанные выше выражения:

$$k = 4\pi^2\nu^2 R_{\text{кр}}/g.$$

В этом выражении величина ν также известна: она равна 33, 45 или 78 оборотам в минуту.

31. Привязав к концу нити гирьку, изготовим маятник, длина которого равна высоте комнаты. Так как масса нити мала, маятник можно считать «математическим», т. е. можно пользоваться формулой, связывающей период его колебаний T с длиной l и ускорением силы тяготения 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 справочника или положив его для простоты равным 9,8 *м/сек*². Подобным же образом определяем далее длину комнаты и ее ширину, а затем простым перемножением — объем.

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

32. 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, можно по формуле

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

рассчитать 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 рассчитывается только один раз. Затем для каждого положения грузика метронома определяется, скольким ударам соответствует целое число колебаний маятника. Умножая число качаиий маятника на его период, находим время работы метронома. Разделив эту величину на количество ударов метронома, определяем его период. Более подробно этот способ рассмотрен далее в решении задачи № 75.

33. 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

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4{,}9\ м}{9{,}8\ м/сек^2}} = 1\ сек.$$

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

34. Если к бруску приложить на небольшом расстоянии h от его основания горизонтально направленную силу F (см. рис. 11), превышающую максимальную силу трения $F_{тр} = kP$, брусок придет в движение. Если же сила приложена достаточно высоко, брусок может, не трогаясь с места, опрокинуться. Это будет в том случае, когда момент силы F относительно оси, проходящей, например, перпендикулярно к плоскости чертежа через точку A, окажется больше момента силы тяжести P относительно той же оси:

$$Fh > P\,a/2,$$

где a — ширина бруска.

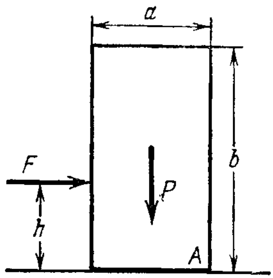

Рис. 11.

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

$$F = kP, \qquad Fh = P\frac{a}{2},$$

решая которую получаем:

$$k = a/2h.$$

Отсюда видно, что экспериментальное определение коэффициента трения возможно лишь в том случае, если высота бруска b удовлетворяет условию

$$b > a/2k.$$

35. 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 сложение поступательного и вращательного движений) ускорение определяется не массой тела, а его моментом инерции, который у медного шара больше, поскольку у него отдельные элементы в среднем дальше удалены от оси вращения.

(О моменте инерции можно прочитать в любом курсе физики для высшей школы, а также в решении задачи «Почему скорости различны?» в книге автора «Физические парадоксы и софизмы», изд-во «Просвещение», М., 1967 г.)

36. Следует подпереть рейку в середине (уравновесив ее, например, на спинке стула) и закрепить на одном конце взвешиваемое тело. На второе плечо рычага накидывается петля 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:

$$Pl_1 = \frac{\pi d^2}{4} \sigma l_2,$$

где P — искомый вес тела, l_1 — расстояние взвешиваемого тела до оси рычага, d — диаметр проволоки, σ — предел прочности меди при растяжении (сопротивление на разрыв) и l_2 — расстояние петли до точки опоры.

Расстояния l_1 и l_2 определяются по делениям на рейке, а значение σ берется из справочника.

Для нахождения диаметра проволоки используется способ, суть которого ясна из рассмотрения рисунка 7, причем в качестве линейки снова используется рейка.

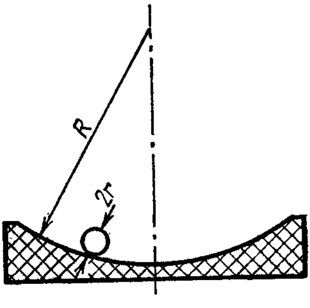

Рис. 12.

37. Следует расположить зеркало горизонтально и опустить на него шарик. Если шарик опущен не в самую нижнюю точку, он начнет двигаться по поверхности зеркала. Нетрудно догадаться, 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. 12). Тогда из формулы маятника

$$T = 2\pi \sqrt{(R-r)/g}$$

можно найти интересующую нас величину:

$$R = \frac{gT^2}{4\pi^2} + r.$$

Период T определяется с помощью секундомера, а r известно по условию.

Поскольку обычно трение достаточно велико, чтобы шарик двигался по поверхности зеркала с вращением, это решение плохо согласуется с опытом. На самом деле

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

38. Им следует поступить так, как это показано на рис. 13. Сначала по доскам перейдет взрослый и встанет на место ребенка, а затем по мостику пройдет ребенок.

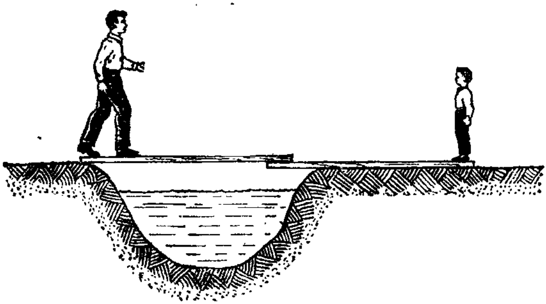

Рис. 13.

39. Пусть молния проскочила между точками A и B двух соседних облаков (см. рис. 14). 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.

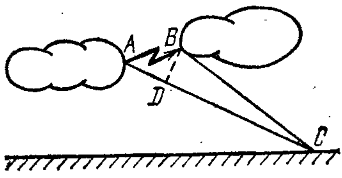

Рис. 14.

40. 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 колебаниям 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 вновь 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 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 численное значение скорости звука.

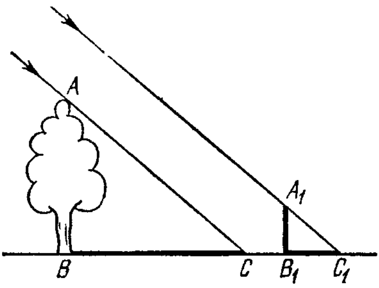

Рис. 15.

41. Решение иллюстрируется рисунком 15. Поставив линейку вертикально, нужно отметить на земле длину тени B_1C_1, а потом измерить ее, а также длину тени BC от дерева.

Из подобия треугольников ABC и $A_1B_1C_1$ находим:

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

где A_1B_1 — известная длина линейки.

42. 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 v_2 на v_3.

Если начать движение со скоростью v_1 непосредственно перед первой сменой показаний табло, автомобиль подъедет к следующему светофору под зеленый свет, пройдя расстояние S до него за время

$$t_1 = S/v_1.$$

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 S будет пройдено за время

$$t_2 = S/v_2.$$

Совершенно очевидно, что разность $t_1 - t_2$ равна показаниям секундомера τ. Таким образом,

$$\tau = (S/v_1) - (S/v_2),$$

откуда

$$S = \frac{v_1 v_2}{v_2 - v_1}\tau.$$

Например, если $v_1 = 45$ *км/час*, $v_2 = 50$ *км/час* и $\tau = 8$ *сек*, то

$$S = \frac{45\,\textit{км/час}\cdot 50\,\textit{км/час}}{50\,\textit{км/час} - 45\,\textit{км/час}}\cdot\frac{8}{3600}\,\textit{час} = 1\,\textit{км}.$$

43. Пусть мальчики измерят расстояния S_1 и S_2, которые они, оттолкнувшись друг от друга, проезжают до полной остановки. Помножив эти расстояния на соответствующие массы, коэффициент трения k и ускорение силы тяжести g, находим работы тормозящих сил

$$A_1 = km_1gS_1 \quad \text{и} \quad A_2 = km_2gS_2,$$

которые равны, разумеется, первоначальным кинетическим энергиям

$$A_1 = m_1v_1^2/2 \quad \text{и} \quad A_2 = m_2v_2^2/2.$$

Отсюда имеем следующие равенства:

$$kgS_1 = v_1^2/2 \quad \text{и} \quad kgS_2 = v_2^2/2.$$

Поделив их почленно, получаем:

$$\frac{S_1}{S_2} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2.$$

С другой стороны, количества движения, полученные при отталкивании мальчиками, должны быть равны, т. е.

$$m_1 v_1 = m_2 v_2 \quad \text{или} \quad \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2 = \left(\frac{m_2}{m_1}\right)^2.$$

Приравнивая отношения квадратов скоростей, получаем для искомой величины:

$$\frac{m_2}{m_1} = \sqrt{\frac{S_1}{S_2}}.$$

Поскольку расстояния S_1 и S_2 измерены, задача решена. Следует только отметить, что заслуживающий доверия результат можно получить только в том случае, если измерения проделаны неоднократно и во внимание принято среднее значение.

44. Установим рейку перпендикулярно к земной поверхности и измерим рулеткой длину l_1 тени, которую она отбрасывает. Затем отойдем от берега немного

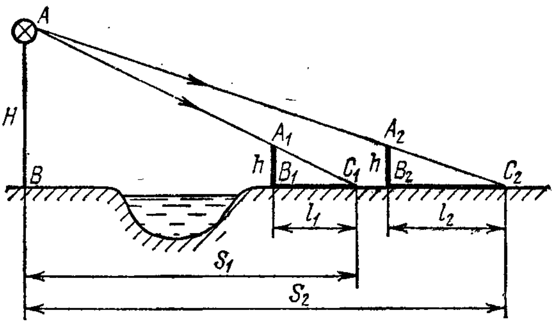

Рис. 16.

дальше, вновь поставим рейку вертикально и опять измерим длину l_2 ее тени. Из подобия треугольников ABC_1 и $A_1B_1C_1$ (см. рис. 16) можем записать пропорциональность сходственных сторон:

$$H/h = S_1/l_1$$

(все обозначения приведены на рисунке). Аналогично из треугольников ABC_2 и $A_2B_2C_2$ имеем:

$$H/h = S_2/l_2.$$

Найдем из полученных пропорций S_1 и S_2:

$$S_1 = \frac{H}{h} l_1 \quad (1), \qquad S_2 = \frac{H}{h} l_2 \quad (2).$$

Вычитая из второго выражения первое, получаем:

$$S_2 - S_1 = \frac{H}{h}(l_2 - l_1).$$

Отсюда высота столба H равна

$$H = \frac{S_2 - S_1}{l_2 - l_1} h.$$

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

$$S_1/S_2 = l_1/l_2.$$

Воспользовавшись свойствами производных пропорций, имеем:

$$\frac{S_1}{S_2 - S_1} = \frac{l_1}{l_2 - l_1},$$

откуда расстояние S_1 до столба

$$S_1 = \frac{S_2 - S_1}{l_2 - l_1} l_1.$$

Необходимые для вычислений H и S_1 величины h, l_1, l_2 и $S_2 - S_1$ измеряются рулеткой.

45. Возможны, например, следующие два решения.

А. Установим ствол пистолета вертикально вверх, произведем выстрел и измерим рулеткой высоту h, на которую поднимется пуля. Из закона сохранения энергии

$$\frac{mv^2}{2} = mgh$$

легко получить следующее выражение для скорости пули:

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

Б. Можно также установить пистолет горизонтально и измерить расстояние l, на которое улетит пулька. Если высота ствола над уровнем земли равна h, то пуля будет находиться в полете в течение времени

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

пролетев за этот промежуток по горизонтали расстояние

$$l = vt.$$

Исключая из этих двух уравнений время t, получаем:

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

46. Установив ствол пистолета вертикально вверх, определим по секундомеру время t_0, прошедшее с момента выстрела до падения пульки на землю.

Высота h, на которой находится брошенное вертикально вверх с начальной скоростью v_0 тело спустя время t после броска, может быть найдена из уравнения

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

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

$$\frac{gt^2}{2} - v_0 t = 0,$$

решения которого имеют вид

$$t_1 = 0 \quad \text{и} \quad t_2 = 2v_0/g.$$

Первое, как нетрудно догадаться, относится к моменту выстрела, второе — к моменту падения пульки на землю. Поэтому, полагая t_2 равным полному времени полета пульки t_0, получим: $t_0 = 2v_0/g$, откуда

$$v_0 = gt_0/2.$$

Можно предложить и более простое решение. Так как в верхней точке траектории скорость пули равна нулю, из соотношения

$$v_t = v_0 - gt = 0$$

можно найти 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.

47. Пусть мальчик и девочка поочередно бросят мяч горизонтально. Измерим рулеткой дальности бросков S_1 и S_2 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

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

и для дальностей полета получаем соответственно

$$S_1 = v_1 \sqrt{2h_1/g} \quad \text{и} \quad S_2 = v_2 \sqrt{2h_2/g}.$$

Поделив одно выражение на другое, имеем для отношения дальностей полета:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{v_1}{v_2}\sqrt{\frac{h_1}{h_2}},$$

отсюда имеем отношение скоростей:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_1}{S_2}\sqrt{\frac{h_2}{h_1}}.$$

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

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_1}{S_2}.$$

48. Встав у самой реки, выберите на противоположном берегу, в непосредственной близости от воды, два хорошо заметных предмета и найдите такую травинку, чтобы, находясь в вытянутой руке, она закрывала промежуток между выбранными предметами. Разумеется, один глаз при этом должен быть закрыт.

После этого сложите травинку вдвое и отходите от берега до тех пор, пока она вновь не закроет промежуток между теми же предметами. Затем измерьте расстояние между точками, где вы стояли. Оно и будет равно ширине реки.

Действительно, из подобия треугольников ABC и ODC (см. рис. 17, *а*) мы можем записать:

$$\frac{AB}{OD}=\frac{AC}{OC}, \qquad (1)$$

где AB — расстояние между выбранными предметами, AC — расстояние до них от первой точки наблюдения (ширина реки), OD — размер травинки и OC — длина вытянутой руки.

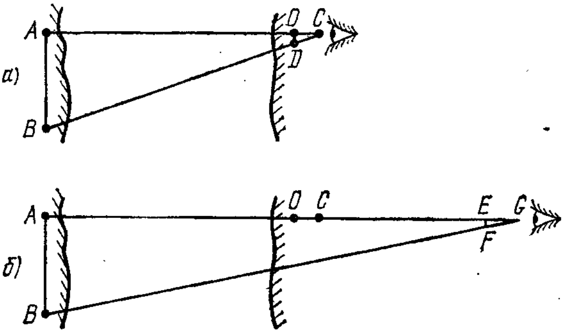

Рис. 17.

Аналогично из подобия треугольников ABG и EFG (см. рис. 17, *б*) имеем:

$$\frac{AB}{EF}=\frac{AG}{EG},$$

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

$$\frac{2AB}{OD}=\frac{AG}{OC}. \qquad (2)$$

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

$$2 = AG/AC,$$

откуда

$$AC = AG/2 = CG.$$

Расстояние CG измеряется шагами.

49. Из перечисленного в условии задачи набора предметов легко соорудить гальванический элемент, использовав в качестве электролита раствор нашатыря в воде, а для изготовления электродов — медную проволоку и цинк. Проткнув проволоку через пробку, можно сделать «плавающие электроды», как это показано на рис. 18.

Если замкнуть электроды соленоидом, состоящим из нескольких витков проволоки, то по цепи потечет ток, и соленоид установится по магнитному меридиану. Поскольку знаки полюсов изготовленного элемента известны (медь — положительный полюс, цинк — отрицательный), нетрудно, пользуясь, например, правилом буравчика, определить магнитные полюсы соленоида, а после этого — направление на северный и южный полюсы Земли.

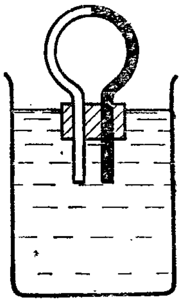

Рис. 18.

50. Прежде всего из транспортира и грузика соорудим примитивный эклиметр — прибор для измерения угла α между горизонталью и направлением AB на некоторую точку (схематически прибор показан на рис. 19). Затем поставим блюдце со ртутью на землю и

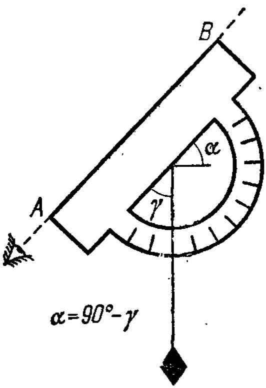

Рис. 19.

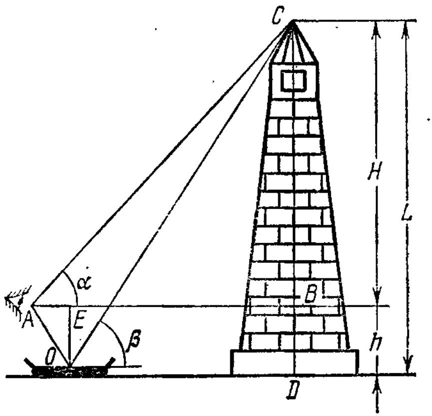

Рис. 20.

отойдем на такое расстояние, чтобы видеть в нем отражение вершины башни, после чего измерим эклиметром показанные на рис. 20 углы α и β.

Из треугольника ABC имеем:

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

С другой стороны,

$$AB = AE + EB,$$

причем

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

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.

51. По мере роста высоты над уровнем моря атмосферное давление убывает. С другой стороны, с уменьшением давления уменьшается и 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 точки кипения воды составляет примерно 0,3 °С на каждые 100 *м* подъема.

52. Пусть на некотором (неизвестном) расстоянии R от источника света измеренная люксметром освещенность равна E_1. Отойдем от него дополнительно на расстояние d и вновь воспользуемся люксметром. Пусть во втором случае его показания составят E_2. На основании законов освещенности можем записать:

$$E_1 = \frac{I}{R^2}, \qquad E_2 = \frac{I}{(R + d)^2}.$$

Определяя R из первого выражения и подставляя полученное значение во второе, получаем иррациональное уравнение относительно силы света I:

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

Необходимое для вычислений значение d определяется рулеткой.

53. 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), появляется, независимо от направления движения, еще одна сила, именуемая кориолисовой, действующая под прямым углом к скорости движения тела.

Движущиеся по поверхности Земли люди не замечают этой силы только потому, что ее величина мала вследствие сравнительно медленного вращения Земли. Однако именно сила Кориолиса приводит 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 географом К. М. Бэром в 1857 г.). По этой же причине ветры и морские течения в северном полушарии заворачивают направо, а в южном — в противоположную сторону.

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.

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

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

54. Частицы мыльной пены, упавшей на чистую воду, разбегаются в стороны, что объясняется уменьшением сил поверхностного натяжения при растворении мыла.

55. Если ребята будут подтягиваться друг к другу за веревку, то ускорения лодок будут одинаковыми только в том случае, если будут равны массы лодок, так как силы, действующие на лодки, равны в соответствии с третьим законом Ньютона:

$$a_1 = F/m_1 \quad \text{и} \quad a_2 = F/m_2.$$

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

$$S_1 = a_1t^2/2 \quad \text{и} \quad S_2 = a_2t^2/2.$$

Таким образом, в равенстве масс мальчики могут быть уверены, добившись равенства путей, проходимых лодками до встречи. Сравнить пройденные пути легко, отмерив веревкой равные расстояния.

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

$$m_1v_1 + m_2v_2 = 0,$$

где индексами 1 и 2 обозначены величины, относящиеся соответственно к человеку и лодке.

Умножив обе части уравнения на время, за которое человек проходит расстояние от носа к корме, получим:

$$m_1v_1t + m_2v_2t = 0, \quad \text{или} \quad m_1S_1 + m_2S_2 = 0,$$

откуда

$$m_2 = -m_1\frac{S_1}{S_2}.$$

Знак минус отражает только тот факт, что лодка перемещается в направлении, противоположном движению человека, и поэтому может не приниматься во внимание:

$$m_2 = m_1\frac{S_1}{S_2}.$$

В этом выражении S_1 и S_2 — перемещения человека и лодки относительно неподвижной воды («абсолютные» перемещения). Учитывая, что человек относительно лодки проходит расстояние l, связь между ними можно записать в следующем виде:

$$S_1 = l - S_2.$$

Таким образом,

$$m_2 = m_1\frac{l - S_2}{S_2}.$$

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

Поскольку в последнее выражение входит *отношение* отрезков $l-S_2$ и S_2, совершенно не обязательно выражать их в общепринятых единицах; можно, например, выломать небольшой прутик и определить, сколько раз он укладывается на этих отрезках. Как мы видим, можно обойтись и без веревки. Однако удобнее вначале отмерить от нее два куска, равные отрезкам S_2 и $l-S_2$, а затем измерять уже их.

57. По-видимому, турист выключил свой походный приемник в тот момент, когда услышал первый сигнал проверки времени, одновременно отметив показания часов. Второй раз он засек время, услышав тот же сигнал проверки, пришедший от громкоговорителя, установленного на базе. Разность времен Δt, умноженная на скорость звука v, дает расстояние между местом привала и базой:

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

Можно подсчитать, что при расстоянии порядка 3 *км* относительная ошибка расчета составит не более 10%, что не так уж плохо.

Легко видеть, что расчет можно выполнить не только во время проверки времени: вместо сигнала проверки времени можно выбрать конец какой-либо передаваемой по радио фразы.

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 туристы услышат по своему приемнику, совпадет с первым сигналом, дошедшим до установленного на базе громкоговорителя. Это означает, что на прохождение пути от базы до лагеря звуку потребовалось время 4 секунды. Умножая это время на скорость звука, находим расстояние до базы по прямой.

Нетрудно видеть, что использованный здесь прием напоминает тот, о котором рассказано в решении задачи № 40.

58. Эта задача решается с помощью закона Бойля — Мариотта. Аквалангисту следует погрузиться на дно, держа мензурку отверстием вниз, и посмотреть, на каком делении установится уровень вошедшей в нее воды (см. рис. 21).

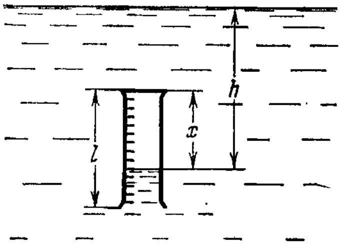

Рис. 21.

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

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

где h — искомая глубина озера, ρ — плотность воды и g — ускорение силы тяжести. Поэтому объем воздуха в мензурке уменьшится до

$$V_2 = xS,$$

где x — высота воздушного столба в мензурке на дне озера.

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

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

откуда после несложных преобразований получаем:

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

При этом совершенно несущественно, в каких единицах выражены величины l и x. В частности, можно подставить их в делениях шкалы, нанесенной на мензурке. Дело в том, что в конечное выражение входит *отношение* однородных величин $l - x$ и x, значение которого не зависит, естественно, от единиц измерения длины. Поскольку атмосферное давление меняется сравнительно мало, мы можем считать его постоянной величиной, равной $1{,}013 \cdot 10^5$ *н/м*^{2}. Точно так же практически постоянными являются плотность воды (1000 *кг/м*^{3}) и ускорение земного тяготения (9,8 *м/сек*^{2}).

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

$$p_0 V_1 = (p_0 + \rho g h) V_2,$$

где V_1 и V_2 — объемы, занимаемые воздухом в мензурке соответственно на поверхности и у дна озера, которые можно отсчитать по делениям.

Желательно, чтобы деления на мензурке в обоих случаях были нанесены до самого верха. В противном случае нужно, погрузив мензурку чуть-чуть под воду, зачерпнуть в нее немного воды, чтобы уровень воды совпал с началом делений.

59. Необходимо подвесить гирю на леску так, как это показано на рис. 22, а затем тянуть в направлении, указанном стрелкой *a*.

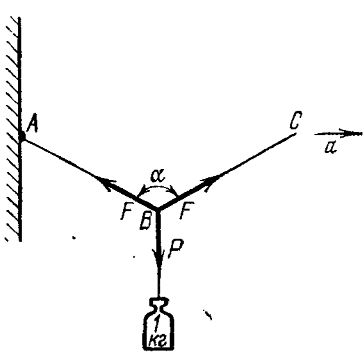

Рис. 22.

Между силами F и P существует соотношение

$$P = 2F\cos(\alpha/2),$$

откуда

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

Постепенно натягивая леску, мы увеличиваем угол α, 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 конечный результат разделить на два.

60. Формулу

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

полученную при решении предыдущей задачи, можно переписать в следующем виде:

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

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

61. Постепенно увеличивая частоту вращения лески с привязанной к ней гирькой, добиваемся разрыва лески. Действующая на вращающееся тело центростремительная сила $F_{цс}$ равна

$$F_{цс} = \frac{mv^2}{R} = 4\pi^2\nu^2 mR,$$

где ν — число оборотов в единицу времени (за 1 *сек*), m — масса вращающегося тела, R — радиус вращения, v — линейная скорость тела.

Из приведенного выражения хорошо видно, что центростремительная сила должна возрастать вместе с частотой вращения. Но практически возрастать беспредельно она не может, поскольку центростремительная сила обязана своим происхождением натяжению лески, сила которого не может превысить

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

где d — диаметр лески, а σ — сопротивление на разрыв материала, из которого она изготовлена.

Приравнивая два последних выражения, получаем для определения интересующей нас величины:

$$\sigma = \frac{16\pi\nu^2 mR}{d^2}.$$

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

62. Вначале с помощью секундомера определяется время t_1, прошедшее от момента падения камня в воду до прихода к берегу образовавшихся в результате этого волн, а также число их 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 λ.

Очевидно, что искомое расстояние можно записать следующим образом:

$$x = vt_1,$$

где v — скорость распространения волн. Поскольку

$$v = \lambda\nu$$

(ν — частота колебаний в приходящей волне, причем $\nu = n/t_2$), то

$$x = \lambda\nu t_1 = \lambda \frac{t_1}{t_2} n.$$

63. Если поезд движется слева направо со скоростью $v_{п}$, то относительно него капли имеют точно такую же по величине, но противоположно направленную скорость $v'_{п}$. Кроме того, дождевые капли движутся относительно вагона сверху вниз со скоростью, которую нам надлежит определить и которую мы обозначим v_x. Вектор результирующей скорости v, как это видно из рис. 23, образует с вертикалью угол α, удовлетворяющий условию

$$\operatorname{tg} \alpha = v'_{п} / v_x.$$

Из этого выражения для скорости падения дождевых капель получаем:

$$v_x = v'_{п} \operatorname{ctg} \alpha.$$

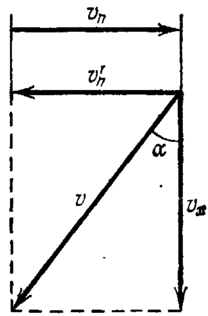

Рис. 23.

Угол α определяется транспортиром, а скорость поезда $v_{п}$ рассчитывается по времени, за которое поезд проходит путь от одного километрового столба до другого (эти столбы хорошо видны даже в дождливую погоду).

64. Относительно автомобиля капля участвует в двух движениях одновременно — по вертикали и по горизонтали. Результирующая скорость v направлена под некоторым углом α к вертикали, причем (см. решение предыдущей задачи)

$$\operatorname{tg} \alpha = v_{а}/v_x,$$

где $v_{а}$ — скорость автомобиля, а v_x — интересующая нас скорость падения капли. Тангенс угла α можно определить, измеряя катеты в прямоугольном треугольнике, образованном следом капли (гипотенуза) и рамками окна (катеты); скорость автомобиля можно видеть на спидометре. После этого рассчитывается v_x.

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

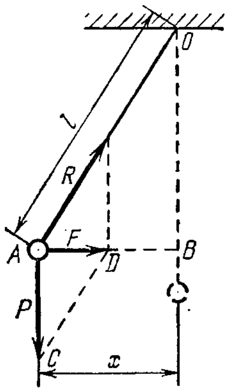

Рис. 24.

Из подобия треугольников AOB и ACD (см. рис. 24) имеем:

$$\frac{AD}{AC}=\frac{AB}{OB}, \quad \text{или} \quad \frac{ma}{mg}=\frac{x}{\sqrt{l^2-x^2}},$$

откуда получаем:

$$a=g\frac{x}{\sqrt{l^2-x^2}};$$

l — длина маятника, x — его отклонение от положения равновесия, отсчитанное по горизонтали.

Таким образом, измерив длину подвеса и отклонение маятника, можно рассчитать ускорение поезда.

66. Из треугольника ACD, изображенного на рис. 24, находим:

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

Последнее равенство можно представить в виде

$$ma=\sqrt{R^2-P^2},$$

откуда

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

где P — показания динамометра в поезде, покоящемся или идущем равномерно, а R — в движущемся равноускоренно.

67. Измерив транспортиром угол AOB (см. рис. 24), находим из соотношения

$$\operatorname{tg}\angle AOB=\operatorname{tg}\angle ACD=\frac{F}{P}=\frac{ma}{mg}=\frac{a}{g}$$

ускорение поезда:

$$a=g\operatorname{tg}\alpha.$$

68. При изменении температуры от t_1 до t_2 радиус колеса изменится

$$\text{от} \quad r_1 = r_0(1+\alpha t_1) \quad \text{до} \quad r_2 = r_0(1+\alpha t_2),$$

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 на каком-то расстоянии L изменится

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

Поделив эти выражения почленно друг на друга, получим:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{1+\alpha t_1}{1+\alpha t_2},$$

откуда

$$\alpha = \frac{N_2 - N_1}{N_1 t_1 - N_2 t_2}.$$

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

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

69. Разогнав автомобиль, следует отключить мотор от ведущих колес и, заметив по спидометру скорость v, определить с помощью того же прибора расстояние S, пройденное автомобилем до полной остановки. Приравнивая кинетическую энергию автомобиля работе сил сопротивления,

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

находим коэффициент сопротивления движению:

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

По цифре в правом окошечке спидометра (сотни метров) пройденный путь легко отсчитать с точностью до 50 *м* (а при небольшом навыке и до 30 *м*). Стрелка спидометра позволяет найти скорость с ошибкой около 2 *км/час*. Пользуясь формулами теории ошибок, можно найти, что при скорости 80 *км/час* и пройденном пути 600 *м* относительная ошибка в определении k составит:

$$\frac{\Delta k}{k} = \frac{2\Delta v}{v} + \frac{\Delta S}{S} = \frac{2 \cdot 2\ км/час}{80\ км/час} + \frac{30\ м}{600\ м} = 0{,}1 = 10\%,$$

что не так уж плохо.

70. Чтобы привести брусок в равномерное движение вверх по наклонной плоскости, необходимо приложить силу $F_{вверх}$, равную сумме силы трения $F_{тр} = kP\cos\alpha$ и составляющей F_1 веса бруска, направленной параллельно плоскости. В соответствии с рис. 25 имеем:

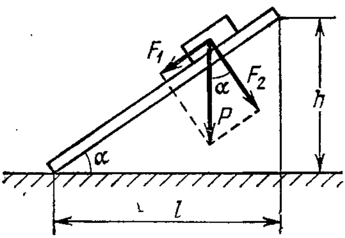

Рис. 25.

$$F_{вверх} = kP\cos\alpha + P\sin\alpha.$$

Аналогично получаем значение силы $F_{вниз}$, приводящей брусок в равномерное движение вниз:

$$F_{вниз} = kP\cos\alpha - P\sin\alpha.$$

Вычитая из первого уравнения второе, имеем:

$$F_{вверх} - F_{вниз} = 2P\sin\alpha,$$

откуда

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

Так как силы $F_{вверх}$, $F_{вниз}$ и P можно найти с помощью динамометра, это выражение позволяет рассчитать синус угла наклона, а затем найти по таблицам и величину самого угла.

При небольшом наклоне можно обойтись и без таблиц, поскольку при малых углах

$$\sin\alpha \approx \alpha,$$

если, конечно, угол α выражен в радианной мере. В этом случае

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

Умножив полученную величину на 57 *град/рад*, будем знать примерное значение угла наклона в градусах.

71. Составив с помощью имеющихся соединительных проводников цепь из лампы и аккумулятора, поднесем компас снизу к одному из проводников, выбрав на нем прямолинейный участок. Магнитное поле заставит стрелку компаса повернуться. Зная направление поворота, можно, пользуясь правилом буравчика, определить направление тока в цепи, 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.

72. Следует соединить проводники с полюсами батареи и опустить 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 интенсифицировать процесс электролиза, полезно капнуть в стакан каплю серной кислоты).

Так как молекула воды состоит из двух атомов водорода и лишь одного атома кислорода, а при равных давлениях равные объемы должны содержать одинаковые количества молекул газа, водорода при электролизе должно выделяться в два раза больше. Поэтому, посмотрев, на каком электроде видно больше пузырьков, можно 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.

73. 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, ионы которых окрашивают область около соответствующего проводника в голубовато-зеленый цвет. У второго проводника окрашивание наблюдаться не будет.

Таким образом, проводник, около которого картофель зеленеет, соединен с положительным полюсом аккумулятора.

74. Определим 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 отмерить также по известной длине окружности колеса). При этом потенциальная энергия обруча убывает на величину

$$\Delta \Pi = mgh = mgl \sin \alpha,$$

где α — 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 должна выражаться как сумма 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 энергию поступательного движения, не обращая внимания на вращение, а затем, наоборот, вычислить кинетическую энергию, связанную с вращением, считая, что центр обруча покоится, и полученные выражения сложить.

Вообще говоря, кинетическую энергию вращающегося тела вычислить довольно трудно, так как разноудаленные от оси вращения точки обладают различной скоростью. Но для обруча задача сильно упрощается, поскольку все его точки отстоят от оси, проходящей через центр тяжести, на одно и то же расстояние, равное радиусу обруча.

Если центр обруча движется относительно земли со скоростью v, то все точки обода обладают относительно центра той же скоростью. Следовательно, второе слагаемое в написанном выше выражении можно представить в следующем виде:

$$T_{\text{вращат}}=\frac{m_1v^2}{2}+\frac{m_2v^2}{2}+\ldots+\frac{m_nv^2}{2}=$$

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

где m_i — массы отдельных «точек» обруча, дающие в сумме массу m всего обруча.

Стало быть, получаем для полной кинетической энергии:

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

Считая движение обруча равноускоренным, находим его конечную скорость v после прохождения пути l по нужному для этого времени t,

$$v=2l/t,$$

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, можно пользоваться приближенным равенством

$$\sin\alpha\approx\alpha$$

(см. решение задачи № 70).

75. Нужно подвесить оба маятника рядом, чтобы наблюдения за ними можно было вести совместно. Отклонив маятники, одновременно выпустите 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 первого и второго маятников.

Из полученного выражения видно, что, зная период одного из маятников (дан по условию), а также n (определяется на опыте счетом), можно найти период второго:

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

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

77. Нужно к середине одного бруска приложить конец второго. Если первый является магнитом, второй притягиваться не будет, так как на середине прямолинейного магнита, как правило, находится 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 конце обязательно будет полюс). Если же притяжение наблюдается по мере перемещения лишь в некоторых точках, намагничен второй брусок.

78. 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 после прохождения через колбу со спиртом соберутся ближе к колбе, чем после прохождения через колбу с водой.

79. Проще всего поступить следующим образом. Пользуясь секундомером, измерим время, в течение которого тележка, двигаясь под действием груза P, поставленного на чашку прибора, 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.

80. 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 обеих обмотках, можно определить *отношение* числа витков в обмотках, используя пропорцию

$$\frac{U_1}{n_1}=\frac{U_2}{n_2}.$$

Однако эти измерения не дадут возможности определить n_1 и n_2 *в отдельности*. Поэтому намотаем поверх имеющихся еще одну катушку с известным числом витков n. Тогда записанную выше пропорцию можно будет дополнить еще одним отношением, содержащим напряжение U на дополнительной обмотке:

$$\frac{U_1}{n_1}=\frac{U_2}{n_2}=\frac{U}{n}.$$

После этого имеем:

$$n_1=\frac{U_1}{U}n \quad \text{и} \quad n_2=\frac{U_2}{U}n.$$

Величины U_1, U_2 и U определяются вольтметром, а n — подсчетом витков при намотке вспомогательной катушки.

81. Собрав изображенную на рис. 26 схему, следует, пользуясь законом Ома, определить по показаниям вольтметра U и амперметра I сопротивление R катушки электромагнита:

$$R=U/I.$$

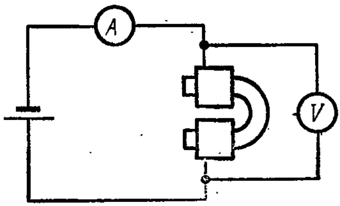

Рис. 26.

После этого микрометром измеряется диаметр проволоки d и рассчитывается вначале ее длина

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

а затем и масса:

$$m = DlS = \frac{\pi^2 d^4 U D}{16\rho l}.$$

В последних формулах ρ — удельное сопротивление меди, D — ее плотность; эти величины можно взять из справочника.

82. Пусть масса пустого капилляра, определенная на весах, равна m_1. Наберем в капилляр путем всасывания некоторое количество ртути (разумеется, делать это нужно не ртом, так как ртуть опасна, а с помощью резиновой груши) и вновь произведем взвешивание. Пусть масса окажется теперь равной m_2. Следовательно, масса m ртутного столбика в капилляре равна

$$m = m_2 - m_1.$$

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

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

Из этих двух равенств получаем:

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

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

83. Пусть оба картонных диска закреплены на оси мотора на расстоянии l друг от друга так, что их плоскости перпендикулярны к оси. Если во время работы мотора выстрелить из винтовки вдоль оси, то в обоих дисках окажутся пробоины, смещенные друг относительно друга на угол

$$\varphi = \omega t = 2\pi n\, l/v,$$

где ω — угловая скорость вращения мотора, которую легко найти по частоте вращения n, t — время, необходимое пуле, чтобы пролететь расстояние l между дисками, и v — искомая скорость пули.

Из записанного равенства находим:

$$v = 2\pi n l/\varphi.$$

Рулеткой измеряется l, транспортиром — угол φ, а частота вращения известна по условию задачи.

84. По закону Гука при не очень больших нагрузках (т. е. в области *упругих* деформаций) удлинение x пружины прямо пропорционально приложенной силе F:

$$F = kx,$$

где k — так называемый упругий коэффициент (или коэффициент жесткости), зависящий от материала и размеров пружины.

Пусть под действием гири известного веса P_1 закрепленная на штативе пружина испытывает растяжение x_1, а под действием тела с весом P_2 пружина растягивается на x_2. Тогда имеем следующие два равенства:

$$P_1 = kx_1, \qquad P_2 = kx_2;$$

поделив их почленно друг на друга, находим:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{x_2}{x_1}, \quad \text{откуда} \quad P_2 = \frac{x_2}{x_1} P_1.$$

Удлинения x_1 и x_2 измеряются линейкой, а P_1 известно по условию задачи.

85. Положив брусок на доску, будем поднимать один ее конец до тех пор, пока брусок не придет в движение. Из рис. 25 (стр. 64) видно, что сила F_1, стремящаяся сдвинуть его в направлении, параллельном плоскости, равна $P \sin \alpha$. В то же время сила трения между бруском и плоскостью может быть записана в следующем виде:

$$F_{\text{тр}} = kP \cos \alpha,$$

где P — вес бруска, а k — искомый коэффициент трения.

При равномерном движении сила, приводящая брусок в движение, равна тормозящей силе, т. е.

$$P \sin \alpha = kP \cos \alpha,$$

откуда для коэффициента трения получаем:

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

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

86. В решении задачи № 70 найдены выражения для сил, необходимых, чтобы привести брусок в равномерное движение вверх и вниз по наклонной плоскости. Напомним их:

$$F_{\text{вверх}} = kP\cos\alpha + P\sin\alpha, \qquad F_{\text{вниз}} = kP\cos\alpha - P\sin\alpha.$$

Вычитая из первого уравнения второе, находим выражение, позволяющее определить синус угла наклона плоскости к горизонту:

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

Складывая те же уравнения, можно получить соотношение для вычисления косинуса того же угла:

$$\cos\alpha = \frac{F_{\text{вверх}} + F_{\text{вниз}}}{2kP}.$$

Возводя два последних равенства в квадрат и складывая, получаем:

$$1 = \left(\frac{F_{\text{вверх}} - F_{\text{вниз}}}{2P}\right)^2 + \left(\frac{F_{\text{вверх}} + F_{\text{вниз}}}{2kP}\right)^2,$$

откуда находим коэффициент трения:

$$k = \frac{F_{\text{вверх}} + F_{\text{вниз}}}{\sqrt{4P^2 - (F_{\text{вверх}} - F_{\text{вниз}})^2}}.$$

Необходимые для выполнения расчетов силы $F_{\text{вверх}}$, $F_{\text{вниз}}$ и P находятся с помощью динамометра.

87. Следует закрепить блок на некоторой высоте над полом (например, привинтить его к потолку) и, перекинув через него шнур, привязать к концам шнура гирю и исследуемое тело. Для последующих расчетов эти два предмета полезно разместить первоначально на одной высоте, как это и показано на рис. 27. После этого дадим гире и исследуемому предмету возможность двигаться. В зависимости от соотношения между массами гири M_0 и тела M_x возможны следующие три случая:

а) Система покоится. Это будет в том случае, если $M_x = M_0$. Тогда дальнейшие измерения не требуются, так как задача решена.

б) Гиря опускается, а груз идет вверх. Для этого необходимо, чтобы масса гири превышала массу тела: $M_x < M_0$.

Пользуясь вторым законом динамики, найдем ускорение обоих тел:

$$a = \frac{M_0 g - M_x g}{M_0 + M_x} = \frac{M_0 - M_x}{M_0 + M_x} g.$$

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 в это уравнение записанное выше значение ускорения, получим:

$$h = \frac{1}{2} \cdot \frac{M_0 - M_x}{M_0 + M_x} gt^2.$$

Отсюда можно найти, что

$$M_x = \frac{gt^2 - 2h}{gt^2 + 2h} M_0.$$

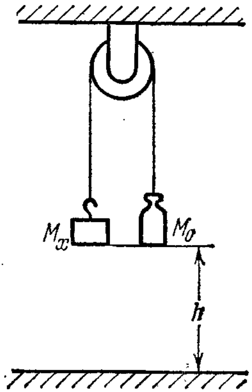

Рис. 27.

Величина M_0 известна по условию задачи, g — постоянная величина, а t измеряется секундомером. Таким образом, для решения задачи нужно указать способ определения величины пути h, проходимого гирей и телом за время t (в качестве этого пути удобно выбрать расстояние до пола, см. рис. 27). С этой целью можно воспользоваться методом, предложенным ранее в решении задачи № 31 для определения высоты, длины и ширины комнаты, который сводится к тому, что с помощью бечевки и гирьки изготовляется «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) Если $M_x > M_0$, то выражения для ускорения системы и массы исследуемого тела имеют соответственно следующий вид:

$$a = \frac{M_x - M_0}{M_x + M_0} g \quad \text{и} \quad M_x = \frac{gt^2 + 2h}{gt^2 - 2h} M_0.$$

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 на 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.

88. Необходимо нагреть брусок до 100 °С в банке с водой, поставленной на спиртовку. После этого брусок перемещается в калориметр, куда предварительно налито определенное, отмеренное мензуркой, количество воды. Первоначальная и конечная температуры воды измеряются термометром и из уравнения теплового баланса

$$m_1c_1(100^\circ - t) = m_2c_2(t - t_1) + m_3c_3(t - t_1)$$

определяется масса 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 — теплоемкости стали, воды и вещества, из которого изготовлен калориметр, а t_1 и t — начальная и конечная температура воды в калориметре.

89. Уравнение теплового баланса (см. решение предыдущей задачи) 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 m_1 считается либо известной, либо определяется разобранным в задаче № 88 способом.

90. Составим цепь из аккумулятора, амперметра и известного сопротивления R и измерим в ней ток I_1. Этот ток

$$I_1 = \frac{\mathscr{E}}{R + r}, \qquad (1)$$

где $\mathscr{E}$ — э. д. с. аккумулятора, r — его внутреннее сопротивление. Затем вместо известного сопротивления R включим в цепь неизвестное сопротивление R_x и снова измерим ток. Новое значение тока I_2 можно выразить уравнением

$$I_2 = \frac{\mathscr{E}}{R_x + r}. \qquad (2)$$

Стало быть, для определения трех величин $\mathscr{E}$, r и R_x имеются лишь два уравнения. Как известно, такая система не имеет единственного решения, и для определения неизвестных величин необходимо еще одно уравнение. Многие затрудняются его составить. Между тем сделать это нетрудно. Достаточно соединить искомое и известное сопротивления либо последовательно, либо параллельно и определить текущий при этом ток. Для последовательного соединения

$$I_3 = \frac{\mathscr{E}}{R + R_x + r}, \tag{3}$$

а для параллельного

$$I_4 = \frac{\mathscr{E}}{\dfrac{RR_x}{R + R_x} + r}. \tag{4}$$

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).

91. Для вычисления средней скорости велосипедиста понадобится знать путь и время. Величину пути определим линейкой по карте (масштаб карты обычно указывается). А элемент Грене даст нам возможность определить 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 работы элемента

t 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 следует составить 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 $m = m_1 - m_2$, силе тока I и взятому из таблиц значению электрохимического эквивалента определяется время путешествия.

92. Следует помнить, что в цепи переменного тока каждый конденсатор ведет себя как сопротивление, величина которого обратно пропорциональна емкости,

$$R = \frac{1}{\omega C}$$

(ω — круговая частота переменного тока). Таким образом, общее сопротивление составленной из конденсаторов схемы в цепи переменного тока будет пропорционально $1/C_{общ}$. Если сопротивление схемы, состоящей из одинаковых сопротивлений, включенных между собой так же, как конденсаторы, равно $R_{общ}$, то можно написать пропорцию:

$$\frac{1}{C} : \frac{1}{C_{общ}} = R : R_{общ},$$

из которой получаем:

$$C_{общ} = \frac{RC}{R_{общ}}.$$

По условию задачи емкость одного конденсатора известна, а R и $R_{общ}$ можно найти по закону Ома, составив цепь из аккумулятора, сопротивлений, амперметра и вольтметра.

Можно придти к тому же заключению 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 складываются их емкости. Стало быть, в любой комбинации из параллельных и последовательных соединений величина $1/C$ ведет себя так же, как величина R, откуда снова вытекает прежнее равенство:

$$\frac{1}{C}:\frac{1}{C_{\text{общ}}}=R:R_{\text{общ}}.$$

93. Сопротивление R отрезка проволоки, равного по длине l 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 I, а соединенный параллельно вольтметр регистрирует разность потенциалов U, то

$$R=\frac{U}{I}=\rho\frac{l}{S},$$

где S — площадь поперечного сечения проводника, а ρ — удельное сопротивление меди.

С другой стороны, массу m этого отрезка, определенную взвешиванием на весах, можно выразить через его длину l, площадь сечения S и плотность меди D следующим образом:

$$m=DlS.$$

Перемножая равенства, получаем:

$$\frac{mU}{I}=\rho Dl^2,$$

откуда

$$l=\sqrt{\frac{mU}{\rho DI}}.$$

Величины I, U и m измеряются на опыте, а значения ρ и D берутся из справочника. Таким же образом определяется длина и ширина комнаты, а затем находится ее объем.

Если падение напряжения на отрезке, равном длине комнаты, мало 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 комнаты несколько раз).

94. 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:

$$lS = \frac{m}{D}.$$

Постепенно увеличивая затем массу подвешенных к проволоке гирь, определим критическую нагрузку $P_{кр}$, при которой произойдет разрыв проволоки. Величина критической нагрузки прямо пропорциональна площади поперечного сечения проволоки:

$$P_{кр} = m_{кр}\, g = \sigma S,$$

где σ — предел прочности меди (см. задачи №№ 36 и 61), значение которого можно взять из справочника.

Перемножая последние выражения почленно, получим после сокращения на S:

$$m_{кр} g l = \frac{m\sigma}{D},$$

откуда

$$l = \frac{m}{m_{кр} D g}.$$

Далее таким же образом определяется длина и ширина комнаты и после этого ее объем.

К сожалению, для различных сортов меди предел прочности меняется в довольно широких пределах. Поэтому хорошие результаты можно получить лишь в том случае, если используется медь, для которой сопротивление на разрыв известно достаточно точно.

95. Частота N биений между камертоном и органной трубой равна

$$N = \nu_к - \nu,$$

где $\nu_к$ — частота звука, издаваемого камертоном, и ν — частота звука, издаваемого органной трубой. Первая величина постоянна по условию, тогда как ν меняется при нагревании или охлаждении воздуха в помещении.

В самом деле, длину λ звуковой волны, идущей от органной трубы, можно выразить через скорость распространения звука v и его частоту ν следующим образом:

$$\lambda = \frac{v}{\nu}.$$

С другой стороны, для открытой органной трубы длина волны основного тона

$$\lambda = 4l,$$

где l — длина трубы. Из двух последних равенств получаем:

$$\nu = \frac{v}{4l}. \qquad (*)$$

Звуковые волны распространяются в воздухе со скоростью того же порядка, какой при данной температуре обладают его молекулы. Так как кинетическая энергия последних прямо пропорциональна абсолютной температуре T,

$$\frac{mv^2}{2} \sim T,$$

то скорость молекул, а, следовательно, и скорость звука прямо пропорциональна корню квадратному из T:

$$v \sim \sqrt{T}.$$

Отсюда отношение скорости звука v при некоторой температуре T к ее значению v_0 при $T_0 = 0\,°C$ равно

$$\frac{v}{v_0} = \sqrt{\frac{T}{T_0}}.$$

Учитывая записанное выше равенство (*), выражающее зависимость между частотой звука, издаваемого органной трубой, и скоростью распространения звуковых волн, мы можем переписать последнее выражение в следующем виде:

$$\frac{\nu}{\nu_0} = \sqrt{\frac{T}{T_0}},$$

где ν_0 — частота органной трубы при $0\,°C$, равная по условию задачи 440 *гц*.

Подставляя полученное отсюда значение частоты органной трубы при температуре T в исходное выражение для частоты биений, получаем:

$$N = \nu_к - \nu_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}},$$

откуда для температуры T в лаборатории имеем:

$$T = T_0\left(\frac{\nu_к - N}{\nu_0}\right)^2 = T_0\left(\frac{\nu_к - N}{\nu_к}\right)^2.$$

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.

96. Надо разломать полотно (лучше, если оно уже непригодно к использованию) на две части. Если полотно было намагничено, обе половинки будут взаимодействовать друг с другом.

97. Вначале следует определить массу m всей пластинки. Затем при помощи угольника нужно построить на ней прямоугольник с известными сторонами, вырезать его ножницами и определить 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:

$$\frac{m}{m_0} = \frac{S}{S_0}.$$

Отсюда

$$S = S_0 \frac{m}{m_0}.$$

Площадь S_0 легко определить с помощью угольника.

Если пластинку разреза́ть нежелательно, следует обвести ее контур карандашом на листе картона или пло́тной бумаги, вырезать полученную фигуру и проделать описанные измерения на ней.

98. Если плотность при затвердевании уменьшается, брошенный в расплав того же вещества кусочек твердого материала 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.

99. Разобьем мысленно пластинку на прямоугольники, как показано пунктиром на рис. 28, *а*. Центр тяжести одного прямоугольника будет лежать в точке M_1, где пересекаются его диагонали. Аналогично находится положение центра тяжести N_1 второго прямоугольника. Следовательно, центр тяжести пластины должен лежать на прямой M_1N_1.

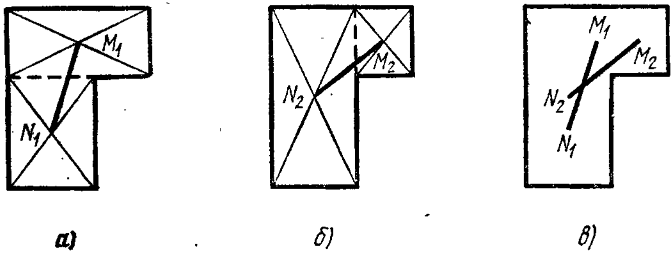

Рис. 28.

Рассуждая подобным же образом, находим, что искомая точка должна лежать на прямой M_2N_2, где M_2 и N_2 — центры тяжести прямоугольников, построенных на рис. 28, *б*. Но если центр тяжести находится одновременно на двух прямых, он должен совпасть с точкой их пересечения (см. рис. 28, *в*).

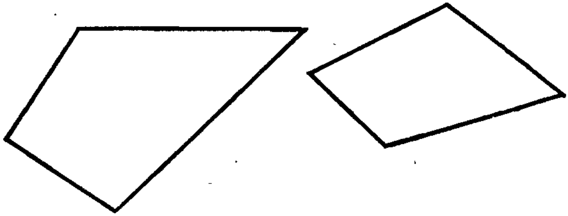

Рис. 29.

А теперь попробуйте, используя разработанный метод, найти центры тяжестей изображенных на рис. 29 фигур, имеющих форму неправильных четырехугольников.

100. Для решения этой задачи надо 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 нити станут расплывчатыми. При постоянном токе нить будет видна отчетливо, так как она лишь отклонится в сторону от начального положения.

101. Следует разорвать цепь питания лампочки карманного фонаря и включить в разрыв поочередио 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 вообще гореть не будет.

102. Подсоединим вольтметр вначале к точкам A и B (см. рис. 30), а затем к точкам A_1 и B_1, лежащим

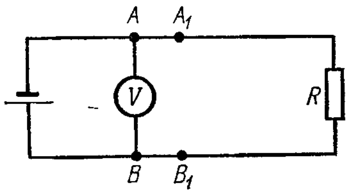

Рис. 30.

несколько правее. Пусть показания вольтметра составят соответственно U и U_1.

Если $U > U_1$, то источник тока находится слева от точек A и B: показания вольтметра при переходе от точек A и B 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 за счет падения напряжения на тех же участках увеличиваются.

Эта задача одинаково решается для цепей постоянного и переменного 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.

103. Следует взять из первого ящика одну деталь, из второго — две, из третьего — три и так далее до последнего, из которого берется десять деталей, а затем взвесить все детали вместе.

Если бы во всех ящиках лежали правильно изготовленные детали, их общий вес оказался бы равным, положим, P_1.

Поскольку в n-м ящике каждая деталь имеет вес на 10 *г* меньше положенного, показания весов P_2 будут на $10n$ граммов меньше, чем P_1:

$$P_1 - P_2 = 10n.$$

Отсюда находим n, т. е. номер ящика с бракованными деталями:

$$n = \frac{(P_1 - P_2)\ г}{10\ г}.$$

104. Если для освещения используется периодически работающая (импульсная) лампа, частота вспышек которой равна числу оборотов шпинделя, 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 электромотора, скорость вращения которого можно менять.

Эффект, при котором в результате прерывистого освещения участвующие во вращательном движении тела кажутся неподвижными, называется стробоскопическим. Некоторым его применениям посвящена также следующая задача.

105. Начертим на картоне циркулем окружность и разрежем по ней лист ножницами. На полученном картонном диске нанесем радиальную черту и приклеим диск к валу мотора, так чтобы плоскость диска была перпендикулярна к валу. Затем включим мотор и неоновую лампу в сеть. В сети переменного тока неоновая лампа вспыхивает 100 раз в секунду (6000 раз в минуту). Если за время между вспышками мотор сделает ровно один оборот (т. е. частота вращения составит 6000 оборотов в минуту), то нанесенная на диске черта будет все время видна в одном и том же положении, т. е. будет казаться, несмотря на вращение, неподвижной (рис. 31, *а*).

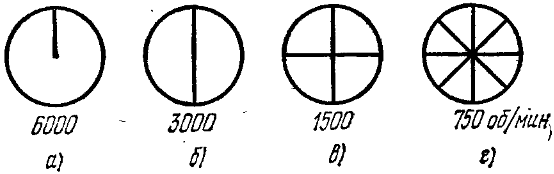

Рис. 31.

Если частота вращения уменьшится вдвое, то за время между двумя вспышками лампы вал мотора совершит только половину оборота, и черта будет видна в положении, лежащем на одном диаметре с тем, в котором мы видели ее во время предыдущей вспышки. В результате мы увидим более длинную черту, пересекающую по диаметру весь диск (рис. 31, *б*). При скорости вращения 1500 оборотов в минуту на диске будет виден крест (рис. 31, *в*), а при скорости вращения 750 *об/мин* — два креста, повернутые друг относительно друга на 45°.

Следует отметить, что показанная на рис. 31, *а* картина будет наблюдаться не только в том случае, если за время между двумя 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 и т. д. *об/мин*). Картина, изображенная на рис. 31, *б*, будет видна также при частотах вращения 9000, 15 000 и т. д. *об/мин* (диск за время между вспышками успевает повернуться на 1,5; 2,5 и т. д. оборотов). Крест (рис. 31, *в*) можно наблюдать при частотах вращения 1500, 4500, 7500 и т. д. *об/мин*, а два креста (рис. 31, *г*) — при 750, 2250, 3750 и т. д. *об/мин*. Имея сказанное в виду, следует увеличивать скорость вращения постепенно, подходя к нужной «снизу», от нулевой.

106. Необходимо бросить какой-нибудь предмет (если его не окажется, положение космонавта станет трагическим) в сторону, противоположную ракете. Тогда, в соответствии с законом сохранения количества движения, которым мы уже пользовались при решении задачи № 56, человек приобретет направленную к ракете скорость

$$V = \frac{m}{M} v,$$

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 топлива в одну сторону и двигаясь за счет этого в другую.

107. Задание можно выполнить двумя способами. Рассмотрим их поочередно.

а) Пусть на одну чашку рычажных весов положено интересующее нас тело массой m_1, а на вторую — гиря массой 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 привести относительно спутника в равноускоренное движение. Ведь, чтобы разным по массе телам сообщить одинаковое ускорение a, нужны разные силы

$$F_1 = m_1 a$$

и

$$F_2 = m_2 a.$$

Нетрудно добиться, во всяком случае приблизительно, чтобы стрелка весов не отклонялась от нулевого положения и при равноускоренном 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 некоторую силу

$$F_1 = m_1 a.$$

Затем следует подвесить вместо тела гирю с известной массой m_2 и привести динамометр в движение с тем же ускорением a. В этом случае показания динамометра составят

$$F_2 = m_2 a.$$

Поделив два последних равенства друг на друга почленно, получим:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1}{m_2},$$

откуда

$$m_1 = m_2 \frac{F_1}{F_2}.$$

Необходимого в случае пружинных весов равенства ускорений 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 ускоренное движение системы эквивалентно полю сил тяготения. Эквивалентность гравитационных сил и сил, действующих на тела в ускоренно движущихся системах (сил инерции), послужила одной из основ теории тяготения, развитой в общей теории относительности А. Эйнштейна (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.

108. Если космический корабль движется вокруг планеты с выключенными двигателями, то единственной силой, действующей на него, является сила $F_{\text{грав}}$ притяжения к планете,

$$F_{\text{грав}} = G\frac{Mm}{R^2},$$

где G — гравитационная постоянная, M — масса планеты, m — масса корабля и R — его расстояние до центра планеты.

При небольшой высоте полета R можно считать равным радиусу планеты (мы полагаем, что ее форма близка к шарообразной).

Выразим массу планеты через ее радиус и среднюю плотность D,

$$M = VD = \frac{4}{3}\pi R^3 D,$$

и подставим полученное значение M в предыдущую формулу:

$$F_{\text{грав}} = \frac{4}{3}\pi GRmD.$$

Поскольку корабль движется по круговой орбите, на него действует центростремительная сила, которую можно представить в виде

$$F_{\text{цс}} = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R = m\frac{4\pi^2}{T^2}R,$$

где v — линейная, а ω — угловая скорости движения космического корабля, T — период его обращения вокруг планеты.

Так как роль центростремительной силы играет гравитационное притяжение, можно приравнять правые части двух последних выражений и получить для плотности:

$$D = 3\pi/GT^2.$$

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 *сек*). Подставляя это значение в последнюю формулу, получим среднюю плотность Земли:

$$D = \frac{3 \cdot 3{,}14}{6{,}67 \cdot 10^{-11}\ м^3/(кг \cdot сек^2) \cdot (5400\ сек)^2} \approx 5000\ кг/м^3.$$

Вышедшая 17 октября 1970 г. на круговую орбиту вокруг Луны автоматическая станция «Луна-16» имела период 1 час 59 минут (7140 секунд), откуда для средней плотности Луны получаем:

$$D = \frac{3 \cdot 3{,}14}{6{,}67 \cdot 10^{-11}\ м^3/(кг \cdot сек^2) \cdot (7140\ сек)^2} \approx 3000\ кг/м^3.$$

На самом же деле плотности Земли и Луны примерно на 10% больше. Разница происходит по той причине, что спутники обычно летают довольно высоко, когда приходится считаться с различием между радиусами планеты и орбиты. Если же в приведенную выше формулу для плотности подставлять значения T, соответствующие полетам по орбитам, проходящим над самой поверхностью Земли (что практически неосуществимо из-за сопротивления воздуха) или Луны, которые равны соответственно 1 час 24 минут и 1 час 48 минут, получим правильные значения плотностей 5500 *кг/м*³ и 3360 *кг/м*³.

Для высокой орбиты формула плотности имеет вид

$$D = \frac{3\pi}{GT^2}\left(1 + \frac{h}{R}\right)^3,$$

где h — высота орбиты. Пользуясь этой формулой, можно получить правильные значения плотности и в случае высокой орбиты.

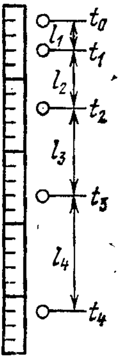

Рис. 32.

109. 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 падающего 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. 32).

Первое светлое пятно соответствует моменту, когда от начала движения прошло время t_0; за это время шарик успел пройти расстояние

$$S_0 = \frac{gt_0^2}{2}.$$

Во второй раз шарик запечатлен через время t_1 от начала движения, когда он прошел путь

$$S_1 = \frac{gt_1^2}{2}.$$

Третьему положению соответствует время t_2 и пройденный путь S_2,

$$S_2 = \frac{gt_2^2}{2},$$

и так далее. Очевидно, что

$$l_1 = S_1 - S_0 = \frac{gt_1^2}{2} - \frac{gt_0^2}{2} = \frac{g}{2}(t_1^2 - t_0^2),$$

$$l_2 = S_2 - S_1 = \frac{g}{2}(t_2^2 - t_1^2).$$

Кроме того,

$$t_1 = t_0 + \tau \quad \text{и} \quad t_2 = t_1 + \tau = t_0 + 2\tau,$$

где τ — интервал между двумя последовательными моментами освещения шарика, равный периоду вращения электромотора.

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:

$$l_2 - l_1 = g\tau^2,$$

откуда

$$g = \frac{(l_2 - l_1)}{\tau^2}.$$

Величины l_1 и l_2 отсчитываются по линейке, а τ определяется по известной частоте вращения мотора.

110. Достаточно определить динамометром силу P^*, с которой планета притягивает гирю (вес гири на этой планете). Тогда ускорение силы тяжести g^* находим как отношение

$$g^* = \frac{P^*}{m},$$

где m — масса гири, известная по условию.

111. Воспользовавшись пружинными весами, следует измерить P^* — вес гири на этой планете. В соответствии с законом всемирного тяготения сила P^* выражается через массу гири m, гравитационную постоянную G, массу планеты M и ее радиус R:

$$P^* = G\frac{Mm}{R^2}.$$

Отсюда для массы планеты получаем:

$$M = \frac{P^*R^2}{Gm}.$$

G — постоянная величина, значение которой можно взять из справочника, P^* известно из опыта, а m и R известны по условию задачи.

112. Изготовив из нити и грузика «математический маятник», следует определить его период T с помощью секундомера. После этого из формулы маятника можно найти g^* — ускорение силы тяжести на планете:

$$g^* = \frac{4\pi^2 l}{T^2},$$

так как длина маятника l по условию задачи известна.

С другой стороны, ускорение силы тяжести можно записать, исходя из закона всемирного тяготения, следующим образом:

$$g^* = \frac{P^*}{m} = G\frac{M}{R^2},$$

где M — масса планеты, R — ее радиус, а G — гравитационная постоянная.

Приравнивая правые части уравнений, получаем для массы планеты:

$$M = \frac{4\pi^2 R^2 l}{GT^2}.$$

Радиус планеты нетрудно выразить через длину C экватора планеты:

$$R = \frac{C}{2\pi},$$

после чего для средней плотности D вещества планеты получаем:

$$D = \frac{M}{V} = \frac{6\pi^2 l}{GT^2 \cdot C}.$$

Значение плотности D можно рассчитать, так как все величины в этом выражении известны.

113. 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 *сек*. После этого, пользуясь формулой маятника

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

можно получить для ускорения силы тяжести значение

$$g^* = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \frac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 1}{5^2} \approx 1{,}6 \text{ м/сек}^2,$$

весьма близкое к получаемому более точными методами.

114. Изготовив из проволоки катушку, следует подключить 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 и величину и направление вектора магнитной индукции.

Рассмотренная идея положена в основу устройства некоторых типов магнитометров, применяемых на практике.

115. Наряду с законом сохранения количества движения, которым мы пользовались при решении задач №№ 56 и 106, в природе существует также закон сохранения *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 нужно прекратить.

Ну, а если никакого предмета у космонавта не оказалось? В этом случае, в соответствии с законом сохранения количества движения, он не сможет изменить величину и направление своей скорости (относительно ракеты, например), однако закон сохранения момента количества движения 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 прижать ее к груди, опустить вдоль туловища, снова вытянуть в сторону и т. д.

Эта задача напоминает знаменитую 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. 33, *а*). Законы природы и строение тела не запрещают ей занять

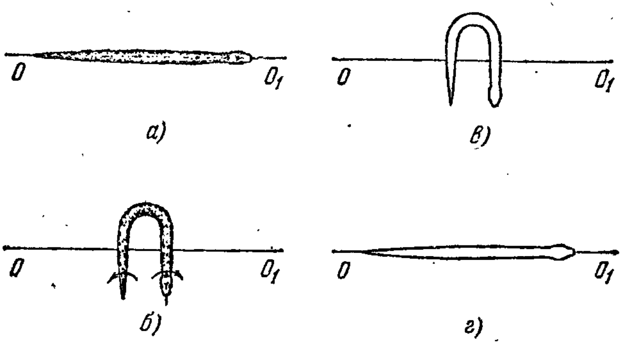

Рис. 33.

положение, показанное на рис. 33, *б*. После этого она может, поворачивая переднюю и заднюю части туловища в направлениях, указанных стрелками, перевернуться брюхом вверх (рис. 33, *в*) и затем вытянуться вдоль прямой OO_1 (рис. 33, *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 переворачивания силы трения. Однако, оказавшись в воздухе — вспомните Ужа из «Песни о Соколе» М. Горького, — она могла бы поступить так, как сказано выше.)

116. 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. использовал маятник для доказательства вращения Земли французский физик Жан Бернар Леон Фуко. 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 самого Фуко, сооруженный в Парижском Пантеоне, имел длину 67 *м*); груз укрепляется на опоре с помощью карданового 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 полюсе 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 мере, зависящей от 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 встретились при решении задачи № 53.

Второй вариант решения предложенной задачи предусматривает применение гироскопа — быстро вращающегося массивного волчка, установленного в кардановом подвесе.

Если центр тяжести гироскопа совпадает с центром подвеса, а силы трения практически отсутствуют (такой гироскоп называется уравновешениым или свободным), его ось будет сохранять неизменное иаправление по отношению к «неподвижным» звездам. В случае несовпадения центра тяжести гироскопа с геометрическим центром подвеса ось гироскопа начинает описывать в пространстве конус (это явление называется прецессией). Для гироскопа массой 1 *кг*, вращающегося с частотой 30 000 *об/мин*, смещение центра тяжести иа 1 *мкм* вызывает прецессию со скоростью около 1 *град/час*. Так как Земля вращается со значительно большей угловой скоростью, 15 *град/час*, подобным гироскопом легко обнаружить факт вращения Земли, как это и было впервые 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.

СОДЕРЖАНИЕ

Виктор
Николаевич
Ланге

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ
НА СМЕКАЛКУ

М., 1974 г., 96 стр. с илл.

Редактор В. А. Григорова

Техн. редактор С. Я. Шкляр

Корректор Е. В. Сидоркина

Сдано в набор 10/I 1974 г.
Подп. к печати 6/VI 1974 г.
Бумага $84 \times 108^1/_{32}$. Тип. № 3.
Физ. печ. л. 3.
Усл. печ. л. 5,04.
Уч.-изд. л. 4,29.
Тираж 350 000 экз.
Цена 12 коп.
Заказ 29

Издательство «Наука»
Главная редакция
физико-математической литературы
117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградская типография №2 имени Евгении Соколовой
Союзполиграфпрома при Государственном комитете
Совета Министров СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли
198052, Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29