

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Институт физики

Кафедра общей физики

И.Р. Мухамедшин, И.Ф. Гильмутдинов

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЁТОВ  
О ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТАХ ФИЗИЧЕСКОГО  
ПРАКТИКУМА**

*Учебно-методическая разработка*

Казань 2016

**УДК 53.05: 303.824**  
**ББК 22.3:74.202.5**

*Допущено к использованию решением  
Учебно-методического совета  
Института физики К(П)ФУ*

**Рецензент:**

канд. физ.-мат. наук, доц. ***А.И. Скворцов***

**Составители:**

канд. физ.-мат. наук, доц. ***И.Р. Мухамедшин,***  
ассистент ***И.Ф. Гильмутдинов***

Методическая разработка содержит минимально необходимые сведения по оформлению отчётов о работах лабораторного практикума по физике и предназначена для студентов, приступающих к занятиям в лабораториях общего физического практикума. Изложенные в ней правила оформления отчётов по лабораторным работам основываются на обобщении опыта ведения рабочих журналов физиками-экспериментаторами.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

1. Физический практикум как научное исследование.....	3
2. Общие правила ведения лабораторного журнала.....	4
3. Правила оформления отчётов о лабораторных работах.....	6
4. Правила оформления таблиц .....	10
5. Правила оформления графиков .....	11
6. Линеаризация экспериментальных зависимостей .....	14
7. Пример оформления отчёта по работе №111.....	17

## 1. Физический практикум как научное исследование

Физика - экспериментальная наука, так как все физические законы и теории основываются на опытных данных: необходимость объяснить результаты экспериментальных открытий приводит к появлению новых физических теорий, которые затем проверяются в ходе новых экспериментальных исследований.

Занятия в лабораториях физического практикума позволяют студентам получить базовые навыки проведения экспериментальных исследований, поэтому следует относиться к выполнению каждой лабораторной задачи как к небольшой самостоятельной научной работе.

В научном исследовании можно выделить несколько важных этапов:

1. **Постановка проблемы.** Этап заключается в конкретизации проблемы, которую необходимо исследовать. Результатом этапа должны быть четко сформулированные *цели* научного исследования и конкретные *задачи*, последовательное выполнение которых приведёт к достижению цели.

2. **Выдвижение и теоретическое обоснование гипотезы.** На этом этапе важно разработать теоретическое описание исследуемой проблемы. Результат этапа – получение предполагаемых теоретических зависимостей физических величин, которые могут быть проверены экспериментально.

3. **Экспериментальное исследование.** Этот этап включает в себя выбор оптимального метода исследования, планирование эксперимента, создание (сборку) экспериментальной установки, ее отладку, и, наконец, проведение эксперимента. Результат этапа – массивы экспериментальных данных.

4. **Обработка, анализ и осмысление результатов.** Задача этого этапа состоит в «увязке» теоретических соотношений и данных эксперимента. В результате рабочая гипотеза подтверждается, уточняется или опровергается, формулируются выводы.

Одним из итогов научного исследования является отчёт или научная публикация. Научные публикации бывают разного вида – научный отчёт, тезисы, заметка или полноценная статья в журнале. Научная публикация должна

содержать всю необходимую информацию для того, чтобы другие специалисты в этой области могли разобраться и повторить исследование, так как только подтверждение результатов и/или критика результатов независимыми учёными позволяет перевести ваши результаты в ранг «научного знания». При этом необходимо понимать, что по публикации читатели формируют мнение о вас как об учёном.

Важнейшей основой качественной публикации служит лабораторный (рабочий) журнал, который ведет любой физик-экспериментатор. Приводимые ниже правила ведения такого журнала не являются абсолютно жесткими. Их перечисление здесь приводится с целью ознакомления с традициями и требованиями, выработанными научным сообществом. Не соблюдение этих правил зачастую приводит к негативному отношению в научной среде, как к самой работе, так и к её автору.

## **2. Общие правила ведения лабораторного журнала**

Лабораторный журнал это документ, в котором в хронологическом порядке подробно указываются цели и задачи эксперимента, используемая установка и материалы, все условия проведения эксперимента, результаты измерений и т.п. Подробное и аккуратное ведение лабораторного журнала необходимо по следующим причинам:

- Далеко не все результаты экспериментов могут быть объяснены сразу же, поэтому лабораторный журнал должен позволять через любое время вернуться к полученным результатам и полностью восстановить, что делалось во время эксперимента, как и в каких условиях;
- Записи в лабораторном журнале лежат в основе любой научной публикации или отчёта;
- Лабораторный журнал имеет юридическую силу, так как в случае спорных вопросов позволяет исследователю защитить приоритет сделанного им открытия.

- Лекцию любого нобелевского лауреата украшает скан страницы его лабораторного журнала с датой сделанного открытия. ☺

Традиции ведения лабораторного журнала несколько отличаются в различных научных группах. Однако есть некие общие правила, которые соблюдаются большинством исследователей. Все они продиктованы важностью информации, содержащейся в журнале, и стремлением её не потерять.

Лабораторные журналы могут быть персональными или общими. В личном рабочем журнале экспериментатор ведет записи обо всех проводимых им экспериментах. Общий лабораторный журнал принадлежит научной группе или лаборатории и чаще всего «привязан» к конкретной экспериментальной установке – тогда в нем записывается информация о ходе всех работ, проводимых на данной установке.

Традиционно лабораторный журнал представляет собой прочную тетрадь или журнал с пронумерованными страницами. Бывает, что тетрадь дополнительно укрепляют – прошивают ее толстой ниткой. Наличие в журнале пронумерованных страниц позволяет на его первых страницах собирать указатели на ключевые эксперименты. Все данные в журнал записываются ручкой, а не карандашом. Допускается вклеивание на страницы журнала компьютерных распечаток: таблиц, графиков и т.п. Точность и аккуратность – вот основные требования к записям в рабочем журнале. Если позже в журнале обнаружены опечатки или фактические ошибки, то исправления в журнал вносятся ручкой другого цвета. В общем лабораторном журнале обязательным требованием является то, что любая запись или исправление должны быть подписаны автором и указана дата. Достаточно часто встречается правило, что общий журнал категорически запрещается выносить из лаборатории. Заполненные лабораторные журналы хранятся в лаборатории или сдаются в архивы. Хорошим дополнительным правилом является сканирование страниц лабораторных журналов и хранение полученных файлов в нескольких копиях на разных компьютерах или носителях информации.

В принципе возможно ведение лабораторного журнала сразу в электронном виде на компьютере - наверное, кто-то где-то так и делает сейчас или будет делать в будущем. При этом нужно учитывать возможность потери электронных файлов из-за технического или программного сбоя и сразу использовать системы создания резервных копий или использовать облачные хранилища данных. Чтобы журнал имел юридическую силу, каждая запись в нем должна содержать дату и время создания, электронную подпись автора, записи должны быть защищены от свободного редактирования. Так что на сегодняшний день все же наиболее распространено ведение рукописных лабораторных журналов.

### **3. Правила оформления отчётов о лабораторных работах**

Ведение лабораторного журнала это необходимый навык для каждого физика-экспериментатора. Выполнение работ физического практикума позволяет отрабатывать все этапы научного исследования, включая и ведение лабораторного журнала в виде оформления отчёта о лабораторной работе.

Основной критерий, которому должен соответствовать отчёт о работе физического практикума, такой же, как и для лабораторного журнала: отчёт должен позволить полностью восстановить, что делалось во время выполнения работы, для чего, как и в каких условиях, какие результаты получены. Кроме того, отчёт, как и любая научная публикация, должен отражать все этапы научного исследования. По своей структуре отчёт лишь немного шире лабораторного журнала. Приведем рекомендуемую структуру отчёта, при этом выделим жирным шрифтом пункты, которые должны быть и в лабораторном журнале:

Введение: *(что и с какой целью делалось)*

- **Дата и время выполнения эксперимента;**
- Название работы;
- **Цель работы**, её актуальность, решаемые задачи;

Основная часть: *(как делалось)*

- Краткое теоретическое обоснование методики измерений;
- **Описание экспериментальной установки и исследуемых объектов;**
- **Описание хода выполнения работы;**
- **Результаты измерений;**
- **Математическая обработка и анализ результатов;**

Заключение: (что получилось)

- **Вывод(ы).**

Поясним некоторые элементы этой структуры, выделяя жирным шрифтом ключевые понятия.

**Название работы**, содержащееся в методических рекомендациях к её выполнению, изменено быть не может. Однако **цель работы** должна быть чётко понятна самому студенту, поэтому необходимо попытаться самому ее сформулировать, внимательно ознакомившись со всеми заданиями и упражнениями работы. При этом важно отдавать себе отчет, почему и зачем выбирается эта цель – определить её **актуальность**. У работы могут быть и несколько целей. Достижение цели осуществляется путём решения конкретных задач, поэтому важно обратить внимание, что последующая **формулировка задач** помогает выстроить последовательность действий и конкретизировать их.

**Краткое теоретическое обоснование** методики измерений должно содержать тот минимальный набор определений, законов и формул, который предположительно позволит увязать полученные результаты эксперимента с имеющимися на сегодняшний день физическими представлениями. Эксперимент – это не случайное наблюдение. Он ставится целенаправленно, от него ждут конкретных результатов, а эти ожидания как раз и основываются на теоретическом осмыслении исследуемых явлений. Важно так же иметь эти формулы под руками и на этапе анализа результатов. Так как лабораторный журнал ведется длительное время, то теоретическое обоснование не обязательно приводить к каждому эксперименту.

**Описание экспериментальной установки** не должно сводиться к художественному рисунку или фотографии установки, например, взятому из методических описаний практикума – там они сделаны для того, чтобы легче было найти соответствующее оборудование в лаборатории и понять, как выглядят те или иные узлы установки. **Описание экспериментальной установки** должно отражать физические принципы работы установки. В зависимости от изучаемого раздела физики, здесь необходимо привести максимально упрощенную механическую, электрическую или оптическую схему установки, с помощью которой можно понять идею эксперимента. На схеме должны быть указаны все необходимые элементы установки. Хорошо при этом, для удобства читателя, отразить в отчёте их назначение. Грамотно оформленная схема позволяет существенно уменьшить количество текста в отчёте.

Принципиально важно при описании установки указывать параметры используемых приборов и узлов экспериментальной установки (точность, пределы измерения, тип измерительных приборов, материалы из которых изготовлены элементы, их примерные размеры и т.д.).

Отдельно следует остановиться на описании объектов исследования. Этой информации в методических описаниях, как правило, нет вообще. Здесь хорошо привести фотографии и/или подробное текстовое описание видимых их свойств. Например: *«Для исследования предложено твёрдое блестящее тело сероватого оттенка, формы близкой к цилиндрической. На боковой поверхности заметны кольцевые канавки, края оснований имеют вмятины».*

**Описание хода выполнения работы** должно отражать реальный ход эксперимента и действия экспериментатора, а не быть просто переписыванием (копированием) пунктов методических рекомендаций. Результаты измерений удобнее всего представлять в виде *таблиц и графиков*. Таблицы удобно заполнять сразу по ходу эксперимента, поэтому продумать их вид и подготовить формы требуется заранее. Подробнее об оформлении таблиц и графиков будет рассказано ниже.

**Математическая обработка результатов** должна содержать расчеты согласно методике работы, а также статистическую обработку полученных результатов (т.е. оценка погрешности измерений). Все использованные формулы должны быть приведены в отчёте, при этом все обозначения физических величин должны поясняться и обязательно должны быть указаны их единицы измерений. Также удобно привести все значения использованных констант. В отчёте можно не приводить результаты промежуточных вычислений, если в описании не указано иное.

В ходе **анализа результатов** проводится соотнесение полученных и ожидаемых данных. Например, проверяется квадратичная зависимость от времени координаты падающего тела. Здесь, возможно, потребуются уточнение или изменение первоначальных теоретических представлений. Например, если квадратичная зависимость от времени координаты падающего тела не наблюдалась в эксперименте, нужно выдвинуть и обязательно проверить (!), проделав вычисления, гипотезу о том, почему так случилось. В обсуждаемом примере это может быть и влияние силы Архимеда (шарик с гелием) и наличие трения (при падении ваты) и т.д.

В разделе **“Вывод(ы)”** требуется в соответствии с целью работы в виде нескольких максимально коротких предложений привести итоговые результаты экспериментов и дать их интерпретацию. Примеры выводов:

- По полученной для цилиндра №1 величине плотности материала  $\rho = 8.6 \pm 0.4 \text{ г/см}^3$  (с доверительной вероятностью  $\alpha = 0,95$ ), а так же, цвету, можно предположить, что цилиндр изготовлен из латуни.
- Ускорение свободного падения, измеренное с помощью секундного маятника, составляет  $(9,86 \pm 0,14) \text{ м/с}^2$  (с доверительной вероятностью  $\alpha = 0,95$ ). В пределах погрешности результат согласуется с табличным значением для данной широты  $9,807 \text{ м/с}^2$ .
- Измерена температурная зависимость сопротивления полупроводника от температуры. В пределах погрешности эксперимента зависимость является экспоненциальной:  $R = R_0 \exp(E_d/kT)$ .

Если полученные экспериментальные результаты не согласуются с первоначальными теоретическими представлениями или данными справочников, то необходимо указать в выводах возможные причины расхождения с их обоснованием.

Важно, что отчёт не может быть получен, путем переписывания в тетрадь или копирования в файл методических рекомендаций к выполнению лабораторной работы. Методические описания вводят студента в курс предлагаемых ему заданий, и описывают, как эти задания в принципе можно сделать. Однако выполнение работы каждым студентом уникально, оно проходит в конкретное время, в конкретных физических условиях (время, температура, освещение и т.д.), которые сами по себе могут и не повториться. Именно поэтому к составлению отчёта требуется относиться творчески, уделяя должное внимание объекту исследования, экспериментальной установке, их окружению и собственным действиям. При этом оформлен отчёт может быть как от руки в тетради, так и на компьютере, а затем распечатан.

#### **4. Правила оформления таблиц**

Таблицы позволяют компактно представить данные измерений и расчётов. Грамотно оформленная таблица позволяет существенно уменьшить объем текста в рабочем журнале или отчёте. Общие правила оформления таблиц следующие:

- В научной литературе принято, что каждая таблица должна содержать заголовок или подпись, в котором содержатся название таблицы и расшифровка обозначений физических величин, содержащихся в таблице.
- Каждый столбец или строка таблицы должны иметь название или обозначение соответствующей физической величины и ее единицы измерения. Если величина рассчитывается, расчётную формулу также удобно указать.
- В первом столбце или строке следует записывать величину, играющую роль аргумента (например, порядковый номер измерения, температура, время и т.д.), а в последующих – роль функции (скорость, сопротивление и т.д.).

- Если отчёт рукописный, то таблицы чертятся с помощью линейки и карандаша. При подготовке таблиц можно пользоваться компьютерными программами, однако в этом случае не следует огрехи в оформлении таблиц списывать на компьютерную программу. Грамотное использование электронных таблиц существенно уменьшает трудоёмкость вычислений, а потому позволяет сосредоточиться на осмыслении данных измерений и расчётов.

Пример корректно оформленной таблицы из работы №111:

**Таблица 1. Результаты трех измерений массы  $m_i$  цилиндра, среднее арифметическое значение массы  $\bar{m}$  и отклонения результатов измерения от среднего  $\Delta m_i$ .**

Номер измерения $i$	$m_i$ , г	$\bar{m}$ , г	$\Delta m_i$ , г
1	15,3	15,3	0
2	15,4		0,1
3	15,3		0

Пример неверного оформления той же таблицы:

$m$	$\langle m \rangle$	$\Delta m$
15.3	15.33333	-0.03333
15.4		0.06667
15.3		-0.03333

## 5. Правила оформления графиков

Представление данных экспериментов в виде графиков (рисунков) позволяет увидеть связь между исследуемыми физическими величинами. Независимо от того, строятся графики на миллиметровой бумаге или же с помощью компьютерной программы, при их построении следует придерживаться следующих общепризнанных правил:

- Каждый график должен иметь заголовок или подпись. В них должны быть название графика, расшифровка обозначений физических величин, отложенных по осям, соответствие использованных графических символов экспериментальным наборам данных.
- Как правило, для графиков используют прямоугольную систему

координат. По горизонтальной оси (оси абсцисс) откладывают величину, играющую роль аргумента, а по вертикальной оси (оси ординат) – значение функции, то есть зависимую величину. Около осей необходимо написать название величины (или её обозначение), которая отложена вдоль данной оси, и единицы измерения.

- Данные эксперимента на такой координатной плоскости, так называемые «экспериментальные точки», отражаются в виде графических символов, положение которых соответствует средним значениям величин, определённым в ходе статистической обработки измерений. Экспериментальные точки на координатной плоскости должны быть различимы. Если на одной плоскости показаны несколько наборов данных, то для каждого из них следует использовать символы разного вида (кружочки, квадратики и т.д.), заполнения (сплошные или частично закрашенные) или цвета. На свободном поле плоскости желательно указать соответствие символов и наборов данных.

- Для указания доверительного интервала (погрешности измерений) на графике строят отрезок, параллельный соответствующей оси. Центр отрезка должен соответствовать среднему значению соответствующей величины, а длина отрезка должна равняться удвоенной погрешности. При обозначении на графике погрешности измерений величин отложенных по оси абсцисс и ординат, у каждой точки на координатной плоскости появляется «крест ошибок», по которому можно судить о диапазоне возможных значений величины. Погрешности на графике можно не указывать, если величина ошибки меньше размера экспериментальной точки, но тогда информацию об этом нужно вынести в подпись к графику.

- На осях должны быть нанесены шкалы, числовой масштаб которых желательно выбирать кратным числам 5 или 10 с минимумом знаков после запятой. Чаще всего используются линейные шкалы, но при необходимости можно использовать логарифмическую шкалу – в этом случае по оси единицей измерения выступает значение логарифма (десятичного или, реже, натурального)

измеряемой величины. Шкала не должна обязательно начинаться с нуля – диапазон значений шкалы следует выбирать так, чтобы экспериментальные данные занимали основную площадь графика.

- Для удобства отслеживания зависимостей через экспериментальные точки на графике можно провести плавную кривую – «глазовод». Эта кривая по возможности должна пересекать все кресты ошибок, при этом отклонения от нее экспериментальных точек должны выглядеть случайными, то есть сверху кривой должно быть точек столько, сколько и снизу. Не следует соединять соседние экспериментальные точки на графике отрезками и получать некоторую ломаную линию, ведь даже средние значения измеренных вами величин - это только **оценка** их истинных значений. Если известна теоретическая функция, описывающая данную экспериментальную зависимость, то эту функцию необходимо построить вместо «глазовода» с учетом экспериментальных точек, используя метод наименьших квадратов.

- Если некоторые экспериментальные точки находятся вдали от основной группы (выброс), то, возможно, они были получены в результате некорректных измерений. Эти точки желательно перемерить, чтобы убедиться, что это именно случайность, а не новое физическое явление. Выбросы на границах интервалов измерений могут быть обусловлены предельными, нештатными режимами работы оборудования, поэтому даже если они воспроизведутся после перепроверки, при предварительном анализе их можно не учитывать.

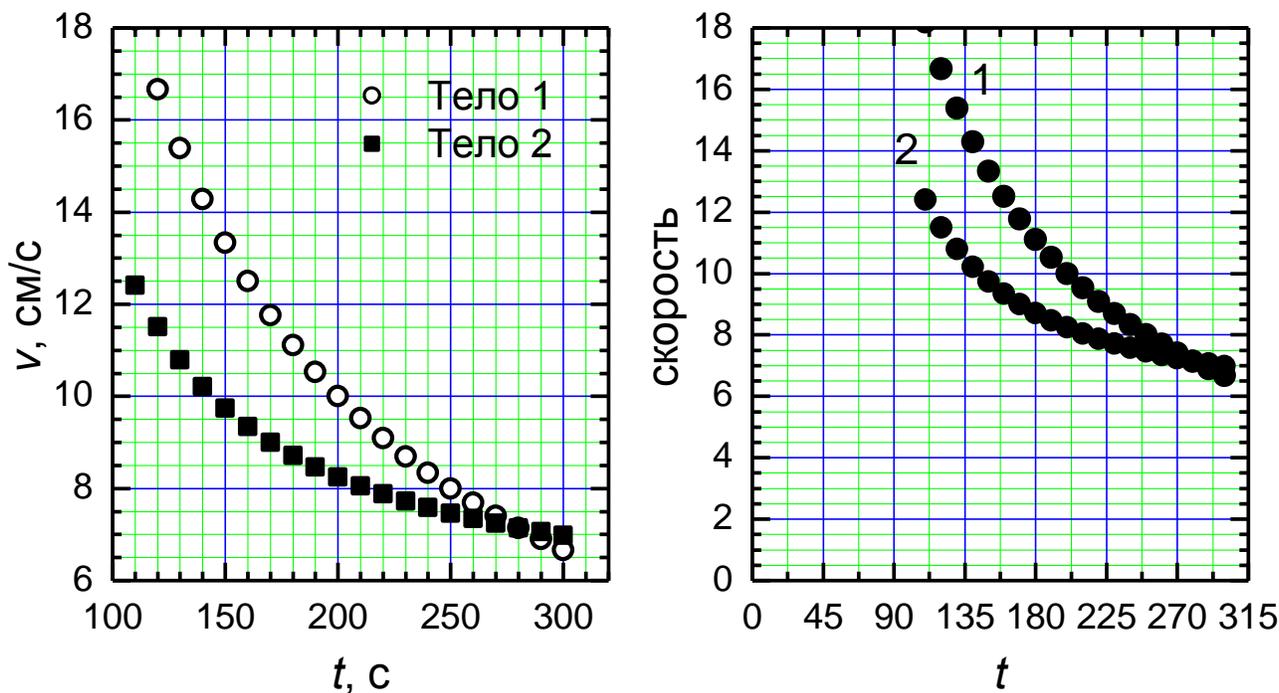
- Для удобства определения координат на координатную плоскость следует нанести масштабную сетку – тонкие линии, которые являются продолжениями отметок шкалы.

Важно отметить ещё раз, что эти правила не догма. Графики это способ донести до читателя то, что вы хотите ему сказать. Поэтому при рисовании графика внимание должно быть сосредоточено на демонстрации закономерности, а не на формальностях: за деревьями нужно увидеть лес.

Для построения графиков на компьютере существует большое количество

компьютерных программ. Из наиболее распространенных это программы для работы с таблицами в составе офисных пакетов – например Microsoft Excel или Open Office Calc. Среди физиков-экспериментаторов более распространено использование специализированных программ, таких как Origin, GnuPlot, Igor Pro, Kaleida Graph и другие. Важно понимать, что, за все огрехи в оформлении графиков отвечает человек, сдающий отчёт, так как компьютерная программа лишь выполняет команды пользователя.

Приведем пример оформления графиков - левый график оформлен согласно вышеперечисленным правилам, а правый с нарушением их.



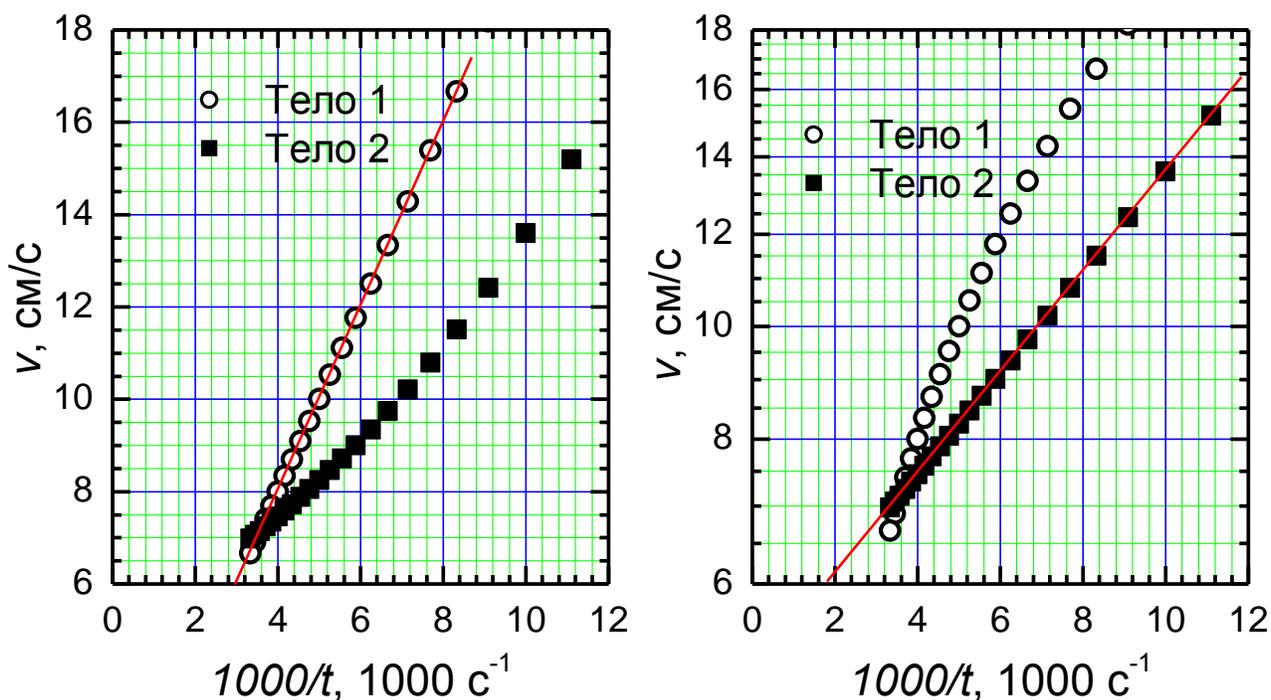
**Рис. 1. Графики изменения модуля скорости  $v$  тела 1 (пустые кружки) и 2 (квадратики) со временем  $t$ .**

### 6. Линеаризация экспериментальных зависимостей

Из предыдущего рисунка очевидно, что оба тела 1 и 2 замедляются. Но каково математическое выражение такой зависимости? Грамотное использование графиков позволяет ответить на подобный вопрос. Проще всего увидеть на графиках линейную зависимость вида  $y=kx+b$ . Поэтому при построении графиков

используется процедура линеаризации. Суть её состоит в том, что для построения точек и графиков выбираются такие координаты, в которых предполагаемые зависимости выглядят линейными.

Например, на следующих рисунках построены те же данные, что и выше, но в других координатах. По оси абсцисс откладывается величина  $1000/t$ , где  $t$  – значение времени в секундах:



На левом графике хорошо видно, что для тела 1 экспериментальные точки хорошо ложатся на прямую линию. Следовательно, этот график доказывает, что для тела 1 зависимость модуля скорости  $v$  от времени  $t$  имеет вид  $v=C_1/t+ C_2$ , где константы  $C_1$  и  $C_2$  могут быть определены из параметров  $k$  и  $b$  прямой линии на графике, проведенной через экспериментальные точки.

На правом графике дополнительно шкала ординат сделана логарифмической – то есть длина отрезка на ней пропорциональна десятичному логарифму отношения величин, отмеченных на концах этого отрезка (на шкале в линейном масштабе длина отрезка пропорциональна разности величин на его концах). В таких координатах экспериментальная зависимость для тела 2 выглядит линейной. Следовательно, для него  $v=C_1 \cdot \exp(C_2/t)$ , где опять же константы  $C_1$  и  $C_2$

могут быть определены из коэффициентов  $k$  и  $b$  линейной зависимости.

## 7. Пример оформления отчёта по работе №111

Дата проведения эксперимента \_\_\_\_\_

Работа №111. Определение плотности твердого тела.

Цель работы: сформулируйте цель сами

### Задачи работы:

- 1) научиться пользоваться весами, штангенциркулем, микрометром;
- 2) по данным измерений массы, высоты и диаметра определить среднюю плотность цилиндра;
- 3) освоить методику расчета ошибок прямых и косвенных измерений;
- 4) рассчитать погрешность определения плотности цилиндра.

### Теоретическое обоснование методики измерений:

Плотностью тела называется \_\_\_\_\_ дополните сами \_\_\_\_\_.

Значит, для её определения можно измерить \_\_\_\_\_ дополните сами \_\_\_\_\_.

### Описание экспериментальной установки и исследуемых объектов:

Объектом исследования является \_\_\_\_\_ заполните сами \_\_\_\_\_.

Для измерения высоты тела используется штангенциркуль с инструментальной погрешностью  $\Delta h_{\text{и}} =$  значение см.

Для измерения массы \_\_\_\_\_ заполните сами \_\_\_\_\_ с  $\Delta m_{\text{и}} =$  значение г.

Для измерения диаметра \_\_\_\_\_ заполните сами \_\_\_\_\_  $\Delta d_{\text{и}} =$  значение см.

Использование двух приборов для измерения расстояний обусловлено дополните сами

### Выполнение работы:

1. Получен образец № \_\_\_\_\_. На вид он представляет собой \_\_\_\_\_ заполните сами \_\_\_\_\_.

2. Измерена масса образца  $m$  на трех разных весах. По формуле:  $\bar{m} =$  формула рассчитано среднее арифметическое значение массы, по формуле:  $\Delta m_i =$  формула отклонения результатов измерения от среднего. Результаты представлены в таблице. Среднеквадратическое отклонение среднеарифметического значения массы  $S_{\bar{m}} =$  формула также представлено в таблице.

Номер измерения $i$	$m_i$ , г	$\bar{m}$ , г	$\Delta m_i$ , г	$S_{\bar{m}}$ , г	$\Delta m$ , г
1					
2					
3					

При расчете результирующей абсолютной погрешности результатов измерения массы  $\Delta m =$  формула использовалась заданное преподавателем значение доверительной вероятности  $\alpha=0,95$  и коэффициент Стьюдента  $t_{0,95,3} =$  значение.

Таким образом, масса цилиндра равна:  $\bar{m} =$  значение  $\pm$  значение г,  $\alpha=0,95$ .

3. Измерена высота цилиндра  $h$  штангенциркулем в четырех точках. Рассчитаны среднее арифметическое значение высоты  $\bar{h} =$  формула и отклонения результатов измерения от среднего  $\Delta h_i =$  формула. Результаты представлены в таблице:

Номер измерения $i$	$h_i$ , см	$\bar{h}$ , см	$\Delta h_i$ , см	$S_{\bar{h}}$ , см	$\Delta h$ , см
1					
2					
3					
4					

Также в таблице представлено среднеквадратическое отклонение среднеарифметического значения высоты  $S_{\bar{h}} =$  формула и абсолютная погрешность результатов измерения высоты  $\Delta h =$  формула (коэффициент Стьюдента  $t_{0,95,4} =$  значение).

Таким образом, высота цилиндра равна:  $\bar{h} =$  значение  $\pm$  значение см,  $\alpha=0,95$ .

4. Измерен диаметр цилиндра  $d$  микрометром на трех разных высотах цилиндра. Рассчитаны среднее арифметическое значение диаметра  $\bar{d} =$  \_\_\_\_\_ и отклонения результатов измерения от среднего  $\Delta d_i =$  \_\_\_\_\_. Результаты представлены в таблице:

Номер измерения $i$	$d_i$ , см	$\bar{d}$ , см	$\Delta d_i$ , см	$S_{\bar{d}}$ , см	$\Delta d$ , см
1					
2					
3					

Также в таблице представлено среднеквадратическое отклонение среднеарифметического значения диаметра  $S_{\bar{d}} =$  формула и абсолютная погрешность результатов измерения диаметра  $\Delta d =$  формула (коэффициент Стьюдента  $t_{0,95,3} =$  значение).

Таким образом, диаметр цилиндра равен:  $\bar{d} =$  значение  $\pm$  значение см,  $\alpha=0,95$ .

5. Вычислены средние значения объема цилиндра  $\bar{V} =$  формула = \_\_\_\_\_, см<sup>3</sup> и плотности материала цилиндра  $\bar{\rho} =$  формула = значение, г/см<sup>3</sup>.

6. Выведена формула для вычисления абсолютной погрешности плотности  $\Delta\rho$  и проведен по ней расчет:

$$\Delta\rho = \underline{\text{формула}} = \underline{\text{значение}}, \text{ г/см}^3$$

7. Полученное значение плотности:  $\rho = (\underline{\text{значение}} \pm \underline{\text{значение}}) \text{ г/см}^3$ ,  $\alpha=0,95$

Относительная погрешность измерения плотности  $E = \underline{\text{формула}} = \underline{\text{значение}}\%$

**Вывод:** Для цилиндра № значение по полученной величине плотности материала можно предположить, что цилиндр изготовлен из название материала.

## 8. Список использованной литературы

1. Гладуш М.Г., Гуденко А.В., Извекова Ю.Н., Кузьмичев С.Д., Максимычев А.В., Попов П.В., Филатов Ю.Н. Модели и концепции физики: механика. Лабораторный практикум. Обработка результатов измерений. – М.: МФТИ, 2011. – 42 с.
2. Яворский В.А. Планирование научного эксперимента и обработка экспериментальных данных: методические указания к лабораторным работам. – М.: МФТИ, 2011. – 44 с.
3. Гильмутдинов А.Х., Нагулин К.Ю. Обработка и представление результатов измерений. Методические рекомендации.-Изд. КГУ.:Казань 1999, 30с.