



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

**Практикум**  
по дисциплине  
«Физика»

# «Математическая обработка результатов физических измерений»

Авторы  
Русакова Е.Б.,  
Колпачева Н.А.

Ростов-на-Дону, 2022

## Аннотация

Указания содержат руководство к выполнению лабораторных работ по курсу общей физики, рекомендации по выполнению эксперимента и обработке результатов.

Предназначено для обучающихся, изучающих дисциплину «Физика» для выполнения лабораторных работ по программе курса общей физики.

## Авторы

к.ф.-м.н., проф. Е.Б. Русакова,  
ассистент Н.А. Колпачева



## Оглавление

1. Что необходимо знать для выполнения лабораторной работы	4
2. Как подготовиться к лабораторной работе .....	5
3. Как провести эксперимент .....	6
4. Как обработать результаты измерений .....	7
5. Построение графика .....	13
6. Как составить отчет .....	15
7. Как защитить отчёт .....	16
ЛИТЕРАТУРА .....	17

## 1. Что необходимо знать для выполнения лабораторной работы

Выполнение лабораторной работы есть определённая последовательность действий. подготовка к эксперименту, проведение измерений, обработка полученных результатов, формулировка выводов и написание отчета.

Для грамотного и быстрого их выполнения у Вас должна сложиться определённая система знаний и умений (примерная основа действий), которая обеспечит правильное и рациональное исполнение задания. Это не только описание конкретной лабораторной работы, но и знания по определённым разделам курсов физики и математики, полученные в ходе обучения или изученные Вами самостоятельно.

Каждую лабораторную работу необходимо начинать с изучения её описания и приведения своих знаний в систему:

- ясно представить себе цель данной лабораторной работы и последовательность задач, решение которых приведёт к достижению этой цели;
- знать, какое физическое явление изучается в данной работе, и какими зависимостями связаны описывающие его величины;
- знать основные особенности объекта исследования (образец материала, поток частиц, излучение);
- изучить и уметь объяснить физические основы используемых в работе методов измерения искомых величин;
- уметь нарисовать принципиальную схему используемой установки и знать назначение каждого из её узлов;
- знать последовательность выполнения этапов лабораторной работы;
- иметь общее представление об ожидаемых результатах проводимого эксперимента и уметь выбрать метод, необходимый для их математической обработки.

Проверять степень своей готовности к выполнению каждой конкретной лабораторной работы нужно с помощью контрольных вопросов, приведённых в её методических указаниях. Следует не только ответить на них, но и запомнить как общий принцип подхода к выполнению лабораторной работы.

## 2. Как подготовиться к лабораторной работе

Выполнение всех работ лабораторного практикума по физике начинается с самостоятельной подготовки, которая должна быть завершена к началу занятия.

Подготовку к лабораторной работе начинайте со знакомства с описанием работы, затем с помощью его и других рекомендованных учебных пособий постарайтесь ответить на все контрольные вопросы.

Уровень Вашей подготовки проверяет преподаватель в начале занятия в ходе беседы. Чтобы эта беседа была полезной, при изучении описания нужно отмечать неясные вопросы и обязательно выяснить их на консультации.

Следующим этапом подготовки является написание первой части отчёта целенаправленного изложения будущей работы. Она должна быть отражением Вашей работы по систематизации приобретённых знаний, опорным планом для проведения эксперимента и последующих этапов выполнения работы.

Первая часть отчета должна содержать:

- номер и название работы;
- цель работы;
- перечень приборов и принадлежностей, необходимых для её выполнения;
- краткое теоретическое введение;
- схему (рисунок) лабораторной установки;
- краткий порядок выполнения работы;
- таблицы для записи экспериментальных результатов.

Отдельно в своей рабочей тетради:

- составьте и запишите систему уравнений, позволяющую определить искомую величину на основании опытных данных;
- выпишите постоянные, необходимые для решения составленной системы уравнений (табличные данные, параметры установки);
- запишите физические величины, определяемые прямыми измерениями;
- запишите физические величины, определяемые косвенными измерениями;
- решите систему уравнений и получите рабочие формулы для величин, измеряемых косвенно, т.е. выразите их через прямо измеряемые величины;
- перечислите какие графики придётся строить и какие величины по ним можно будет определить;

- запишите табличное значение определяемой величины, если оно существует;
- приведите формулы погрешности для величин, измеряемых косвенно.

Такая предварительная работа позволит Вам успешно выполнить лабораторную работу.

### 3. Как провести эксперимент

В физическом практикуме на каждое лабораторное занятие отводится два академических часа. Необходимо использовать все это время так, чтобы улучшить экспериментальные результаты, но и произвести начальную обработку результатов. Обсуждение в конце занятия уже частично обработанных данных избавит от ряда возможных ошибок и существенно сократит затраты времени на их окончательную обработку.

Первым этапом проведения экспериментальной части работы является подготовка лабораторной установки. Для этого:

- найдите на рабочей схеме основные узлы установки, измерительные приборы, переключатели, источник питания;
- запишите в отчет наименования всех приборов; для многопредельных приборов укажите диапазон измерений и класс точности, определите цену деления шкалы;
- изучите инструкцию, прилагаемую к установке.

После беседы с преподавателем и получения допуска к работе:

- соберите установку, получив необходимые детали и принадлежности у лаборанта, или, если она была собрана, проверьте самостоятельно правильность сборки;
- запишите в рабочую тетрадь заданные преподавателем режимы работы;
- установите на многопредельных приборах нужные диапазоны измерений;
- покажите готовую установку преподавателю или лаборанту для проверки, и, получив разрешение, включите питание установки и приступайте к проведению измерений.

Перед началом измерений обязательно представьте себе ход работы. Уточните для себя еще раз, изменение какой величины нужно задавать и какая другая величина будет при этом меняться. Установите, по какому из приборов Вы будете задавать изменение величины, а по какому следить за происходящими в процессе опыта изменениями, и регистрировать значения. Для того чтобы число измерений было достаточным, необходимо, ис-

ходя из предполагаемого вида зависимости, записывать показания приборов возможно чаще для области резкого изменения величины (максимум, минимум, точка перегиба). На тех участках, где показания приборов меняются плавно и нет резких изменений величины, значения можно брать реже. При проведении любых измерений нужно обращать внимание на воспроизводимость результатов.

Все записи, касающиеся выполнения эксперимента, следует делать только в рабочей тетради, а не на отдельных листах. Черновые записи не допускаются.

Выполняя работы, Вы приобретаете необходимое инженеру умение правильно и грамотно вести запись условий проведения и результатов научного эксперимента. Результаты прямых измерений используют для расчетов и дальнейшей обработки, поэтому так важна надежность их определения и записи.

Закончив эксперимент, нужно проверить и записать недостающие сведения об измерительных приборах. Для каждого из приборов должна быть указана систематическая погрешность, которая может быть рассчитана, исходя из его класса точности.

## **4. Как обработать результаты измерений**

### **4.1. Расчёт результата и его погрешности**

Точно измерить физическую величину невозможно, поэтому результаты измерений всегда носят приближённый характер. Задача любого опыта - установить степень этой приближённости, т.е. определить погрешность измерений. Все погрешности подразделяются на систематические, случайные и промахи.

Систематические погрешности отличаются тем, что они одинаковы при неизменных условиях опыта и вызваны одной и той же причиной. Они могут появиться вследствие неточности метода исследования или быть обусловлены конструкцией измерительного прибора (приборная погрешность).

Промахи - это такие погрешности измерения, которые оказываются значительно больше ожидаемых при данных условиях опыта. Они возникают главным образом по вине экспериментатора, сделавшего неправильное измерение или допустившего ошибку при вычислении, а также из-за внезапной неисправности прибора. Результат, полученный вследствие промаха, резко отличается от результатов других измерений, а абсолютная погрешность - имеет значение, значительно превышающее погрешности других измерений. Промах обязательно должен быть исключён из результатов измерений.

Случайные погрешности вызываются действием многочисленных, не поддающихся контролю факторов различной природы (влиянием экспериментатора, неконтролируемыми изменениями в окружающей обстановке и т.п.). Значение случайной погрешности, как правило, меняет величину и знак от одного измерения к другому.

Для учёта случайных погрешностей при многократных **прямых измерениях** какой-либо физической величины производят их математическую обработку с помощью теории вероятностей. В условиях учебного процесса можно использовать её упрощенный вариант, который включает в себя определение среднего арифметического значения  $\langle x \rangle$  измеряемой величины  $x$ , абсолютной погрешности  $\Delta x$  и относительной погрешности  $\varepsilon_x$  опыта.

1. Пусть произведено  $n$  измерений величины  $x$ , и в результате был получен ряд значений  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . За наиболее близкое значение к истинному значению  $x_n$ , измеряемой величины  $x$  принимают её среднее арифметическое

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

2. Абсолютной погрешностью опыта (серии измерений) называют величину,

$$\Delta x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta x_i|,$$

где  $\Delta x = |x_i - \langle x \rangle|$  - абсолютно значение разности между величиной  $x_i$  полученной в  $i$ -том измерении и средним значением  $\langle x \rangle$ . Абсолютная погрешность опыта характеризует таким образом качество проведённых измерений, т.е. указывает, па сколько истинное значение измеряемой величины может отличаться от значения, измеренного в опыте.

3. Для оценки точности, с которой определена измеряемая величина, используется понятие относительной погрешности:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{\langle x \rangle} \cdot 100\%.$$

Таким образом, относительная погрешность показывает, какая часть абсолютной погрешности приходится на каждую единицу измеряемой величины.

**Пример.** При измерении толщины  $h$  стеклянной пластинки с помощью микрометра было сделано четыре измерения, результаты которых занесены в табл. 1:

Таблица 1.  
Результаты измерений толщины стеклянной пластинки

№ измерения	$h_i$ , мм	$\langle h \rangle$ , мм	$h_i$ , мм	$\Delta h_i$ , мм	$\varepsilon_h$ , %
1	3,82	3,84	-0,02	0,03	0,8
2	3,85		+0,01		
3	3,89		+0,05		
4	3,80		-0,04		

1. По данным таблицы рассчитываем среднее значение толщины:

$$\langle h \rangle = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4} = \frac{3,82 + 3,85 + 3,89 + 3,80}{4} = 3,84 \text{ мм.}$$

2. Определяем абсолютную погрешность опыта (серии измерений):

$$\Delta h = \frac{|\Delta h_1| + |\Delta h_2| + |\Delta h_3| + |\Delta h_4|}{4} = \frac{0,02 + 0,01 + 0,05 + 0,04}{4} = 0,03 \text{ мм.}$$

3. Определяем относительную погрешность:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta h}{\langle h \rangle} \cdot 100\% = \frac{0,03}{3,84} \cdot 100\% = 0,8\%.$$

**При косвенных измерениях** искомую величину вычисляют по результатам прямого измерения другой величины (или других величин), связанной с искомой определённой функциональной зависимостью  $y=f(x)$ . Найдём дифференциал этой функции

$$dy = \frac{df(x)}{dx},$$

и заменим знак  $d$  на

$$\Delta y = \frac{df(x)}{dx} \Delta x.$$

Таким образом, абсолютная погрешность функции равна произведению производной этой функции на абсолютную погрешность аргумента.

Найдём дифференциал натурального логарифма функции  $f(x)$ :

$$d \ln f(x) = \frac{df(x)}{f(x)}.$$

Заменяя в правой части  $d$  на  $\Delta$  и  $f(x)$  на  $\langle f(x) \rangle = f(\langle x \rangle)$ , получим

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta f(x)}{f(\langle x \rangle)} = \Delta \ln f(x),$$

т.е. относительная погрешность функции равна дифференциалу натурального логарифма этой функции. Для функции многих переменных  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$$dy = \sum_{i=1}^n \left( \frac{dy}{dx_i} dx_i \right) \quad \text{и} \quad \Delta y = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial y}{\partial x_i} dx_i \right|,$$

$$d \ln y = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial \ln y}{\partial x_i} dx_i \right) \quad \text{и} \quad \varepsilon_y = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial \ln y}{\partial x_i} dx_i \right|.$$

Абсолютная и относительная погрешности некоторых простейших функций приведены в табл.2.

Таблица 2

Погрешности при косвенных измерениях в простейших случаях

Вид функции	Абсолютная погрешность $\Delta y$	Абсолютная погрешность $\varepsilon_y$
$x_1 + x_2$	$\Delta x_1 + \Delta x_2$	$\frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{x_1 + x_2}$
$x_1 - x_2$	$\Delta x_1 - \Delta x_2$	$\frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{x_1 - x_2}$
$x_1 \cdot x_2$	$x_1 \cdot \Delta x_2 + x_2 \cdot \Delta x_1$	$\varepsilon_{x1} + \varepsilon_{x2}$
$\frac{x_1}{x_2}$	$\frac{x_1 \Delta x_2 + x_2 \Delta x_1}{x_2^2}$	$\varepsilon_{x1} + \varepsilon_{x2}$
$x^n$	$n x^{n-1} \Delta x$	$n \varepsilon_x$
$\sqrt[n]{x}$	$\frac{1}{n} x^{\frac{1-n}{n}} \Delta x$	$\frac{1}{n} \varepsilon_x$
$e^x$	$e^x \Delta x$	$\Delta x$

Для функций, не вошедших в таблицу, необходимо произвести такие действия: а) найти полный дифференциал функции; б) определить её абсолютную погрешность, складывая абсолютные значения произведений частной производной этой функции по аргументу  $x_i$  на абсолютную погрешность аргумента; в) вычислить относительную погрешность измерения искомой величины.

Когда функция  $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  удобна для логарифмирования, то вначале лучше рассчитать относительную погрешность  $\varepsilon_y$  функции (в %) и затем её абсолютную погрешность

$$\Delta y = \frac{\varepsilon_y \cdot \Delta y}{100\%}$$

**Пример.** Ускорение свободного падения  $g$  определяется по результатам измерения периодов колебаний  $T_1$  и  $T_2$  двух математических маятников с длинами  $l_1$  и  $l_2$  соответственно ( $l_1 > l_2$ ) по формуле

$$g = \frac{4\pi^2}{T_1^2 - T_2^2},$$

где  $a=l_1-l_2$ . Логарифмирование даёт  $\ln g = \ln(4\pi^2) + \ln a - \ln(T_1^2 - T_2^2)$ . После дифференцирования  $\ln g$  с заменами  $da$  на  $a$  и  $dT$  на  $T$  получим:

$$\varepsilon_g = \Delta \ln g = \varepsilon_g = \frac{\Delta a}{a} + \frac{2(T_1 \Delta T_2 + T_2 \Delta T_1)}{(T_1^2 - T_2^2)} \cdot 100\%$$

(предполагается, что погрешности независимых измерений  $\Delta a$ ,  $\Delta T_1$  и  $\Delta T_2$  усиливают друг друга, и поэтому их влияние учитывается в формуле со знаком плюс). Затем найдём абсолютную погрешность

$$\Delta g = \frac{\varepsilon_g (\%) \langle g \rangle}{100}, \text{ где } \langle g \rangle = \frac{4\pi a}{\langle T_1^2 \rangle - \langle T_2^2 \rangle}.$$

Систематическая абсолютная погрешность при прямых измерениях связана с погрешностью измерительного прибора и может быть найдена путем сравнения результата измерения с показанием эталонного прибора и вычисления поправки. Однако, в условиях учебного процесса определяют вначале максимальное значение абсолютной систематической погрешности по классу точности измерительного прибора.

Класс точности - это приведённая погрешность

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_m} \cdot 100\%,$$

где  $x_T$  - максимальное значение величины  $x$ , которая может быть измерена данным прибором (предел измерения). Класс точности обычно указывают на шкале прибора или в его техническом описании. Например, все электроизмерительные приборы делятся на восемь классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 (эталонные приборы); 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 (технические приборы).

Таким образом, зная приведённую погрешность  $\gamma$  и предел измерения  $x_T$ , можно определить абсолютную систематическую погрешность прибора:

$$\Delta x = \frac{\gamma x_m}{100}.$$

После этого можно вычислить точность проведённого измерения:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%.$$

При косвенных измерениях расчет систематической погрешности производится таким же образом, как и случайной. Обычно классы точности всех измерительных приборов известны. Если в расчетную форму входят относительные погрешности прямых измерений величин  $x_b, x_b, \dots, x_{n_r}$ , то их необходимо определить:

$$\varepsilon_{x_i} = \frac{\Delta x_i}{x_i} \cdot 100\%.$$

где  $x_i$  - измеренное значение  $i$ -той величины (которое может не совпадать с пределом измерения).

При учёте систематической погрешности опыта его результат следует записывать так:

$$x = \langle x \rangle \pm \Delta x_{\text{п}},$$

где  $\Delta x_{\text{п}} = \Delta x_{\text{сл}} + \Delta x_{\text{си}}$  — полная погрешность измерения,  $x_{\text{сл}}$  — случайная погрешность, а  $x_{\text{си}}$  - систематическая погрешность.

#### 4.2. Запись окончательного результата

Окончательный результат вычислений - среднее арифметическое измеряемой величины записывают в виде числа из нескольких разрядов. Цифры в этом числе делятся на значащие и незначащие. К значащим цифрам относятся все верные и сомнительные цифры. К незначащим относятся: а) нули в начале числа, определяющие разряды десятичных дробей в числах меньших единицы; б) нули в конце числа, заменившие цифры по-

сле округления; в) неверные цифры, если они не были отброшены.

Для определения значащих цифр в результате измерения необходимо вычислить абсолютную погрешность опыта, числовое значение которой тоже может содержать несколько разрядов. Но абсолютная погрешность показывает, в каком разряде полученного результата содержится неточность. Поэтому её числовое значение всегда округляется до одной значащей цифры, кроме того, в случае, когда эта цифра представляет единицу - в этом случае округление производится до цифры первого младшего разряда. Тогда сохранение цифр меньших разрядов в среднем арифметическом измеряемой величины теряет смысл.

**Пример.** В нескольких опытах по результатам измерений периода колебаний математического маятника было проведено с различной погрешностью определение ускорения свободного паде-

неправильная запись результата

$$\begin{aligned} g &= (10,1835 \pm 0,433) \text{ м/с}^2 \\ g &= (9,8167 \pm 0,053) \text{ м/с}^2 \\ g &= (9,9423 \pm 0,132) \text{ м/с}^2 \\ g &= (10,8261 \pm 2,026) \text{ м/с}^2 \end{aligned}$$

правильная запись результата

$$\begin{aligned} g &= (10,2 \pm 0,4) \text{ м/с}^2 \\ g &= (9,82 \pm 0,05) \text{ м/с}^2 \\ g &= (9,94 \pm 0,13) \text{ м/с}^2 \\ g &= (10 \pm 2) \text{ м/с}^2 \end{aligned}$$

ния:

При записи измеренного значения  $x$  последней, таким образом, должна указываться цифра того десятичного разряда, который был использован при указании погрешности. Это правило должно соблюдаться и в тех случаях, когда некоторые из цифр являются нулями. Пусть, например, при вычислении  $g$  в предыдущем опыте было получено значение  $9,88 \text{ м/с}^2$  (точно), а погрешность составила  $\pm 0,004 \text{ м/с}^2$ , то окончательный результат следует представить в таком виде:

$$g = 9,880 \pm 0,004 \text{ м/с}^2.$$

При записи окончательного результата измерения наряду с основными единицами СИ и производными от них допускаются к применению кратные единицы (например, см, МПа, мВ и т.д.) в тех случаях, когда это упрощает запись.

## 5. Построение графика

Полученные в ходе эксперимента результаты часто изображают в виде графика. Это позволяет получить наглядное представление о физической сущности изучаемого явления, быстро

обнаружить и исправить промахи (грубые ошибки) в некоторых опытах. Использование графического метода дает возможность без сложных вычислений определять некоторые константы на основе всей совокупности экспериментальных данных. Например, по графику зависимости электросопротивления  $R$ , металлического проводника от температуры  $R_t=R(t)$  можно найти температурный коэффициент сопротивления и т.п.

При построении графика чаще всего пользуются прямоугольной системой координат, причем значения аргумента откладывают по горизонтальной оси, а значения функции по вертикальной оси. Начало координат не обязательно должно совпадать с нулевыми значениями функции и аргумента. При выборе масштаба величин, откладываемых на осях координат, исходят из того, чтобы получить примерно равные отрезки, которые соответствуют установленным в опыте интервалам численных значений функции и аргумента. Например, по результатам измерения показателя преломления  $n$  водного раствора глюкозы был построен график  $n=n(c)$ , где  $c$  - концентрация глюкозы (рис.1). На рис. 1а график удовлетворяет необходимым требованиям. На рис. 1б из-за неудачного выбора масштаба и начала отсчета для  $n$  зависимость  $n(c)$  почти незаметна, и такой график бесполезен для практического применения.

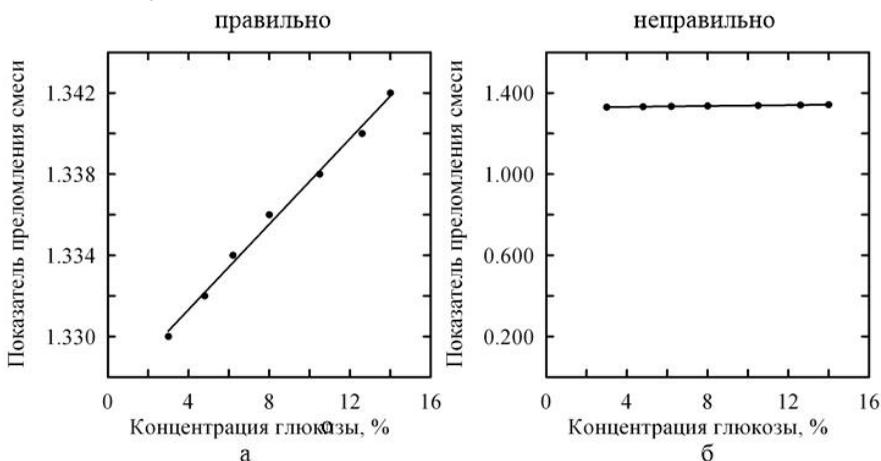


Рис. 1

Использование графических методов облегчается в тех случаях, когда график представляет собой прямую линию. С целью "спрямления" графика исследуемой зависимости, имеющей сложный характер, целесообразно использовать нелинейные шкалы, например, логарифмическую, квадратичную и т.д. или отклады-

вать не сами величины аргумента и функции, а их логарифмы, степени, обратные значения. Например, в работе "Исследование теплового излучения чёрного тела" с целью экспериментальной проверки закона Стефана – Больцмана

$$R_{\varepsilon} = \sigma T^4$$

где  $R_{\varepsilon}$  — энергетическая светимость тела, а  $T$  - его абсолютная температура, по оси абсцисс откладывают  $T$ , а по оси ординат —  $R_{\varepsilon}^{1/4}$ .

Выбрав рациональные масштаб и размеры графика, на координатные оси наносят деления через 10-20 мм и обозначают их. Затем наносят экспериментальные точки, с которыми совмещают прямоугольные крестики, размеры которых вдоль осей координат  $Ox$  и  $Oy$  равны удвоенным погрешностям соответственно  $2x$  и  $2y$  в выбранном масштабе. По отмеченным точкам проводят линию так, чтобы она прошла как можно ближе к экспериментальным точкам, и чтобы равное количество их оказалось по обе стороны от этой линии.

Для построения графиков, как правило, используют масштабную-координатную (миллиметровую) бумагу.

Если в лабораторной работе по графику определяется какая-либо константа, например, как угловой коэффициент экспериментальной прямой  $y = x_0 + kx$ , то в этом случае тангенс угла  $\alpha$  наклона прямой к оси абсцисс может быть определён только с учётом соответствующих масштабов и единиц измерения.

### 6. Как составить отчет

Отчет завершает лабораторную работу и обобщает результаты всех предыдущих этапов её выполнения. Поэтому в нём обязательно должны содержаться: 1) цель работы; 2) перечень приборов и принадлежностей; 3) необходимые теоретические сведения; 4) рисунок (схема) лабораторной установки; 5) краткий порядок выполнения работы; 6) рабочие формулы с обязательной расшифровкой входящих в них величин; 7) таблицы с экспериментальными данными; 8) оценка надёжности и достоверности результатов - расчет абсолютной и относительной погрешности для величин, полученных прямыми и косвенными измерениями; 9) окончательный результат работы с учётом полученных погрешностей и 10) общие выводы по работе.

Первые пять пунктов отчета были Вами написаны при подготовке к выполнению лабораторной работы, поэтому, если в ходе беседы с преподавателем им не были сделаны замечания, то подготовленный материал может быть использован для оконча-

тельного оформления отчета.

Выполняя обработку результатов измерений, приведите в отчёте примеры вычисления значений искомых величин. Производя вычисления, записывайте прежде всего формулу, затем подставляйте в неё числовые значения всех величин и затем находите окончательный результат. Если в ходе опыта какая-то величина определялась при разных условиях (снималась её зависимость от другого параметра), то достаточно привести только один пример вычисления, указав номер измерения из таблицы.

В конце отчёта приводятся:

- значение искомой физической величины с указанием погрешности её определения и точности измерений;
- анализ полученных результатов и, если это возможно, сравнение экспериментально полученного и табличного значений физической величины;
- выводы, вытекающие из экспериментальных данных.

## 7. Как защитить отчёт

Защита отчёта обычно происходит в начале лабораторного занятия или во время консультации. Протекает она в виде ответов на вопросы преподавателя.

Если Вы были хорошо подготовлены к работе, правильно сформулировали её цели и задачи, показали глубокие знания по теории во время предварительного опроса, проявили самостоятельность при сборке установки, проведении измерений и обработке их результатов, то защита в этом случае происходит в начале следующего лабораторного занятия в виде кратких ответов на вопросы преподавателя по математической обработке результатов измерений, степени их надёжности и достоверности.

Если же Вы плохо были подготовлены к лабораторному занятию, при допуске к работе показали слабое знание теории вопроса и только с помощью преподавателя собрали установку и выполнили измерения, то защищать отчёт будете на консультации. Вопросы в этом случае будут касаться всех этапов выполнения лабораторной работы: от формулировки цели работы до структуры содержания и оформления отчёта.

В отдельных случаях может быть предусмотрено специальное занятие для защиты отчётов, которое завершает цикл работ.

Независимо от способа организации защиты отчёта, во всех случаях остаются постоянными общие требования. Студент, выполнивший работу, должен:

- ответить на вопросы по экспериментальной части работы;
- показать приёмы работы прямо на лабораторной установке;
- пояснить выбранный способ обработки результатов и обосновать сделанные выводы;
- ответить на каждый из контрольных вопросов по работе или определённом циклу работ.

Готовясь к защите, старайтесь больше обсуждать в учебной группе особенности работы и её результаты, задавайте друг другу вопросы по выполненной работе. Сделайте вывод о том, что было в данной работе для Вас действительно новым и интересным.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Лабораторный практикум по общей и экспериментальной физике / под ред. Е.М. Гершенсона и А.Н. Мансурова. - М.: Академия, 2004. - 464 с.
2. Пронин В.И. Практикум по физике. - СПб.: Лань, 2005. - 256 с.