



**Администрация города Нижнего Новгорода
Департамент образования
муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Лицей № 40»**

603006, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Варварская д. 15 А, тел.: 433-19-49 факс: 433-21-61,
е-mail: 140_nn@mail.52gov.ru <http://lyceum40nn.ru/>

**Методическое объединение учителей физики, основ
физического эксперимента и астрономии**

П.М.Савкин, Р.Н.Шилков, Курашкин А.Б., Смирнов А.А.

ОФЭ 9

Учебное пособие.

Методические рекомендации и сборник лабораторных работ по основам физического эксперимента для
учащихся 9-х классов.

Нижний Новгород

2022

Авторы: П.М.Савкин, Р.Н.Шилков, Курашкин А.Б., Смирнов А.А.

В пособии для учащихся 9-х классов школ с углубленным изучением предмета приведены описания лабораторных работ и методические рекомендации по их выполнению, требования к оформлению рабочего протокола и отчета по лабораторной работе, а также методические рекомендации по обработке результатов экспериментов при проведении лабораторных работ.

Конкретному описанию работ предшествует указание к лабораторной работе или краткое теоретическое введение по рассматриваемому явлению, подробное описание установки, порядок выполнения работы и контрольные вопросы.

Авторы и издательство приносят свои извинения за неточности, ошибки, опечатки и пр., допущенные при наборе и верстке текста

© ЛИЦЕЙ 40, 2022

© Савкин П.М., Шилков Р.Н., Курашкин А.Б., Смирнов А.А. 2022

ВВЕДЕНИЕ

Цикл лабораторных работ по механике для учащихся 9-х классов школ с углубленным изучением предмета является основным в лабораторном практикуме курса общей физики, поэтому методические описания к лабораторным работам по части «Механика» открывает раздел с кратким изложением теории погрешности и математических методов обработки результатов измерений в лаборатории основ физического эксперимента в рамках школьной программы.

Практические навыки проведения прямых измерений физических величин с помощью простых измерительных инструментов – штангенциркуля, микрометра, весов, а также математической обработки результатов измерений учащийся получает при выполнении первой работы по определению плотности тел правильной формы, которая открывает этот цикл работ по механике. Далее следуют методические руководства ко всем лабораторным работам по курсу «Механика».

В первой части пособия изложены методические указания к работам, в которых опытным путём проверяются основные законы механики – законы кинематики материальной точки, динамики поступательного и вращательного движений материальной точки, законы статики и гидростатики, закон сохранения импульса при упругом и неупругом столкновениях тел.

Во второй части пособия приводятся типовые экзаменационные экспериментальные задания из банка открытых материалов для подготовки к экзамену по физике на государственной итоговой аттестации выпускников 9-х классов.

Каждое руководство включает в себя краткое введение, в котором рассматривается теория исследуемого в работе явления, подробное описание лабораторной установки, порядок проведения измерений, обработки и способов представления результатов измерений. Приведён список контрольных вопросов к работе, позволяющих оценить уровень подготовки к выполнению работы.

В приложении к руководству приведены требования к оформлению рабочего протокола и отчета по лабораторной работе.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Базовые требования к учащимся по организации работы, порядку выполнения лабораторных работ, оформлению протоколов и отчетов по предмету Основы Физического Эксперимента	5
Разделы отчета по Лабораторной Работе:	7
ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ.....	9
Лабораторная работа №1 Использование микрометра для измерений.....	16
Лабораторная работа №2 Определение ускорения тела при равноускоренном движении.	18
Лабораторная работа №3 Определение ускорения свободного падения с помощью маятника (1-й способ).	19
Лабораторная работа №5 (цикл работ). Определение ускорения свободного падения с помощью вращающегося диска (2-й способ).	20
Лабораторная работа №6 (цикл работ). Определение начальной скорости снаряда, дальности и высоты подъёма при стрельбе под углом к горизонту.....	22
Лабораторная работа №7 (цикл работ). Определение ускорения свободного падения с ПОМОЩЬЮ ЛИНЕЙКИ – маятника (3-й способ).....	23
Лабораторная работа №8 (цикл работ). Изучение движения тела, брошенного горизонтально.	25
Лабораторная работа №10 Определение массы груза.	27
Лабораторная работа № 11. Измерение жесткости пружины.....	28
Лабораторная работа № 12 Определение коэффициента трения.	29
Лабораторная работа № 13. Выяснение условия равновесия тела с закреплённой осью вращения при действии нескольких сил.....	30
Лабораторная работа № 13 Расчёт ускорения тела при равномерном движении по окружности (проверка второго закона Ньютона при равномерном движении по окружности).....	31
Лабораторная работа № 13 Определение свободного падения с помощью машины Атвуда.....	34
Лабораторная работа № 14. Определение массы тела методом гидростатического взвешивания.....	35
Лабораторная работа № 15 Изучение законов сохранения в механике.....	37
Лабораторная работа № 16. Сравнение изменения потенциальной энергии падающего груза с изменением потенциальной энергии пружины, растянутой при её падении.....	42
Лабораторная работа № 17. Экспериментальная проверка закона сохранения.	44

**БАЗОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К УЧАЩИМСЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ,
ПОРЯДКУ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ, ОФОРМЛЕНИЮ
ПРОТОКОЛОВ И ОТЧЕТОВ ПО ПРЕДМЕТУ
ОСНОВЫ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

0. Каждый учащийся обязан на каждом уроке ОФЭ иметь:

1. Учебник физики.
2. Методические рекомендации по ОФЭ.
3. Тетрадь №1 для оформления допусков, протоколов отчетов или проектов ЛР. *)
4. Тетрадь №2 (с миллиметровой сеткой) для построения графиков к отчету по ЛР. *)
5. Чертёжный и письменный инструмент.

*) Примечание: первый лист в каждой тетради оформляется в виде зачетной таблицы (см. стр. 51):

№ п/п	Дата	Название ЛР	Оценка	Роспись учителя

- I. Допуск к лабораторной работе** выполняется учеником на следующем уроке после выполнения предыдущей ЛР и завершается в режиме домашнего задания в течение следующей за уроком недели.

Ученик проводит подготовительную работу: готовит устно и письменно (в тетради №1) (*компилирует и структурирует*) всю основную информацию о предстоящей работе, используя описания работы, методические рекомендации к ней, *определяет* цели и методы исследования, *строит и описывает* физическую модель исследуемого явления, *повторяет* весь материал по физике, относящийся к работе, *прочитывает* нужные параграфы учебника, дополнительной литературы, *изучает* методические рекомендации, *составляет* развернутые ответы на контрольные вопросы.

Результатом подготовительной работы должен стать составленный *шаблон протокола* (форма выбирается самостоятельно) в тетради №1 с описанной и изображенной в динамике в чертежах физической моделью исследуемого явления, подготовленными описанием хода выполнения работы и таблицей результатов измерений. Шаблон протокола заполняется учащимся на уроке по факту проведения эксперимента.

Допуск к ЛР оценивается учителем, ведущим эксперимент, вместе с рабочим протоколом ЛР в режиме собеседования. По итогам выполнения учащимся экспериментальной части ЛР (в тетради №1) учитель выставляет первую оценку за данную ЛР. Учитель фиксирует дату и ставит свою роспись. Оценка выставляется в классный журнал и зачетную таблицу (в тетради №1). При необходимости учителем в тетради, непосредственно после выполненной работы, фиксируются замечания, как по выполнению эксперимента, так и по содержательной части допуска и протокола ЛР.

II. Протокол по результатам проведения эксперимента выполняется учеником самостоятельно на уроке в процессе выполнения экспериментальной части ЛР на основании требований, предъявленных учителем, ведущим эксперимент.

Результаты всех прямых измерений записываются *только ручкой*. Не допускается исправление или уничтожение результатов прямых измерений. Не допускается переписывание рабочего протокола «начисто». Разрешено зачеркивание одной линией неверных или подозрительных результатов прямых измерений. При этом рядом записываются другие, достоверные результаты.

III. Отчёт по лабораторной работе выполняется учеником самостоятельно в режиме домашнего задания к следующему, после выполнения экспериментальной части, уроку.

Отчёт по лабораторной работе должен быть *полным* (структурированным) и *понятным*.

Полнота подразумевает внесение в отчёт в верном порядке обозначенных необходимых разделов.

Понятность означает логичное изложение материала, базирующееся непосредственно на знании курса физики. Для читателя отчёта любая информация сверх содержащейся в учебнике или материалах уроков физики должна становиться ясной из самого текста отчёта. Если автор применил необщепринятые символы или формулы, он даёт им полное логическое пояснение. В редких случаях, когда выстроить логику не удаётся, он приводит ссылку на другого автора, опубликовавшего соответствующие факты в литературе. Методические указания к работе имеют цель помочь ученику в приложении знаний по физике к содержанию конкретного исследования и никогда не должны рассматриваться как источник непровержимых фактов или формул.

РАЗДЕЛЫ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ:

1.

- Порядковый номер ЛР.
- Дата проведения экспериментальной части и Дата выполнения отчета. (Даты проставляются на полях тетради одна под другой).
- Название (заглавие) работы.
- Цели исследования.

2. Приборы, материалы, оборудование, используемое при проведении эксперимента.

(Эту часть необходимо выполнить в виде таблицы с указанием значений инструментальных погрешностей, цены деления шкалы, максимального значения шкалы прибора, принимаемых значений абсолютных погрешностей прямых измерений величин).

3. Физическое обоснование эксперимента. Описание физической модели явления.

По своей сути обоснование должно быть решением задачи, в которой исходными данными должны являться прямые измерения, а ответом поставленная цель работы. Здесь должны быть представлены все упрощения (пренебрежения), допущенные при построении физической модели явления, схематичный рисунок, сформулированы опорные физические законы, определения, приведены выводы итоговых формул для расчета искомых величин в общем виде, *выполнены необходимые чертежи*, поясняющие суть явления).

4. Описание экспериментальной установки.

(Эта часть должна содержать перечень конкретных характеристик и особенностей экспериментальной установки, используемой учащимся при проведении эксперимента, а так же должен быть представлен чертеж модели эксперимента).

5. Таблица результатов прямых и косвенных измерений.

6. Расчет искомых величин и результатов косвенных измерений.

7. Оценка погрешностей косвенных измерений.

(Эта часть должна содержать как аналитическое исследование ошибок измерений, так и графическое представление результатов косвенных измерений с учетом их погрешностей).

8. Графическое представление результатов исследования выполняется в тетради №2.

(Эта часть должна быть представлена для таких работ, целью которых является, в том числе, исследование зависимостей физических величин друг от друга, проверка законов и закономерностей).

9. Выводы.

Особое внимание уделяется составлению таблиц. В заголовках столбцов должны быть записаны символы физических величин и, через запятую, применённые единицы их измерения (в стандартных сокращениях). В теле таблицы стоят только цифры.

Графики должны содержать заштрихованные интервалы возможных значений измеренных величин на координатной оси для независимого измерения или на плоскости для построения экспериментальной зависимости.

Теоретические значения или зависимости (если они нужны для сравнения) показываются на том же рисунке.

Вывод – это полностью авторский раздел отчёта. В нём могут быть мысли о смысле, о ходе эксперимента, о качестве установки или её частей, об идеях и оценках, связанных с работой и любые другие соображения автора.

Отчёт выполняется на русском языке единым текстом, без выделения разделов, с включением таблиц, формул, и графиков в смысловое содержание текста. Имеет большое значение аккуратность и грамотность этой работы.

Время, отведённое на подготовку отчёта – одна неделя с момента выполнения работы.

IV. Проект лабораторной работы

– это письменный документ, содержащий пункты 1 – 5 требований к отчёту, плюс ожидаемые результаты или зависимости и выявление всех факторов, являющихся источником погрешности измерений. Выполняется вместо отчёта в случаях, когда эксперимент не удалось провести или довести до конца по уважительной причине. Принципы и правила составления проекта – те же, что и отчёта.

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Основные виды погрешностей

Измерением называется результат сопоставления измеряемой физической величины с известной однородной величиной, принятой за единицу.

Все измерения можно разделить на два типа: прямые и косвенные.

Прямым называется измерение, при котором измеряемая величина сравнивается с мерой непосредственно или при помощи измерительных приборов, градуированных в тех единицах, в которых измеряется данная величина. Например, прямыми являются измерения массы при помощи весов, длины при помощи линейки и т.д.

Косвенным называется измерение, при котором значение величины находят вычислением на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, определяемыми в результате прямых измерений.

Общей чертой любых измерений является то, что ни одно из них нельзя выполнить абсолютно точно. Это означает, что результат любого измерения всегда отличается от истинного значения измеряемой величины.

Поэтому **задачами любого измерения** являются:

- установление приближенного значения измеряемой величины;
- оценка границ возможных погрешностей.

Только оценив погрешности результатов измерений, можно установить, насколько достоверны сами измерения.

Поскольку истинное значение измеряемой величины неизвестно, на практике можно лишь приближенно оценить погрешность измерения, т.е. определить **диапазон численных значений величины**, внутри которого (с большой долей вероятности, содержится истинное значение измеряемой величины).

Основными видами погрешностей (см. Приложение №2) являются:

Случайная погрешность ψ - составляющая погрешности измерения, связанная с факторами, которые изменяются при повторных измерениях хаотически, носят нерегулярный характер и их трудно предвидеть.

Систематическая погрешность ξ - составляющая погрешности измерения, остающаяся неизменной или закономерно меняющейся при повторных

измерениях, т.е. погрешности, определяемые факторами либо постоянно искажающими результат измерения, либо постоянно изменяющимися в процессе измерения. Пример: отставание секундомера или использование неправильно отрегулированных весов.

Суммарную погрешность Δ можно представить как: $\Delta = \psi + \xi$

Во всех лабораторных работах школьного курса мы не учитываем случайные погрешности ψ , ввиду сложности математического аппарата, используемого для их расчета. Тогда $\Delta \approx \xi$

Расчет систематической погрешности ξ

рассмотрим на примере прямого измерения длины бруска A с помощью сантиметровой линейки,:

Пусть A – измеряемая физическая величина – истинная длина бруска.

$A_{\text{изм}}$ – приближенное/измеренное значение измеряемой физической величины, полученное путем прямых или косвенных измерений.

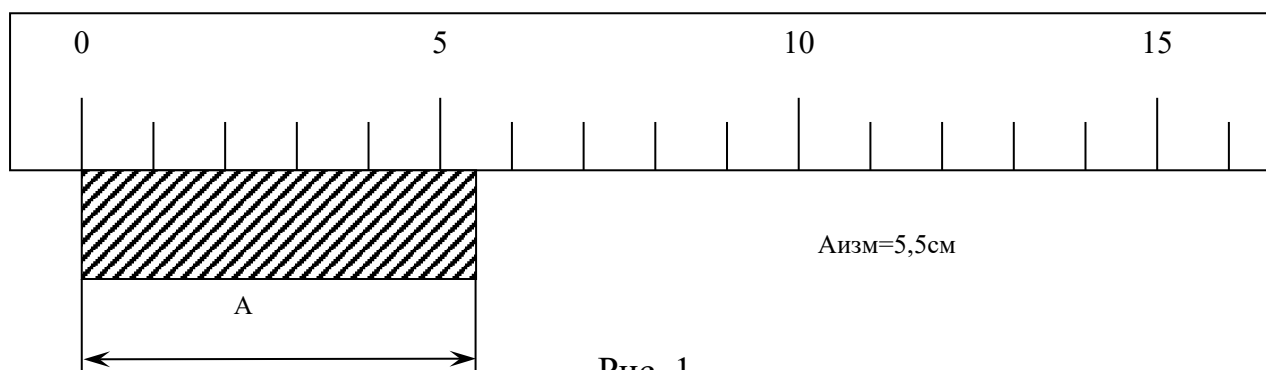


Рис. 1.

ΔA – абсолютная погрешность измерения физической величины является оценкой абсолютной ошибки измерения. Она выражается в тех же единицах измерения, что и сама физическая величина.

Абсолютная погрешность прямых измерений (при отсутствии других погрешностей) складывается из абсолютных погрешностей отсчета и инструментальной погрешности: $\Delta A = \Delta_{\text{и}} A + \Delta_0 A$

$\Delta_{\text{и}} A$ – максимальная абсолютная инструментальная погрешность измерения (погрешность средств измерения). Может быть определена по таблице 1, или по классу точности измерительного прибора.

$\Delta_0 A$ – абсолютная погрешность отсчета, равная в большинстве случаев половине цены деления измерительного инструмента (линейки) или прибора

(секундомера, вольтметра и т.д.). Эта погрешность обусловлена недостаточно точным считыванием показаний средств измерения.

- относительная погрешность измерения физической величины, безразмерная величина, определяемая соотношениями:

$$\delta A = \frac{\Delta A}{A_{\text{изм}}} \times 100\% \text{ - в процентах от целого, или } \delta A = \frac{\Delta A}{A_{\text{изм}}} \text{ - в долях от целого.}$$

№	Средства измерения	Предел измерения	Цена деления	Инструментальная погрешность
1	Линейка ученическая	До 50 см	1 мм	±1 мм
2	Линейка чертёжная	До 50 см	1 мм	±0,2 мм
3	Линейка инструментальная	20 см	1 мм	±0,1 мм
4	Линейка демонстрационная	100 см	1 см	±0,5 см
5	Лента измерительная	150 см	0,5 см	±0,5 см
6	Мензурка	До 250 мл	2 мл	±0,1 мл
7	Весы учебные	200 г		±0,1 г
8	Комплект гирь Г-4-211.10		100 г 50 г 20 г 10 г 5 г 2 г 1 г 500 мг, 250 мг, 100 мг	±0,04 г ±0,03 г ±0,02 г ±0,012 г ±0,008 г ±0,006 г ±0,004 г ±2%
9	Гири лабораторные		100 г	±2 г
10	Штангенциркуль школьный	150 мм	0,1 мм	±0,05 мм
11	Микрометр	25 мм	0,01 мм	±0,004 мм
12	Динамометр учебный	4 Н	0,1 Н	±0,05 Н
13	Секундомер электронный KARSER	24 часа	0,01 с	±0,01 с (0,2 с с учётом субъективной погрешности).
14	Барометр-анероид	780 мм.рт.ст.	1 мм.рт.ст.	±3 мм.рт.ст.
15	Термометр лабораторный	0-100° С	1° С	±1° С
16	Манометр открытый демонстрационный	40 см	1 см	±0,2 см

Определение максимальной абсолютной инструментальной погрешности по классу точности измерительного прибора.

γ – класс точности измерительного прибора. Он показывает, сколько процентов составляет абсолютная инструментальная погрешность прибора $\Delta_{\text{и}}A$ от всей действующей шкалы прибора A_{max} :

$$\gamma = \frac{\Delta_{\text{и}}A}{A_{\text{max}}} \times 100(\%)$$

Существуют следующие классы точности стрелочных электроизмерительных приборов: **0,1 0,2 0,5 1,5 2,5 4,0**

(при указании класса точности знак ”%” не пишется).

Максимальная “абсолютная” инструментальная погрешность измерения физической величины электроизмерительным прибором определяется по формуле :

$$\Delta_{\text{и}}A = \frac{\gamma \cdot A_{\text{max}}}{100}$$

2. Методика определения абсолютных и относительных погрешностей.

Абсолютная погрешность ΔA прямых измерений (при отсутствии других погрешностей) складывается из абсолютных погрешностей отсчета и инструментальной погрешности: $\Delta A = \Delta_{\text{и}}A + \Delta_{\text{о}}A$

Абсолютная погрешность измерения обычно округляется до одной (редко двух) значащей цифры после запятой ($\Delta A = 0,17 \approx 0,2$). Приближенное значение физической величины округляют так, чтобы его последняя цифра оказалась в том же разряде, что и цифра погрешности ($A_{\text{изм}} = 10,332 \approx 10,3$).

Относительная погрешность δA прямых измерений рассчитывается по формуле-определению:

$$\delta A = \frac{\Delta A}{A_{\text{изм}}} \times 100\% \text{ - в процентах от целого, или } \delta A = \frac{\Delta A}{A_{\text{изм}}} \text{ - в долях от целого.}$$

Абсолютная погрешность косвенных измерений определяется по формуле:

$$\Delta A = A_{\text{изм}} \cdot \delta A,$$

где δA – относительная погрешность в долях от целого, выражается десятичной дробью.

Относительная погрешность δA косвенных измерений определяется в зависимости от формулы, по которой рассчитывается физическая величина A . (некоторые формулы расчета δA приведены в таблице 2.)

Формулы для расчета относительной погрешности косвенных измерений

Таблица 2.

Формула, по которой рассчитывается физическая величина A	Формула для расчета относительной погрешности δA (в долях от целого)
$A = B \cdot C \cdot D$	$\delta A = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta D}{D}$
$A = \frac{B}{C \cdot D}$	$\delta A = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta D}{D}$
$A = B \pm C$	$\delta A = \frac{\Delta B + \Delta C}{B \pm C}$
$A = B^n$	$\delta A = n \frac{\Delta B}{B}$
$A = B \sqrt{\frac{C}{D}}$	$\delta A = \frac{\Delta B}{B} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta C}{C} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta D}{D}$

Результат измерения можно считать «хорошим», если относительная погрешность δA косвенного измерения в процентах от целого составляет не более 10%.

В случае, если в результате расчета относительная погрешность δA косвенного измерения в процентах от целого составляет 10% и более, необходимо проанализировать относительные погрешности всех прямых измерений и определить максимальную из них. После чего, при наличии возможности, повторить прямое измерение этой величины, с целью минимизации относительной погрешности измерения этой величины.

Основная задача ученика при проведении измерений – минимизировать относительную погрешность измерений, а при невозможности, предложить методы проведения эксперимента, позволяющие это сделать.

Все **РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ** записываются в виде:

$$A = A_{изм} \pm \Delta A ; \quad \delta A = \dots\%. \text{ или в долях от целого.}$$

И изображаются на числовой оси в виде интервала (рис. 1):

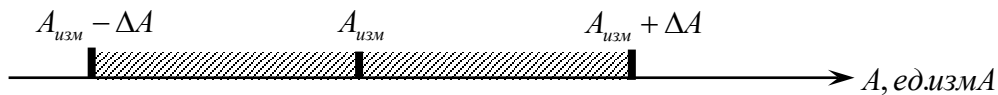


Рис. 1

3. Методика сравнения результатов двух измерений одной физической величины.

1). Записать результаты 1-го и 2-го измерений/расчетов по форме:

$$A_1 = A_{1изм} \pm \Delta A_1; \delta A_1 = \dots\%, \text{ или в долях от целого};$$

$$A_2 = A_{2изм} \pm \Delta A_2; \delta A_2 = \dots\%, \text{ или в долях от целого};$$

2). Записать результаты измерений в виде двойных неравенств:

$$A_{1изм} - \Delta A_1 < A_1 < A_{1изм} + \Delta A_1;$$

$$A_{2изм} - \Delta A_2 < A_2 < A_{2изм} + \Delta A_2;$$

3). Сравнить полученные интервалы значений на числовой оси: если полученные интервалы не перекрываются, то результаты считать не одинаковыми; если перекрываются (в нашем случае это интервал от $A_{2изм} - \Delta A_2$ до $A_{1изм} + \Delta A_1$) одинаковыми (рис. 2):

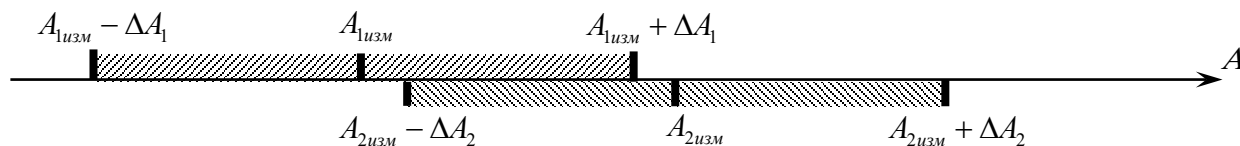


Рис. 2

При записи вывода об одинаковости результатов необходимо указать **относительную погрешность** измерений.

4. Методика построения графика по экспериментальным точкам.

(см. Приложение №5)

1. Все записи в тетради № 3 (с миллиметровой сеткой) должны вестись только простым, острозаточенным карандашом средней жесткости.
2. На миллиметровой бумаге формата А4 построить координатные оси, отступив от края полотна по 5 мм. Длины координатных осей должны быть во всю длину/ширину листа. Ориентация листа выбирается, исходя из размеров диапазонов величин $Y_i(X_i)$.
3. Подписать оси и единицы измерения величин, значения которых будут изображены на графике вдоль данной оси.
4. Выбрать правильный масштаб по каждой оси так, чтобы максимальные значения из всей совокупности измерений оказались вблизи окончания оси.
5. Нанести на поле графика измеряемой величины Y , зависящей от параметра X , экспериментальные точки $Y_i(X_i)$ и изобразить пересечение полученных доверительных интервалов (рис.3).

6. Провести линию графика так, чтобы число экспериментальных точек с обеих сторон линии было приблизительно одинаковым (Рис.3,4). Экспериментальные точки, лежащие далеко от линии графика («выбросы») не учитываются и подлежат проверке.

Y , ед. изм.

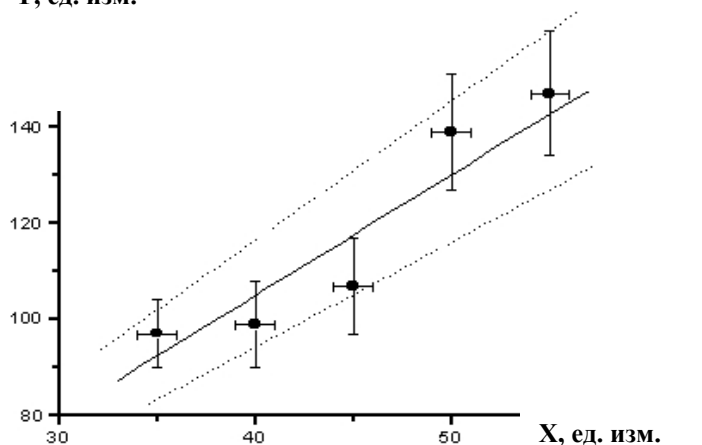


Рис.3.

7. При большом количестве измерений (экспериментальных точек) линия графика должна быть плавной. Для её проведения рекомендуется использовать лекала (рис. 4).

Y_i

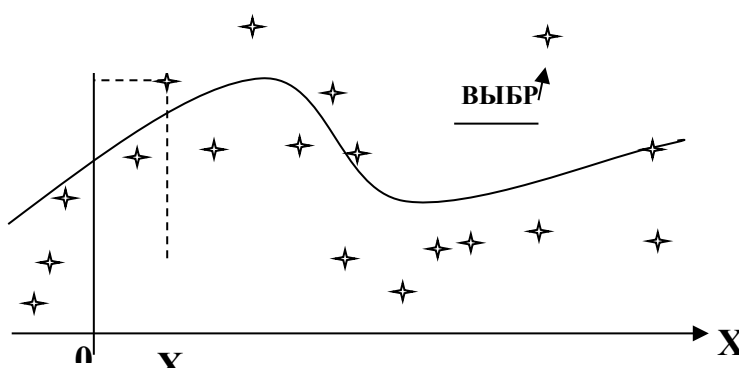


Рис. 4

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

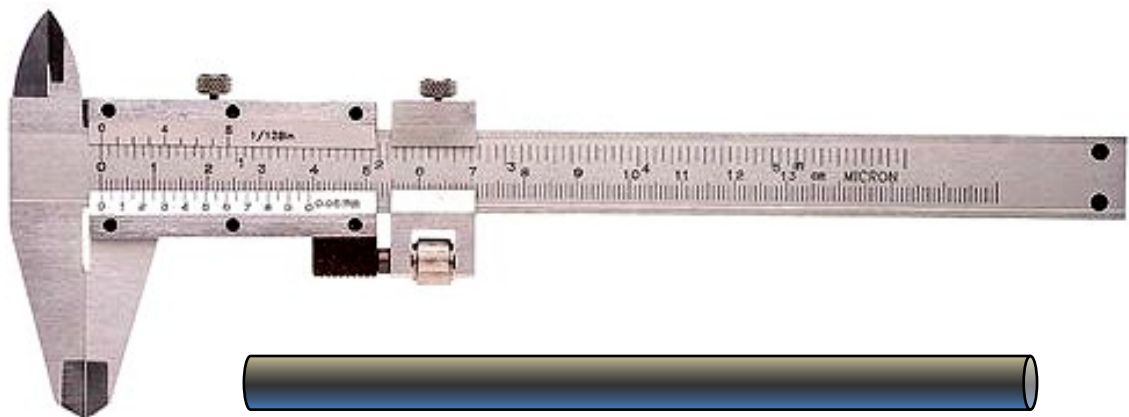
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ.

- ❖ Измерительные приборы штангенциркуль и микрометр.
- ❖ Определение плотности твёрдого тела.

ЦЕЛЬ: получить навыки пользования измерительными инструментами высокой точности.

Используя штангенциркуль и микрометр, определить плотность ρ предложенного образца металла.

ОБОРУДОВАНИЕ: весы; набор гирь; штангенциркуль; микрометр; металлическая деталь.



Порядок выполнения работы.

1. С помощью учителя освоите измерение размеров при помощи штангенциркуля и микрометра.
2. Нарисуйте деталь. Плотность металла, из которого она изготовлена, требуется определить.
3. Измерьте и запишите в таблицу размеры детали, измеренные различными приборами.
4. Вычислите объём детали.
5. Определите при помощи весов массу детали.
6. Вычислите ρ металла, из которого изготовлена деталь.
7. По таблице «Плотность металлов» (см. *Приложение 1*) определите металл, из которого изготовлена деталь.
8. Рассчитайте погрешности вычисленных физических величин.
Сделайте графическое представление результата.
9. Сделайте вывод исходя из результата.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

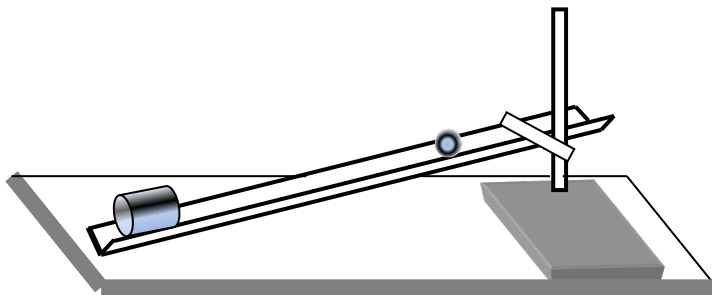
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ ТЕЛА ПРИ РАВНОУСКОРЕННОМ ДВИЖЕНИИ.

Цель: вычислить ускорение шарика, скорость шарика в конце желоба, скатывающегося по наклонному желобу.

Оборудование: секундомер, демонстрационная линейка, штатив, шарик, желоб, металлический цилиндр.

Порядок выполнения работы.

1. Укрепите жёлоб с помощью штатива в наклонном положении под наименьшим углом к горизонту ($h_{\min}$, при котором шарик начинает скатываться. В нижний конец жёлоба положите металлический цилиндр.
2. Пустите шарик с верхнего конца жёлоба. С помощью секундомера измерьте время скатывания шарика до момента его столкновения с цилиндром. Длина пути шарика по жёлобу S должна быть постоянной
3. Повторите опыт ещё четыре раза.
4. Увеличивая h каждый раз на равное расстояние, проведите эксперименты ещё для четырех высот.
5. Вычислите среднее время движения шарика $t_{\text{ср}}$ для каждой высоты.
6. Вычислите скорость V движения шарика в конце желоба для каждой высоты.
7. Вычислите ускорение a для каждой высоты.
8. Постройте графики зависимости скорости V и ускорения a от изменения высоты h .
9. Сделайте выводы на основании полученных результатов и сравнении их с теоретическими зависимостями.



Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

$S =$ _____

$h, \text{ м}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$t_4, \text{ с}$	$t_5, \text{ с}$	$t_{\text{ср}}, \text{ с}$	$V, \text{ м/с}$	$a, \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

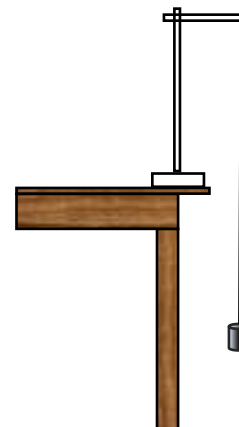
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАЯТНИКА (1-й СПОСОБ).

Цель: определить ускорение свободного падения g , используя зависимость периода колебаний маятника от длины подвеса ℓ .

Оборудование: штатив, груз, нить, линейка демонстрационная, секундомер.

Указания к выполнению работы.

Если груз, подвешенный на нити, колеблется, а его размеры значительно меньше, чем длина нити ℓ , то период колебаний может быть определён из формулы: $T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$, где ℓ длина нити (точнее расстояние от точки подвеса до центра масс груза), g – ускорение свободного падения. Зная период колебаний T и длину подвеса ℓ , на основании этой формулы можно определить величину ускорения свободного падения: $g = \frac{4\pi^2}{T^2} \ell$



Период колебаний можно определить по промежутку времени Δt , за которое маятник совершит определённое количество колебаний N : $T = \frac{\Delta t}{N}$.

Порядок выполнения работы

1. Разместите штатив на столе так, чтобы нить с грузом выступала за край поверхности стола. Груз должен висеть на некотором расстоянии от пола.
2. Для записи результатов измерений и вычислений подготовьте таблицу:

№ опыта	$\ell, м$	N	$\Delta t, с$	$\Delta t_{ср}, с$	$T, с$	$g, м/с^2$

3. Измерьте линейкой длину подвеса ℓ .
4. Отклоните маятник на 5 – 10 см и отпустите его.
5. Замерьте время Δt , за которое он совершит 40 полных колебаний.
6. Повторите опыт 5 раз, вычислите среднее время, за которое маятник совершит 40 колебаний $\Delta t_{ср}$.

7. Вычислите период колебаний $T = \frac{\Delta t_{\text{ср}}}{N}$

8. Вычислите ускорение свободного падения g .

9. Определите относительную ошибку полученного результата ε :

$\varepsilon = \left[\frac{g - g_{\text{изм}}}{g} \right] 100\%$, где $g_{\text{изм}}$ – величина ускорения свободного падения, определённая по результатам проделанной работы, а g – значение, взятое из справочника.

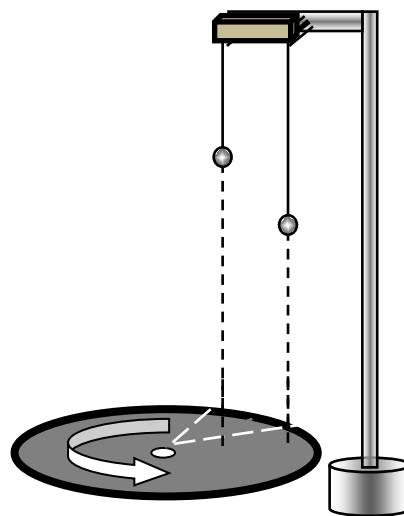
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 (ЦИКЛ РАБОТ). **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ** **ВРАЩАЮЩЕГО ДИСКА (2-й СПОСОБ).**

Приборы и оборудование: электропроигрыватель, линейка инструментальная, транспортер, два шарика равной массы на нити, листки белой и копировальной бумаги, имеющие форму круга, штатив, спички.

Содержание и метод выполнения работы.

Чтобы вычислить ускорение свободного падения g , надо знать две величины – высоту h и время падения тела t : $g = \frac{2h}{t^2}$

Одну из этих величин h можно измерить с достаточной точностью инструментальной линейкой. Но измерение малого промежутка времени, в течение которого происходит падение шариков с небольшой высоты, требует особого приёма. В данной работе для этой цели применён равномерно вращающийся диск проигрывателя, делающий известное число оборотов ν в минуту. Над диском с помощью штатива укрепляют небольшую пластину, через которую нить с подвешенными на её концах двумя одинаковыми шариками, которые должны находиться на разной высоте строго над одним из радиусов диска. Если пережечь нить, то шарики упадут на вращающийся диск в разные моменты времени t_1, t_2 .



Между радиусами, проведёнными через точки падения шариков на диск, образуется некоторый центральный угол φ .

Измерив угол поворота φ в градусах и зная число оборотов диска ν в минуту, можно определить интервал времени между падением шариков $\Delta t = t_1 - t_2$ в минутах $\Delta t = \frac{\varphi}{360\nu}$.

А в секундах этот интервал будет равен: $\Delta t = \frac{\varphi}{6\nu}$. С другой стороны, интервал времени Δt можно определить через время падения шариков t_1 и t_2 :

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}} - \sqrt{\frac{2h_2}{g}}, \text{ следовательно, } \frac{\varphi}{6\nu} = \sqrt{\frac{2h_1}{g}} - \sqrt{\frac{2h_2}{g}}, \text{ откуда}$$

$$g = \frac{(\sqrt{2h_1} - \sqrt{2h_2})^2 * (6\nu)^2}{\varphi^2}$$

Порядок выполнения работы

1. Положите на диск проигрывателя круг из копировальной бумаги чёрным слоем вверх, а на него – круг из белой бумаги. На белом круге начертите предварительно один радиус.
2. Расположите шарики точно над начерченным радиусом, один на высоте $h_1 = 10$ см, а другой на 10 – 15 см выше. Эти числа внесите в таблицу.
3. Включите проигрыватель с частотой вращения $\nu = 78$ об/мин, и через некоторое время пережгите нить, соединяющую шарики. Выключите проигрыватель и снимите с него белый круг. Метки, оставленные шариками на этом круге, соедините тонкими линиями точно с центром круга, угол φ между этими линиями измерьте с помощью транспортира. Результаты измерений занесите в таблицу.
4. Зная частоту ν вращения диска проигрывателя, расстояния h_1 и h_2 от шариков до диска в начальный момент времени и угол φ , вычислите величину ускорения свободного падения тел g .
5. Повторите опыт при других высотах h_1 и h_2 . результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

№ опыта	h_1 , м	h_2 , м	ν , с ⁻¹	φ , °	g , м/с ²

Контрольные вопросы.

- ❖ Почему время падения шариков в этой работе не измеряют карманным секундомером?
- ❖ Как измеряется время падения шарика с помощью вращающегося диска?
- ❖ Изменится ли результат в этой работе, если шарики будут иметь массу в два раза больше прежней?

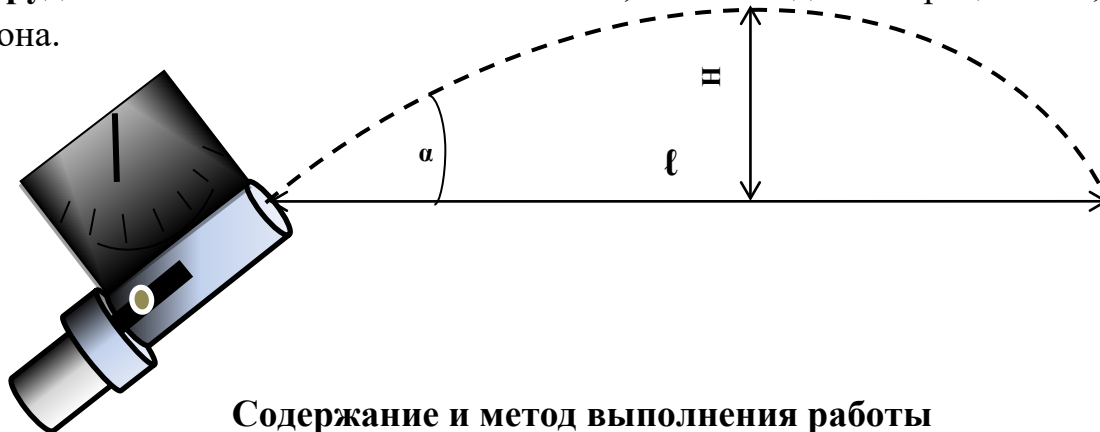
- ❖ Изменится ли погрешность результата измерений времени Δt , если расстояние между шариками $h_1 - h_2$ будет больше, чем указанная в опыте?
- ❖ Каковы основные причины погрешностей измерений, возникающих при выполнении данной лабораторной работы?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 (ЦИКЛ РАБОТ).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ СНАРЯДА, ДАЛЬНОСТИ И ВЫСОТЫ ПОДЪЁМА ПРИ СТРЕЛЬБЕ ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ.

Цель: по результатам эксперимента определить начальную скорость снаряда, дальность полёта и высоту подъёма при стрельбе под углом к горизонту.

Оборудование: баллистический пистолет, линейка демонстрационная, листок поролона.



Содержание и метод выполнения работы

При выполнении этой работы можно использовать известные формулы:

1. Дальность полёта снаряда:
$$\ell = \frac{2v_0^2 \cos \alpha \sin \alpha}{g}$$
2. Максимальная высота поднятия снаряда при стрельбе под углом к горизонту:
$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$
3. Начальная скорость снаряда при стрельбе вертикально вверх:
$$v_0 = \sqrt{2gH}$$

Для вычисления этих величин необходимо знать начальную скорость снаряда v_0 . Её следует определять опытным путём. Для этого надо направить пистолет вертикально вверх и, сделав несколько выстрелов, измерить высоту подъёма снаряда. Затем, зная H и g , вычислить начальную скорость снаряда v_0 .

Порядок выполнения работы

1. Прикрепите баллистический пистолет к краю стола и направьте его по угломеру строго вертикально.
2. Рядом с пистолетом держите вертикально линейку так, чтобы начало отсчёта совпало с центром шарика. Сделайте несколько выстрелов и заметьте по делениям линейки высоту поднятия шарика h .
3. Вычислите скорость вылета шарика.
4. Направьте пистолет вдоль стола под каким – то углом (например, 45^0). Вычислите для выбранного угла дальность полёта ℓ шарика и высоту поднятия шарика h_{max} . На вычисленном расстоянии ℓ положите лист поролона, который будет служить мишенью.
5. Произведите несколько выстрелов. Измерьте линейкой дальность полёта ℓ шарика. Если расчёт был сделан правильно, шарик попадёт в расчётную точку.

Контрольные вопросы

- ❖ Отличается ли максимальная высота полёта шарика при стрельбе под углом 45^0 и при зенитной стрельбе?
- ❖ Под каким углом надо установить пистолет, чтобы максимальная высота подъёма шарика оказалась в четыре раза меньше, чем при зенитной стрельбе?
- ❖ Каким способом можно поразить цель, если дальность стрельбы под углом 30^0 соответствует нахождению цели, но высота холма на пути снаряда немного превышает высоту поднятия снаряда?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 (ЦИКЛ РАБОТ).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЛИНЕЙКИ – МАЯТНИКА (3-й СПОСОБ).

Цель: с помощью предложенного оборудования определить ускорение свободного падения g .

Оборудование: линейка-маятник, шарик, электромагнит, секундомер, штатив.

Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь питания электромагнита, удерживающего шарик в верхнем положении. В этой цепи есть разрыв, который замыкается при отклонении маятника – линейки. Через обмотку электромагнита при замыкании контактов потечёт ток, стальной шарик притянется к сердечнику электромагнита.

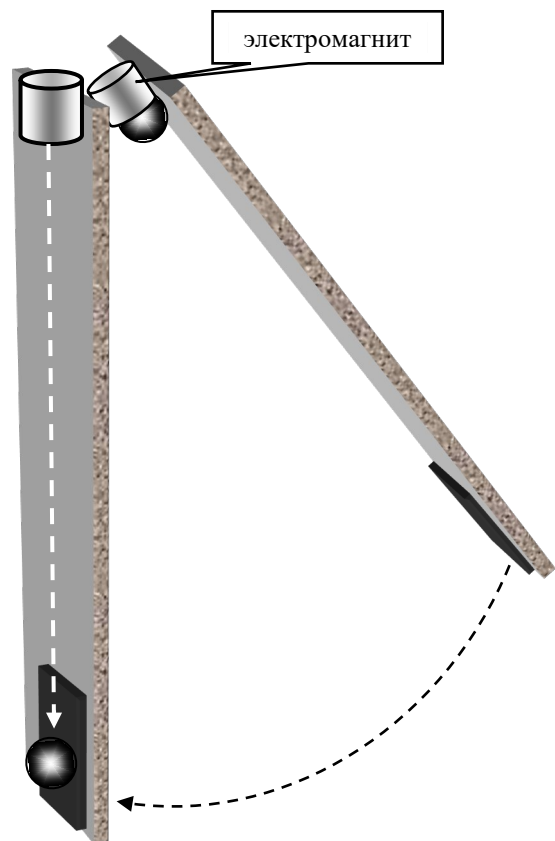
2. Опустив маятник-линейку и тем самым разомкнув цепь электромагнита, наблюдайте за падением шарика. Линейка при этом будет возвращаться к вертикальному положению.

3. Через некоторое время шарик ударится о линейку и оставит след на пластилине, нанесённом на нижний конец линейки-маятника (или на копировальной бумаге). Измерив расстояние от верхнего положения шарика до этого следа на пластилине, найдём расстояние, пройденное шариком. Опыт нужно повторить не менее 5-6 раз и взять для расчетов среднее расстояние.

4. Время падения шарика равняется четверти периода колебания линейки и определяется следующим приёмом.

Отклоняют линейку на такой же угол, как в начале опыта и одновременно с линейкой пускают секундомер. Отсчитав 10-15 полных колебаний, останавливают секундомер.

По этим данным находят период T , а затем время падения шарика $t = \frac{1}{4}T$



Оценка погрешностей

Наибольшие допустимые ошибки при измерении длины $\Delta l = \pm 1$ см, при измерении времени секундомером $\Delta T = \pm 0,1$ с.

При этом секундомером измеряется не прямо время падения шарика, которое одного порядка с указанной погрешностью, а время 10-15 полных колебаний линейки, т.е. время, кратное искомому промежутку. Это нужно учесть при вычислении относительной погрешности.

$$g = \frac{2h}{t^2}$$

$$\epsilon g = \frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta h}{h} + \frac{2\Delta T}{T}$$

Затем вычислите абсолютную погрешность Δg и дайте результат в виде:

$$g = g_{\text{эксп}} \pm \Delta g$$

Подумайте, что ещё в этой работе существенно влияет на результат, кроме погрешностей измерений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8 (ЦИКЛ РАБОТ).

ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА, БРОШЕННОГО ГОРИЗОНТАЛЬНО.

Цель: исследовать зависимость дальности полёта тела, брошенного горизонтально, от высоты, с которой оно начало движение.

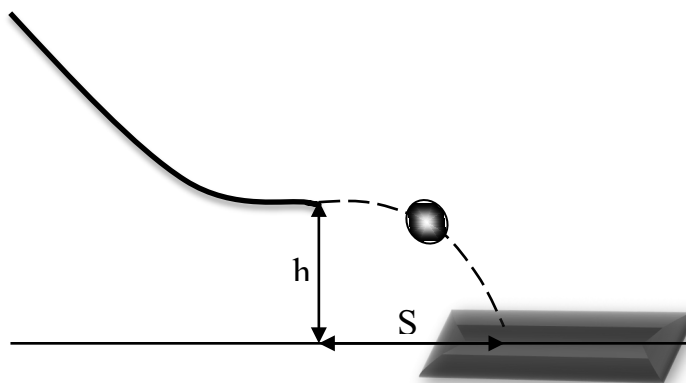
Оборудование: штатив, желоб дугообразный, линейка инструментальная, шарик стальной, лоток – приёмник для падающего шарика.

Указания к выполнению работы.

Если бросить тело горизонтально с некоторой высоты, то его движение можно рассматривать, как движение по инерции по горизонтали и равноускоренное движение по вертикали.

По горизонтали тело движется по инерции в соответствии с первым законом Ньютона (если сопротивлением воздуха пренебречь).

По вертикали на тело действует сила тяжести, которая сообщает ему ускорение g (ускорение свободного падения).



Рассматривая перемещение тела в таких условиях как результат двух независимых движений по горизонтали и вертикали, можно установить зависимость дальности полёта S тела от высоты h , с которой его бросают. Если учесть, что скорость тела v в момент броска направлена горизонтально, и вертикальная составляющая начальной скорости отсутствует, то время падения t можно найти, используя основное уравнение равноускоренного движения:

$$h = \frac{g t^2}{2}, \text{ откуда } t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

За это же время тело успевает пролететь по горизонтали, двигаясь равномерно, расстояние $S = vt$. Подставив в эту формулу уже найденное время полёта,

получаем искомую зависимость дальности полёта тела от высоты и скорости: $S = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ (1).

Из полученной формулы видно, что дальность броска находится в квадратичной зависимости от высоты, с которой бросают тело.

Этот вывод можно подтвердить более строго. Пусть при броске с высоты h_1 дальность полёта составит S_1 , при броске с высоты $h_2 = 4h_1$ дальность полёта составит S_2 .

По формуле (1): $S_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}}$, а $S_2 = \sqrt{\frac{2h_2}{g}}$

Поделив второе равенство на первое, получим:

$$\frac{S_2}{S_1} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} = \sqrt{\frac{4h_1}{h_1}} = 2 \quad \text{или} \quad S_2 = 2S_1 \quad (2).$$

Порядок выполнения работы.

1. Укрепите желоб на штативе так, чтобы его изогнутая часть располагалась горизонтально на высоте около 10 см от поверхности стола. В месте предполагаемого падения шарика на стол поместите лоток с куском поролона.
2. Произведите пробный пуск шарика от верхнего края желоба. Шарик должен попасть в среднюю часть лотка. Скорректируйте положение лотка на столе. На поролоне ручкой отметьте точку, в которую попадает шарик.
3. Измерьте высоту h горизонтальной части желоба от поверхности поролона в желобе. Отметьте на поверхности поролона точку, над которой располагается окончание горизонтальной части желоба.
4. Пустите шарик от верхнего края желоба и измерьте расстояние S_1 от точки, находящейся под горизонтальным краем желоба, до отметки места падения шарика в желоб.

№ опыта	$h_1, \text{см}$	$S_1, \text{см}$	$S_1 \text{ ср, см}$	$h_2, \text{см}$	$S_2, \text{см}$	$S_2 \text{ ср, см}$

5. Повторите опыт 5 раз. Вычислите среднее значение расстояния $S_{1\text{ ср.}}$.
6. Увеличьте высоту горизонтальной части желоба в четыре раза, добившись выполнения условия $h_2=4h_1$.
7. Повторите серию пусков шарика от верхнего края желоба, измеряя расстояние S_2 . Вычислите среднее значение $S_{2\text{ ср.}}$.
8. Проверьте, выполняется ли равенство $S_2 = 2S_{2\text{ ср.}}$? Укажите возможные причины расхождения результатов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ГРУЗА.

Цель работы: вычислить массу шарика.

Оборудование: нить; штатив; миллиметровая бумага; груз более 300 гр; динамометр 1Н.

Указания (один из способов решения):

- Использовать миллиметровую бумагу для измерения угла
- Найти зависимость угла от силы. Для этого записать 2 закон Ньютона и спроецировать его на 2 оси



Контрольные вопросы

1. Какую максимальную массу можно измерить?
2. Какие условия мы накладываем на нить?
3. Изменится ли результат, если изменить форму груза?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11.

ИЗМЕРЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПРУЖИНЫ

Цель работы: определить коэффициент жесткости пружины.

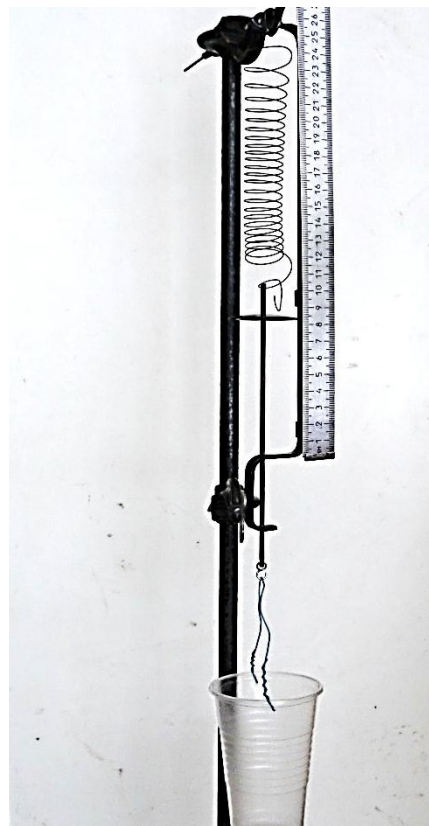
Оборудование: штатив; пружина с подвешенным к ней лёгким стаканчиком для грузов; набор грузов; линейка инструментальная.

Способ измерения жесткости пружины, которым пользуются в работе, основан на использовании графика зависимости силы упругости, возникающей в пружине при её растяжении от величины удлинения пружины.

Удлиняться пружина будет под действием веса подвешенных к ней грузов. Удлинение будет происходить до тех пор, пока вес груза не уравнивается силой упругости пружины. Удлинение пружины измеряется непосредственно по шкале инструментальной линейки.

Величину силы упругости определяют на основании закона Гука:

$$\vec{F}_{\text{упр}} = -k\vec{\Delta l}.$$



	Прямые измерения			Косвенные измерения		
№ п/п	Масса грузов, $m, 10^{-3} \text{ кг}$	Начальное состояние пружины, $l_0, 10^{-3} \text{ м}$	Величина деформации пружины, $l, 10^{-3} \text{ м}$	Модуль силы упругости, $F_{\text{упр}}, \text{ Н}$ (вес грузов)	Модуль вектора удлинения $\Delta l, 10^{-3} \text{ м}$	Коэффициент жесткости, $k, \text{ Н/м}$

Порядок выполнения работы

1. Закрепите установку с пружиной и линейкой на штативе. Заметьте положение указателя положения пружины относительно шкалы линейки.
2. Положите в стаканчик гирьку, например 6 г, и по шкале линейки определите удлинение пружины как разницу двух положений указателя пружины при нагруженной и ненагруженной пружине.
3. Величину силы упругости определите из II закона Ньютона.
4. Увеличьте величину массы грузов в стаканчике и вновь определите удлинение пружины и величину силы упругости.
5. Повторите опыты с другими массами грузов.
6. Начертите координатные оси для построения графика зависимости проекции силы упругости от величины проекции вектора удлинения.
7. Нанесите на координатной плоскости соответствующие результатам каждого опыта точки.
8. По графику можно определить приблизительное значение коэффициента жесткости пружины. Для этого в средней части возьмите произвольную точку, опустите от неё перпендикуляры на координатные оси и определите соответствующие этой точке удлинения и силы упругости. По полученным значениям этих величин на основании закона Гука вычисляется коэффициент жесткости (жесткость) пружины: $k = \frac{F_{упр}}{x}$.
9. Запишите значения ошибок прямых измерений в таблицу для каждого измерения.

Задание:

- рассчитайте по графику массу стержня и длину недеформированной пружины
- укажите на графике силу тяжести, которая действует на грузы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

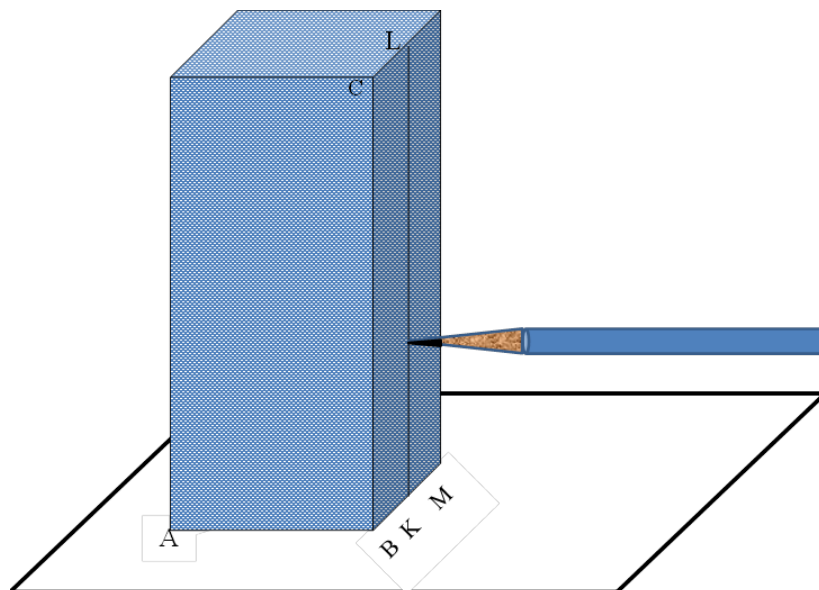
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ.

Цель работы: определить коэффициент трения скольжения.

Оборудование: деревянный брусок, линейка ученическая, карандаш, набор поверхностей (кусочек линолеума и листок бумаги).

Для определения коэффициента трения предлагается следующий метод. Поместим брусок, у которого сторона АВ значительно меньше, чем ВС, на горизонтальную поверхность. При помощи заточенного карандаша будем воздействовать силой, параллельной плоскости основания, к различным точкам вдоль линии KL. Точки К и L являются серединами соответствующих рёбер. Если прикладывать силу вблизи точки К, то брусок придёт в поступательное

движение, а вблизи точки L – опрокинется. Надо найти такую точку приложения силы, когда наблюдается переход от поступательного движения к опрокидыванию.



Измерьте расстояние b от этой точки до точки K и длину a ребра AB.

Докажите, что коэффициент трения определяется формулой

$$\mu = \frac{a}{2b}$$

Определите таким методом коэффициенты трения бруска для двух различных образцов поверхности.

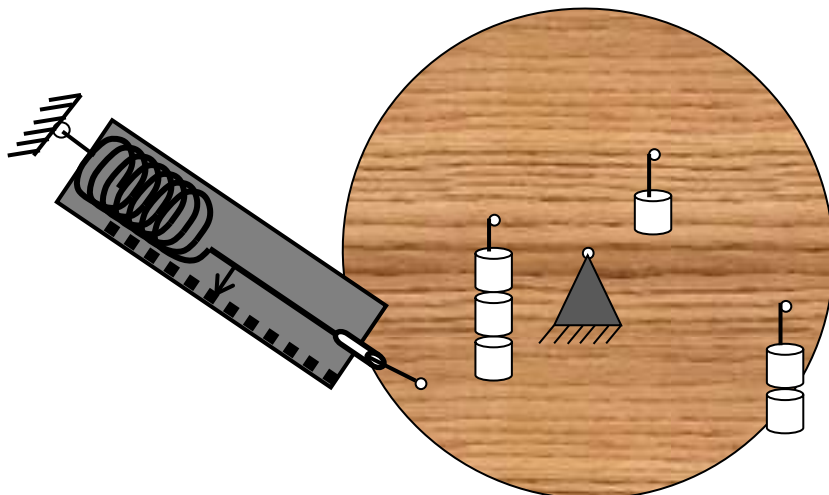
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13.

ВЫЯСНЕНИЕ УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ ТЕЛА С ЗАКРЕПЛЁННОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ НЕСКОЛЬКИХ СИЛ.

Цель: выяснить условия равновесия тела, способного вращаться вокруг закреплённой оси, если равнодействующая всех действующих на него сил и алгебраическая сумма моментов этих сил относительно оси равны нулю.

Оборудование: динамометр; штатив; набор грузов; угольник ученический; диск с осью и со штырями для подвешивания грузов; нити.

Закрепите ось диска на штативе. Подвесьте на 3 штыря в произвольном порядке несколько гирь. К четвёртому штырю прикрепите одним концом динамометр. Другой конец динамометра зацепите за штырь, имеющийся на вертикальной стенке стола. Теперь диск представляет собой тело, имеющее ось вращения и находящееся в равновесии под действием четырёх сил.



Измерьте угольником плечи сил (длины перпендикуляров, опущенных из точек опоры на прямые, по которым действуют силы). Затем, зная значения сил, вычисляют моменты сил. Результаты измерений запишите в таблицу, где приведён один из возможных вариантов:

Направление вращающего действия сил	Сила, Н	Плечо силы, $M \times 10^{-3}$, м	Момент силы, $M \times 10^{-3}$, Нм
По часовой стрелке	1,0	37	37
	2,0	99	198
	1,9	55	104
	Сумма моментов сил $330 \approx 340$		
Против часовой стрелки	3,0	115	$345 \approx 340$

Сделайте выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

РАСЧЁТ УСКОРЕНИЯ ТЕЛА ПРИ РАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ ПО ОКРУЖНОСТИ (ПРОВЕРКА ВТОРОГО ЗАКОНА НЬЮТОНА ПРИ РАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ ПО ОКРУЖНОСТИ).

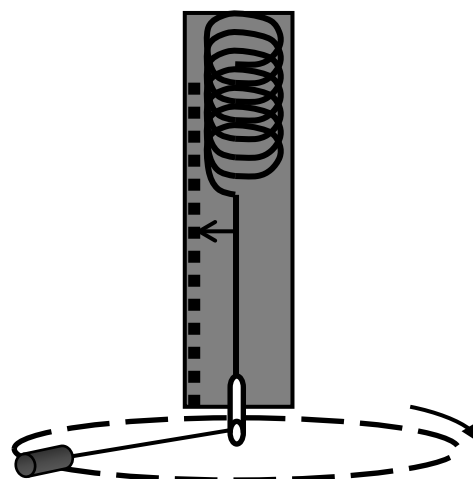
Цель: Рассчитайте величину ускорения, с которым движется тело по окружности под действием постоянной по модулю силы. Результаты расчёта проверьте экспериментально.

Оборудование: динамометр, оборудованный для измерения силы упругости нити, на которой тело движется по окружности; весы учебные с набором гирь; грузы (болт и гайка); прочная нить; линейка ученическая.

Содержание и метод выполнения работы.

Ускорение $\vec{a}$ тела прямо пропорционально действующей силе $\vec{F}$ обратно пропорционально массе m этого тела:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (1)$$



В этой работе исследуется движение тела массой m по окружности под действием постоянной по модулю силы F_y упругой нити, направленной к центру окружности радиуса R с постоянной скоростью V .

Модуль центростремительного ускорения в этом случае равен: $a = \frac{V^2}{R}$
(2)

Если измерить период T обращения тела, то формула для расчёта ускорения примет вид: $a = \frac{\left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2}{R} = \frac{4\pi^2}{T^2} R$ (3)

Если сравнить выражение (1) с кинематической формулой (3), то можно вычислить ускорение тела, движущегося по окружности.

Порядок выполнения работы.

В качестве тела в этой работе используется болт, а для увеличения массы на него можно наворачивать гайку.

1. Измерьте массу болта m_1 и массу болта с навёрнутой на него гайкой m_2 с помощью гирь и весов.

2. Приведите болт во вращательное движение в горизонтальной плоскости над полом, держа динамометр за верхнюю часть (рис 1). Добейтесь того, чтобы показания динамометра были равны 2 Н .

3. Измерьте время t_1 , за которое болт совершит $n = 20$ оборотов по окружности. Рассчитайте период T обращения болта по окружности радиуса R_1 : $T_1 = \frac{t_1}{n}$

4. Радиус окружности R это длина нити от конца трубки до центра масс болта. R_1 и R_2 нужно измерять, вытянув нить из трубки для показаний динамометра 2 Н и $3,5\text{ Н}$ соответственно.

Рассчитайте ускорение болта по второму закону Ньютона (1) и ускорение болта по результатам эксперимента: $a_1 = \frac{4\pi^2}{T_1^2} R_1 = \frac{4\pi^2}{T_1^2} R_1$

5. Повторите опыт с тем же болтом, но при такой скорости движения, при которой сила упругости нити равна $3,5\text{ Н}$. Измерьте при этом R_2 .

6. Повторите опыт, накрутив на болт гайку (масса системы m_2), поддерживая скорость движения такой, чтобы сила упругости нити была равна $3,5\text{ Н}$. Рассчитайте для этого опыта значения ускорения по формулам: $a_2 = \frac{F}{m_2}$

$$a_2 = \frac{4\pi^2}{T_2^2} R_2.$$

7. Обоснуйте, для всех проведенных экспериментов, границы пренебрежения действием силы тяжести на результаты в рамках данной модели.

№	М, кг	F, Н	$a_T, \frac{m}{c^2}$	t, с	n	T, с	R, м	$a_{\Sigma}, \frac{m}{c^2}$

Дополнительное задание

Сравнивая полученные значения ускорений болта, сделайте выводы о зависимости его ускорения от силы упругости нити и от массы при постоянной силе упругости.

Контрольные вопросы

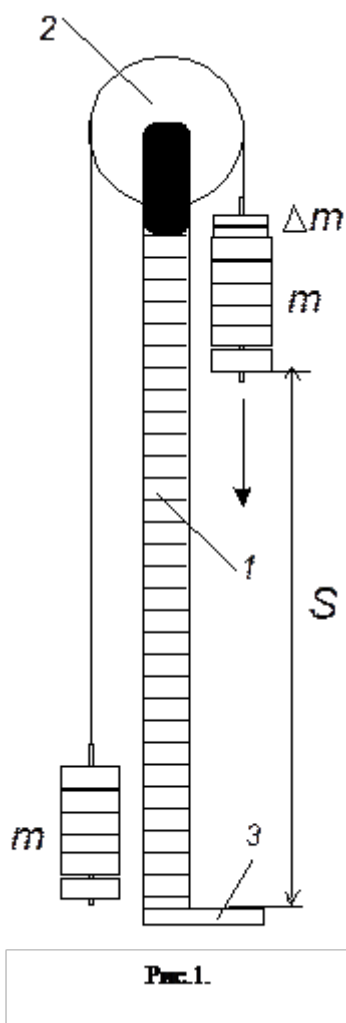
- Как в настоящей работе измеряется сила, действующая на болт?
- Как определяется ускорение тела, движущегося равномерно по окружности?
- Почему при выполнении экспериментов осуществлялось вращение болта в горизонтальной плоскости, а не в вертикальной?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАШИНЫ АТВУДА.

Цель: определение ускорения свободного падения на лабораторной установке – машине Атвуда.

Оборудование: машина Атвуда, весы, секундомер, линейка.



Содержание и метод выполнения работы.

Машина Атвуда (рис.1) состоит из легкого блока 2, через который переброшена нить с двумя наборными грузами на концах (массы обоих грузов одинаковы и равны m). Грузы могут двигаться вдоль вертикальной рейки со шкалой 1. Если на правый (?) груз положить небольшой перегрузок из пластилина, то грузы начнут двигаться с некоторым ускорением. Время движения грузов измеряется с помощью секундомера.

Замечание: для выполнения работы машина Атвуда должна быть установлена строго вертикально, что легко проверить по параллельности шкалы и нити.

Запишите второй закон Ньютона в проекциях на вертикальную ось для каждого из тел системы в предположении невесомости блока, отсутствия силы трения и не растяжимости нити. Выразить из данной системы ускорение a .

$$a = \frac{mg}{2M + m}$$

Проверим равноускоренный характер движения грузов, экспериментально получая значения пути данных грузов S (для обоих грузов он одинаков) и время движения t . Так как начальная скорость в опытах на машине Атвуда обычно равна нулю и движение условно начинается из начала координат, то

$$v = at, \text{ откуда получаем формулу для пути } s = \frac{at^2}{2}.$$

Это соотношение часто называют законом перемещений: «Перемещение при равноускоренном движении прямо пропорционально квадрату времени движения».

Соотношение может быть проверено экспериментально на машине Атвуда. Кроме того, машина Атвуда дает возможность экспериментально проверить второй закон Ньютона для поступательного движения: «Ускорение, с которым движется тело, прямо пропорционально равнодействующей действующих на него сил и обратно пропорционально массе этого тела».

$$g = \frac{2M + m}{m} a$$

Ход работы:

1. Тщательно сбалансировать грузы
2. Затем на правый груз положить перегрузки. В результате в системе появляется движущая. При этом, конечно, общая масса системы незначительно увеличивается, но этим изменением массы по сравнению с массой грузов можно пренебречь, считая массу системы постоянной.
3. Измерить время равноускоренного движения системы на пути. Все данные занести в таблицу.
4. Вычислить ускорение a .
5. Повести серию опытов, последовательно увеличивая массу перегрузов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ТЕЛА МЕТОДОМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ.

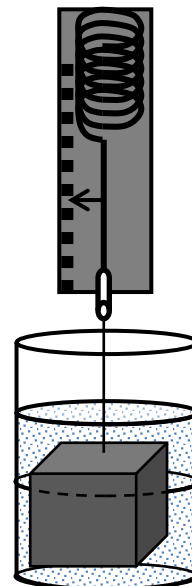
Цель:

- рассчитать значение жесткости пружины.
- вычислить массу тела.

Оборудование: динамометр без шкалы; стаканчик от калориметра с водой; тело неизвестной массы; линейка инструментальная.

Содержание и метод работы

Трудность работы заключается в том, что для определения жесткости пружины нет грузов известной массы. Эту трудность можно преодолеть, если измерить удлинение x_1 пружины при



подвешивании к ней груза неизвестной массы m в воздухе, а затем измерить удлинение x_2 этой же пружины при погружении груза в воду.

Уравнение равновесия груза, подвешенного на пружине в воздухе $mq = kx_1$ (1)

Уравнение равновесия груза, подвешенного на пружине в воде

$$mq - F_A = kx_2, \quad (2)$$

где k – жесткость пружины;

F_A – архимедова сила, действующая на погруженное тело

$$F_A = \rho_0 Vq \quad (3)$$

ρ_0 – плотность воды,

V – объём тела.

Измерив объём тела с помощью линейки, можно из выражений (1), (2) и (3) выразить жёсткость пружины:

$$k = \frac{\rho_0 Vq}{x_1 - x_2} \quad (4)$$

$$m = \frac{kx_1}{q} = \frac{\rho_0 Vx_1}{x_1 - x_2} \quad (5)$$

Порядок выполнения работы

1. На динамометре без шкалы проведите линию, фиксирующую положение конца незагруженной пружины.
2. Подвесив к динамометру груз неизвестной массы, проведите линию, фиксирующую положение конца нагруженной пружины. Измерьте линейкой удлинение пружины x_1 .
3. Опустите подвешенный на динамометре груз в воду и измерьте линейкой новое удлинение пружины x_2 .
4. При помощи линейки определите объём V груза.
5. Рассчитайте значение жесткости пружины k .
6. Рассчитайте массу груза m и плотность $\rho_{\text{груза}}$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ.

Цель: 1. Определить коэффициент трения скольжения, опираясь на законы сохранения импульса и механической энергии.

2. Сравнить полученные результаты с результатом измерения коэффициента трения скольжения классическим способом.

3. Используя значение коэффициента трения скольжения, полученного классическим способом, проверить выполнение закона сохранения импульса.

4. Определить потерю кинетической энергии системы при ударе. Найти значение КПД удара.

Оборудование: штатив, деревянный брусок, груз на нити, динамометр, линейка демонстрационная, линейка ученическая.

Введение.

Важнейшей задачей в освоении раздела механики является изучение основных законов – законов сохранения импульса и механической энергии. На примере изучения закономерностей упругого и неупругого соударения тел можно ознакомиться с этими важнейшими законами.

Процесс удара можно разделить на две фазы.

Первая – деформация: сближаются центры масс тел, при этом скорость сближения убывает до нуля.

Вторая фаза – восстановление формы тел.

При абсолютно упругом ударе на первой фазе происходит упругая деформация тел; возникают силы упругости и часть кинетической энергии переходит в энергию упруго деформированного тела. На второй фазе работа упругих сил приводит к обратному переходу энергии упругой деформации в кинетическую энергию взаимодействующих тел.

При абсолютно неупругом ударе реализуется только первая фаза, происходит сближение центров масс и деформация тел, но не происходит восстановления формы тел.

Таким образом должны выполняться законы сохранения импульса и механической энергии при абсолютно упругом ударе, а при абсолютно неупругом ударе – только закон сохранения импульса.

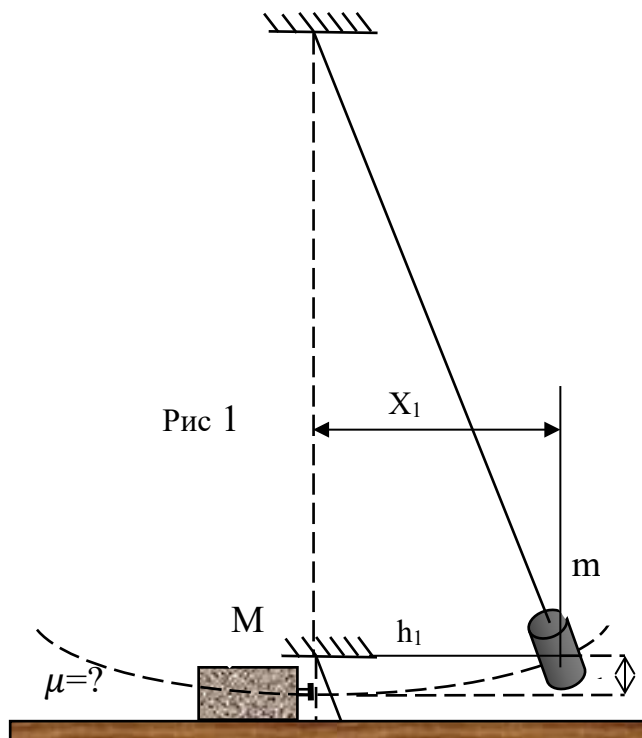
Реальные удары тел при их столкновениях являются промежуточными между абсолютно упругим и абсолютно неупругим ударами.

Лабораторная работа подразумевает выполнение нескольких экспериментальных задач., основанных на законах сохранения импульса и сохранения и изменения механической энергии систем.

Содержание и метод выполнения работы

Груз, свободно подвешенный на нити, одновременно взаимодействует с Землёй (находится в поле тяготения планеты) и упругой нитью (со стороны нити на груз действует сила упругости, удерживая его от свободного падения). Отсюда следует, что он обладает потенциальной энергией в гравитационном поле $E_{П\text{ грав}} = mgh$, и потенциальной энергией упругого взаимодействия $E_{П\text{ упр}} = [k_{\text{нити}}(\Delta l_{\text{нити}})^2]/2$. Для малых углов отклонений груза от положения равновесия мы имеем право пренебречь деформацией (удлинением) нити (и не только деформацией нити, но и чем?), считая нить нерастяжимой, а следовательно, пренебречь изменением энергии упругого взаимодействия.

1. Рассмотрим начальное состояние системы (рис 1) .



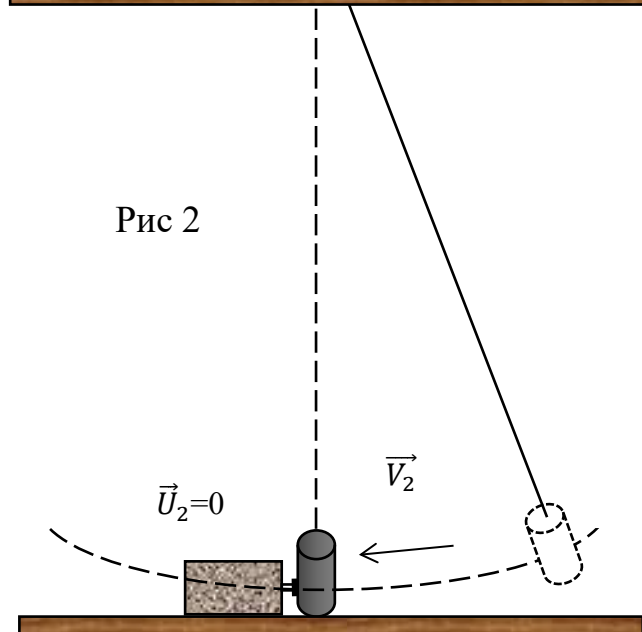
Груз находится в отклоненном состоянии на высоте h относительно условного нулевого уровня его потенциальной энергии. Его потенциальная энергия $E_{П1} = mgh_1$.

Отпускаем груз и в процессе движения к положению равновесия его потенциальная энергия взаимодействия с Землей превращается в кинетическую энергию движения $E_{K2} = \frac{mV_2^2}{2}$.

2. В момент перед ударом (рис 2) мы имеем право (почему?) приравнять энергии в состояниях 1 и 2 $E_1 = E_2$ (т.е. применить закон сохранения механической энергии к системе):

$$E_1 = E_2 = mgh_1 = \frac{mV_2^2}{2}.$$

Откуда нетрудно выразить скорость тела перед ударом: $V_2 = \sqrt{2gh_1}$



3. Временем удара мы можем пренебречь (по сравнению с чем?), а

следовательно можно пренебречь изменением импульса системы: тело + брусок (почему?), т.е. считать эту систему замкнутой. (или квазизамкнутой? почему?). Почему к процессу соударения тел нельзя (в данном случае) применить закон сохранения механической энергии?)

Непосредственно перед ударом вектор импульса системы определяется только вектором импульса движущегося тела mV_2 . Сразу после удара вектор импульса системы представляется векторной суммой импульсов движущихся по отдельности тела и бруска: $mV_3 + MU_3$. (рис.3) Исходя из замкнутости системы, можно записать векторное уравнение закона сохранения импульса:

$$mV_2 = mV_3 + MU_3;$$

Проецируя на ось получим: $Ox | mV_2 = mV_3 + MU_3$. Но в последнем уравнении оказались 2 неизвестных: V_3 и U_3 .

4. Рассмотрим дальнейшее движение тел отдельно друг от друга (рис 4), как несвязанные системы тел.

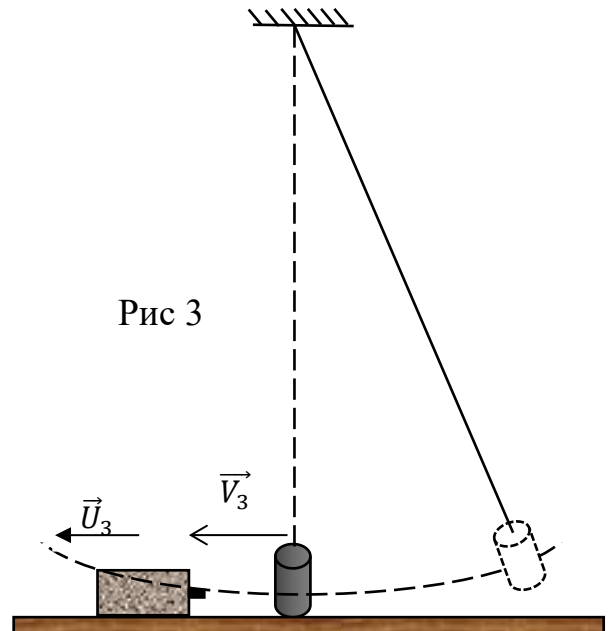


Рис 3

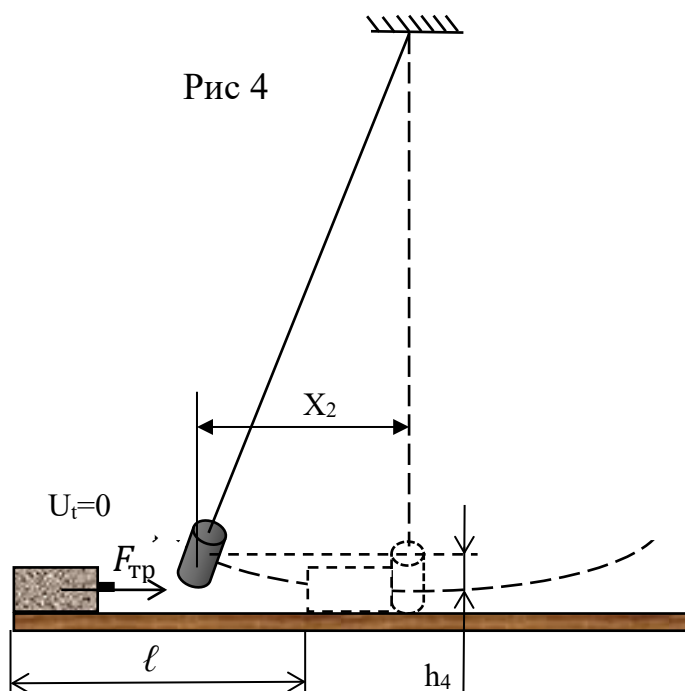


Рис 4

4а. Тело на нити, передав некоторую часть механической энергии бруску, продолжает двигаться по той же окружности и в начальный момент его энергия представляется кинетической энергией : $E_3^m = \frac{mV_3^2}{2}$

В процессе движения тело поднимается на новую высоту h_4 , которую можно измерить, и, следовательно, определить новое значение потенциальной энергии гравитационного взаимодействия:

$$E_4^m = mgh_4$$

По аналогии с п.1 и 2 , но в обратном порядке, можно определить значение V_3 :

$$E_4^m = E_3^m \rightarrow V_3 = \sqrt{2gh_4}$$

Значения h_1 и h_4 можно выразить через длину нити L и угол отклонения груза α_i от состояния равновесия:

$$h_i = L (1 - \cos \alpha_i) = 2L \sin^2(\alpha_i/2)$$

При малых углах значение синуса, $\sin \alpha_i = x_i/L$, можно считать равным величине угла, выраженного в радианах, тогда

$$h_i \approx 2L (\alpha_i/2)^2, \text{ где } \alpha_i \approx x_i/L.$$

$$h_i \approx x_i^2/(2L).$$

Осталось доказать, что углы отклонения груза в нашем исследовании можно считать малыми.

4б. Рассмотрим движение бруска после удара.

Из уравнения п.3 можно выразить значение U_3 , и кинетической энергии бруска в начале своего перемещения по поверхности опоры.

$$U_3 = \frac{m(V_2 - V_3)}{M} = \frac{m(\sqrt{2gh_1} - \sqrt{2gh_4})}{M} = \frac{m\sqrt{2g}(\sqrt{h_1} - \sqrt{h_4})}{M}$$

$$E_3^M = \frac{MU_3^2}{2}.$$

Далее, двигаясь по поверхности, на брусок вдоль оси ОХ действует сила трения скольжения, вплоть до его остановки. Это неконсервативная диссипативная сила, работа которой уменьшает механическую энергию бруска, превращая её во внутреннюю энергию бруска и опоры. По величине изменения механической энергии можно определить работу силы трения (почему?).

$$E_4^M = 0; \Delta E_{43}^M = -A_{\text{тр}} = -\mu Mg \ell$$

Откуда можно выразить значение коэффициента трения скольжения.

$$-\mu Mg \ell = -\frac{MU_3^2}{2}. \quad \Rightarrow \quad \mu = \frac{U_3^2}{2g\ell}.$$

5. Значение коэффициента трения скольжения можно определить и классическим способом, измеряя значение силы трения скольжения при равномерном перемещении бруска по поверхности с помощью динамометра.

Зная коэффициент трения, можно произвести расчет U_3 и проверить выполнение закона сохранения импульса при соударении тел.

Так же, используя значение коэффициента трения скольжения, можно определить потерю кинетической энергии системы груз + брусок при их соударении и вычислить КПД удара.

Порядок выполнения работы

1. Изобразите таблицу, для записи значений измеренных величин:

№ п/п	Масса гири, m , кг	Масса бруска, M , кг	Длина подвеса, L , м	Отклонение X_1 , м	Отклонение X_2 , м	Длина пути бруска l , м
1				0,3		
2						
3						
4				0,4		
5						
6						

2. С помощью динамометра определите вес бруска, равный Mg .
3. Измерьте длину подвеса L .
4. Отцентрируйте систему тел гиря + брусок. Для этого слегка прикоснитесь деревянным бруском, находящемуся на горизонтальной поверхности трибометра, к висящей на нити гире. Вдоль направления движения тел (оси OX) уложите демонстрационную линейку.
5. Отклоните гирьку, подвешенную на нити, на x_1 вправо вдоль горизонтальной оси OX от положения равновесия (рис. 1). Это позволит рассчитать высоту гири h_1 над поверхностью стола по значению отклонения x_1 и длине подвеса L .
6. Отпустите гирьку. Внимательно следите за тем, чтобы удар был центральным. Потренируйтесь, прежде чем проводить измерения. Как минимум, необходимо выполнить по три измерения величин с одним значением отклонения x_1 , чтобы уменьшить ошибку на «не центральность» удара.
7. Первое, что необходимо измерить после соударения тел, координату отклонения x_2 гири (рис.4), после прохождения состояния равновесия, что позволит рассчитать высоту h_4 , по аналогии с п.5.
8. Деревянный брусок после соударения с гирькой отъедет по поверхности стола на расстояние ℓ . Измерьте ℓ .
9. Повторите серию измерений для второго значения x_1 .
10. По полученным результатам измерений необходимо произвести расчеты искомых величин и проверить выполнение законов сохранения и изменения импульса и механической энергии.
11. Последним действием вы определили значение коэффициента трения скольжения в обеих сериях измерений. Необходимо сравнить полученные значения коэффициентов трения скольжения.
12. Для проведения самоконтроля дополнительно измерьте коэффициент трения скольжения известным вам классическим способом с помощью динамометра на той же поверхности трибометра.
13. Проведите проверку законов сохранения импульса и энергии.
14. Найдите значение КПД удара.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16.

СРАВНЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ПАДАЮЩЕГО ГРУЗА С ИЗМЕНЕНИЕМ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ПРУЖИНЫ, РАСТЯНУТОЙ ПРИ ЕЁ ПАДЕНИИ.

Цель: исследовать связь потенциальной энергии падающего груза с энергией пружины, растянутой при его падении.

Оборудование: пружинный динамометр с фиксатором на проволоочном стержне, штатив, металлический шарик на леске, линейка инструментальная.

Указания к выполнению работы

Применённая в работе установка показана на рисунке 1. Пружинный динамометр закреплён на штативе. К крючку динамометра на капроновой леске подвешен металлический грузик. На тонкий металлический стержень динамометра насажен фиксатор, представляющий собой пластинку из пробки. Пластинка имеет надрез, как показано на рисунке. Фиксатор перемещается по стержню с небольшим трением.

Порядок выполнения работы

Поднимите груз на высоту H_1 , опустите фиксатор вниз до упора и запишите его положение на шкале динамометра.

Отпустите груз и он, падая до высоты H_2 , растянёт пружину динамометра.

Деформацию пружины Δx можно измерить по изменению положения фиксатора. Для этого поднимите груз и измерьте линейкой расстояние Δx между начальным и конечным положением фиксатора.

Изменение потенциальной энергии груза можно определить так: $\Delta E_p = tq(H_1 - H_2)$, где t — масса груза (определяется взвешиванием), H_1 и H_2 начальная и конечная высоты груза над столом, q — ускорение свободного падения.

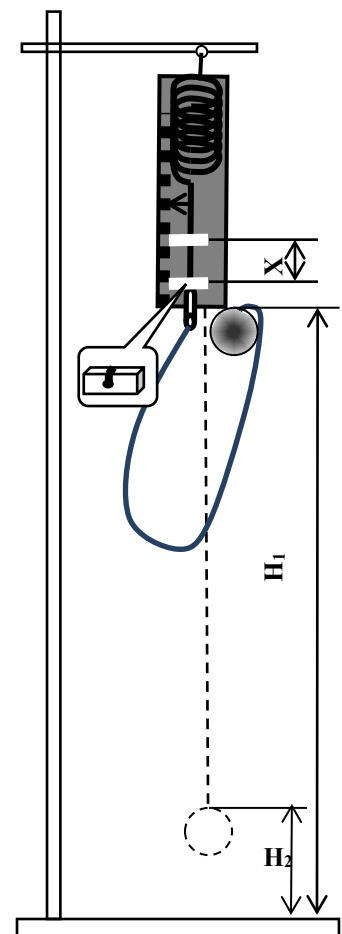


Рис 1

Изменение потенциальной энергии груза вызывает изменение потенциальной энергии растянутой пружины $\Delta E_p^* = \frac{k(\Delta x)^2}{2}$.

Жесткость пружины $k = \frac{F}{\Delta x}$ (из закона Гука), где F – сила упругости, измеряется динамометром.

№ опыта	m , кг	H_1 , м	H_2 , м	k , Н/м	Δx , м	ΔE_p , Дж	ΔE_p^* , Дж
1							
2							

Сравните результаты ΔE_p и ΔE_p^* .

Если осталось время, повторите опыт, заменив груз и изменив расстояние между крючком динамометра и грузом.

Контрольные вопросы

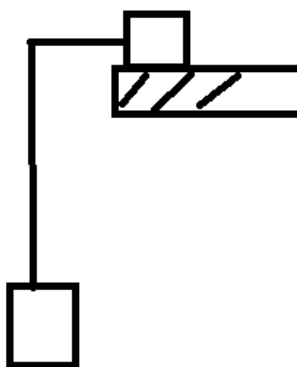
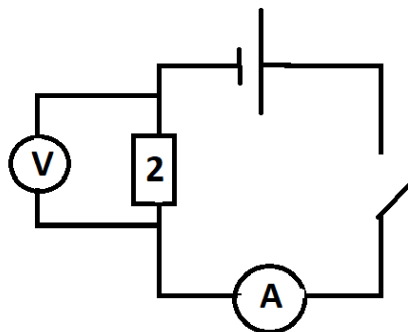
1. Как связано изменение потенциальной энергии падающего груза с изменением энергии пружины, растянутой при его падении?
2. Как вычислить работу силы тяжести при падении груза с высоты H_1 до высоты H_2 ?
3. Как оценить величину диссипации механической энергии.
4. От каких величин зависит жесткость пружины динамометра?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ.

Цель: сравнить работу силу тяжести и работу мотора.

Оборудование: мотор, нитка, грузик, амперметр, вольтметр, источник питания.



Ход работы:

1. Собрать схему установки. Опустить груз на нити до пола. Измерить длину подвеса.
2. Посчитать работу, которую совершает мотор, когда поднимает груз. Считаем показания с приборов в цепи и посчитаем мощность по формуле.

$$P = U \cdot I$$

3. Пересчитаем мощность в работу.
4. Сравнить работу мотора и работу силы тяжести.
5. Высчитать КПД установки.

Контрольные вопросы:

1. Если подключить сопротивление в цепь изменится ли мощность? Напряжение?
2. Обосновать полученный КПД: от чего зависит, куда утекает энергия.

Плотность жидкостей, твёрдых веществ и материалов.

Материал	ρ , кг/м ³	Материал	ρ , кг/м ³
Ацетон	781	Алюминий	2700
Бензин	710-750	Бронза	8700-8900
Вода	1000	Дуралюмин	2700-2900
Глицерин	1260	Железо	7814
Керосин	790-820	Латунь	8300-8700
Масло машинное	900-920	Медь	8940
Молоко сгущ. с сахаром	1280	Олово	7300
Нефть	730-940	Свинец	11340
Скипидар	860	Сталь	7700-7800
Спирт этиловый	806	Чугун	7000-7800
Берёза	650-880	Гетинакс	1300-1400
Дуб	760-1020	Капрон	1100-1200
Ель	450-800	Оргстекло	1200
Липа	450-790	Полистирол	1000-1100
Сосна	520-840	Полиэтилен	920
		Текстолит	1300-1600
		Пласталин	1750

ПЛОТНОСТЬ ВОЗДУХА на уровне Земли при $t=15^{\circ}\text{C}$ и атмосферном давлении 760 мм рт. ст. (101325 Па) равна 1,225 кг/м³.

<http://www.distedu.ru>

Графики строятся на миллиметровой бумаге, на которую прежде всего наносятся координатные оси. На концах осей указываются откладываемые физические величины и их размерности. Затем на оси наносят масштабные деления так, чтобы расстояние между делениями составляло 1, 2, 5 единиц (или 0.1, 0.2, 0.5, или 10, 20, 50 и т.д.). Обычно порядок масштаба, т.е. $10^{\pm n}$ выносится на конец оси. Например, для пути, пройденного телом, вместо 1000, 1100, 1200 и т.д. метров около масштабных делений пишут 1.0, 1.1, 1.2, а в конце оси физическую величину обозначают как S , 10^3 м или $S \cdot 10^{-3}$, м. Точка пересечения осей не обязательно должна соответствовать нулю по каждой из осей. Начало отсчета по осям и масштабы следует выбирать так, чтобы график занял всю координатную плоскость. После построения осей на миллиметровку наносят экспериментальные точки. Их обозначают маленькими кружками, квадратиками и т.д. Если на одной координатной плоскости строится несколько графиков, то для точек выбираются разные обозначения. Затем от каждой точки вверх, вниз и вправо, влево откладывают отрезки, соответствующие погрешностям точек в масштабах осей. Если погрешность по одной из осей (или по обеим осям) оказывается слишком малой, то предполагается, что она отображается на графике размером самой точки.

Экспериментальные точки, как правило, не соединяются между собой ни отрезками прямой, ни произвольной кривой. Вместо этого строится теоретический график той функции (линейной, квадратичной, экспоненциальной, тригонометрической и т.д.), которая отражает проявляющуюся в данном опыте известную или предполагаемую физическую закономерность, выраженную в виде соответствующей формулы. В лабораторном практикуме встречаются два случая: проведение теоретического графика преследует цель извлечения из эксперимента неизвестных параметров функции (тангенса угла наклона прямой, показателя экспоненты и т.д.) либо делается сравнение предсказаний теории с результатами эксперимента.

В первом случае график соответствующей функции проводится "на глаз" так, чтобы он проходил по всем областям погрешности возможно ближе к экспериментальным точкам. Существуют математические методы, позволяющие провести теоретическую кривую через экспериментальные точки в определенном смысле наилучшим образом (например: метод наименьших квадратов).

При проведении графика "на глаз" рекомендуется пользоваться зрительным ощущением равенства нулю суммы положительных и отрицательных отклонений точек от проводимой кривой.

Во втором случае график строится по результатам расчетов, причем расчетные значения находятся не только для тех точек, которые были получены в опыте, а с некоторым шагом по всей области измерений для получения плавной кривой.

Нанесение на миллиметровку результатов расчетов в виде точек является рабочим моментом - после проведения теоретической кривой эти точки с графика убираются.

Если в расчетную формулу входит уже определенный (или заранее известный) экспериментальный параметр, то расчеты проводятся как со средним значением параметра, так и с его максимальным и минимальным (в пределах погрешности) значениями. На графике в этом случае изображается кривая, полученная со средним значением параметра, и полоса, ограниченная двумя расчетными кривыми для максимального и минимального значений параметра.

Правила построения графиков рассмотрим на следующем примере. Предположим, что в опыте исследовался закон движения некоторого тела. Тело двигалось прямолинейно, и задачей опыта было измерение расстояния, которое тело проходит за различные промежутки времени. После проведения некоторого числа опытов и обработки результатов измерений были найдены средние значения измеряемых величин и их погрешности. Требуется изобразить результаты опыта, представленные в табл. 2, в виде графика и найти из графика скорость тела, предполагая, что движение равномерное.

Таблица 2.

Зависимость пути, пройденного телом, от времени				
Номер опыта	t, с	Δt , с	S, см	ΔS , см
1	35.5	1.0	97	6
2	40.0	1.0	99	9
3	45.0	1.0	108	9
4	50.0	1.0	139	11
5	55.0	1.0	146	12

Последовательность операций:

Строим оси координат и устанавливаем на них шкалы, исходя из интервалов изменения измеренных величин. Начало оси абсцисс (время) берем при $t=30$ с, а начало оси ординат (расстояние) - при $S=80$ см. Размечаем ось абсцисс с шагом 10 с, а ось ординат с шагом 20 см.

Наносим на координатную плоскость точки, представленные в таблице. Для каждой точки откладываем влево и вправо погрешность Δt в масштабе оси абсцисс, а вверх и вниз - погрешность ΔS в масштабе оси ординат.

Исходя из предположения о равномерном движении, т.е. о линейной зависимости $S(t)=v_0t$, проводим прямую с таким расчетом, чтобы она наилучшим образом проходила через все измеренные точки. При проведении прямой учитываем, что в данном опыте при $t=0$ путь $S=0$ независимо от скорости, т.е. согласно теоретической формуле продолжение прямой должно проходить через точку $(0,0)$, которая находится за пределами рабочего участка координатной плоскости. Так как скорость $v=dS/dt$, а производная геометрически представляется тангенсом угла наклона касательной к графику функции, то для равномерного движения тангенс угла наклона прямой дает скорость v_0 . Находить из графика следует именно тангенс, т.е. отношение противолежащего катета к прилежащему, взятых в масштабных единицах соответствующих осей. Очевидно, что угол наклона прямой зависит от выбора масштаба на осях. Поэтому измерение угла с последующим определением его тангенса смысла не имеет.

Для оценки погрешности проводим через экспериментальные точки еще две прямые - с максимальным и минимальным наклоном в пределах погрешностей большинства точек и с учетом того, что продолжения этих прямых должны пересекать точку $(0,0)$.

Определяем тангенс угла наклона этих прямых и устанавливаем интервал, в пределах которого находится искомая величина (скорость). Окончательный результат построений показан на рис.1.

Следует заметить, что графическая обработка опытных данных не столь строга, как аналитическая, зато она проста и наглядна.

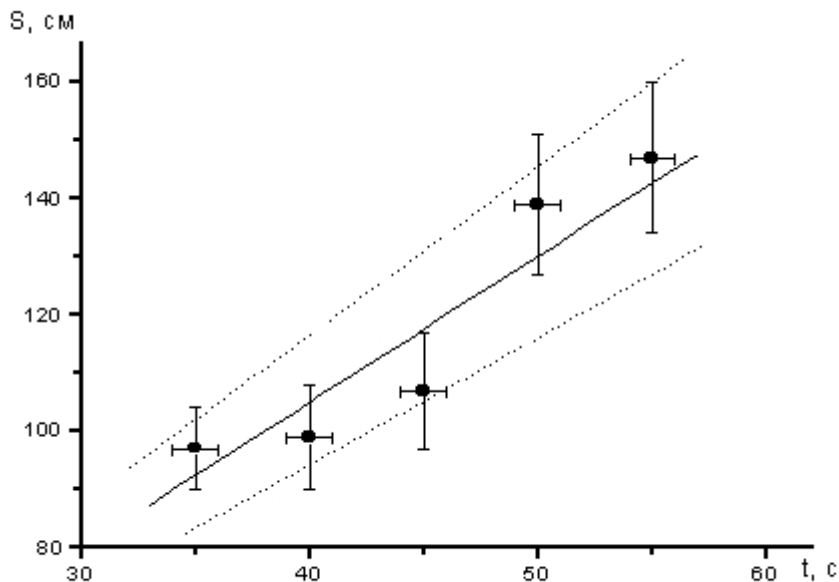


Рис. 1

В тех случаях, когда диапазон изменений измеряемой величины превышает порядок, при построении графика обычно применяют логарифмический масштаб. Для построения логарифмической шкалы по оси от начальной точки в некотором масштабе откладываются отрезки, равные десятичным логарифмам ряда чисел. Если отложен $\lg a$, то около соответствующей точки ставится пометка a . Около начальной точки должна стоять пометка 1 ($\lg 1 = 0$). Таким образом, на логарифмической шкале расстояние от пометки 1 до пометки a равно в выбранном масштабе $\lg a$. Так как $\lg(10a) = 1 + \lg a$, то пометки на логарифмической шкале на участке от 10 до 100 будут в точности соответствовать пометкам на участке от 1 до 10. Это же рассуждение может быть проведено и для других участков шкалы. Поэтому, для изображения чисел от 1 до 100 на логарифмической оси требуется увеличить длину оси всего в два раза по сравнению с осью, размеченной от 1 до 10. Пусть, например, на оси длиной 10 см требуется отобразить числа от 1 до 100. Тогда на одну декаду будет приходиться 5 см. Соответственно пометка 2 должна стоять на расстоянии $\lg 2 \cdot 5 = 1.5$ см от начала оси, пометка 3 - на расстоянии $\lg 3 \cdot 5 = 2.4$ см, а пометка 30 - на расстоянии $\lg 30 \cdot 5 = 7.4$ см. На рис.2 приведен пример участка оси с логарифмической шкалой.

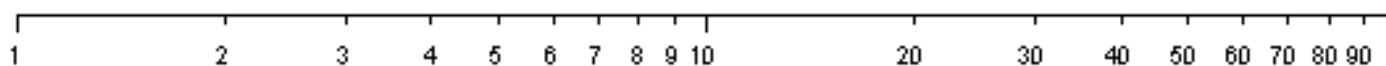


Рис. 2

Оглавление.

№	Наименование	стр
	Введение	3
	Базовые требования к учащимся по организации работы, порядку выполнения лабораторных работ, оформлению протоколов и отчетов по предмету ОФЭ	4
	Погрешности измерений	8
1.	Лабораторная работа № 1 "Использование микрометра для измерений".	15
2.	Лабораторная работа № 2 "Определение ускорения тела при равноускоренном движении".	16
3.	Лабораторная работа № 3 "Определение ускорения тела при равноускоренном движении (II)".	18
4.	Лабораторная работа № 4 "Определение ускорения свободного падения с помощью маятника." (1-й способ)	19
5.	Лабораторная работа № 5 "Определение ускорения свободного падения с помощью вращающегося диска". (2-й способ)	20
6.	Лабораторная работа № 6 "Определение начальной скорости снаряда, дальности и высоты подъёма при стрельбе под углом к горизонту".	22
7.	Лабораторная работа № 7 "Определение ускорения свободного падения с помощью линейки – маятника". (3-й способ)	23
8.	Лабораторная работа № 8 "Изучение движения тела, брошенного горизонтально".	25
9.	Лабораторная работа № 9 "Определение ускорения свободного падения" (4-й способ)	27
10.	Лабораторная работа № 10 "Измерение жесткости пружины".	30
11.	Лабораторная работа № 11 "Определение коэффициента трения".	31
12.	Лабораторная работа № 12 "Выяснение условия равновесия тела с закреплённой осью вращения при действии нескольких сил".	32

13.	Лабораторная работа № 13 "Расчёт ускорения тела при равномерном движении по окружности (проверка второго закона Ньютона при равномерном движении по окружности)".	33
14.	Лабораторная работа № 14 "Определение массы тела методом гидростатического взвешивания".	35
15.	Лабораторная работа № 15 "Изучение законов сохранения в механике".	37
16.	Лабораторная работа № 16 "Сравнение изменения потенциальной энергии падающего груза с изменением потенциальной энергии пружины, растянутой при её падении".	42
	Приложение 1. Таблица плотностей некоторых материалов.	44
	Приложение 2. Правила построения графиков.	45
	Оглавление.	49
	Наклейки на обложки тетрадей №№1,2,3 по ОФЭ	51

Тетрадь № ____

для _____ по ОФЭ

учени ____ 9 класса ____

МБОУ «Лицей № 40» г. Нижнего Новгорода

№ лр	Дата выпо- л- нения	Название лабораторной работы	Отм етка	Дата	Роспись учителя
1.		Лабораторная работа № 1 "Использование микрометра для измерений".			
2.		Лабораторная работа № 2 "Определение ускорения тела при равноускоренном движении".			
3.		Лабораторная работа № 3 "Определение ускорения тела при равноускоренном движении (II)".			
4.		Лабораторная работа № 4 "Определение ускорения свободного падения с помощью маятника." (1-й способ)			
5.		Лабораторная работа № 5 "Определение ускорения свободного падения с помощью вращающего диска". (2-й способ)			
6.		Лабораторная работа № 6 "Определение начальной скорости снаряда, дальности и высоты подъёма при стрельбе под углом к горизонту".			
7.		Лабораторная работа № 7 "Определение ускорения свободного падения с помощью линейки – маятника". (3-й способ)			

8.		Лабораторная работа № 8 "Изучение движения тела, брошенного горизонтально".			
9.		Лабораторная работа № 9 "Определение ускорения свободного падения" (4-й способ)			
10.		Лабораторная работа № 10 "Измерение жесткости пружины".			
11.		Лабораторная работа № 11 "Определение коэффициента трения".			
12.		Лабораторная работа № 12 "Выяснение условия равновесия тела с закреплённой осью вращения при действии нескольких сил".			
13.		Лабораторная работа № 13 "Расчёт ускорения тела при равномерном движении по окружности (проверка второго закона Ньютона при равномерном движении по окружности)".			
14.		Лабораторная работа № 14 "Определение массы тела методом гидростатического взвешивания".			
15.		Лабораторная работа № 15 "Изучение законов сохранения в механике".			
16.		Лабораторная работа № 16 "Сравнение изменения потенциальной энергии падающего груза с изменением потенциальной энергии пружины, растянутой при её падении".			
17.					
18.					

This image shows a full page of blank white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a template for writing or drawing. There are no margins, text, or other markings present.

Blank lined paper for writing.

[illegible]

**Савкин Пётр Михайлович
Шилков Роман Николаевич
Курашкин Александр Борисович
Смирнов Андрей Александрович**

Учебное пособие. Методические рекомендации и сборник лабораторных работ по основам физического эксперимента для учащихся 9-х классов.