

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72
Г75

Грачёв, А. В.
Г75 Физика : 8 класс : лабораторные работы : рабочая тетрадь для учащихся общеобразовательных организаций / А. В. Грачёв, В. А. Погожев. – М. : Вентана-Граф, 2017. – 76, [4] с. : ил.
ISBN 978-5-360-08715-1

Тетрадь для лабораторных работ включает в себя фронтальные лабораторные работы и домашние лабораторные работы, материалы по измерению физических величин и оценке погрешностей измерений, сведения о приборах и оборудовании для проведения лабораторных работ, другие справочные материалы.

Тетрадь вместе с учебником, рабочими тетрадями и методическим пособием для учителей составляет учебно-методический комплект по физике для 8 класса общеобразовательных организаций.

Соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту основного общего образования.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72

1

Измерение физических величин и оценка погрешностей измерений

В лабораторных работах, выполняемых в 8 классе, используют два вида измерений: **прямые** и **косвенные**.

Прямыми называют измерения, при которых значение измеряемой величины получают *непосредственно в результате измерения*. Полученную таким образом величину называют *прямо измеренной*.

Например, длину стороны тетрадного листа можно определить прямым измерением — непосредственно с помощью линейки со шкалой. Другими словами, значение искомой величины (т. е. во сколько раз эта величина отличается от единицы измерения) получают сразу, считывая показания измерительного прибора.

Косвенными называют измерения, при которых значение измеряемой величины получают *путём расчёта по известной зависимости от прямо измеренных величин*. Полученную таким образом величину называют *косвенно измеренной*.

Например, площадь прямоугольного листа бумаги можно определить косвенным измерением: вычислив произведение прямо измеренных величин — длин сторон этого листа.

Обратим внимание на очень важный момент. В результате практически любого измерения *получить истинное (точное) значение измеряемой величины невозможно*. Другими словами, практически любое измерение производится с *погрешностью (ошибкой)*.

Точность измерения, характеризующую отличие полученного значения интересующей величины от её истинного значения, можно описать с помощью специальных физических величин — *абсолютной погрешности* и *относительной погрешности*.

Абсолютной погрешностью называют модуль разности измеренного $A_{\text{изм}}$ и истинного A значений:

$$|A_{\text{изм}} - A|. \quad (1)$$

Максимальное значение указанной величины, которое может быть получено при измерении, называют **максимальной абсолютной погрешностью ΔA** .

При выполнении лабораторных работ будем считать, что *погрешность измерения обусловлена в основном двумя причинами*.

Первая причина связана с конечной точностью нанесения штрихов на шкалы измерительных приборов: линеек, транспортиров, мензурок и т. п. Обусловленную указанной причиной ошибку называют *приборной погрешностью*. При этом (если специально не оговорено иное) следует учитывать, что штрихи на шкалы перечисленных приборов нанесены так, что *приборная погрешность измерения не превышает половины цены деления в любом месте шкалы*.

В табл. 1 приведены приборные погрешности некоторых измерительных приборов.

Таблица 1

Измерительный прибор	Предел измерения	Цена деления	Приборная погрешность измерения
Линейка ученическая	До 50 см	1 мм	$\pm 0,5$ мм
Линейка стальная	До 30 см	1 мм	$\pm 0,5$ мм
Линейка демонстрационная	100 см	1 см	$\pm 0,5$ см
Цилиндр измерительный (мензурка)	До 100 мл	± 10 мл	± 5 мл
Секундомер	0–30 мин	0,2 с	0,1 с
Термометр лабораторный	0–100 °С	1 °С	$\pm 0,5$ °С
Весы учебные	200 г		$\pm 0,01$ г
Динамометр учебный	4 Н	0,1 Н	$\pm 0,05$ Н

Вторая причина связана с недостаточной точностью отсчёта экспериментатором показаний со шкал приборов. Обусловленную этой причиной ошибку называют *погрешностью отсчёта*. Принято считать, что *погрешность отсчёта не превышает половины цены деления шкалы прибора*.

Обычно считают, что максимальная абсолютная погрешность ΔA при прямом измерении равна сумме приборной погрешности и погрешности отсчёта, т. е. равна цене деления шкалы прибора.

Как вы понимаете, при проведении измерений нам не известны ни истинное значение A измеряемой величины, ни абсолютная погрешность $|A_{\text{изм}} - A|$. Поэтому при записи результата измерения используют значение максимальной абсолютной погрешности ΔA . Считают, что истинное значение измеряемой величины *не больше* измеренного значения $A_{\text{изм}}$ на величину ΔA (т. е. $A \leq A_{\text{изм}} + \Delta A$) и что оно *не меньше* измеренного значения $A_{\text{изм}}$ на величину ΔA (т. е. $A \geq A_{\text{изм}} - \Delta A$).

Результат измерения записывают в виде интервала:

$$A_{\text{изм}} - \Delta A \leq A \leq A_{\text{изм}} + \Delta A, \quad (2)$$

где $A_{\text{изм}}$ – измеренное значение, ΔA – максимальная абсолютная погрешность (рис. 1).



Иногда результат измерения записывают в виде:

$$A = A_{\text{изм}} \pm \Delta A. \quad (3)$$

Выражения (2) и (3) означают, что истинное значение измеряемой величины находится в указанном интервале.

Например, если при измерении длины L отрезка с помощью линейки с ценой деления 1 мм было получено значение 73 мм, то результат измерения может быть записан в виде:

$$L = (73 \pm 1) \text{ мм}$$

либо

$$72 \text{ мм} \leq L \leq 74 \text{ мм}.$$

Это означает, что истинное значение измеряемой величины может оказаться любым в интервале от 72 до 74 мм.

Отметим, что ни в коем случае недопустимо указывать значение измеренной величины с точностью, превышающей максимальную абсолютную погрешность.

При обработке результатов измерений пользуются также *максимальной относительной погрешностью*. Она показывает, какую долю от измеренной величины составляет максимальная абсолютная погрешность.

Максимальной относительной погрешностью называют отношение максимальной абсолютной погрешности к модулю измеренного значения:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{|A_{\text{изм}}|}. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что максимальная относительная погрешность является безразмерной величиной.

Часто максимальную относительную погрешность выражают в процентах. В этом случае выражение (4) записывают в виде:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{|A_{\text{изм}}|} \cdot 100 \%. \quad (5)$$

Косвенные измерения проводят по следующей схеме.

Пусть, например, необходимо определить значение величины f , которое можно рассчитать по известной формуле, если знать прямо измеряемые величины x и y .

Шаг 1. Выполняют прямые измерения величин x и y . Результаты этих измерений записывают с указанием максимальных абсолютных погрешностей (Δx и Δy)

и максимальных относительных погрешностей $\left(\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{|x_{\text{изм}}|} \text{ и } \varepsilon_y = \frac{\Delta y}{|y_{\text{изм}}|} \right)$.

Шаг 2. Используя измеренные значения x и y , рассчитывают косвенно измеренное значение $f_{\text{изм}}$ искомой величины f .

Шаг 3. Расчёт максимальной абсолютной Δf и максимальной относительной ε_f погрешностей величины f проводят с учётом формулы для расчёта величины f (табл. 2).

Таблица 2

Вид формулы для расчёта f	Максимальная абсолютная погрешность Δf	Максимальная относительная погрешность ε_f
$f = x + y$	$\Delta f = \Delta x + \Delta y$	$\varepsilon_f = \frac{\Delta f}{f}$
$f = x - y$	$\Delta f = \Delta x + \Delta y$	$\varepsilon_f = \frac{\Delta f}{f}$
$f = x \cdot y$	$\Delta f = x \cdot \Delta y + y \cdot \Delta x$	$\varepsilon_f = \varepsilon_x + \varepsilon_y$
$f = \frac{x}{y}$	$\Delta f = \frac{(x \cdot \Delta y + y \cdot \Delta x)}{y^2}$	$\varepsilon_f = \varepsilon_x + \varepsilon_y$
$f = k \cdot x$	$\Delta f = k \cdot \Delta x$	$\varepsilon_f = k \cdot \varepsilon_x$

В последней строке таблицы число k считается точным, а Δx – максимальная абсолютная погрешность прямо измеряемой величины x .

Шаг 4. Записывают результат измерения величины f в виде интервала:

$$f_{\text{изм}} - \Delta f \leq f \leq f_{\text{изм}} + \Delta f \quad (6)$$

либо

$$f = f_{\text{изм}} \pm \Delta f. \quad (7)$$

Шаг 5. Записывают максимальную относительную погрешность ε_f .

Отметим, что рассчитанные значения Δf и ε_f следует округлять до одной значащей цифры. После этого следует округлить рассчитанное значение $f_{\text{изм}}$ до той же значащей цифры, что и Δf .

Пример

Пусть при измерении сторон прямоугольника линейкой с ценой деления 1 мм получены значения: $x_{\text{изм}} = 25$ мм, $y_{\text{изм}} = 14$ мм. В этом случае с учётом максимальной абсолютной погрешности результаты прямых измерений сторон прямоугольника могут быть записаны в виде: $x = (25 \pm 1)$ мм; $y = (14 \pm 1)$ мм. Макси-

мальные относительные погрешности $\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{изм}}}$ и $\varepsilon_y = \frac{\Delta y}{y_{\text{изм}}}$ соответственно рав-

$$\text{ны: } \varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{изм}}} = \frac{1}{25} = 0,04; \quad \varepsilon_y = \frac{\Delta y}{y_{\text{изм}}} = \frac{1}{14} = 0,07.$$

Используя измеренные значения сторон, рассчитаем косвенно измеренное значение площади прямоугольника: $S_{\text{изм}} = x_{\text{изм}} \cdot y_{\text{изм}} = 25 \cdot 14 = 350 \text{ (мм}^2\text{)}$.

Рассчитаем максимальную абсолютную погрешность ΔS и максимальную относительную погрешность ε_S , используя формулы табл. 2:

$$\Delta S = x \cdot \Delta y + y \cdot \Delta x = 25 \cdot 1 + 14 \cdot 1 = 39 \text{ (мм}^2\text{)};$$

$$\varepsilon_S = \varepsilon_x + \varepsilon_y = 0,04 + 0,07 = 0,11.$$

Согласно сказанному значению максимальной абсолютной погрешности следует округлить до одной значащей цифры: $\Delta S \approx 0,4 \cdot 10^2 \text{ мм}^2$. После этого до той же значащей цифры округляем косвенно измеренное значение площади:

$$S_{\text{изм}} = 350 \text{ мм}^2 = 3,5 \cdot 10^2 \text{ мм}^2.$$

Записываем результат измерения площади прямоугольника:

$$S_{\text{изм}} \approx (3,5 \pm 0,4) \cdot 10^2 \text{ мм}^2.$$

Измерительные приборы и оборудование

Калориметр

Калориметр (рис. 2) позволяет уменьшить теплообмен содержимого внутреннего сосуда с окружающей калориметр средой. Он состоит из двух сосудов, между которыми размещена пенопластовая вставка, закрытая сверху защитным пластмассовым кольцом. Оба сосуда изготовлены из алюминия. Вместимость внутреннего сосуда равна 200 мл.

В крышке калориметра, выполненной из прозрачного пластика, имеются отверстия диаметрами 27, 12 и 3 мм. Отверстие 27 мм закрыто съёмной крышкой, в отверстие диаметром 12 мм установлена резиновая пробка с отверстием для установки термометра, в отверстие 3 мм вставлено проволочное кольцо с ручкой для перемешивания жидкости во внутреннем сосуде. Оба сосуда имеют блестящие поверхности, чтобы уменьшить теплообмен за счёт излучения.

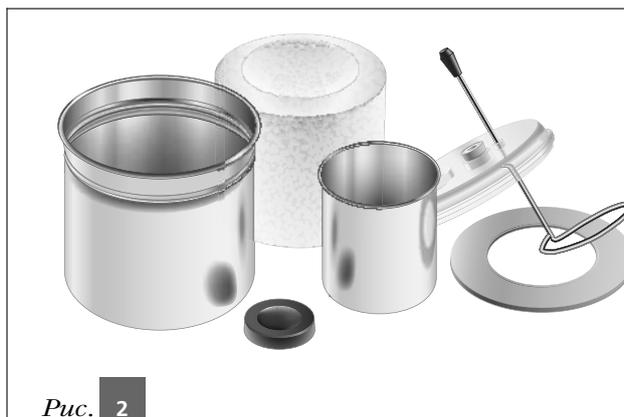


Рис. 2

В крышке калориметра, выполненной из прозрачного пластика, имеются отверстия диаметрами 27, 12 и 3 мм. Отверстие 27 мм закрыто съёмной крышкой, в отверстие диаметром 12 мм установлена резиновая пробка с отверстием для установки термометра, в отверстие 3 мм вставлено проволочное кольцо с ручкой для перемешивания жидкости во внутреннем сосуде. Оба сосуда имеют блестящие поверхности, чтобы уменьшить теплообмен за счёт излучения.

Термометр лабораторный

Термометр (рис. 3) предназначен для измерения температуры тел. Интервал измерения температуры составляет от 0 до 100 °С. Цена деления шкалы — 1 °С. Каждое пятое деление шкалы выделено более длинной чертой, а каждое десятое деление оцифровано.

Психрометр

Психрометр (гигрометр психрометрический) предназначен для определения относительной влажности воздуха. Психрометр (рис. 4) состоит из двух одинаковых термометров, закреплённых на вертикальной панели. Между термометрами помещена стеклянная изогнутая трубка для воды. Открытый конец трубки расположен под резервуаром одного из термометров. Корпус резервуара этого термометра обёрнут марлей, опущенной одним концом в воду. Психрометрическая таблица размещается на панели прибора или прилагается к прибору отдельно.

Амперметр лабораторный

Амперметр (рис. 5) предназначен для измерения силы тока в электрической цепи. Он представляет собой прибор магнитоэлектрической системы с равномерной шкалой с двой-

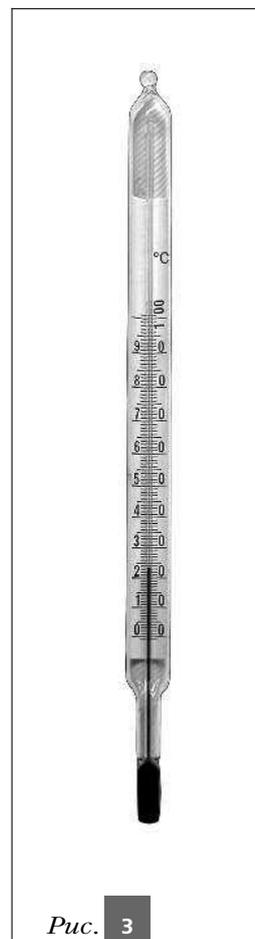


Рис. 3

ной оцифровкой. Рабочий диапазон измерения силы тока составляет 0,2–0,6 А, расширенный диапазон – –1... +3 А. Цена деления шкалы – 0,02 А, в расширенном диапазоне – 0,1 А.

Основной узел прибора – измерительный механизм с отсчётным устройством, помещённый в пластмассовый корпус с прозрачной крышкой. Отсчётное устройство представляет собой шкалу с механическим (стрелочным) указателем. На корпусе имеются три клеммы для подключения прибора в электрическую цепь. К левой клемме, обозначенной символом «0», подключают «минус» источника тока.

Миллиамперметр лабораторный

Миллиамперметр (рис. 6) предназначен для измерения малых значений силы тока в электрической цепи. Он представляет собой прибор магнитоэлектрической системы с равномерной шкалой с двойной оцифровкой и нулём посередине. Рабочий диапазон измерения силы тока составляет –6... +6 мА, расширенный диапазон – –60... +60 мА. Цена деления шкалы – 0,2 мА, в расширенном диапазоне – 2 мА.

Вольтметр лабораторный

Вольтметр (рис. 7) предназначен для измерения напряжения в электрической цепи. Он представляет собой прибор магнитоэлектрической системы с равномерной шкалой с двойной оцифровкой. Предел измерения напряжения в рабочем диапазоне составляет –1... +3 В, в расширенном диапазоне – –2... +6 В. Цена деления шкалы в рабочем диапазоне – 0,1 В, в расширенном диапазоне – 0,2 В.

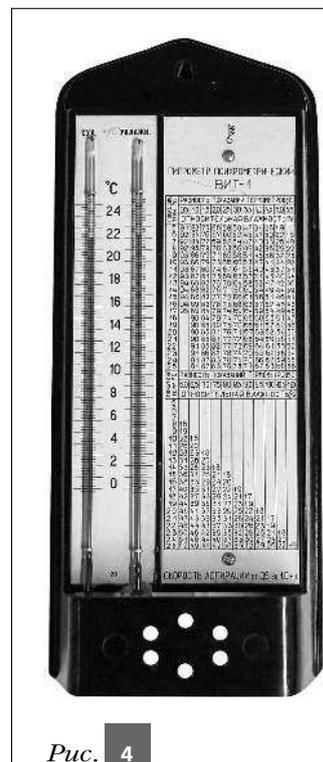


Рис. 4

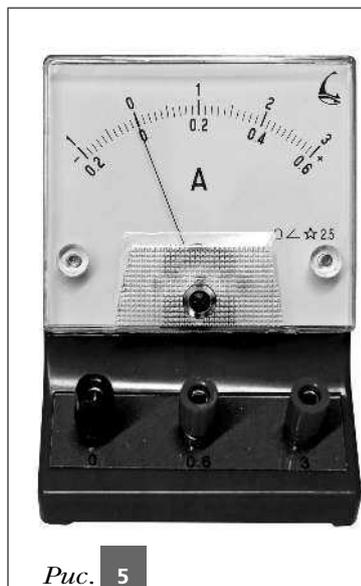


Рис. 5

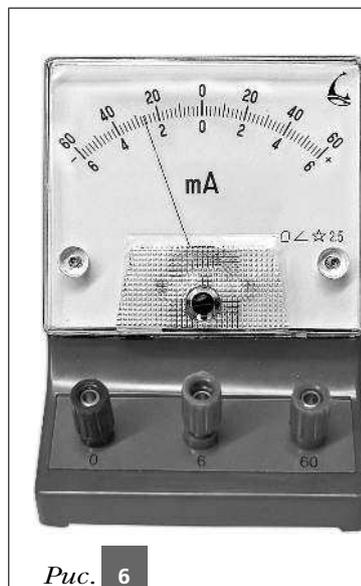


Рис. 6

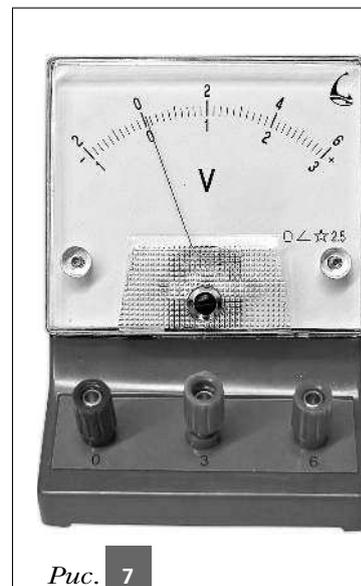


Рис. 7