УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72
Г75

Грачёв, А. В.

Г75 Физика : 9 класс : лабораторные работы : рабочая тетрадь для учащихся общеобразовательных организаций / А. В. Грачёв, В. А. Погожев, П. С. Тихонов и др. — М. : Вентана-Граф, 2018. — 93, [3] с. : ил — (Российский учебник).

ISBN 978-5-360-09762-4

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 9 класса общеобразовательных организаций.

Соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту основного общего образования.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72

ISBN 978-5-360-09762-4

1 Измерение физических величин и оценка погрешностей измерений

В лабораторных работах, выполняемых в 9 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*).

Поэтому, если одну и ту же физическую величину измерить несколько раз, то мы можем получить несколько различающиеся результаты. Считается, что наилучшим приближением к истинному значению измеряемой величины является *среднее арифметическое* $A_{ср}$ нескольких измеренных значений $A_1, A_2, A_3, \dots A_n$, которое вычисляется по формуле:

$$A_{ср} = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{n}. \qquad (1)$$

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 $A_{изм}$ и истинного A значений:

$$\left|A_{изм} - A\right|. \qquad (2)$$

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	±0,5 мм
Линейка стальная	До 30 см	1 мм	±0,5 мм
Линейка демонстрационная	100 см	1 см	±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	±0,5 °С
Весы учебные	200 г		±0,01 г
Динамометр учебный	4 Н	0,1 Н	±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 $|A_{изм} - A|$. Поэтому при записи результата измерения используют значение максимальной абсолютной погрешности ΔA. Считают, что истинное значение измеряемой величины *не больше* измеренного значения $A_{изм}$ на величину ΔA (т. е. $A \leqslant A_{изм} + \Delta A$) и что оно *не* *меньше* измеренного значения $A_{изм}$ на величину ΔA (т. е. $A \geqslant A_{изм} - \Delta A$).

Результат измерения записывают в виде интервала (рис. 1):

$$A_{изм} - \Delta A \leqslant A \leqslant A_{изм} + \Delta A, \qquad (3)$$

где $A_{изм}$ — измеренное значение, ΔA — максимальная абсолютная погрешность.

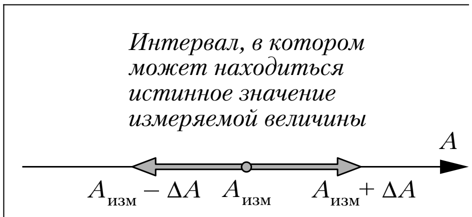

Рис. 1

Иногда результат измерения записывают в виде:

$$A = A_{изм} \pm \Delta A. \qquad (4)$$

Выражения (3) и (4) означают, что истинное значение измеряемой величины находится в указанном интервале.

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

$$L = (73 \pm 1) \text{ мм}$$

либо

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

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

Отметим, что недопустимо указывать значение измеренной величины с точностью, превышающей максимальную абсолютную погрешность.

При обработке результатов измерений используют также *максимальную относительную погрешность*. Она показывает, какую долю от измеренной величины составляет максимальная абсолютная погрешность.

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

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{|A_{изм}|}. \qquad (5)$$

Из выражения (5) следует, что максимальная относительная погрешность является безразмерной величиной.

Часто максимальную относительную погрешность выражают в процентах. В этом случае выражение (5) записывают в виде:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{|A_{изм}|} \cdot 100\,\%. \qquad (6)$$

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

Шаг 2. Используя измеренные значения x и y, рассчитывают косвенно измеренное значение $f_{изм}$ 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
$f = x + y$	$\Delta f = \Delta x + \Delta y$	$\varepsilon_f = \dfrac{\Delta f}{f}$
$f = x - y$	$\Delta f = \Delta x + \Delta y$	$\varepsilon_f = \dfrac{\Delta f}{f}$
$f = x \cdot y$	$\Delta f = x \cdot \Delta y + y \cdot \Delta x$	$\varepsilon_f = \varepsilon_x + \varepsilon_y$
$f = \dfrac{x}{y}$	$\Delta f = \dfrac{(x \cdot \Delta y + y \cdot \Delta x)}{y^2}$	$\varepsilon_f = \varepsilon_x + \varepsilon_y$
$f = k \cdot x$	$\Delta f = k \cdot \Delta x$	$\varepsilon_f = k \cdot \varepsilon_x$

В последней строке таблицы число k считается точным, а Δx представляет собой максимальную абсолютную погрешность прямо измеряемой величины x.

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

$$f_{изм} - \Delta f \leqslant f \leqslant f_{изм} + \Delta f \quad (7)$$

либо

$$f = f_{изм} \pm \Delta f. \qquad (8)$$

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 шкалы 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:

$$x = (25 \pm 1)\ \text{мм};\ y = (14 \pm 1)\ \text{мм}.$$

Максимальные относительные погрешности $\varepsilon_x = \dfrac{\Delta x}{x_{\text{изм}}}$ и $\varepsilon_y = \dfrac{\Delta y}{y_{\text{изм}}}$ соответственно равны:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{изм}}} = \frac{1}{25} = 0{,}04;$$

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta y}{y_{\text{изм}}} = \frac{1}{14} = 0{,}07.$$

Используя измеренные значения сторон, рассчитаем косвенно измеренное значение площади прямоугольника:

$$S_{\text{изм}} = x_{\text{изм}} \cdot y_{\text{изм}} = 25 \cdot 14 = 350\ (\text{мм}^2).$$

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

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

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

Согласно сказанному, значение максимальной абсолютной погрешности следует округлить до одной значащей цифры: $\Delta S \approx 0{,}4 \cdot 10^2$ 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:

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

2 Фронтальные лабораторные работы

Лабораторная работа № 1

Изучение равноускоренного прямолинейного движения

Цели работы: 1) изучить зависимость перемещения тела от времени при его равноускоренном прямолинейном движении из состояния покоя; 2) определить модули скорости и ускорения при таком движении.

Средства измерения и материалы: универсальный штатив с лапкой и муфтой, жёлоб (или наклонная плоскость) с наклеенной вдоль него узкой бумажной лентой, тяжёлый металлический цилиндр (брусок), металлический шарик (диаметром 0,5—2 см), карандаш, метроном, линейка с миллиметровыми делениями.

Дополнительные сведения

Повторите материал, изложенный в § 1 и 2 учебника.

Если шарик начинает равноускоренное движение без начальной скорости по прямолинейной траектории, то модули его перемещения Δx_i за последовательные равные промежутки времени должны удовлетворять соотношению:

$$\Delta x_1 : \Delta x_2 : \Delta x_3 : \Delta x_4 : \Delta x_5 = 1 : 3 : 5 : 7 : 9. \quad (1)$$

Выполнение соотношения (1) является критерием справедливости гипотезы о равноускоренном прямолинейном движении шарика. Измерив модуль перемещения Δx шарика от начала движения к моменту времени t, можно определить модуль a его ускорения и модуль v максимальной скорости в этот момент времени:

$$a = \frac{2x}{t^2}, \ v(t) = a \cdot t = \frac{2x}{t}. \quad (2)$$

В работе используют один метроном на весь класс. Метроном должен быть настроен на 120 ударов в минуту, т. е. так, что два последовательных удара отмечают промежуток времени 0,5 с.

Порядок выполнения

1. Соберите установку так, как показано на рис. 2, закрепив жёлоб лапкой штатива. Конец жёлоба должен опираться о стол. На нижний конец жёлоба положите металлический брусок. Сделайте отметку карандашом на ленте у верхнего края жёлоба. Эта отметка будет началом отсчёта координатной оси X, направленной

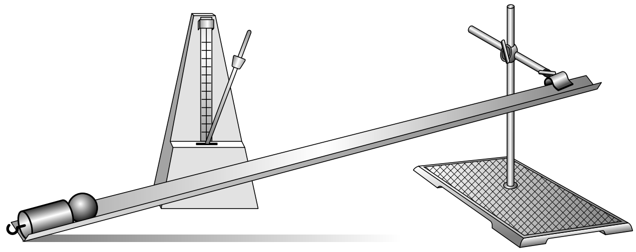

Рис. 2

вниз вдоль ленты. Наклон жёлоба подберите такой, чтобы шарик скатывался от начала отсчёта до удара о брусок не быстрее чем за 5 ударов метронома (2,5 с).

2. В каждом эксперименте ставьте шарик так, чтобы его нижний край совпадал с началом отсчёта. Отпускайте шарик одновременно с ударом метронома. Наклон жёлоба должен оставаться неизменным на протяжении всей работы.

3. Для определения мест нахождения шарика, движущегося по жёлобу, в моменты, соответствующие последующим ударам метронома (через каждые 0,5 с), используйте металлический брусок. Для этого проведите ряд экспериментов по скатыванию шарика, перемещая брусок вдоль жёлоба. Отметьте на ленте положение грани бруска, о которую происходит удар скатывающегося шарика, в момент, совпадающий с первым после начала скатывания ударом метронома. Затем отметьте на ленте положения этой грани в моменты, соответствующие последующим ударам метронома.

4. Измерьте расстояния от начала отсчёта до каждой из отметок. Результаты измерений координат отметок занесите в табл. 3. Для каждой из отметок эксперимент повторите 3 раза. Вычислите среднее значение для координаты отметки, соответствующей первому (x_1) удару метронома. Затем вычислите средние значения для координат отметок, соответствующих последующим (x_2, x_3, x_4, x_5) ударам метронома. Результаты расчётов занесите в табл. 3.

Таблица 3

Координата x, см	Эксперимент 1	Эксперимент 2	Эксперимент 3	Среднее значение координаты, см	Время движения t, с
x_1					0,5
x_2					1
x_3					1,5
x_4					2
x_5					2,5

5. По данным табл. 3 постройте график зависимости координаты шарика от времени.

6. Рассчитайте расстояния, которые проходил шарик за промежутки времени между последовательными ударами метронома. Для этого, используя средние значения координат ударов шарика о брусок из табл. 3, вычислите разности координат для каждой пары последовательных ударов:

$\Delta x_1 = x_1 - 0$, $\Delta x_2 = x_2 - x_1$, $\Delta x_3 = x_3 - x_2$ и т. д.

Результаты расчётов запишите в табл. 4.

Таблица 4

Δx_1, см	Δx_2, см	Δx_3, см	Δx_4, см	Δx_5, см

7. Вычислите, во сколько раз Δx_2, Δx_3, Δx_4 и Δx_5 больше, чем Δx_1. Результаты расчётов запишите аналогично соотношению (1):

$\Delta x_1 : \Delta x_2 : \Delta x_3 : \Delta x_4 : \Delta x_5 =$

8. Подтверждают ли полученные результаты гипотезу о равноускоренном движении шарика?

9. Зная, что полное время движения шарика равно 2,5 с, вычислите по формулам (2) модули ускорения a и максимальной скорости v шарика (через 2,5 с после начала его движения). Ответ выразите в единицах СИ.

10*. Определите максимальную абсолютную погрешность измерения расстояний, указанных в табл. 3 и 4.

11*. Считая, что промежутки времени между ударами метронома известны с точностью 0,1 с, оцените максимальную абсолютную погрешность измерения a и v. Используйте при этом формулы из табл. 2.

12*. Рассчитайте максимальную относительную погрешность измерения модулей ускорения и максимальной скорости шарика.

Вопросы и задания

1. Докажите справедливость соотношения (1).

2. Вычислите модули скоростей движения шарика в моменты второго и четвёртого ударов метронома.

3. Зависит ли ускорение шарика от времени в ваших опытах?