



## § 6.

### Действия над физическими величинами

В математике можно складывать, вычитать и сравнивать любые числа. А какие действия можно производить над физическими величинами?

Действия сложения, вычитания и сравнения над физическими величинами можно производить только в том случае, если они однородны, т. е. **представляют одну и ту же физическую величину.**

Мы можем складывать длину с длиной, вычитать из массы массу, сравнивать время со временем (пример 1). Смешно и нелепо было бы складывать 4 м и 5 кг или вычитать 30 с из 9 кг. А вот умножать и делить можно как однородные, так и разнородные физические величины.

В примере 2 делятся не только числовые значения ( $10 : 2 = 5$ ), но и единицы физических величин ( $\text{кг} : \text{кг} = 1$ ). Результат показывает, во сколько раз одна масса больше другой.

В примере 3 умножаются числовые значения ( $2 \cdot 4 = 8$ ) и единицы физических величин ( $\text{м} \cdot \text{м} = \text{м}^2$ ). В результате умножения двух длин  $l_1 = 2 \text{ м}$  и  $l_2 = 4 \text{ м}$  получилась новая физическая величина — площадь  $S = 8 \text{ м}^2$ .

В примере 4 в результате деления двух разнородных физических величин — длины  $l = 10 \text{ м}$  на время  $t = 2 \text{ с}$  — получилась новая физическая величина  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Ее числовое значение равно 5, а единица новой физической величины —  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Эта физическая величина  $v = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  — скорость. Подробнее о ней вы узнаете в 3-й главе.

В примере 5 знак равенства относится не только к числовым значениям, но и к единицам. Знак равенства поставить нельзя, если сравнить  $\frac{10 \text{ м}}{2 \text{ с}}$  и  $\frac{20 \text{ м}}{4 \text{ мин}}$ . Здесь  $\frac{\text{м}}{\text{с}} \neq \frac{\text{м}}{\text{мин}}$ .

Пример 1

$$4 \text{ м} + 3 \text{ м} = 7 \text{ м}$$

$$9 \text{ кг} - 5 \text{ кг} = 4 \text{ кг}$$

$$30 \text{ с} > 10 \text{ с}$$

Пример 2

$$\frac{10 \text{ кг}}{2 \text{ кг}} = 5$$

Пример 3

$$2 \text{ м} \cdot 4 \text{ м} = 8 \text{ м}^2$$

Пример 4

$$\frac{10 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Пример 5

$$\frac{10 \text{ м}}{2 \text{ с}} = \frac{20 \text{ м}}{4 \text{ с}}$$

### ■ Главные выводы

1. Складывать, вычитать и сравнивать можно только однородные физические величины.
2. Умножение и деление разнородных величин приводит к новой физической величине.

### ? Контрольные вопросы

1. Что необходимо учитывать при сложении и вычитании физических величин?
2. Какие физические величины можно сравнивать? Приведите примеры.
3. Можно ли делить и умножать разнородные физические величины?

### Примеры решения задач

1. Выберите значения физических величин, которые можно складывать: 120 г, 40 см<sup>2</sup>, 56 м<sup>3</sup>, 8 мин, 0,048 кг. Определите значение физической величины, получившейся в результате сложения.

#### Решение

Однородными физическими величинами в данном случае являются массы тел:  $m_1 = 120$  г и  $m_2 = 0,048$  кг.

Для выполнения операции сложения физические величины необходимо выразить в одних единицах.

Одну из масс, например  $m_2$ , выразим в единицах, в которых записана масса  $m_1$ , т. е. в граммах (г).

Так как  $1$  кг = 1000 г,  $m_2 = 0,048$  кг =  $0,048 \cdot 1000$  г = 48 г.

Следовательно,  $m = m_1 + m_2 = 120$  г + 48 г = 168 г.

Ответ: результатом сложения является масса  $m = 168$  г.

2. Определите физические величины, получившиеся в результате выполнения следующих действий: а)  $35$  г :  $5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ ; б)  $40$  см · 0,25 м.

#### Решение

а) Найдем отношение двух физических величин, разделив их числовые значения и единицы:

$$35 \text{ г} : 5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = \frac{35}{5} \text{ см}^3 = 7 \text{ см}^3.$$

Мы получили физическую величину объем —  $V = 7 \text{ см}^3$ .

б) Чтобы умножить две однородные физические величины, необходимо выразить их в одних единицах, например в сантиметрах (см):

$$40 \text{ см} \cdot 0,25 \text{ м} = 40 \text{ см} \cdot 25 \text{ см} = 1000 \text{ см}^2 = 10 \text{ дм}^2.$$

Мы получили физическую величину — площадь  $S = 10 \text{ дм}^2$ .

Ответ: а) в результате деления двух разнородных физических величин (массы и плотности) получена третья физическая величина — объем  $V = 7 \text{ см}^3$ ; б) в результате умножения двух однородных физических величин (длин) получена третья физическая величина — площадь  $S = 10 \text{ дм}^2$ .

## Упражнение 2

1. Какие из приведенных значений величин можно складывать?

Выполните сложение и запишите результат:

а) 3,0 мин, 26 см, 5 см<sup>2</sup>, 40 с, 10 кг, 25 см<sup>3</sup>;

б) 2,0 кг, 15 мм, 10 мм<sup>2</sup>, 60 с, 25 г, 2,5 мл.

2. Какие из приведенных значений величин можно вычитать? Вы-

полните вычитание и запишите результат:

а) 16 см, 8,0 кг, 40 с, 64 см<sup>3</sup>, 90 мм;

б) 2,0 ч, 300 кг, 40 см<sup>3</sup>, 20 мин, 30 км, 12 т.

3. Сравните длины отрезков:  $l_1 = 4,8 \text{ см}$ ,  $l_2 = 4,8 \text{ мм}$ ,  $l_3 = 48 \text{ мм}$ .

Есть ли среди них равные? Какой отрезок имеет наименьшую длину?

Изобразите отрезки в тетради.

4. Какая физическая величина получается в результате следующих действий:

а)  $12 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 3,0 \text{ м}^3$ ;      в)  $25,0 \text{ см} + 150 \text{ мм}$ ;      д)  $\frac{14 \text{ м}^2}{2,0 \text{ м}}$ ;

б)  $40 \text{ см} - 0,15 \text{ м}$ ;      г)  $20 \text{ см} \cdot 0,50 \text{ м} \cdot 3,0 \text{ дм}$ ;      е)  $\frac{27 \text{ м}^3}{9,0 \text{ м}}$ ?

5. Вставьте нужную физическую величину:

а)  $5 \text{ м} - \dots = 1 \text{ м}$ ;

б)  $300 \text{ кг} + \dots = 0,5 \text{ т}$ ;

в)  $4 \text{ дм} \cdot \dots = 20 \text{ дм}^2$ .



## § 7.

### Измерительные приборы. Цена деления. Погрешность измерения

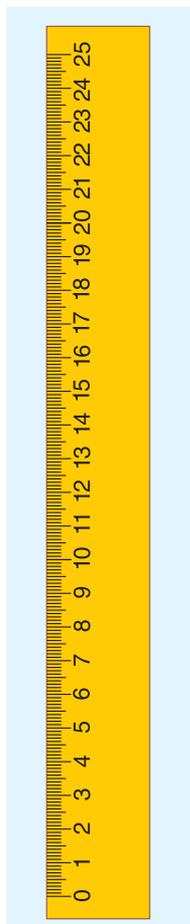


Рис. 32

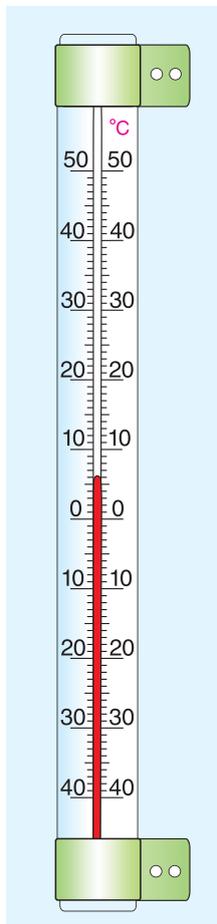


Рис. 33

Приступая к измерениям, необходимо, прежде всего, подобрать приборы. Что надо знать об измерительных приборах?

**Минимальное (нижний предел) и максимальное (верхний предел) значения шкалы прибора — это пределы измерения.** Чаще всего предел измерения один, но может быть и два. Например, линейка имеет один предел — верхний. У линейки на рисунке 32 он равен 25 см. У термометра на рисунке 33 два предела: верхний предел измерения температуры равен  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; нижний  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На рисунке 34 изображены три линейки с одинаковыми верхними пределами (25 см). Но эти линейки измеряют длину с различной погрешностью. Наименьшую погрешность измерений дает линейка 1, наибольшую — линейка 3.

Что же такое погрешность измерения и от чего она зависит? Для ответа на эти вопросы рассмотрим сначала понятие *цена деления шкалы прибора*.

**Цена деления — это значение наименьшего деления шкалы прибора.**

Как определить цену деления шкалы? Для этого необходимо:

1) выбрать на шкале линейки два соседних значения, например 3 см и 4 см;

2) подсчитать число делений (не штрихов!) между этими значениями; например, на линейке 1 (рис. 34) число делений между значениями 3 см и 4 см равно 10;

3) вычесть из большего значения меньшее ( $4\text{ см} - 3\text{ см} = 1\text{ см}$ ) и результат разделить на число делений.

Полученное значение и будет ценой деления шкалы прибора. Обозначим ее буквой  $C$ .

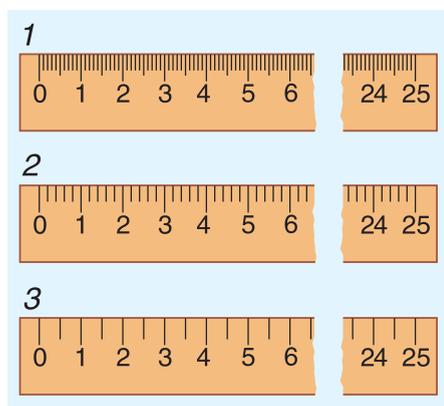


Рис. 34

Для линейки 1:  $C_1 = \frac{1 \text{ см}}{10 \text{ дел.}} = 0,1 \frac{\text{см}}{\text{дел.}}$ .

Для линейки 2:  $C_2 = \frac{1 \text{ см}}{5 \text{ дел.}} = 0,2 \frac{\text{см}}{\text{дел.}}$ .

Для линейки 3:  $C_3 = \frac{1 \text{ см}}{2 \text{ дел.}} = 0,5 \frac{\text{см}}{\text{дел.}}$ .

Точно так же можно определить и цену деления шкал мензурок 1 и 2 (рис. 35).

Для мензурки 1:  $C_1 = \frac{30 \text{ мл} - 20 \text{ мл}}{2 \text{ дел.}} = 5 \frac{\text{мл}}{\text{дел.}}$ .

Для мензурки 2:  $C_2 = \frac{30 \text{ мл} - 20 \text{ мл}}{10 \text{ дел.}} = 1 \frac{\text{мл}}{\text{дел.}}$ .

А какими линейкой и мензуркой можно измерить точнее, т. е. с меньшей погрешностью?

Как следует из теории, погрешность при измерении равна половине цены деления шкалы измерительного прибора.

Измерим один и тот же объем мензуркой 1 и мензуркой 2. По показаниям шкал в мензурке 1 объем воды  $V = 35$  мл; в мензурке 2 —  $V = 37$  мл.

Понятно, что точнее (с меньшей погрешностью) измерен объем воды мензуркой 2, цена деления которой меньше  $\left(1 \frac{\text{мл}}{\text{дел.}} < 5 \frac{\text{мл}}{\text{дел.}}\right)$ . Значит, чем меньше цена деления шкалы, тем с меньшей погрешностью можно измерять данным прибором. Говорят: мензуркой 1 мы измерили объем с погрешностью до 2,5 мл (сравните с ценой деления шкалы  $C_1 = 5 \frac{\text{мл}}{\text{дел.}}$ ), мензуркой 2 — с погрешностью до 0,5 мл (сравните с ценой деления  $C_2 = 1 \frac{\text{мл}}{\text{дел.}}$ ). Погрешность измерения температуры термометрами 1 и 2 (рис. 36) определите самостоятельно.

Итак, любым прибором, имеющим шкалу, измерить физическую величину можно с погрешностью, равной половине цены деления шкалы.

Линейкой 1 (см. рис. 34) можно измерить длину с погрешностью до 0,5 мм. Погрешность измерения длины линейками 2 и 3 определите самостоятельно.

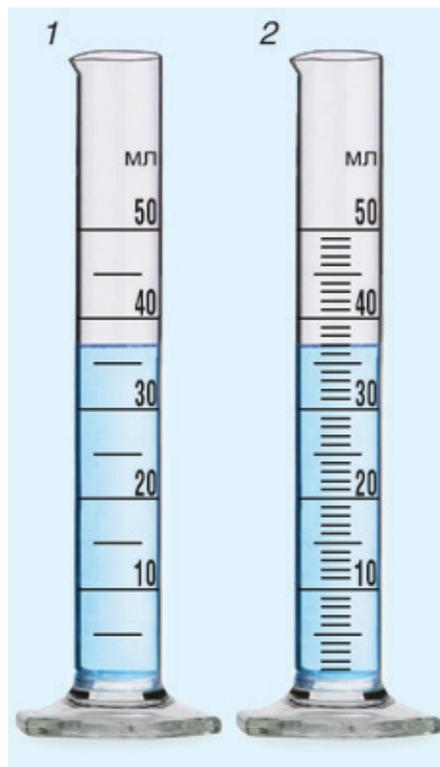


Рис. 35

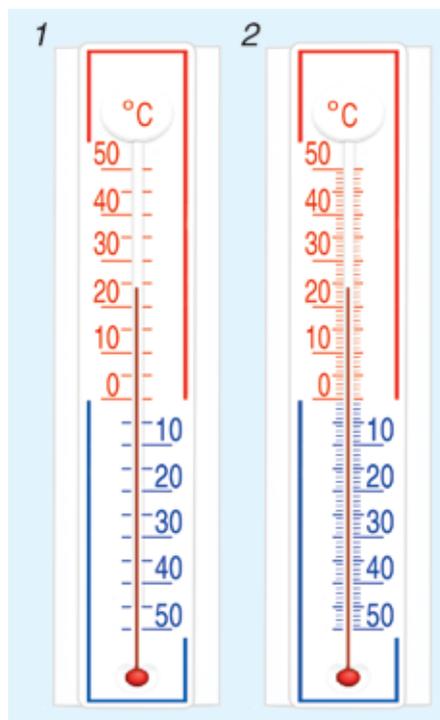


Рис. 36

## ■ Главные выводы

1. Верхний и нижний пределы измерения — это максимальное и минимальное значения шкалы прибора.
2. Цена деления шкалы равна значению наименьшего деления шкалы.
3. Чем меньше цена деления шкалы, тем с меньшей погрешностью будут проведены измерения данным прибором.

## ? Контрольные вопросы

1. Что называют ценой деления?
2. Как определить цену деления шкалы прибора?
3. От чего зависит погрешность измерения данным прибором?
4. На рисунке 37 изображены измерительные приборы. Как они называются? Какие физические величины они измеряют? Какова цена деления шкалы каждого из них?
5. Каковы значения верхнего и нижнего пределов измерения приборов, изображенных на рисунке 37?
6. Можно ли использовать термометр, представленный на рисунке 37, б, на Севере? Почему?
7. На каких видах транспорта можно использовать изображенный на рисунке 37, в спидометр: на самолете, автомобиле, велосипеде? Почему?

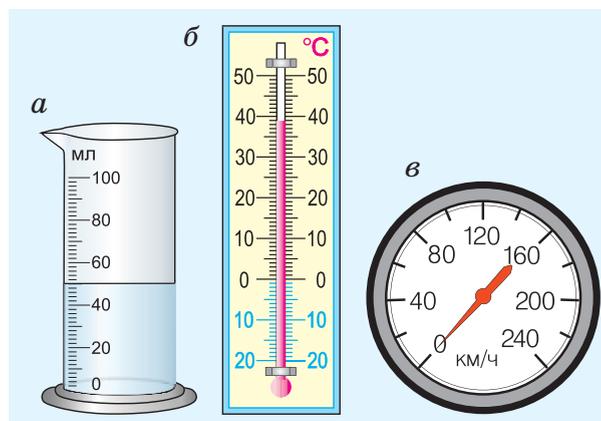


Рис. 37

## ▼ Для любознательных

В истории науки есть немало случаев, когда уменьшение погрешности измерений давало толчок к новым открытиям. Более точные измерения плотности азота, выделенного из воздуха, позволили в 1894 г. открыть новый инертный газ — аргон. Уменьшение погрешности измерений плотности воды привело к открытию в 1932 г. одной из разновидностей тяжелых атомов водорода — дейтерия. Позже дейтерий вошел в состав ядерного горючего. Оценить расстояния до звезд и создать их точные каталоги ученые смогли благодаря уменьшению погрешности при измерении положения ярких звезд на небе.

## → Домашнее задание

1. Возьмите пластиковую бутылку и мерный стакан, изготовьте мензурку. Определите цену деления и погрешность измерения изготовленной вами мензурки. Для изготовления шкалы используйте узкий лейкопластырь.

2. Изготовьте «часы Галилея». В дне пластиковой бутылки сделайте гвоздем отверстие. Вертикально на всю высоту бутылки наклейте узкую полоску лейкопластыря. Наполните бутылку водой на  $\frac{2}{3}$  высоты. Штрихами отметьте на лейкопластыре начальный уровень воды, а затем уровни воды в открытой бутылке через 10 с, 20 с, 30 с и т. д. Расстояния между штрихами разделите на 10 равных частей. Пользуясь этими «часами», измерьте время показа одного рекламного ролика по телевизору.



### Пример решения задачи

Для измерения величины угла используют транспортир. Определите: 1) цену деления нижней и верхней шкал транспортира, изображенного на рисунке 38; 2) значение угла  $BAC$ , используя каждую шкалу; укажите погрешность измерения угла  $BAC$  в каждом случае.

#### Решение

1) Цена деления нижней шкалы:

$$C_n = \frac{130^\circ - 120^\circ}{1 \text{ дел.}} = \frac{10^\circ}{\text{дел.}}$$

Цена деления верхней шкалы:

$$C_v = \frac{130^\circ - 120^\circ}{10 \text{ дел.}} = \frac{1^\circ}{\text{дел.}}$$

2) Определенный по нижней шкале с погрешностью до  $5^\circ$   $\angle BAC = 125^\circ$ ; определенный по верхней шкале с погрешностью до  $0,5^\circ$   $\angle BAC = 127,0^\circ$ .

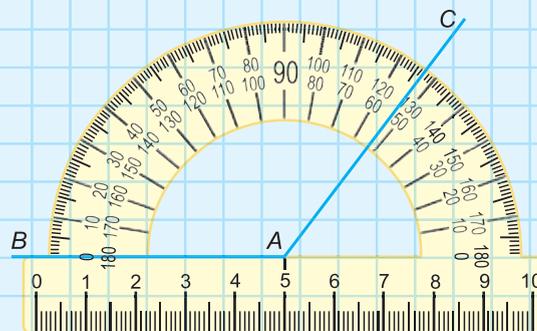


Рис. 38

### Упражнение 3

1. Определите цену деления шкалы часов, если между штрихами, соответствующими значениям 15 мин и 30 мин, имеется 3 деления.

2. Температура воздуха в комнате  $t_0 = 16^\circ\text{C}$ . После того как включили обогреватель, уровень жидкости в комнатном термометре поднялся на 4 деления. Определите, какая температура воздуха установилась в комнате, если цена деления термометра  $C = 2,0 \frac{^\circ\text{C}}{\text{дел.}}$ .

3. Цена деления шкалы спидометра  $C = 10 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot \text{дел.}$ . На сколько делений переместилась стрелка спидометра при выезде автомобиля из населенного пункта на трассу, если его скорость изменилась от  $v_1 = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$  до  $v_2 = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ?

4. Какую температуру показывает термометр на рисунке 39? С какой погрешностью можно измерить температуру данным термометром?

5. На рисунке 40 представлены четыре мензурки. Определите цену деления шкалы каждой мензурки и объемы жидкостей, налитых в них.

6. Определите объемы жидкостей, налитых в мензурки (рис. 41). Есть ли среди них равные? Какая из мензурок позволяет определить объем жидкости с меньшей погрешностью?



Рис. 39

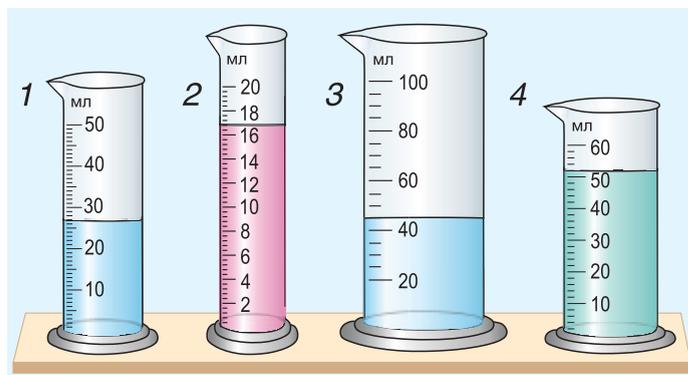


Рис. 40

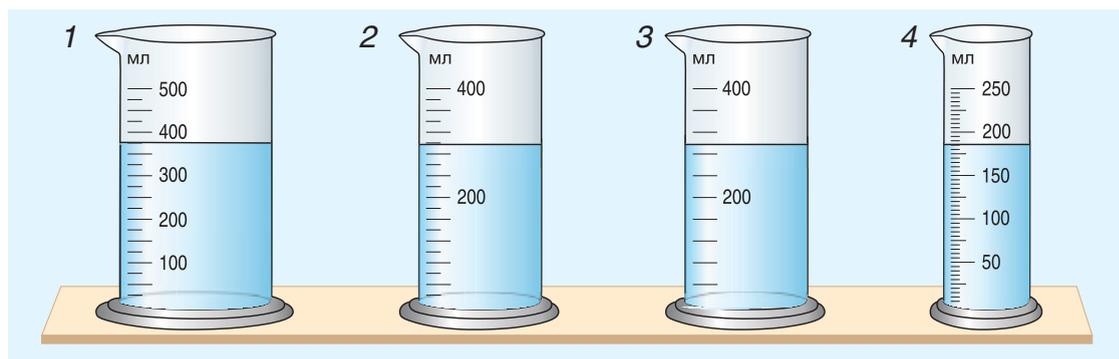


Рис. 41



### Темы проектных заданий

1. Роль эксперимента при открытии закона.
2. От аршина к метру.
3. Почему шкала термометра имеет два предела измерения, а шкалы линейки, спидометра — только один?