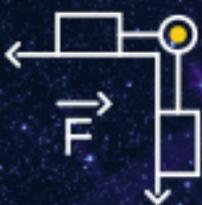




Ю. А. Курочкин, Э. А. Довнар,
П. Н. Сидорович

Экспериментальные
олимпиадные
задачи по
ФИЗИКЕ



Ю. А. Курочкин, Э. А. Довнар,
П. Н. Сидорович

Экспериментальные
олимпиадные
задачи по
ФИЗИКЕ

Минск
«Адукацыя і выхаванне»
2021

УДК 53(075.3)
ББК 22.3я721
К93

Рецензенты: старший научный сотрудник государственного научного учреждения «Институт физики имени Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси», кандидат физико-математических наук *Я. М. Геда*; кандидат физико-математических наук, доцент *Л. А. Исаченкова*

ISBN 978-985-599-289-0

© Курочкин Ю. А., Довнар Э. А.,
Сидорович П. Н., 2021
© Оформление. РУП «Издательство
“Адукацыя і выхаванне”», 2021

ОТ АВТОРОВ

Случайно, из интернета, авторы узнали, что выпущенный в 1981 г. издательством «Народная асвета» «Сборник экспериментальных олимпиадных задач» до сих пор используется при организации олимпиад школьников различного уровня, а также при организации внеклассной работы.

Одним из наиболее интересных и распространённых видов внеклассной работы по физике являются олимпиады. Они повышают интерес учащихся к физике, знакомят их с применением физических законов в практической жизни человека, помогают глубже усвоить теоретический материал.

Цель этого сборника — оказать помощь учителям и учащимся при подготовке к олимпиадам по физике. Он может быть использован учителями для работы в физических кружках и на факультативных занятиях.

Задачи в сборнике расположены по разделам школьного курса физики: механика, давление жидкостей и газов, молекулярная физика и тепловые явления, электродинамика, колебания и волны, оптика. Задачи в основном рассчитаны на учащихся VIII—X классов, однако часть из них доступна для решения наиболее подготовленным учащимся VII класса.

Учитывая, что многие задачи являются сложными, а также желая помочь учащимся овладеть более рациональными методами решения экспериментальных задач, авторы дали к ним решения и необходимые указания.

Рекомендуем учащимся сначала самостоятельно решить задачу, а затем сверить своё решение с помещённым в сборнике. При этом следует учесть, что многие задачи могут быть решены и другими способами.

В отдельной главе собраны задачи, которые могут быть использованы учащимися для самостоятельной работы (их решения в сборнике не приводятся). При подготовке нового издания к задачам для самостоятельного решения также добавлен ряд задач, объединённых в раздел «Физика вокруг». Эти задачи не только экспериментальные, но и теоретические, из тех, которые встречаются на каждом шагу в жизни. Для них могут предлагаться различные решения, их формулировки могут уточняться. Данные задачи, как и другие вошедшие в сборник, могут служить исходными для формулировки новых задач.

ЗАДАЧИ

Механика

1. Определите скорость вытекания воды из водопроводного крана.
Оборудование: стакан цилиндрической формы, штангенциркуль, секундомер.

2. Исследуйте зависимость скорости падения дробинки в глицерине от их радиуса.

Оборудование: измерительный цилиндр с глицерином, набор свинцовых дробинки различных размеров, линейка, секундомер, микрометр.

3. Определите массу груза.

Оборудование: динамометр, исследуемый груз, нить, масштабная линейка.

4. Определите массу шарика.

Оборудование: шарик неизвестной массы, прищепка для белья, спички, линейка, шарик известной массы.

5. Определите массу шарика.

Оборудование: два стальных шарика (один из них известной массы), пластилин, штатив, транспортир, две нити равной длины.

6. Определите массу линейки.

Оборудование: ученическая линейка и разновес.

7. Определите массу тела.

Оборудование: металлическая линейка, медная проволока малого диаметра, карандаш, тело неизвестной массы, штатив.

8. Определите массу водяной капли.

Оборудование: ведро с водой, маленький сосуд с широким горлышком, разновес, пипетка, мягкий карандаш.

9. Имеется 8 совершенно одинаковых по размеру и виду шаров, изготовленных из одного материала. В одном из шаров имеется полость. Найдите шар с полостью, пользуясь весами, причём разрешается произвести только два взвешивания. Каково минимальное число взвешиваний, при которых будет определён полый шар, находящийся в группе с произвольным числом шаров?

Оборудование: 8 шаров, весы.

10. Определите силу, необходимую для того, чтобы опрокинуть брусок через точку O . Сила приложена в точке A параллельно верхнему основанию бруска (рис. 1).

Оборудование: деревянный брусок известной массы, линейка.

11. Определите давление, производимое стальной иглой при прокалывании медной пластины.

Оборудование подобрать самим.

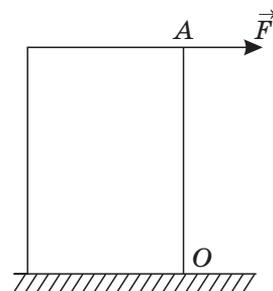


Рисунок 1

12. Определите прочность нити.

Оборудование: грузы из набора по механике, транспортер, штатив, нить, гирька известной массы.

13. Определите жёсткость резинового шнура.

Оборудование: два штатива с лапками, резиновый шнур, грузы известной массы, линейка.

14. Определите приближённое значение коэффициента трения песка о стекло.

Оборудование: песочные часы, линейка.

15. Определите коэффициент трения бруска о горизонтальный стол, если длина и ширина бруска меньше его высоты.

Оборудование: брусок, нить, линейка.

16. Исследуйте зависимость КПД наклонной плоскости от угла её наклона к горизонту.

Оборудование: трибомер, брусок, линейка ученическая, секундомер.

17. Стреляя из баллистического пистолета, установленного на столе, попадите, сделав только два выстрела, в картонную коробку, стоящую на полу (на столе).

Оборудование: баллистический пистолет, рулетка, коробка.

Примечание. Вначале разрешается сделать любое число выстрелов. Затем устанавливается коробка и разрешается произвести только два выстрела.

18. На каком максимальном расстоянии от центра диска электропроигрывателя может удержаться монета при вращении с заданной угловой скоростью?

Оборудование: проигрыватель, медная монета.

19. Придумайте способ определения потенциальной энергии растянутого резинового шнура.

20. Определите максимальную скорость движения пальца руки.

Оборудование: камешек, линейка.

Давление жидкостей и газов

21. Определите плотность камня.

Оборудование: камень, динамометр, нить, сосуд с водой.

22. Определите плотность деревянного бруска.

Оборудование: деревянный брусок, стакан с водой, линейка.

23. Определите плотность масла.

Оборудование: U-образная трубка, линейка, воронка, сосуды с водой и маслом.

24. Определите плотность металла, находящегося в одном из двух кусков пластилина, если известно, что массы пластилина в обоих кусках одинаковы. Извлекать металл из пластилина не разрешается.

Оборудование: весы с разновесом, стакан с водой, штатив.

25. Определите плотность стеклянной палочки.

Оборудование: сосуд большого диаметра с водой, линейка.

26. Даны два цилиндрических тела (одинаковых по форме), изготовленных из одинакового вещества, с плотностью, меньшей плотности воды.

Известно, что одно тело однородное, а другое имеет внутреннюю полость со следующими характеристиками:

а) форма полости цилиндрическая;

б) ось полости параллельна оси тела;

в) длина полости практически равна длине тела.

Определите плотность вещества тел, радиус цилиндрической полости, расстояние между осями полости и цилиндрического тела.

Оборудование: два тела, линейка, деревянный брусок, сосуд с водой.

27. Определите отношение плотностей жидкости и тела.

Оборудование: линейка, два тела неизвестной массы из одинакового материала, сосуд с жидкостью неизвестной плотности, штатив, нить.

28. Определите путём взвешивания на несбалансированных весах вес тонкостенного сосуда без содержащегося в нём воздуха.

Оборудование: несбалансированные весы, балансировать которые перед взвешиванием не разрешается, разновес, тонкостенный сосуд, линейка.

29. Прделайте опыт, позволяющий поднять картофелину со дна сосуда, наполненного водой, и определите плотность картофелины, не прибегая к её взвешиванию.

Оборудование подобрать самим.

Молекулярная физика и тепловые явления

30. Определите количество теплоты, выделяющееся при скольжении тела по наклонной плоскости без начальной скорости.

Оборудование: наклонная плоскость, тело известной массы, линейка, секундомер.

31. Определите удельную теплоёмкость металла.

Оборудование: металлический брусок, нагреватель, весы, термометр, сосуд для воды, нить, штатив.

32. При помощи 0,5 л горячей воды нагревают 0,5 л холодной воды. Как необходимо поступить, чтобы окончательная температура всей нагреваемой воды стала больше окончательной температуры нагревающей воды.

Оборудование: три термоса, тонкостенный сосуд, термометр.

33. Определите удельную теплоту парообразования воды.

Оборудование: сосуд с водой, калориметр, электроплитка, мензурка, секундомер, весы, разновес, термометр.

34. Определите удельную теплоёмкость керосина.

Оборудование: весы без разновеса, песок, калориметр с известной удельной теплоёмкостью, термометр, электроплитка, вода, керосин, два стакана.

35. Определите удельную теплоёмкость свинца.

Оборудование: свинец (дробь) массой 0,15–0,20 кг, картонный цилиндр, термометр, линейка.

36. Определите мощность нагревателя.

Оборудование: нагреватель, калориметр, сосуд с водой, мензурка, термометр, секундомер.

37. Определите плотность воздуха.

Оборудование: насос Камовского, тарелка вакуумная с закрытым ртутным вакуумметром, весы рычажные технические на 500 г, разновес, барометр-анероид, термометр комнатный, стеклянный шар в защитном чехле.

38. Исследуйте тепловые свойства кристаллического тела в интервале от комнатной температуры до 80 °С и определите его основные тепловые характеристики.

Оборудование: часы, термометр, нагревательный элемент, две пробирки с жидкостью известной удельной теплоёмкости c , кристаллическое тело.

Примечание 1. Количество жидкости в обеих пробирках одинаково и равно $m_{ж}$. Масса кристаллического тела $m_{к}$ также известна (она невелика).

Примечание 2. Кристаллическое тело в данной жидкости не растворяется.

39. Определите атмосферное давление.

Оборудование: две стеклянные трубки, резиновая трубка, сосуд с водой, масштабная линейка, пробка.

40. Определите давление воздуха в шаре после откачивания из него воздуха с помощью насоса.

Оборудование: насос Камовского, шар для взвешивания воздуха, сосуд с водой, измерительный цилиндр, зажим.

Примечание. При откачивании воздуха шар должен находиться в защитном чехле.

41. Определите объём воздуха, удаляемого насосом Камовского за один цикл, и измерьте атмосферное давление.

Оборудование: насос Камовского, вакуумная тарелка с колпаком, манометр, линейка, математические таблицы.

42. Определите массу молекулы эфира.

Оборудование: стеклянный сосуд объёмом 10–15 л, манометр, резиновые трубки, бюретки.

43. Определите молярную массу воздуха.

Оборудование: шар для взвешивания воздуха, насос Камовского, весы, разновес, резиновая трубка, зажимы, термометр, манометр.

44. Опытным путём определите скорость распространения пахучих веществ в воздухе комнаты.

Оборудование подобрать самим.

45. Определите среднюю квадратичную скорость молекул воздуха.

Оборудование: насос Камовского, весы с разновесом, стеклянная колба, стеклянные трубки с кранами, резиновые шланги, манометр.

46. Измерьте коэффициент поверхностного натяжения воды.

Оборудование: две стеклянные пластинки, ванночка с водой, штангенциркуль.

47. Определите процентное содержание воды в снеге в начале опыта.

Оборудование: мензурка, калориметр, снег, термометр, сосуд с горячей водой.

Электродинамика

48. Определите сопротивление резистора.

Оборудование: источник тока, амперметр, резистор сопротивлением 4 Ом, исследуемый резистор, соединительные провода, ключ.

49. Определите знаки полюсов автомобильной аккумуляторной батареи.

Оборудование: переносная лампа А6-21 на 12 В, кусок проволоки, компас.

50. Измерьте неизвестное сопротивление гальванометра.

Оборудование: два резистора с известными сопротивлениями r_1 и r_2 , реохорд R , гальванометр, источник тока, два ключа, соединительные провода, набор сопротивлений.

51. Три сопротивления соединены звездой. Определите значения этих сопротивлений, если измерительные приборы нельзя подсоединять к контакту в точке O (рис. 2).

Оборудование: источник тока, амперметр, вольтметр, соединительные провода, ключ.

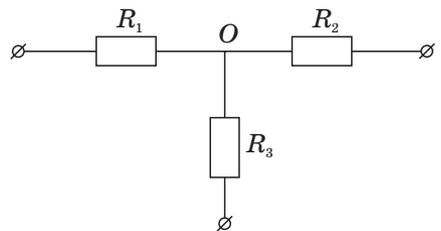


Рисунок 2

52. Определите удельное сопротивление проволоки, из которой изготовлен реостат.

Оборудование: реостат с известным сопротивлением, линейка, штангенциркуль.

53. Определите диэлектрическую проницаемость керосина.

Оборудование: звуковой генератор (ЗГ), электрический осциллограф, резистор, воздушный конденсатор переменной ёмкости, стеклянный сосуд, керосин, переключатель, провода.

54. Установите зависимость силы тока, при котором происходит плавление проводника, от его диаметра.

Оборудование: источник тока с регулируемым напряжением, набор медных проволочек разного диаметра, амперметр, микрометр.

55. Определите ЭДС источника, имея два различных вольтметра с небольшими неизвестными внутренними сопротивлениями.

Оборудование: вольтметры, источник тока.

56. Определите ЭДС неизвестного источника тока.

Оборудование: источник тока с неизвестной ЭДС, источник тока с известной ЭДС, два конденсатора одинаковой ёмкости, микроамперметр.

57. Не размыкая цепи, определите действительные напряжения на сопротивлениях.

Оборудование: источник тока, вольтметр (лабораторный) на 6 В, соединённые последовательно сопротивления, ключ, соединительные провода.

Указание. Взять сопротивления, по значению близкие к сопротивлению вольтметра.

58. Постройте график зависимости мощности электролампочки от напряжения.

Оборудование: лампочка на 3,5 В, батарея от карманного фонарика, вольтметр, магазин сопротивлений, ключ, соединительные провода.

59. Определите номинальную мощность лампы.

Оборудование: источник переменного тока ВС-24, лампы на 36 В, вольтметр, конденсатор известной ёмкости, соединительные провода.

60. Измерьте температуру раскалённой спирали электроплитки.

Оборудование: лабораторная электроплитка (на 200 или 300 Вт), электрическая лампа с прямой нитью накала на 4 В («звуковая» лампа из кинопроектора), лабораторные амперметр и вольтметр, омметр, выпрямитель (или батарея аккумуляторов), реостат, соединительные провода, штатив.

61. Определите значение элементарного заряда.

Оборудование: набор по электролизу, источник ЭДС, весы с разновесом, амперметр, секундомер, соединительные провода.

62. Какую цепь необходимо собрать, чтобы напряжение на лампе установить наиболее точно? Во сколько раз точность установки напряжения в случае использования двух реостатов будет больше, чем в том случае, когда используется один реостат? Как нужно включить реостаты, если для питания лампы нужно установить точнее не напряжение, а ток?

Оборудование: два проволочных реостата R_1 и R_2 одинаковой длины, причём $R_2 = 10R_1$, вольтметр, батарея аккумуляторов, переносная лампа (А6-21 на 12 В).

63. Определите массу иона меди.

Оборудование: набор Горячкина, весы, разновес, амперметр, раствор медного купороса, секундомер, источник постоянного тока.

64. Нарисуйте и соберите схему для получения пилообразного напряжения при помощи неоновой лампы и других деталей и приборов, перечисленных ниже. Объясните, как работает схема. Исследуйте характер изменения полученного напряжения.

Оборудование: конденсатор, неоновая лампа, высокоомное сопротивление, источник тока — школьный кенотронный выпрямитель, осциллограф, ключ, соединительные провода.

Примечание. Неоновая лампа (НЛ) загорается, когда напряжение на ней достигает значения U_1 . При этом сопротивление лампы становится пренебрежимо малым. Когда напряжение падает до значения U_2 , лампа гаснет, её сопротивление становится бесконечно большим.

65. Определите ёмкость конденсатора.

Оборудование: конденсатор, источник переменного тока, вольтметр, соединительные провода, резистор с известным сопротивлением.

66. Определите индуктивность катушки.

Оборудование: разборный школьный трансформатор с обмоткой на 127 В, источник переменного напряжения на 36 В, миллиамперметр и вольтметр переменного тока, омметр, соединительные провода.

67. Определите полюса подковообразного магнита.

Оборудование: подковообразный магнит, не раскрашенный в два цвета, осциллограф.

68. Определите значение модуля индукции магнитного поля между полюсами подковообразных магнитов. Покажите, что модуль силы F , действующей на проводник с током в магнитном поле, прямо пропорционален силе тока в проводнике.

Оборудование: электродинамическая рамка, штатив с принадлежностями, лабораторные весы с разновесом, лабораторный амперметр и реостат, источник постоянного напряжения на 4–6 В, два или три подковообразных магнита.

69. Определите экспериментальную зависимость модуля индукции магнитного поля прямолинейного проводника с током от силы тока и расстояния до проводника.

Оборудование: выпрямитель ВС-24, проволочная рамка, амперметр, компас, линейка.

70. Как, применив формулы $I = \frac{U}{R}$ и $U = IR$, создать счётную машину, которая производила бы в определённых пределах действия деления и умножения?

Оборудование: магазин сопротивлений, школьный амперметр (до 3 А) и вольтметр (до 4 В), выключатель, набор проводов, проволочный реостат.

71. Рассмотрите:

а) замкнутую цепь, состоящую из двух последовательно включённых аккумуляторов, магазина сопротивлений и неизвестного сопротивления X ;

б) последовательное включение сухого элемента и гальванометра с защитным сопротивлением.

Предложите и объясните такое подключение ветви b к цепи a , которое позволит найти положение движка реохорда X для случая отсутствия тока через гальванометр.

Определите по полученной схеме:

1. Отношение разности потенциалов на зажимах двух последовательно включённых аккумуляторов к электродвижущей силе сухого элемента. (Разность потенциалов на зажимах обоих аккумуляторов считать постоянной.)

2. Неизвестное сопротивление X .

3. Такое условие для сопротивления R , чтобы задача имела решение.

Оборудование: два железоникелевых аккумулятора, сухой элемент, реохорд (однородный провод неизвестного сопротивления X , натянутый вдоль миллиметровой шкалы, снабжённый скользящим контактом), магазин сопротивлений (включено сопротивление R), гальванометр (нулевое деление находится посередине шкалы) и защитное сопротивление.

72. В каждом из пяти закрытых непрозрачных ящиков вмонтирована одна из деталей или электрических цепей, приведённых на рисунках 3, a – d . Выводы присоединены к наружным клеммам. При помощи измерений определите, что находится в каждом ящике.

Оборудование: источник постоянного тока, источник переменного тока, авометр.

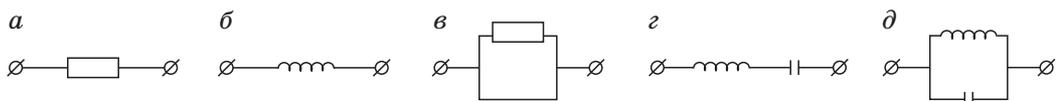


Рисунок 3

73. В непрозрачных и наглухо закрытых ящиках находятся по три резистора сопротивлением 1, 1 и 2 Ом. Требуется определить возможные схемы их соединения, если из ящика выведены лишь три клеммы (рис. 4).

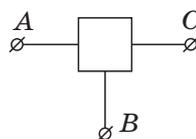


Рисунок 4

Оборудование: источник тока, амперметр.

Колебания и волны

74. Определите площадь стола.

Оборудование: гирька, часы, нитки.

75. Определите период колебаний столба воды в U-образном манометре при выведении его из положения равновесия. Выведите теоретически формулу для периода колебаний и сравните полученные результаты с результатами расчёта по данной формуле.

Оборудование: U-образный манометр, сосуд с водой, резиновый шланг, секундомер.

76. Каким будет характер движения груза, если его подвесить к пружине, пружину слегка растянуть и отпустить? Зависит ли период данного движения от величины первоначальной деформации для случая малых (по сравнению с длиной пружины) деформаций? Исследуйте зависимости периода данного движения от массы груза и от жёсткости пружины.

Оборудование: несколько различных пружин, секундомер, набор грузов известной массы, штатив.

77. Определите частоту колебаний камертона.

Оборудование: камертон, узкий цилиндрический сосуд длиной около 1 м, закрытый с одного конца, сосуд с водой.

78. Рассчитайте длину математического маятника и изготовьте его модель, если период колебаний этого маятника равен периоду собственных колебаний пружинного маятника.

Оборудование: пружина, штатив, набор грузов, линейка, нить, шарик, весы, разновес.

79. Измерьте скорость звука в воздухе.

Оборудование: осциллограф, динамик, микрофон, генератор звуковых колебаний, соединительные провода, линейка.

Оптика

80. Определите силу света источника.

Оборудование: два источника света (сила света одного известна, а второго — неизвестна), линейка, лист бумаги с жирным пятном.

Примечание. Опыт выполняйте в затемнённой комнате.

81. Определите показатель преломления пластинки.

Оборудование: ученическая линейка, пластинка со скошенными гранями, транспортир, карандаш.

82. Определите показатель преломления прямоугольного стеклянного бруска.

Оборудование: стеклянный брусок, лист бумаги.

83. Определите показатель преломления вещества плосковыпуклой линзы.

Оборудование: плоско-выпуклая линза, штангенциркуль, линейка, экран, электрическая лампочка на подставке, источник тока, соединительные провода, ключ.

84. Определите силу света недоступного источника.

Оборудование: люксметр, линейка.

85. Определите показатель преломления воды.

Оборудование: стакан с водой, две стеклянные пластинки, картон, ножницы, пластилин, транспортир, источник света (лампочка), лист белой бумаги.

86. Определите показатель преломления жидкости.

Оборудование: колба с исследуемой жидкостью, стеклянная кювета, линза, экран с узкой щелью, лампочка, батарейка, полоска миллиметровой бумаги, булавки, соединительные провода.

87. Определите (оцените) длину волны, соответствующую красному цвету.

Оборудование: проигрыватель с грампластинкой, линейка, лист картона с небольшим отверстием, настольная лампа, красное стекло, секундомер.

88. Определите фокусное расстояние выпуклого зеркала.

Оборудование: выпуклое зеркало, неточечный источник света (проекторный фонарь), экран, два куска картона, линейка.

89. Определите оптическую силу рассеивающей линзы.

Оборудование: рассеивающая линза, масштабная линейка, лампочка с источником тока, экран, соединительные провода, собирающая линза, ключ.

90. Определите оптическую силу рассеивающей линзы.

Оборудование: источник света, предмет, собирающая линза, рассеивающая линза, экран, держатель для линз, линейка.

91. Определите разрешающую способность глаза и исследуйте её зависимость от диаметра отверстия в экране, помещённом перед ним.

Оборудование: лист белой бумаги, лист миллиметровой бумаги, игла, линейка, экран.

Примечание. Разрешающей способностью глаза называют наименьший угол, под которым два объекта ещё видны раздельно.

92. Определите толщину своего волоса.

Оборудование: микроскоп, миллиметровая бумага, волос.

93. Определите скорость света в воде, приняв скорость света в воздухе $c = 300\,000$ км/с.

Оборудование: стакан с водой, бумага, источник света (свеча или лампа накаливания), линейка, карандаш.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Определите массу деревянного бруска.

Оборудование: брусок, линейка, тело известной массы.

2. Определите коэффициент трения между бруском и поверхностью стола.

Оборудование: брусок от лабораторного трибометра, ученическая линейка с миллиметровыми делениями, динамометр.

3. Определите ускорение свободного падения.

Оборудование: линейка, секундомер, весы с разновесом, штатив с зажимами, блок, нить, набор грузов, чашки для грузов.

4. Определите плотность вещества, из которого изготовлена линейка.

Оборудование: линейка, разновес, штангенциркуль, карандаш.

5. Определите предельную силу натяжения, которую может выдержать толстая леска.

Оборудование: штатив, леска диаметром свыше 0,3 мм, гиря массой 0,5 кг, линейка.

6. Определите среднюю силу сопротивления песка.

Оборудование: стальная гирька, деревянный клин, сосуд с песком, линейка, весы с разновесом.

7. Определите максимальную скорость вылета «снаряда» из магнитной «пушки».

Оборудование: три керамических магнита из школьного набора (два большего диаметра для «пушки» и один меньшего для «снаряда»), линейка, лист бумаги, транспортир.

8. Определите толщину фольги с максимально возможной точностью.

Оборудование: лист алюминиевой фольги, весы с разновесом, микрометр, линейка масштабная.

9. Определите плотность жидкости и плотность вещества твёрдого тела.

Оборудование: сосуд с исследуемой жидкостью, исследуемое тело, линейка, динамометр.

10. Определите плотность веществ двух твёрдых тел.

Оборудование: исследуемые тела (цилиндры), линейка, сосуд с чистой водой, штатив, нить.

11. Определите процентное содержание железа от общей массы гирьки, обмазанной пластилином.

Оборудование: весы с разновесом, стакан с водой, железная гирька, обмазанная пластилином.

12. Определите поле температур в пламени свечи.

Оборудование: термопара, термометр, нагреватель, сосуд с водой, свеча, вольтметр, соединительные провода.

13. В стеклянном шаре имеется воздушный сферический пузырёк. Найдите радиус этого пузырька и положение его центра.

Оборудование подобрать самим.

14. Измерьте среднюю удельную теплоёмкость трансформаторного масла в интервале температур 45–50 °С.

Оборудование: калориметр, термометр, электронагреватель-мешалка (допустимая мощность, выделяемая на нагревателе в жидкости, 30 Вт), миллиамперметр, реостат сопротивлением 30 Ом (допустимый ток 5 А), секундомер, источник постоянного тока (напряжение приблизительно 50 В), весы, штатив, трансформаторное масло, дистиллированная вода, разновес.

15. Соберите электрическую схему, чтобы она работала следующим образом. При замыкании одного из выключателей все три лампы горят неполным накалом. При замыкании другого выключателя нормально горит только одна лампа, а две другие не горят. То же происходит в случае одновременного замыкания обоих выключателей. При разомкнутых выключателях не горят все лампы.

Оборудование: три лампочки, два выключателя, источник тока, соединительные провода.

16. Соберите цепь таким образом, чтобы при замыкании ключа вольтметр показывал напряжение на последовательном участке цепи. Каково в действительности напряжение на каждом из сопротивлений этого участка? Как можно проверить полученный результат?

Оборудование: источник тока на 6 В, вольтметр с известным сопротивлением R_v , два известных сопротивления R_1 и R_2 , соединённых последовательно, ключ, соединительные провода.

17. Определите знаки полюсов источника тока.

Оборудование: источник тока, электромагнит с дугообразным сердечником (проволочная катушка, дугообразный железный стержень), реостат, соединительные провода, осциллограф.

18. Определите значение неизвестного сопротивления.

Оборудование: батарейка, резистор с известным сопротивлением, резистор с неизвестным сопротивлением, амперметр, соединительные провода.

19. Установите зависимость сопротивления нити электрической лампочки карманного фонарика от квадрата силы тока, проходящего через неё, и объясните характер этой зависимости.

Оборудование: лампочка от карманного фонарика на подставке, вольтметр, амперметр, реостат, источник тока, соединительные провода, ключ.

20. Изготовьте омметр и проградуируйте его шкалу.

Оборудование: школьный гальванометр, магазин сопротивлений, ключ, набор резисторов, источник тока, соединительные провода.

21. Определите мощность электрической лампы.

Оборудование: электрическая лампа, батарея конденсаторов или набор конденсаторов известной ёмкости, вольтметр, соединительные провода, источник переменного напряжения (BC-24).

Примечание. Номинальное напряжение лампы известно.

22. Определите мощность, выделяющуюся на неизвестном сопротивлении, если его соединить последовательно с известным сопротивлением и подключить к источнику тока.

Оборудование: известное и неизвестное сопротивления, вольтметр, источник тока, ключ, соединительные провода.

23. Снимите вольт-амперную характеристику лампочки и объясните полученный результат. Зная, что температурный коэффициент сопротивления вольфрама $\alpha = 0,0046 \text{ K}^{-1}$, оцените температуру нити накала лампочки.

Оборудование: батарейка от карманного фонарика, магазин сопротивлений, амперметр, ключ, соединительные провода, лампочка на 3,5 В.

24. Определите ёмкость конденсатора.

Оборудование: конденсатор большой ёмкости, микроамперметр, резистор, источник постоянного тока, секундомер, соединительные провода.

25. Определите индуктивность катушки.

Оборудование: звуковой генератор, амперметр, конденсатор известной ёмкости, катушка, омметр, соединительные провода.

26. Определите число витков в обмотке трансформатора.

Оборудование: разборный школьный трансформатор с катушкой на 6 или 12 В, источник переменного напряжения (BC-24), вольтметр переменного тока, соединительные провода.

27. Соберите цепь, которая позволит получить графическую зависимость полезной мощности, развиваемой источником на реостате, от силы тока. Используя данные полученного графика:

а) найдите внутреннее сопротивление источника тока;

б) определите ЭДС источника тока;

в) начертите графики зависимости полезной и полной мощности от внешнего сопротивления;

г) начертите график зависимости коэффициента полезного действия данного источника тока от внешнего сопротивления.

Оборудование: источник постоянной ЭДС, амперметр, вольтметр, реостат, соединительные провода.

Замечание. Зависимость полезной мощности на реостате от силы тока необходимо построить, получив не менее 35 точек.

28. Определите плотность и электропроводность жидкости.

Оборудование: колба с жидкостью, химический стакан, батарейка, амперметр, вольтметр, динамометр, колодка с электродами, выключатель, резиновый жгут, линейка, кусок проволоки, груз, соединительные провода.

29. Определите, какая из приведённых схем (рис. 5, а–г) содержится в коробочке, лежащей перед вами. Определите величины элементов, входящих в схему.

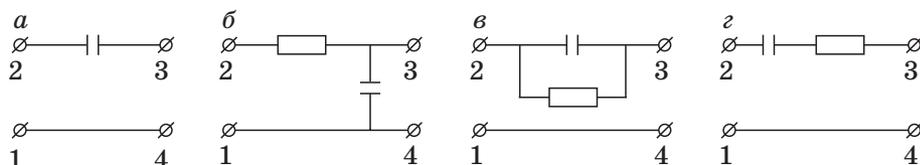


Рисунок 5

Оборудование: источник переменного напряжения (звуковой генератор), вырабатывающий синусоидальное напряжение частотой от 20 Гц до 200 кГц, ламповый вольтметр. Звуковой генератор подключён к контактам 1 и 2 (рис. 6). Ламповый вольтметр можно подключить либо к контактам 2 и 4, либо 3 и 4. Имеются также три сопротивления разной величины, которые можно включать между собой любой парой контактов.

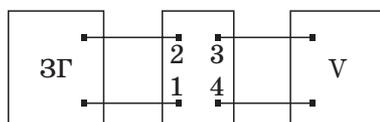


Рисунок 6

30. В закрытой коробке находятся два одинаковых идеальных полупроводниковых диода и резистор, соединённые в неизвестную электрическую цепь. Не вскрывая коробку, определите сопротивление резистора.

Оборудование: два универсальных измерителя тока и напряжения, батарея аккумуляторов, реостат, миллиметровая бумага, соединительные провода.

31. Чёрный ящик имеет две пары зажимов. Если на первую пару подать напряжение U , то вольтметр, подключённый ко второй паре, покажет напряжение $\frac{U}{2}$.

Если же напряжение U подать на вторую пару зажимов, то на первой будет напряжение U . Какая электрическая схема находится внутри ящика?

32. Исследуйте зависимость частоты основного тона колебаний струны от её натяжения.

Оборудование: прибор для определения модуля Юнга, гитарная струна, звуковой генератор, телефон.

33. Исследуйте зависимость периода колебаний линейки от расстояния между её центром тяжести и точкой подвеса.

Оборудование: линейка с отверстиями, штатив с муфтой и лапкой, масштабная линейка, секундомер.

34. Определите показатель преломления стекла, жидкости различными способами.

Оборудование: стеклянная пластинка со скошенными гранями, стакан с жидкостью, обёрнутый бумагой со щелью, лампочка на подставке, источник тока, ключ, соединительные провода, ученическая линейка.

35. Определите показатель преломления жидкости.

Оборудование: стакан с жидкостью, линейка, лампочка, батарейка, экран, соединительные провода.

36. Определите показатель преломления вещества данного тела.

Оборудование: исследуемое тело в виде бруска, источник постоянного тока, чёрная бумага, булавка, линейка, пластилин, соединительные провода.

37. Определите как можно точнее показатель преломления жидкости.

Оборудование: колба с исследуемой жидкостью, стеклянная кювета, линза, экран, лампочка, батарейка, полоска миллиметровой бумаги, соединительные провода.

38. Определите фокусное расстояние собирающего зеркала.

Оборудование: батарейка, лампочка, собирающее зеркало, циркуль, бумага, собирающая линза с известным фокусным расстоянием, соединительные провода.

39. Определите оптическую силу данных линз. Исследуйте зависимость оптической силы системы данных линз от расстояния между ними.

Оборудование: собирающая и рассеивающая линзы, лампочка, источник питания, непрозрачный экран, линейка, соединительные провода.

40. Определите максимально возможное число параметров жидкости.

Оборудование: колба с исследуемой жидкостью, стеклянная кювета, собирающая линза, экран, лампочка, батарейка, амперметр, вольтметр, динамометр, насадка с электродами, резиновый жгут, кусок проволоки, линейка, набор грузов по механике, полоска миллиметровой бумаги, соединительные провода.

ФИЗИКА ВОКРУГ

1. С юга на север идёт шоссе, которое в пункте O пересекается с другим шоссе, идущим с запада на восток. Два данных шоссе пересекают третьё. Третьё шоссе пересекает первое шоссе севернее пункта O на 6 км и второе шоссе восточнее пункта O на 4 км. По данному шоссе со скоростью $v = 120$ км/ч движется автомобиль, который в некоторый момент $t_0 = 12$ ч дня находится в трёх километрах севернее второго шоссе.

Найдите уравнение движения автомобиля, приняв за координатные оси первое и второе шоссе.

2. Велосипедист проехал за один час 12 км. Найдите число оборотов педалей в секунду. Велосипед с одной передачей.

Оборудование: мерная лента.

3. Найдите начальную угловую скорость и угловое замедление детского волчка.

Оборудование: камешек, мерная лента, секундомер, штангенциркуль.

4. Найдите силу трения поршня о стенки камеры шприца.

Оборудование: секундомер, стакан с водой.

5. Найдите реактивную силу воды, вытекающей из шланга душа.

Оборудование: секундомер, мерная ёмкость для воды.

6. Найдите зависимость радиуса кривизны траектории от высоты h для тела, брошенного под углом α к горизонту (оси x) со скоростью, равной по модулю v_0 .

Примечание: траекторию частицы рассматривать как огибающую набора полуокружностей с центрами на оси x , а радиусом кривизны считать радиус соответствующей окружности.

7. В американском фильме «Блуждающая пуля» героиня стреляет в грудь героя, одетого в бронежилет, после чего он перелетает капот автомобиля, не коснувшись его, и приземляется на противоположной стороне.

Оцените возможность такого случая, взяв данные для автомата Калашникова.

8. В романе американского писателя Г. Гаррисона «Неукротимая планета» ускорение свободного падения на планете Пирр равно $2g$. Приняв, что средняя плотность данной планеты равна средней плотности планеты Земля, определите её массу и радиус, считая планету Пирр идеальным шаром.

9. Найдите отношение высот, на которые может подпрыгнуть космонавт на Земле и на Луне, считая физические возможности космонавтов в обоих случаях одинаковыми.

10. Вы едете в автобусе (автомобиле), знаете скорость движения автобуса. Идёт дождь. У вас есть линейка. Определите скорость падения дождевых капель.

11. Определите КПД конфорки электроплиты при нагревании.

Оборудование: ведро с водой.

12. Найдите угол φ между падающим и отражённым лучами при нормальном падении света на поверхность, образованную определёнными поверхностями, представляющими собой совокупность цилиндрических поверхностей одинакового радиуса плотно упакованных цилиндров, оси которых лежат в одной плоскости (рис. 7), в случае если отражённый луч касается соседнего цилиндра.



Рисунок 7

13. Какой закон разбегания точек поверхности резинового шара идеальной формы относительно какой-либо выделенной точки, если известен закон изменения радиуса шара R при его надувании?

14. Оцените массу белья, загруженного в центрифугу стиральной машины, по скорости выкачивания воды. Электромотор одновременно обеспечивает работу насоса и вращение бачка центрифуги.

15. Как оценить потери энергии в случае течи водопроводных кранов? Вы живёте на 7-м этаже.

16. Определите малые колебания математического маятника с точностью 1, 5, 10, 30 процентов.

17. Когда отдача больше: при холостом или снаряжённом пулей выстреле? Предполагается, что вся энергия сгоревшего пороха превращается в кинетическую энергию газов. Заряды одинаковы.

18. Почему самолёт, летящий на низкой высоте, кажется движущимся с большей скоростью, чем самолёт, движущийся с такой же линейной скоростью на большой высоте?

19. Интерметаллит 1 кг (LaNi₅). В 1 кг интерметаллита можно аккумулировать 130 л H₂ при нормальных условиях. Найдите, на сколько увеличивается масса интерметаллит + водород.

РЕШЕНИЯ

Механика

1. С помощью секундомера измерим время t наполнения стакана водой. Затем, используя штангенциркуль, найдём высоту стакана h и диаметр дна стакана d . Тогда объём стакана, а следовательно, и воды равен $V_B = \frac{\pi d^2}{4} h$. Измерим диаметр сечения водопроводного крана d_K и рассчитаем площадь сечения крана:

$$S_K = \frac{\pi d_K^2}{4}. \quad (1)$$

Определим скорость течения воды $v_B = \frac{V_B}{S_K t}$. Подставив значение S_K из уравнения (1), получим:

$$v_B = \frac{d^2 h}{d_K^2 t}.$$

2. При падении дробинок в глицерине (вязкой среде) сила сопротивления пропорциональна скорости их движения, следовательно, через некоторое время сила сопротивления будет равна силе тяжести дробинок, т. е. $F_c = mg$. С этого момента дробинок будут падать равномерно, и их скорость можно рассчитать, измеряя пройденное ими расстояние l и время t : $v = \frac{l}{t}$. Радиус дробинок r измерим микрометром. Для исследования зависимости скорости падения дробинок от их радиуса необходимо построить график $v = f(r)$. Из графика видно, что зависимость между v и r является квадратичной ($v \sim r^2$). Поэтому можно построить график зависимости скорости от квадрата радиуса, т. е. $v = \varphi(r^2)$. В этом случае графиком будет прямая линия.

3. Установим линейку AB так, чтобы момент силы тяжести, действующей на линейку, равнялся нулю. Для этого опора должна находиться на одной вертикали с центром тяжести линейки. В случае однородности материала линейки центр тяжести совпадает с её геометрическим центром O . На расстоянии l от O расположим исследуемый груз, на расстоянии d укрепим динамометр и с его помощью установим линейку горизонтально (рис. 8). Тогда из условия равновесия получим следующее выражение:

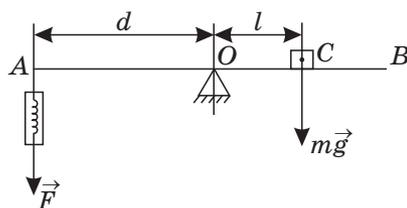


Рисунок 8

$$Fd = mgl. \quad (1)$$

Здесь F — сила, с которой динамометр действует на линейку, а m — масса исследуемого груза. Из выражения (1) получим:

$$m = \frac{Fd}{gl}.$$

4. Спички будем использовать в качестве разновеса. Установим приблизительно массу одной спички. Для этого уравновесим одну прищепку на линейке некоторым количеством спичек. Масса прищепки $m_{\text{п}} = m_c n_1$, где m_c — масса спички, n_1 — число спичек, необходимое для того, чтобы уравновесить прищепку.

Зная n_1 , можем уравновесить шарик известной массы m , закреплённый прищепкой на линейке (иначе он будет скатываться), некоторым количеством спичек n_2 . Считая, что масса каждой спички одинакова, находим её. Во всех случаях плечо силы тяжести, действующей на уравновешиваемые предметы и спички, необходимо брать одинаковым, тогда $m_c n_2 = m_c n_1 + m$, откуда

$$m_c = \frac{m}{n_2 - n_1}.$$

Зная массу спички и прищепки, как и в предыдущем случае, уравновесим шарик неизвестной массы некоторым количеством спичек. Тогда, если число спичек n_3 , имеем: $m_c n_3 = m_c n_1 + m_x$, откуда

$$m_x = \frac{n_3 - n_1}{n_2 - n_1} m.$$

5. Прикрепим шарик известной массы m_1 к нити длиной l , отведём его на измеряемый транспортиром угол α_1 (рис. 9) и отпустим. В нижней точке траектории движения шарика массой m_1 подвесим шарик неизвестной массы m_2 , к которому прикрепим кусочек пластилина массой Δm .

При своём движении шарик массой m_1 сталкивается с шариком массой m_2 . Из-за наличия пластилина удар шариков является неупругим, после столкновения они отклоняются на некоторый, тоже измеряемый, угол α_2 . При этом выполняется закон сохранения импульса:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2 + \Delta m) v_2.$$

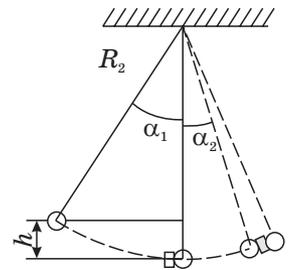


Рисунок 9

Скорость v_1 шарика известной массы в момент соударения находим из закона сохранения механической энергии $m_1gh = \frac{m_1v_1^2}{2}$, где $h = l - l \cos \alpha_1 = l(1 - \cos \alpha_1)$:

$$v_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha_1)}.$$

Поскольку масса кусочка пластилина Δm ничтожно мала, в дальнейшем его будем пренебрегать.

Аналогично определим скорость v_2 :

$$v_2 = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha_2)}.$$

Тогда из закона сохранения импульса получим:

$$m_2 = m_1 \left(\sqrt{\frac{1 - \cos \alpha_1}{1 - \cos \alpha_2}} - 1 \right).$$

И окончательно имеем:

$$m_2 = m_1 \left(\frac{\sin \frac{\alpha_1}{2}}{\sin \frac{\alpha_2}{2}} - 1 \right).$$

6. Первый способ. Уравновесим систему, состоящую из линейки и пятикопеечной монеты, на какой-либо опоре (рис. 10). Условие равновесия этой системы (правило моментов) имеет вид:

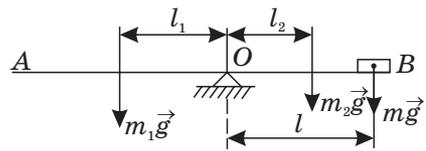


Рисунок 10

$$m_1gl_1 = m_2gl_2 + mgl,$$

где m_1 — масса части линейки AO , m_2 — масса части линейки OB , m — масса пятикопеечной монеты ($m = 5$ г), l_1 — расстояние от точки O до центра тяжести участка AO , l — расстояние от точки O до центра тяжести пятикопеечной монеты, l_2 — половина длины участка OB . Величины l_1 , l_2 , l легко измерить.

Обозначим через ρ линейную плотность материала, из которого изготовлена линейка. Можем записать

$$\rho = \frac{m_{\text{л}}}{l_{\text{л}}} = \frac{m_1}{2l_1} = \frac{m_2}{2l_2}.$$

Мы учли, что центры тяжести участков AO , OB линейки расположены посередине этих участков. При этом условие равновесия примет вид:

$$2\rho l_1^2 = 2\rho l_2^2 + ml.$$

Из последнего равенства находим, что

$$\rho = \frac{ml}{2(l_1 + l_2)(l_1 - l_2)}.$$

Поскольку

$$m_{\text{л}} = \rho l_{\text{л}}, \text{ где } l_{\text{л}} = 2(l_1 + l_2),$$

то окончательно

$$m_{\text{л}} = \frac{ml}{l_1 - l_2}.$$

Второй способ. Так как сила тяжести линейки приложена к её середине (рис. 11), то условие равновесия системы линейка — монета (разновесок) имеет вид: $m_{\text{л}} g \Delta l = mgl$, откуда

$$m_{\text{л}} = \frac{ml}{\Delta l}.$$

Нетрудно показать, что $\Delta l = l_1 - l_2$, где l_1 и l_2 указаны на рисунке 10. Очевидно, что второй способ решения более рационален.

7. Закрепим карандаш в штативе. Уравновесим линейку на карандаше, закрепим на одном из её концов тело, массу которого надо определить. Надевая на второе плечо полученного рычага проволочную петлю и натягивая проволоку по вертикали вниз, уравновесим тело (рис. 12). Запишем условие равновесия рычага:

$$mgl_2 = F_y l_1. \quad (1)$$

Из выражения (1) видно, что чем меньше плечо l_1 , тем больше должна быть сила F_y . Очевидно, что, уменьшая l_1 путём перемещения петли

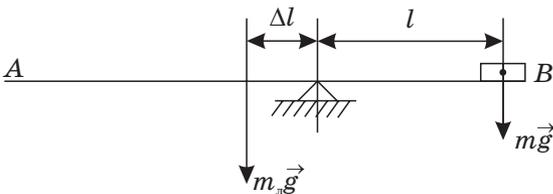


Рисунок 11

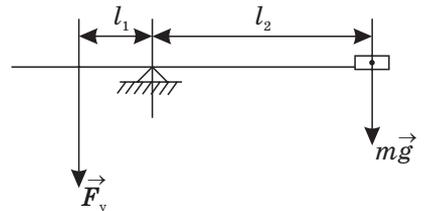


Рисунок 12

к опоре, мы можем достигнуть такого положения, при котором проволока оборвётся. В этом случае

$$F_y = \sigma_{\text{п}} S, \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{п}}$ — предел прочности меди при растяжении (значение находим по справочнику), а $S = \frac{\pi d^2}{4}$ — площадь поперечного сечения проволоки.

Подставив выражение (2) в равенство (1), получим:

$$mgl_2 = \sigma_{\text{п}} \frac{\pi d^2}{4} l_1, \quad (3)$$

откуда

$$m = \frac{\pi l_1 \sigma_{\text{п}} L_0^2}{4 l_2 g n^2}. \quad (4)$$

Диаметр проволоки d определим, намотав её на карандаш и измерив общую толщину n витков. Пусть она равна L_0 , тогда $d = \frac{L_0}{n}$. Подставив значение диаметра проволоки в выражение (4), окончательно получим:

$$m = \frac{\pi l_1 \sigma_{\text{п}} L_0^2}{4 l_2 g n^2}.$$

8. Погрузим сосуд в ведро с водой так, чтобы горлышко его было направлено вверх и находилось над водой. Теперь начнём наполнять сосуд монетами, пока он не будет плавать в вертикальном положении. Поместим в сосуд ещё одну-две монеты, на наружной стороне его отметим карандашом уровень воды. Достанем из сосуда одну монету, при этом равновесие нарушится, и он чуть-чуть всплывёт. Добавляя из пипетки по каплям в сосуд воду и считая число капель (пусть оно равно n), добьёмся, чтобы сосуд опустился до прежнего уровня. Нетрудно заметить (попробуйте обосновать это теоретически), что масса воды $m_{\text{в}}$, добавляемой в сосуд, равна массе копейки $m_{\text{к}} = 1$ г. Тогда масса одной капли будет равна

$$m = \frac{m_{\text{в}}}{n} = \frac{m_{\text{к}}}{n}.$$

9. На чашки весов кладем по три шара. При этом возможны два случая.

а) Чашки с шарами уравновешены, и, следовательно, полый шар — среди оставшихся двух. Сняв с чашек ранее положенные шары, на каждую из них положим по шару из оставшейся пары. Перевесивший шар не является полым.

б) Равновесие не установится, и, следовательно, полый шар находится в тройке шаров, которая легче. Освободив чашки весов от трёх шаров, кладем на каждую из них по шару из тройки, в которой полый шар. Если шары уравнились, значит, оставшийся шар — полый. Если равновесие отсутствует, то полый шар тот, который легче.

Задача может быть решена таким же образом в случае произвольного числа шаров, среди которых один полый. Минимальное число взвешиваний m , при которых наверняка будет определён полый шар, можно найти, рассуждая следующим образом. Максимальное число шаров, из которых можно всегда определить полый, произведя только одно взвешивание, равно 3 (это нетрудно проверить), два взвешивания — 3^2 , три — 3^3 , m взвешиваний — $3^m = n$. Логарифмируя последнее равенство по основанию 3, получаем $m = \log_3 n$, где n — число шаров.

Примечание 1. Если m не целое число, его необходимо округлить до большего целого числа.

Примечание 2. Алгоритм для определения полого шара из одинаковых по размеру шаров таков: n шаров делим на три группы. Всегда (если эти группы не равны) можно сделать две группы с равным числом шаров, тогда в третьей группе число шаров будет либо больше, либо меньше на один шар, чем в первых двух. Положив равные группы на чашки весов, в случае равновесия ищем полый шар среди оставшихся. Если же равновесия нет — ищем шар в более лёгкой группе. Опыт при этом повторяется.

10. Сила, приложенная в точке A (рис. 13, б) и необходимая для того, чтобы опрокинуть брусок вращением его вокруг ребра, перпендикулярного плоскости рисунка и проходящего через точку O , определяется из условия равенства моментов этой силы и силы тяжести относительно точки O . В начальный момент времени (рис. 13, а) плечо силы F равно b , а плечо силы тяжести — $\frac{a}{2}$.

Учитывая это, равенство указанных моментов запишется в виде:

$$mg \frac{a}{2} = Fb,$$

откуда

$$F = \frac{mga}{2b}.$$

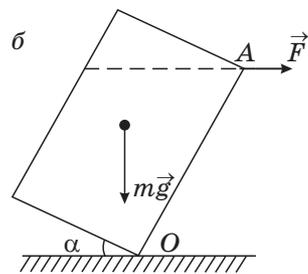
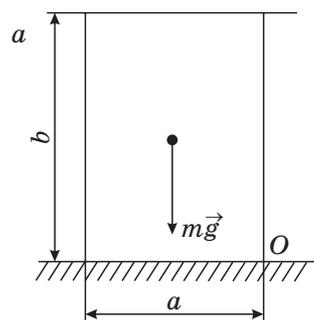


Рисунок 13

Покажите, что в случае поворота бруска на угол α (рис. 13, б) сила F , вращающая брусок, будет меньше по сравнению с начальным значением (рис. 13, а).

11. Силу давления можно определить с помощью динамометра, а сечение острия головки рассчитать, используя измеренный штангенциркулем диаметр. Тогда сила давления на медную пластинку, созданная остриём иглы,

$$P = \frac{4F}{\pi d^2},$$

где F — показания динамометра, d — диаметр острия иглы.

Подумайте, можно ли измерить диаметр острия иглы, используя микроскоп.

12. Привяжем к нити гирьку и прикрепим её второй конец к штативу, отведём гирьку от положения равновесия на небольшой угол и отпустим. Меняя угол и массу гирьки, найдём то значение угла, при котором нить обрывается в момент прохождения положения равновесия. Пусть этот угол равен φ_0 , а масса гири равна m . Рассмотрим силы, действующие на гирю в положении равновесия. Ими будут сила тяжести \vec{mg} и сила реакции нити \vec{F}_p (рис. 14).

Запишем второй закон Ньютона для нити $\vec{F}_p + \vec{mg} = m\vec{a}_c$, где \vec{a}_c — центростремительное ускорение.

Проекция на ось ординат даёт $F_p - mg = ma_c$, откуда

$$F_p = mg + ma_c.$$

Прочность нити как раз и определяется силой F_p , т. е. она является искомой величиной в выражении (1). Так как $a_c = \frac{v^2}{l}$, где l — длина нити, то

$$F_p = m \left(g + \frac{v^2}{l} \right). \quad (2)$$

Для нахождения $\frac{v^2}{l}$ используем закон сохранения механической энергии (для точек A и B). В этих точках энергии имеют значения: $E_{pA} = mgh$; $E_{кA} = 0$; $E_{pB} = 0$; $E_{кB} = \frac{mv^2}{2}$. Используя закон сохранения энергии, получаем: $mgh = \frac{mv^2}{2}$. Из геометрических соображений $h = l - l \cos \varphi_0$, тогда $gl(l - \cos \varphi_0) = \frac{v^2}{2}$, $\frac{v^2}{l} = 2g(l - \cos \varphi_0)$.

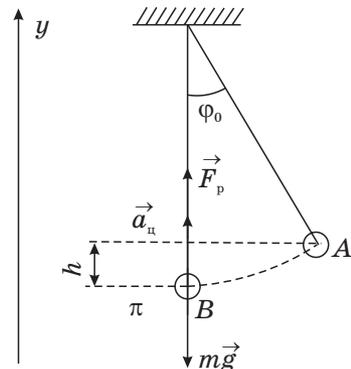


Рисунок 14

Подставив полученное значение в выражение (2), получим:

$$F_p = mg(3 - 2\cos\varphi_0).$$

13. Закрепим шнур, имеющий длину l_0 , между двумя штативами и подвесим к его середине груз массой m . Условие равновесия для указанной системы (рис. 15) в проекции на вертикальное направление (ось y) запишется в виде:

$$mg - F_1\cos\alpha - F_2\cos\alpha = 0. \quad (1)$$

Исходя из условия симметрии имеем: $F_1 = F_2 = F$.

Тогда формула (1) запишется в виде: $mg - 2F\cos\alpha = 0$.

Учитывая, что $F = kx$, где $x = \frac{l}{2} - \frac{l_0}{2}$, l — длина шнура после растяжения его грузиком, а $\cos\alpha = \frac{2h}{l}$, получим: $mg - 2k \cdot \frac{l-l_0}{2} \cdot \frac{2h}{l} = 0$.

Откуда

$$k = \frac{mgl}{2(l-l_0)h}.$$

Величины l , l_0 , h измеряются линейкой. Опыты необходимо проделать с различными грузиками.

14. Чтобы песочные часы оправдывали своё назначение, песок в них должен течь равномерно. Из рисунка 16 видно, что песчинки будут двигаться равномерно, если сумма сил, действующих на них, станет равна нулю. Тело, находящееся на наклонной плоскости, будет двигаться равномерно при условии, что $\operatorname{tg}\alpha = \mu$, где μ — коэффициент трения.

Таким образом, наша задача сводится к определению $\operatorname{tg}\alpha$.

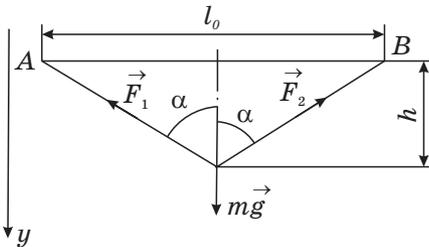


Рисунок 15

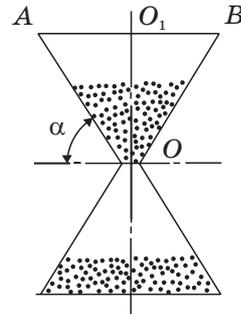


Рисунок 16

Нетрудно видеть (рис. 16), что

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{|OO_1|}{|AO_1|},$$

$$|AO_1| = \frac{1}{2}|AB|; |OO_1| = \frac{1}{2}\sqrt{4|AO|^2 - |AB|^2},$$

тогда

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sqrt{4|AO|^2 - |AB|^2}}{|AB|}.$$

Теперь осталось измерить величину $|AO|$ и $|AB|$, что легко сделать с помощью линейки.

15. Для того чтобы брусок сдвинуть с места, необходимо у его основания $ABCD$ (места приложения сил трения) подействовать силой F . Запишем условие равномерного движения бруска по поверхности стола:

$$F = F_{\text{тр}}. \quad (1)$$

Если силу F переносить параллельно вверх от основания $ABCD$ (рис. 17), то равномерное и прямолинейное движение бруска будет продолжаться, а брусок не будет поворачиваться относительно ребра основания DC до тех пор, пока вращающий момент силы F не превысит момент силы тяжести mg относительно DC .

Тогда из условия

$$Fh = mg \frac{a}{2} \quad (2)$$

находим, что

$$F = \frac{mga}{2h}, \quad (3)$$

где h – плечо силы F , при котором брусок начинает переворачиваться.

Коэффициент трения $\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{mg}$. Из уравнений (1) и (3) находим, что $\mu = \frac{a}{2h}$.

16. Как известно, КПД наклонной плоскости (рис. 18)

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{с}}} \cdot 100\%,$$

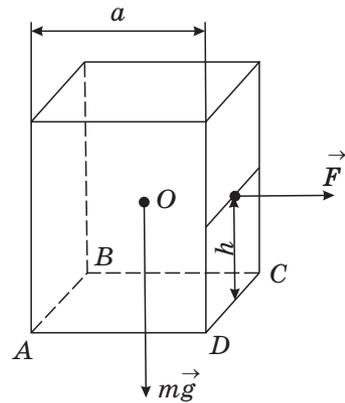


Рисунок 17

где $A_{\text{ц}} = F'_{\text{тяги}} l$ — полезная работа, т. е. работа по равномерному подъёму тела без трения (l — длина наклонной плоскости), а $A_{\text{с}} = F_{\text{тяги}} l$ — работа при наличии трения (совершенная работа).

Запишем второй закон Ньютона для равномерного движения

$$\vec{F}_{\text{тяги}} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N} + \vec{mg} = 0.$$

В проекции на оси координат после несложных преобразований получим:

$$F_{\text{тяги}} = mg(\sin\alpha + \mu\cos\alpha).$$

Если трение отсутствует, то $\mu = 0$, и тогда $F'_{\text{тяги}} = mg\sin\alpha$. Таким образом, $\eta = \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha + \mu\cos\alpha}$, или $\eta = \frac{1}{1 + \mu\text{tg}\alpha}$. Откуда следует, что для того чтобы найти η как функцию угла α , надо знать коэффициент трения μ .

Для определения μ подберём угол наклона α_0 трибометра (наклонной плоскости) таким образом, чтобы брусок двигался вниз с небольшим (подумайте почему) ускорением. Тогда

$$l = \frac{at^2}{2}. \quad (1)$$

Длину наклонной плоскости l измеряем линейкой. Время движения определим по секундомеру. Из выражения (1) имеем:

$$a = \frac{2l}{t^2}. \quad (2)$$

Из второго закона Ньютона имеем:

$$ma = mg\sin\alpha_0 - \mu mg\cos\alpha_0. \quad (3)$$

Совместное решение уравнений (2) и (3) даёт:

$$\mu = \frac{g\sin\alpha_0 - \frac{2l}{t^2}}{g\cos\alpha_0}. \quad (4)$$

Преобразовав выражение (4), имеем:

$$\mu = \text{tg}\alpha_0 - \frac{2l}{gt^2\cos\alpha_0}.$$

Измерив КПД наклонной плоскости при различных углах наклона, следует отметить полученные значения КПД на графике $\eta = f(\alpha)$.

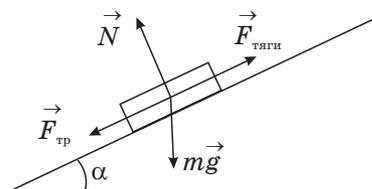


Рисунок 18

17. Установим баллистический пистолет под углом α_0 к плоскости стола и произведём выстрел из него (рис. 19). По известному расстоянию и высоте стола находим начальную скорость снаряда, вылетающего из пистолета.

Запишем уравнения изменения координат снаряда со временем (уравнение движения):

$$y = h + v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}, \quad (1)$$

$$x = v_{0x}t, \quad (2)$$

где $v_{0y} = v_0 \sin \alpha_0$ и $v_{0x} = v_0 \cos \alpha_0$.

Подставив значения v_{0x} и v_{0y} в выражения (1) и (2), имеем:

$$y = h + v_0 \sin \alpha_0 t - \frac{gt^2}{2}, \quad (3)$$

$$x = v_0 \cos \alpha_0 t. \quad (4)$$

Выразив из уравнения (4) время t и подставив его значение в выражение (3) с учётом того, что в момент падения $x = s_0$, $y = 0$, получим:

$$h + s_0 \operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{g}{2} \frac{s_0^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha_0} = 0. \quad (5)$$

После несложных преобразований находим, что

$$v_0 = \frac{s_0}{\cos \alpha_0} \sqrt{\frac{g}{2(h + s_0 \operatorname{tg} \alpha_0)}}.$$

Зная значение v_0 и измерив расстояние s от стола до коробки (по горизонтали), мы можем рассчитать значение угла α , под которым надо установить пистолет, чтобы попасть в коробку. Для этого в выражение (5) вместо s_0 и α_0 подставим s и α , после чего оно примет вид:

$$h + s \operatorname{tg} \alpha - \frac{gs^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} = 0. \quad (6)$$

Рассматривая выражение (6) как тригонометрическое уравнение для определения α и решив его, находим, что

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(\arccos \frac{gs^2 - v_0^2 h}{v_0^2 \sqrt{h^2 + s^2}} + \arccos \frac{h}{\sqrt{h^2 + s^2}} \right).$$

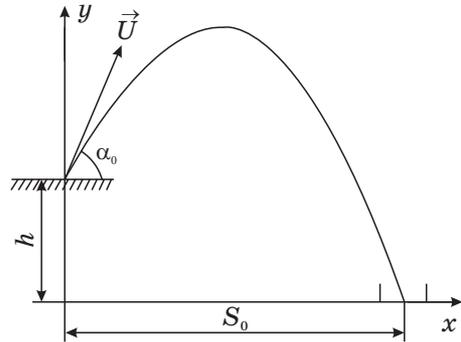


Рисунок 19

Установив пистолет под рассчитанным углом α , произведём выстрел в коробку.

Возможно также проведение серии выстрелов вертикально вверх или горизонтально с целью нахождения средней скорости вылета снаряда и пределов отклонения скорости от этого среднего значения. По пределам отклонения скоростей можно оценить область попадания. Если размеры коробки больше размеров области попадания, производят 2 выстрела. Второй выстрел предлагается для избежания случайного резкого отклонения скорости снаряда от средней величины.

18. Так как монета вращается, то на неё действует центростремительная сила

$$F_{ц} = ma_{ц} = 4\pi^2 Rm\nu^2, \quad (1)$$

где m — масса монеты, R — расстояние от центра диска до центра монеты, ν — частота вращения диска.

В данном случае центростремительной силой будет являться сила трения

$$F_{тр} = \mu mg, \quad (2)$$

где g — ускорение свободного падения, μ — коэффициент трения.

Приравняем выражения (1) и (2):

$$\mu mg = 4\pi^2 Rm\nu^2,$$

откуда

$$R = \frac{\mu g}{4\pi^2 \nu^2}.$$

Коэффициент трения μ находим из предварительных опытов по определению предельного угла α_0 наклона диска, при котором монета начинает скользить по диску. В этом случае, как известно,

$$\mu = \operatorname{tg}\alpha_0.$$

Окончательно получаем, что монета может удержаться на расстоянии

$$R = \frac{g}{4\pi^2 \nu^2} \operatorname{tg}\alpha_0.$$

19. Потенциальная энергия резинового шнура E_p равна

$$E_p = \frac{k(\Delta l)^2}{2}. \quad (1)$$

Чтобы найти жёсткость шнура, необходимо к нему подвесить груз известной массы m . Условие равновесия запишется следующим образом:

$$k\Delta l_0 = mg,$$

где Δl_0 — значение удлинения резинового шнура при подвешивании к нему массы m .

Откуда

$$k = \frac{mg}{\Delta l_0}.$$

Подставив значение k в формулу (1), будем иметь:

$$E_p = \frac{mg(\Delta l)^2}{2\Delta l_0},$$

где Δl_0 , Δl — величины, измеряемые линейкой.

Таким образом, для определения потенциальной энергии растянутой резинки указанным способом необходимо иметь груз известной массы и линейку. Возможны и другие способы решения.

20. Положив камешек на край стола, щёлкнем по нему пальцем и заметим точку падения камешка на пол. Измерим максимальное расстояние l от стола до места падения камешка, полученное в результате нескольких опытов. Тогда максимальная скорость пальца v (скорость, сообщённая в данном опыте камешку) вычислится по формуле

$$v = \frac{l}{t}, \tag{1}$$

где t (время полёта камешка) можно определить по формуле

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}. \tag{2}$$

Здесь h — высота стола, а g — ускорение свободного падения.

Подставляя t из формулы (2) в формулу (1), получаем:

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

Предложите другие возможные способы определения максимальной скорости пальца руки.

Давление жидкостей и газов

21. Определим вес камня P при помощи динамометра. Подвешенный к динамометру камень погрузим в воду и также отметим показание динамометра P_1 , определяющего вес камня в воде. Согласно закону Архимеда, $P_1 = P - \rho g V$, где ρ — плотность воды, V — объём камня, g — ускорение свободного падения.

Откуда

$$V = \frac{P - P_1}{\rho g},$$

тогда плотность камня

$$\rho_k = \frac{m}{V} = \frac{P}{gV} = \rho \frac{P}{P - P_1}.$$

22. Поместив брусок в мензурку, наполненную водой, найдём объём воды V_1 , вытесненной бруском. Запишем теперь условие равновесия бруска:

$$mg = F_A, \quad (1)$$

где m — масса бруска, а F_A — архимедова (выталкивающая) сила, действующая на брусок.

Так как $m = \rho V$, где ρ — плотность, V — объём бруска, а $F_A = \rho_B g V$, то из условия равновесия (1) легко получить: $\rho = \rho_B \frac{V_1}{V}$.

Придумайте другие способы измерения плотности тела, не имея ни весов, ни динамометра.

23. Налейм с помощью воронки в U-образную трубку некоторое количество воды. Уровни в обоих коленах манометра будут одинаковыми. Затем нальём в одно из колен манометра некоторое количество масла. После этого уровни воды в обоих коленах манометра будут неодинаковыми (рис. 20). Из условия равновесия жидкостей в манометре следует, что

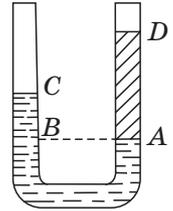


Рисунок 20

$$p_A = p_B \quad (1)$$

(точки A и B лежат на одной горизонтальной прямой).

Давления в точках A и B равны соответственно

$$p_A = p_{\text{атм}} + \rho_B g h_B, \quad (2)$$

$$p_B = p_{\text{атм}} + \rho_M g h_M, \quad (3)$$

где $h_B = |CB|$, $h_M = |AD|$ измеряются линейкой, ρ_M — плотность масла.

Подставив выражения (2) и (3) в равенство (1), получим:

$$p_{\text{атм}} + \rho_B g h_B = p_{\text{атм}} + \rho_M g h_M. \quad (4)$$

Преобразовав равенство (4) относительно искомой величины, окончательно получим:

$$\rho_M = \rho_B \frac{h_B}{h_M}.$$

24. Найдём массу стакана с водой взвешиванием. Пусть она равна $m_{\text{ст}}$. Точно так же найдём массу куска пластилина без металла m_1 и массу куска пластилина с металлом m_2 . Так как массы в обоих кусках пластилина одинаковы, то масса металла $m = m_2 - m_1$. Теперь подвесим кусок пластилина без металла на нить и прикрепим к штативу свободный конец нити. Опустим этот кусок пластилина в стакан с водой так, чтобы он полностью в неё погрузился, и найдём показания весов в этом случае. Пусть масса гирек равна m'_1 , тогда вес стакана с опущенным в него пластилином, подвешенным на нити к штативу, будет равен $P_1 = m'_1 g$. Нетрудно видеть, что архимедова сила, действующая на пластилин, будет равна:

$$F_A = m'_1 g - m_{\text{ст}} g. \quad (1)$$

Так как, согласно закону Архимеда, $F_A = \rho_{\text{в}} g V_1$, то, используя выражение (1), нетрудно найти объём пластилина:

$$V_1 = \frac{m'_1 - m_{\text{ст}}}{\rho_{\text{в}}}. \quad (2)$$

Точно так же найдём объём пластилина с металлом внутри:

$$V_2 = \frac{m'_2 - m_{\text{ст}}}{\rho_{\text{в}}}, \quad (3)$$

где m_2 — масса гирь, уравновешивающих стакан с водой и погружённым в него пластилином с металлом внутри. Объём металла

$$V = V_2 - V_1.$$

С учётом выражений (2) и (3) получим:

$$V = \frac{m'_2 - m'_1}{\rho_{\text{в}}}. \quad (4)$$

Так как $m = m_2 - m_1$, а плотность металла $\rho = \frac{m}{V}$, то, воспользовавшись выражением (4), получим:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{m'_2 - m'_1} \rho_{\text{в}}.$$

25. Положим палочку на край сосуда, погрузив часть её в воду, и добьёмся её равновесия (рис. 21). Запишем условие равновесия палочки массой m относительно точки O :

$$m g l_1 = F_A l_2, \quad (1)$$

где

$$m = \rho_c l S. \quad (2)$$

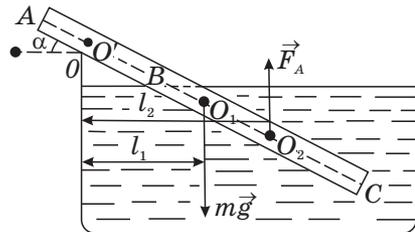


Рисунок 21

Здесь l — длина стеклянной палочки, S — площадь её сечения, ρ_c — плотность стекла.

Архимедова сила, действующая на палочку, равна

$$F_A = \rho_B (l - l') Sg, \quad (3)$$

где ρ_B — плотность воды, $l' = |AB|$ — длина непогружённой части палочки.

Нетрудно сообразить, что $l_1 = \left(\frac{l}{2} - b\right) \cos\alpha$, $b = |AO'|$, $l_2 = \left(\frac{l+l'}{2} - b\right) \cos\alpha$.

При этом надо учесть, что $|AO_1| = |O_1C|$ и $|BO_2| = |O_2C|$. Подставив выражения (2) и (3) в равенство (1), получим:

$$\rho_c l Sg \left(\frac{1}{2} - b\right) \cos\alpha = \rho_B (l - l') Sg \left(\frac{l+l'}{2} - b\right) \cos\alpha,$$

откуда

$$\rho_c = \frac{(l - l')(l + l' - 2b)}{l(l - 2b)} \rho_B.$$

Величины l , l' , b измеряются линейкой.

26. С помощью линейки измерим высоту тел l , их диаметр D . Определим радиус основания $R = \frac{D}{2}$.

Найдём плотность цилиндров. Для этого поместим сплошной цилиндр в сосуд с водой так, чтобы он находился в вертикальном положении, и измерим высоту h части цилиндра, выступающую над водой. Запишем условие равновесия цилиндра:

$$F_T = F_A, \quad (1)$$

где сила тяжести $F_T = \rho_T g V$ (ρ_T — плотность тела, V — объём цилиндра), а архимедова сила $F_A = \rho_B g V_1$ (ρ_B — плотность воды).

Объём погружённой части тела $V_1 = \frac{l-h}{l} V$. Подставив эти значения в равенство (1), получим, что

$$\rho_T = \frac{l-h}{l} \rho_B.$$

Для определения радиуса полости поместим в сосуд с водой полый цилиндр и сделаем с ним то же самое, что и со сплошным (его надо легонько придерживать рукой, чтобы цилиндр находился в вертикальном положении). Тогда

$$F'_T = F'_A. \quad (2)$$

Сила тяжести полого цилиндра $F'_T = \rho_T(V - V_{\Pi})g$, где V_{Π} — объём полости.

Архимедова сила, действующая на него, $F'_A = \rho_B g V'_1$. Объём $V'_1 = \frac{l-h'}{l}V$.

После преобразований выражение (2) примет вид: $\rho_T = (V - V_{\Pi})g = \rho_B g V'_1$,

откуда

$$V_{\Pi} = V \frac{h' - h}{l - h}. \quad (3)$$

С другой стороны, $V_{\Pi} = \pi r^2 l$, где r — радиус полости, а $V = \pi R^2 l$.

Подставив эти значения в выражение (3), получим:

$$r = R \sqrt{\frac{h' - h}{l - h}}.$$

Чтобы найти расстояние a между осями полости и цилиндрического тела, понадобится деревянный брусок, но предварительно найдём положение центра тяжести полого цилиндра, считая расстояние a известным.

Предположим, что мы заполнили полость цилиндра материалом, из которого изготовлен цилиндр. Тогда центр тяжести переместится в геометрический центр цилиндра (рис. 22). Это означает, что $\rho_T \pi r^2 l a = \rho_T (\pi R^2 - \pi r^2) l x$, т. е.

$$ar^2 = (R^2 - r^2)x. \quad (4)$$

Здесь x — расстояние от геометрического центра полого цилиндра до центра его тяжести.

Для нахождения x поместим полый цилиндр на брусок и начнём медленно приподнимать один конец бруска. При этом цилиндр будет поворачиваться вокруг горизонтальной оси, проходящей через его геометрический центр так, чтобы центр тяжести цилиндра всё время находился на вертикали, проходящей через точку касания цилиндра с поверхностью бруска. Когда центр тяжести займёт крайнее правое положение (рис. 23), цилиндр начнёт скатываться (коэффициент трения

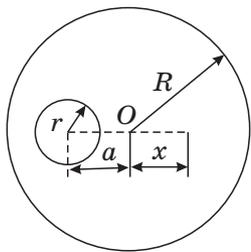


Рисунок 22

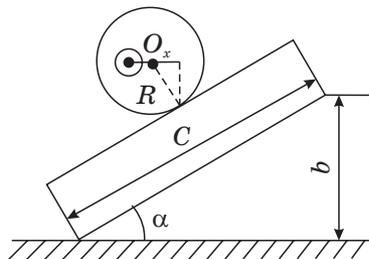


Рисунок 23

скольжения между ним и поверхностью должен быть достаточно большим). В этом случае $x = R \sin \alpha$, $\sin \alpha = \frac{b}{c}$, где b и c измеряются линейкой.

Тогда $x = R \frac{b}{c}$. Подставив значение x в выражение (4) и преобразовав его относительно a , получим:

$$a = \frac{R^2 - r^2}{r^2} R \frac{b}{c} = \frac{l - h'}{h' - h} R \frac{b}{c}.$$

27. Уравновесим линейку без грузов на штативе. При этом её геометрический центр будет находиться в точке опоры. Теперь подвесим к линейке грузы весом P_1 , P_2 и, перемещая один из них, добьёмся равновесия линейки (рис. 24, а). Условие равновесия линейки с грузом (правило моментов) имеет вид: $P_1 l_1 = P_2 l_2$.

Откуда

$$P_2 = \frac{P_1 l_1}{l_2}. \quad (1)$$

Опустим один из грузов в жидкость и снова уравновесим линейку (рис. 24, б), тогда

$$P_1 l'_1 = P'_2 l'_2,$$

где вес тела, погружённого в жидкость, равен:

$$P'_2 = P_2 - \rho_{\text{ж}} g V_2.$$

Учитывая, что $V_2 = \frac{P_2}{\rho_{\text{т}} g}$, и используя выражение (1), окончательно получим:

$$\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{т}}} = \frac{l_1 l'_2 - l'_1 l_2}{l_1 l'_2}.$$

28. Несбалансированными весами чаще всего называют весы, имеющие неодинаковый вес чашек.

Произведём взвешивание сосуда два раза: один раз поместим его на левую чашку весов (рис. 25), второй раз — на правую. Так как весы

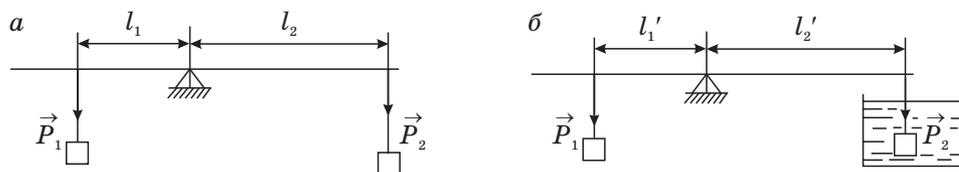


Рисунок 24

уравновешены, то мы можем записать условие равновесия для первого взвешивания:

$$(M + m_{\text{в}})g + m'_1g - \rho_{\text{в}}V_{\text{с}}g = m_1g + m'_2g, \quad (1)$$

где M — масса сосуда, m'_1, m'_2 — массы первой и второй чашек соответственно.

При этом было учтено, что архимедова сила $F_{\text{А}} = \rho_{\text{в}}V_{\text{с}}g$, а плечи весов одинаковы, и поэтому равенство моментов свелось к равенству сил. Нетрудно видеть, что $\rho_{\text{в}}V_{\text{с}} = m_{\text{в}}$, где $V_{\text{с}}$ — объём сосуда, а $m_{\text{в}}$ — масса воздуха в нём.

Тогда из выражения (1) получим

$$M + m'_1 = m_1 + m'_2. \quad (2)$$

Аналогично при втором взвешивании получим условие равновесия:

$$M = m'_2 + m + m'_1. \quad (3)$$

Складывая выражения (2) и (3), имеем:

$$M = \frac{m_1 + m_2}{2}.$$

Иногда под несбалансированными весами понимают весы, плечи которых неодинаковы. Произведя опять два взвешивания, получим, что масса сосуда

$$M = \frac{m_1l_1 + m_2l_2}{l_1 + l_2},$$

где l_1, l_2 — длины плеч (измеряются линейкой).

Подумайте, почему мы учли выталкивающую силу, действующую только на сосуд.

29. Для того чтобы картофелина всплыла, необходимо увеличить плотность жидкости, в которой она находится. Это можно осуществить, насыпав в воду поваренной соли и растворив её путём перемешивания.

Чтобы определить плотность картофелины, взвесим количество соли, необходимое для создания концентрации, при которой картофелина всплывает. Из условия плавания тел вытекает, что плотность картофелины равна

$$\rho_{\text{к}} = \rho_{\text{в}} + \frac{m}{V},$$

где $\rho_{\text{в}}$ — плотность воды, m — масса поваренной соли в растворе, V — объём воды. Объём воды можно определить любым доступным методом.

Подумайте о других способах решения задачи с использованием иного оборудования.

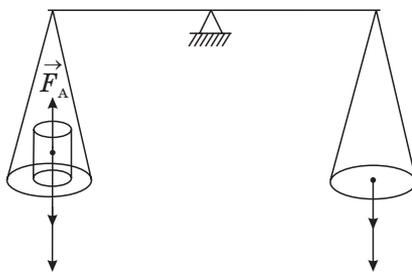


Рисунок 25

Молекулярная физика и тепловые явления

30. Количество теплоты, выделяющееся при соскальзывании тела с наклонной плоскости, $Q = -\Delta E$, где ΔE — изменение механической энергии тела $\Delta E = E_2 - E_1$; $E_2 = E_{к_2}$ ($E_{п_2} = 0$), а $E_1 = E_{п_1}$ ($E_{к_1} = 0$). Таким образом,

$$Q = mgh - \frac{mv_2^2}{2}, \quad (1)$$

где h — высота наклонной плоскости (измеряется линейкой), скорость тела у основания наклонной плоскости $v_2 = at$. Длина плоскости $l = \frac{at^2}{2}$, откуда $l = \frac{v_2 t}{2}$, т. е.

$$v_2 = \frac{2l}{t}. \quad (2)$$

Длину l наклонной плоскости измеряем линейкой, а время движения тела по ней — секундомером. Подставляя значения скорости из формулы (2) в формулу (1), окончательно получаем:

$$Q = m \left(gh - \frac{2l^2}{t^2} \right).$$

31. С помощью весов определим массу металла m_m и массу воды в калориметре m_b . Затем измерим термометром температуру воды в калориметре t_1 . Обвязав брусок нитью и прикрепив другой её конец к штативу, опустим брусок в сосуд с водой. Поставим сосуд на нагреватель и нагреем воду (а вместе с ней и брусок) до температуры t_2 (80–90 °С). Значение температуры t_2 снова определяем термометром. После этого быстро вынимаем брусок из сосуда с водой и помещаем в калориметр. Пусть установившаяся температура в нём равна t_0 . Тогда уравнение теплового баланса имеет вид: $c_m m_m (t_2 - t_0) = c_b m_b (t_0 - t_1) + c_k m_k (t_0 - t_1)$, где c_m , c_b , c_k — удельные теплоёмкости металла, воды и калориметра соответственно, m_k — масса калориметра.

Решая уравнение, получаем:

$$c_m = \frac{(c_b m_b + c_k m_k)(t_0 - t_1)}{m_m (t_2 - t_0)}.$$

32. Для достижения необходимого результата надо холодную воду разделить на несколько частей и нагревать их поочередно.

Рассмотрим простейший вариант: разделим холодную воду на две части. Нальём в сосуд часть холодной воды из первого термоса, затем опустим сосуд во второй термос (с горячей водой). Спустя некоторое время

в результате теплообмена температура воды в термосе и тонкостенном сосуде сравнивается, причём установившаяся температура Θ_1 будет удовлетворять двойному неравенству:

$$t_1 < \Theta_1 < t_2,$$

где t_1 — начальная температура холодной воды (первый термос), t_2 — начальная температура горячей воды (второй термос),

Выльем нагретую до температуры Θ_1 воду в третий термос, а в сосуд нальём оставшуюся холодную воду (её температура равна t_1) из первого термоса и снова погрузим сосуд во второй термос (температура воды в нём Θ_1). Установившаяся спустя небольшое время температура воды Θ_2 в сосуде и во втором термосе будет удовлетворять неравенству

$$t_1 < \Theta_2 < \Theta_1. \quad (2)$$

Снова выльем воду с температурой Θ_2 из сосуда в третий термос (в нём находится вода с температурой Θ_1). В результате теплообмена в этом термосе установится температура Θ_3 , удовлетворяющая неравенству

$$\Theta_2 < \Theta_3 < \Theta_1. \quad (3)$$

Вода, которая первоначально была горячей, находится всё время во втором термосе, и её окончательная температура будет равна Θ_2 . Неравенство (3) указывает, что поставленная перед нами цель достигнута.

33. Электроплитка в любую единицу времени выделяет одинаковое количество теплоты q . Налей в калориметр воду массой m и поставим его на электроплитку. Измерим время τ_1 , необходимое для того, чтобы вода нагрелась от температуры t_1 до t_2 . Затем определим время τ_2 , необходимое для испарения всей воды; начало этого интервала времени должно совпадать с моментом закипания воды. Запишем закон сохранения энергии для обоих процессов:

$$\eta q \tau_1 = c_{\text{в}} m (t_2 - t_1) + c_{\text{к}} m_{\text{к}} (t_2 - t_1), \quad (1)$$

$$\eta q \tau_2 = mL, \quad (2)$$

где η — КПД электроплитки, $c_{\text{в}}$ — удельная теплоёмкость воды, $c_{\text{к}}$ — удельная теплоёмкость калориметра, $m_{\text{к}}$ — масса калориметра, L — удельная теплота парообразования воды.

Из уравнений (1) и (2) следует:

$$L = \frac{\tau_2 (c_{\text{в}} m + c_{\text{к}} m_{\text{к}}) (t_2 - t_1)}{\tau_1 m}. \quad (3)$$

Величины, входящие в равенство (3), измеримы. Если нужен не полный расчёт, а лишь оценка результата, то теплоёмкостью $c_{\text{к}}m_{\text{к}}$ можно пренебречь. В этом случае расчётная формула имеет вид:

$$L = \frac{\tau_2}{\tau_1} c_{\text{в}} (t_2 - t_1),$$

а для выполнения эксперимента весы и разновес не потребуются.

34. Данную задачу решим методом теплового баланса. Для этого измерим исходную температуру воды и керосина. Пусть она равна t_0 . Нагреем воду в калориметре до температуры t_1 и вольём в калориметр с водой керосин. Температура смеси станет равной Θ . При остывании вода отдаёт количество теплоты $Q_1 = c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t_1 - \Theta)$, а калориметр — $Q_2 = c_{\text{к}}m_{\text{к}}(t_1 - \Theta)$. Керосин при этом получает количество теплоты $Q_3 = cm(\Theta - t_0)$, где c — искомая удельная теплоёмкость керосина, а m — его масса.

Составим уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3.$$

В развёрнутом виде:

$$c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t_1 - \Theta) + c_{\text{к}}m_{\text{к}}(t_1 - \Theta) = cm(\Theta - t_0),$$

откуда

$$c = \frac{c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t_1 - \Theta) + c_{\text{к}}m_{\text{к}}(t_1 - \Theta)}{m(\Theta - t_0)}. \quad (1)$$

Так как по условию задачи нет разновеса, то некоторая трудность связана с определением масс $m_{\text{в}}$, $m_{\text{к}}$ и m . Наиболее простым выходом будет не определение абсолютных значений масс, а их уравнивание. Это можно легко сделать с помощью весов, стаканов и песка, используемого как разновес. Тогда при условии, что $m_{\text{в}} = m_{\text{к}} = m$, выражение (1) примет вид:

$$c = (c_{\text{в}} - c_{\text{к}}) \frac{t_1 - \Theta}{\Theta - t_0}.$$

35. Решение задачи основано на явлении нагревания твёрдых тел при пластической деформации. В картонную цилиндрическую трубку насыпаем дробь, начальную температуру которой t_1 предварительно измеряем термометром. Затем вертикально расположенный картонный цилиндр резко поворачиваем на 180° . Поднятая на высоту h дробь падает, и её потенциальная энергия превращается в кинетическую.

При достижении дна цилиндра кинетическая энергия дроби расходуется на пластическую деформацию, сопровождающуюся увеличением внутренней энергии свинца. Потерями тепла можно пренебречь,

так как теплопроводность картона мала, а длительность опыта невелика.

При высоте падения порядка одного метра повышение температуры дроби оказывается настолько малым, что его невозможно измерить в школьных условиях. Для того чтобы разность температур составляла несколько градусов и её можно было измерить термометром с ценой деления 1°C , переворот цилиндра должен быть повторен примерно 100 раз. Для n повторений увеличение внутренней энергии дроби составит

$$\Delta E = nmgh. \quad (1)$$

Здесь m — масса дроби, g — ускорение свободного падения.

Измерив температуру дроби в конце опыта и учитывая, что изменение внутренней энергии в данном случае равно количеству теплоты, затраченному на нагревание дроби путём теплопередачи, получим:

$$\Delta E = Q = cm\Delta t = cm(t_2 - t_1), \quad (2)$$

где c — удельная теплоёмкость свинца.

Окончательно из уравнений (1) и (2) получим:

$$cm\Delta t = nmgh, \quad c = \frac{nmgh}{m\Delta t}.$$

36. Налейте в калориметр воду. Массу воды m_1 определим, зная её объём, который измерим мензуркой: $m_1 = \rho V_1$. При нагревании воды и калориметра количество теплоты, полученное водой и калориметром, равно работе, совершаемой током, тогда

$$m_1 c_1 \Delta t_1 + C \Delta t_1 = P \tau_1, \quad (1)$$

где C — теплоёмкость калориметра, c_1 — удельная теплоёмкость воды, τ_1 — время нагревания, P — мощность нагревателя, Δt_1 — изменение температуры воды.

Налив в калориметр воду, масса которой равна m_2 , и проделав опыт ещё раз, получим:

$$m_2 c_1 \Delta t_2 + C \Delta t_2 = P \tau_2. \quad (2)$$

Вычитая из уравнения (1) уравнение (2), получаем:

$$m_1 c_1 \Delta t_1 - m_2 c_1 \Delta t_2 + C(\Delta t_1 - \Delta t_2) = P(\tau_1 - \tau_2).$$

Если $\Delta t_1 = \Delta t_2$ (что легко осуществить на опыте), то, обозначив их общее значение через Δt , получим:

$$c_1 \Delta t (m_1 - m_2) = P(\tau_1 - \tau_2),$$

откуда

$$P = c_1 \Delta t \frac{m_1 - m_2}{\tau_1 - \tau_2}.$$

37. Масса газа m связана с давлением p , объёмом V и абсолютной температурой T уравнением Клапейрона — Менделеева:

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

где R — универсальная газовая постоянная, M — молярная масса газа (для воздуха $M = 0,029$ кг/моль).

Откачаем часть воздуха из баллона. В баллоне останется количество воздуха массой m_0 , давление которого равно p_0 . Состояние оставшегося газа также описывается уравнением Клапейрона — Менделеева:

$$p_0V = \frac{m_0}{M}RT.$$

Откуда получаем, что

$$m_0 = \frac{Mp_0V}{RT}. \quad (1)$$

Давление p_0 определяется с помощью барометра-анероида, а температура T считается комнатной.

Если m_1 — масса баллона с воздухом до откачивания, а m_2 — масса баллона с воздухом после откачивания, то

$$\rho = \frac{m_1 - m_2 + m_0}{V}.$$

С учётом формулы (1) получим:

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V} + \frac{Mp_0}{RT}.$$

Метод для определения объёма V предполагается избрать самим.

38. Для решения задачи необходимо получить данные для построения графика зависимости температуры чистой жидкости и жидкости вместе с кристаллическим телом от времени (рис. 26). Это легко сделать, имея нагреватель, часы и термометр.

Полученные данные показывают, что нижний график имеет почти горизонтальный участок AB , что свидетельствует о процессе плавления кристаллического тела. Температура плавления определяется прямо из графика. Так как масса кристалла мала, можно считать, что в обоих случаях потери тепла (т. е. теплота, идущая на нагревание пробирки, окружающего воздуха и т. д.) одинаковы. Постоянным, конечно, является и количество теплоты, идущее от нагревателя к

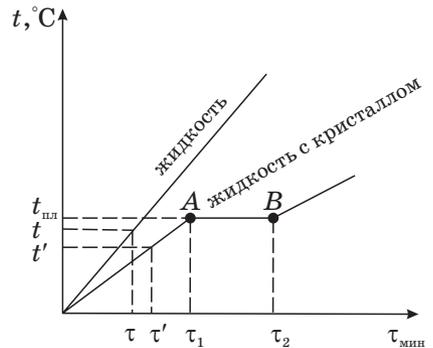


Рисунок 26

пробирке в единицу времени. С учётом этого можно приступить к вычислению удельной теплоёмкости кристалла. Составим уравнение теплового баланса для чистой жидкости и для жидкости с кристаллом.

Для чистой жидкости имеем:

$$c_0 m_{\text{ж}} \Delta t = \Delta P \tau, \quad (1)$$

где τ — произвольный промежуток времени, а $\Delta t = t' - t_0$ — изменение температуры жидкости за это время.

Мощность, идущая на нагревание жидкости, $\Delta P = P_{\text{н}} - P_{\text{п}}$, где $P_{\text{н}}$ — мощность нагревателя, $P_{\text{п}}$ — потери теплоты в единицу времени.

Для жидкости с кристаллом:

$$c_0 m_{\text{ж}} \Delta t' + c_{\text{к}} m_{\text{к}} \Delta t' = \Delta P \tau', \quad (2)$$

где $\Delta t' = t' - t_0$ — новое изменение температуры за новое время τ' .

Из графиков следует, что $k = \text{tg} \alpha = \frac{\Delta t}{\tau}$ и $k' = \text{tg} \alpha' = \frac{\Delta t'}{\tau'}$. Разделив уравнения (1) и (2) на τ и τ' , соответственно получим:

$$c_0 m_{\text{ж}} k = \Delta P \quad (3)$$

и

$$c_0 m_{\text{ж}} k' + c_{\text{к}} m_{\text{к}} k' = \Delta P. \quad (4)$$

Из уравнений (3) и (4) имеем:

$$1 + \frac{c_{\text{к}} m_{\text{к}}}{c_0 m_{\text{ж}}} = \frac{k}{k'},$$

откуда

$$c_{\text{к}} = c_0 \frac{m_{\text{ж}} (k - k')}{m_{\text{к}} k'}.$$

Таким же образом определяем удельную теплоёмкость расплавленно-кристаллического тела $c_{\text{кр}}$ (используя третий прямолинейный участок на графике зависимости температуры жидкости с кристаллом от времени). Для нахождения удельной теплоты плавления кристалла составим ещё раз уравнение теплового баланса:

$$\lambda m_{\text{к}} = \Delta P \tau_{\text{пл}}, \quad (5)$$

где $\tau_{\text{пл}} = \tau_2 - \tau_1$.

Разделив уравнение (5) на уравнение (3), получим: $\frac{\lambda m_{\text{к}}}{c_0 m_{\text{ж}}} = k \tau_{\text{пл}}$, откуда

$$\lambda = c_0 \frac{m_{\text{ж}}}{m_{\text{к}}} k \tau_{\text{пл}}.$$

Объясните, почему участок AB на графике не совсем горизонтален, т. е. температура во время плавления кристалла слегка повышается. Как это скажется на результатах расчётов?

Объясните, как учесть теплоёмкость пробирки.

39. Соединим стеклянные сосуды резиновой трубкой и заполним водой. Установим одинаковый уровень воды в сосудах (рис. 27, а). Закроем конец одной из трубок пробкой и изменим уровень воды, подняв другую трубку (рис. 27, б). Измерим разность уровней Δh . Поскольку сжатие медленное, то $T = \text{const}$. Процесс изменения состояния газа в закрытой трубке описывается законом Бойля — Мариотта:

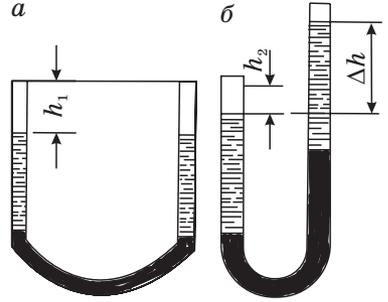


Рисунок 27

$$p_1 V_1 = p_2 V_2, \quad (1)$$

где $V_1 = Sh_1$, $V_2 = Sh_2$.

Подставив V_1 и V_2 в уравнение (1), имеем:

$$p_1 Sh_1 = p_2 Sh_2 \text{ или } p_1 h_1 = p_2 h_2, \quad (2)$$

где p_1 — начальное давление, p_2 — конечное давление.

Нетрудно видеть, что $p_1 = p_a$, где p_a — атмосферное давление, а $p_2 = p_a + \rho g \Delta h$. Подставим значения для p_1 и p_2 в выражение (2), получим:

$$p_a h_1 = (p_a + \rho g \Delta h) h_2,$$

откуда

$$p_a = \rho g \frac{h_2 \Delta h}{h_1 - h_2}.$$

Значения величин Δh , h_1 , h_2 определим опытным путём.

40. Измерим объём шара V . Для этого заполним шар водой. Затем перельём воду в измерительный цилиндр. Объём воды, вылитой из шара, равен объёму шара V . После этого насосом Камовского откачиваем из шара воздух. После откачивания кран перекрываем и конец шланга, соединяющего насос и шар, опускаем в воду, после чего кран вновь открываем. В шар засасывается некоторое количество воды. Вылив эту воду в измерительный цилиндр, определим объём воздуха, оставшегося в шаре при давлении, равном атмосферному p_a . Таким образом, если V_0 — объём воды в измерительном цилиндре, то $V - V_0$ — объём воздуха, оставшегося после откачивания в шаре при p_a . Поскольку процесс идёт при постоянной температуре, то выполняется закон Бойля — Мариотта:

$$pV = p_a (V - V_0), \quad (1)$$

где p — давление в шаре после откачивания.

Преобразовав выражение (1), окончательно имеем:

$$p = p_a \left(1 - \frac{V_0}{V} \right).$$

41. Соберём экспериментальную установку, состоящую из вакуумной тарелки с колпаком и манометра. С помощью линейки измерим внутренний диаметр и среднюю высоту колпака и определим объём V_0 воздуха под колпаком. Обозначим атмосферное давление через p_0 , давление под колпаком после первого оборота рукоятки — p_1 . Считая, что температура воздуха при откачивании не изменяется, запишем закон Бойля — Мариотта:

$$p_0 V_0 = p_1 (V_0 + \Delta V). \quad (1)$$

После второго оборота рукоятки можно записать аналогичное равенство:

$$p_1 V_0 = p_2 (V_0 + \Delta V). \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) можно найти атмосферное давление и объём ΔV воздуха, удаляемого за один оборот (цикл). Однако практически неудобно измерять давление воздуха после каждого оборота (p_2 очень незначительно отличается от p_1). Лучше измерить давление после k и n оборотов и составить систему уравнений:

$$p_0 V_0^k = p_k (V_0 + \Delta V)^k, \quad (3)$$

$$p_0 V_0^n = p_n (V_0 + \Delta V)^n. \quad (4)$$

Данные уравнения легко получаются, если, начиная с последнего уравнения $p_{k-1} V_0 = p_k (V_0 + \Delta V)$, каждое последующее подставлять в предыдущее $p_{k-2} V_0 = p_{k-1} (V_0 + \Delta V)$ и так до первого уравнения.

Из системы уравнений (3) и (4) получаем:

$$V_0^{n-k} = \frac{p_n}{p_k} (V_0 + \Delta V)^{n-k}.$$

Прологарифмировав это уравнение, найдём объём воздуха, удаляемого насосом за один цикл:

$$\Delta V = V_0 \left(\left(\frac{p_k}{p_n} \right)^{\frac{1}{n-k}} - 1 \right).$$

Значения величин p_k и p_n измеряются манометром. Зная ΔV , легко определить атмосферное давление p_0 .

42. Соберём установку для проведения эксперимента (рис. 28). В большой стеклянный сосуд через бюретку с краном введём небольшое количество жидкого эфира объёмом $V_{ж}$ (2–3 см³). Эфир испаряется, образуя ненасыщенные пары,

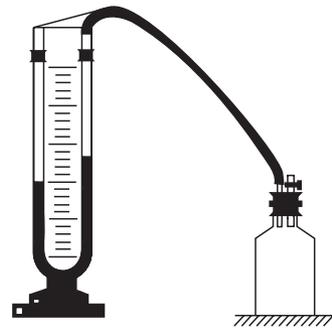


Рисунок 28

подчиняющиеся законам идеального газа. Так как объём газообразного эфира V_2 равен объёму сосуда V_1 , то плотность газообразного эфира

$$\rho_{\text{эг}} = \frac{m_{\text{эг}}}{V_2}, \quad (1)$$

где $m_{\text{эг}}$ — масса газообразного эфира.

С другой стороны, плотность газа можно найти, зная массу одной молекулы m_0 и количество молекул в единице объёма n_0 , т. е.

$$\rho_{\text{эг}} = m_0 n_0. \quad (2)$$

Сравнивая выражения (1) и (2), получаем для массы одной молекулы эфира

$$m_0 = \frac{m_{\text{эг}}}{V_2 n_0}. \quad (3)$$

Концентрацию молекул n_0 определяем, используя основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа $p = n_0 k T$, из которого следует, что

$$n_0 = \frac{p}{k T}, \quad (4)$$

где p — парциальное давление газообразного эфира, k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура.

Поскольку парциальное давление эфира уравнивается давлением p столбика жидкости высотой h в манометрической трубке ($p = \rho g h$, где ρ — плотность жидкости), то формулу (4) можно записать в виде:

$$n_0 = \frac{\rho g h}{k T}. \quad (5)$$

Так как $m_{\text{эг}} = m_{\text{эж}}$, где $m_{\text{эж}}$ — масса жидкого эфира, которую определяем по формуле

$$m_{\text{эж}} = \rho_{\text{эж}} V_{\text{ж}}, \quad (6)$$

то из формул (4), (5) и (6) определяем массу одной молекулы эфира

$$m_0 = \frac{\rho_{\text{эж}} V_{\text{ж}} k T}{V_2 \rho g h},$$

где $\rho_{\text{эж}}$ — плотность жидкого эфира.

43. Применим к воздуху, находящемуся в шаре, уравнение Клапейрона — Менделеева для двух его состояний — до откачивания и после откачивания:

$$p_1 V = \frac{m_1}{M} R T, \quad (1)$$

$$p_2 V = \frac{m_2}{M} R T, \quad (2)$$

где p_1 и p_2 , m_1 и m_2 — давление и масса воздуха до и после откачивания соответственно, V — объём шара, T — его температура по абсолютной шкале, M — искомая молярная масса воздуха.

Вычитая из уравнения (1) уравнение (2), получаем:

$$(p_1 - p_2)V = \frac{m_1 - m_2}{M} RT,$$

откуда следует, что

$$M = \frac{RT(m_1 - m_2)}{(p_1 - p_2)V}.$$

Давление и температуру измерим с помощью манометра и термометра. Разность масс воздуха равна разности масс шара до откачивания и после откачивания. Массу шара до и после откачивания определяем путём взвешивания. Ёмкость шара известна.

44. Два человека, один с секундомером, другой с флаконом одеколона, расходятся на некоторое расстояние. Первый включает секундомер в момент, когда второй снимает колпачок с бутылки, и, услышав запах, выключает его. После этого, измерив расстояние между собой, они определяют скорость распространения запаха: $v = \frac{s}{t}$, где t — показания секундомера, s — расстояние между экспериментаторами, v — скорость распространения запаха.

Подумайте, что представляет собой измеренная скорость с точки зрения молекулярно-кинетической теории.

45. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории для двух масс m_1 и m_2 одного и того же газа, находящихся при двух различных давлениях p_1 и p_2 , но при одинаковых объёмах V и одной и той же температуре, запишется следующим образом:

$$p_1 V = \frac{1}{3} m_1 \bar{u}^2, \quad (1)$$

$$p_2 V = \frac{1}{3} m_2 \bar{u}^2, \quad (2)$$

где \bar{u}^2 — средняя квадратичная скорость молекул воздуха.

Вычитая из уравнения (1) уравнение (2) и извлекая квадратный корень, находим, что

$$\sqrt{\bar{u}^2} = \sqrt{\frac{3(p_1 - p_2)V}{m_1 - m_2}} = \sqrt{\frac{3\Delta p V}{\Delta m}}.$$

Эксперимент состоит в определении: объёма сосуда V , уменьшения давления в нём Δp (см. решение задачи 40) после того, как из него откачали некоторое количество воздуха, и массы откачанного воздуха Δm .

Соберём изображённую на рисунке 29 установку. Для нахождения массы откачанного воздуха Δm дважды взвешиваем колбу на рычажных весах: один раз, когда давление воздуха в ней равно атмосферному, а второй — после того как из неё насосом Камовского откачали часть воздуха. Разность показаний весов и даёт искомую величину $\Delta m = m_1 - m_2$. Для оценки точности измерений полученные результаты полезно сравнить со значением $\sqrt{\bar{u}^2}$, рассчитанным по теоретической формуле

$$\sqrt{\bar{u}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M}},$$

где R — универсальная газовая постоянная, M — молярная масса воздуха, T — температура, при которой проводился эксперимент, по шкале Кельвина.

46. Погрузим пластинки в ванночку с водой, сблизим их до небольшого расстояния (рис. 30). Пластинки должны быть параллельными друг другу. Вода будет подниматься между пластинками, так как на неё действуют силы поверхностного натяжения. Запишем условие равновесия для воды, находящейся между пластинками: $F_{\text{пн}} = F_{\text{т}}$, где $F_{\text{пн}} = 2\sigma l$, здесь l — длина пластинки (двойка появилась потому, что вода соприкасается с обеими пластинками). Сила тяжести $F_{\text{т}} = mg$, где $m = \rho V$, а $V = dlh$; здесь h — высота подъёма воды между пластинками, d — зазор между пластинками. Таким образом, имеем: $2\sigma l = \rho dlhg$, откуда

$$\sigma = \frac{\rho g d h}{2}.$$

Подумайте, как обеспечить параллельность пластинок.

Примечание 1. При наличии термометра исследуйте зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры.

Примечание 2. Подумайте, какую форму будет иметь поверхность жидкости, если с одного конца оставить между пластинками небольшой зазор, а с другого конца пластинки сжать вместе.

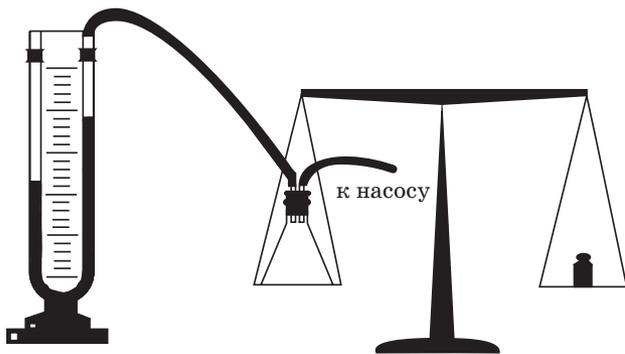


Рисунок 29

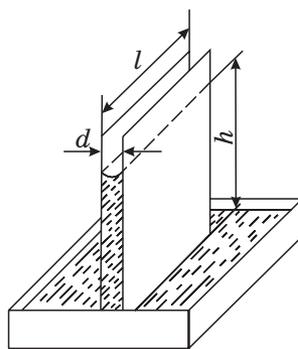


Рисунок 30

47. Налейм в калориметр со снегом столько горячей воды, чтобы весь снег растаял. Пусть температура получившейся воды равна t_1 . Обозначим через m_1 массу обезвоженного снега, m_2 — массу воды в снеге, m_3 — массу горячей воды, t_2 — её начальную температуру, $t_{\text{пл}}$ — температуру плавления льда, равную 0°C .

Запишем уравнение теплового баланса:

$$m_1\lambda + c(m_1 + m_2)(t_1 - t_{\text{пл}}) = cm_3(t_2 - t_1). \quad (1)$$

С помощью мензурки легко измерить массу m_3 и общую массу воды M , где

$$M = m_1 + m_2 + m_3. \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1) и (2), получаем для неизвестных масс m_1 и m_2 следующие значения:

$$m_1 = \frac{((m_3(t_2 - t_1) - (M - m_3)(t_1 - t_{\text{пл}}))c}{\lambda},$$

$$m_2 = \frac{(M - m_3)\lambda + ((M - m_3)(t_1 - t_{\text{пл}}) - m_3(t_2 - t_1))c}{\lambda}.$$

Процентное содержание воды в снеге равно:

$$k = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Подставив значения m_1 и m_2 в выражение (3), получим:

$$k = \frac{(M - m_3)\lambda + ((M - m_3)(t_1 - t_{\text{пл}}) - m_3(t_2 - t_1))c}{(M - m_3)\lambda} \cdot 100\%.$$

Электродинамика

48. Соберём цепи по схемам, изображённым на рисунках 31, а, б, и измерим токи I_1 , I_2 , где I_1 — ток через сопротивление R (рис. 31, а), а I_2 — ток через сопротивление R_x (рис. 31, б).

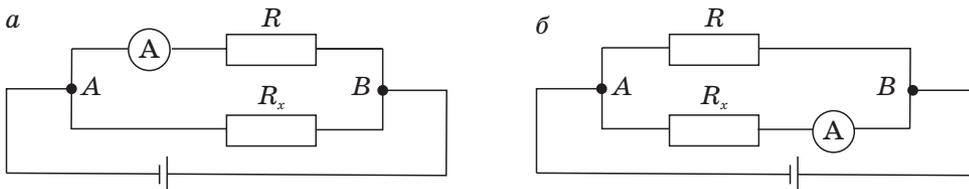


Рисунок 31

Пренебрегая сопротивлением амперметра, видим, что общее сопротивление внешней части цепи в первом и во втором случаях остаётся неизменным. Тогда $U_{AB} = U_R = U_{R_x}$, но $U_R = I_1 R$, $U_{R_x} = I_2 R_x$. Таким образом,

$$R_x = R \frac{I_1}{I_2}.$$

Рассмотрите вариант задачи, когда сопротивление амперметра известно и его надо учитывать.

49. Соберём цепь по схеме, изображённой на рисунке 32.

Поднесём компас снизу к одному из проводников, выбрав на нём прямолинейный участок. Магнитное поле тока в прямолинейном участке проводника заставит стрелку компаса повернуться. По направлению поворота можно, пользуясь правилом буравчика, определить направление тока, а следовательно, и знаки полюсов аккумуляторной батареи.

50. Соберём схему, напоминающую мостик Уитстона (рис. 33). Меняя сопротивление реохорда, добьёмся такого положения, когда показания гальванометра не будут изменяться при замыкании и размыкании ключа K_1 . Это означает, что ток через ключ K_1 не идёт, даже когда он замкнут, т. е.

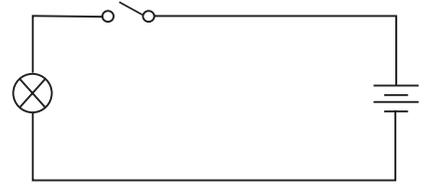


Рисунок 32

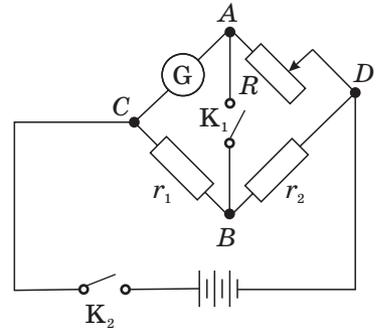


Рисунок 33

$$\varphi_A = \varphi_B, \tag{1}$$

$$\varphi_A = \varphi_D - I_1 R, \tag{2}$$

$$\varphi_B = \varphi_D - I_2 r_2. \tag{3}$$

Из уравнений (1), (2) и (3) имеем:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R}{r_2}. \tag{4}$$

С другой стороны,

$$\varphi_A = \varphi_C + I_1 r_G, \tag{5}$$

где r_G — искомое сопротивление гальванометра, а

$$\varphi_B = \varphi_C + I_2 r_1. \tag{6}$$

Из выражений (1), (5), (6) получим, что

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{r_G}{r_1}. \quad (7)$$

Сравнивая выражения (4) и (7), получим:

$$r_G = \frac{r_1}{r_2} R.$$

Объясните, почему в формулах (2), (3), (5) и (6) разные знаки.

Примечание 1. Сопротивление R определяем по длине введённой части реохорда.

Примечание 2. Так как сопротивления реохорда и гальванометра малы, то надо предусмотреть меры, препятствующие перегоранию гальванометра путём введения в цепь добавочного сопротивления.

51. Подключим к ветви, содержащей сопротивления R_1 и R_2 , приборы и источник тока так, как показано на рисунке 34. Тогда нетрудно показать, что

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1 + R_2}, \quad (1)$$

где I_1 , U_1 — ток и напряжение, получаемые при первом измерении.

При записи уравнения мы предположили, что сопротивление амперметра мало, а вольтметра — наоборот, достаточно велико. Проводя измерения в ветви, содержащей сопротивления R_2 и R_3 , получаем:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2 + R_3}. \quad (2)$$

Для R_1 и R_3 имеем:

$$I_3 = \frac{U_3}{R_1 + R_3}. \quad (3)$$

Таким образом, из выражений (1), (2) и (3) мы имеем систему трёх уравнений с тремя неизвестными:

$$\begin{cases} R_1 + R_2 = \frac{U_1}{I_1}, \\ R_2 + R_3 = \frac{U_2}{I_2}, \\ R_1 + R_3 = \frac{U_3}{I_3}. \end{cases}$$

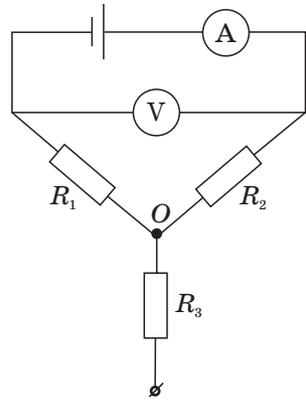


Рисунок 34

Решая её, получаем:

$$R_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{U_1}{I_1} + \frac{U_3}{I_3} - \frac{U_2}{I_2} \right),$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{U_1}{I_1} + \frac{U_2}{I_2} - \frac{U_3}{I_3} \right),$$

$$R_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{U_2}{I_2} + \frac{U_3}{I_3} - \frac{U_1}{I_1} \right).$$

52. Удельное сопротивление ρ проволоки, из которой изготовлен реостат, определим из формулы

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1)$$

где R — известное сопротивление реостата.

Необходимо измерить длину l проволоки реостата и площадь её сечения S . Штангенциркулем измерим диаметр d проволоки реостата, тогда

$$S = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (2)$$

Линейкой измерим длину участка реостата, на котором намотана проволока. Если эта длина L , то число витков $N = \frac{L}{d}$. Измерив диаметр одного витка проволоки D на реостате штангенциркулем и рассчитав длину проволоки в одном витке $l_1 = \pi D$, можно найти длину всей проволоки, пошедшей на изготовление реостата. Очевидно, что

$$l = N l_1 = N \pi D = \frac{l}{d} \pi D. \quad (3)$$

Подставив выражения (2) и (3) в формулу (1), получим $R = \rho \frac{4LD}{d^3}$. Откуда $\rho = \frac{Rd^3}{4LD}$.

53. Соберём цепь, изображённую на рисунке 35. Поворачивая ручку «частота генератора», находим такую частоту генератора, при которой размер по вертикали осциллограммы в положении переключателя 1 будет таким же, как и в положении переключателя 2.

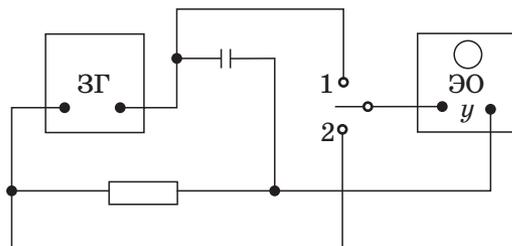


Рисунок 35

Равенство размеров осциллограмм будет означать, что эффективные значения, а следовательно, и максимальные значения напряжения на конденсаторе и резисторе будут равны. Тогда можно сделать вывод, что равны между собой реактивное сопротивление конденсатора и сопротивление резистора: $X_C = R$, но $X_C = \frac{1}{2\pi\nu R}$. Таким образом, $\frac{1}{2\pi\nu C} = R$, откуда следует, что $C = \frac{1}{2\pi\nu R}$.

Далее определим ёмкость воздушного конденсатора. Пусть она равна:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi\nu_1 R}. \quad (1)$$

Затем погрузим конденсатор в сосуд с керосином и снова найдём ёмкость:

$$C_2 = \frac{1}{2\pi\nu_2 R}. \quad (2)$$

Так как ёмкость конденсатора при прочих равных условиях прямо пропорциональна диэлектрической проницаемости вещества, заполняющего пространство между пластинами, то $C_2 = \varepsilon C_1$. Откуда $\varepsilon = \frac{C_2}{C_1}$. С учётом формул (1) и (2) получим:

$$\varepsilon = \frac{\nu_1}{\nu_2}.$$

54. Измеряем диаметр d проводника микрометром, затем определяем ток I , при котором перегорает проводник. Меняя проводники, можно построить график зависимости силы тока от диаметра проводника: $I = f(d)$.

Перед тем как строить график, полезно сделать теоретическую прикидку того, какой вид должен иметь график. При постепенном увеличении тока в проводнике (чтобы процесс был установившимся) температура проволоки в любой момент времени определяется равенством: $P_1 = P_2$, где P_1 — мощность тока, текущего по проволоке, P_2 — мощность тепловых потерь в окружающее пространство.

Нетрудно видеть, что мощность P_2 пропорциональна площади боковой поверхности проводника: $S = \pi dl$, где l — длина проволоки. Значит,

$$P_2 = k\pi dl, \quad (1)$$

где коэффициент пропорциональности k зависит от температуры проводника, т. е. $k = k(T)$. Мощность тока $P_1 = I^2 R$, где $R = R_0 \alpha T$, здесь

R_0 — сопротивление проводника при 0°C , α — температурный коэффициент сопротивления ($\alpha = \frac{1}{273}$ град $^{-1}$ для чистых металлов), T — абсолютная температура проводника.

Учитывая, что $R_0 = \rho \frac{l}{S}$, а $S = \frac{\pi d^2}{4}$, получаем для мощности P_1 следующее выражение

$$P_1 = \frac{4\rho l I^2 \alpha T}{\pi d^2}. \quad (2)$$

Приравнявая выражения (1) и (2), получаем:

$$\frac{4\rho l I^2 \alpha T}{\pi d^2} = k(T) \pi d l. \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что $I^2 \sim d^3$, т. е. $I \sim d^{3/2}$. Здесь учтено, что температура, при которой перегорает проводник (его температура плавления), не зависит от диаметра проводника, а зависит только от материала, из которого он изготовлен.

55. Соберём электрическую цепь по схемам, изображённым на рисунках 36, а, б. Из закона Ома для полной цепи имеем:

$$\mathcal{E} = U_1 + I_1 r = U_1 + \frac{U_1}{R_{V_1}} r, \quad (1)$$

где U_1 — напряжение, измеряемое вольтметром V_1 , а R_{V_1} — его сопротивление.

Аналогично:

$$\mathcal{E} = U_2 + I_2 r = U_2 + \frac{U_2}{R_{V_2}} r. \quad (2)$$

Соберём цепь по схеме, показанной на рисунке 36, в. Так как при последовательном соединении токи, идущие через вольтметры, одинаковы, то

$$\frac{U'_1}{R_{V_1}} = \frac{U'_2}{R_{V_2}},$$

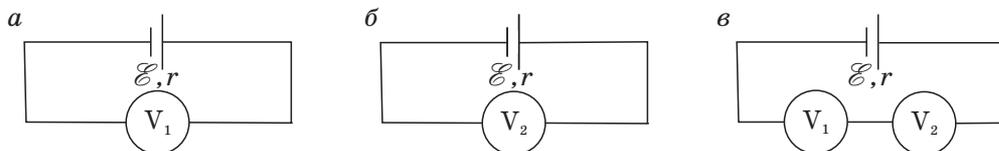


Рисунок 36

где U'_1 и U'_2 — показания вольтметров. Тогда

$$R_{V_2} = R_{V_1} \frac{U'_2}{U'_1}. \quad (3)$$

Исключая в выражениях (1) и (2) r и используя выражение (3), после необходимых математических преобразований получаем:

$$\mathcal{E} = \frac{U_1 U_2 (U'_2 - U'_1)}{U_1 U'_2 - U_2 U'_1}.$$

56. Метод выполнения работы основан на пропорциональности отброса стрелки n микроамперметра величине протекающего через него заряда q ($n \sim q$ — баллистический режим). Соберём цепь по схеме, показанной на рисунке 37, *а*.

Зарядим конденсаторы, замкнув их на батарею известной ЭДС (ключ в положении 1). Перебрасывая ключ в положение 2, замечаем отклонение стрелки прибора n_1 . Соединяя конденсаторы параллельно (рис. 37, *б*), убеждаемся, что отброс стрелки прибора увеличивается в 2 раза. Это связано с тем, что в соответствующее число раз увеличивается ёмкость конденсатора, а следовательно, и заряд, прошедший через микроамперметр: $q = \mathcal{E}C$.

Заменяя источник с известной ЭДС источником с неизвестной ЭДС, замечаем отброс стрелки прибора n_2 . Тогда

$$n_1 = \alpha q_1 = \alpha \mathcal{E} C, \quad (1)$$

$$n_2 = \alpha q_2 = \alpha \mathcal{E}_x C, \quad (2)$$

где α — коэффициент пропорциональности (постоянная прибора).

Решая уравнения (1) и (2) относительно неизвестной ЭДС \mathcal{E}_x , получаем:

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E} \frac{n_2}{n_1}.$$

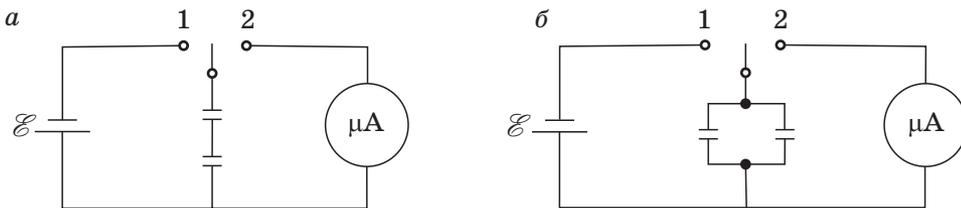


Рисунок 37

57. Определим напряжение U на зажимах источника тока. Для этого подсоединим вольтметр к его клеммам. Соберём цепь по схеме, указанной на рисунке 38, *а*. Если измеряется падение напряжения на сопротивлении R_1 и при этом показания вольтметра U'_1 , то справедливо уравнение:

$$\frac{U - U'_1}{R_2} = \frac{U'_1}{R_V} + \frac{U'_1}{R_1}, \quad (1)$$

где $U - U'_1$ — падение напряжения на сопротивлении R_2 при включённом вольтметре, R_V — сопротивление вольтметра.

Если же измеряется напряжение на сопротивлении R_2 (рис. 38, *б*) и показания вольтметра при этом U'_2 , то соответствующее уравнение будет иметь вид:

$$\frac{U - U'_2}{R_1} = \frac{U'_2}{R_V} + \frac{U'_2}{R_2}. \quad (2)$$

Если из цепи убрать вольтметр, то падение напряжений на сопротивлениях R_1 и R_2 определяется формулами

$$U_1 = \frac{UR_1}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

и

$$U_2 = \frac{UR_2}{R_1 + R_2}. \quad (4)$$

Решая совместно уравнения (1) и (2), получаем:

$$R_1 = \frac{U'_1}{U'_2} R_2. \quad (5)$$

С учётом последнего из формул (3) и (4) следует, что

$$U_1 = \frac{UU'_1}{U'_1 + U'_2}, \quad \text{а} \quad U_2 = \frac{UU'_2}{U'_1 + U'_2}.$$

58. Соберём цепь по схеме, показанной на рисунке 39. Измерим вольтметром падение напряжения на известном сопротивлении R (из магазина сопротивлений). Тогда ток в цепи

$$I = \frac{U}{R}. \quad (1)$$

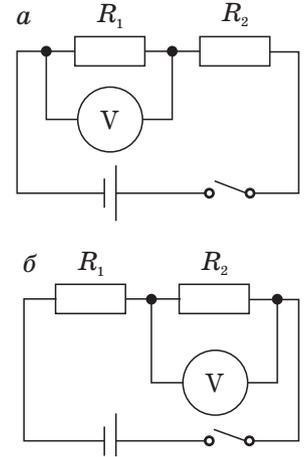


Рисунок 38

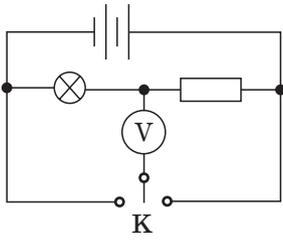


Рисунок 39

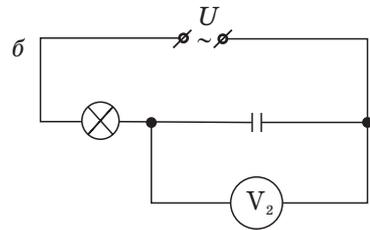
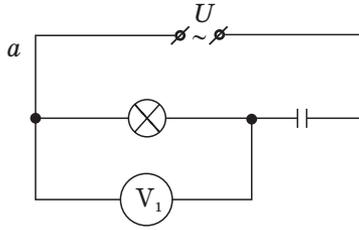


Рисунок 40

Затем измерим падение напряжения $U_{\text{л}}$ на лампочке. Мощность, выделяемая на лампочке, $P_{\text{л}} = IU_{\text{л}}$. Учитывая выражение (1), имеем:

$$P_{\text{л}} = \frac{U_{\text{л}}U}{R}. \quad (2)$$

Меняя величину сопротивления R и каждый раз измеряя соответствующие значения U и $U_{\text{л}}$, определяем по формуле (2) соответствующее значение $P_{\text{л}}$. Используя полученные данные, строим график. Объясните характер полученной зависимости.

59. Соберём цепь по схеме, указанной на рисунке 40, *а*. Изменяя напряжение источника тока, добьёмся того, чтобы вольтметр показывал номинальное значение $U_{\text{н}}$. Тогда искомая мощность $P = IU_{\text{н}}$. Для определения величины тока I соберём цепь по схеме, указанной на рисунке 40, *б*. Так как сопротивление конденсатора при прохождении через него переменного тока равно $R_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$, где C — ёмкость конденсатора, ν — частота тока, то $I = \frac{U_2}{R_C} = 2\pi U_2\nu C$ (U_2 — показания вольтметра, подключённого к конденсатору). Окончательно имеем: $P = 2\pi\nu C U_{\text{н}} U_2$.

60. На уровне глаз укрепим в лапке штатива электроплитку. На расстоянии 0,5–0,8 м от неё поставим штатив с лампой таким образом, чтобы нить накала располагалась вдоль небольшого участка спирали плитки и по лучу зрения. Включаем электроплитку в сеть, а лампочку подсоединяем к источнику тока по схеме, указанной на рисунке 41.

Выбираем исходное положение ползунка реостата таким образом, чтобы показания амперметра I_1 и вольтметра U_1 были минимальными. Тогда можно считать, что температура нити накала лампы примерно равна температуре помещения, а сопротивление её в холодном состоянии $R_1 = \frac{U_1}{I_1}$.

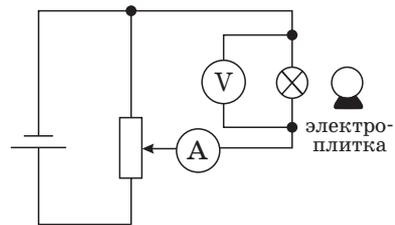


Рисунок 41

С помощью реостата увеличиваем ток, идущий через лампу, при этом её температура будет повышаться. Нагретую нить лампы рассматриваем на фоне раскалённой спирали. Если нить лампы будет светлее спирали, то её температура выше, чем спирали, если же темнее — ниже, чем спирали. Изменяя потенциометром напряжение на лампе, добиваемся того, чтобы нить зрительно слилась с фоном: раскалённой спиралью плитки. В этом случае температуры их будут одинаковыми. Наблюдения следует проводить несколько раз. Снимая показания амперметра I и вольтметра U , вычислим сопротивление нити в горячем состоянии:

$R_2 = \frac{U_2}{I_2}$. Находим температуру нити горячей лампы t_x , решая систему двух уравнений $R_1 = R_0 (1 + \alpha t)$ и $R_2 = R_0 (1 + \alpha t_x)$, где R_0 — сопротивление нити при 0°C , α — температурный коэффициент сопротивления материала нити лампы, t — температура помещения, t_x — температура нити горячей лампы, равная температуре раскалённой спирали.

$$t_x = \frac{R_2(1 + \alpha t) - R_1}{\alpha R_1}.$$

61. Соберём цепь по схеме, указанной на рисунке 42. Через электролит пропустим ток силой I , измеряемый амперметром А. Время пропускания тока Δt измерим секундомером. Тогда заряд, протёкший через электролит, определим по формуле $q = I\Delta t$. Определим массу m вещества, отложившегося на электроде. Для этого нам необходимо до сбора схемы измерить массу электрода, взвесив его на весах. Потом, взвешивая тот же электрод после пропускания тока через электролит и вычитая из массы, полученной в этом измерении, предыдущий результат, получим m .

Величину элементарного заряда определим исходя из следующих соображений. Число атомов вещества, выделившегося на электроде, равно $\frac{q}{ne}$, где n — валентность вещества, e — величина элементарного заряда.

С другой стороны, это же число атомов равно $N_A \frac{m}{A}$, где N_A — число Авогадро, A — молярная масса вещества. Приравняв их, получим:

$$e = \frac{Aq}{mN_A n}.$$

62. Подключим лампу к источнику тока по схеме, изображённой на рисунке 43, а. Реостат R_1 слабо влияет на напряжение на лампе. Поэтому ясно, что сначала надо установить напряжение на лампе с помощью сопротивления R_2 , а затем подправить его реостатом R_1 . Действительно,

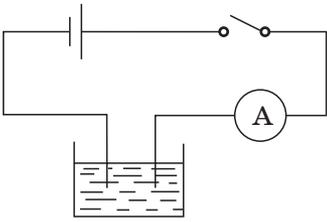


Рисунок 42

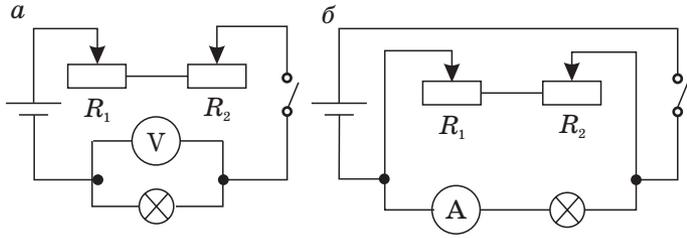


Рисунок 43

если длина реостата равна l и неточность при установке реостата составляет Δl , то неточность в сопротивлении реостата R_2 равна $\frac{\Delta l}{l} R_2$. Неточность в установке сопротивления реостата R_1 равна $R_1 \frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{10} \frac{\Delta l}{l} R_2$, то есть в 10 раз меньше неточности установки сопротивления реостата R_2 . Поэтому при том подходе, о котором мы говорим, сопротивление реостата удаётся подобрать в 10 раз точнее, чем при использовании только одного сопротивления R_2 . Во столько же раз точнее будет установлено и падение напряжения на приборе.

Так как заранее не очевидно, в какую сторону мы ошибёмся, устанавливая сопротивление R_2 , то есть что нам придётся делать с помощью реостата R_1 — увеличивать или уменьшать сопротивление, то перед установкой реостата R_2 движок реостата R_1 нужно установить посередине.

В случае когда необходимо получить как можно более точное значение силы тока, текущего через лампу, собираем цепь согласно схеме, приведённой на рисунке 43, б.

Во втором случае точность в установке тока равна:

$$\Delta I = \frac{U}{R} - \frac{U}{R + \Delta R} = \frac{U \Delta R}{R(R + \Delta R)} \approx \frac{U}{R^2} \Delta R.$$

При $R = R_1$

$$\Delta I = \frac{U}{R_1^2} \Delta R_1 = \frac{U}{R_1} \frac{\Delta l}{l},$$

при $R = R_2$

$$\Delta I = \frac{U \Delta l}{R_2 l}.$$

Поскольку $R_2 = 10R_1$, то и точность установки тока, используя реостат R_1 вместе с R_2 , в 10 раз выше по сравнению со случаем, когда используется только реостат R_2 .

63. Соберём электрическую схему, показанную на рисунке 44. Пропускаем через электролит ток, силу которого I определяем, снимая показания амперметра. Масса меди, выделившейся на электроде согласно первому закону электролиза, равна:

$$m = kq = kIt, \quad (1)$$

где t — время пропускания тока через электролит.

С учётом второго закона электролиза выражение для массы можно переписать в виде:

$$m = \frac{1}{F} \frac{A}{n} It, \quad (2)$$

где F — число Фарадея, A — атомная масса меди, n — валентность меди.

Учитывая, что $A = N_A m_{\text{Cu}}$, где N_A — число Авогадро, а m_{Cu} — масса иона меди, легко найти m_{Cu} . Масса m есть разность значений, полученных при взвешивании пластины, на которой выделяется медь до и после электролиза. С учётом формул (1) и (2) получим

$$m = \frac{1}{F} \frac{N_A m_{\text{Cu}}}{n} It.$$

Так как валентность меди $n = 2$, то окончательно имеем:

$$m_{\text{Cu}} = \frac{2mF}{N_A It}.$$

64. Простейшая схема для получения пилообразного напряжения имеет вид, изображённый на рисунке 45. При замыкании ключа в цепи пойдёт ток, при котором конденсатор будет заряжаться. Пусть $U_B \geq U_1$ (U_B — напряжение, снимаемое с выхода кенотронного выпрямителя), тогда можно считать, что в течение всего времени зарядки конденсатора ток будет постоянным и равным $I = \frac{U_B}{R}$ (подумайте почему). Напряжение на конденсаторе U_C будет меняться по линейному закону, так как $q = It$, а $U_C = \frac{q}{C}$, т. е. $U_C = \frac{I}{C}t$.

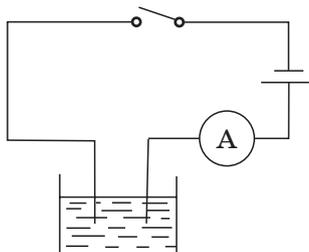


Рисунок 44

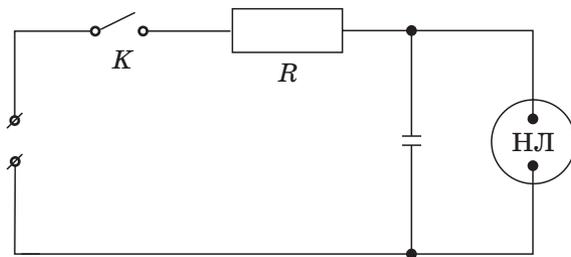


Рисунок 45

Откуда

$$U_C = \frac{U_B}{RC} t. \quad (1)$$

В какой-то момент времени t_1 , когда U_C станет равным U_1 , лампочка (НЛ) загорится: $U_1 = \frac{U_B}{RC} t_1$,
 $t_1 = \frac{U_1 RC}{U_B}$.

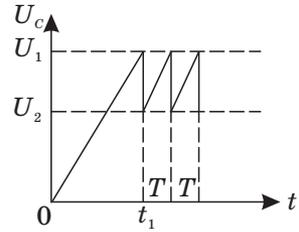


Рисунок 46

При загорании лампочки конденсатор практически мгновенно разрядится до напряжения U_2 . При этом лампочка погаснет. Затем в течение промежутка времени T конденсатор будет заряжаться снова до напряжения U_1 и т. д. Из графика (рис. 46) с учётом выражения (1) можно найти период колебаний:

$$T = \frac{(U_1 - U_2) RC}{U_B}.$$

Чтобы исследовать получаемые колебания (зависимость T от R , C , U_B), напряжение U_C подают на «Y» — вход осциллографа, причём частоту развёртки делают в несколько раз меньше частоты колебаний напряжения на конденсаторе.

65. Соберём электрическую цепь, состоящую из источника переменного тока U , конденсатора C и резистора R (рис. 47, а). Вольтметром измерим эффективные напряжения на конденсаторе U_C и на эталонном резисторе U_R . Для этого вольтметр включаем в цепь так, как показано на рисунках 47, б, в.

Зная эффективное значение падения напряжения на резисторе, найдём эффективное значение силы тока в цепи:

$$I_{\text{эф}} = \frac{U_R}{R}, \quad (1)$$

где R — известное сопротивление резистора.

Поскольку R и C соединены последовательно, то $I_{\text{эф}} = \frac{U_C}{X_C}$, откуда

$$X_C = \frac{U_C}{I_{\text{эф}}}. \quad (2)$$

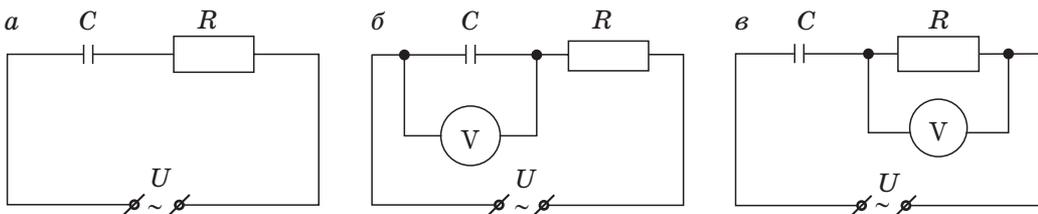


Рисунок 47

С другой стороны,

$$X_C = \frac{1}{\omega C}, \quad (3)$$

где ω — частота переменного тока в цепи.

Из формул (1) — (3) получаем, что

$$C = \frac{U_R}{\omega U_C R}.$$

66. Соберём цепь по схеме, изображённой на рисунке 48. Сняв показания амперметра и вольтметра, определим общее сопротивление цепи по формуле $Z = \frac{U}{I}$. Но $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$, откуда $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$. Так как $X_L = \omega L$, $\omega = 2\pi\nu$, то окончательно имеем

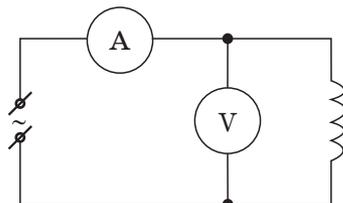


Рисунок 48

$$L = \frac{\sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R^2}}{2\pi\nu}.$$

Активное сопротивление R катушки измеряем омметром.

67. Включим осциллограф так, чтобы в центре экрана была светящаяся точка. Затем поднесём к экрану магнит. При этом светящаяся точка сместится вправо или влево в зависимости от того, какой полюс магнита вверх. Предположим, что пятно сместится вправо от наблюдателя. Тогда, применяя правило левой руки, можно найти направление индукции магнитного поля, создаваемого магнитом.

Для того чтобы электроны смещались вправо, действующая на них сила Лоренца должна быть также направлена вправо; при этом отогнутый под углом 90° большой палец левой руки также должен «смотреть» вправо. Для определения ориентации ладони руки учтём, что четыре вытянутых пальца надо направить в сторону, противоположную скорости движения электронов, так как они имеют отрицательный заряд.

В нашем случае ладонь левой руки будет направлена к экрану осциллографа, и тогда её тыльная сторона будет сверху, следовательно, индукция магнитного поля, создаваемого дугообразным магнитом, направлена снизу вверх.

Таким образом, на верхнем конце магнита находится южный полюс, а на нижнем — северный (силовые линии вне магнита выходят из северного полюса и входят в южный полюс).

68. К одному из плеч лабораторных рычажных весов подвешивается проводник R , помещённый между полюсами постоянного магнита и подключённый к источнику тока. С помощью гирек весы уравниваются, после чего через проводник пропускается ток и весы уравниваются вновь. Если вес гирек, уравнивающих проводник, когда в нём ток отсутствует, P_1 , а вес гирек, уравнивающих проводник, когда по нему идёт ток, P_2 , то $F = P_2 - P_1$, где F — сила, действующая на проводник с током со стороны магнитного поля.

Расположим магнит и проводник так, чтобы модуль силы F определялся формулой

$$F = BIl,$$

где l — длина активной части проводника, I — сила тока, текущего через проводник.

Тогда модуль индукции магнитного поля между полюсами постоянного магнита равен:

$$B = \frac{F}{Il}.$$

Измерения следует провести, меняя силу тока I в цепи и меняя магниты. При подготовке установки следует подводящие провода расположить так, чтобы они не влияли на равновесие.

69. Направление северного полюса стрелки компаса совпадает с направлением горизонтальной составляющей \vec{B}_0 вектора магнитной индукции магнитного поля Земли. Расположим рамку таким образом, чтобы направление магнитного меридиана было перпендикулярно одной из сторон рамки. При пропускании через рамку тока I_1 стрелка будет отклоняться от направления магнитного меридиана, приближаясь к касательной к окружности O , описанной вокруг провода с током I_1 , образующего данную сторону рамки (рис. 49). Угол отклонения стрелки от меридиана легко определить: $\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{B_1}{B_0}$, где B_1 — модуль индукции магнитного поля, созданного током.

С увеличением силы тока до значения I_2 увеличивается угол отклонения стрелки α_2 .

Измеряя отношение $\frac{I_2}{I_1}$ или $\frac{\operatorname{tg}\alpha_2}{\operatorname{tg}\alpha_1} = \frac{B_2}{B_1}$, до-

казываем, что индукция магнитного поля B прямо пропорциональна силе тока I , создающего это поле, т. е. $B \sim I$. Аналогично можно исследовать зависимость индукции магнитного поля тока от расстояния до проводника, что позволит сделать вывод об обратно

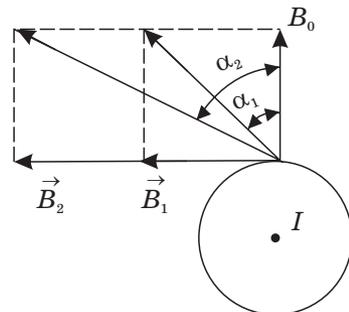


Рисунок 49

пропорциональной зависимости модуля индукции магнитного поля тока от расстояния до него: $B \sim \frac{1}{r}$.

70. Соберём цепь по схеме, изображённой на рисунке 50.

Здесь R_m — магазин сопротивлений, R_n — проволочный реостат. С помощью собранной цепи, используя закон Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$, можно осуществить деление чисел. Допустим, нам необходимо a разделить на b . Подберём сопротивление R_m в омах, численно равное a , а напряжение на магазине сопротивлений, которое показывает вольтметр, численно равное b вольт, с помощью реостата R_n . Ток в амперах, показываемый амперметром, даст искомый результат. Если необходимо найти результат умножения двух чисел, например $a \cdot b$, надо использовать закон Ома в виде $U = IR$. Подберём, как и прежде, сопротивление R_m , численно равное в омах a , а ток сделаем с помощью реостата R_n , численно равным b . По показаниям вольтметра в вольтах получаем необходимый результат. С чем связаны ограниченные возможности такой счётной машины?

71. Подключим ветвь «б» к цепи «а» согласно схеме, приведённой на рисунке 51. Если одноимённые полюса батареи аккумуляторов и сухого элемента подключены к общей точке А, то только в этом случае можно добиться, чтобы через гальванометр не проходил ток.

Первый способ. Выберем сопротивление магазина, равное нулю, а скользящий контакт установим на расстоянии a_1 от левого конца провода так, чтобы через гальванометр не проходил ток. В этом случае напряжение на зажимах реохорда будет равно U_a (внутреннее сопротивление аккумулятора считаем пренебрежимо малым), где U_a — разность потенциалов на зажимах аккумуляторов. Так как через гальванометр не проходит ток, то на участке длиной a_1 падение напряжения будет равно U_c , где U_c — ЭДС сухого элемента.

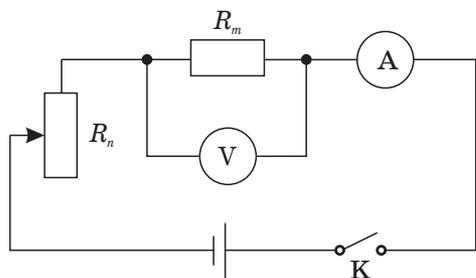


Рисунок 50

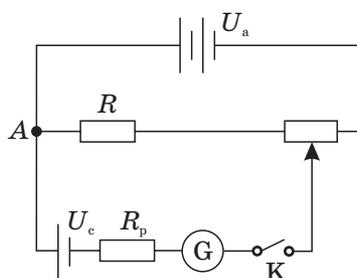


Рисунок 51

Для однородного провода одинакового диаметра в этом случае выполняется соотношение

$$\frac{U_a}{U_c} = \frac{l}{a_1} = \frac{1}{m}, \quad (1)$$

где $m = \frac{a_1}{l}$.

Чтобы определить величину сопротивления реохорда X , повторим измерения при сопротивлении магазина $R \neq 0$. Пусть расстояние от контакта до левого конца реохорда, при котором ток через гальванометр не идёт, будет равно a_2 . Обозначим отношение $\frac{a_2}{l}$ через n . Согласно закону Ома имеем:

$$\begin{aligned} U_a &= I_a (R + X), \\ U_c &= I_b (R + R_{a_2}), \end{aligned}$$

где I_a и I_b — токи в ветвях «а» и «б» соответственно.

Так как ток через гальванометр равен нулю, то $I_a = I_b$, откуда

$$\frac{U_a}{U_c} = \frac{R + X}{R + R_{a_2}}. \quad (2)$$

Учитывая, что $\frac{X}{R_{a_2}} = \frac{l}{a_2} = \frac{1}{n}$, получаем:

$$R_{a_2} = X \frac{a_2}{l} = X \cdot n. \quad (3)$$

С учётом уравнения (3) выражение (2) принимает вид:

$$\frac{U_a}{U_c} = \frac{R + X}{R + nX}. \quad (4)$$

Из выражений (1) и (4) найдём X : $\frac{1}{m} = \frac{R + X}{R + nX}$, откуда $X = R \frac{1 - m}{m - n}$.

Ток через гальванометр можно сделать равным нулю при условии, что

$$U_c > \frac{U_a}{R + X} R.$$

Это условие следует из выражения (2), если учесть, что минимальное значение $R_{a_2} = 0$, тогда $U_c > \frac{U_a}{1 + \frac{X}{R}}$.

Откуда следует, что $\frac{X}{R} > \frac{U_a}{U_c} - 1$, $\frac{X}{R} > \frac{1}{m} - 1$.

Тогда

$$R < X \frac{m}{1-m}. \quad (5)$$

Неравенство (5) является условием, накладываемым на сопротивление R для того, чтобы задача имела решение. Необходимо также учитывать условие, что $0 < n < m < 1$.

Второй способ. Пусть $R \neq 0$. Проводим измерения так же, как и на втором этапе первого способа решения. Один полюс сухого элемента переключим согласно схеме, приведённой на рисунке 52. Пусть a_3 — длина левого плеча реохорда, при котором ток через гальванометр равен нулю. Тогда, рассуждая так, как и в первом способе решения, получим:

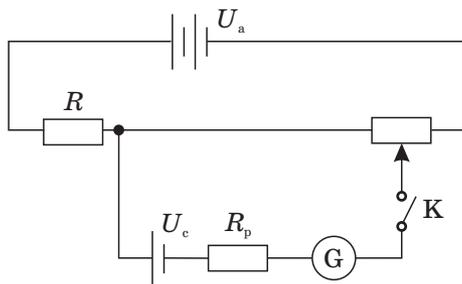


Рисунок 52

$$\frac{U_a}{U_c} = \frac{R+X}{R_{a_3}}. \quad (6)$$

Поскольку $\frac{R_{a_3}}{X} = \frac{a_3}{l}$, то, обозначив $\frac{a_3}{l}$ через k , получим: $R_{a_3} = kX$. С учётом этого выражение (6) принимает вид:

$$\frac{U_a}{U_c} = \frac{R+X}{kX}. \quad (7)$$

Из соотношений (4) и (7) получаем: $\frac{R+nX}{R+X} = \frac{kX}{k+X}$. Откуда $X = \frac{R}{k-n}$.

Причём должно выполняться условие $0 < n < k < 1$, а тогда $R < X$.

72. Чтобы определить, какая из схем вмонтирована в каждый ящик, нужно измерять сопротивление между клеммами, подключая схему к источнику постоянного тока, затем к источнику переменного тока и проводить несколько измерений для различных значений частоты переменного тока. При этом если окажется, что:

1) сопротивление ящика постоянному и переменному токам почти одинаково и не зависит от частоты, то в ящике находится схема, изображённая на рисунке 53, а;

2) сопротивление переменному току больше, чем постоянному, и возрастает с увеличением частоты, то в ящике находится схема, изображённая на рисунке 53, б;

3) есть какое-то сопротивление постоянному току, а с увеличением частоты сопротивление переменному току убывает, то в ящике находится схема, изображённая на рисунке 53, в;

4) при включении постоянного тока сопротивление быстро возрастает до бесконечно большого значения; короткое замыкание клемм сопровождается искровым разрядом; график зависимости сопротивления переменному току от частоты имеет минимум, значит, в ящике находится схема, представленная на рисунке 53, г;

5) существует определённое сопротивление постоянному току, а график зависимости сопротивления переменному току от частоты имеет максимум, то в ящике находится схема, изображённая на рисунке 53, д.

73. К любым клеммам AB , BC , CA подключаем батарейку и амперметр согласно схеме, изображённой на рисунке 54. Сопротивление в этом случае определяется по формуле

$$R = \frac{U}{I},$$

где U — напряжение, прикладываемое к любой паре клемм, I — показание амперметра.

Продельваем тот же опыт для всех возможных сочетаний пар клемм и найдём, что возможным схемам соединения сопротивлений (см. рис. 53) однозначно соответствуют результаты измерений.

Некоторые недостающие схемы установите сами.

Колебания и волны

74. Привяжем к нити гирьку. Так как масса нити мала, то полученный маятник можно считать «математическим», т. е. можно воспользоваться

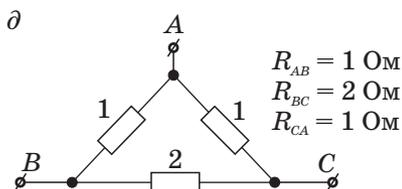
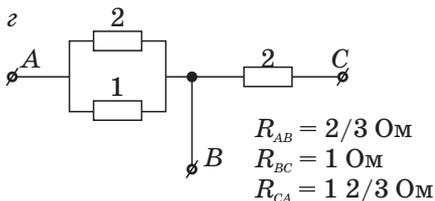
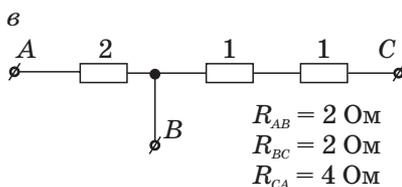
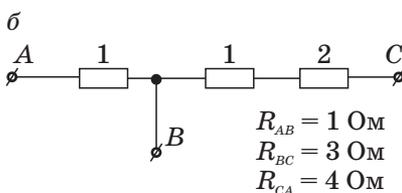
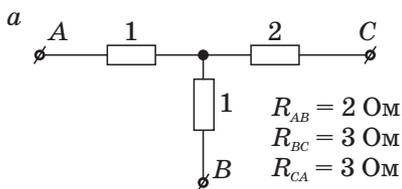


Рисунок 53

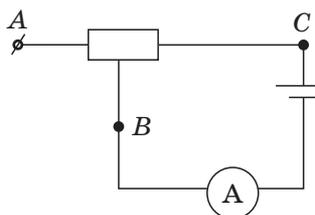


Рисунок 54

формулой, связывающей период колебаний T с длиной маятника l и ускорением силы тяжести g :

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

Определив с помощью часов период колебаний маятника (для этого необходимо подсчитать число колебаний n за достаточно большой промежуток времени t) $T = \frac{t}{n}$, рассчитаем длину нити: $l = \frac{gt^2}{4\pi^2n^2}$. Зная длину нити, можно определить ширину и длину стола, а тем самым и его площадь.

75. Налъём в манометр подкрашенную воду. Наденем на одно из колен (допустим, на левое) резиновый шланг. Сжимая резиновый шланг, понижаем уровень воды в левом колене манометра, тем самым повышая уровень воды в правом колене. Измерим высоту опускания уровня воды в левом (поднятия в правом) колене манометра. Если быстро отпустить шланг (снять избыточное давление), то вода в трубке придёт в колебательное движение. Вода движется ускоренно под действием силы давления разности столбов жидкости. Очевидно, что колебания будут совершаться относительно положения равновесия, соответствующего равным высотам столбиков воды в обоих коленах.

Пусть разность уровней, определяющая колебания, равна $2x$. Очевидно, что на всю массу воды действует сила

$$F = -2\rho g S x, \quad (1)$$

где ρ — плотность воды, g — ускорение свободного падения, S — площадь сечения колена манометра. Знак «минус» означает, что сила направлена в сторону, противоположную смещению.

Согласно второму закону Ньютона

$$F = ma. \quad (2)$$

Приравняв уравнения (1) и (2), получим уравнение колебаний жидкости: $ma = -kx$, где $k = 2\rho g S$. Если пренебречь трением воды о стенки сосуда и считать колебания гармоническими, тогда легко определить их циклическую частоту ω_0 и период колебаний T :

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{2\rho g S}{m}}. \quad (3)$$

Поскольку $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$, то, используя равенство (3), имеем:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2\rho g S}}. \quad (4)$$

Учитывая, что $m = \rho Sl$, где l — длина столбика воды в обоих коленах манометра, окончательно получим:

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

Этот период следует сравнить с периодом, определённым при помощи секундомера.

76. В состоянии равновесия системы пружина — груз выполняется условие:

$$mg = k\Delta l_0, \quad (1)$$

где m — масса груза, g — ускорение свободного падения, k — жёсткость пружины, Δl_0 — значение удлинения пружины под действием силы тяжести груза.

Из формулы (1) определим жёсткость пружины k , равную $\frac{mg}{\Delta l_0}$. Груз, подвешенный к пружине, будет совершать колебания, если систему вывести из состояния равновесия. В случае малых по сравнению с длиной l_0 пружины деформаций период колебаний пружинного маятника не зависит от величины деформации. Период в этом случае определяется по формуле

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}, \quad (2)$$

которую легко проверить, зная массу груза m и определив жёсткость пружины k . Измерив секундомером время t , в течение которого система совершит n колебаний, вычислим T по формуле

$$T = \frac{t}{n}.$$

Меняя пружины, исследуем зависимость периода T от жёсткости k , а меняя грузы, исследуем зависимость периода T от массы m . Обратите внимание, что при некоторых значениях массы груза колебания вдоль пружины сопровождаются маятниковобразными колебаниями. Изучите это явление и опишите его закономерности.

77. Заставим звучать камертон и расположим его над отверстием сосуда. Будем доливать в сосуд воду, при этом мы услышим, что при определённых уровнях воды звук камертона значительно усиливается. Выясним причины этого явления. Звуковые волны, испускаемые камертоном, попадают в сосуд, отражаются от поверхности воды в нём и образуют в сосуде стоячие волны. При этом усиление звука будет происходить в том случае, если на уровне открытого конца сосуда будет находиться пучность (на поверхности воды всегда будет узел стоячей волны). Учитывая, что расстояние между узлами равно $\frac{\lambda}{2}$, а расстояние

между узлом и пучностью равно $\frac{\lambda}{4}$, где λ — длина звуковой волны, испускаемой камертоном, видим, что усиление звука будет наблюдаться в том случае, если $l_k = k\frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4}$, где l_k — расстояние от открытого конца сосуда до уровня воды.

Приведём последнее выражение к удобному для нас виду $l_k = \frac{(2k+1)\lambda}{4}$, учитывая, что $\lambda = \frac{v}{\nu}$, получим $l_k = \frac{(2k+1)v}{4\nu}$, где v — скорость звука ($v = 340$ м/с при комнатной температуре), ν — частота колебаний камертона.

Измерив линейкой расстояния l_k и l_{k-1} , легко найти искомую частоту:

$$l_k = \frac{(2k+1)v}{4\nu}, \quad (1)$$

$$l_{k-1} = \frac{(2k-1)v}{4\nu}. \quad (2)$$

Вычитая из выражения (1) уравнение (2), получаем:

$$l_k - l_{k-1} = \frac{v}{2\nu}, \text{ откуда } \nu = \frac{v}{2(l_k - l_{k-1})}.$$

78. Период колебаний пружинного маятника определяется по формуле $T_{\text{п}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, где m — масса груза, k — жёсткость пружины.

Жёсткость пружины определяется по способу, изложенному в решении задачи 76. Массу пружинного маятника определим взвешиванием. Таким образом, период T легко рассчитать.

Период колебаний математического маятника определяется по формуле $T_{\text{м}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Так как по условию $T_{\text{м}} = T_{\text{п}}$, то имеем $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, откуда $l = \frac{mg}{k}$.

Определив по полученной формуле длину маятника l , нетрудно изготовить модель математического маятника.

79. Соберём имеющееся оборудование по схеме, изображённой на рисунке 55. Синусоидальное напряжение от генератора ЗГ звуковой частоты подаётся на динамик Д и горизонтально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки ЭЛТ осциллографа. На вертикально

отклоняющие пластины ЭЛТ подаётся сигнал с микрофона М, который является приёмником звуковых колебаний, возбуждаемых динамиком Д.

Если на динамик подаётся напряжение

$$U_x = U_x \cos \omega t, \quad (1)$$

то с микрофона снимается напряжение

$$U_y = U_m \cos \omega(t + t_0) = U_m \cos(\omega t + \varphi), \quad (2)$$

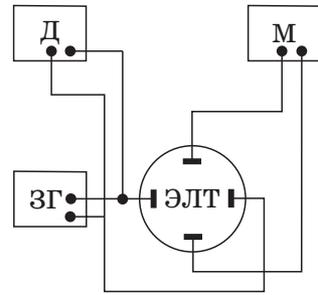


Рисунок 55

где $\varphi = \omega t_0$ — сдвиг по фазе, обусловленный временем t_0 , в течение которого звук проходит расстояние l от динамика до микрофона.

Таким образом, светящаяся точка на экране ЭЛТ участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях с одинаковой частотой ω , но с разными амплитудами и сдвигом по фазе. Найдём уравнение траектории светящейся точки на экране ЭЛТ, т. е. связь U_x с U_y . Для этого из уравнений (1) и (2) исключим время t .

Из уравнения (1) имеем: $\frac{U_x}{U_d} = \cos \omega t$, тогда $\sin \omega t = \sqrt{1 - \cos^2 \omega t} =$
 $= \sqrt{1 - \left(\frac{U_x}{U_d}\right)^2}.$

Из уравнения (2) получим: $\frac{U_y}{U_m} = \cos \omega t \cos \varphi - \sin \omega t \sin \varphi$. Подставив в

последнее выражение значения $\cos \omega t$ и $\sin \omega t$, получим: $\frac{U_y}{U_m} = \frac{U_x}{U_d} \cos \varphi -$

$$- \sqrt{1 - \left(\frac{U_x}{U_d}\right)^2} \sin \varphi, \text{ откуда } \sqrt{1 - \left(\frac{U_x}{U_d}\right)^2} \sin \varphi = \frac{U_x}{U_d} \cos \varphi - \frac{U_y}{U_m}.$$

После возведения обеих частей равенства в квадрат и несложных преобразований получаем:

$$\frac{U_x^2}{U_d^2} - 2 \frac{U_x U_y}{U_d U_m} \cos \varphi + \frac{U_y^2}{U_m^2} = \sin^2 \varphi. \quad (3)$$

Уравнение (3) является уравнением эллипса, т. е. на экране осциллографа будет виден эллипс. Нас будет интересовать случай, когда $\varphi = \pi k$, где $k = 0, 1, 2 \dots$. Тогда $\sin \varphi = 0$, $\cos \varphi = \pm 1$, и уравнение (3) примет вид:

$$\left(\frac{U_x}{U_d} \pm \frac{U_y}{U_m}\right)^2 = 0, \text{ т. е. } U_y = \pm \frac{U_m}{U_d} U_x. \quad (4)$$

Это уравнение прямой с углом наклона к горизонтальной оси $\alpha = \pm \operatorname{arctg} \frac{U_M}{U_D}$, но $\varphi = \omega t_0$, где $t_0 = \frac{t}{v_{зв}}$, тогда $\varphi = \frac{\omega t}{v_{зв}}$, где $v_{зв}$ — скорость распространения звука в воздухе.

Теперь становится понятно, как действовать дальше. Передвигая микрофон относительно динамика, добиваемся того, чтобы эллипс на экране осциллографа вырождался в отрезок, и изменяем расстояние l_k между микрофоном и динамиком.

В этом случае имеем:

$$\pi k = \omega \frac{l_k}{v_{зв}}. \quad (5)$$

Путём перемещения микрофона найдём следующее положение, при котором эллипс вырождается в отрезок, тогда

$$\pi(k+1) = \omega \frac{l_{k+1}}{v_{зв}}. \quad (6)$$

Вычитая из уравнения (6) уравнение (5), получаем: $v_{зв} = \frac{l_{k+1} - l_k}{2\pi} \omega$, где частота ω измеряется по шкале звукового генератора.

Подумайте и объясните, будет ли меняться положение отрезка на экране при переходе от расстояния l_k к l_{k+1} .

Оптика

80. Установим лист бумаги с пятном между двумя точечными источниками света так, чтобы он был перпендикулярен линии, соединяющей источники. Подберём расстояния l_1 и l_2 от источников до листа так, чтобы пятно не выделялось на фоне бумаги, если смотреть на него со стороны первого источника. Измерим расстояния l_1 и l_2 , пусть $\frac{l_1}{l_2} = k$.

Пятно не будет выделяться на фоне бумаги, если световые потоки $\Phi_{п}$ и Φ_6 , идущие соответственно с единицы площади пятна и чистой бумаги и попадающие в глаз наблюдателя, одинаковы. Бумага и пятно отражают и пропускают падающий на них свет равномерно во все стороны, тогда световые потоки $\Phi_{п}$ и Φ_6 пропорциональны освещённости пятна $E_{п}$ и освещённости бумаги E_6 соответственно.

Освещённость пятна в нашем случае равна сумме освещённости E_1 за счёт лучей, идущих от первого источника и отражённых пятном, и

освещённости E_2 за счёт лучей, идущих от второго источника и прошедших через пятно. Если учесть, что каждый участок бумаги (чистой и промасленной) можно охарактеризовать коэффициентами пропускания света $\alpha_{\text{п}}$ и α_6 , а также коэффициентами отражения $r_{\text{п}}$ и r_6 , то нетрудно получить, что

$$E_1 = r_{\text{п}} \frac{I_1}{l_1^2}, \quad E_2 = \alpha_{\text{п}} \frac{I_2}{l_2^2}, \quad (1)$$

$$E_{\text{п}} = E_1 + E_2 = r_{\text{п}} \frac{I_1}{l_1^2} + \alpha_{\text{п}} \frac{I_2}{l_2^2}.$$

Здесь I_1 и I_2 — сила света первого и второго источников соответственно. Аналогично, освещённость чистых участков бумаги $E_6 = r_6 \frac{I_1}{l_1^2} + \alpha_6 \frac{I_2}{l_2^2}$.

С учётом вышесказанного имеем: $E_{\text{п}} = E_6$, следовательно, $r_{\text{п}} \frac{I_1}{l_1^2} + \alpha_{\text{п}} \frac{I_2}{l_2^2} = r_6 \frac{I_1}{l_1^2} + \alpha_6 \frac{I_2}{l_2^2}$ или при том, что $l_2 = \frac{l_1}{k}$,

$$r_{\text{п}} I_1 + k^2 \alpha_{\text{п}} I_2 = r_6 I_1 + k^2 \alpha_6 I_2.$$

Теперь сделаем вторую часть опыта: подберём расстояния l'_1 и l'_2 от источников света до листа так, чтобы пятно не выделялось на фоне бумаги, если смотреть на него со стороны второго источника. Тогда, измерив l'_1 и l'_2 , обозначив $\frac{l'_1}{l'_2} = k'$ и проводя те же рассуждения, что и раньше, получим:

$$\alpha_{\text{п}} \frac{I_1}{(l'_1)^2} + r_{\text{п}} \frac{I_2}{(l'_2)^2} = \alpha_6 \frac{I_1}{(l'_1)^2} + r_6 \frac{I_2}{(l'_2)^2}, \quad (2)$$

$$\alpha_{\text{п}} I_2 + (k')^2 r_{\text{п}} I_2 = \alpha_6 I_1 + (k')^2 r_6 I_2.$$

В систему уравнений (1) и (2) входят пять неизвестных, и определить их все, конечно, нельзя. Но найти интересующую нас величину I_2 мы сумеем. Из уравнения (1) получаем:

$$I_1 (r_{\text{п}} - r_6) = k^2 I_2 (\alpha_6 - \alpha_{\text{п}}), \quad (1')$$

а из уравнения (2) имеем:

$$I_1 (\alpha_{\text{п}} - \alpha_6) = (k')^2 I_2 (r_6 - r_{\text{п}}). \quad (2')$$

Найдём из уравнения (1') отношение: $\frac{r_{\text{п}} - r_{\text{б}}}{\alpha_{\text{б}} - \alpha_{\text{п}}} = \frac{k^2 I_2}{I_1}$, а из уравнения (2') имеем: $\frac{r_{\text{п}} - r_{\text{б}}}{\alpha_{\text{б}} - \alpha_{\text{п}}} = \frac{I_1}{I_2 (k')^2}$. Таким образом, $\frac{k^2 I_2}{I_1} = \frac{I_1}{I_2 (k')^2}$, и оконча-

тельно имеем:

$$I_2 = \frac{I_1}{k \cdot k'}.$$

81. Для определения показателя преломления пластинки со скошенными гранями воспользуемся линейкой, транспортиром и карандашом, с помощью которого будем фиксировать два положения пластинки $ABCDE$. Расположим пластинку так, чтобы луч зрения EC был перпендикулярен грани AD (рис. 56, а).

Зафиксировав точку E , поворачиваем пластинку до тех пор, пока не наступит полное внутреннее отражение от грани CD (рис. 56, б), φ_1 — угол полного внутреннего отражения, φ_3 — угол падения луча из пластинки на грань AD , φ_2 — угол поворота пластинки (измеряется транспортиром), φ'_2 — угол преломления светового луча на выходе из пластинки, $\varphi'_2 = 90^\circ - \varphi_2$.

Измерим угол $CDE = \gamma$. Обозначим угол $E'OE = \delta$, тогда, согласно чертежу, $\delta = 180^\circ - \gamma$ и учитывая, что $\varphi_1 + \delta + \varphi_3 = 180^\circ$, получим:

$$\varphi_1 - \gamma + \varphi_3 = 0. \quad (1)$$

Выражение (1) вместе с выражениями

$$\sin \varphi_1 = \frac{1}{n}, \quad (2)$$

$$\frac{\sin \varphi'_2}{\sin \varphi_3} = \frac{\cos \varphi_2}{\sin \varphi_3} = n, \quad (3)$$

где n — показатель преломления, образует систему трёх уравнений с тремя неизвестными φ_3 , φ_1 , n .

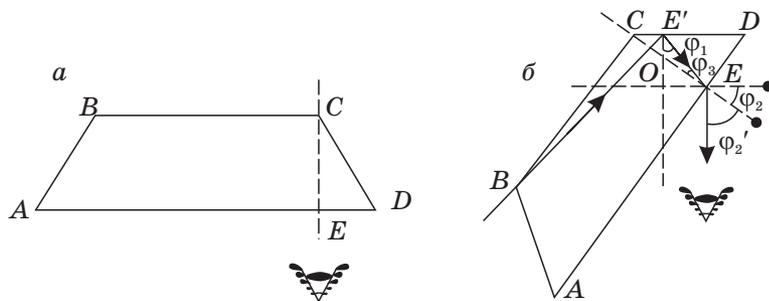


Рисунок 56

Из уравнения (1) находим $\varphi_3 = \gamma - \varphi_1$ и подставляем его в уравнение (3).

Тогда $\frac{\cos \varphi_2}{\sin(\gamma - \varphi_1)} = n$, что можно переписать так: $\frac{\cos \varphi_2}{\sin \gamma \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \cos \gamma} = n$.

Подставив в последнее выражение значение $\sin \varphi_1$ из выражения (2)

$\cos \varphi_1 = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_1} = \frac{\sqrt{n^2 - 1}}{n}$, получим: $\frac{\cos \varphi_2}{\frac{\sin \gamma \sqrt{n^2 - 1}}{n} - \frac{\cos \gamma}{n}} = n$. Решив по-

следнее уравнение относительно n , показатель преломления:

$$n = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{1 + 2 \cos \gamma \cos \varphi_2 + \cos^2 \varphi_2}.$$

82. Прямоугольный стеклянный брусок $ABCD$ (рис. 57) положим на лист бумаги KL так, чтобы его грань AB не совпадала с краем листа. Будем смотреть на неё через противоположную грань CD и, перемещая брусок, добьёмся кажущегося совпадения точки A с краем K . Измерив кажущуюся длину бруска DK и его действительную длину AD , можно определить показатель преломления стекла n .

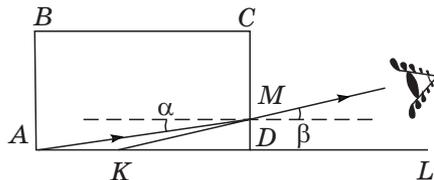


Рисунок 57

По определению показателя преломления:

$$n = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}. \quad (1)$$

Если смотреть на грань AB бруска так, чтобы углы α и β были малы (для этого глаз надо расположить чуть выше уровня грани AD), то $\sin \alpha \approx \text{tg} \alpha$ и $\sin \beta \approx \text{tg} \beta$. Из рисунка 57 следует, что $\text{tg} \alpha = \frac{|MD|}{|AD|}$, а

$$\text{tg} \beta = \frac{|MD|}{|KD|}.$$

Тогда из формулы (1) получаем:

$$n = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \approx \frac{\text{tg} \beta}{\text{tg} \alpha} = \frac{|AD|}{|KD|}.$$

83. Измерим штангенциркулем расстояния l и h (рис. 58). Зная их, нетрудно найти радиус сферической поверхности R :

$$R = \frac{l^2 + 4h^2}{8h}.$$

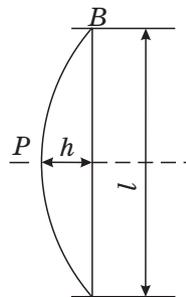


Рисунок 58

Используя источник света (лампочку), линзу и экран, найдём фокусное расстояние линзы:

$$F = \frac{fd}{f+d}.$$

Расстояния f и d измеряются линейкой. Далее используем формулу для фокусного расстояния линзы:

$$\frac{1}{F} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

В нашем случае $R_1 = R$, $R_2 = \infty$, т. е. $\frac{1}{F} = (n-1) \frac{1}{R}$, следовательно,

$$n = \frac{R}{F} + 1.$$

84. Измерим освещённость на неизвестном расстоянии x от источника света, пусть она равна E_1 . Теперь переместимся вдоль прямой, соединяющей источник света с первым положением, на расстояние l , которое измеряем линейкой. Снова измерим освещённость, пусть она равна E_2 . Законы освещённости позволяют записать:

$$\begin{cases} E_1 = \frac{I}{x^2}, \\ E_2 = \frac{I}{(x+l)^2}. \end{cases}$$

При записи системы уравнений предполагается, что рабочая поверхность люксметра перпендикулярна световым лучам (подумайте, как этого достичь). Решая систему уравнений, получаем:

$$E_2 = \frac{I}{\left(\sqrt{\frac{I}{E_1}} + l \right)^2}, \quad E_2 \left(\frac{I}{E_1} + 2 \frac{l}{\sqrt{E_1}} \sqrt{I} + l^2 \right) = I,$$

$$I(E_1 - E_2) - 2E_2 \sqrt{E_1} l \sqrt{I} - E_1 E_2 l^2 = 0.$$

Решая полученное квадратное уравнение относительно \sqrt{I} и учитывая, что $E_1 > E_2$, после громоздких, но несложных преобразований получаем:

$$\sqrt{I} = \frac{\sqrt{E_1 E_2} l}{\sqrt{E_1} - \sqrt{E_2}}.$$

Откуда

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

85. Положим между пластинками вырезанную в виде рамки картонную прокладку. Обмажем края пластинок и картона пластилином так, чтобы в образованную между пластинками воздушную полость не попадала жидкость. Полученную систему погрузим в стакан с водой, который стоит на листе бумаги. Посмотрим через стакан и пластинки на источник света (пластинки перпендикулярны направлению наблюдения), отметим начальное положение *I* пластинок на листе бумаги (рис. 59). Будем поворачивать пластинки в стакане до тех пор, пока вместо источника света мы не увидим блестящую поверхность пластинки, что объясняется явлением полного внутреннего отражения. Отметим новое положение *II* пластинок и измерим угол между начальным и конечным положениями пластинок, пусть он равен φ .

Тогда, как следует из рисунка 60:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_{\text{ст}}}{n_{\text{в}}}. \quad (1)$$

Для границы раздела стекло — воздух, где наблюдается полное внутреннее отражение, имеем:

$$\frac{\sin \beta}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{n_{\text{ст}}}. \quad (2)$$

Из равенств (1) и (2) следует, что

$$n_{\text{в}} = \frac{1}{\sin \alpha}.$$

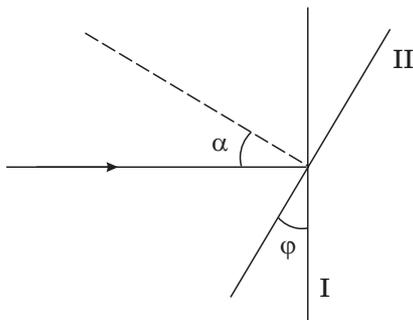


Рисунок 59

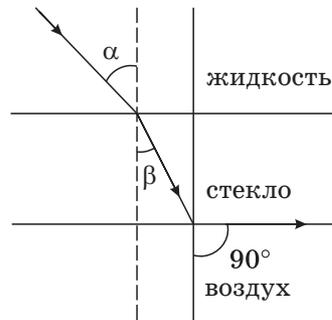


Рисунок 60

Из рисунка 59 видно, что угол α равен углу φ (углы с взаимно перпендикулярными сторонами), тогда:

$$n_{\text{в}} = \frac{1}{\sin \varphi}.$$

86. Первый способ. Соберём установку согласно схеме, изображённой на рисунке 61, а, где S — источник света (лампочка карманного фонарика), Л — линза, Э — экран. Получим на экране чёткое изображение нити лампочки и измерим d_1 и f_1 .

Из формулы $\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{d_2}$ найдём F — фокусное расстояние линзы:

$$F = \frac{f_1 d_1}{d_1 + f_1}.$$

Поместим между лампочкой и линзой кювету с исследуемой жидкостью (рис. 61, б), не меняя расстояния между источником света S и линзой Л. Добиваемся чёткого изображения нити лампочки на экране, считая кювету с жидкостью плоскопараллельной пластинкой. В этом случае «эффективное» расстояние d_2 , которое будет проходить свет от лампочки до линзы, будет равно:

$$d_2 = d_1 - l + nl,$$

где n — искомый показатель преломления.

В последнем выражении учтено, что скорость света в жидкости меньше, чем в вакууме, в n раз. Это приводит к дополнительным слагаемым $nl - l$. Тогда из формулы линзы, записанной теперь для d_2 и f_2 , находим:

$$n = 1 + \frac{F f_2}{(f_2 - F) l} - \frac{d_1}{l}.$$

Второй способ. Соберём схему согласно рисунку 62. Луч света, прошедший через узкую щель в экране, падает под малым углом α на кювету с исследуемой жидкостью (плоскопараллельную пластинку). Проводим перпендикуляр к боковой стенке кюветы в точке O падения

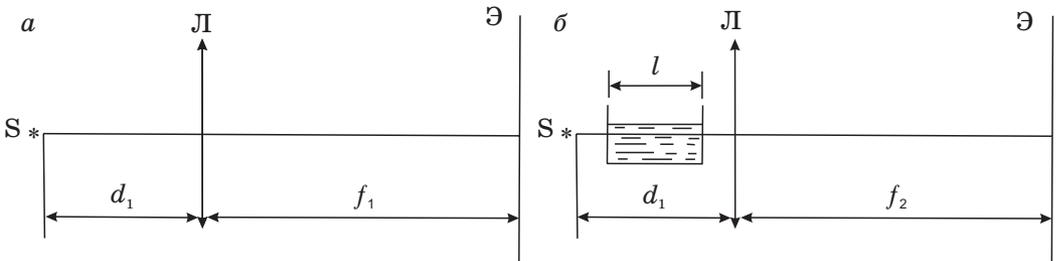


Рисунок 61

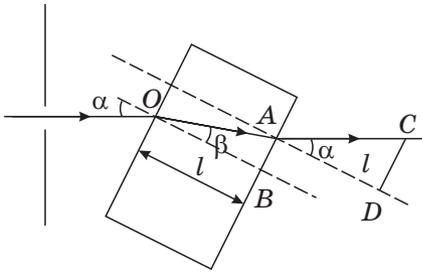


Рисунок 62

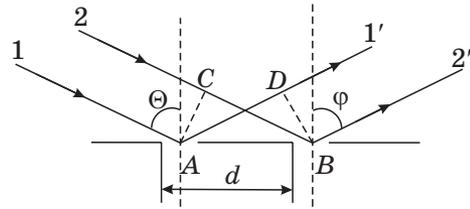


Рисунок 63

луча на кювету. Обозначим точку пересечения его с противоположной стенкой буквой B и отметим её булавкой. Отметим также булавкой точку A выхода луча из кюветы и восставим в ней перпендикуляр к стенке кюветы, отложим вдоль него отрезок $|AD| = |OB|$, где $|OB|$ — ширина кюветы. Через точку D проводим прямую, параллельную стенке кюветы.

Тогда $n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \approx \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\beta}$ (так как α и β малы). Из $\triangle OAB$ имеем: $\operatorname{tg}\beta = \frac{|AB|}{|OB|}$,

а из $\triangle ACD$ — $\operatorname{tg}\widehat{CAD} = \frac{|CD|}{|AD|}$. (Докажите самостоятельно, что $\angle CAD = \alpha$.)

Таким образом, $n = \frac{|CD|}{|AD|} : \frac{|AB|}{|OB|} = \frac{|CD|}{|AB|}$. Отрезки $|AB|$ и $|CD|$ измеряем при помощи миллиметровой бумаги.

87. Для определения длины волны света используем явление дифракции. Наблюдать дифракцию будем с помощью грампластинки, которая подобна отражательной дифракционной решётке. Если расстояние между бороздками пластинки равно d , то его можно рассматривать как период отражательной дифракционной решётки.

Пусть на отражательную решётку падает плоская волна длиной λ под углом Θ . В соответствии с принципом Гюйгенса — Френеля каждая точка отражающей поверхности становится самостоятельным точечным источником, излучающим свет во все стороны. Рассмотрим волны, идущие под углом φ к решётке (рис. 63). Их можно собрать в одну точку с помощью собирающей линзы, которую с успехом может заменить хрусталик глаза. Определим условие усиления волн при их сложении. Разность хода лучей 1 и 2 , идущих от соответствующих точек A и B двух соседних участков, равна:

$$|AD| - |BC| = d\sin\varphi - d\sin\Theta = d(\sin\varphi - \sin\Theta)$$

(мы учли, что AC — фронт падающей волны, а BD — отражённой). В случае если разность хода кратна длине волны, то фазы колебаний в

волнах, исходящих из точек A и B , будут одинаковыми и произойдёт усиление колебаний. Таким образом, имеем:

$$d|\sin\varphi - \sin\Theta| = k\lambda, \quad (1)$$

где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$. Определив d , углы Θ и φ из формулы (1), можно найти длину волны λ . Так как для грампластинки $d \gg \lambda$, то необходимо, чтобы модуль разности $|\sin\varphi - \sin\Theta|$ был как можно меньше. Но для хорошего наблюдения дифракционной картины необходимо, чтобы угол φ был велик. В таком случае большим должен быть и угол Θ . Именно поэтому удобно использовать наклонное падение лучей на решётку.

Установив теперь лампу возле стены комнаты и пропуская свет от неё через щель в картонном экране, положим пластинку горизонтально около противоположной стены и найдём изображение щели (рис. 64). Это положение будет соответствовать $k = 0$ в формуле (1). По обе стороны от изображения щели будут видны цветные полосы (объясните их появление). Закрыв отверстие в экране светофильтром (красное стекло), получим узкие одноцветные линии.

Определим $\sin\varphi_1$, т. е. синус угла, соответствующего значению $k = 1$ в формуле (1). Для этого попросим учащегося подержать карандаш над щелью так, чтобы его изображение в отражённом от решётки (как от плоского зеркала) свете совпало с первым дифракционным максимумом (рис. 64). Так как a , b и h легко измерить линейкой, то можно найти:

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

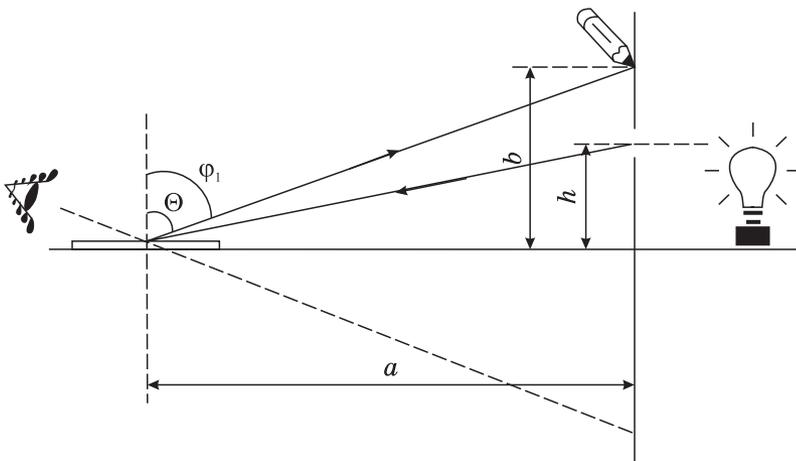


Рисунок 64

Учитывая, что $a \gg b$ и $a \gg h$ и используя известную приближённую формулу $\sqrt{1+\alpha} \approx 1 + \frac{\alpha}{2}$ при малых α , получим:

$$\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{b}{a}\right)^2}} \approx 1 - \frac{1}{2} \frac{b^2}{a^2} \quad \text{и} \quad \frac{a}{\sqrt{a^2+h^2}} \approx 1 - \frac{1}{2} \frac{h^2}{a^2}.$$

Окончательно из уравнения (1) при $k=1$ получим:

$$\lambda = d \frac{|h^2 - b^2|}{2a^2}.$$

Период решётки d легко найти, определив расстояние l , на которое перемещается за время Δt вдоль радиуса игла при проигрывании пластинки:

$$d = \frac{l}{n\Delta t},$$

где n — число оборотов пластинки в единицу времени.

88. Выделим с помощью двух кусков картона узкий параллельный пучок света и направим его на зеркало (рис. 65). Крайний луч пучка A_1A после отражения от зеркала пойдёт по направлению AD (визуально это будет граница света и тени). На произвольном расстоянии l от полюса зеркала отметим точку C . Проведём через неё перпендикулярно главной оптической оси зеркала прямую до пересечения с отражённым лучом. Измерим отрезок CD , где D — точка пересечения этой прямой с отражённым лучом. Пусть $|CD| = b$. Тогда из подобия треугольников

$$ABF \text{ и } DCF \text{ следует: } \frac{|CF|}{|BF|} = \frac{|DC|}{|AB|}.$$

Учитывая, что пучок узкий и, следовательно, $|BF| \approx F$, получим:

$$\frac{l+F}{F} = \frac{b}{a}.$$

Откуда

$$F = \frac{al}{b-a}.$$

Отрезки a и b легко измерить.

89. Расположим приборы согласно схеме, изображённой на рисунке 66. Измерим диаметр пятна D_0 на экране, расстояние от линзы до экрана l и апертуру линзы h .

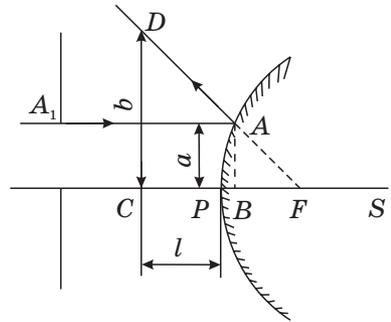


Рисунок 65

Из подобия треугольников FAB и $FA'B'$ имеем:

$$\frac{h}{F} = \frac{D_0}{l+F},$$

откуда

$$F = \frac{hl}{D_0 - h}.$$

Оптическая сила

$$D = \frac{D_0 - h}{hl}.$$

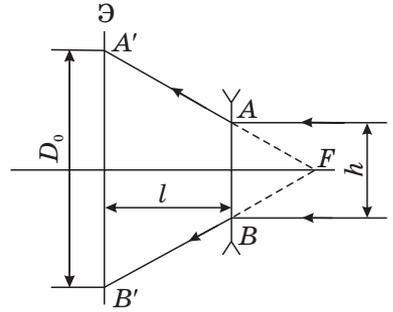


Рисунок 66

Возможны и другие способы решения.

90. Расположим между освещённым предметом и экраном собирающую и рассеивающую линзы. Рассмотрим ход лучей через них (рис. 67). Пусть S — точка предмета, тогда S_1 — точка изображения, даваемого одной собирающей линзой. Если на пути лучей, преломлённых собирающей линзой A , поставить рассеивающую линзу B так, чтобы расстояние O_1S_1 было меньше её фокусного расстояния (в первом, оценочном, расчёте фокусного расстояния рассеивающей линзы F_1 это можно не делать, так как мы его знаем), то изображение точки S , т. е. точка S_2 , даваемая совместно линзами A и B , удалится от линзы A . Это необходимо сделать, так как относительная погрешность измерения больших расстояний меньше, чем малых. Применим теперь принцип обратимости световых лучей, т. е. будем мысленно рассматривать лучи, идущие от S_2 в обратную сторону. Тогда точка S_1 — мнимое изображение точки S_2 после прохождения лучей через рассеивающую линзу B . Пусть $|S_1O_1| = f$, а $|S_2O_1| = d$, тогда по формуле линзы (с учётом знаков) имеем:

$$-\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f},$$

$$F_1 = \frac{fd}{d-f}.$$
(1)

Измерения выполняем следующим образом.

Добиваемся чёткого изображения на экране с помощью одной собирающей линзы A . Это позволяет нам найти положение точки S_1 . Ставим

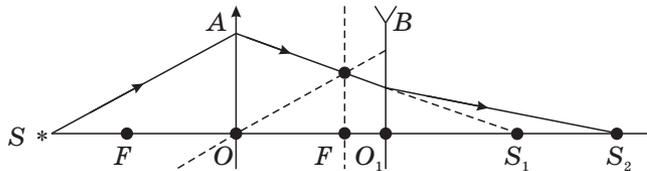


Рисунок 67

рассеивающую линзу B и снова получаем чёткое изображение на экране путём перемещения экрана. Это позволяет найти положение точки S_2 . Теперь остаётся только измерить линейкой расстояния $|S_1O_1|$ и $|S_2O_1|$ и подставить полученные значения в формулу (1).

Пути уменьшения погрешности следуют из анализа ошибок, даваемых формулой (1). Один из них мы уже обсуждали, второй — подобрать расположение линз, экрана, предмета так, чтобы d и f не были близки друг к другу.

Объясните, почему при этом погрешность измерения уменьшается.

91. Для определения разрешающей способности глаза необходимо иметь объект наблюдения. В качестве объекта возьмём лист белой бумаги с двумя точками на расстоянии $d = 1$ мм друг от друга. Закрепив этот лист вертикально, измерим максимальное расстояние l , с которого ещё можно различить эти точки (рис. 68).

Разрешающую способность глаза определим по формуле

$$\varphi = \frac{d}{l} (\text{рад}) \approx \frac{d}{l} 3420'.$$

Для исследования зависимости разрешающей способности глаза от диаметра отверстия, через которое рассматривается объект, в полосе миллиметровой бумаги иглой проколем отверстия диаметром 0,5 мм, 1 мм, 1,5 мм и т. д.

По итогам исследования следует построить график зависимости разрешающей способности глаза от диаметра отверстия в экране. Подумайте, что будет с разрешающей способностью, если диаметр отверстия меньше диаметра зрачка.

92. Натянем волос между зажимами микроскопа и получим его резкое изображение, вращая винт тубуса микроскопа. Разместим рядом с волосом полоску миллиметровой бумаги таким образом, чтобы один край изображения волоса, полученного с помощью микроскопа и наблюдаемого одним глазом, совпал с линией миллиметровой бумаги, наблюдаемой невооружённым глазом, и измерим толщину волоса d' . Зная увеличение микроскопа, равное произведению увеличения окуляра и объектива $k = k_1 \cdot k_2$, рассчитаем истинную толщину волоса: $d = d' \cdot k^{-1}$.

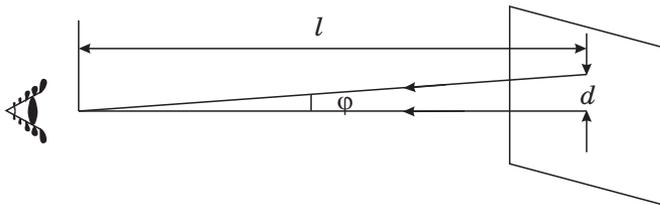


Рисунок 68

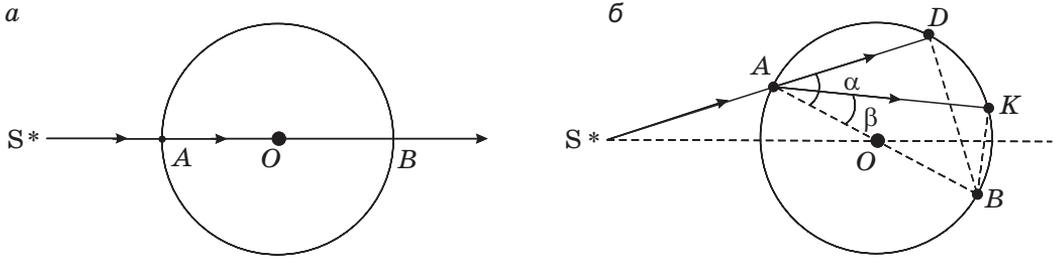


Рисунок 69

93. Заполним наполовину стакан водой и оклеим его по периметру бумагой, в которой вырезана узкая щель вдоль образующей стакана. На некотором расстоянии расположим источник света S так, чтобы он, центр стакана O и изображение источника B лежали на одной прямой (рис. 69, а). Очевидно, что $|AO| = |OB| = r$.

Повернём стакан на некоторый угол (рис. 69, б). При этом луч света, исходящий из источника S , проходит в стакане над поверхностью воды по направлению SAD . Точка D — изображение щели на стакане над поверхностью воды (помечаем её карандашом). Луч света, проходящий внутри стакана через слой жидкости, преломляется и даёт изображение щели в точке K . Из рисунка видно, что угол α является углом падения, угол β — углом преломления. На основании закона преломления имеем:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c}{c_1}.$$

$\widehat{ADB} = \widehat{AKB} = 90^\circ$ (углы опираются на диаметр). Из $\triangle ADB$ находим, что $BD = AB \cdot \sin \alpha = 2r \cdot \sin \alpha$, т. е. $\sin \alpha = \frac{BD}{2r}$. Из $\triangle AKB$ получаем: $\sin \beta = \frac{BK}{2r}$.

Тогда $n = \frac{BD}{BK}$ и, наконец, $\frac{c}{c_1} = \frac{BD}{BK}$, т. е. $c_1 = c \frac{BK}{BD}$.

Таким образом, определение скорости света в воде сводится к определению расстояний BK и BD , т. е. смещений изображений щели по сравнению с первоначальным положением. Эти расстояния легко определить с помощью линейки.

Содержание

От авторов	3
Задачи	4
Механика	4
Давление жидкостей и газов	5
Молекулярная физика и тепловые явления	6
Электродинамика	8
Колебания и волны	12
Оптика.....	12
Задачи для самостоятельного решения	14
Физика вокруг.....	19
Решения	21
Механика.....	21
Давление жидкостей и газов.....	33
Молекулярная физика и тепловые явления.....	40
Электродинамика.....	51
Колебания и волны.....	69
Оптика.....	74

Учебное издание

**Курочкин Юрий Андреевич
Довнар Эдуард Александрович
Сидорович Пётр Николаевич**

Экспериментальные олимпиадные задачи по физике

Редактор	<i>Е. А. Пастушенко</i>
Художник обложки	<i>К. К. Шестовский</i>
Художественный редактор	<i>А. И. Цвирко</i>
Компьютерный набор	<i>А. И. Цвирко</i>
Компьютерная вёрстка	<i>А. И. Цвирко</i>
Корректоры	<i>Е. А. Пастушенко, М. М. Шавыркина</i>

Подписано в печать 01.12.2020. Формат 70×100 ¹/₁₆.

Бумага офсетная № 1. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 7,15. Уч.-изд. л. 4,3. Тираж 1000 экз. Заказ 157.

РУП «Издательство “Адукацыя і выхаванне”».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/19 от 02.08.2013.

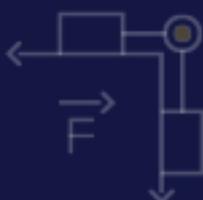
Ул. Будённого, 21, 220070, г. Минск.



Открытое акционерное общество «СУГАРТ».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 2/175 от 01.04.2015.

Ул. Кнорина, 50, корп. 8, каб. 305, 220103, г. Минск.



ISBN 978-985-599-289-0



9 789855 992890

12+

ERC

