Федеральный государственный образовательный стандарт
Образовательная система «Школа 2100»

С.М.Андрюшечкин

Физика в опытах и задачах
Факультативный курс

к учебнику
«ФИЗИКА»
7 класс

БАЛАСС

Федеральный государственный образовательный стандарт
Образовательная система «Школа 2100»

С.М. Андрюшечкин

ФИЗИКА В ОПЫТАХ И ЗАДАЧАХ

Факультативный курс

7 класс

Москва
БАЛАСС
2018

УДК 53(075)
ББК 22.3я7
А65

Федеральный государственный образовательный стандарт
Образовательная система «Школа 2100»
Руководитель издательской программы – доктор пед. наук, проф.,
член-корр. РАО Р.Н. Бунеев

Андрюшечкин, С.М.
А65 Физика в опытах и задачах: факультативный курс к учебнику «Физика». 7 кл. / С.М. Андрюшечкин. – М. : Баласс, 2018. – 96 с.
(Образовательная система «Школа 2100»)

ISBN 978-5-906567-50-5

Пособие «Физика в опытах и задачах» предназначено для организации факультативных занятий по физике в 7 классе общеобразовательных учреждений образования, является составной частью учебно-методического комплекса для 7-го класса.

Учебник «Физика» для 7 класса (автор С.М. Андрюшечкин) соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту основного общего образования, является начальным звеном непрерывного курса физики и составной частью комплекта учебников развивающей образовательной системы «Школа 2100».

УДК 53(075)
ББК 22.3я7

ISBN 978-5-906567-50-5

Предисловие

Пособие для факультативных занятий «Физика в опытах и задачах» предназначено для тех учеников 7 класса, кто намерен расширить и углубить свои знания о природе. Это книга для тех, кто не боится браться за сложные задачи, кто не пасует перед затруднениями, возникающими при решении таких задач. Это книга для тех, кто готов работать и «головой», и «руками», кто готов

– самостоятельно выдвигать предположения (гипотезы) по решению проблемы;

– придумывать (конструировать) экспериментальную установку;

– проводить опыты;

– обдумывать полученные в опыте результаты и даже, если гипотеза не подтвердилась, вновь «штурмовать» проблему.

Это книга для тех, кому доставляет удовольствие задавать вопросы природе и находить на них ответы, кто получает удовольствие от движения к вершинам знаний и от вида новых вершин, которые становятся видны только тому, кто стремится к ним.

Пособие состоит из трёх частей. В *первой части* изложены сведения и факты, дополняющие учебник; рассмотрены приёмы решения задач; рассказывается о правилах проведения экспериментальных работ. Здесь же приведены условия задач[1], которые вам предстоит решать. Материал первой части пособия разбит на отдельные разделы, а внутри раздела расположен в соответствии с порядком изложения материала в учебнике «Физика. 7 класс». Во *второй части* пособия содержатся указания по решению некоторых задач. Рекомендуем обращаться к этой части пособия только тогда, когда даже после многочисленных попыток задача не решена. В *третьей части* пособия приведены решения и ответы. Решив задачу, сравните ваш способ решения с тем, что приведён в пособии, и оцените, какой из способов быстрее, проще и красивее ведёт к цели.

[1] Часть задач составлена автором, а часть заимствована из общеизвестных сборников олимпиадных задач.

Часть 1. Опыты и задачи факультатива

Знание – только тогда знание, когда оно приобретено усилиями своей мысли, а не памяти.

Л. Н. Толстой (1828–1910)

РАЗДЕЛ 1. ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ

§ 1. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ И ВРЕМЕНИ

Человек живёт в пространстве-времени. Поэтому не случайно у людей в первую очередь возникла потребность в измерении расстояний между телами, размеров тел и промежутков времени.

Измерение линейных размеров. Размеры небольших предметов измеряют масштабными линейками с точностью до 0,5 мм. Для измерения линейных размеров тел с точностью до 0,1 мм используют *штангенциркуль* (рис. 1). Основная деталь штангенциркуля – линейка *1* с сантиметровыми и миллиметровыми делениями (цена деления 1 мм).

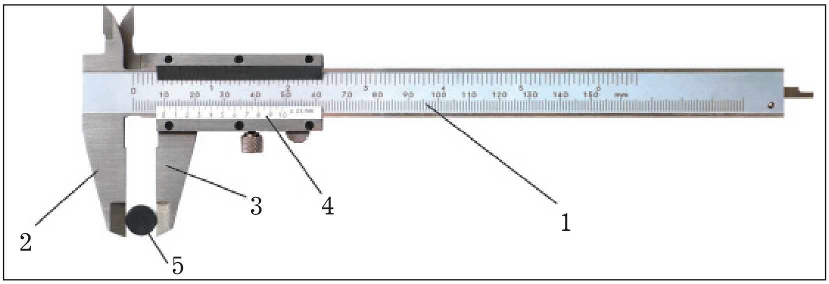


Рис. 1

На одном из концов линейки закреплена губка *2*. По линейке скользит рамка с другой губкой *3*. В рамке сделано окошко, по внутреннему краю которого нанесена дополнительная шкала – *нониус 4*. Измеряемый предмет 5 зажимают между губками штангенциркуля.

При определении размера предмета сантиметры и целые миллиметры отсчитывают по шкале линейки до нулевого штриха нониуса. Десятые доли миллиметра отсчитывают по нониусу до того штриха нониуса, который совпадает со штрихом шкалы на линейке.

Как устроен нониус и как с его помощью удаётся измерять десятые доли миллиметра? Десять делений дополнительной шкалы – нониуса – равны 9 мм; следовательно, одно деление нониуса составляет 0,9 мм. Сомкнём губки штангенциркуля вплотную. При этом нулевой штрих нониуса точно совпадает с нулевым штрихом шкалы линейки. Но первый штрих нониуса не дойдёт до первого штриха линейки на 0,1 мм (1 мм – 0,9 мм = 0,1 мм). Второй штрих нониуса не дойдёт до второго штриха линейки на 0,2 мм и так далее.

Раздвинем губки штангенциркуля. Если зазор между ними будет в 0,1 мм, то первый штрих нониуса совпадает с первым штрихом линейки. При зазоре в 0,2 мм второй штрих нониуса совпадает со вторым штрихом линейки и так далее. Таким образом, штрих нониуса, точно совпадающий с каким-либо штрихом линейки, покажет число десятых долей миллиметра между губками штангенциркуля (рис. 2).

Размер предмета равен сумме числа целых миллиметров, определённых по шкале линейки, и десятых долей миллиметра, определённых по нониусу.

Ещё точнее, чем штангенциркулем, измерение размеров малых предметов производят микрометром (рис. 3). Точность измерения – 0,01 мм. Микрометр состоит из стальной скобы *1*, имеющей слева неподвижный упор (пятку) *2*, а справа стебель *3*. Внутри стебля вращается микрометрический винт *4*. Измеряемый предмет *5* помещают между пяткой и микрометрическим винтом, который осторожно подводят до соприкосновения с предметом при помощи трещотки *6*. Микрометрический винт

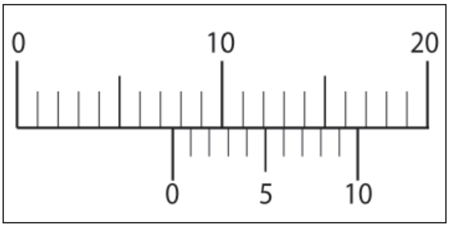


Рис. 2. На этом рисунке нониус (нижняя шкала) показывает 7 целых 6 десятых деления основной верхней шкалы

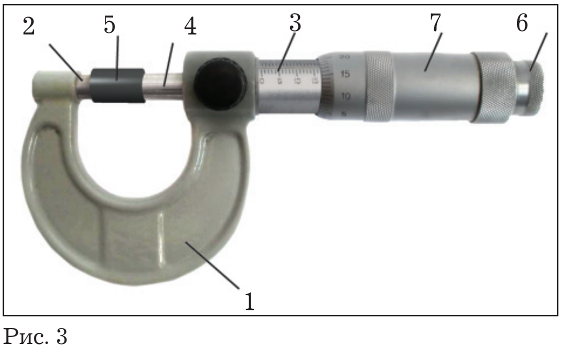


Рис. 3

скреплён с барабаном 7, по левому краю которого нанесены деления. Поворот барабана на одно деление приводит к смещению винта на 0,01 мм.

Размеры предмета с точностью до 0,5 мм определяют по неподвижной шкале на стебле. Сотые доли миллиметра дополнительно отсчитывают по делению шкалы барабана, совпавшему с продольной линией на стебле.

Измерение времени. При измерении времени в качестве единицы измерения ещё в древности были выбраны сутки и год. Как вы знаете, сутки равны продолжительности одного оборота Земли вокруг своей оси, а год – это время обращения Земли вокруг Солнца (рис. 4).

$$1 \text{ год} = 365{,}2564 \text{ сут.}$$

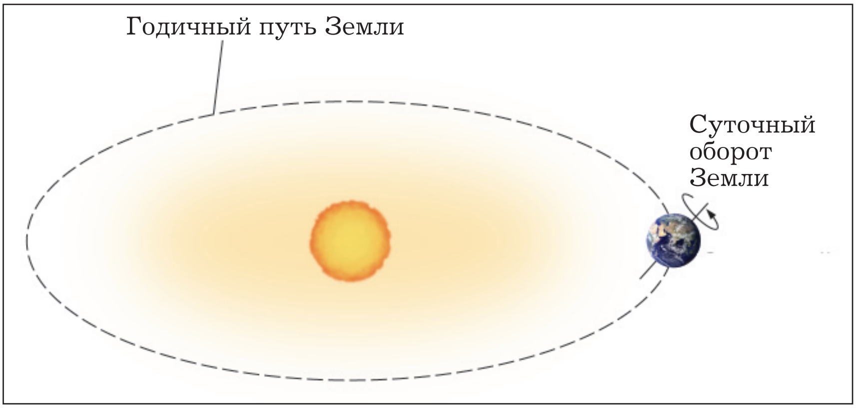


Рис. 4

Ещё в древнем Вавилоне сутки были поделены на 24 часа, а в дальнейшем час – на 60 минут, минута – на 60 секунд. Таким образом,

$$1 \text{ сут.} = 24 \times 60 \times 60 \text{ с.}$$

$$1 \text{ сут.} = 86400 \text{ с.}$$

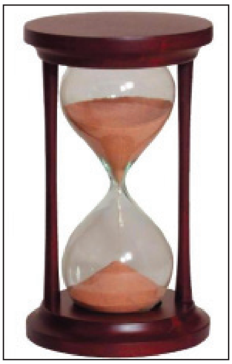


Рис. 5

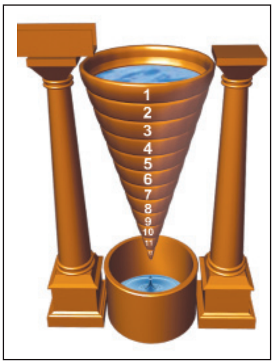


Рис. 6

Первыми простейшими приборами для измерения времени являлись песочные и водяные часы (рис. 5, 6).

1.1. Как может быть объяснено происхождение выражения «С тех пор много воды утекло» или «Ваше время истекло»?

1.2. Почему в водяных часах, изображённых на рисунке 6, использован сосуд, имеющий форму конуса, основанием вверх?

Следующим важным шагом в измерении времени стало изобретение механических часов. В качестве регулятора хода часов был применён маятник – груз, подвешенный на тонком стержне и совершающий колебания. В наручных механических часах вместо качающегося маятника используют балансир – небольшое колёсико. Балансир удерживается пружиной и колеблется около положения равновесия, двигаясь то в одну, то в другую сторону.

В наше время на смену механическим часам пришли сложные электронные устройства. В кварцевых часах взамен колебаний маятника или балансира используют упругие колебания кристалла. В молекулярных, атомных часах измерение времени основано на способности частиц (молекул, атомов) поглощать и излучать электромагнитные колебания строго определённой частоты. В таких устройствах точность измерения времени такова, что ошибка в одну секунду могла бы «накопиться» за несколько миллионов лет работы.

Практическая работа «Измерение размеров тел».

Оборудование: масштабная линейка, штангенциркуль, микрометр, ножницы, плотная бумага или картон, брусок, одинаковые монеты.

Ход работы:

Задание 1. Изготовление модели[1] нониуса.

1. Вырежьте из плотной бумаги или картона полоску длиной 15 см и нанесите на один край полосы деления через 1 см.

2. Вырежьте вторую полоску длиной 9 см и нанесите на её край деления через 0,9 см.

3. С помощью изготовленной модели нониуса измерьте размер бруска (рис. 7). Используя масштабную линейку, проконтролируйте правильность измерения, выполненного с помощью модели нониуса.

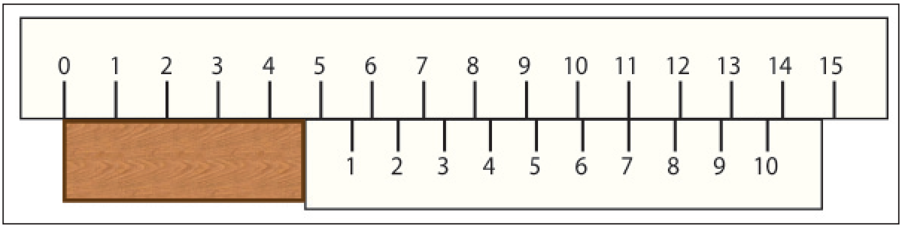


Рис. 7

Задание 2. Измерение диаметра и толщины монеты.

1. С помощью масштабной линейки, штангенциркуля, микрометра измерьте диаметр и толщину монеты.

2. Оцените относительную погрешность проведённых измерений.

1.3. В каком из измерений, проведённых при выполнении задания 2 практической работы, получен наименее точный результат?

Метод рядов. Когда значение измеряемой величины меньше или ненамного превосходит цену деления прибора, результат измерения неточен. Однако и в такой ситуации существует метод существенного улучшения качества измерения – это *метод рядов*.

Метод рядов применим тогда, когда имеется несколько одинаковых тел. В этом случае производят измерение суммарного значения величины для всех тел (длины, объёма, массы и так далее). Разделив затем полученное значение величины на число тел, находят значение величины для одного тела.

1.1. Используя метод рядов, с помощью масштабной линейки измерьте диаметр и толщину монеты. Оцените относительную погрешность проведённых измерений.

1.2. Используя метод рядов, с помощью мензурки измерьте объём гайки или дробинки.

§ 2. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ

Приближённые вычисления[1]. Проводя эксперименты, как правило, измеряют значения некоторых физических величин. Полученные при этом данные часто используют для определения других физических величин. Например, измерив путь и время движения шарика по наклонному жёлобу, вы можете определить его среднюю скорость.

2.1. Будет ли в результате вычислений получено точное значение скорости?

При проведении такого рода вычислений следует помнить, что значения измеряемых величин всегда определяются с некоторой погрешностью. Поэтому и результат вычислений не может претендовать на звание «точное значение физической величины». А сами вычислительные действия (отдельные вычислительные операции) необходимо проводить *по правилам приближённых вычислений*.

Введём понятия, которые в дальнейшем будем использовать при приближённых вычислениях.

– **Значащие цифры.** *Значащими цифрами числа называют все его цифры, кроме нулей, стоящих левее первой отличной от нуля цифры, и нулей, стоящих в конце числа, если они стоят взамен неизвестных или отброшенных цифр.*

[1] При написании этого раздела параграфа использованы материалы пособий: Демкович В.П., Прайсман В.Я. Приближённые вычисления в школьном курсе физики: книга для учителя. 2-е издание, перераб. / В.П. Демкович, В.Я. Прайсман. М.: Просвещение, 1983; Физический практикум для классов с углублённым изучением физики: 10–11 кл. : 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.И. Дик, О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов [и др.] ; под. ред. Ю.И. Дика, О.Ф. Кабардина. М.: Просвещение, 2002.

Приведём примеры. В числе 0,0204 три значащие цифры (0,0<u>204</u>). В числе 0,080 две значащие цифры (0,0<u>80</u>), это число задано с точностью до тысячных. Нуль, записанный в конце десятичной дроби, – всегда значащая цифра (иначе этот нуль просто не писали бы). Пусть расстояние между двумя городами 2700 км. Если это число задано с точностью до сотен, то в числе две значащие цифры, а два нуля – незначащие (поставлены взамен неизвестных цифр). Пусть масса гранитной глыбы 1200 кг. Если это число задано с точностью до целых, то оно имеет четыре значащих цифры, а если с точностью до десятков – три значащих цифры.

– **Верные цифры.** *Если погрешность приближённого числа не превышает единицы последнего разряда, то все значащие цифры приближённого числа называют верными.* Например, измерим длину стержня линейкой с ценой деления 1 мм. Погрешность измерения – 0,5 мм. Пусть результат измерения – 37 мм. В этом результате обе цифры верные.

Следует иметь в виду, что в справочных таблицах числа записаны с точностью до половины единицы последнего разряда, то есть все табличные данные содержат только верные цифры. Пусть, например, в справочной таблице «Скорости, встречающиеся в военной технике» приведено значение скорости пули при вылете из ствола автомата Калашникова: v = 715 м/с. Значит, здесь три значащих цифры, погрешность скорости Δv равна

$$\Delta v = \frac{1\ \text{м/с}}{2}.$$

– **Сомнительные цифры.** При измерениях, и особенно при вычислениях, возможна ситуация, когда результат имеет погрешность, превышающую единицу последнего разряда. Например, при измерении объёма жидкости мензуркой с ценой деления 10 мл получен результат: $V = (120 \pm 5)$ мл. Цифра 0 в числе 120 не является верной, так как погрешность больше единицы последнего разряда. *Если в приближённом числе все значащие цифры, кроме последней, являются верными, но погрешность числа превышает единицу последнего разряда, то цифру этого разряда называют сомнительной.* Допустим, результат измерения длины $L = (75{,}3 \pm 0{,}2)$ мм. Здесь цифры 7 и 5 – верные, цифра 3 – сомнительная, так как погрешность превышает единицу последнего разряда (десятых): 0,2 > 0,1.

Общепринятым является следующее **правило записи приближённых значений числа:**

– *В приближённых значениях чисел, полученных в результате измерения или вычисления, сохраняют все верные цифры и одну сомнительную.*

– *Цифры числа, следующие за верными и одной сомнительной, не пишут.*

– *Погрешность округляют до одной значащей цифры.*

Например, было получено значение массы тела

$$m = (27{,}47 \pm 0{,}28)\ \text{г}.$$

Округляем погрешность определения массы тела до одной значащей цифры ($\pm$ 0,3 г), округляем приближённое значение массы тела до десятых (27,5 г) и записываем результат следующим образом:

$$m = (27{,}5 \pm 0{,}3)\ \text{г}.$$

2.2. Сколько верных цифр в данном числе? Сколько сомнительных цифр? Чему равна относительная погрешность измерения массы тела ε_m?

Другой пример. Вместо записи $S = (5391 \pm 38)$ м при округлении погрешности до одной значащей цифры получим $S = (5391 \pm 40)$ м. Это означает, что цифра десятков в числе 5391 сомнительна, а цифра единиц неверна. Правильная запись: $S = (5390 \pm 40)$ м. При $S = (5398 \pm 40)$ м верной будет запись: $S = (5400 \pm 40)$ м.

Следует также обращать внимание на использование нуля в качестве значащей цифры. Например, запись $x = (2{,}4 \pm 0{,}08)$ мм не является верной. Правильная запись: $x = (2{,}40 \pm 0{,}08)$ мм.

Теперь сформулируем основные **правила приближённых вычислений.**

Правило 1. *При умножении и делении приближённых значений чисел следует сохранять в результате столько значащих цифр, сколько имеет приближённое данное с наименьшим числом верных значащих цифр.*

Пример. Наблюдатель услышал гром через (5,2 $\pm$ 0,1) с после того, как увидел молнию. На каком расстоянии S от него вспыхнула молния? Скорость звука примите равной 346 м/с.

Вычисления:

$$S = 346\ \text{м/с} \cdot 5{,}2\ \text{с}.$$

$$S = 1799{,}2\ \text{м}.$$

$$S = 1800\ \text{м}.$$

Комментарий: в числе 346 три верных значащих цифры, а в числе 5,2 – две. Применяя правило 1, сохраняем в произведении две значащие цифры. Оба нуля справа в числе 1800 незначащие.

Правило 2. *При сложении и вычитании приближённых значений чисел, в записи которых все цифры верные, в результате следует сохранять столько десятичных знаков, сколько их имеет приближённое данное с наименьшим числом десятичных знаков.*

Пример. 6,28 + 13,1 + 5,482 = 24,862 = 24,9.

Комментарий: в результате сохранили один десятичный знак.

Сформулированные правило 1 и правило 2 образно можно назвать *«правилами ориентации на "слабое звено"».*

Пример обработки результатов измерений. Пусть при движении шарика по наклонному жёлобу были измерены пройденный путь S и время движения t:

$$S = (97 \pm 1) \text{ см},$$

$$t = (3{,}0 \pm 0{,}2) \text{ с}.$$

Необходимо определить среднюю скорость шарика v.

1. Вычислим относительные погрешности[1] измерения пути S и времени t.

$$\varepsilon_S = \frac{\Delta S}{S}, \qquad \varepsilon_S = \frac{1 \text{ см}}{97 \text{ см}} = 0{,}01.$$

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta t}{t}, \qquad \varepsilon_t = \frac{0{,}2 \text{ с}}{3{,}0 \text{ с}} = 0{,}07.$$

Вычислим относительную погрешность ε_v измерения скорости v.

Так как погрешность измерения скорости определяется погрешностями измерения пути и времени, то относительная погрешность скорости ε_v равна *сумме* относительных погрешностей пути ε_S и времени ε_t.

$$\varepsilon_v = \varepsilon_S + \varepsilon_t, \qquad \varepsilon_v = 0{,}01 + 0{,}07, \qquad \varepsilon_v = 0{,}08.$$

2. Вычислим скорость v.

$$v = \frac{S}{t}, \qquad v = \frac{97 \text{ см}}{3{,}0 \text{ с}}, \qquad v = 32{,}33 \text{ см/с},$$

$$v = 32 \text{ см/с}.$$

3. Вычислим погрешность измерения скорости Δv.

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta v}{v},$$

отсюда $\Delta v = \varepsilon_v \, v$,

$$\Delta v = 0{,}08 \cdot 32 \text{ см/с} = 2{,}56 \text{ см/с}.$$

$$\Delta v = 3 \text{ см/с}.$$

4. Запишем итоговый результат в виде

$$v = (32 \pm 3) \text{ см/с}.$$

2.3. Сколько верных цифр в приближённом значении скорости?
Сколько сомнительных цифр?
Соответствует ли итоговая запись значения скорости правилу записи приближённых значений чисел?

[1] Формулы расчёта относительной погрешности приведены на переднем форзаце пособия.

Построение графиков. С какой целью строят графики? Графики позволяют получить наглядное представление о зависимости одной физической величины от другой. Общие правила построения графиков рассмотрим на примере построения графика зависимости температуры воды от времени её охлаждения. Пусть в вашем распоряжении имеется банка с горячей водой, термометр (с ценой деления 2 °C), часы. В банку с горячей водой поместим термометр и через равные промежутки времени τ[1] будем измерять её температуру t. Результаты измерений занесём в таблицу 1.

Таблица 1. Значение температуры воды (t, °C) в различные моменты времени (τ, мин). $\Delta t = \pm 1$ °C, $\Delta\tau = \pm 0{,}5$ мин

Время охлаждения воды τ, мин	0	5	10	15	20	25
Температура воды t, °C	70	64	58	53	49	45
Время охлаждения воды τ, мин	30	35	40	45	50	55
Температура воды t, °C	42	39	36	34	32	30
Время охлаждения воды τ, мин	60	65	70	75	80	85
Температура воды t, °C	29	28	27	26	25	24
Время охлаждения воды τ, мин	90	95	100	105	110	115
Температура воды t, °C	23	21	22	21	21	21

Строить графики следует на *миллиметровой бумаге*, это упрощает и построение, и дальнейшее использование графиков. Значения аргумента (независимой величины) откладывают по горизонтальной оси X (оси абсцисс). В рассматриваемом нами примере по оси X будут отложены значения времени. Значения функции (зависимой величины) откладывают по вертикальной оси Y (оси ординат). В рассматриваемом нами примере по оси Y будут отложены значения температуры.

Перед построением графика следует, исходя из пределов, в которых изменяются значения аргумента и функции, выбрать разумные масштабы по оси X и оси Y. Эти масштабы выбирают независимо друг от друга, но так, чтобы график не был слишком мелким или, наоборот, слишком растянутым по одной из осей. Полезно перед построением графика сначала сделать эскиз – предварительное упрощённое построение.

[1] τ – буква греческого алфавита, читается: тау.

На оси наносят масштабные деления, около них отмечают соответствующие цифры. У концов координатных осей указывают обозначения откладываемых величин[1], единицы их измерения. На рисунке 8 показан в качестве примера график зависимости температуры воды от времени её охлаждения. (График построен по данным, приведённым в таблице 1). Иногда интервал, в котором изменяются значения аргумента или функции, лежит далеко от нуля. В этом случае целесообразно начинать деления на соответствующей оси не с нуля, а с некоторого значения. Это позволит более рационально использовать площадь графика. Так, в рассматриваемом примере по оси Y температуру следовало бы отсчитывать не от 0, а от 20 °C (рис. 9).

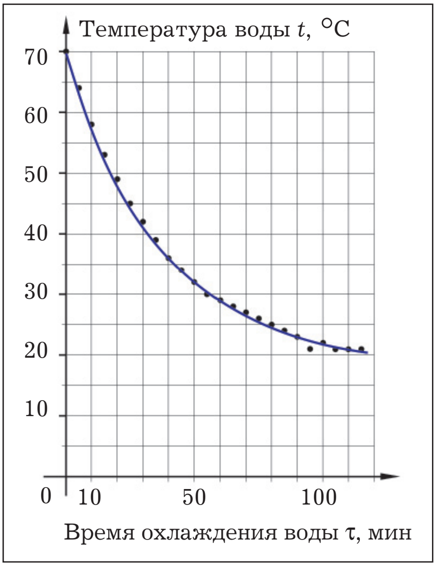


Рис. 8

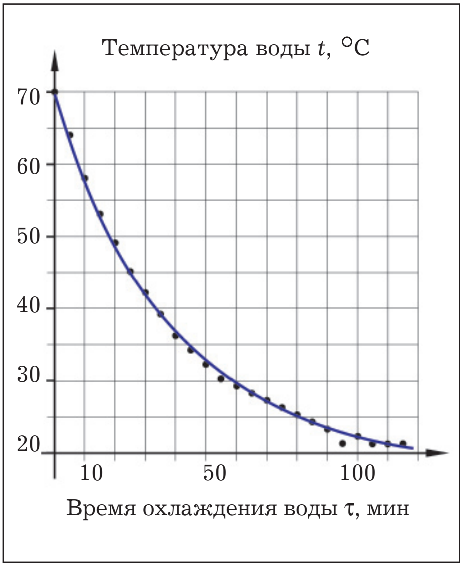


Рис. 9

При построении графика необходимо также учесть погрешности измерений. Если погрешности измерений больше диаметра точки на графике, то их необходимо указать. Для этого через каждую экспериментальную точку на графике проводят горизонтальные и вертикальные отрезки. Длина горизонтального отрезка должна быть равна удвоенной погрешности измерения аргумента, а длина вертикального отрезка − удвоенной погрешности измерения функции. На рисунке 10 приведён окончательный вариант графика зависимости температуры воды от времени.

[1] Во многих случаях пишут и названия откладываемых величин.

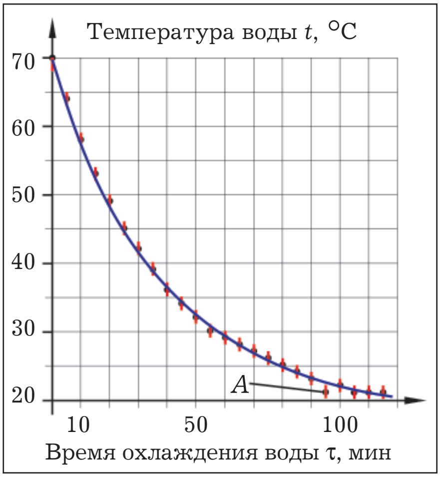


Рис. 10

Кривую на графике проводят, не просто соединяя точки друг с другом, а по возможности плавно, так, чтобы кривая лежала в пределах отрезков, отмечающих погрешность измерения. При этом примерно одинаковое число точек должно находиться под кривой и над ней. Если при построении обнаруживаются точки, находящиеся «вне пределов» экспериментальной кривой, то возможно, что в этом случае произошёл *промах* – грубая ошибка при проведении измерений. (Такой точкой, например, может быть точка A на графике (рис. 10).) Для таких точек проводят повторные измерения. Если они подтверждают промах, то в таблицу измерений вносятся новые данные и график исправляют. Если повторное измерение подтверждает существование «выпадающей точки», то в её окрестностях следует провести дополнительные измерения, чтобы уточнить ход экспериментальной зависимости.

2.1. Используя правила приближённых вычислений, определите:
а) площадь прямоугольника со сторонами 32,3 и 0,87 см;
б) результат вычисления:

$$12{,}550 - 8{,}1 + 3{,}42.$$

2.2. Стеклянная пластинка прямоугольной формы имеет размеры:

$$a = (42{,}5 \pm 0{,}5)\ \text{мм},$$
$$b = (24{,}0 \pm 0{,}5)\ \text{мм},$$
$$c = (2{,}1 \pm 0{,}1)\ \text{мм}.$$

Определите объём пластинки.

2.3. В известном стихотворении Маршака говорится:

«Дама сдавала в багаж:
Диван,
Чемодан,
Саквояж,
Картину,
Корзину,
Картонку
И маленькую собачонку».

Чему равна масса багажа, если масса дивана, чемодана, саквояжа, картины, корзины, картонки и маленькой собачонки равна соответственно 62, 21, 14, 11, 15, 2,1 и 3,35 кг?

§ 3. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ФИГУР И ОБЪЁМОВ ТЕЛ

Площади S и объёмы V геометрических тел в простейших случаях легко вычислить по известным математическим формулам. Эти формулы приведены в таблицах 2 и 3. (Формулы следует запомнить.)

Таблица 2. Площади некоторых геометрических фигур

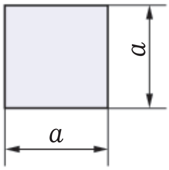
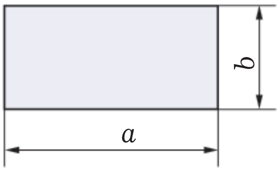
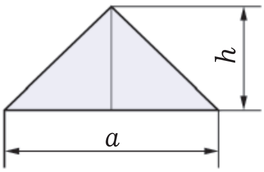
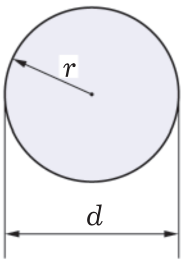
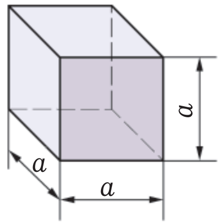
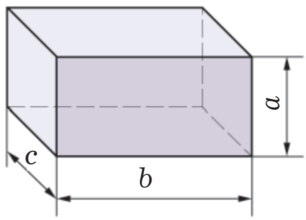
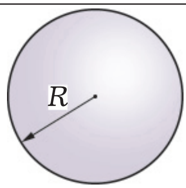
Геометрическая фигура	Рисунок	Математическая формула
Квадрат		$S = a^2$
Прямоугольник		$S = ab$
Треугольник		$S = \frac{ah}{2}$
Круг		$S = \frac{1}{4}\pi d^2$ $S = \pi r^2$ $\pi = 3{,}14$

Таблица 3. Объёмы некоторых геометрических тел

Геометрическое тело	Рисунок	Математическая формула
Куб		$V = a^3$
Прямоугольный параллелепипед		$V = abc$
Цилиндр		$V = S_{основ}h$
Шар		$V = \frac{4}{3}\pi R^3$

Также необходимо знать, что длина окружности L вычисляется по формуле

$$L = 2\pi r$$

или

$$L = \pi d,$$

а площадь поверхности шара S – по формуле

$$S = 4\pi R^2.$$

3.1. Начертите окружность диаметром 5 см. В круге, ограниченном данной окружностью, выделите сектор с углом в 30° (рис. 11).
Вычислите:
а) длину окружности;
б) площадь круга;
в) длину дуги сектора;
г) площадь сектора.

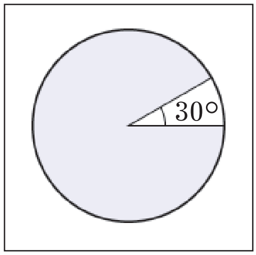


Рис. 11

3.2. С помощью масштабной линейки или штангенциркуля измерьте диаметр и высоту тела цилиндрической формы.
Вычислите:
а) объём цилиндра;
б) площадь боковой поверхности $S_б$ цилиндра;
в) площадь полной поверхности $S_п$ цилиндра.
Вычислите погрешность ΔV и относительную погрешность ε__ измерения объёма цилиндра.

3.3. С помощью штангенциркуля или микрометра измерьте диаметр шарика от подшипника. Вычислите:
а) объём шарика;
б) площадь поверхности шарика.
Вычислите погрешности и абсолютные погрешности измерения объёма шарика и площади его поверхности.

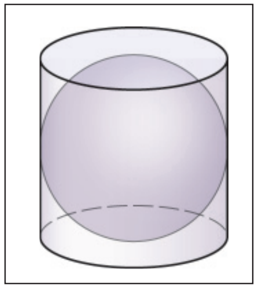


Рис. 12

3.4. Во сколько раз объём шара, вписанного в цилиндр, меньше объёма этого цилиндра (рис. 12)?

3.5. В вашем распоряжении имеется цилиндрический сосуд, вода, линейка, стеклянная банка или флакон. Как, используя лишь эти материалы, определить:
а) вместимость банки или флакона;
б) объём стекла банки или флакона?
(Цилиндрический сосуд должен иметь такие размеры, чтобы банка или флакон помещались в сосуде.)

3.6. Девочки сделали снеговика, а мальчики соорудили точную его копию, но в два раза большей высоты. Какова масса копии, если масса оригинала равна 40 кг? (В обоих снеговиках снег уплотнён одинаковым образом.)

3.7. Останкинская телебашня в Москве высотой 540 м имеет массу 55 000 т. Какую массу имела бы точная модель этой башни высотой 54 см?

§ 4. МЕТОДЫ НАХОЖДЕНИЯ ПЛОЩАДИ ФИГУР. ПЛОЩАДЬ ПОД ГРАФИКОМ

Нахождение площади фигур сложной геометрической формы.

4.1. В вашем распоряжении имеются карты Африки и Австралии, прозрачная плёнка, миллиметровая бумага, ножницы, весы с разновесами. Определите, во сколько раз площадь Африки больше площади Австралии.

Путь – это площадь! Выполняя предыдущее задание, вы ознакомились с несколькими методами нахождения площади фигур, имеющих сложную геометрическую форму. Умение находить площадь фигур часто используется при решении физических задач. В качестве примера рассмотрим задачи, связанные с механическим движением.

Пример 1. Пусть автомобиль равномерно движется со скоростью 20 м/с в течение 10 минут. Начертите график скорости автомобиля. Определите путь, пройденный автомобилем за указанное время.

Решение:

График скорости – это график зависимости скорости движущегося тела от времени. Если по горизонтальной оси отложить время движения автомобиля, а по вертикальной – его скорость, то график будет выглядеть так, как показано на рисунке 13. Путь S, пройденный автомобилем при равномерном движении, рассчитывается по известной формуле

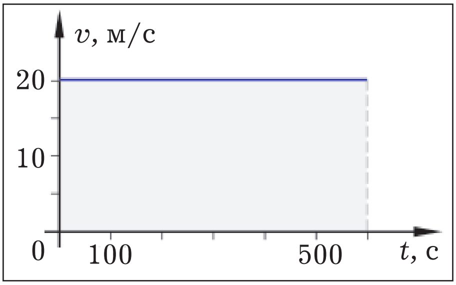


Рис. 13

$$S = vt.$$

$$S = 20\text{ м/с} \cdot 600\text{ с}.$$

$$S = 12000\text{ м}.$$

$$S = 12\text{ км}.$$

С другой стороны, если внимательно рассмотреть рисунок 13, видно, что *путь численно равен площади прямоугольника, где одна сторона прямоугольника – численное значение скорости, а другая сторона – численное значение времени движения.*

Пример 2. Автомобиль, трогаясь с места, за десять секунд разгоняется до скорости 20 м/с, увеличивая скорость при разгоне каждую секунду на 2 м/с. Начертите график скорости автомобиля. Определите путь, пройденный автомобилем при разгоне.

Решение:

Для построения графика скорости определим значения скорости автомобиля в различные моменты времени и занесём данные в таблицу:

Время движения t, с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Скорость автомобиля v, м/с	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

4.1. Почему в таблице для момента времени $t = 0$ указана скорость $v = 0$ м/с?

По имеющимся данным легко построить график скорости автомобиля (рис. 14).

4.2. Почему на графике (рис. 14) значения времени отложены по горизонтальной оси, а значения скорости – по вертикальной оси?

4.3. Можно ли в данном примере для расчёта пути, пройденного автомобилем при разгоне, воспользоваться формулой $S = vt$?

Для расчёта пути, пройденного автомобилем при разгоне, поступим следующим образом:

1. Разделим всё время движения тела на очень малые интервалы времени Δt. Знак Δ (читается: дельта) указывает на то, что мы имеем дело с малой величиной. Запись Δt (читается: дельта тэ) обозначает малый интервал времени.

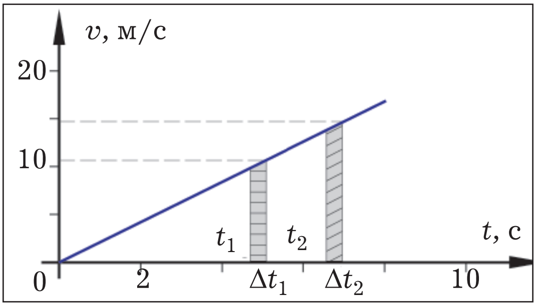


Рис. 14

2. Так как в течение малого интервала времени Δt скорость тела неизменна, то для расчёта пути ΔS, пройденного телом за время Δt, используем формулы расчёта пути при равномерном движении:

$$\Delta S_1 = v_1 \Delta t_1,$$
$$\Delta S_2 = v_2 \Delta t_2,$$
$$\Delta S_3 = v_3 \Delta t_3$$

и так далее.

3. Для расчёта пути S, пройденного телом за всё время движения, сложим ранее найденные значения пути за каждый интервал времени Δt:

$$S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \ldots .$$
$$S = v_1 \Delta t_1 + v_2 \Delta t_2 + v_3 \Delta t_3 + \ldots .$$

Для упрощения расчёта пути вновь обратимся к графику скорости на рисунке 14. Пусть в момент времени t_1 скорость тела v_1, а в момент времени t_2 скорость тела v_2. Из рисунка 14 видно, что путь ΔS_1 ($\Delta S_1 = v_1 \Delta t_1$)

численно равен площади прямоугольника, выделенного прямой штриховкой. Точно так же путь ΔS_2 ($\Delta S_2 = v_2 \Delta t_2$) численно равен площади прямоугольника, выделенного на рисунке 14 косой штриховкой.

4.4. Как определить путь, пройденный телом при неравномерном движении?

Обобщая наши рассуждения, мы приходим к методу расчёта пути при неравномерном движении.

Путь, пройденный телом, численно равен площади геометрической фигуры под графиком скорости тела за время его движения.

Теперь нам известен метод решения рассматриваемой задачи (пример 2). Для определения пути, пройденного автомобилем при разгоне, необходимо вычислить площадь геометрической фигуры под графиком скорости – площадь прямоугольного треугольника (рис. 14).

Итак,

$$S = \frac{20\ \text{м/с} \cdot 10\ \text{с}}{2} = 100\ \text{м}.$$

$$S = 100\ \text{м}.$$

Ответ: $S = 100$ м.

4.2. Спортсмен бежит по дорожке стадиона со скоростью 8 м/с. Поравнявшись со вторым спортсменом, который стоит на соседней беговой дорожке, он начинает уменьшать свою скорость на 1 м/с ежесекундно. Второй же спортсмен с этого момента начинает бег в том же направлении, что и первый спортсмен, увеличивая свою скорость на 1 м/с ежесекундно. Кто из спортсменов будет впереди через 8 с после того, как первый спортсмен поравнялся со вторым?

4.3. В безветренный день на озере лодку толкнули с начальной скоростью 5,0 м/с. Какой путь проплыла лодка до остановки? Ниже в таблице приведены значения скорости лодки в последующие моменты времени её движения.

Время движения лодки t, с	1	2	3	4	5
Скорость лодки v, м/с	3,6	2,6	1,8	1,3	0,94

Время движения лодки t, с	6	7	8	9	10
Скорость лодки v, м/с	0,68	0,48	0,35	0,25	0,18

РАЗДЕЛ 2. МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ. СИЛЫ В ПРИРОДЕ

§ 5. МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

Равномерное движение.

5.1. От перекрёстка по двум взаимно перпендикулярным дорогам одновременно начинают равномерное движение два автомобиля (рис. 15). Один автомобиль движется со скоростью 15 м/с, второй – 20 м/с. Каково расстояние между автомобилями через минуту после начала движения?

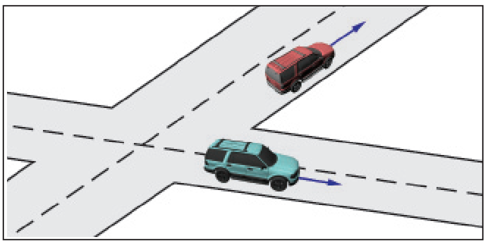


Рис. 15

5.2. Определите скорость течения воды в Волге на участке, где скорость грузового теплохода по течению равна 600 км/сут, а против течения – 336 км/сут.

5.3. Въезжая на повреждённый участок шоссе, каждый автомобиль в колонне уменьшает скорость от v_1 до v_2. Какой должна быть дистанция между автомобилями, чтобы они не сталкивались? Длина каждого автомобиля L.

5.4. Эскалатор метрополитена поднимает стоящего на нём пассажира в течение 1 мин. По неподвижному эскалатору пассажир поднимается 3 мин. Сколько времени он будет подниматься по движущемуся эскалатору?

5.5. Спортсмены бегут колонной длины L со скоростью v. Навстречу бежит тренер со скоростью $u < v$. Каждый спортсмен, поравнявшись с тренером, разворачивается и начинает бежать назад с той же по модулю скоростью v. Какова будет длина колонны, когда все спортсмены развернутся?

Движение тела, брошенного под углом к горизонту.

5.6. В вашем распоряжении имеется измерительная рулетка и секундомер. Определите горизонтальную скорость при броске теннисного мяча.

5.7. В вашем распоряжении имеется баллистический[1] пистолет (рис. 16), металлический шарик, измерительная лента, лабораторный штатив, копировальная бумага, лист белой бумаги. Выясните, как зависит дальность и высота полёта шарика при выстреле из пистолета от угла наклона пистолета к горизонту.

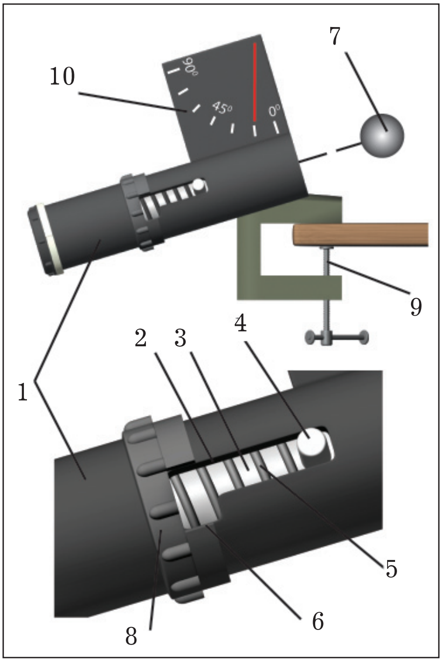


Рис. 16

Примечание. Баллистический пистолет (рис. 16) – лабораторный прибор. Он имеет пластмассовый корпус *1* с прорезью *2*. Внутри корпуса перемещается стальной стержень *3* с фиксатором *4*. При движении стержня сжимается пружина *5*, фиксатор вводится в паз *6*, и пружина остаётся в сжатом состоянии. В «ствол» пистолета вкладывается стальной шарик *7*. При повороте спускового кольца *8* фиксатор выходит из паза, пружина распрямляется, толкает шарик, и он вылетает из пистолета с некоторой скоростью.

Прибор можно с помощью струбцины *9* прикреплять к краю лабораторного стола и устанавливать под разными углами. Угол наклона баллистического пистолета легко определить с помощью угломера *10*, которым снабжён прибор.

Прямолинейное неравномерное движение.

5.8. В вашем распоряжении имеется измерительная рулетка и секундомер. Определите среднюю скорость бегуна:

а) на дистанции 100–200 м;

б) на первой половине дистанции;

в) на второй половине дистанции.

5.9. Первую половину времени автомобиль равномерно двигался со скоростью 60 км/ч, а вторую половину времени – со скоростью 80 км/ч. Определите среднюю скорость автомобиля на всём пройденном пути. Определите среднюю скорость автомобиля на первой половине пути.

[1] Баллистика – наука о движении пуль, снарядов, неуправляемых ракет при стрельбе (пуске).

5.10. Первую половину пути автомобиль равномерно двигался со скоростью 60 км/ч, а вторую половину пути – со скоростью 80 км/ч. Определите среднюю скорость автомобиля на всём пройденном пути. Определите среднюю скорость автомобиля за вторую половину времени.

5.11. В вашем распоряжении имеется наклонный жёлоб, измерительная лента, шарик, транспортир, лабораторный штатив, секундомер. Выясните:

– как зависит средняя скорость движения шарика от угла наклона жёлоба;

– как зависит средняя скорость шарика от времени его движения по жёлобу (при определённом угле наклона жёлоба);

– как зависит путь, пройденный шариком, от времени его движения по жёлобу (при определённом угле наклона жёлоба).

5.12. Автомобиль на прямолинейном участке шоссе в течение 10 секунд увеличивает скорость на 2 м/с в секунду, тем самым разгоняясь от первоначальной скорости 10 м/с до скорости 30 м/с. Определите путь, пройденный автомобилем при разгоне. Чему равна средняя скорость автомобиля на участке разгона?

5.13. На рисунке 17 изображены графики I и II зависимости скорости движения тел от времени. В начальный момент времени тела находятся в одной точке. В какой момент времени скорости тел равны? В какой момент времени второе тело догонит первое? Какой путь пройдут тела к этому моменту времени? Тела движутся прямолинейно в одном направлении.

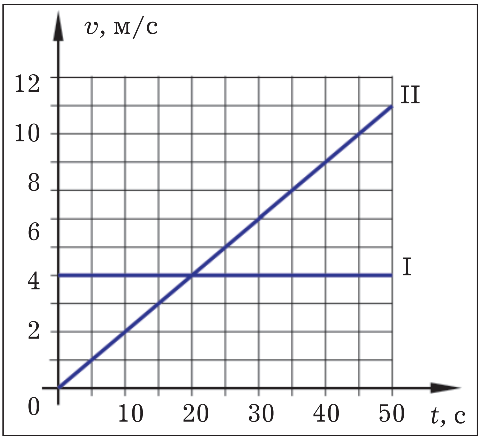


Рис. 17

§ 6. ИНЕРТНЫЕ И УПРУГИЕ СВОЙСТВА ТЕЛ

Инертные свойства тела характеризуются физической величиной – массой тела. Масса тела может быть определена двумя способами. *Первый способ* заключается в сравнении изменения скоростей тел при их взаимодействии. Известно, что тело большей массы при взаимодействии изменяет скорость на меньшую величину в сравнении с телом меньшей массы. Причём, во сколько раз отличаются изменения скоростей тел при их взаимодействии, во столько же раз отличаются и массы тел отличаются . *Второй способ* – измерение массы тела путём взвешивания.

Лабораторная работа «Сравнение масс взаимодействующих тел».

Оборудование: монеты разной массы, упругое кольцо, вырезанное из пластиковой бутылки, штатив для лабораторных работ; картонная или фанерная пластинка, отвес, измерительная лента или измерительная линейка, нитки, спички, копировальная бумага, листы белой бумаги, весы с набором гирь и разновесов.

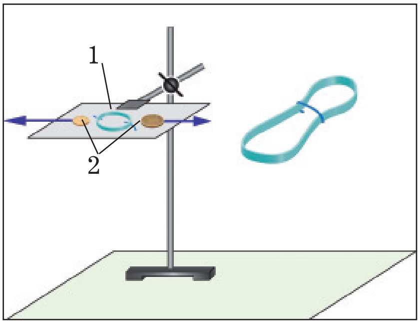
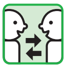
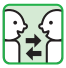


Рис. 18

Ход работы: Сравнение масс взаимодействующих тел можно осуществить с помощью установки, изображённой на рисунке 18. При пережигании нитки, стягивающей упругое кольцо *1*, взаимодействующие тела *2* приобретают скорость и разлетаются в противоположных направлениях.


Задание 1. Проведя необходимые измерения, сравните массы взаимодействующих тел.

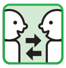

Задание 2. С помощью весов определите массы тел взвешиванием и сравните полученные результаты.

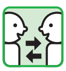
Упругие свойства тел. Упругие свойства тел можно сравнить по той силе упругости, что возникает при их деформации. Ясно, что при этом величина силы упругости зависит от вещества тела. Но и при деформации тел, изготовленных из данного вещества, сила упругости тоже будет различной, если неодинаковы размеры этих тел. Проверим это на опыте.

Лабораторная работа «Изучение зависимости силы упругости, возникающей при деформации, от геометрических размеров тела»

Оборудование: одинаковые упругие полоски резины, измерительная линейка, динамометр.

Ход работы:


Задание 1. Измерьте силу упругости, возникающую при различном растяжении полоски резины. Используйте полоски резины одинаковой ширины, но различающиеся по длине (возьмите полоски с начальной длиной 7, 14 и 21 см). Постройте графики зависимости силы упругости от величины деформации. Сделайте вывод, как зависит сила упругости, возникающая при деформации тела на одну и ту же величину, от начальной длины тела.


Задание 2. Измерьте силу упругости при растяжении одной полоски резины, при растяжении полоски резины той же длины, но имеющей в два раза большую толщину (площадь поперечного сечения полоски), при растяжении полоски резины в три раза большей толщины. Для того чтобы увеличить площадь поперечного сечения в два, три раза,

следует использовать одновременно две, три полоски резины. Постройте графики зависимости силы упругости от величины деформации. Сделайте вывод, как зависит сила упругости, возникающая при деформации тела на одну и ту же величину, от площади поперечного сечения тела.

§ 7. КОЛЕБАНИЯ ГРУЗА НА ПРУЖИНЕ

Подвесим груз к вертикально расположенной пружине и, придерживая рукой, отпустим. Гиря, двигаясь вниз, деформирует пружину. Возникнет сила упругости, которая в положении равновесия уравновешивает силу тяжести (рис. 19).

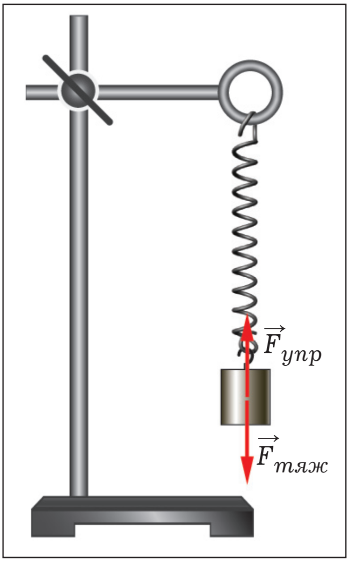


Рис. 19

Оттянем пружину вниз и отпустим груз. Так как теперь пружина деформирована больше, то сила упругости превосходит силу тяжести. Под действием силы упругости груз движется вверх, увеличивая свою скорость.

7.1. Остановится ли груз в положении равновесия?

В положении равновесия сила упругости и сила тяжести вновь будут равны. Но инертный груз продолжит движение вверх (почему?), постепенно уменьшая свою скорость. В тот момент, когда скорость двигавшегося вверх груза уменьшится до нуля, сила упругости не будет компенсировать силу тяжести (почему?). Следовательно, в этом, верхнем, положении груз не остановится, а начнёт опускаться к положению равновесия, которое груз «проскочит» (почему?) и опустится ниже. После этого движение груза повторится. Таким образом, груз, прикреплённый к пружине, будет совершать *колебания*.

Колебания – это движение, повторяющееся через равные промежутки времени. Примерами колебаний являются движение маятника (то есть шарика, прикреплённого к нити), иглы швейной машины, поплавка на поверхности воды. Одной из характеристик колебаний является *период*. **Период – это время одного колебания.**

7.2. В каких единицах измеряется период?

Выясним на опыте, от чего зависит период колебаний T груза на пружине.

Лабораторная работа «Изучение колебаний груза на пружине»

Оборудование: пружины, грузы известной массы, штатив лабораторный, часы с секундной стрелкой или секундомер.

Ход работы:

Задание 1. Выясните, как период колебаний груза на пружине зависит от массы груза. Для повышения точности определения периода T следует измерять время не одного колебания, а общее время t нескольких (n) колебаний ($n = 15 \div 20$).

7.3. Как, зная общее время t нескольких (n) колебаний, определить период T?

Задание 2. Постройте график зависимости периода колебаний T от массы груза m. Попробуйте также построить другие графики: зависимость периода колебаний T от квадрата массы груза m^2, зависимость квадрата периода колебаний T^2 от массы груза m и так далее. Проанализировав[1] графики, сделайте вывод о зависимости периода колебаний T от массы груза m.

7.4. От чего зависят упругие свойства тела?

Задание 3. Используя различные пружины и меняя длину пружин, выясните, как период колебаний зависит от упругих свойств пружины.

7.1. В вашем распоряжении имеются пружины, применявшиеся при выполнении лабораторной работы, секундомер и груз неизвестной массы. Предложите способ определения массы груза.

§ 8. ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ

Деформация изгиба. Положите линейку на две опоры, расположенные по концам линейки, а на середину линейки – груз (рис. 20). При этом линейка испытывает деформацию, называемую *деформацией изгиба*. При изгибе одна сторона тела – выпуклая – подвергается растяжению. Так, на рисунке 21 видно, что нижняя сторона AB изогнутого тела растянута. Другая сторона тела – вогнутая – подвергается сжатию (рис. 21, сторона $A'B'$).

8.1. Деформации какого вида – сжатию или растяжению – подвергается центральная часть изогнутого тела (рисунок 21, область A_0B_0)?

[1] Анализировать – исследовать что-либо путём рассмотрения отдельных сторон, свойств.

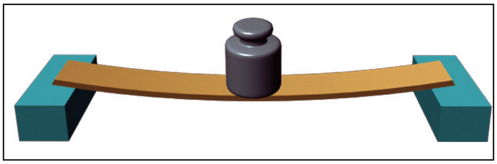


Рис. 20

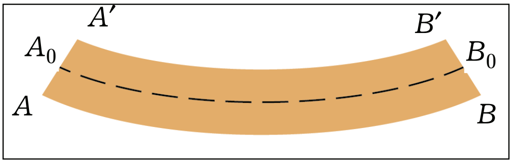


Рис. 21

Если при изгибе одна сторона тела растянута, а другая сжата, то центральная часть тела – это область перехода от сжатия к растяжению. Следовательно, внутри изгибаемого тела расположена область, где практически отсутствует деформация. Этот внутренний слой тела называют *нейтральным слоем*. Сравните силы упругости, возникающие в растянутом (AB), сжатом ($A'B'$) и нейтральном (A_0B_0) слоях тела (рис. 21). Ясно, что сила упругости, возникающая при малых деформациях нейтрального слоя, будет мала. Значит, если удалить вещество из нейтрального слоя, то это не изменит упругих свойств изгибаемого тела.

По этой причине в современных технических конструкциях и при строительстве вместо сплошных брусьев и стержней применяют *трубы* (рис. 22, *а*), *пустотные балки* квадратного сечения (рис. 22, *б*), *рельсы* (рис. 22, *в*), *двутавровые балки* (рис. 22, *г*), *швеллеры* (рис. 22, *д*). Тем самым добиваются существенной экономии материалов и облегчения конструкции без ущерба их упругих свойств.

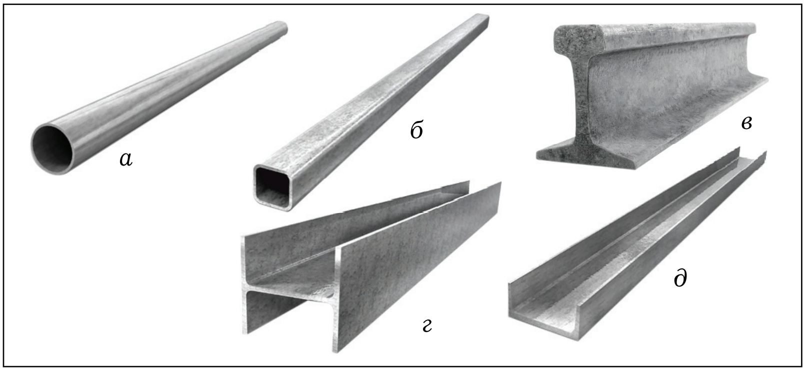


Рис. 22

Изучение прочности конструкций. Выясним, как зависит прочность конструкции, испытывающей деформацию изгиба, от её геометрической формы.

Практическая работа «Сравнение прочности конструкций различных геометрических форм»

Оборудование: полоски плотной бумаги или картона, линейка, карандаш, ножницы, кусок медной проволоки или прочной лески, клей или липкая лента – скотч, набор стограммовых грузов, динамометр, штативы лабораторные.

Ход работы:

Из полоски плотной бумаги или картона изготовьте модель определённой конструкции. Модель закрепите горизонтально на некоторой высоте (между штативами). С помощью петли из медной проволоки или прочной лески прикрепите к модели динамометр (рис. 23). Прикладывая с помощью динамометра силу, заметьте, при какой величине нагрузки происходит разрушение конструкции. Для создания нагрузки используйте также стограммовые грузы.

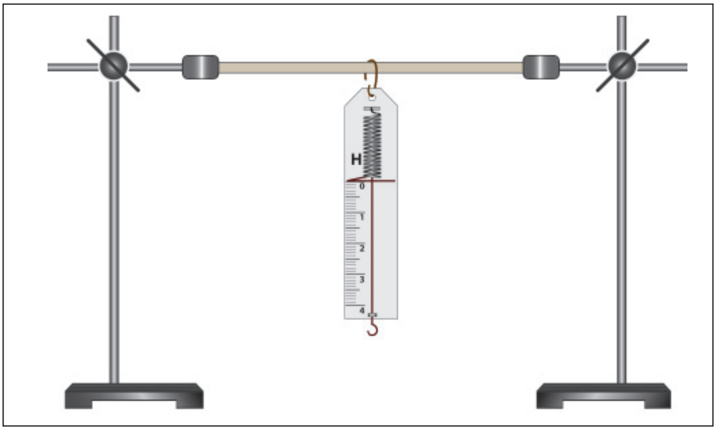


Рис. 23

Задание 1. Сверните полоску бумаги или картона в трубку (рис. 22, *а*). Выясните, как прочность трубчатой конструкции «на изгиб» зависит от диаметра трубки[1].

Задание 2. Из полоски бумаги изготовьте модель квадратного сечения (рис. 22, *б*). Выясните, как зависит прочность данной конструкции «на изгиб» от размера квадрата.

Задание 3. Изготовьте модели различных конструкций и сравните их прочность «на изгиб». (Возможные варианты конструкций приведены на рисунке 24, *а*, *б*.)

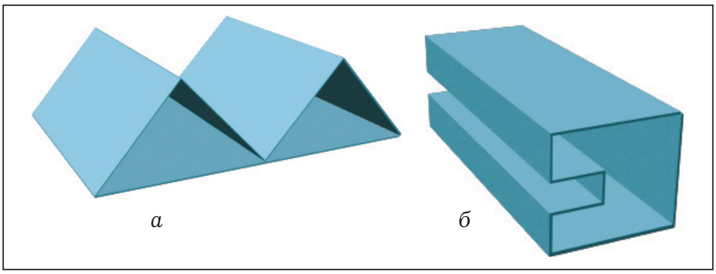


Рис. 24

[1] При малом диаметре трубка будет многослойной, с большей «толщиной стенки».

РАЗДЕЛ 3. ЭНЕРГИЯ. РАБОТА. МОЩНОСТЬ

§ 9. ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ТЕЛА ОТ ЕГО МАССЫ И СКОРОСТИ

Как вам известно, кинетическая энергия тела определяется его массой и скоростью. Предположим, что зависимость кинетической энергии $E_к$ тела от его массы m и скорости v является степенной функцией:

$$E_к = C m^a v^b, \tag{9.1}$$

где a, b – показатели степени;

C – некоторый постоянный множитель.

Попробуем опытным путём определить показатели степени a и b. Для этого используем жёлоб, закреплённый на некоторой высоте H над поверхностью стола (рис. 25). По жёлобу будем запускать шарики с различной высоты h и отмечать дальность L их полёта в горизонтальном направлении.

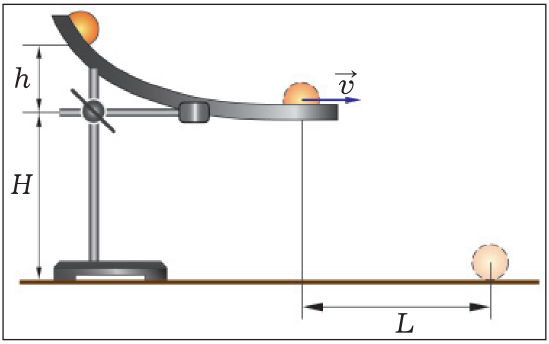


Рис. 25

Шарик, скатившийся с высоты h по жёлобу, приобретает некоторую скорость v. При дальнейшем полёте в горизонтальном направлении шарик будет продолжать движение с постоянной скоростью v[1] (обоснуйте это). Скорость v легко рассчитать по формуле

$$v = \frac{L}{t}, \qquad (9.2)$$

где t – время движения шарика в горизонтальном направлении. (Оно, естественно, равно времени падения шарика.) Если высоту H, на которой закреплён жёлоб, не менять, то при проведении опытов время падения шариков будет одно и то же[2]. Значит, о величине скорости v можно судить по дальности полёта L:

$$v \sim L. \qquad (9.3)$$

При движении шарика по жёлобу происходит превращение его потенциальной энергии в кинетическую. Обозначим кинетическую энергию шарика, приобретённую им после прохождения жёлоба, как $E_к$. В соответствии с законом сохранения энергии

$$mg(H + h) = E_к + mgH.$$

(Трение шарика о жёлоб не учитываем).

Отсюда

$$E_к = mgh. \qquad (9.4)$$

С учётом выражения (9.1) имеем

$$C\,m^a v^b = mgh. \qquad (9.5)$$

9.1. Каков должен быть показатель степени a, чтобы скорость шарика v не зависела бы от его массы m?

Проведём опыты с различными по массе шариками. Опыты убеждают, что дальность полёта шариков, а значит, и скорость не зависят от массы шариков! Это возможно только в том случае, если в формуле (9.1) показатель степени a равен 1.

Таким образом, мы выяснили, что *кинетическая энергия тела прямо пропорциональна его массе*.

Теперь определим, какова зависимость кинетической энергии тела $E_к$ от его скорости v. Для этого проведём ряд опытов с шариком определённой массы.

9.2. По какой формуле можно рассчитать скорость шарика, приобретённую им после прохождения жёлоба? Какие физические величины при этом необходимо измерить?

---

[1] Действие силы сопротивления воздуха на шарик не учитываем.

[2] В этом легко убедиться на опыте.

9.3. По какой формуле можно рассчитать кинетическую энергию шарика, приобретённую им после прохождения жёлоба? Какие физические величины при этом необходимо измерить?

Будем запускать шарик по жёлобу с различной высоты h и измерять дальность его полёта L в горизонтальном направлении. Результаты подобных опытов приведены в таблице 4.

Таблица 4. Дальность полёта шарика L при запуске его с различной высоты h.

Масса шарика $m = (22,3 \pm 0,1)$ г.

Высота расположения жёлоба $H = (47,5 \pm 0,5)$ см

Высота h, см	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0
Дальность полёта L, см	22,0	26,5	31,0	35,0	38,0	41,0	44,0	46,5

Соотношение (9.4) позволяет сделать вывод о том, что

$$E_к \sim h,$$

а соотношение (9.3) позволяет судить о величине скорости:

$$v \sim L.$$

Таким образом, для определения зависимости кинетической энергии тела $E_к$ от его скорости v следует проанализировать график зависимости высоты h от дальности полёта шарика L.

Используя данные, приведённые в таблице, построим этот график (рис. 26). В случае если кинетическая энергия тела прямо пропорциональна скорости, то графиком зависимости $h = f(L)$ была бы прямая

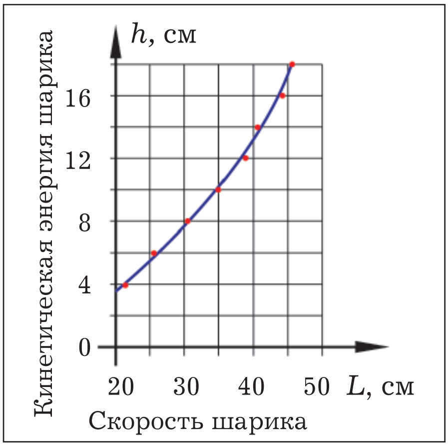


Рис. 26

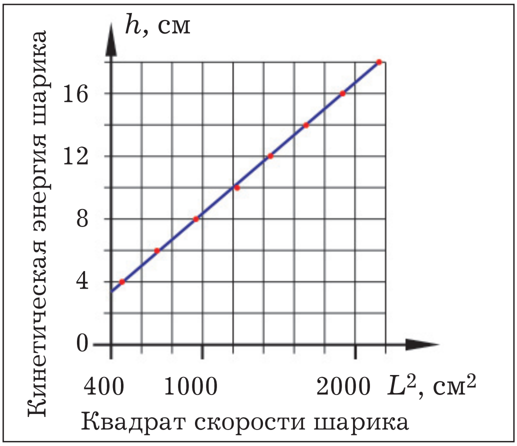


Рис. 27

линия. Однако из рисунка 26 видно, что кинетическая энергия растёт быстрее прямо пропорциональной зависимости.

Построим другой график – зависимость кинетической энергии (h) от квадрата скорости (L^2). Этот график приведён на рисунке 27. Из графика видно, что кинетическая энергия тела прямо пропорциональна квадрату скорости его движения. Значит, в формуле (9.1) показатель степени b равен 2.

Итак, проведённые опыты позволили выяснить, как кинетическая энергия тела зависит от его массы и скорости:

$$E_к = C m v^2. \qquad (9.6)$$

9.4. Какие физические величины необходимо измерить, чтобы определить численное значение множителя C в формуле (9.6)? Каким образом это можно сделать?

Точные измерения кинетической энергии тела известной массы, движущегося поступательно с определённой скоростью, позволяют определить значение множителя C:

$$C = \frac{1}{2}.$$

Таким образом, формула для расчёта кинетической энергии тела имеет следующий вид:

$$\boxed{E_к = \frac{mv^2}{2}.} \qquad (9.7)$$

(Так рассчитывается кинетическая энергия тела, движущегося поступательно. Если тело вращается, то для расчёта его кинетической энергии применяется иная формула.)

9.1. Используя формулу (9.7) для расчёта кинетической энергии, выясните, как единица измерения силы (ньютон) связана с единицами измерения массы (килограмм), расстояния (метр) и времени (секунда).

§ 10. ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ К РЕШЕНИЮ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

10.1. Камень брошен вертикально вверх с начальной скоростью 14 м/с. На какой высоте скорость камня будет равна половине начальной скорости?

10.2. В вашем распоряжении имеется баллистический пистолет и измерительная лента. Определите скорость вылета шарика из пистолета. Установите баллистический пистолет горизонтально на некоторой высоте над поверхностью стола. Произведите выстрел и рассчитайте, сколько времени шарик находится в полёте.

10.3. Мальчик ныряет в воду с крутого берега высотой 5 м, имея после разбега скорость 6 м/с. Какова скорость мальчика при достижении им воды?

10.4. Футболист ударяет по мячу, лежащему на поле. Мяч летит в направлении ворот с начальной скоростью 17 м/с. В тот момент, когда мяч находится на уровне линии ворот, его скорость составляет 15 м/с. Попадёт ли мяч в ворота? Высота футбольных ворот 2,4 м. Сопротивление воздуха не учитывать.

10.5. Ядро вылетает из ствола пушки со скоростью 80 м/с. Максимальная высота, на которой оказывается ядро в полёте, составляет 148 м. Какова дальность стрельбы, если ядро движется до цели 11 с? Сопротивление воздуха не учитывать.

Лабораторная работа «Изучение неупругого взаимодействия»

Неупругим называют такое взаимодействие тел, при котором часть механической энергии превращается в иные виды энергии. Например, движущийся стальной шарик сталкивается с неподвижным пластилиновым шариком. После столкновения шарики движутся вместе как единое целое. Если измерить механическую энергию шариков, то окажется, что механическая энергия шариков после столкновения меньше, чем до столкновения. Свидетельствует ли это о «потере» энергии и «нарушении» закона сохранения энергии? Конечно же, нет! Вы знаете, что при столкновении часть механической энергии шариков превращается в тепловую энергию движения частиц, из которых состоят шарики. В данной лабораторной работе и изучается такой процесс неупругого взаимодействия тел.

Оборудование: шарики или грузы, покрытые слоем пластилина, лабораторный штатив, измерительная линейка, нить.

Ход работы:

Задание 1. Выясните, какая доля механической энергии движущегося шарика переходит в тепловую энергию при его столкновении с пластилиновым шариком.

Задание 2. Исследуйте, зависит ли доля «потери» механической энергии от величины первоначальной механической энергии движущегося шарика.

§ 11. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «СРАВНЕНИЕ МАСС ТЕЛ ПО ВЕЛИЧИНЕ ИХ ТОРМОЗНОГО ПУТИ»

Как вам известно, сравнение масс взаимодействующих тел можно осуществить путём сравнения скоростей, приобретаемых телами при их взаимодействии[1]. От величины скорости тела, в свою очередь, зависит его кинетическая энергия. Если телу после взаимодействия предоставить возможность двигаться по горизонтальной поверхности, то тело

---

[1] Смотрите § 6 «Инертные и упругие свойства тел» данного факультативного курса.

пройдёт некоторый путь и остановится. Очевидно, что работа, совершённая при этом силой трения, и длина тормозного пути будут определяться первоначальной кинетической энергией тела. Для сравнения масс взаимодействующих тел проведём соответствующую лабораторную работу.

Оборудование: монеты разной массы, упругое кольцо, вырезанное из пластиковой бутылки, измерительная лента или измерительная линейка, нитки, спички, весы с набором гирь и разновесов.

Ход работы:

Положите упругое кольцо, стянутое ниткой, на горизонтальную поверхность стола, а по обе стороны от кольца – монеты. Если пережечь нить, то монеты начинают скользить по поверхности стола и проходят некоторый путь до остановки. Измерив тормозной путь монет, можно сравнить скорости, приобретённые ими при взаимодействии, а значит, и их массы.

Задание 1. Проведя необходимые измерения, сравните массы взаимодействующих тел.

Задание 2. С помощью весов определите массы тел взвешиванием и сравните полученные результаты.

11.1. Как связаны между собой работа силы трения скольжения, действующей на тело, и изменение его кинетической энергии?

11.2. Как рассчитывается работа постоянной силы, направление которой совпадает с направлением перемещения тела или противоположно ему?

11.3. От чего зависит величина силы трения при скольжении тела по шероховатой поверхности?

§ 12. МЕТОД РАСЧЁТА РАБОТЫ ПЕРЕМЕННОЙ СИЛЫ

Работа и площадь. Пусть на некоторое тело действует постоянная сила F и тело перемещается в направлении силы, проходя путь S. Построим график зависимости силы F от пути S. По горизонтальной оси будем откладывать значения пути S, а по вертикальной оси – значения силы F. Так как на тело действует постоянная сила, то в этом случае график зависимости будет иметь вид прямой, параллельной оси S (рис. 28).

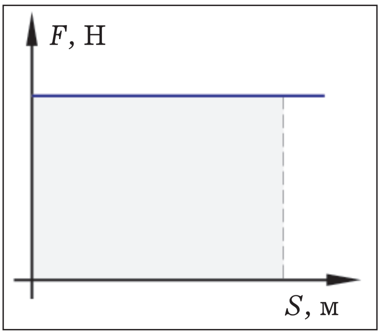


Рис. 28

12.1. Как рассчитывают механическую работу постоянной силы, направление которой совпадает с направлением перемещения?

В рассматриваемом примере механическую работу A определить легко:

$$A = FS.$$

Из графика (рис. 28) видно, что работа A численно равна площади под графиком зависимости силы F от пройденного пути S.[1]

Расчёт работы переменной силы.

12.1. Чтобы удалить гвоздь длиной 100 мм из бревна, необходимо приложить начальную силу 2 кН. Гвоздь вытащили из бревна. Какую механическую работу совершили при этом? Считать, что сила трения, действующая на гвоздь, прямо пропорциональна той части длины гвоздя, что находится в бревне. Первоначально гвоздь вбит в бревно на всю длину.

12.2. В доску толщиной 5 см забили гвоздь длиной 100 мм так, что половина гвоздя прошла навылет. Чтобы вытащить гвоздь из доски, необходимо приложить силу 1,8 кН. Гвоздь вытащили из доски. Какую механическую работу совершили при этом? Считать, что сила трения, действующая на гвоздь, прямо пропорциональна той части длины гвоздя, что находится в доске.

12.3. Пробку длиной 5 см необходимо протащить через трубку длиной 20 см. Пробка входит в трубку с некоторым трением. Когда пробка полностью находится в трубке, для её равномерного движения необходимо прикладывать силу 40 Н. Какая механическая работа будет совершена при протаскивании пробки? Считать, что сила трения прямо пропорциональна той части длины пробки, что находится в трубке.

12.4. В вашем распоряжении имеется лабораторный динамометр и измерительная линейка. Определите, какую работу необходимо совершить при растяжении пружины динамометра от 0 до 2 Н, от 2 до 4 Н.

12.5. Канат длиной 5 м и массой 8 кг лежит на земле. Канат за один конец равномерно подняли на высоту, равную его длине. Какую работу при этом совершили?

Лабораторная работа «Определение силы трения скольжения по величине совершённой работы».

Задание 1. Определите силу трения скольжения, действующую на брусок, используя установку, изображённую на рисунке 29.

Оборудование: деревянный брусок, весы с набором гирь и разновесов, грузы, лабораторный штатив, блок, измерительная линейка, нить.

Ход работы:

Придерживая брусок рукой, подвешивают к нити груз массой m (рис. 29). Отпускают брусок. Груз опускается вертикально вниз на расстояние h, перемещая при этом брусок по горизонтальной поверхности стола на расстояние S. Зная m, h и S, можно определить силу трения скольжения между деревянным бруском и поверхностью стола. (Примечание. Масса груза специально подбирается таким образом, чтобы брусок в итоге остановился.)

[1] С подобными рассуждениями вы уже знакомились в § 3 данного факультативного курса.

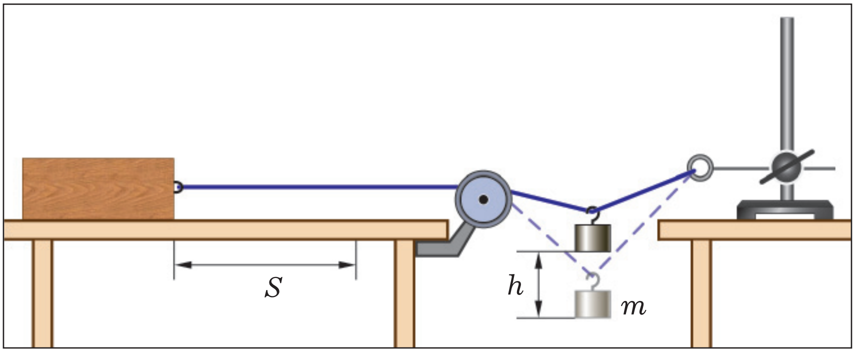


Рис. 29

Задание 2. Определите силу трения скольжения, действующую на брусок, используя установку, изображённую на рисунке 30.

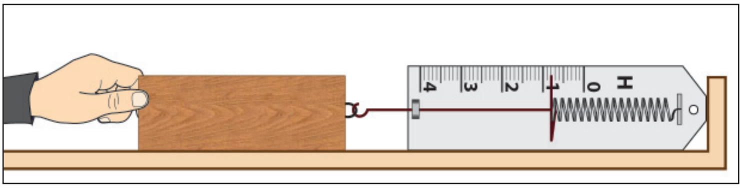


Рис. 30

Оборудование: деревянный брусок, лабораторный штатив, измерительная линейка, динамометр (для непосредственного измерения силы трения не используется).

Ход работы:

Брусок, прикреплённый к динамометру при помощи нити, оттягивают рукой; при этом записывают показание динамометра F и измеряют растяжение пружины x. Затем отпускают брусок и измеряют путь S, пройденный бруском до остановки.

Зная F, S и x, можно определить силу трения скольжения между деревянным бруском и горизонтальной поверхностью стола. (Примечание. Растягивать пружину надо так, чтобы после полного сокращения пружины динамометра брусок прошёл ещё некоторое расстояние.)

Задание 3. Используя динамометр, проведите непосредственное измерение силы трения скольжения. Сравните результат с результатами, полученными при выполнении заданий 1 и 2 данной лабораторной работы.

§ 13. МОЩНОСТЬ. КПД

Задачи по теме «Мощность».

13.1. При мощности мотора N катер движется со скоростью v. С какой скоростью v' будет двигаться катер, если мощность мотора станет равна $2N$? Учесть, что сила сопротивления, действующая на катер со стороны воды, прямо пропорциональна скорости движения.

13.2. Автомобиль с двигателем мощностью N_1 = 30 кВт при перевозке груза развивает скорость v_1 = 15 м/с. Автомобиль с двигателем мощностью N_2 = 20 кВт при тех же условиях развивает скорость v_2 = 10 м/с. С какой скоростью будут двигаться автомобили, если их соединить тросом?

Лабораторная работа «Определение КПД простых механизмов».

Задание 1. Изучите, как зависит КПД наклонной плоскости от угла её наклона.

Оборудование: динамометр лабораторный, штатив, доска (наклонная плоскость), измерительная лента, брусок деревянный, набор стограммовых грузов.

Задание 2. Определите КПД неподвижного блока и КПД подвижного блока. Выясните, как изменяется КПД при «утяжелении» блоков дополнительным грузом.

§ 14. УСЛОВИЕ РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА

14.1. Пусть в вашем распоряжении имеются стержень от штатива известной массы, прочные нитки, измерительная линейка, лабораторный динамометр. Подвесьте стержень на нитях, закрепив их на произвольном расстоянии от концов стержня так, чтобы нити были вертикальны, а стержень находился в горизонтальном положении (рис. 31, а). Рассчитайте, какова сила натяжения нитей. Используя динамометр, измерьте силу натяжения и сравните результаты. Сделайте вывод. Изменится ли сила натяжения, если стержень будет находиться не в горизонтальном положении (рис. 31, б)?

14.2. Прямой кусок проволоки известной массы подвешен на нити за середину и находится в равновесии. Левую часть проволоки согнули пополам так, что она расположилась параллельно другой части проволоки и левый конец проволоки совпал с точкой подвеса. Какую силу необходимо приложить к правому концу проволоки, чтобы восстановить равновесие? Проведите расчёт и проверьте на опыте.

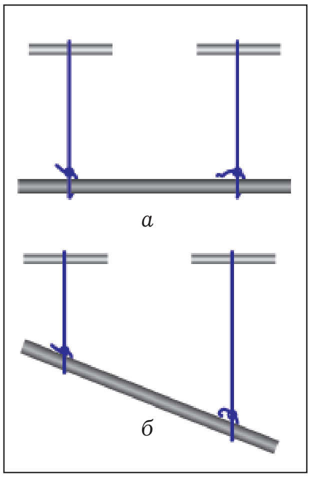


Рис. 31

14.3. Пусть в вашем распоряжении имеются линейка, гирька массой 2–5 г, карандаш. Определите массу линейки.

14.4. Пусть в вашем распоряжении имеются металлический стержень от лабораторного штатива известной массы, стограммовый груз, закреплённый на конце стержня, прочная нить, измерительная линейка. Рассчитайте, в какой точке необходимо подвесить стрежень на нити, чтобы он находился в равновесии в горизонтальном положении. Проведите расчёт и проверьте полученный результат на опыте.

14.5. Предложите способ определения массы груза на неравноплечих весах, если в вашем распоряжении имеются неравноплечие весы и набор гирь и разновесов.

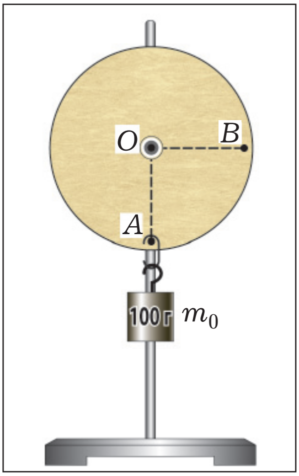


Рис. 32

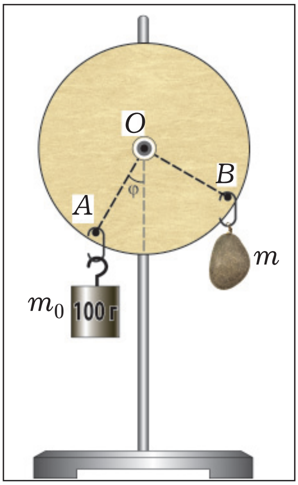


Рис. 33

Практическая работа «Изготовление вращательных весов»

Пусть фанерный диск закреплён на оси, благодаря чему он может свободно вращаться в вертикальной плоскости вокруг оси O (рис. 32). В точке A на краю диска закрепим груз массой m_0. Если в точке B закрепить тело неизвестной массы m, то диск повернётся по часовой стрелке на некоторый угол φ[1] (рис. 33), причём угол поворота будет тем больше, чем больше масса тела m. Таким образом, вращающийся диск можно использовать в качестве весов для измерения массы. Необходимо только изготовить шкалу и нанести на неё деления.

Оборудование: диск на оси (с креплениями), лабораторный штатив, стограммовый груз, тела неизвестной массы, лабораторный динамометр, линейка, лист белой бумаги, ножницы, клейкая лента – скотч.

Ход работы:

Задание 1. Вырежьте из листа белой бумаги сектор с углом в 90°, радиус которого равен радиусу диска. На этот сектор будут нанесены деления шкалы вращательных весов. Проделайте необходимые расчёты и нанесите деления шкалы. Закрепите бумажный сектор с нанесённой шкалой на диске.

Задание 2. Измерьте массу нескольких тел с помощью вращательных весов и проверьте достоверность результатов, используя весы или динамометр.

[1] φ – буква греческого алфавита, читается: фи.

РАЗДЕЛ 4. ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

§ 15. Плотность вещества

§ 16. Прочность вещества

Предел прочности вещества

Лабораторная работа «Измерение предела прочности»

Задачи по теме «Предел прочности вещества»

§ 15. ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА

15.1. Пусть в вашем распоряжении имеются весы с набором гирь и разновесов, мензурка с водой, кусок пластилина. Измерьте плотность пластилина. Затем слепите из пластилина «пельмень» с воздушной «начинкой» и определите объём воздушной полости.

15.2. Из железных гаек и пластилина изготовьте «сплав железа и пластилина». Используя измерительную линейку и весы с набором гирь и разновесов, определите массы компонентов[1] сплава. Плотности железа и пластилина вам известны.

15.3. Пусть в вашем распоряжении имеется сосуд с водой, сосуд с неизвестной жидкостью, два одинаковых стеклянных стаканчика, линейка, карандаш. Определите плотность неизвестной жидкости.

§ 16. ПРОЧНОСТЬ ВЕЩЕСТВА

Предел прочности вещества. При деформации тела, как вы знаете, возникает сила упругости. Возникновение этой силы можно объяснить, если вспомнить, каково внутреннее строение вещества. Вещество состоит из молекул и атомов; в свою очередь, атомы состоят из *электрически заряженных частиц* (в атоме имеется положительно заряженное ядро и отрицательно заряженные электроны). Заряженные частицы *взаимодействуют электрическими силами*. При деформации (например, сжатии) изменяется расстояние между частицами, что приводит к изменению сил электрического взаимодействия между ними. Так и возникает сила упругости. *Сила упругости обусловлена силами электрического взаимодействия между частицами вещества.* При малых деформациях возникающая сила упругости тем больше, чем больше деформация. Если же ещё больше увеличить деформацию тела, то сила упругости в итоге

[1] Компонент – составная часть чего-нибудь.

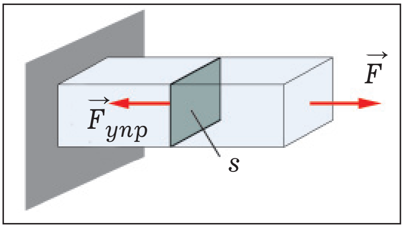


Рис. 34

достигнет наибольшего значения. И при дальнейшей деформации происходит разрушение тела (разрыв растянутой лески, полоски резины, тонкой струны и так далее).

Наибольшая сила упругости, возникающая в деформированном образце без его разрушения в расчёте на единицу площади поперечного сечения, называется *пределом прочности*. Обозначим предел прочности $\sigma_{пч}$ (σ – буква греческого алфавита, читается: сигма).

$$\sigma_{пч} = \frac{F_{упр.\,макс}}{s},$$

где $F_{упр.\,макс}$ – наибольшая сила упругости;
s – площадь поперечного сечения образца (рис. 34).

За единицу измерения предела прочности можно принять Н/мм^2. Например, предел прочности алюминия – 100 Н/мм^2, серебра – 140 Н/мм^2, стали – 470 Н/мм^2 (приведены ориентировочные значения).

Замечательной прочностью обладают кости человеческого скелета. Так, предел прочности кости на растяжение лишь немного уступает пределу прочности алюминия, а предел прочности кости на сжатие в несколько раз больше предела прочности бетона. Конечно же, в организме человека кости скелета в обычных условиях работают «не на пределе своих возможностей», ведь при ударах, прыжках, падениях, в различных аварийных ситуациях силы, действующие на кости, возрастают в десятки раз, и в большинстве случаев кости остаются целыми – обходится без переломов.

Вспомним известный роман Джонатана Свифта «Путешествие Гулливера». Главный герой романа попадает в страну великанов, которые выше нормального человека в 12 раз. *Возможно ли это с точки зрения физики?* Если рост великана больше роста человека в 12 раз, то во столько же раз больше и все его остальные размеры. Следовательно, объём великана больше объёма человека в $12^3 = 1728$ раз. Во столько же раз больше и масса великана. Это значит, что на кости великана действует в 1728 раз бóльшая сила, чем на кости обыкновенного человека. Но тонкие кости не выдержат такой нагрузки, поэтому площадь поперечного сечения кости великана должна быть в 1728 раз больше в сравнении с костью обыкновенного человека.

16.1. Как вычисляется площадь круга?

Значит, диаметр кости великана больше диаметра кости обычного человека в $\sqrt{1728} \approx 42$ раза. Получается, что в огромном великане пропорции обыкновенного человеческого тела будут нарушены – если длина костей увеличится в 12 раз, то их толщина должна увеличиться не в 12, а в 42 раза! По этой причине великаны Свифта не могли бы сохранить облик человека, а были бы существами, кости которых имели бы чрезвычайную толщину, а сами они были бы толстыми и неповоротливыми.

16.2. По какой причине горные вершины на Земле не достигают высоты в десятки километров?

Лабораторная работа «Измерение предела прочности».

Оборудование: куски медной проволоки различной толщины, тонкая хлопчатобумажная нить, ножницы, линейка-рычаг, измерительная линейка, динамометр, штангенциркуль или микрометр, лабораторный штатив с муфтой и лапкой.

Ход работы:

Задание 1. Используя медную проволоку различной толщины, измерьте силу, которую необходимо приложить для её разрыва. Эта сила, очевидно, будет равна максимальной силе упругости, возникающей при растяжении проволоки. Измерьте диаметр проволоки. Вычислите предел прочности $\sigma_{пч}$ меди.

Задание 2. Изучите зависимость прочности нити на разрыв от её длины двумя способами.

Первый способ (расточительный): нить заранее разрезается на куски разной длины и определяется их прочность.

Второй способ (экономичный): берётся кусок нити некоторой максимальной длины, находится его прочность; затем более длинный из получившихся кусков используется для определения прочности при длине, равной половине максимальной, и так далее.

Объясните различия в результатах (если они есть), полученных этими двумя способами.

Задачи по теме «Предел прочности вещества».

16.1. Для подъёма черпака с углём массой 10 т используют трос, свитый из 200 железных проволок. Каков диаметр каждой проволоки, если коэффициент запаса прочности взят равным 5? Предел прочности 350 Н/мм^2.

Примечание. Коэффициент запаса прочности показывает, во сколько раз сила упругости, возникающая при деформации тела, меньше наибольшей силы упругости, возникающей в деформированном теле.

16.2. В пробурённую сверхглубокую скважину на стальном тросе погружают нетяжёлый прибор. До какой наибольшей глубины можно погрузить прибор в скважину?

16.3. Действующая модель подъёмного крана способна без обрыва троса поднять 10 уменьшенных копий бетонных плит. Сколько реальных плит поднимет настоящий кран, изготовленный из тех же материалов, если линейные размеры крана, троса и плит в 12 раз больше, чем модель?

РАЗДЕЛ 5. ДАВЛЕНИЕ. АРХИМЕДОВА СИЛА

§ 17. ДАВЛЕНИЕ ГАЗА

Практическая работа «Изготовление газового термометра».

Оборудование: пробирка, резиновая пробка с отверстием, стеклянная трубка (с одного конца трубка изогнута под прямым углом), лист миллиметровой бумаги, стакан с холодной и стакан с горячей водой, лабораторный термометр.

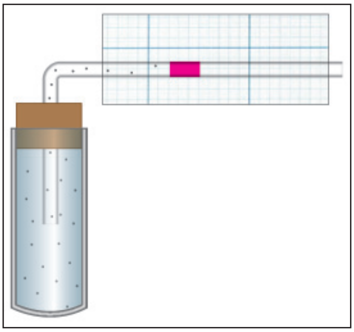


Рис. 35

Ход работы:

Введите в стеклянную трубку небольшую капельку подкрашенной воды. Из пробирки, трубки и пробки соберите модель газового термометра (рис. 35). Закрепите на трубке полоску миллиметровой бумаги – будущую шкалу прибора.

Как действует газовый термометр? При нагревании пробирки молекулы воздуха, находящегося в пробирке, начинают совершать более интенсивное тепловое движение. Они чаще и с большей силой ударяют о стенки пробирки и стеклянной трубки, «бомбардируя» и капельку воды. Другими словами, при нагревании давление воздуха возрастает, и воздух, находящийся в пробирке, смещает капельку воды, расширяясь до тех пор, пока его давление вновь не станет равным атмосферному давлению. Таким образом, по величине смещения капельки воды можно судить о температуре воздуха в пробирке.

Задание 1. Опустите пробирку газового термометра в стакан с холодной водой. Измерьте температуру воды в стакане лабораторным термометром. Отметьте на шкале газового термометра положение капельки воды и укажите, какому значению температуры оно соответствует. Постепенно доливая горячую воду, изменяйте температуру воздуха в пробирке и проградуируйте шкалу газового термометра.

Задание 2. Используя газовый термометр, измерьте температуру воздуха в кабинете физики и сравните измеренное значение с температурой, которую показывает лабораторный термометр.

17.1. Какой, линейной или нет, получилась шкала[1] газового термометра? Какой можно сделать вывод о зависимости объёма газа от его температуры (при постоянном давлении)?

Зависимость давления газа от объёма (при постоянной температуре). Давление, производимое газом на стенки баллона, как вы знаете, обусловлено ударами молекул о стенки баллона. Что происходит с давлением газа при повышении его температуры? С ростом температуры увеличивается скорость движения молекул газа. Это приводит как к увеличению силы удара отдельной молекулы о стенку баллона, так и к росту числа ударов за единицу времени. В результате давление газа возрастает.

Что происходит с давлением газа при увеличении объёма газа? В этом случае *уменьшается число молекул газа в единице объёма*, а значит, *уменьшается и число ударов молекул о стенки баллона* за единицу времени. Это приводит к уменьшению давления газа. Таким образом, **во сколько раз увеличивается объём газа**, во столько раз уменьшается число ударов молекул о стенки баллона, **во столько раз уменьшается давление газа.**

Математически обратно пропорциональную зависимость между давлением p газа и его объёмом V (при постоянной температуре) можно записать следующим образом:

$$p = \frac{C}{V},$$

где C – некоторая постоянная (для данной массы газа при данной температуре) величина.

$$pV = C.$$

Пусть при объёме V_1 газ имел давление p_1, а при объёме V_2 давление газа составляет p_2. Тогда при постоянной температуре для данной массы газа справедливо соотношение

$$p_1V_1 = p_2V_2. \qquad (17.1)$$

17.1. Пузырёк воздуха в водоёме на глубине 20 м имеет объём 0,2 см^3. Каков будет объём пузырька, когда он всплывёт к поверхности воды? Температуру воздуха в пузырьке считать постоянной.

[1] Линейной шкалу прибора называют в том случае, если расстояние между ближайшими друг к другу делениями шкалы одинаково на всём протяжении шкалы.

Лабораторная работа «Измерение атмосферного давления».

Оборудование: стеклянная трубка длиной 30–35 см и диаметром 5 мм, резиновая трубка длиной 2–2,5 м, воронка, кусочек пластилина, измерительная линейка, измерительная лента.

Ход работы:

Используемый в данной лабораторной работе метод измерения атмосферного давления основан на зависимости давления газа от его объёма при неизменной температуре [формула (17.1)]:

$$p_1V_1 = p_2V_2,$$

где p_1 и p_2 – давления, а V_1 и V_2 – объёмы газа, соответствующие определённым состояниям данной массы газа.

Изготовим необходимую экспериментальную установку. Для этого присоединим к резиновой трубке с одной стороны воронку, а с другой – стеклянную трубку. Расположим их в вертикальной плоскости и заполним водой (рис. 36).

Закроем свободный конец трубки пластилином (рис. 37). Измерим высоту h_1 столба воздуха в стеклянной трубке – в этом состоянии объём V_1 воздуха в трубке равен

$$V_1 = sh_1, \tag{17.2}$$

где s – площадь поперечного сечения трубки.

Давление p_1 воздуха в трубке равно атмосферному давлению $p_{атм}$:

$$p_1 = p_{атм}. \tag{17.3}$$

Поднимем воронку вверх на высоту 1,5–2 м. При этом на воздух в трубке будет действовать не только атмосфера, но и столб воды высотой H (рис. 38).

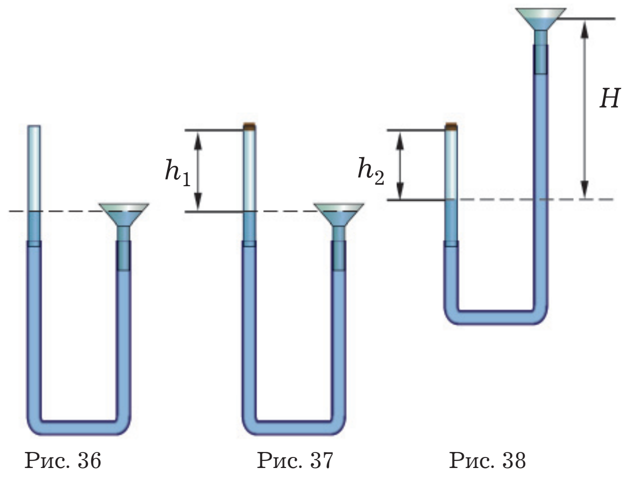


Рис. 36 Рис. 37 Рис. 38

По этой причине воздух в стеклянной трубке будет сжат. Вновь измерим высоту h_2 столба воздуха в трубке.

В этом состоянии объём V_2 и давление p_2 воздуха будут соответственно равны

$$V_2 = sh_2, \qquad (17.4)$$

$$p_2 = p_{атм} + \rho g H, \qquad (17.5)$$

где ρ – плотность воды.

С учётом соотношений (17.1) – (17.5) имеем

$$p_{атм} h_1 = (p_{атм} + \rho g H) h_2 .$$

Отсюда

$$p_{атм} = \frac{\rho g H h_2}{h_1 - h_2} .$$

Задание 1. Измерьте атмосферное давление. Сравните полученный результат с показанием барометра.

Измерение плотности воздуха.

Метод взвешивания. Стеклянную шарообразную колбу плотно закроем пробкой, в которую вставлена стеклянная трубка с краном. Используя весы, определим массу колбы (вместе с пробкой и стеклянной трубкой). В одном из опытов она оказалась равной

$$m_1 = (204{,}5 \pm 0{,}1)\ \text{г}.$$

После этого колбу соединим с насосом и откачаем из колбы воздух (рис. 39, *а*). Кран перекроем, отсоединим колбу от шланга и повторно взвесим её. Пусть масса колбы (после откачивания воздуха) оказалась равной

$$m_2 = (203{,}3 \pm 0{,}1)\ \text{г}.$$

Значит, масса выкачанного воздуха m равна

$$m = m_1 - m_2.$$

Для того чтобы выяснить, какой объём занимал воздух, который был выкачан из колбы, возьмём сосуд с водой и расположим колбу так, чтобы стеклянная трубка находилась в воде (рис. 39, *б*). Откроем кран, под действием атмосферного давления вода войдёт в колбу.

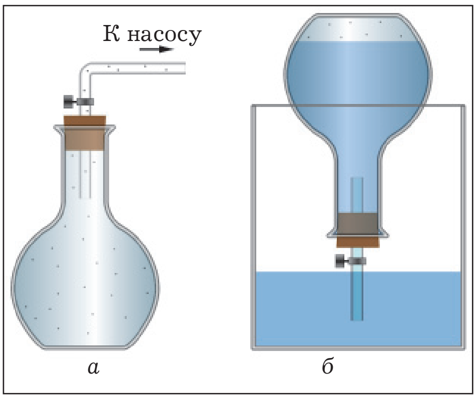


Рис. 39

До каких пор вода будет поступать в колбу? До тех пор, пока оставшийся в колбе воздух не будет сжат до атмосферного давления. Таким образом, вода заполнит в колбе именно тот объём, что ранее занимал воздух, выкачанный из колбы. Перелив воду из колбы в мензурку, определим этот объём. Так, в одном из опытов объём V оказался равен

$$V = (950 \pm 50)\ \text{см}^3.$$

Зная массу выкачанного воздуха и объём, который он занимал, легко определить плотность воздуха:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

или

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

Гидростатический метод определения плотности воздуха. Подсоединим к сосуду жидкостный манометр (рис. 40).

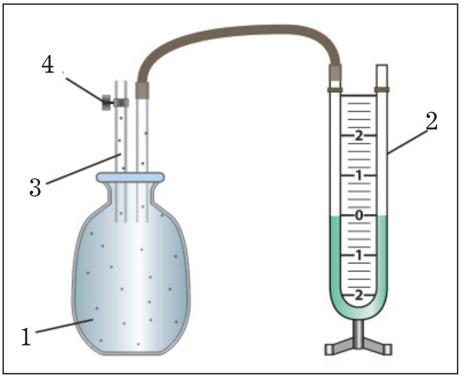


Рис. 40
1 – сосуд;
2 – жидкостный манометр;
3 – стеклянная трубка;
4 – кран

Откроем кран *4* и соединим сосуд с атмосферой. При этом давление в сосуде p_1 сравняется с атмосферным давлением $p_{атм}$:

$$p_1 = p_{атм}. \qquad (17.6)$$

Закроем кран и опустим сосуд вниз на высоту H. Атмосферное давление увеличится и станет равным

$$p_{атм} + \rho_{вх} gH.$$

Столбик жидкости в манометре сместится на h и будет создавать давление $p_ж$, равное

$$p_ж = \rho_ж gh,$$

где $\rho_ж$ – плотность жидкости, которой заполнен манометр.

Воздух в сосуде при этом будет незначительно сжат, его давление станет равным p_2.

Условие равновесия жидкости в манометре можно, очевидно, записать в виде

$$p_{атм} + \rho_{вх} gH = p_2 + \rho_ж gh. \qquad (17.7)$$

Допустим, что площадь поперечного сечения трубки манометра 0,25 см^2 (завышенное значение) и столбик жидкости сместился на высоту h порядка 2 см (завышенное значение). Тогда изменение объёма воздуха в сосуде ΔV равно

$$\Delta V = 0{,}25 \text{ см}^2 \cdot 2 \text{ см},$$

$$\Delta V = 0{,}5 \text{ см}^3.$$

Если в качестве сосуда использовать, например, трёхлитровую банку (её полный объём составляет 3200 см^3), то объём воздуха в сосуде, а значит, и давление воздуха в сосуде изменились незначительно и

$$p_1 = p_2. \tag{17.8}$$

С учётом соотношений (17.6) и (17.8) выражение (17.7) примет вид

$$\rho_{вх} g H = \rho_{ж} g h.$$

Окончательно имеем

$$\rho_{вх} = \frac{\rho_{ж} h}{H}.$$

При выполнении такого эксперимента манометр был заполнен касторовым маслом, имеющим плотность 960 кг/м^3, и были получены следующие результаты:

$$H = (650 \pm 5) \text{ см},$$

$$h = (8 \pm 1) \text{ мм}.$$

17.2. По данным, приведённым в параграфе, или по данным опытов, выполненных вами самостоятельно, определите плотность воздуха методом взвешивания и гидростатическим методом. Проведите расчёт погрешности и относительной погрешности измерения плотности воздуха. Для расчёта относительной погрешности плотности воздуха ε_ρ используйте формулы, приведённые на переднем форзаце факультативного курса.

§ 18. ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ

18.1. Диаметр водопроводной трубы плавно уменьшается от D = 4 см до d = 2 см. Определите скорость воды в узком месте трубы, если в широком месте она равна 0,3 м/с.

18.2. Диаметр водопроводной трубы плавно уменьшается от D = 4 см до d = 2 см. Во сколько раз кинетическая энергия одного кубического сантиметра воды, движущейся в узком месте трубы, больше кинетической энергии одного кубического сантиметра воды, движущейся в широком месте трубы?

18.3. Сосуд в форме куба доверху наполнен водой. Определите давление воды на дно сосуда, если масса воды в нём 64 г.

18.4. До какой высоты h следует налить жидкость в сосуд, имеющий форму куба со стороной a, чтобы сила давления жидкости на дно сосуда была равна силе давления жидкости на боковые стенки? (Толщину стенок сосуда не учитывать.)

§ 19. АРХИМЕДОВА СИЛА. ПЛАВАНИЕ ТЕЛ

19.1. Оцените выталкивающую силу, действующую на человека со стороны воздуха в комнате.

19.2. Пусть в вашем распоряжении имеется картофелина, банка с водой, мензурка, стеклянная палочка и поваренная соль, расфасованная в упаковки по 5 г. Определите плотность картофелины.

19.3. Пусть в вашем распоряжении имеется динамометр, сосуд с водой, сосуд с неизвестной жидкостью, тело, которое тонет и в воде, и в неизвестной жидкости. Определите плотность неизвестной жидкости.

19.4. Пусть в вашем распоряжении имеется тонкостенная стеклянная колба, мензурка, сосуд с водой. Определите массу колбы.

19.5. В вашем распоряжении имеется деревянный брусок, мензурка с водой, сосуд с водой. Определите плотность древесины.

19.6. Пусть в вашем распоряжении имеется мензурка, сосуд с водой, неизвестная жидкость. Определите плотность неизвестной жидкости.

19.7.

«Мимо бревно суковатое плыло,
Сидя, и стоя, и лёжа пластом
Зайцев с десяток спасалось на нём.
«Взял бы я вас – да потопите лодку!»
Жаль их, однако, да жаль и находку –
Я зацепился багром за сучок
И за собою бревно поволок»

(Н. А. Некрасов)

Оцените, при каком наименьшем объёме бревна зайцы могли бы плыть на нём. Масса зайца около 2 кг.

19.8. Папа Карло, выстругав Буратино из берёзового полена, снабдил его золотыми монетами. Сколько монет было у Буратино, если, спасаясь от Карабаса-Барабаса, он чуть было не утонул, свалившись в воду? Табличные данные приведены ниже.

Масса Буратино, кг	5
Масса одной золотой монеты, г	80
Плотность берёзы, г/см^3	0,64
Плотность золота, г/см^3	19,3

19.9. Пусть в вашем распоряжении имеется кусок пластилина, сосуд цилиндрической формы с водой, линейка. Определите плотность пластилина.

19.10. Поверх воды, в которой плавает льдина, налит керосин, покрывающий льдину. Определите, какая часть объёма льдины погружена в воду. Плотность воды 1000 кг/м^3, льда – 900 кг/м^3, керосина – 800 кг/м^3.

19.11. В кастрюле плавает пористый кусок льда. Ровно половина по объёму этого «айсберга» находится над водой. Лёд вынули из воды, при этом её уровень понизился на Δh = 6 см. Найдите суммарный объём полостей в куске льда, если поперечное сечение кастрюли s = 200 см^2. Плотность льда $\rho_л$ = 917 кг/м^3.

19.12. Римский архитектор Витрувий (1 век до нашей эры) в своём сочинении «Об архитектуре» излагает следующую историю: «Во время своего царствования в Сиракузах Гиерон... дал обет пожертвовать в какой-то храм золотую корону бессмертным богам. Он условился с мастером о большой цене за работу и дал ему нужное по весу количество золота. В назначенный день мастер принёс свою работу царю, который нашёл её отлично исполненной; после взвешивания корона оказалась соответствующей выданному весу золота. После этого был сделан донос, что из короны была взята часть золота и вместо него примешано такое же количество серебра. Гиерон разгневался на то, что его провели, и, не находя способа уличить это воровство, попросил Архимеда хорошенько подумать об этом». По преданию, Архимед, найдя решение задачи, радостно воскликнул: «Эврика, Эврика!» (Нашёл, нашёл!)».
Пусть в вашем распоряжении имеется динамометр, сосуд с водой и «корона» – железный предмет, покрытый слоем пластилина. Определите массу железа и массу пластилина, пошедших на изготовление «короны». Плотность железа и пластилина вам известны.

19.13. Пусть в вашем распоряжении имеется сосуд с водой, сосуд с неизвестной жидкостью, рычаг-линейка, два груза (различные по массе и по объёму), лабораторный штатив с муфтой и лапкой. Определите плотность неизвестной жидкости.

19.14. Пусть в вашем распоряжении имеется деревянная рейка прямоугольного сечения с отверстием на одном её конце, штатив с муфтой и металлической осью, широкий сосуд с водой, измерительная линейка. Используя имеющееся оборудование, определите плотность рейки.

Часть 2. Указания

Способности, как и мускулы, растут при тренировке.

Академик Владимир Афанасьевич Обручев (1863–1956), геолог и географ, исследователь Сибири, Центральной и Средней Азии, автор научно-популярных книг

К 2.2. Объём V стекла равен

$$V = abc.$$

Относительная погрешность измерения объёма ε_V равна сумме относительных погрешностей измерения ε_a, ε_b, ε_c длины a, ширины b и толщины c пластинки.

$$\varepsilon_V = \varepsilon_a + \varepsilon_b + \varepsilon_c.$$

С другой стороны, относительная погрешность

$$\varepsilon_V = \frac{\Delta V}{V},$$

где ΔV – погрешность измерения объёма.

Отсюда $\Delta V = \varepsilon_V V$.

К 2.3. Используйте правило приближённых вычислений.

К 3.2. Пусть некоторая физическая величина Y зависит от величин A, B, C, например, таким образом:

$$Y = ABC.$$

В таком случае относительная погрешность измерения величины Y вычисляется по формуле

$$\varepsilon_Y = \varepsilon_A + \varepsilon_B + \varepsilon_C.$$

Зная относительную погрешность ε_Y, легко вычислить погрешность ΔY.

Так как

$$\varepsilon_Y = \frac{\Delta Y}{Y},$$

то

$$\Delta Y = \varepsilon_Y Y.$$

К 3.3. Смотрите указания к 3.2.

К 3.4. Учтите, что высота цилиндра равна диаметру шара. Формулы для расчёта объёма шара и цилиндра приведены в таблице 3.

К 3.5. Вместимость банки или флакона равна объёму воды, налитой в неё доверху. Чтобы определить объём этой воды, перелейте её в цилиндрический сосуд. Объём стекла банки или флакона равен объёму вытесненной воды при полном погружении банки, флакона.

К 3.6. Так как мальчики делали точную копию снеговика, то у копии не только высота, но и длина, и ширина больше, чем у оригинала, в 2 раза.

К 3.7. Смотрите указания к 3.6.

К 4.1. Для вычисления площадей на планах и картах можно использовать палетку (от французского *palette* – пластинка, планка) – прозрачную плёнку с нанесённой сеткой линий.

Для сравнения площадей фигур можно также вырезать из плёнки или миллиметровой бумаги фигуру, контур которой совпадает с контуром материка, и воспользоваться весами.

К 4.2. Воспользуйтесь методом решения задачи «Путь – это площадь».

К 4.3. Смотрите указания к 4.1.

К 5.1. Примените теорему Пифагора.

К 5.2. Скорость движения теплохода по течению определяется скоростью движения теплохода в неподвижной воде и скоростью течения реки.

К 5.3. Ясно, что при движении автомобиля по шоссе и по повреждённому участку они не могут столкнуться, так как у них одинаковые скорости. Значит, столкновение может произойти только при въезде автомобиля на повреждённый участок.

К 5.4. Время подъёма пассажира определяется длиной эскалатора и скоростью подъёма пассажира. В первом случае скорость подъёма равна скорости движения эскалатора, во втором случае – скорости движения пассажира. В третьем случае скорость подъёма равна скорости движения эскалатора плюс скорость движения пассажира.

К 5.5. Пусть первый из спортсменов поравнялся с тренером. В этот момент последний из спортсменов находится от тренера на расстоянии L. Первый из спортсменов, поравнявшись с тренером, разворачивается и удаляется от него со скоростью $v - u$. Итак, нам известно, что «голова» новой колонны удаляется от тренера со скоростью $v - u$.

Осталось ещё сообразить, сколько времени будет формироваться новая колонна.

К 5.9. По определению средняя скорость движения тела за некоторое время равна отношению пути, пройденного телом за это время, ко времени. Определите путь автомобиля за первую половину времени; за вторую половину времени; весь путь, пройденный автомобилем.

К 5.10. Определите время, затраченное автомобилем на первую половину пути; на вторую половину пути и всё время движения автомобиля.

К 5.12. Начертите график зависимости скорости автомобиля от времени на участке разгона.

К 5.13. Пройденный телом путь численно равен площади под графиком зависимости скорости движения тела от времени.

К лабораторной работе «Сравнение масс взаимодействующих тел» (§ 6). Взаимодействующие тела (шарики или монеты) падают с одной и той же высоты *за одинаковое время*. При взаимодействии тела приобретают скорости, направленные горизонтально. После взаимодействия, при дальнейшем движении, эти горизонтально направленные скорости не изменяются (обоснуйте, почему).

К лабораторной работе «Изучение колебаний груза на пружине» (§ 7).
Рассмотрение графика зависимости одной физической величины от другой часто позволяет сделать вывод о том, каков характер зависимости величин. Так, например, из графика зависимости скорости от времени (рис. 14) можно сделать вывод, что в рассматриваемом случае скорость автомобиля при разгоне прямо пропорциональна времени его движения. Точно так же о зависимости периода колебаний груза T от массы груза m легко можно судить, если графиком некоторой зависимости (периода T от массы груза m, периода T от квадрата массы груза m^2, квадрата периода T^2 от массы груза m) является прямая линия.

На величину периода также будут влиять и упругие свойства пружины (от них зависит величина силы упругости, возникающей при деформации).

К 10.1. При движении камня вертикально вверх происходит превращение кинетической энергии в потенциальную. Запишите формулу закона сохранения энергии.

К 10.2. Смотрите указание к 10.1.
Для расчёта времени движения шарика вам необходимо измерить дальность полёта шарика в горизонтальном направлении.

К 10.3. Первоначально мальчик обладает и потенциальной и кинетической энергией, а при достижении им воды – только кинетической энергией (если вести отсчёт от уровня воды).

К 10.4. Рассчитайте высоту полёта мяча в момент, когда он находится на уровне линии ворот.

К 10.5. Для расчёта дальности стрельбы (то есть дальности движения ядра в горизонтальном направлении) необходимо знать горизонтальную скорость ядра.

К лабораторной работе «Изучение неупругого взаимодействия тел» (§ 10). Кинетическую энергию шарика (шариков) можно определить, если воспользоваться законом сохранения энергии и рассмотреть процесс перехода кинетической энергии тела в потенциальную.

К лабораторной работе «Сравнение масс тел по величине их тормозного пути» (§ 11). Обратите внимание на задачу 4, решение которой анализируется в § 19 учебника «Физика. 7 класс». Вспомните результаты выполнения задания 1 лабораторной работы «Изучение силы трения скольжения» (§ 14 учебника «Физика. 7 класс»). Чем больше масса монеты, тем больше сила трения, действующая на неё.

К 12.1. Сила, прикладываемая к гвоздю при его удалении из бревна, равномерно убывает от 2 кН до 0. Постройте график зависимости силы от перемещения точки приложения силы (то есть от перемещения гвоздя).

К 12.2. Постройте график зависимости силы, действующей на гвоздь, от перемещения точки приложения силы.

К 12.3. Смотрите указание к 12.2.

К 12.4. Значение силы, которую необходимо прикладывать для растяжения пружины динамометра, очевидно равно показанию самого прибора. Постройте график зависимости силы, приложенной к пружине динамометра, от перемещения точки приложения силы (то есть от растяжения пружины).

К 12.5. Для того чтобы равномерно поднимать канат, к его концу необходимо прикладывать силу, численно равную силе тяжести, действующей на ту часть каната, что находится в воздухе. Постройте график зависимости силы, приложенной к канату, от перемещения точки приложения силы (то есть от высоты поднятия каната).

К лабораторной работе «Определение силы трения скольжения по величине совершённой работы» (§ 12).

Задание 1. Работа силы трения скольжения равна уменьшению потенциальной энергии груза.

Задание 2. Работа силы трения скольжения равна уменьшению потенциальной энергии первоначально деформированной пружины динамометра.

К 13.1. Обратите внимание на задачу 3, решение которой анализируется в § 21 учебника «Физика. 7 класс».

К 13.2. Скорость движения соединённых автомобилей определяется общей мощностью N двух автомобилей и их силой тяги F.

$$N = N_1 + N_2,$$

$$F = F_1 + F_2,$$

где F_1 и F_2 – сила тяги соответственно первого и второго автомобилей.

К 14.1. Примените условие равновесия рычага.

К 14.2. Подумайте, в какой точке приложена сила тяжести, действующая на первую часть проволоки, и в какой точке – на левую часть проволоки.

К 14.3. Смотрите указания к 14.1 и 14.2.

К 14.4. Смотрите указания к 14.1 и 14.2.

К 14.5. Эта задача имеет решение, не требующее проведения математических расчётов.

К практической работе «Изготовление вращательных весов» (§ 14). В точке A к диску приложена сила $F_0 = m_0 g$, а в точке B – сила $F = mg$ (рис. 33). Подумайте, чему равны плечи этих сил.

К 15.1. Объём воздушной полости в пластилине равен разности объёмов «пельменя» и пластилина, использованного при его изготовлении.

К 15.2. Объём «сплава» легко измерить, если изготовить «слиток» в форме прямоугольного параллелепипеда.

К 15.3. Примените условие равновесия рычага.

К 16.1. Очевидно, что сила упругости, возникающая при деформации троса, равна силе тяжести:

$$F_m = mg,$$

где m – масса черпака с углём. С другой стороны, эта сила упругости в $k = 5$ раз меньше наибольшей силы упругости.

К 16.2. При большой длине вертикально висящего троса он может оборваться под собственной тяжестью.

К 16.3. Сообразите, во сколько раз масса реальной плиты больше массы её уменьшенной копии. Во сколько раз площадь поперечного сечения троса настоящего крана больше площади поперечного сечения троса в модели?

К 17.1. Примите во внимание зависимость между давлением и объёмом газа при постоянной температуре.

К 18.1. Учтите, что жидкость несжимаема.

К 18.2. Учтите, что кинетическая энергия движущегося тела зависит от квадрата его скорости.

К 18.3. Давление, производимое столбом жидкости, зависит от высоты столба жидкости и её плотности.

К 18.4. Обратите внимание на задачу 4, решение которой анализируется в § 40 учебника «Физика. 7 класс».

К 19.1. При полном погружении человека в воду выталкивающая сила, действующая на тело, практически равна силе тяжести, действующей на тело.

К 19.2. Каково должно быть соотношение между плотностями тела и жидкости, чтобы тело плавало в жидкости?

К 19.3. Выталкивающая сила, действующая на тело, зависит от плотности жидкости.

К 19.4. Примените условие плавания тела.

К 19.5. Для определения плотности древесины необходимо знать массу бруска и его объём. Массу бруска можно определить, воспользовавшись условием плавания тел.

К 19.6. Если тело плавает в некоторой жидкости, то выталкивающая сила равна силе тяжести, действующей на тело.

К 19.7. Выталкивающая сила, действующая на бревно при его полном погружении в воду, должна быть не меньше силы тяжести, действующей на бревно, «утяжелённое» зайцами.

К 19.8. Примените условие плавания тела.

К 19.9. Если изготовить из пластилина «кораблик» и пустить его плавать в сосуде с водой, то выталкивающая сила, действующая на «кораблик», равна силе тяжести, действующей на пластилин.

К 19.10. Выталкивающая сила, действующая на льдину со стороны воды, и выталкивающая сила, действующая на льдину со стороны керосина, уравновешивают силу тяжести, действующую на льдину.

К 19.11. Примените условие плавания тел.

К 19.12. Подумайте, как можно определить общую массу железа и пластилина? Как определить общий объём железа и пластилина? Это позволит вам рассчитать массу железа и массу пластилина.

К 19.13. Прикрепите к рычагу-линейке грузы и, подобрав определённое соотношение плеч, добейтесь равновесия рычага. Нарушится ли равновесие рычага, если один из грузов опустить в жидкость? Если да, то почему? Запишите условие равновесия рычага для каждого из случаев.

К 19.14. Используя отверстие, закрепите рейку на оси так, чтобы она могла свободно вращаться. Опустите другой конец рейки в сосуд с водой (рейка не должна касаться дна и стенок сосуда). При каком условии рейка будет находиться в равновесии?

Часть 3. Решения и ответы

Ум заключается не только в знании,
но и в умении применять знание на деле.
Аристотель

2.1. а) $s = ab$. $s = 32{,}3$ см · 0,87 см. $s = 28{,}101$ см^2. $s = 28$ см^2.
б) $b = 12{,}550 - 8{,}1 + 3{,}42$. $b = 7{,}9$.

Комментарий. Вычисления произведены в соответствии с правилами 1 и 2 приближённых вычислений (смотрите § 2 факультативного курса).

2.2. $a = (42{,}5 \pm 0{,}5)$ мм,
$b = (24{,}0 \pm 0{,}5)$ мм,
$c = (2{,}1 \pm 0{,}1)$ мм.

1. Вычисляем относительные погрешности измерения a, b, c.

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a}, \qquad \varepsilon_a = \frac{0{,}5\text{ мм}}{42{,}5\text{ мм}} = 0{,}01.$$

$$\varepsilon_b = \frac{\Delta b}{b}, \qquad \varepsilon_b = \frac{0{,}5\text{ мм}}{24{,}0\text{ мм}} = 0{,}02.$$

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta c}{c}, \qquad \varepsilon_c = \frac{0{,}1\text{ мм}}{2{,}1\text{ мм}} = 0{,}05.$$

2. Вычисляем относительную погрешность ε_V измерения V.

$$\varepsilon_V = \varepsilon_a + \varepsilon_b + \varepsilon_c. \qquad \varepsilon_V = 0{,}01 + 0{,}02 + 0{,}05. \qquad \varepsilon_V = 0{,}08.$$

3. Вычисляем V.

$$V = abc, \qquad V = 42{,}5\text{ мм} \cdot 24{,}0\text{ мм} \cdot 2{,}1\text{ мм} = 2142\text{ мм}^3, \qquad V = 2100\text{ мм}^3.$$

4. Вычисляем погрешность ΔV измерения объёма.

$$\varepsilon_V = \frac{\Delta V}{V},$$

отсюда

$$\Delta V = 0{,}08 \cdot 2100\text{ мм}^3 = 168\text{ мм}^3, \qquad \Delta V = 200\text{ мм}^3.$$

5. Записываем итоговый результат в виде

$$V = (2100 \pm 200)\text{ мм}^3.$$

Комментарий. Сравнение относительных погрешностей измерения длины, ширины и толщины показывает, что наименее точно было произведено измерение толщины пластинки. Точность этого измерения 5 %.

2.3. Масса багажа 128 кг.

3.2. $V = \frac{1}{4}\pi d^2 H$, $s_Б = \pi dH$, $s_П = \pi dH + \frac{1}{2}\pi d^2$,

где d –диаметр;

H – высота цилиндра.

$$\varepsilon_V = 2\,\varepsilon_d + \varepsilon_H, \quad \varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d}, \quad \varepsilon_H = \frac{\Delta H}{H}.$$

$$\Delta V = \varepsilon_V V.$$

3.3. $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, $s = 4\pi R^2$,

где R – радиус шара.

$$\varepsilon_V = 2\,\varepsilon_d + \varepsilon_H, \quad \varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d}, \quad \varepsilon_H = \frac{\Delta H}{H}.$$

$$\Delta V = \varepsilon_V V.$$

3.4. $\frac{V_{цилиндр}}{V_{шар}} = 1{,}5.$

Так же относятся между собой и площади поверхности этих тел. Впервые этот результат был получен знаменитым учёным древности Архимедом, который считал его наиболее важным своим достижением в геометрии (недаром чертёж шара, вписанного в цилиндр, был помещён на его надгробии).

3.5. Вместимость банки или флакона равна объёму воды, налитой в неё доверху. Чтобы определить объём воды, перельём её в цилиндрический сосуд. Измерив диаметр d и высоту h столба воды в сосуде, найдём объём воды V:

$$V = \frac{1}{4}\pi d^2 h.$$

Если же дно сосуда не плоское, то предварительно следует налить в него немного воды (рис. 41).

Примечание. Если цилиндрический сосуд толстостенный, то для измерения диаметра d столба воды следует измерить внутренний диаметр сосуда. Если цилиндрический сосуд тонкостенный, то диаметр d столба воды будет практически равен диаметру сосуда. Для нахождения объёма стекла банки поместите её в цилиндрический сосуд. Налейте воды столько, чтобы она целиком покрыла

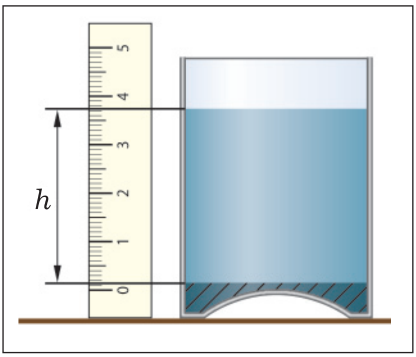


Рис. 41

банку и полностью вытеснила воздух из банки. Измерьте уровень воды H в цилиндрическом сосуде. Выньте банку из сосуда и вновь измерьте уровень воды H' в сосуде (он, конечно, станет меньше). Ясно, что объём стекла $V_{ст}$ банки можно определить по формуле

$$V_{ст} = \frac{1}{4}\pi d^2 (H - H').$$

3.6. У точной копии снеговика все его размеры (высота, длина, ширина) будут больше, чем у оригинала, в 2 раза. Следовательно, объём копии будет в $2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$ раз больше объёма оригинала. Во столько же раз будет больше и его масса.

Ответ: масса копии 320 кг.

3.7. Высота, длина, ширина каждой детали модели будут уменьшены в

$$\frac{540\text{ м}}{0{,}54\text{ м}} = 1000\text{ (раз)}.$$

Следовательно, объём каждой детали будет уменьшен в 1 000 000 000 раз.

Ответ: масса модели 55 г.

4.1. *Первый способ*. Наложите на карту Африки прозрачную плёнку и обведите контур материка тонким фломастером или ручкой. Прозрачную плёнку с контуром Африки наложите на миллиметровую бумагу и посчитайте число клеток, ограниченное контуром материка. (Пользуйтесь следующим правилом: общее число клеток, ограниченное контуром фигуры, равно числу целых клеток плюс половина неполных). Такие же действия выполните с картой Австралии. Вычислите, во сколько раз площадь Африки больше площади Австралии.

Второй способ. Наложите на карту Африки прозрачную плёнку и обведите контур материка. Вырежьте плёнку по контуру и взвесьте её. Такие же действия проделайте и с картой Австралии. Вычислите, во сколько раз отличаются площади материков.

Для справок. Площадь Африки (без островов) – 29,2 млн км^2, площадь Австралии – 7,63 млн км^2.

4.2. Если построить графики зависимости скорости первого и второго бегуна от времени и определить пройденный каждым бегуном путь как площадь соответствующего прямоугольного треугольника, то легко видеть, что площадь, а значит, и пройденный бегунами за 8 с путь одинаковы.

4.3. Постройте график зависимости скорости движения лодки от времени. Подсчитав число клеток, определите площадь под графиком скорости. Эта площадь и будет численно равна пути, пройденному лодкой.

Для определения площади фигуры под графиком скорости можно также воспользоваться весами. Вырежьте из бумаги квадрат 5 см · 5 см и взвесьте его. Затем вырежьте фигуру, ограниченную графиком скорости и координатными осями. Взвесьте фигуру. Ясно, что площадь фигуры будет во столько раз больше площади в 25 см^2, во сколько раз масса вырезанной фигуры больше массы квадрата 5 см · 5 см.

Ответ: путь, пройденный лодкой, равен 15 м.

5.1. Путь, пройденный первым автомобилем, равен

$$S_1 = v_1 t\ .$$

Путь, пройденный вторым автомобилем, равен

$$S_2 = v_2 t\ .$$

Так как автомобили движутся по взаимно перпендикулярным дорогам, начав движение одновременно из одной точки, то расстояние L между ними – гипотенуза прямоугольного треугольника с катетами S_1 и S_2.

$$L^2 = S_1{}^2 + S_2{}^2\ .$$

$$L^2 = v_1{}^2 t^2 + v_2{}^2 t^2\ .$$

$$L^2 = (v_1{}^2 + v_2{}^2) t^2\ .$$

$$L = \sqrt{v_1{}^2 + v_2{}^2} \cdot t\ .$$

$$L = \sqrt{(15\ \text{м/с})^2 + (20\ \text{м/с})^2} \cdot 600\ \text{с}\ .$$

$$L = 1500\ \text{м}.$$

Ответ: 1500 м.

5.2. Обозначим скорость движения теплохода в неподвижной воде относительно берега через v, а скорость течения реки – через v_p. Тогда скорость движения теплохода по течению будет $v + v_p$, а против течения $v - v_p$. По условию задачи

$$v + v_p = 600\ \text{км/сут},$$

$$v - v_p = 336\ \text{км/сут}.$$

Решая эту систему уравнений, имеем $v_p = 132$ км/сут.

Или

$$v_p = \frac{132\ \text{км}}{24\ \text{ч}} = 5{,}5\ \text{км/ч}.$$

Ответ: 5,5 км/ч.

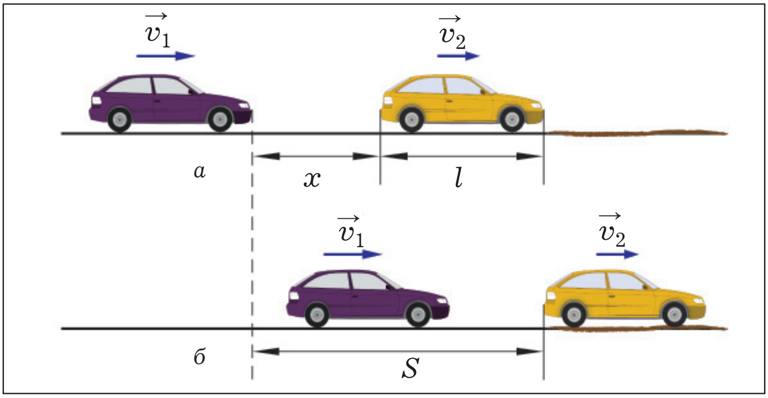


Рис. 42

5.3. Рассмотрим движение двух соседних автомобилей в колонне. Пусть дистанция между автомобилями x (рис. 42, *а*). Если первый автомобиль достиг повреждённого участка, то он будет заезжать на него в течение времени t, равного

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

Второй автомобиль ещё продолжает двигаться с более высокой скоростью v_1 и проходит путь $S = v_1 t$.

Чтобы столкновение не произошло, необходимо выполнение условия:

$$x + l > S.$$

$$x + l > v_1 t.$$

$$x + l > \frac{l v_1}{v_2}.$$

$$x > \frac{l v_1}{v_2} - l.$$

Ответ: $x > l\left(\frac{v_1}{v_2} - 1\right)$.

5.4. Введём обозначения: S – длина эскалатора, $v_э$ – скорость эскалатора, $v_п$ – скорость пассажира (эскалатор неподвижен), t_1 – время подъёма пассажира движущимся эскалатором, t_2 – время подъёма пассажира по неподвижному эскалатору, t – время подъёма движущегося пассажира по движущемуся эскалатору.

Составим уравнения движения для этих случаев:

$$S = v_э t_1,$$

$$S = v_п t_2,$$

$$S = (v_э + v_п)\, t.$$

Решая эту систему уравнений, получим

$$t = \frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2},$$

$$t = \frac{2\text{ мин} \cdot 6\text{ мин}}{2\text{ мин} + 6\text{ мин}}.$$

Ответ: 1,5 мин.

5.5. Первый из спортсменов – «голова» новой колонны – удаляется от тренера со скоростью $v - u$. Последнего из спортсменов тренер встретит через время

$$t = \frac{L}{v + u}.$$

В этот момент формирование новой колонны будет завершено, и первый из спортсменов «убежит» от тренера на расстояние S, равное

$$S = (v - u)t,$$

или

$$S = \frac{L(v - u)}{v + u}.$$

Это расстояние и будет длиной новой колонны.

Ответ: $S = \frac{L(v - u)}{v + u}$.

5.7. Графики зависимости дальности L и высоты h полёта шарика при выстреле из баллистического пистолета от угла α наклона пистолета к горизонту изображены на рисунке 43, *а* и *б*. (Для случая, когда начальная скорость шарика 4 м/с.)

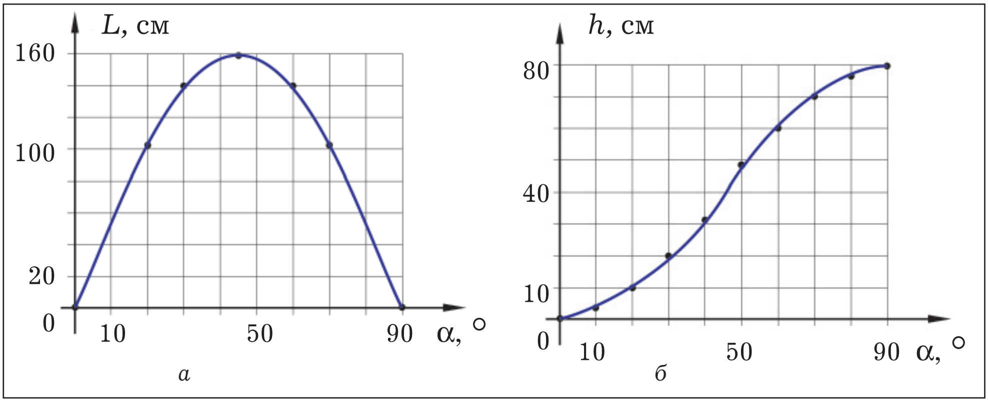


Рис. 43

5.9. Пусть t – *половина времени* движения автомобиля. За первую половину времени автомобиль проехал путь S_1, равный

$$S_1 = v_1 t\ .$$

За вторую половину времени

$$S_2 = v_2 t\ .$$

Весь пройденный автомобилем путь S равен

$$S = S_1 + S_2.$$

$$S = v_1 t + v_2 t.$$

$$S = t\,(v_1 + v_2).$$

Время движения автомобиля $2t$. Тогда средняя скорость автомобиля на всём пути равна

$$v_{cp} = \frac{S_1 + S_2}{2t}.$$

$$v_{cp} = \frac{v_1 + v_2}{2}.$$

$$v_{cp} = 70\text{ км/ч}.$$

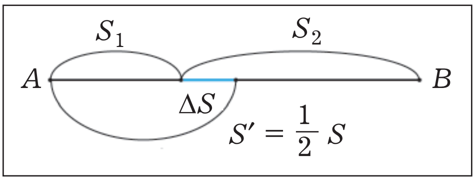


Рис. 44

Теперь вычислим среднюю скорость v_{cp} автомобиля *на первой половине пути* S' (рис. 44).

$$S' = \frac{1}{2}S,$$

$$S' = \frac{1}{2}(v_1 + v_2\,)t, \qquad (1)$$

$$v'_{cp} = \frac{S'}{t'}\ , \qquad (2)$$

где t' – время, затраченное автомобилем на прохождение первой половины пути.

$$t' = t + \Delta t, \qquad (3)$$

где Δt – время, необходимое автомобилю на прохождение участка пути ΔS, дополняющего участок S_1 до середины пути.

$$\Delta S = \frac{1}{2}S - S_1.$$

$$\Delta S = \frac{v_1 + v_2}{2}t - v_1 t.$$

$$\Delta S = \frac{v_2 - v_1}{2} t.$$

На участке пути ΔS автомобиль движется со скоростью v_2, следовательно,

$$\Delta t = \frac{\Delta S}{v_2},$$

или

$$\Delta t = \frac{(v_2 - v_1) t}{2v_2}.$$

Подставим полученный результат в выражение (3):

$$t' = t + \frac{(v_2 - v_1) t}{2v_2},$$

или

$$t' = \frac{(3v_2 - v_1) t}{2v_2}. \qquad (4)$$

С учётом (1) и (4) выражение (2) примет вид

$$v'_{cp} = \frac{(v_1 + v_2) v_2}{3v_2 - v_1},$$

$$v'_{cp} = 62 \text{ км/ч}.$$

Ответ: Средняя скорость на всём пути 70 км/ч. Средняя скорость на первой половине пути 62 км/ч.

5.10. Пусть S – *половина пути* автомобиля. Первую половину пути автомобиль проедет за время t_1, равное

$$t_1 = \frac{S}{v_1}.$$

Вторую половину пути автомобиль проедет за время t_2:

$$t_2 = \frac{S}{v_2}.$$

Общее время t движения автомобиля равно

$$t = t_1 + t_2.$$

$$t = \frac{S}{v_1} + \frac{S}{v_2}.$$

$$t = \frac{S(v_1 + v_2)}{v_1 v_2}. \qquad (1)$$

Весь путь, пройденный автомобилем, равен $2S$.
Тогда средняя скорость на всём пути равна

$$v_{cp} = \frac{2S}{t_1 + t_2}.$$

$$v_{cp} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2}.$$

$$v_{cp} = 69 \text{ км/ч}.$$

Теперь вычислим среднюю скорость v''_{cp} *за вторую половину времени* t''.

$$t'' = \frac{1}{2}t.$$

С учётом выражения (1) имеем

$$t'' = \frac{S(v_1 + v_2)}{2v_1 v_2}. \qquad (2)$$

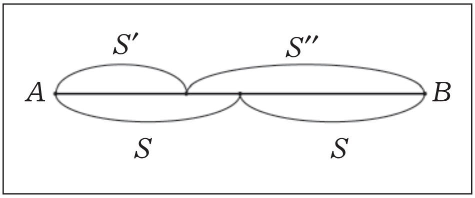


Рис. 45

Так как на первой половине пути скорость автомобиля меньше, чем на второй половине пути, то на прохождение первой половины автомобиль потратит больше времени. Следовательно, всю первую половину времени автомобиль будет двигаться со скоростью v_1. За первую половину времени автомобиль пройдёт путь S_1 (рис. 45). Этот путь равен

$$S' = v_1 \frac{1}{2} t.$$

С учётом выражения (1) имеем

$$S' = \frac{S(v_1 + v_2)}{2\, v_2}.$$

Тогда путь за вторую половину времени равен

$$S'' = 2S - S'.$$

$$S'' = 2S - \frac{S(v_1 + v_2)}{2\, v_2}.$$

$$S'' = \frac{3v_2 - v_1}{2\, v_2}\, S. \qquad (3)$$

Средняя скорость v'' равна

$$v'' = \frac{S''}{t''}.$$

С учётом (2) и (3) имеем

$$v_{cp} = \frac{3v_2 - v_1}{v_1 + v_2}.$$

$$v_{cp} = 77 \text{ км/ч}.$$

Ответ: средняя скорость на всём пути 64 км/ч. Средняя скорость за вторую половину времени 77 км/ч.

5.11. Зависимость средней скорости v_{cp} движения шарика от угла α наклона жёлоба, зависимость средней скорости v_{cp} шарика от времени t его движения по жёлобу, зависимость пути S, пройденного шариком, от времени t его движения по жёлобу представлены соответственно на рисунке 46, *а – в*.

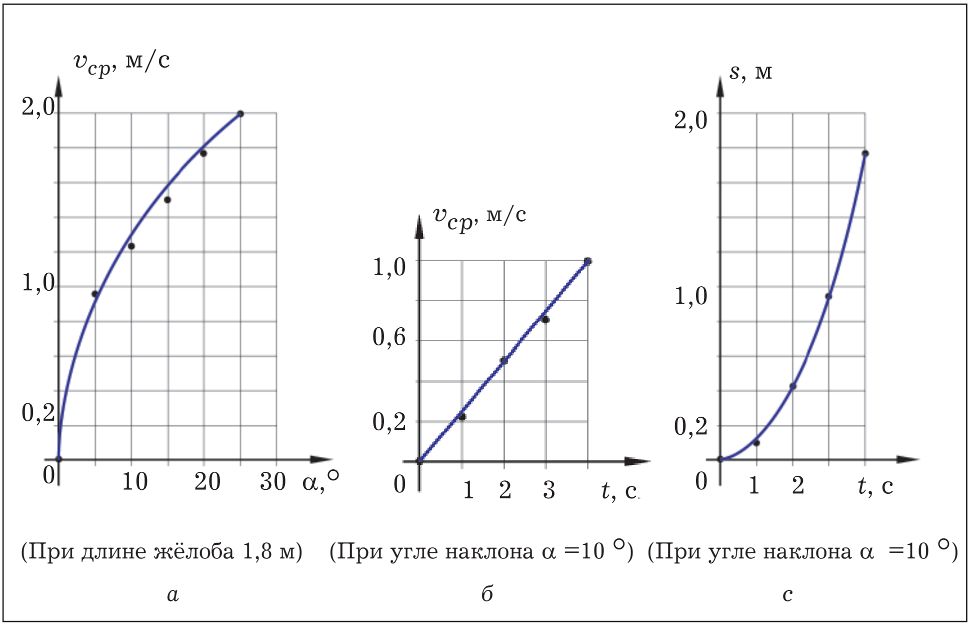


Рис. 46

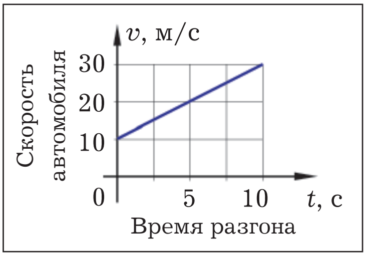


Рис. 47

5.12. График зависимости скорости v автомобиля от времени t на участке разгона изображён на рисунке 47. Путь, пройденный автомобилем при разгоне, будет численно равен площади под графиком зависимости скорости от времени.

$$S = 200 \text{ м}.$$

Среднюю скорость автомобиля на участке разгона легко определить:

$$v_{cp} = \frac{S}{t},$$

$$v_{cp} = 20 \text{ м/с}.$$

Ответ: $S = 200$ м, $v_{cp} = 20$ м/с.

5.13. Так как тела начинают двигаться из одной точки, то второе тело догонит первое в тот момент времени, когда будут равны пути, пройденные телами.

К некоторому моменту времени тело *I* пройдёт путь, численно равный площади прямоугольника *OABC* (рис. 48). К этому моменту времени тело *II* пройдёт путь, численно равный площади треугольника *ОДС*. Так как путь второго и первого тел должны быть равны, то

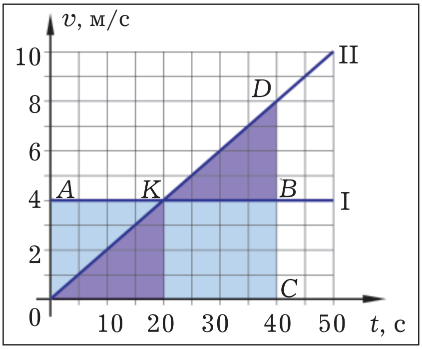


Рис. 48

$$S_{OABC} = S_{\Delta ODC}.$$

Рассматриваемые фигуры содержат общую трапецию *ОКВС*, поэтому их площади равны, если

$$S_{\Delta OAK} = S_{\Delta KBD}.$$

Следовательно,

$$AK = KB.$$

Таким образом, тело *II* догонит тело *I* в момент времени $t = 40$ с. К этому моменту времени тела пройдут путь S, равный

$$S = 4 \text{ м/с} \cdot 40 \text{ с} = 160 \text{ м}.$$

$$S = 160 \text{ м}.$$

Ответ: $t = 40$ с, $S = 160$ м.

Лабораторная работа «Сравнение масс взаимодействующих тел» (§ 6).

После взаимодействия тела приобретают некоторые скорости v_1 и v_2 (рис. 49). При дальнейшем движении на тела действует сила тяжести. Она направлена вертикально, и её действие приводит к изменению (увеличению) скорости тел в вертикальном направлении.

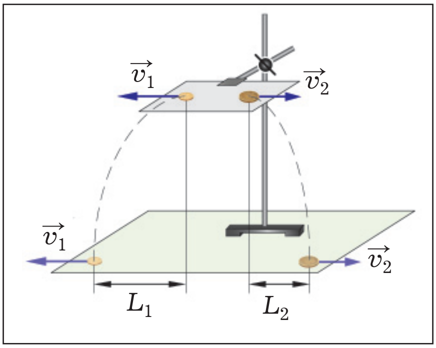


Рис. 49

В горизонтальном направлении на тела (если не учитывать силу сопротивления воздуха) силы не действуют. Следовательно, в горизонтальном направлении тела движутся равномерно и «приземляются» с той же горизонтальной скоростью. Время падения тел одинаково.

Скорости v_1 и v_2 тел определяют, измерив дальности L_1 и L_2 их полёта в горизонтальном направлении. В месте падения шарика или монеты кладут лист белой бумаги, а сверху – копировальную бумагу. При падении тело оставляет на белой бумаге хорошо видимый отпечаток. Проделав опыт несколько раз, находят средние значения L_1 и L_2.

$$v_1 = \frac{L_1}{t_1}.$$

$$v_2 = \frac{L_2}{t_2}.$$

Так как

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_1}{v_2},$$

то окончательно имеем

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{L_1}{L_2}.$$

Лабораторная работа «Изучение колебаний груза на пружине» (§ 7)

Период колебаний T можно определить по формуле

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

Измерив период колебаний для разных масс груза, можно построить график зависимости $T = f(m)$. Вид такого графика показан на рисунке 50.

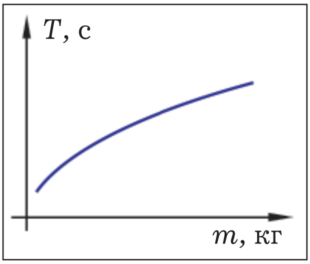


Рис. 50

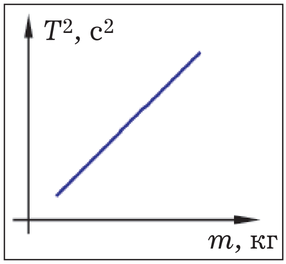


Рис. 51

Видно, что период колебаний тем больше, чем больше масса груза (то есть больше инертные свойства груза и, следовательно, скорость тела изменяется медленнее).

Если построить график зависимости $T^2 = f(m)$, то графиком будет являться прямая линия (рис. 51):

$$T^2 \sim m,$$

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

Значит, мы вправе сделать вывод о том, что период колебаний T груза на пружине прямо пропорционален квадратному корню массы m груза.

Изучение зависимости периода колебаний груза от упругих свойств пружины показывает, что период колебаний тем меньше, чем больше упругие свойства пружины (то есть большая сила упругости приводит к более быстрому изменению скорости груза). Так, например, если уменьшать длину пружины (при этом, как вы знаете, её упругие свойства возрастают), то это приводит к уменьшению периода колебаний груза.

10.1. Запишем формулу закона сохранения энергии:

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{m(v_0/2)^2}{2},$$

где v_0 – начальная скорость тела массой m;

h – высота, на которой скорость тела равна (по условию задачи) половине начальной скорости.

Отсюда $h = \dfrac{3v_0^2}{8g}$.

Ответ: $h = 7{,}5$ м.

10.2. Пусть при вертикальном выстреле из баллистического пистолета шарик массой m вылетает с начальной скоростью v_0. Если шарик поднимается вверх на высоту h, то из закона превращения и сохранения энергии следует

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh\,.$$

Отсюда

$$v_0 = \sqrt{2gh}.$$

Измерив высоту подъёма h, можно тем самым рассчитать скорость вылета шарика v_0.

Далее укрепим баллистический пистолет на некоторой высоте так, чтобы можно было производить выстрелы в горизонтальном направлении. Произведём выстрел в горизонтальном направлении и измерим дальность L полёта шарика. Для расчёта времени t движения шарика воспользуемся формулой (9.2).

10.3. Запишем формулу закона сохранения энергии:

$$\frac{mv_0^2}{2} + mgh = \frac{mv^2}{2}\,,$$

где v_0 – начальная скорость мальчика массой m в момент его прыжка с обрыва высотой h;

v – скорость мальчика при достижении им воды.

Отсюда

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}\,.$$

Ответ: $v = 12$ м/с.

10.4. Запишем формулу закона сохранения энергии:

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + mgh,$$

где v_0 – начальная скорость мяча массой m;

h – высота мяча в тот момент, когда он находится на уровне линии ворот;

v – скорость мяча в момент его нахождения на уровне линии ворот.

Отсюда

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

$$h = 3{,}3 \text{ м.}$$

Расчёт показывает, что высота полёта мяча больше высоты ворот, а значит, мяч пролетит над перекладиной и не попадёт в футбольные ворота.

Ответ: мяч не попадёт в ворота.

10.5. При выстреле из пушки ядро движется одновременно и в вертикальном, и в горизонтальном направлении (рис. 52).

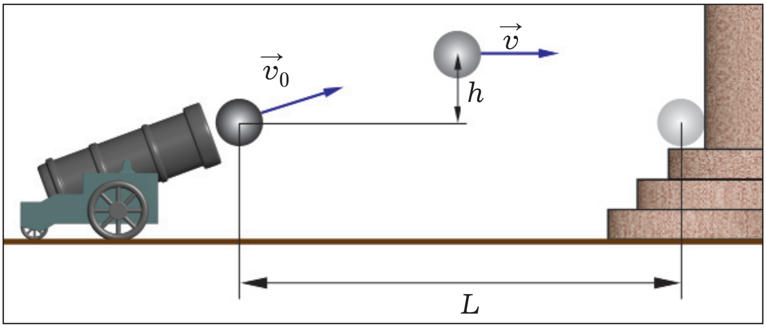


Рис. 52

В вертикальном направлении скорость под действием силы тяжести постепенно уменьшается, и в верхней точке траектории «вертикальная» скорость ядра равна нулю. В горизонтальном же направлении скорость ядра не меняется, так как на ядро в этом направлении силы не действуют. По этой причине в горизонтальном направлении ядро движется *равномерно*. Скорость «горизонтального» движения ядра равна скорости v, которую имеет ядро в верхней точке своей траектории.

Запишем формулу закона сохранения энергии:

$$\frac{mv_0{}^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + mgh,$$

где v_0 – начальная скорость ядра массой m;

h – максимальная высота подъёма ядра.

Отсюда

$$v = \sqrt{v_0{}^2 - 2gh}.$$

Теперь легко определить дальность L полёта ядра, так как время t движения ядра до цели известно по условию задачи.

$$L = vt.$$

$$L = \sqrt{v_0{}^2 - 2gh} \cdot t.$$

Ответ: $L = 650$ м.

Лабораторная работа «Изучение неупругого взаимодействия тел» (§ 10)

Подвесим стальной и пластилиновый шарики на нитях одинаковой длины к одной точке (рис. 53, *а*). Отведём стальной шарик в сторону, приподняв его на некоторую высоту h (рис. 53, *б*).

При этом механическая энергия E шарика равна

$$E = mgh,$$

где m – масса стального шарика.

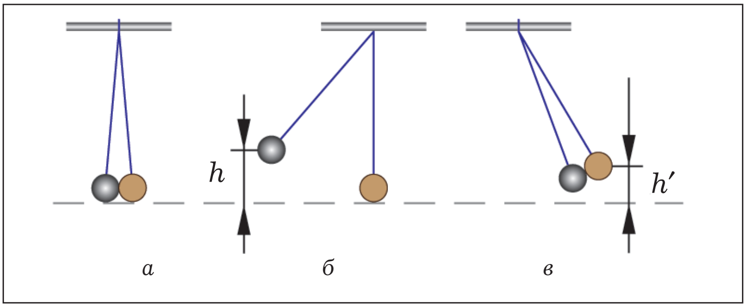


Рис. 53

Если отпустить стальной шарик, то при движении вниз его потенциальная энергия уменьшается, а кинетическая – увеличивается. После столкновения стального шарика с пластилиновым они движутся как единое целое и поднимаются на некоторую высоту h' (рис. 53, *в*). В этот момент механическая энергия E' шариков равна

$$E' = (m + m_{пл})\, gh',$$

где $m_{пл}$ – масса пластилинового шарика.

Так как удар является неупругим, то

$$E' < E.$$

«Потеря» механической энергии равна

$$\Delta E = E - E',$$

а *доля* механической энергии, которая при неупругом взаимодействии тел переходит в тепловую, равна

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{E - E'}{E}.$$

Чтобы определить эту долю, достаточно измерить массы шариков и высоты h и h' их подъёма.

Лабораторная работа «Сравнение масс тел по величине их тормозного пути» (§ 11)

Пусть после взаимодействия одна из монет массой m_1 прошла тормозной путь S_1, а другая, массой m_2, – тормозной путь S_2 (рис. 54). Работа силы трения, действовавшей при движении на монету, равна изменению её кинетической энергии.

$$-F_{тр1}S_1 = 0 - \frac{m_1 v_1^2}{2}, \qquad (1)$$

$$-F_{тр2}S_2 = 0 - \frac{m_2 v_2^2}{2}. \qquad (2)$$

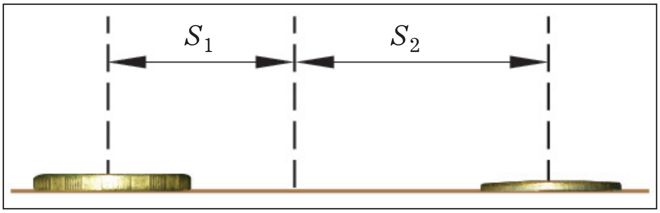


Рис. 54

где $F_{тр1}$ и $F_{тр2}$ – силы трения скольжения, действовавшие соответственно на первую и вторую монеты;

v_1 и v_2 – скорости, которые приобрели соответственно первая и вторая монеты.

Монеты скользят по одной и той же поверхности; сила трения, действующая на монету, тем больше, чем больше её масса.

По этой причине

$$\frac{F_{тр1}}{F_{тр2}} = \frac{m_1}{m_2}. \qquad (3)$$

Разделим выражение (1) на выражение (2) и учтём соотношение (3). В результате имеем

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{{v_1}^2}{{v_2}^2}.$$

Значит,

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

Так как

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_1}{v_2},$$

то окончательно

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

12.1. Построим график зависимости силы F_1, приложенной к гвоздю, от его перемещения S (рис. 55). Механическая работа A, совершённая при вытаскивании гвоздя из бревна, равна площади под графиком зависимости $F = f(S)$ – площади треугольника.

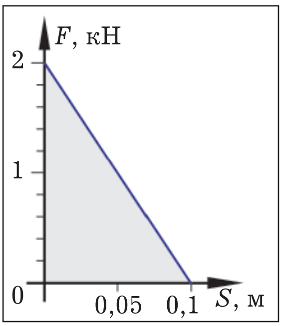


Рис. 55

$$A = \frac{Fl}{2},$$

где l – длина гвоздя.

$$A = \frac{2000 \text{ Н} \cdot 0{,}1 \text{ м}}{2} = 100 \text{ Дж}.$$

Ответ: $A = 100$ Дж.

12.2. Построим график зависимости силы F, приложенной к гвоздю, от его перемещения S (рис. 56). Механическая работа A, совершённая при вытаскивании гвоздя из бревна, равна площади под графиком зависимости $F = f(S)$ – площади трапеции $OBCD$.

(*Примечание.* Если вы не умеете вычислять площадь трапеции $OBCD$, то вычислите площадь прямоугольника $OBCC'$ и треугольника $C'CD$).

Итак,

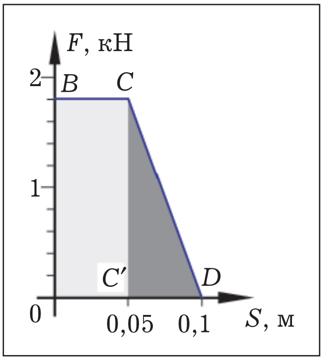


Рис. 56

$$A = 1800\ \text{Н} \cdot 0{,}05\ \text{м} + \frac{1800\ \text{Н} \cdot 0{,}05\ \text{м}}{2} = 135\ (\text{Дж}).$$

Ответ: $A = 135$ Дж.

12.3. Построим график зависимости силы F, приложенной к пробке, от её перемещения S (рис. 57). Механическая работа A, совершённая при протаскивании пробки, равна площади под графиком зависимости $F = f(S)$ – площади трапеции $OBCD$.

(*Примечание.* Если вы не знаете, как определить площадь трапеции $OBCD$, то вычислите площадь прямоугольника $B'BCC'$ и треугольников OBB' и $C'CD$).

Итак,

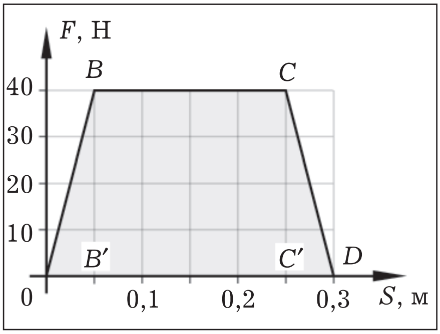


Рис. 57

$$A = 40\ \text{Н} \cdot 0{,}2\ \text{м} + 40\ \text{Н} \cdot \frac{0{,}05\ \text{м}}{2} + 40\ \text{Н} \cdot \frac{0{,}05\ \text{м}}{2} = 10\ (\text{Дж}).$$

Ответ: $A = 10$ Дж.

12.4. Построим график зависимости силы F, приложенной к пружине динамометра, от её растяжения S (рис. 58). Работа, которую необходимо совершить при растяжении пружины динамометра от 0 до 2 Н, численно равна площади треугольника OBC (рис. 58).

Работа, которую необходимо совершить при растяжении пружины

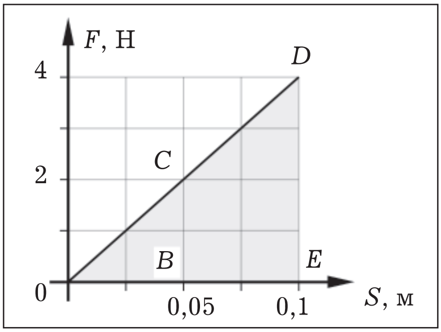


Рис. 58

динамометра от 2 до 4 Н, численно равна площади трапеции $BCDE$ (рис. 58).

Ответ: $A_{0\text{-}2} = 0{,}05$ Дж, $A_{2\text{-}4} = 0{,}15$ Дж.

12.5. *Ответ:* $A = 200$ Дж.

Лабораторная работа «Определение силы трения скольжения по величине совершённой работы» (§ 12)

Задание 1. При опускании груза его потенциальная энергия уменьшается, что ведёт к увеличению кинетической энергии бруска. Но так как брусок движется по шероховатой поверхности, то благодаря трению его кинетическая энергия превращается в тепловую энергию. В итоге брусок останавливается.

Если масса груза m, а высота опускания груза h, то уменьшение потенциальной энергии составит

$$- mgh.$$

Механическая работа A силы трения скольжения и будет равна этому уменьшению потенциальной энергии груза:

$$A = - mgh.$$

$$- F_{mp}S = - mgh.$$

$$F_{mp} = \frac{mgh}{S}.$$

Таким образом, зная m_1, h и S, можно определить силу трения скольжения между деревянным бруском и поверхностью стола.

Задание 2. При движении бруска потенциальная энергия деформированной пружины уменьшается, переходя в кинетическую энергию бруска. Если первоначально пружина растянута так, что сила упругости составляет F_{ynp} при величине деформации пружины x, то потенциальная энергия E_n пружины равна

$$E_n = \frac{F_{ynp}x}{2}.$$

Механическая работа A силы трения скольжения будет равна уменьшению потенциальной энергии груза:

$$A = -\frac{F_{ynp}x}{2}.$$

$$- F_{mp}S = -\frac{F_{ynp}x}{2}.$$

$$F_{тр} = \frac{F_{упр}x}{2S}.$$

Таким образом, зная $F_{упр}$, x и S, можно определить силу трения скольжения между деревянными брусками и поверхностью стола.

13.1. Мощность двигателя катера N, скорость его движения v и сила сопротивления F, действующая на катер со стороны воды, связаны соотношением

$$N = Fv. \quad (1)$$

По условию задачи сила сопротивления прямо пропорциональна скорости движения катера. Если обозначить коэффициент пропорциональности через k, то

$$F = kv.$$

Подставим данное выражение в формулу (1):

$$N = kv^2. \quad (2)$$

При мощности двигателя $2N$ скорость движения катера v':

$$2N = kv'^2. \quad (3)$$

Разделив выражение (3) на выражение (2), имеем

$$\frac{v'^2}{v^2} = 2.$$

Отсюда $$v' = \sqrt{2}v.$$

13.2. Общая мощность, развиваемая двигателями,

$$N = N_1 + N_2, \quad (1)$$

или

$$N = (F_1 + F_2)v, \quad (2)$$

где F_1 – сила тяги первого автомобиля;
F_2 – сила тяги второго автомобиля;
v – скорость движения автомобилей, соединённых вместе.

Так как

$$N_1 = F_1 v_1, \text{ а } N_2 = F_2 v_2,$$

то

$$F_1 = \frac{N_1}{v_1},\ F_2 = \frac{N_2}{v_2}.$$

Подставив эти выражения в (2), с учётом равенства (1) получим

$$(N_1 + N_2) = (\frac{N_1}{v_1} + \frac{N_2}{v_2})v.$$

Отсюда

$$v = \frac{(N_1 + N_2)\, v_1 v_2}{N_1 v_2 + N_2 v_1}.$$

Ответ: $v = 12{,}5$ м/с.

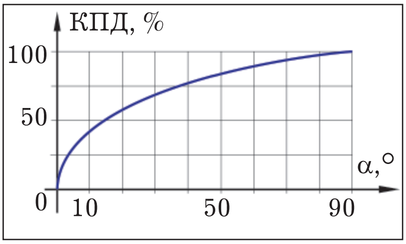


Рис. 59

Лабораторная работа «Определение КПД простых механизмов» (§ 13).

Задание 1. График зависимости КПД наклонной плоскости от угла её наклона имеет вид, изображённый на рисунке 59.

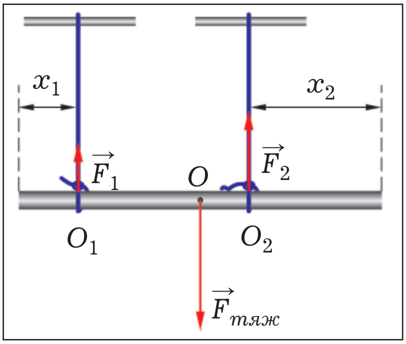


Рис. 60

14.1. Пусть масса стержня M, длина стержня l, а нити закреплены на расстояниях x_1 и x_2 от концов стержней соответственно (рис. 60).

Рассмотрим равновесие стержня относительно точки O_1. В этом случае плечо силы F_1 равно нулю; плечо силы $F_{тяж}$ равно

$$d = O_1O,$$

$$d = \frac{1}{2}\, l - x_1;$$

плечо силы F_2 равно

$$d_2 = O_1O_2,$$

$$d_2 = l - x_1 - x_2.$$

В соответствии с условием равновесия рычага

$$F_2 d_2 = Mgd.$$

Или

$$F_2 = \frac{Mg(\frac{1}{2}\, l - x_1)}{l - x_1 - x_2}.$$

Для нахождения силы F_1 можно воспользоваться условием

$$F_1 + F_2 = Mg$$

или применить правило рычага, приняв за ось вращения стержня точку O_2.

Если стержень расположен не горизонтально, то плечи d' и d'_2 соответственно сил $F_{тяж}$ и F

На линейку действует также сила тяжести F_2.

$$F_2 = Mg,$$

где M – масса линейки. *Сила тяжести приложена к середине линейки.*

В соответствии с условием равновесия рычага

$$F_2 d_2 = F_1 d_1.$$

$$Mgd_2 = mgd_1.$$

Отсюда

$$M = \frac{md_1}{d_2}.$$

Плечи сил d_1 и d_2 легко измерить непосредственно линейкой, и тогда, зная массу гирьки, можно определить массу линейки.

14.4. Пусть стержень, подвешенный на нити, находится в равновесии в горизонтальном положении (рис. 64). Тогда

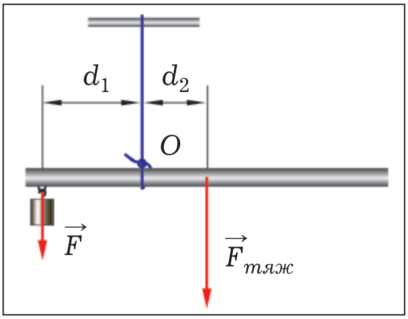


Рис. 64

$$mgd_1 = Mgd_2, \qquad (1)$$

где m и M – масса груза и стержня соответственно;

d_1 и d_2 – плечи сил.

Но

$$d_1 + d_2 = \frac{1}{2} L, \qquad (2)$$

где L – длина стержня.

Решая систему уравнений (1) и (2), можно легко определить d_1 и d_2.

Например,

$$d_1 = \frac{\frac{1}{2} ML}{M+m}.$$

Таким образом, для того, чтобы определить положение точки подвеса O стержня, нужно измерить его длину L и знать массы m и M.

14.5. На одну чашку весов необходимо поместить гирю, масса которой заведомо больше массы груза. На другую чашку весов положить гири и разновесы до установления равновесия весов. Затем на эту же чашку весов добавляется груз неизвестной массы, а гири и разновесы снимаются до тех пор, пока равновесие весов не восстановится. Масса снятых гирь и разновесов равна массе груза. *Такой способ измерения впервые предложил Д.И. Менделеев.*

Практическая работа «Изготовление вращательных весов» (§ 14). Сделаем чертёж, укажем силы, действующие на диск (рис. 65). При равновесии

$$F_0 d_0 = Fd\ ,$$

$$m_0 g d_0 = mgd,$$

$$m_0 d_0 = md. \qquad (1)$$

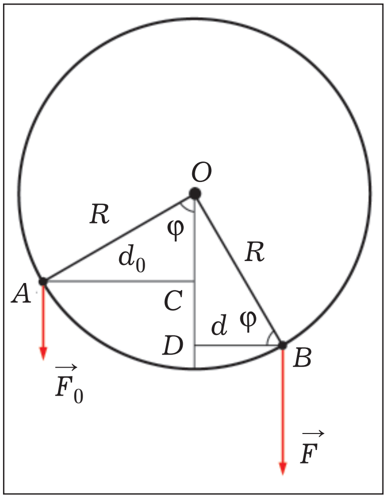


Рис. 65

Треугольники OCA и ODB равны (докажите это). Следовательно, $OC = d$. Так как треугольник OCA прямоугольный и гипотенуза треугольника равна радиусу диска R, то

$$d_0^2 + d^2 = R^2\ . \qquad (2)$$

Решая систему уравнений (1) и (2), определим d_0:

$$d_0 = \frac{R}{\sqrt{1 + (\frac{m_0}{m})^2}}\ .$$

Для того чтобы изготовить шкалу весов, осталось рассчитать значения d_0 для различных значений масс m.

Пусть $m_0 = 100$ г.

Тогда

$$d_0 = \frac{R}{\sqrt{1 + (\frac{100\text{ г}}{m})^2}}\ .$$

m, г	0	20	50	70	100	120	150	170	200
d_0	0	$0{,}20R$	$0{,}45R$	$0{,}57R$	$0{,}71R$	$0{,}77R$	$0{,}83R$	$0{,}86R$	$0{,}89R$

15.1. Введём обозначения:
V – объём «пельменя»;
$V_{пл}$ – объём пластилина;
$V_{вх}$ – объём воздушной полости в пластилиновом «пельмене».
Ясно, что

$$V_{вх} = V - V_{пл}.$$

Объём V «пельменя» легко определить непосредственным измерением с помощью мензурки.

Объём пластилина $V_{пл}$ можно вычислить:

$$V_{пл} = \frac{m_{пл}}{\rho_{пл}}.$$

где $m_{пл}$ – масса пластилина (определяется взвешиванием);

$\rho_{пл}$ – плотность пластилина (измерена вами при выполнении первой части задания).

Если аккуратно вскрыть «пельмень», то, используя шприц, наполненный водой, можно измерить объём полости в «пельмене» и сравнить полученный результат с вычисленным.

15.2. Пусть m – масса «сплава», а V – его объём. Пусть m_1, m_2, ρ_1, ρ_2 – соответственно массы и плотности «компонентов сплава» (железа и пластилина).

Тогда

$$m = m_1 + m_2, \qquad (1)$$

$$V = \frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2}. \qquad (2)$$

(Объём «сплава» равен сумме объёмов компонентов).

Решая систему уравнений (1) и (2), имеем

$$m_1 = \frac{\rho_1(m - \rho_2 V)}{\rho_1 - \rho_2},$$

$$m_2 = \frac{\rho_2(m - \rho_1 V)}{\rho_2 - \rho_1}.$$

15.3. Уравновесьте линейку, положив её на карандаш. Поставьте пустые стеклянные стаканчики на линейку так, чтобы равновесие не нарушилось (рис. 66).

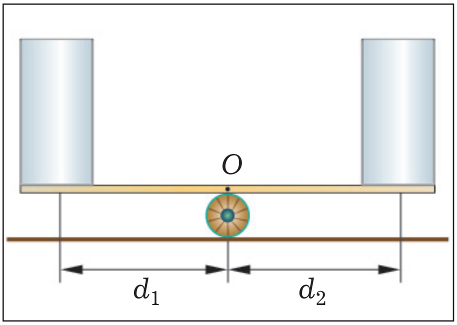


Рис. 66

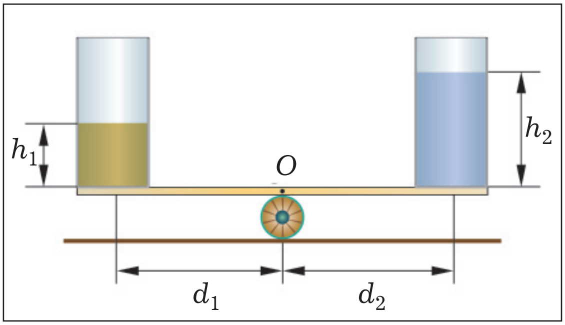


Рис. 67

Если массы стаканчиков одинаковы, то они будут находиться на равных расстояниях от точки O – оси вращения рычага. Если же массы стаканчиков неодинаковы, то –на различных расстояниях.

В стаканчики нальём воду и неизвестную жидкость в таких количествах, чтобы равновесие рычага не нарушилось (рис. 67). Пусть высота столба воды и высота столба неизвестной жидкости равны h_1 и h_2 соответственно.

В соответствии с условием равновесия рычага

$$m_1 g d_1 = m_2 g d_2 , \qquad (1)$$

где m_1 и m_2 – массы воды и неизвестной жидкости.

Массы m_1 и m_2 легко выразить через плотности и объёмы жидкостей:

$$m_1 = \rho_{вод} V_1,$$

$$m_2 = \rho_x V_2,$$

где $\rho_{вод}$ и ρ_x – плотности воды и неизвестной жидкости;
V_1 и V_2 – их объёмы соответственно.

$$V_1 = Sh_1,$$

$$V_2 = Sh_2,$$

где S – площадь поперечного сечения стаканчика (напомним, что *стаканчики одинаковые*).

$$m_1 = \rho_{вод} S h_1, \qquad (2)$$

$$m_2 = \rho_x S h_2. \qquad (3)$$

Подставим соотношения (2) и (3) в (1).

Тогда

$$\rho_{вод} h_1 = \rho_x h_2.$$

Отсюда

$$\rho_x = \frac{\rho_{вод} h_1}{h_2}.$$

Лабораторная работа «Измерение предела прочности» (§ 17)

Задание 1. Площадь поперечного сечения медной проволоки вычислите по формуле

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

где d – диаметр проволоки, который измеряется штангенциркулем или микрометром.

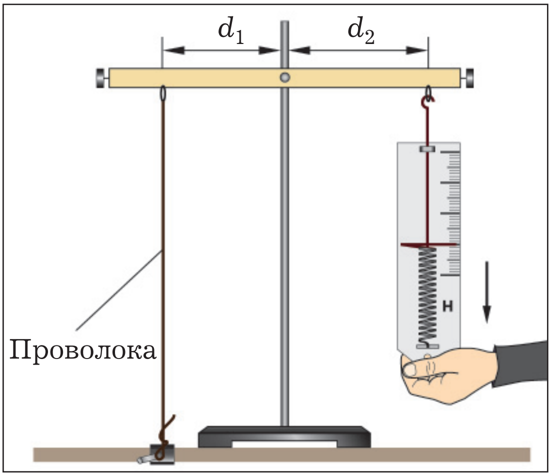


Рис. 68

Силу F, необходимую для разрыва проволоки, измерьте, используя линейку-рычаг (рис. 68).

$$F = \frac{F_{дин} d_2}{d_1},$$

где $F_{дин}$ – показание динамометра в момент разрыва проволоки;

d_1 и d_2 – плечи сил.

Предел прочности $\sigma_{пч}$ рассчитайте по формуле

$$\sigma_{пч} = \frac{F}{s}.$$

Задание 2[1]. В обоих случаях для определения силы, необходимой для разрыва нити, используют линейку-рычаг и динамометр.

Поскольку прочность нити на различных участках неодинакова, при «расточительном» способе на любой длине куска прочность колеблется относительно некоторого среднего значения случайным образом.

При «экономичном» способе мы сперва разрываем нить на самом слабом участке, затем – на самом слабом из оставшихся и так далее. В результате возникает «зависимость», порождающая впечатление, что прочность нити растёт по мере уменьшения длины куска.

16.1. При равномерном подъёме черпака с углём

$$F_{упр} = mg, \tag{1}$$

где $F_{упр}$ – сила упругости, возникающая при деформации троса;

m – масса поднимаемого тела.

По условию задачи

$$F_{упр} = \frac{F_{упр.\ макс}}{k}, \tag{2}$$

где $k = 5$ – коэффициент запаса прочности.

[1] Данное задание и комментарий к его решению заимствованы из пособия «Всероссийские олимпиады по физике. 1992–2001. (Козел С.М., Слободянин В.П. Всероссийские олимпиады по физике. 1992–2001 / С.М. Козел, В.П. Слободянин. М.: «Вербум–М», 2002. С. 330–331.

По определению предела прочности

$$\sigma_{пч} = \frac{F_{упр.\ макс}}{s}, \tag{3}$$

где s – площадь поперечного сечения троса.

Отсюда

$$F_{упр.\ макс} = \sigma_{пч} s. \tag{4}$$

Площадь поперечного сечения s троса легко определить:

$$s = \frac{\pi d^2 N}{4}, \tag{5}$$

где d – диаметр каждой проволоки;

N – число проволок в тросе.

Используя соотношения (1) – (5), определим диаметр d проволоки:

$$d = 2\sqrt{\frac{kmg}{\pi N \sigma_{пч}}}.$$

$$d = 3 \text{ мм}.$$

Ответ: диаметр проволоки $d = 3$ мм.

16.2. Пусть трос погружён в скважину на глубину h. Сила тяжести $F_{тяж}$, действующая при этом на трос, равна

$$F_{тяж} = mg,$$

где m – масса троса.

$$m = \rho V,$$

где ρ – плотность стали ($\rho = 7800$ кг/м^3);

V – объём стали.

$$V = sh,$$

где s – площадь поперечного сечения троса.

Таким образом,

$$F_{тяж} = \rho g h s. \tag{1}$$

Наибольшая сила упругости, возникающая в стальном тросе, равна

$$F_{упр.\ макс} = \sigma_{пч} s, \tag{2}$$

где $\sigma_{пч}$ – предел прочности стали.

Трос не разорвётся, если

$$F_{тяж} \leqslant F_{упр.\ макс},$$

или, с учётом соотношений (1) и (2),

$$\rho ghs \leqslant \sigma_{пч}s,$$

$$h \leqslant 6{,}1 \text{ км.}$$

Ответ: глубина погружения прибора $h \leqslant 6{,}1$ км.

16.3. При замене модели на настоящий кран диаметр троса увеличится в 12 раз. Следовательно, площадь поперечного сечения троса увеличится в $12^2 = 144$ раза. Масса реальной плиты в сравнении с массой её копии увеличится в $12^3 = 1728$ раз. Сила натяжения F, которую выдерживает трос, очевидно, равна

$$F = \sigma_{пч}s,$$

где $\sigma_{пч}$ – предел прочности вещества троса;
s – площадь его поперечного сечения.

При замене копии на реальный кран сила натяжения, выдерживаемая тросом, увеличится в 144 раза. Сила тяжести, действующая на плиты, увеличится в 1728 раз. Даже если взять не десять, а только одну плиту, то сила тяжести увеличится в 172,8 раза. Значит, сила тяжести, действующая на плиту, возрастёт в большее число раз, чем возрастёт сила натяжения, выдерживаемая тросом:

$$172{,}8 > 144.$$

Следовательно, трос крана не выдержит и одной плиты.

17.1. Введём обозначения:
V_1 – объём пузырька воздуха на глубине $h = 20$ м;
V_2 – объём пузырька у поверхности воды;
p_1 – давление воздуха в пузырьке на глубине h;
p_2 – давление воздуха в пузырьке у поверхности воды.

Очевидно, что давление p_2 равно атмосферному давлению, а давление p_1 больше атмосферного на величину давления, создаваемого столбом жидкости.

$$p_1 = p_{атм} + \rho gh. \tag{1}$$

$$p_2 = p_{атм}. \tag{2}$$

Используя известную зависимость между давлением и объёмом газа при постоянной температуре, а также соотношения (1) и (2), имеем

$$(p_{атм} + \rho gh)V_1 = p_{атм} V_2.$$

Отсюда

$$V_2 = \frac{(p_{атм} + \rho gh)V_1}{p_{атм}}.$$

$$V_2 = 0{,}6 \text{ см}^3.$$

Ответ: $V_2 = 0{,}6$ см³.

18.1. Так как жидкость несжимаема, то за равные промежутки времени t через различные сечения трубы проходят одинаковые объёмы жидкости:

$$V_1 = V_2\,.$$

Или

$$\frac{\pi D^2}{4}\,v_1 t = \frac{\pi d^2}{4}\,v_2 t,$$

где v_1 и v_2 – скорости течения жидкости в широком и узком местах трубы соответственно.

Отсюда

$$v_2 = \frac{D^2 v_1}{d^2}\,.$$

$$v_2 = 1{,}2 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_2 = 1{,}2$ м/с.

18.2. Так как скорость воды в узком месте больше скорости воды в широком месте (смотрите решение предыдущей задачи 18.1.), то кинетическая энергия одного кубического сантиметра воды, движущегося в узком месте, в 16 раз больше кинетической энергии одного кубического сантиметра воды, движущегося в широком месте.

18.3. Пусть ребро куба равно h. Тогда объём куба V равен

$$V = h^3. \qquad (1)$$

С другой стороны, объём куба равен объёму воды, находящейся в сосуде:

$$V = \frac{m}{\rho}, \qquad (2)$$

где m – масса воды;

ρ – её плотность.

Из соотношений (1) и (2) определим размер куба:

$$h = \sqrt[3]{\frac{m}{\rho}}. \qquad (3)$$

Теперь давление, производимое столбом воды высотой h, узнать не представляет труда:

$$p = \rho g h.$$

Или

$$p = \rho g \sqrt[3]{\frac{m}{\rho}}.$$

$$p = 400 \text{ Па}.$$

Ответ: $p = 400$ Па.

18.4. Давление жидкости на дно сосуда равно

$$p = \rho g h,$$

где ρ – плотность жидкости.

Сила давления F на дно:

$$F = \rho g h a^2. \quad (1)$$

Сила давления F_1 на одну боковую стенку равно

$$F_1 = \frac{\rho g h}{2}(ha).$$

Сила давления F_4 на все боковые стенки будет в 4 раза больше, то есть

$$F_4 = 2\,\rho g h^2 a. \quad (2)$$

По условию задачи

$$F = F_4,$$

или, с учётом соотношений (1) и (2),

$$\rho g h a^2 = 2\,\rho g h^2 a.$$

Отсюда

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

Ответ: $h = \frac{a}{2}$.

19.1. Плотность воздуха меньше плотности воды в

$$\frac{1000 \text{ кг/м}^3}{1{,}29 \text{ кг/м}^3} = 775 \text{ (раз)}.$$

Во столько же раз выталкивающая сила, действующая на человека со стороны воздуха в комнате, меньше, чем выталкивающая сила, действующая на него в воде. Пусть масса человека 60 кг. Тогда выталкивающая сила, действующая на человека со стороны воздуха, будет равна

$$\frac{600 \text{ Н}}{775} = 0{,}8 \text{ Н}.$$

Ответ: при массе человека 60 кг выталкивающая сила равна 0,8 Н.

19.2. Постепенно добавляя соль в воду, необходимо добиться всплытия картофелины. В этом случае плотности раствора и картофелины одинаковы. Зная массу растворённой соли $m_{сол}$ и объём V воды, легко рассчитать плотность раствора ρ:

$$\rho = \rho_{вод} + \frac{m_{сол}}{V}.$$

где $\rho_{вод}$ – плотность пресной воды.

19.3. Прикрепим тело к динамометру и поочерёдно полностью погрузим его в воду и в неизвестную жидкость. Измерим выталкивающую силу, действующую на тело в первом и во втором случаях. Пусть она равна соответственно $F_{арх.\ воды}$ и $F_{арх.\ жидк}$.

Выталкивающая сила зависит от плотности жидкости и объёма погружённого тела:

$$F_{арх.\ воды} = \rho_{вод}\, gV \tag{1}$$

и

$$F_{арх.\ жидк} = \rho_{жидк} gV, \tag{2}$$

где V – объём тела;

$\rho_{вод}$ и $\rho_{жидк}$ – плотности соответственно воды и неизвестной жидкости.

Из уравнений (1) и (2) имеем

$$\frac{\rho_{жидк}}{\rho_{вод}} = \frac{F_{арх.\ жидк}}{F_{арх.\ вод}}.$$

Отсюда

$$\rho_{жидк} = \frac{\rho_{вод}\, F_{арх.\ жидк}}{F_{арх.\ вод}}.$$

19.4. Используя мензурку, легко измерить вместимость колбы. Так как колба тонкостенная, то практически нам известен объём тела. Нальём в колбу такое количество воды, чтобы колба плавала в воде, полностью погрузившись в воду. Запишем условие плавания тела для данного случая:

$$\rho_в gV = \rho_в V_в g + mg,$$

где $\rho_в$ – плотность воды;

V – вместимость колбы;

$V_в$ – объём воды, налитой в колбу, при её полном погружении в жидкость;

m – масса колбы.

Тогда

$$m = \rho_в (V - V_в).$$

19.5. Заметим, какой начальный уровень воды в сосуде. Если в сосуд поместить деревянный брусок, то уровень воды повысится на величину *погружённого в воду объёма бруска.* Если, используя тонкую спицу или карандаш, погрузить брусок в воду *полностью*, то также можно заметить повышение уровня воды. Вынем брусок из воды. Дольём воду из мензурки в сосуд и определим (по убыли воды в мензурке), чему был равен объём погружённой в воду части бруска $V_{погр}$ и весь объём бруска V.

Из условия плавания бруска в воде

$$mg = \rho_{вод}\, g V_{погр},$$

где $\rho_{вод}$ – плотность воды;

m – масса бруска,

определим массу бруска:

$$m = \rho_{вод} V_{погр}.$$

Следующим шагом определим плотность древесины ρ:

$$\rho = \frac{\rho_{вод} V_{погр}}{V}.$$

19.6. В мензурку наливают один раз воду, а другой раз – неизвестную жидкость и погружают мензурку в сосуд с водой. Воды и неизвестной жидкости необходимо наливать в мензурку столько, чтобы она плавала в сосуде с водой, погружаясь на одну и ту же глубину. Это значит, что в обоих случаях на мензурку действует одинаковая архимедова сила. Следовательно, в обоих случаях масса «мензурка + жидкость» одинакова. Таким образом, масса неизвестной жидкости, налитой в мензурку, равна массе воды, налитой в мензурку.

Пусть ρ_x, $\rho_в$, V_x, $V_в$ – соответственно плотности и объёмы неизвестной жидкости и воды в мензурке. Тогда

$$\rho_x V_x = \rho_в V_в.$$

Отсюда

$$\rho_x = \frac{\rho_в V_в}{V_x}.$$

19.7. Введём следующие обозначения:

V – объём бревна;

m_0 – масса зайца.

Пусть бревно берёзовое, плотность берёзы примем равной

$$\rho_б = 800 \text{ кг/м}^3.$$

(Учтено, что древесина влажная.)

При полном погружении бревна в воду

$$\rho_в g V = \rho_б V g + 10\, m_0 g,$$

где $\rho_в$ – плотность воды.

Отсюда

$$V = \frac{10\, m_0}{\rho_в - \rho_б}.$$

$$V = 0{,}1 \text{ м}^3.$$

Ответ: объём бревна должен быть не меньше 0,1 м^3.

19.8. Пусть объём всех золотых монет во много раз меньше объёма Буратино. Тогда условие плавания тела в воде запишется в виде

$$\rho_в g V \geqslant \rho_б V g + N m_0 g, \qquad (1)$$

где $\rho_в$ – плотность воды;

$\rho_б$ – плотность берёзы;

V– объём Буратино;

N – число золотых монет;

m_0 – масса одной золотой монеты.

Из соотношения (1) имеем

$$N \leqslant \frac{(\rho_в - \rho_б)\, V}{m_0}.$$

Объём Буратино V легко определить:

$$V = \frac{m_б}{\rho_б}.$$

где $m_б$ – масса Буратино.

Тогда окончательно имеем

$$N \leqslant \frac{(\rho_в - \rho_б)\, m_б}{\rho_б\, m_0}.$$

$$N \leqslant 35.$$

Ответ: число монет у Буратино не больше 35.

19.9. Изготавливаем из пластилина «кораблик» и пускаем его плавать в сосуде с водой. Измеряем повышение уровня H воды в сосуде. Ясно, что объём погружённой части кораблика равен объёму вытесненной воды:

$$V_{погр} = SH. \quad (1)$$

где S – площадь поперечного сечения сосуда.

Если полностью утопить «кораблик» в воде, то повышение уровня воды в сосуде будет определяться объёмом пластилина:

$$V = Sh. \quad (2)$$

В соответствии с условием плавания тел

$$mg = \rho_{вод} g V_{погр}, \quad (3)$$

где m – масса пластилина;

$\rho_{вод}$ – плотность воды.

Но масса m пластилина определяется его объёмом V и плотностью ρ:

$$m = \rho V.$$

Подставим последнее выражение в соотношение (3). Тогда, с учётом (1) и (2), имеем

$$\rho h = \rho_{вод} H.$$

Отсюда

$$\rho = \frac{\rho_{вод} H}{h}.$$

Ответ: $\rho = \dfrac{\rho_{вод} H}{h}$.

19.10. Введём обозначения:

$V_в$ – объём льдины, находящийся в воде;

$V_к$ – объём льдины, находящийся в керосине;

$V = V_в + V_к$ – весь объём льдины (рис. 69).

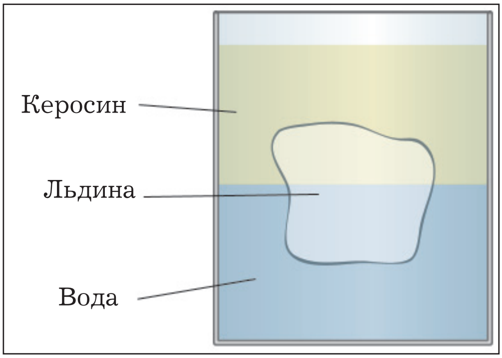


Рис. 69

Тогда

$$\rho_в gV_в + \rho_к gV_к = \rho_л gV, \quad (1)$$

где $\rho_в$, $\rho_к$, $\rho_л$ – плотности воды, керосина и льда соответственно.

$$V_к = V - V_в.$$

Подставив это соотношение в уравнение (1), имеем

$$\rho_в V_в + \rho_к (V - V_в) = \rho_л V.$$

Преобразуем полученное выражение:

$$(\rho_в - \rho_к) V_в = (\rho_л - \rho_к) V.$$

Отсюда
$$\frac{V_в}{V} = \frac{\rho_л - \rho_к}{\rho_в - \rho_к}.$$

Ответ: в воду погружена половина льдины.

19.11. При плавании «айсберга» его погружённый в воду объём $V_{погр}$, очевидно, равен объёму вытесненной воды:
$$V_{погр} = S\Delta h. \quad (1)$$

Из условия плавания тел
$$m_л\, g = \rho_{вод}\, g V_{погр},$$
где $m_л$ – масса льда;

$\rho_{вод}$ – плотность воды.

Тогда
$$m_л = \rho_{вод} V_{погр}.$$

Теперь легко найти объём льда:
$$V_л = \frac{\rho_{вод} V_{погр}}{\rho_л}. \quad (2)$$

Полный объём V «айсберга» по условию задачи равен
$$V = 2V_{погр}. \quad (3)$$

Суммарный объём $V_{вх}$ воздушных полостей в куске льда найдём по разности полного объёма V айсберга и объёма льда$V_л$:
$$V_{вх} = V - V_л.$$

С учётом соотношений (1), (2), (3) окончательно имеем
$$V_{вх} = S\Delta h\left(2 - \frac{\rho_{вод}}{\rho_л}\right).$$

Ответ: $V_{вх} = 1100$ см^3.

19.12. Силу тяжести $F_{тяж}$, действующую на корону, и выталкивающую силу $F_{арх}$, действующую на корону при её полном погружении в воду, легко измерить, используя динамометр.

С другой стороны,
$$F_{тяж} = (m_ж + m_{пл})g, \quad (1)$$
а
$$F_{арх} = \rho g(V_ж + V_{пл}), \quad (2)$$
где $m_ж$ и $m_{пл}$, $V_ж$ и $V_{пл}$ – массы и объёмы железа и пластилина соответственно;

ρ – плотность воды.

$$V_{ж} = \frac{m_{ж}}{\rho_{ж}}, \quad (3)$$

$$V_{пл} = \frac{m_{пл}}{\rho_{пл}}, \quad (4)$$

где $\rho_{ж}$ и $\rho_{пл}$ – плотности железа и пластилина соответственно.

Решая систему уравнений (1)–(4), легко определить массу железа и пластилина:

$$m_{ж} = \frac{\rho_{ж}(F_{тяж}\,\rho - F_{арх}\,\rho_{пл})}{\rho g(\rho_{ж} - \rho_{пл})};$$

$$m_{пл} = \frac{\rho_{пл}\,(F_{арх}\,\rho_{ж} - F_{тяж}\,\rho)}{\rho g(\rho_{ж} - \rho_{пл})}.$$

19.13. Пусть рычаг-линейка находится в равновесии (рис. 70). Обозначим массы грузов и плечи сил соответственно m, m_1 и d, d_1.

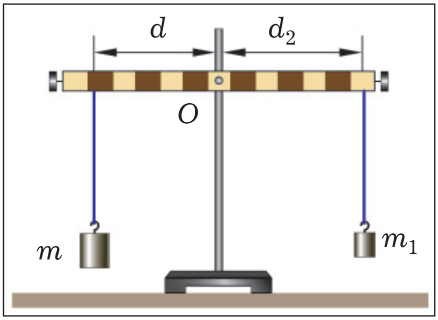


Рис. 70

Тогда

$$mgd = m_1gd_1. \quad (1)$$

Пусть груз массой m имеет объём V. При полном погружении этого груза в жидкость равновесие рычага нарушится, и для его восстановления груз m_1 необходимо передвинуть (рис. 71).

Обозначим плотность воды и плотность неизвестной жидкости как $\rho_{вод}$ и ρ_x соответственно и запишем условия равновесия рычага при погружении груза m вначале в воду, а затем в неизвестную жидкость:

$$(mg - \rho_{вод}\,gV)d = m_1gd'_1, \quad (2)$$

$$(mg - \rho_x\,gV)d = m_1gd''_1, \quad (3)$$

где d'_1, d''_1 – плечо силы, действующей на рычаг со стороны груза массой m_1 в случае погружения груза массой m в воду и в неизвестную жидкость соответственно.

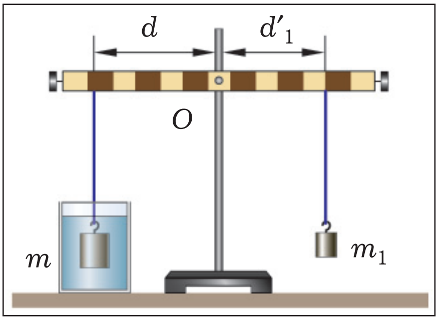


Рис. 71

Решая систему уравнений (1), (2), (3), получим

$$\rho_x = \frac{d_1 - d''_1}{d_1 - d'_1}\rho_{вод}.$$

19.14. Положим рейку на ребро линейки как на опору и добьёмся равновесия рейки (рис. 72). Тем самым мы определим положение точки приложения силы тяжести, действующей на рейку (точка C). Закрепим рейку на оси и опустим свободный конец рейки в сосуд с водой (рис. 73).

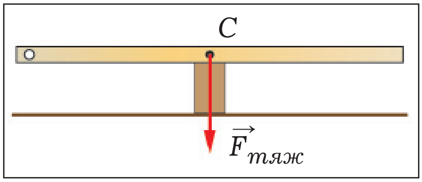


Рис. 72

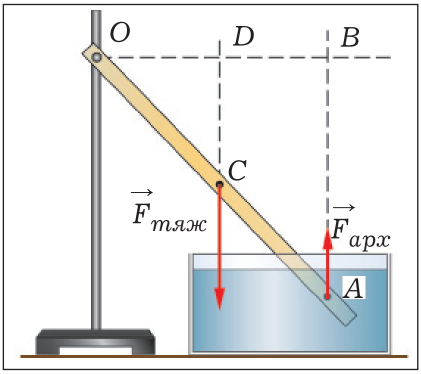


Рис. 73

Выясним, какие силы действуют на рейку. Во-первых, сила тяжести $F_{тяж}$, приложенная к точке C. Относительно оси вращения O плечо силы тяжести равно OD. Во-вторых, выталкивающая сила $F_{арх}$, приложенная к точке A – середине погружённой части рейки. Относительно оси вращения O плечо выталкивающей силы равно OB. В-третьих, на рейку действует сила со стороны опоры. Эта сила приложена к телу в точке O, её плечо равно нулю и сила не создаёт вращающего действия. (По этой причине сила и не указана на рисунке 73).

В соответствии с условием равновесия рычага

$$F_{тяж}\,OD = F_{арх}\,OB,$$

$$F_{тяж} = F_{арх}\frac{OB}{OD}.$$

Треугольники OBA и ODC, очевидно, подобны. Следовательно,

$$\frac{OB}{OD} = \frac{OA}{OC}.$$

Тогда

$$F_{тяж} = F_{арх}\frac{OA}{OC}. \qquad (1)$$

$$F_{тяж} = mg, \qquad (2)$$

где m – масса рейки.

$$m = \rho V, \qquad (3)$$

где ρ – плотность рейки;
V – её объём.

$$V = sL, \tag{4}$$

где s – площадь поперечного сечения рейки;

L – длина всей рейки.

$$F_{арх} = \rho_в gV_{погр}, \tag{5}$$

где $\rho_в$ – плотность воды;

$V_{погр}$ – объём погружённой в воду части рейки.

$$V = sl, \tag{6}$$

где l – длина погружённой в воду части рейки.

Используя соотношения (1) – (6), получим

$$\rho = \rho_в \frac{l \cdot OA}{L \cdot OC}.$$

Таким образом, для определения плотности рейки ρ необходимо знать плотность воды $\rho_в$ и измерить l, L, OC и OA.

Оглавление

Эксперимент никогда не обманывает, обманчивы наши суждения.

Леонардо да Винчи

Формула, связывающая физическую величину с другими	Формула расчета относительной погрешности
$A = B + C$	$\varepsilon_A = \dfrac{\Delta B + \Delta C}{B + C}$
$A = B - C$	$\varepsilon_A = \dfrac{\Delta B + \Delta C}{B - C}$
$A = \sqrt{B}$	$\varepsilon_A = \dfrac{1}{2}\varepsilon_B$

ИЗМЕРЕНИЕ - определение значения физической величины опытным путем при помощи измерительных приборов.

Формула, связывающая физическую величину с другими	Формула расчета относительной погрешности
$A = B \cdot C$	$\varepsilon_A = \varepsilon_B + \varepsilon_C$
$A = \dfrac{B}{C}$	$\varepsilon_A = \varepsilon_B + \varepsilon_C$
$A = B^2$	$\varepsilon_A = 2 \cdot \varepsilon_B$

ПРИБЛИЖЁННЫЕ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

- Значащие цифры. Значащими цифрами числа называют все его цифры, кроме нулей, стоящих левее первой, отличной от нуля цифры, и нулей, стоящих в конце числа, если они стоят взамен неизвестных или отброшенных цифр.

Пример. В числе 0,00706 – три значащие цифры (0,00<u>706</u>);
В числе 0,040 - две значащие цифры (0,0<u>40</u>).

- Верные цифры. Если абсолютная погрешность приближённого числа не превышает единицы последнего разряда, то все значащие цифры приближённого числа называют верными.

Пример. Результат измерения массы m = (75,3 ± 0,1) г, цифры 7,5 и 3 – верные (последний разряд – разряд десятых, абсолютная погрешность не превосходит единицы последнего разряда – 0,1).
Результат измерения массы m = (75,3 ± 0,2) г, верными являются цифры 7 и 5.

В справочных таблицах числа записаны с точностью до половины единицы последнего разряда, то есть табличные данные содержат только верные цифры.

- Сомнительные цифры. Если в приближённом числе все значащие цифры, кроме последней, являются верными, но абсолютная погрешность числа превышает единицу последнего разряда, то цифру этого разряда называют сомнительной.

Пример. Результат измерения массы m = (75,3 ± 0,2) г, цифра 3 является сомнительной.

ВЫЧИСЛЕНИЯ

ПРАВИЛО ЗАПИСИ ПРИБЛИЖЁННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЧИСЛА

В приближённых значениях чисел, полученных в результате измерения или вычисления, сохраняют все верные цифры и одну сомнительную. Цифры числа, следующие за верными и одной сомнительной, не пишут. Погрешность округляют до одной значащей цифры.

Пример. Результат измерения времени $t = (46{,}38 \pm 0{,}36)$ с, округляем погрешность измерения времени до одной значащей цифры ($\pm$ 0,4 с), округляем приближённое значение времени до десятых (46,4 с) и записываем результат измерения следующим образом: $t = (46{,}4 \pm 0{,}4)$ с.

ПРАВИЛА ПРИБЛИЖЁННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Правило 1. При умножении и делении приближённых значений чисел следует сохранять в результате столько значащих цифр, сколько их имеет приближённое данное с наименьшим числом верных значащих цифр.

Пример. Длина прямоугольника $a = (108{,}4 \pm 0{,}1)$ см, ширина прямоугольника $b = (52{,}3 \pm 0{,}4)$ см. Определите площадь фигуры.

$$S = ab,$$
$$S = 108{,}4 \text{ см} \cdot 52{,}3 \text{ см},$$
$$S = 5669{,}32 \text{ см}^2,$$
$$S = 5670 \text{ см}^2.$$

Правило 2. При сложении и вычитании приближённых значений чисел, в записи которых все цифры верные, в результате следует сохранять столько десятичных знаков, сколько их имеет приближённое данное с наименьшим числом десятичных знаков.

Пример. $7{,}432 + 8{,}24 + 5{,}112 = 20{,}784 = 20{,}78$.

Андрюшечкин Сергей Михайлович

ФИЗИКА В ОПЫТАХ И ЗАДАЧАХ

факультативный курс

7 класс

Подписано в печать 06.02.2018. Формат 70×90 1/16
Гарнитура JornalC
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 7,02. Тираж 200 экз. Заказ 0033

Общероссийский классификатор продукции ОК-005-93, том 2; 953005 – литература учебная

Издательство «Баласс». 111123 Москва, 1-я Владимирская ул., 9
Почтовый адрес: 111123 Москва, а/я 2, «Баласс»
Телефоны для справок: (495) 368-70-54, 672-23-12, 672-23-34
http://www.school2100.ru E-mail:balass.izd@mtu-net.ru

Отпечатано в ООО «Полиграфический центр «Татьяна»
64410, г. Омск, ул. Жукова, дом 78, офис 14П
тел.: (3812) 95-65-45, 46-21-15