

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»  
Институт математики, информационных технологий и физики  
Кафедра общей физики

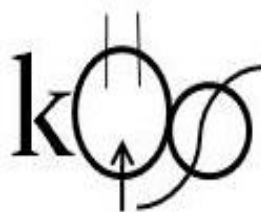
**И.В. Милютин**

**Организация и проведение учебной практики**  
(направления подготовки бакалавриата «Физика»,  
«Прикладные математика и физика»,  
«Химия, физика и механика материалов»)

Методические рекомендации



**ИМИТиФ**



Ижевск  
2023

УДК 53.043 378(075.8)  
ББК 22.3 р30  
М608

*Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ*

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор, каф. тепловых двигателей и установки ФГБОУ ВО «ИжГТУ им. М. Т. Калашникова» Е.В. Ветчанин

**Милютин И.В.**

М 608 Организация и проведение учебной практики (направления подготовки бакалавриата «Физика», «Прикладные математика и физика», «Химия, физика и механика материалов») : метод. рек. : [Электрон. ресурс]. – Ижевск : Удмуртский университет, 2023. – 23 с.

Методические рекомендации, предназначенные для студентов направлений подготовки бакалавров «Физика», «Прикладные математика и физика», «Химия, физика и механика материалов», включают материалы, способствующие успешному прохождению студентами всех этапов учебной практики – от выбора темы исследования, планирования и проведения экспериментов, до участия в итоговой конференции.

УДК 53.043378(075.8)  
ББК 22.3р30

© И.В. Милютин, 2023  
© ФГБОУ ВО «Удмуртский  
государственный университет», 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель и задачи учебной практики .....	4
2. Этапы прохождения учебной практики .....	5
2.1. Выбор темы исследования .....	5
2.2. Проработка модели процесса (явления) .....	7
2.3. Формулировка целей и задач исследования.....	9
2.4. Планирование экспериментов и их проведение .....	9
2.5. Представление результатов экспериментов, их обработка и анализ.....	11
2.6. Подготовка отчета по практике .....	18
2.7. Подготовка презентации. Итоговая конференция .....	19
Рекомендуемая литература.....	21
Приложение .....	22
Построение прямой методом парных точек .....	22

## 1. Цель и задачи учебной практики

Учебная практика для студентов направлений подготовки бакалавриата «Физика», «Прикладные математика и физика», «Химия, физика и механика материалов» проводится на первом и втором курсах в течение двух недель, следующих после завершения летней сессии.

Цель практики – знакомство студентов с базовыми элементами научной деятельности.

В ходе практики студентам предстоит решить следующие задачи:

- научиться планировать и проводить экспериментальные исследования;
- научиться обрабатывать и анализировать полученные экспериментальные результаты;
- составить отчет о проделанной работе и выступить с докладом на итоговой конференции.

Выставляемая студенту по итогам практики оценка учитывает его работу на всех этапах практики, кроме того, в ходе итоговой конференции студент должен продемонстрировать высокую степень освоения докладываемого материала, умение отвечать на вопросы, участвовать самому в обсуждении других докладов.

## **2. Этапы прохождения учебной практики**

Прохождение студентами учебной практики можно разбить на следующие этапы:

- выбор темы исследования;
- проработка модели изучаемого процесса (явления);
- формулировка целей и задач исследования;
- планирование экспериментов и их проведение;
- представление результатов экспериментов, их обработка и анализ;
- составление отчета по практике;
- подготовка презентации и проведение итоговой конференции.

### **2.1. Выбор темы исследования**

Назначенный руководителем практики преподаватель заблаговременно (за два–три месяца до начала практики) предлагает студентам на выбор возможные темы исследований.

Исследование может быть проведено одним студентом или парой. Студенты могут выбрать тему исследования не из предложенного списка, но, в этом случае, обязательно согласовывают свой выбор с руководителем.

Важный момент – выбираемые темы не предполагают однозначный результат. Какие закономерности в итоге будут рассмотрены, насколько достоверны полученные результаты, как эти результаты описаны и проанализированы, все это зависит от степени проработки студентом теоретического материала, достоверности разработанной модели процесса(явления), умения студента спланировать, грамотно провести эксперименты, обработать и проанализировать их результаты. Отсюда, в частности, следует, что разные студенты (пары студентов) могут выбрать одинаковые темы.

Возможные темы исследований:

1. Исследовать процесс опорожнения стандартной пластиковой бутылки (зависимости от угла, вязкости, влияние формы бутылки и т. п.).

2. Опытная хозяйка знает, когда нужно солить воду для того, чтобы еда приготовилась как можно быстрее. Изучите скорость закипания воды в зависимости от времени добавления поваренной соли и объясните наблюдаемые различия.

3. Изготовьте камеру-обскуру, продемонстрируйте полученные с ее помощью изображения. Как влияют параметры камеры на свойства изображений?

4. Закон охлаждения Ньютона. Исследуйте зависимость скорости охлаждения сосуда с водой от свойств стенок сосуда (понадобится термометр, лучше два, которым можно измерять температуру в интервале от 0 до 100 градусов Цельсия).

5. Температура воды в сосуде, давно находящемся в комнате, чуть ниже температуры окружающего воздуха. Исследовать, какие параметры влияют на эту разность температур (тоже нужны будут термометры).

**Вариант этого задания.** Досконально разобраться, почему указанный выше факт не используют для определения влажности воздуха.

6. Флотация. Кусочек шоколада, брошенный в стакан с минеральной водой, будет периодически всплывать. Исследовать различные возможные в этом процессе зависимости. Предложить основанные на флотации способы экспресс-определения степени газации воды.

7. Вязкость. Если отрезать дно у пластиковой бутылки и вставить на место пробки тонкий капилляр (например, пустой стержень от шариковой ручки), мы получим чувствительный прибор для изучения зависимости вязкости жидкости от различных параметров. Время вытекания жидкости пропорционально

вязкости, выливая одинаковые объемы различных жидкостей, можно получить различные зависимости.

8. Исследуйте ангармонизм колебаний математического маятника.

9. Дифракция и интерференция света на различных бытовых предметах.

Лазерный диск, ткань. Измерить положение дифракционных максимумов и рассчитать период.

10. Гальваностегия (или гальванопластика). Создание покрытий (изображений) электролитическим методом.

11. Растрескивание. На блюдце налить взвесь крахмала в воде. После высыхания на поверхности образуется сетка из трещин. Измерить размеры ячеек (первичных и вторичных), исследовать зависимость размеров ячеек от различных параметров.

12. Ячейки Бенара. В плоской посуде нагреть смесь парафина и алюминиевой пудры. Наблюдать ячейки Бенара. Измерить размеры ячеек. Исследовать зависимость размеров ячеек от различных факторов.

Ячейки Бенара в чашке какао с молоком.

Соблюдать осторожность!

13. Сконструировать и запустить МГД-генератор. Например, на свече или на соляном растворе.

14. Эффект Мпембы!?! А что тут комментировать.

15. Оцените время релаксации для растворенного в воде воздуха.

## **2.2. Проработка модели процесса (явления)**

Тема исследования задает лишь общее направление работы в ходе практики. Как исследование будет реализовано, влияние каких факторов будет изучено, как именно – зависит от студента, при корректирующем участии руководителя практики, конечно.

Выбрав тему, студент должен разобраться с необходимыми теоретическими основами и с тем, что уже в данном направлении сделано. Не стоит начинать этот разбор с поиска в интернете. Такой поиск эффективен при условии, что проводящий его четко знает, что ему нужно, а, следовательно, способен отделить некомпетентные интернет-источники (таких немало) от заслуживающих доверие. Сначала почитайте учебники и классические, по данной тематике, книги и публикации. Далее можно приступить к поиску в интернете.

Вооружившись теорией и тем, что уже известно по данной тематике, следует проработать для себя модель рассматриваемого процесса (явления), учитывающую действующие силы и (или) факторы. При этом желательно разобраться какие силы (факторы) определяющие, какие второстепенные, как они влияют на направление протекания процесса. Характер влияния может быть как очевидным, так и предположительным. В ходе исследования следует продемонстрировать очевидные зависимости, и проверить те, относительно наличия которых студенты сформулировали свои гипотезы.

Не думайте, что экспериментальная проверка очевидных зависимостей – это просто. Проводя ее придется исключить в ходе эксперимента все остальные факторы, а это отдельная задача для экспериментатора.

Обязательно поделитесь своими соображениями о действующих силах и факторах с научным руководителем, скорее всего, после этого вы узнаете от него много нового об изучаемой теме, особенно, если проигнорировали рекомендацию начать работу с изучения учебников и некритично поработали с интернет-источниками.

Результатом этого этапа работы должна стать обзорная (теоретическая) часть отчета студентов по практике.



### **2.3. Формулировка целей и задач исследования**

Физика процесса (явления) в общих чертах понятна? Можно приступать к формулированию цели (целей) и задач исследования.

Как правило, цель одна, и она представляет собой уточненную и скорректированную тему исследования.

Задачи – то, что необходимо сделать для достижения цели. Задачей может быть создание действующего устройства или экспериментальной установки, воспроизведение эффекта, исследование закономерностей, существование которых можно ожидать из проработанной модели явления.

Если возможных для рассмотрения задач оказалось слишком много, сформулируйте в отчете их все, но для экспериментального рассмотрения оставьте не более 3–4, самых, по-вашему мнению, интересных или значимых.

Обязательно обсудите получившееся с руководителем. Даже если вы все сделали как надо, возможны ограничения на выбор задач, накладываемые доступным оборудованием и ингредиентами.

!!! Рассмотренные этапы прохождения практики носят предварительный и организующий характер, требуют времени на проработку и осмысление и согласования с руководителем практики, поэтому, лучше их реализовать до наступления календарных сроков практики.

### **2.4. Планирование экспериментов и их проведение**

Необходимые для решения спланированных задач оборудование и материалы в наличии. Необходимо провести эксперименты. При их организации помните, что результаты, в идеале, должны быть получены в условиях, когда задействован и варьируется интересующий вас фактор, а влияние остальных фиксировано. Например, внешние параметры и состав системы неизменны,

а меняется температура. В этом случае полученные результаты позволяют делать однозначные выводы.

Важно продемонстрировать достоверность полученных результатов. Это, в частности, означает:

- эксперимент проводится так, что обеспечивается минимальная возможная погрешность;

- на собранной установке проведены контрольные измерения, результат которых очевиден или может быть сопоставлен с уже известными результатами;

- погрешность измерений определена;

- проведен не отдельный эксперимент, а серия (это, как минимум, позволяет отследить промахи).

Результаты проходят предварительную обработку в виде таблиц и/или графиков и, правильно!, обсуждаются с руководителем. В ходе этих обсуждений, в подавляющем числе случаев выясняется, что что-то сделано не так, в ходе экспериментов сработали неучтенные факторы, результат требует уточнения в ходе контрольных измерений, или, что наиболее интересно, результаты демонстрируют неожиданную зависимость, требующую подтверждения. Тогда эксперименты планируются и проводятся заново. Это нормально, это эксперимент.

!!! Даже великие экспериментаторы допускали ошибки. Ошибка Р. Милликена при определении элементарного заряда всем физическим миром исправлялась больше десяти лет. Почему так долго? Никто не верил, что великий Милликен ошибся, и непроизвольно подгоняли свои результаты под результат Милликена, отбрасывая данные, которые воспринимали как промахи.

Если вами получен неожиданный результат, например, противоречащий теории, не спешите его отбрасывать. Попробуйте проанализировать его и понять, в чем причина. Результатом анализа может быть как повышение точности измерений, так и уточнение модели, в рамках которой вы работаете.

## 2.5. Представление результатов экспериментов, их обработка и анализ

Анализ результатов облегчается правильной их обработкой и представлением в удобном виде (таблицы, графики, диаграммы). Несколько слов об этом.

### *Точность записи результатов измерений и правила округлений*

Точность записи (число значащих цифр) отдельных измерений и последующих вычислений при их обработке должна быть согласована с необходимой точностью результата измерения. Здесь в начальной учебной лаборатории рекомендуется придерживаться следующих правил.

1. При числе измерений менее 100 окончательную погрешность результата измерения следует округлять до одной значащей цифры. Например, если расчет погрешности дает 0,347 м/с, то это значение нужно округлить до 0,3 м/с. Есть только одно исключение из этого правила – если первая значащая цифра в погрешности 1, то сохраняют две значащие цифры в погрешности. Пусть, например, некоторый расчет дал погрешность 0,14, округлив это значение до 0,1, мы уменьшим ошибку сразу на 40 %, так что правильнее в этом случае – привести в качестве погрешности величину 0,14.

2. Число цифр в результатах промежуточных расчетов обычно должно быть на одну больше, чем в окончательном результате. Погрешности при промежуточных вычислениях должны быть выражены не более чем тремя значащими цифрами.

3. Когда погрешность в измерении рассчитана, необходимо проанализировать, какие цифры в измеренной величине являются значимыми. Утверждение типа  $L=127,547 \pm 2$  см нелепо. Погрешность 2 означает, что вместо цифры 7 на третьем месте от начала в действительности может быть любая цифра в интервале от 5 до 9, последующие же цифры 5, 4 и 7 приводить вовсе бессмысленно, и они должны быть округлены. Корректная запись результата будет выглядеть так:

$$L=128 \pm 2 \text{ см.}$$

Т. е. округлять результат измерения следует так, чтобы он оканчивался цифрой того же разряда, что и значение погрешности.

4. Если первая (слева направо) из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр меньше 5, то оставшиеся цифры не изменяют. Лишние цифры в целых числах заменяют нулями, а в десятичных дробях отбрасывают. Например, при сохранении четырех значащих цифр число 782 447 должно быть округлено до 782 400; число 283,437 – до 283,4.

5. Если первая из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр равна 5, а за ней не следует никаких цифр или идут нули, то округление производят до ближайшего четного числа, т. е. четную последнюю цифру или нуль оставляют без изменения, нечетную увеличивают на единицу. Например, при сохранении трех значащих цифр число 264,50 округляют до 264; число 645,5 округляют до 646.

6. Если первая из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр больше или равна 5, но за ней следует отличная от нуля цифра, то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу. Например, при сохранении трех значащих цифр число 17,58 округляют до 17,6; число 18598 – до 18600; число 352,512 – до 353.

В настоящее время выработаны некоторые общие правила записи физических констант, результатов измерений и расчетов, ставшие фактическим стандартом (по крайней мере, в физике). Все указанные исходные данные, предполагаемые для дальнейшего использования, записывают только значащими цифрами (в виде десятичных дробей). Запятую ставят сразу после первой отличной от нуля цифры, а число (в составе значащих цифр) умножают на десять в соответствующей степени. Нули, стоящие в начале или конце числа, как правило, не записывают. Например, числа 0,00435 и 234000 записывают в виде  $4,35 \cdot 10^{-3}$  и  $2,34 \cdot 10^5$ . Подобная запись, иногда называемая *стандартной*, упрощает

возможные дальнейшие вычисления, особенно в случае формул, удобных для логарифмирования (т. е. умножение, деление, возведение в степень и т. п.),

Именно в такой стандартной форме в физических справочниках приводят основные физические константы. Например, скорость света в вакууме  $c=2,9979 \cdot 10^8$  м/с, заряд электрона  $e = 1,60219 \cdot 10^{-19}$  Кл и т. д. Подобным же образом с использованием стандартной формы числа можно записать и полный результат измерения, т. е. с учетом ошибки, например,  $(2,3407 \pm 0,0002) \cdot 10^{-3}$  А, естественно, дополнительно указав доверительную вероятность, если здесь ошибка – случайная.

**При составлении и заполнении таблиц следует учитывать следующее:**

1. Если вид таблицы не задан в описании к лабораторной работе, то необходимо до получения допуска самостоятельно спланировать и начертить таблицу на основании информации, данной в описании к лабораторной работе. Для этого нужно определить, какие данные будут заноситься в таблицу и как они должны в ней располагаться, чтобы хватило места и не было пустых строк и столбцов. Таблица должна содержать столбец «примечания».

2. При вычерчивании таблиц необходимо пользоваться простым карандашом, а данные записывать авторучкой. Недопустимо записывать сначала карандашом, а в конце обводить авторучкой.

3. Результат заносится в таблицу сразу после проведения измерения. Допустимо провести пробную серию измерений для проверки работы оборудования или определения диапазона измерений.

4. Таблицы нумеруются, таблица должна иметь название, отражающее суть проведенных измерений. Общий множитель для однотипных результатов указывается один раз, в заголовке соответствующего столбца, там же указываются единицы измерения, как правило, соответствующие системе СИ и записанные кириллицей.

Например:

Таблица 1

**Определение удельного сопротивления меди**

№ Измерения	I, мА	U, мВ	$\rho$ , $10^{-7}\text{Ом}\cdot\text{м}$	Примечания

**При построении графиков** необходимо следовать следующим правилам:

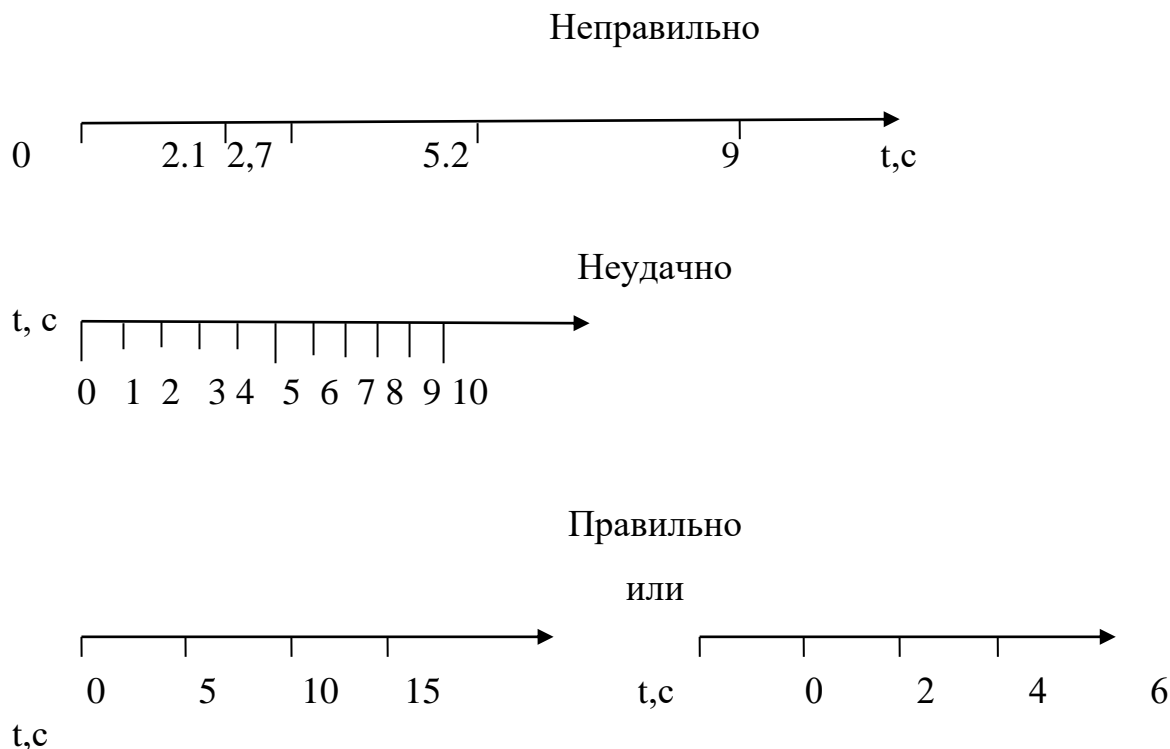
1. График выполняется на миллиметровой бумаге, на которую наносятся координатные оси. Для величины, зависимость от которой рассматривается, всегда используется ось абсцисс.
2. График должен содержать надпись, из которой было бы ясно физическое содержание представленной закономерности.
3. На оси наносится масштаб (а не измеренные величины), неудачный выбор которого – одна из наиболее распространенных ошибок, зачастую обесценивающая график. При выборе масштаба необходимо помнить, что точность построения графика должна быть не ниже точности измерений. Масштаб наносится равноотстоящими друг от друга делениями так, чтобы расстояние между ними составляло 1, 2, 5 единиц (допустимы 2,5 и 4). Число делений с цифрами на каждой оси составляет обычно от 4 до 10.

Если необходимо отложить по осям числа, например: 20000, 30000, 40000 и т. д., то проставляются 2, 3, 4 и т. д., а в конце оси около стрелки переменная умножается на  $10^{-4}$ .

Каждая из осей должна отстоять от края листа примерно на 1,5–2 см.

В конце оси около стрелки проставляется переменная и, через запятую, знак единицы измерения, например:  $m \times 10^{-3}$ , кг.

На рис.1 приведены примеры правильного и неправильного нанесения масштаба.



*Рис. 1. Примеры неправильного, неудачного и правильного нанесения масштаба*

4. Масштаб нужно выбирать так, чтобы кривая заняла большую часть листа как по одной, так и по другой переменной (см. рис. 2), а погрешность измерения соответствовала одному-двум мелким делениям графика. В этом случае экспериментальные точки обозначают окружностями, квадратами, треугольниками (для разных серий измерений, представленных на графике, используют различные обозначения, с соответствующими пояснениями на графике) с центрами в точках, соответствующих экспериментальным данным, а точками обозначают результаты «теоретического» расчета.

Начало отсчета на графике не обязательно начинать с нуля, иногда удобнее выбирать округленное число, отличное от нуля.

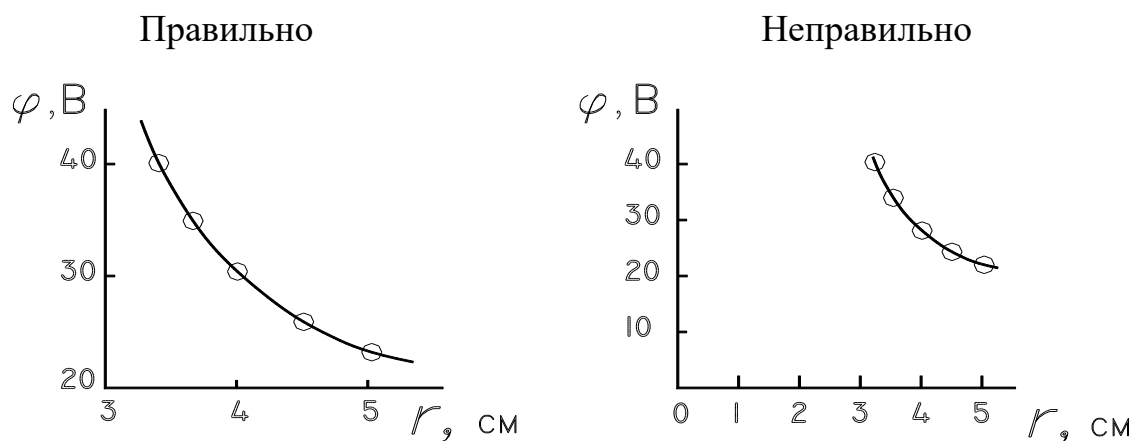


Рис. 2. Примеры правильного и неправильного выбора масштаба и начала отсчета

5. На концах осей указываются откладываемые величины и, через запятую, используемые единицы их измерения. Обычно туда же выносятся и порядок масштаба ( $10 \pm n$ , где  $n$  – целое число).
6. Если не удастся выбрать масштаб графика в соответствии с погрешностями (см. пункт 4), экспериментальные значения величин (точки) отчетливо наносятся вместе с погрешностями - отрезками длиной в доверительный интервал (или систематическую погрешность), расположенными параллельно соответствующей оси (см. рис. 3).

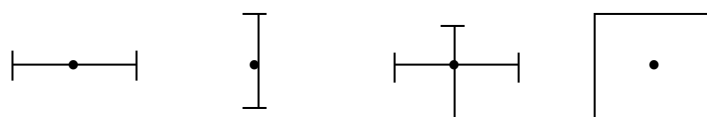
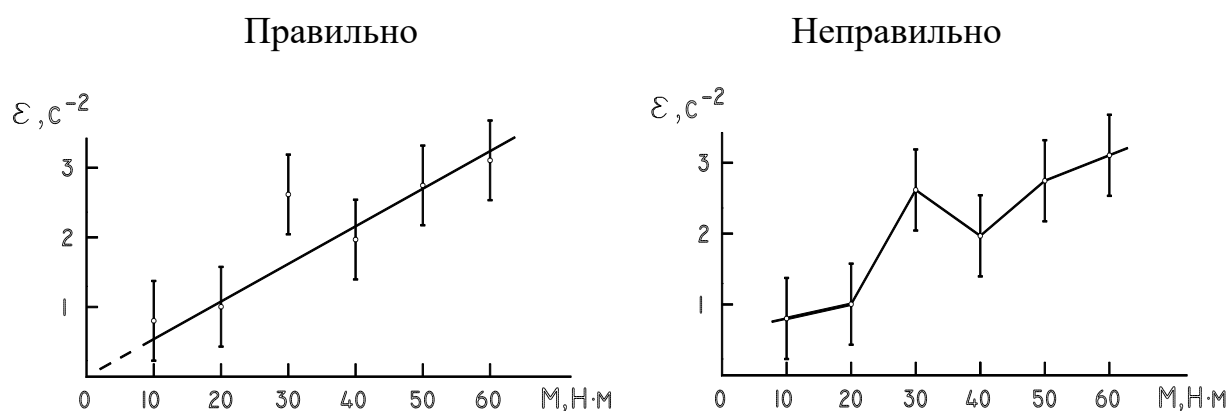


Рис. 3. Варианты нанесения на график экспериментальных точек вместе с доверительными интервалами (или систематическими погрешностями)

7. Экспериментальная кривая проводится плавно через доверительные интервалы всех или большинства экспериментальных точек так, чтобы экспериментальные точки наиболее близко и равномерно располагались с разных сторон кривой (см. рис. 4, на котором речь идет о линейной зависимости). При этом сумма отрезков отклонений точек от кривой в одну сторону должна быть равна сумме отклонений точек от этой же кривой



в другую сторону; по возможности не должно быть очень больших отклонений точек от кривой, лучше иметь два-три небольших отклонения, чем одно большое.



*Рис. 4. Правильное и неправильное представление данных на графике*

Исключение составляет градуировочный график, на котором точки соединяются последовательно прямыми линиями, так как при этом мы считаем значения величин точными, а кривая служит для отыскания промежуточных значений линейной интерполяцией.

8. Если на графике изображается теоретическая кривая, то указывается формула, по которой она рассчитывается.
9. При изображении нескольких кривых на одном поле графика каждая из них нумеруется или выделяется каким-то другим способом. В свободной части поля даются соответствующие пояснения.
10. Если неизвестная величина определяется по графику, то необходимо все построения для нахождения этой величины нанести на график.
11. Если есть основания считать полученную зависимость линейной, получить уравнение этой зависимости и построить соответствующую прямую можно методом парных точек (см. Приложение).

## 2.6. Подготовка отчета по практике

Отчет по практике должен включать теоретический обзор, формулировки целей и задач исследования, описание экспериментальной установки и проведенных экспериментов, результаты экспериментов, их анализ и выводы. Не забудьте аккуратно сделать ссылки на использованные источники и привести их список. Т. е. по структуре отчет близок к структуре научной статьи.

Несколько рекомендаций, учитывающих типичные ошибки при составлении отчета:

– описание проведенных экспериментов должно быть сделано так, чтобы человек, не присутствовавший при их проведении, мог их воспроизвести по этому описанию в полном объеме (в этом случае этот человек сможет заодно составить верное мнение о достоверности этих экспериментов);

– не стоит отдельно излагать результаты и их анализ (это затрудняет осознанное прочтение материала), все, что относится к отдельному эксперименту (отдельной задаче исследования), оформляется отдельным разделом;

– таблицы и графики нумеруются, им присваивается название, дополняемое, в случае необходимости, пояснениями, делающими возможным рассмотрение материала таблицы или графика без использования основного текста;

– полученные численные результаты необходимо сравнивать с табличными или теоретическими значениями; не рекомендуется представлять экспериментальные и табличные значения в разных системах единиц; необходимо обсуждать расхождение в экспериментальных и табличных значениях; для простоты сравнения результаты должны быть представлены в одинаковом виде;

– выводы формулируются в виде отдельных, самодостаточных (не требующих дополнительных разъяснений) утверждений;

– в частности, выводы должны содержать полученные вами ответы на поставленные задачи исследования;

– не забудьте провести проверку отчета на правописание, опечатки и грамматические ошибки раздражают и работают против вас.

## 2.7. Подготовка презентации. Итоговая конференция

На выступление на итоговой конференции по практике отводится до 7 минут. Поверьте – это немало, но, в то же время, заставляет сосредоточиться на главном.

Подобные выступления предполагают научную дискуссию, участие в которой только приветствуется. Не бойтесь задавать вопросы; по содержанию (остались непонятные моменты), по методике экспериментов (возникли сомнения в корректности проведения), по сути сделанных выводов (их обоснование не убеждает). Умение задавать вопросы, их обоснованность, как и умение отвечать на них, оценивается руководителем практики. Да дело даже не в этом – умение участвовать в дискуссии со стороны докладчика показывает степень овладения материалом, а со стороны оппонента – умение быстро включиться в тему.

Чтобы дискуссия состоялась гарантировано, руководитель практики за день–два до конференции говорит, кто с кем обменивается отчетами и презентациями. По полученному материалу студентам предстоит подготовить не менее трех вопросов. Отсюда – отчет и презентация должны быть готовы, с учетом согласования их с руководителем, за день–два до конференции.

Подготовка презентации – тема отдельного методического пособия, поэтому остановимся только на самом основном (необходимом и достаточном):

- считается, что при докладе на один слайд уходит от 0,5 до 1,5 минут;
- слайды нумеруются, заключительный слайд – «Спасибо за внимание!», возможно выражение благодарности помогавшим, рецензировавшим, участвовавшим в обсуждении;
- на слайдах должна быть только ключевая информация, они визуализируют мысли доклада, а не докладчик озвучивает текст слайда;

- рекомендуемый размер шрифта: 24–54 кегль заголовков, 18–36 обычный текст, в любом случае, текст слайда должен читаться без напряжения;
- не рекомендуется использовать более 2–3 типов шрифта и более 2 цветов на слайде, все слайды следует выполнить в одной цветовой гамме, в любом случае – цвета и шрифты не должны отвлекать от содержания;
- цвет шрифта и цвет фона должны контрастировать (например, белый шрифт на черном фоне воспринимается плохо);
- слайды оформляются в едином стиле (одинаковое расположение заголовков, номеров страниц, таблиц, графиков, одинаковые шрифты и их размер в тексте и заголовках, одинаковая цветовая гамма и т. д.);
- если на слайде используются результаты, полученные другими авторами, нужно оформить ссылку;
- структура презентации близка к структуре отчета: титульный слайд; слайд с целями и задачами; описание установки, экспериментов; полученные результаты, представленные в удобной для анализа форме; анализ результатов; слайд с обобщениями и выводами.

## Рекомендуемая литература

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964.
2. Деденко Л.Г., Керженцев В.В. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента; под ред. проф. А.Н.Матвеева. – М.: МГУ, 1977.
3. Зайдель А.Н. Ошибки измерений физических величин. – Л., 1974.
4. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. – М.: Наука, 1970. – 104 с.
5. Краткие сведения по обработке результатов физических измерений: методические указания для студентов физического факультета / составитель Г. П. Яковлев. – Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 2001. – 26 с.
6. Оценка погрешностей при физических измерениях: методическая разработка / составители В.Ю.Волощенко, В.Г.Сапогин. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 31 с.
7. Сквайрс Дж. Практическая физика. – М.: Мир, 1971. – 246 с.
8. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. – М.: Мир, 1985. – 272 с.
9. Фаддеев М.А. Элементарная обработка результатов эксперимента: учебное пособие. – Н. Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2002. – 108 с.
10. Худсон Д. Статистика для физиков. – М.: Мир, 1970.
11. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. – М.: Мир, 1972.

### Построение прямой методом парных точек

Если полученная экспериментальная зависимость линейна, соответствующее уравнение прямой удобней получить (с минимальной потерей точности) не известным вам методом наименьших квадратов, а методом парных точек.

Пусть в ходе измерений получены шесть экспериментальных точек. Для определения углового коэффициента линейной зависимости

$$y=k \cdot x+b$$

пронумеруем экспериментальные точки и разобьем их на пары максимально удаленных точек: 1-4, 2-5, 3-6.

Угловой коэффициент прямой, проходящей через пару 1-4, равен

$$k = \frac{y_4 - y_1}{x_4 - x_1}.$$

Возьмем другую пару точек – 2 и 5, снова построим прямую и определим ее угловой коэффициент. Аналогично определим угловой коэффициент для пары точек 3 и 6. Среднее значение коэффициентов всех пар даст коэффициент искомой прямой.

Погрешность углового коэффициента  $\Delta k$  определяется так же, как и погрешность серии измерений. Пары точек для проведения вспомогательных прямых следует выбирать так, чтобы расстояния между  $x$ -ми координатами этих точек для всех пар были одинаковыми и немного превышали половину всего интервала значений величины  $x$ . При этом точность определения  $k$  будет наибольшей, лишь немного уступающей точности при использовании метода наименьших квадратов.

Для нахождения значения функции в нуле  $b$  нужно учесть, что наилучшая прямая должна проходить через центр тяжести экспериментальных точек,

т. е. через точку с координатами, равными средним значениям  $\bar{X}$  и  $\bar{y}$ , вычисляемым согласно формулам

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_i^N X_i \quad \text{и} \quad \bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_i^N Y_i,$$

следовательно,  $b$  находится из уравнения прямой  $b = \bar{y} - k\bar{x}$ . Оценка погрешности  $b$  делается так, как это принято для косвенных измерений.

*Учебное издание*

Милютин Игорь Владимирович

**Организация и проведение учебной практики  
(направления подготовки бакалавриата  
«Физика», «Прикладные математика и физика»,  
«Химия, физика и механика материалов»)**

Методические рекомендации

*Авторская редакция  
Компьютерная вёрстка: Т.В. Опарина*

Издательский центр «Удмуртский университет»  
426034, г. Ижевск, ул. Ломоносова, 4Б, каб. 021  
Тел. : + 7 (3412) 916-364, E-mail: editorial@udsu.ru