

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Ю.В. Тихомиров

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

по курсу физики

**С ЭЛЕМЕНТАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

(1-я часть)

*для студентов всех специальностей
всех форм обучения*

МОСКВА - 2000

ОТ АВТОРА

Первая часть Пособия содержит второе издание описаний к 10 лабораторным работам по двум частям курса физики (механика и электромагнетизм), которые могут выполняться фронтально с использованием персональных компьютеров. Требования к компьютерам не слишком высоки: процессор Pentium 100 и выше, RAM 16 Mb, HD 850 Mb, Monitor 15''. Операционная система DOS 5.0 или выше.

Используется широко известный набор программ на CD-ROM, получивший название «Физика в картинках» и рекомендованный в качестве демонстраций по курсу физики. При минимальных уточнениях описаний данное Пособие можно применять совместно с более современным набором программ, поставляемым тем же производителем (ТОО НЦ ФИЗИКОН) на CD-ROM под названием «Открытая физика» 1.0 (или 2.0), части 1 и 2.

Подробный анализ указанного комплекта позволил на его базе разработать лабораторный физический практикум, использующий в качестве моделирующего устройства персональные компьютеры. Описания к разработанным лабораторным работам выполнены так, чтобы студенты, даже мало знакомые с компьютерами, смогли самостоятельно выполнить эксперимент, использующий компьютерное моделирование. Разработанная методика экспериментов позволяет закрепить учебный материал и решить многие другие дидактические задачи, возложенные на физический практикум.

Подобные компьютерные модели реальных физических экспериментов вряд ли целиком заменят их, но смогут в определенной степени их дополнить. В некоторых случаях, например, при дистанционном самостоятельном освоении физики, подобные «домашние» лабораторные работы являются единственным возможным и доступным вариантом лабораторного практикума.

Буду признателен, если мне будут сообщены все замечания, отзывы и предложения, появляющиеся при широком внедрении данного материала и методики в процесс обучения студентов по дневной, заочной и дистанционной формам.

Ю.В.Тихомиров

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	3
ПОРЯДОК РАБОТЫ В ФИЗИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ.....	4
ОФОРМЛЕНИЕ КОНСПЕКТА ДЛЯ ДОПУСКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ	5
ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ К ЗАЧЕТУ	6
РАЗДЕЛ 1. МЕХАНИКА. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ	8
1_2. ДВИЖЕНИЕ С ПОСТОЯННЫМ УСКОРЕНИЕМ	8
1_3. ДВИЖЕНИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННОЙ СИЛЫ.....	12
1_4. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ	16
1_5. УПРУГИЕ И НЕУПРУГИЕ УДАРЫ	20
1_6. СОУДАРЕНИЯ УПРУГИХ ШАРОВ	24
РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ. ВОЛНЫ. ОПТИКА	28
2_1. ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ	28
2_2. ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	32
2_3. СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В КОНТУРЕ.....	36
2_4. ДИФРАКЦИЯ И ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ.....	40
2_5. ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА	44
ЛИТЕРАТУРА	48
НЕКОТОРЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ СВЕДЕНИЯ	48

ПОРЯДОК РАБОТЫ В ФИЗИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Студенты выполняют лабораторные работы по физике по подгруппам и в соответствии с графиком лабораторных работ для данной специальности. Графики вывешиваются до начала семестра на стенде в лаборатории физики. Количество студентов в подгруппах должно быть примерно равным (отличие не более одного человека). Пропущенная по любой причине работа выполняется в конце семестра в дополнительное время, назначаемое преподавателем и зав. лабораторией.

Подгруппа студентов разбивается преподавателем на 4 или 8 бригад. В каждой бригаде назначается бригадир. Номер бригады определяет номер лабораторной работы из графика (расположенного на стенде).

Занятие продолжается 4 академических часа без перерыва.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАНЯТИЯ В ЛАБОРАТОРИИ

- * Первый час - получение у лаборантов методических пособий и подготовка студентов к допуску.
- * Второй час - допуск студентов к лабораторной работе (проводится преподавателем, который ставит подпись в конспекте студента).
- * Третий час - выполнение измерений (контролируется преподавателем и дежурным лаборантом). После окончания измерений и занесении их результатов в таблицы в конспекте студенты получают подпись преподавателя (графа ИЗМЕРЕНИЯ) и подпись лаборанта (графа УСТАНОВКА).
- * Четвертый час - самостоятельная обработка результатов и сдача преподавателю зачета по ЛР (подпись о зачете ставится преподавателем).

ДОПУСК К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Проводится преподавателем побригадно с персональным опросом каждого студента. Для допуска:

- * Каждый студент предварительно оформляет свой персональный конспект данной ЛР (см. соответствующие требования).
- * Преподаватель индивидуально проверяет оформление конспекта и задает вопросы по теории, методике измерений, установке и обработке результатов.
- * Студент отвечает на заданные вопросы (письменно в черновике конспекта или устно).
- * Преподаватель допускает студента к работе и ставит свою подпись в конспекте студента (графа ДОПУСК в табличке на обложке).

ОФОРМЛЕНИЕ КОНСПЕКТА ДЛЯ ДОПУСКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Конспект для допуска к ЛР готовится заранее на двойных листах из школьной тетради в клетку (4-5 двойных листов в зависимости от почерка).

Первая страница (обложка):

Допуск	Измерения	Установка	Зачет

Лабораторная работа N__
Название:

Выполнил:
студент группы _____
ФИО _____

Дата выполнения: _____

Разворот тетради:

<p>ЧЕРНОВИК</p> <p>(здесь и далее на этой стороне должны быть представлены все расчеты, включая расчетные формулы и подстановку числовых значений)</p>	<p><u>Цель работы:</u> (переписать полностью из описания).</p> <p><u>Краткая теория</u> (выписать основные формулы и пояснить каждый символ, входящий в формулу).</p> <p><u>Экспериментальная установка</u> (нарисовать чертеж и написать наименование деталей).</p> <p><u>Таблицы</u> (состав таблиц и их количество определить самостоятельно в соответствии с методикой измерений и обработкой их результатов).</p> <p><u>Оформление отчета</u> (переписать полностью из описания). Этот раздел в описании может иметь и другое название, например, “Обработка результатов и оформление отчета”.</p>
---	---

ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ К ЗАЧЕТУ

Полностью оформленная и подготовленная к зачету работа должна соответствовать следующим требованиям:

Выполнение всех **пунктов** раздела описания “Оформление отчета” (в черновике представлены все расчеты требуемых величин, заполнены чернилами все таблицы, построены все графики).

Графики должны удовлетворять всем требованиям, приведенным ниже.

Для всех величин в таблицах должна быть записана соответствующая единица измерения.

Записаны **выводы** по каждому графику (см. ниже шаблон)

Выписан **ответ** по установленной форме (см. ниже шаблон).

Записаны **выводы** по ответу (см. ниже шаблон).

Г Р А Ф И К (требования):

- на миллиметровке или листе в клетку, размер не менее 1/2 тетрадного листа,
- на графике: оси декартовой системы, на концах осей - стрелки, индексы величин, единицы измерения, 10^N ,
- на каждой оси - **РАВНОМЕРНЫЙ МАСШТАБ** (риски через равные промежутки, числа через равное количество рисок),
- под графиком - полное название графика **СЛОВАМИ**,
- на графике - экспериментальные и теоретические точки ярко,
- форма графика соответствует теоретической зависимости (не ломаная).

ВЫВОД по ГРАФИКУ (шаблон):

Полученный экспериментально график зависимости _____
название функции словами
от _____ имеет вид прямой (проходящей через начало координат,
название аргумента
параболы, гиперболы, плавной кривой) и качественно совпадает с теоретической зависимостью данных характеристик, имеющей вид _____.
формула

ОТВЕТ: По результатам измерений и расчетов получено значение _____,
название физической характеристики
равное _____ = (_____ \pm _____) $10^{_____}$
символ среднее ошибка степень един.измер

РАЗДЕЛ 1. МЕХАНИКА. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

1_2. ДВИЖЕНИЕ С ПОСТОЯННЫМ УСКОРЕНИЕМ

Ознакомьтесь с теорией в конспекте, учебнике (Савельев, т.1, §3, 4). Запустите программу PHYSICS\BOOKS.exe. Щелкайте левой кнопкой мыши, установив ее маркер на кнопке «↓» справа внизу экрана, пока не появится кнопка, около которой надпись «Движение тела, брошенного под углом к горизонту». Нажмите мышью на нее и затем на кнопку «Физика».

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- * Знакомство с применением физической модели МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА (МТ).
- * Исследование движения МТ с постоянным ускорением.
- * Экспериментальное определение ускорения свободного падения на поверхности Земли.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА это абстрактный объект (модель), не имеющий размеров, но обладающий другими характеристиками реального тела.

ПОЛОЖЕНИЕ МТ это координата, которую имеет МТ в данный момент времени. Математическое описание положения МТ - ее радиус-вектор \vec{r} .

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ есть изменение положения тела в пространстве со временем. Закон движения - это функция $\vec{r}(t) = \{x(t), y(t), z(t)\}$.

СКОРОСТЬ есть векторная кинематическая характеристика движения, показывающая быстроту и направление движения. Математически $\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}(t)}{dt}$.

УСКОРЕНИЕ есть векторная кинематическая характеристика движения, показывающая быстроту и направление изменения скорости. Математически $\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt}$.

ТРАЕКТОРИЯ есть геометрическое место точек, которые проходит МТ при ее движении. В каждой точке вектор скорости направлен по касательной к траектории.

Для движения с постоянным ускорением закон движения

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}, \text{ где } \vec{r}_0 - \text{ начальное положение и } \vec{v}_0 - \text{ начальная скорость}$$

МТ. Закон скорости: $\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a}t$.

При свободном движении тела вблизи поверхности Земли $\vec{a} = \vec{g}_0$ - ускорению свободного падения.

ТАНГЕНЦИАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ – показывает, как быстро меняется вели-

чина скорости $a_t = \frac{d|\vec{v}|}{dt}$; оно направлено по касательной к траектории.

НОРМАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ – показывает, как быстро меняется направление вектора скорости $a_n = \frac{v^2}{R}$ (R – радиус кривизны траектории). Оно перпендикулярно касательной.

ПОЛНОЕ УСКОРЕНИЕ определяется по теореме Пифагора: $|\vec{a}| = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$.

ЗАДАНИЕ: Выведите формулу для u_{\max} максимальной высоты подъема тела (в черновике).

УКАЗАНИЯ: Для верхней точки траектории вертикальная проекция скорости равна нулю. Из уравнения $v_y(t_{\text{ДВ}}) = 0$, выразите $t_{\text{ДВ}}$ и подставьте в формулу для $y(t)$.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок на экране монитора, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект.

На мониторе щелкните мышью кнопку «Старт» в верхнем ряду кнопок.

Выключите “Стробоскоп”, установив маркер мыши на квадрат с крестиком и нажав (коротко) на левую кнопку мыши.

Нажмите мышью кнопку «СТАРТ». Внимательно рассмотрите картинку в средней части монитора. Найдите регуляторы с движками, задающие высоту h , начальную скорость V_0 и угол бросания α . Подведите маркер мыши к движку регулятора высоты, нажмите и удерживайте левую кнопку мыши, двигая мышь вниз. Движок регулятора будет двигаться за маркером мыши. Доведите его до положения, соответствующего высоте h , указанной в табл.1 для вашей бригады. Тем же методом «зацепив мышью и двигая движок регулятора» или щелкая мышью по стрелке на движке, установите значения угла бросания, указанные в табл.1 (см. ниже) для вашей бригады.

Найдите кнопку «Pause» на клавиатуре компьютера в верхнем ряду (справа). Будьте готовы быстро нажать ее. Нажмите мышью кнопку «Старт» внизу экрана и, когда МТ будет в верхней точке траектории (вертикальная компонента скорости V_y должна быть мала), остановите движение кнопкой «Pause» Запомните значение высоты, показанное справа. Для продолжения движения тела нужно нажать клавишу ПРОБЕЛ (самая длинная внизу на клавиатуре). Потренируйтесь, очищая экран (кнопка «Очистить» на экране), повторяя запуск (кнопка «Старт» на экране) и сравнивая полученные значения высоты.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

Приступайте к измерениям на первой траектории, записывая результаты пяти измерений координаты u_{\max} в таблицу 2, образец которой приведен ниже. Повторите измерения для четырех других траекторий, начальные параметры движения для которых указаны в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Начальные параметры траекторий (не перерисовывать)

Номер бригады	Начальная высота h,(м)	Начальный угол α ,(град)	Номер бригады	Начальная высота h,(м)	Начальный угол α ,(град)
1	10	60	5	10	45
2	30	60	6	30	45
3	50	60	7	50	45
4	65	60	8	65	45

Таблица 2. Результаты измерений

Номер измерения	Траектор. 1 $v_0 = 15$ (м/с)		Траектор. 2 $v_0 = 17$ (м/с)		Траектор. 3 $v_0 = 19$ (м/с)		Траектор. 4 $v_0 = 22$ (м/с)		Траектор. 5 $v_0 = 25$ (м/с)	
	u_{MAX}	Δu_{MAX}								
1										
2										
3										
4										
5										
< u_{MAX} >										
Абс.ошибкa										

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Вычислите и запишите в таблицу средние значения вертикальной координаты точки максимального подъема $\langle u_{MAX} \rangle$ и отклонения Δu_{MAX} измеренного значения от среднего.

Постройте график зависимости средних значений вертикальной координаты точки максимального подъема $\langle u_{MAX} \rangle$ от квадрата начальной скорости.

Определите по графику значение ускорения свободного падения g , используя формулу

$$g = \frac{1}{2} \sin^2(\alpha) \frac{\Delta(v_0^2)}{\Delta(y_{max})}$$

Вычислите ошибку среднего значения g .

Запишите ответ и проанализируйте ответ и график.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дайте определение материальной точки.
2. Как определяется положение материальной точки?
3. Дайте определение системы отсчета.
4. Что такое декартова система координат?
5. Дайте определение механического движения.
6. Что такое скорость материальной точки?
7. Как математически записывается быстрота изменения какой либо перемен-

- ной величины?
8. Дайте определение ускорения МТ?
 9. Что такое траектория движения МТ?
 10. Что такое закон движения?
 11. Запишите закон движения для движения МТ с постоянным ускорением.
 12. Запишите закон изменения скорости для движения МТ с постоянным ускорением.
 13. Дайте определение пути при произвольном движении МТ.
 14. Напишите формулу для вычисления пути при произвольном движении МТ.
 15. Дайте определение средней скорости. Напишите формулу для ее вычисления.
 16. Дайте определение тангенциального ускорения.
 17. Дайте определение нормального ускорения.
 18. Напишите формулу для вычисления величины полного ускорения по известным тангенциальному и нормальному ускорениям.
 19. Как движется МТ, если ускорение остается все время направленным вдоль скорости?
 20. Как движется МТ, если ускорение все время направлено против скорости?
 21. Как движется МТ, если ускорение все время остается направленным перпендикулярно скорости?
 22. Как движется МТ, если скорость все время направлена вдоль радиус-вектора?
 23. Как движется МТ, если скорость все время направлена против радиус-вектора?
 24. Как движется МТ, если скорость все время направлена перпендикулярно радиус-вектору?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

1_3. ДВИЖЕНИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННОЙ СИЛЫ

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике (Савельев, т.1, §8, 9, 13, 15, 17). Запустите программу PHYSICS\BOOKS.exe. Щелкайте левой кнопкой мыши на кнопке «↓» справа внизу, пока не появится кнопка «Наклонная плоскость». Нажмите ее и кнопку «Физика».

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- * Выбор физической модели для анализа движения тела.
- * Исследование движения тела с под действием постоянной силы.
- * Экспериментальное определение свойств сил трения покоя и движения.
- * Определение ускорения свободного падения на большой высоте над поверхностью Земли.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

ДИНАМИКА - часть механики, изучающая связь движения тела с причинами, которые его вызвали.

ДИНАМИЧЕСКИЕ характеристики это такие характеристики движения, быстрота изменения которых (производная по времени) пропорциональна определенной характеристике внешнего воздействия. Одной из динамических характеристик движения МТ является **ИМПУЛЬС** $\vec{p} = m\vec{v}$.

МАССА m есть количественная характеристика инертности тела.

ИНЕРТНОСТЬ есть свойство тела противиться попыткам изменить его состояние движения.

ДИНАМИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ для импульса (иногда его называют «уравнением движения тела» или «вторым законом Ньютона») $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_{\text{СУМ}}$. Словес-

ная формулировка: «быстрота изменения импульса определяется суммой всех сил, действующих на тело».

ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА есть следствие динамического уравнения для импульса тела с постоянной массой и имеет вид $m\vec{a} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i$.

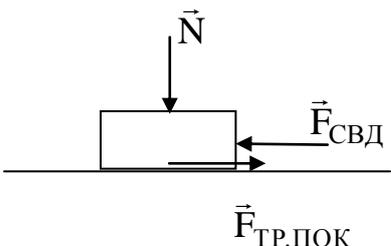
СИЛА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ возникает при соприкосновении двух поверхностей тел и наличии движения одной поверхности относительно другой.

СВОЙСТВА силы трения скольжения:

- направлена против скорости,
- не зависит от величины скорости,
- пропорциональна величине силы N , прижимающей по нормали одно тело к поверхности другого $|\vec{F}_{\text{ТР}}| = kN$.

СИЛА ТРЕНИЯ ПОКОЯ возникает при соприкосновении поверхностей двух тел и наличии составляющей силы, приложенной к одному из тел, направленной вдоль поверхностей и стремящейся вызвать движения (СВД) данного тела

вдоль поверхности другого.

 <p>Не изображены сила тяжести и сила реакции опоры (подумайте, где каждая приложена и как направлена)</p>	<p>СВОЙСТВА силы трения покоя</p> <ul style="list-style-type: none"> • направлена против составляющей силы СВД, • равна (до определенного порога) по величине составляющей силы СВД, • имеет максимальное значение, максимальное значение силы трения покоя пропорционально величине силы N, сжимающей поверхности по нормали $ \vec{F}_{\text{ТР.ПОК}}^{\text{max}} = kN.$
---	---

ЗАДАНИЕ: Выведите формулу для нормированного ускорения кубика (a/g) в данной ЛР и для ускорения свободного падения на большой высоте h над поверхностью Земли.

УКАЗАНИЯ: Выпишите формулу для второго закона Ньютона. Подставьте в нее все реальные силы, действующие на кубик. Спроектируйте полученное векторное уравнение на вертикальную и горизонтальную оси. Решите систему уравнений и, разделив слева и справа на mg , найдите нормированное ускорение.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок на экране монитора, найдите все регуляторы и другие основные элементы.

Зарисуйте поле движения тела с регуляторами соответствующих параметров (укажите, что они регулируют).

Щелкните мышью кнопку «Старт» в верхнем ряду кнопок.

Внимательно рассмотрите картинку на экране монитора. Нажав мышью, снимите крестик около метки «Фиксировать». Установите с помощью движков регуляторов

1. угол наклона плоскости, равный нулю,
2. значение внешней силы, равное нулю.
3. первое значение коэффициента трения, указанное в таблице 1 для вашей бригады.

Нажимая мышью на кнопку регулятора внешней силы на экране монитора, следите за движением синей точки на графике силы трения (справа вверху) и за поведением кубика. Потренируйтесь, устанавливая новое значение внешней силы после завершения движения кубика и снимая фиксацию (убирая крестик).

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

Приступайте к измерениям, начиная с положительных и малых (0.1 mg) значений внешней силы и изменяя ее на 0.1 mg . Силу трения определяйте по гра-

фику справа вверху экрана, а величину ускорения - наблюдая число, которое появляется на месте этого графика, когда он исчезает. Результаты измерений силы трения и ускорения записывайте в таблицу 2, образец которой приведен ниже. Повторите измерения для трех других коэффициентов трения, значения которых указаны в таблице 2.

Таблица 1. Значения коэффициентов трения покоя (не перерисовывать)

Номер бригады	μ_1	μ_2	μ_3	Номер бригады	μ_1	μ_2	μ_3
1	0.5	0.6	0.7	5	0.55	0.65	0.75
2	0.51	0.61	0.72	6	0.56	0.66	0.76
3	0.52	0.63	0.73	7	0.57	0.67	0.77
4	0.54	0.64	0.74	8	0.58	0.68	0.78

Таблица 2. Результаты измерений (количество измерений и строк = 10)

Номер измерения	$\mu_1 = \underline{\hspace{2cm}}$			$\mu_2 = \underline{\hspace{2cm}}$			$\mu_3 = \underline{\hspace{2cm}}$		
	F/mg	$F_{\text{ТР}}/\text{mg}$	a (м/с ²)	F/mg	$F_{\text{ТР}}/\text{mg}$	a (м/с ²)	F/mg	$F_{\text{ТР}}/\text{mg}$	a (м/с ²)
1	0.1								
2	0.2								
...									
$g(\text{м/с}^2)$									

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Постройте на одном чертеже графики зависимости силы трения от внешней силы и ускорения от внешней силы.

По наклону графика $a = f(F/\text{mg})$ определите значение g , используя формулу

$$g = \frac{\Delta(a)}{\Delta(F/\text{mg})}$$

Вычислите среднее значение g и абсолютную ошибку среднего значения g .

Вычислите высоту h над поверхностью Земли, на которой проводились эксперименты.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что изучает динамика?
2. Дайте определение динамической характеристики движения?
3. Что такое динамическое уравнение?
4. Что такое масса?
5. Что такое инертность?
6. Дайте определение импульса.
7. Сформулируйте свойство аддитивности импульса.
8. Напишите динамическое уравнение для импульса.
9. Что такое сила?
10. Сформулируйте принцип суперпозиции сил.

11. Что такое взаимодействие?
12. Сформулируйте третий закон Ньютона.
13. Сформулируйте условия, при которых ускорение прямо пропорционально силе.
14. Запишите формулу второго закона Ньютона при условии, что массу M можно считать постоянной.
15. Напишите формулу для вычисления скорости тела по заданной силе.
16. Напишите формулу для определения закона движения тела по заданной силе.
17. При каких условиях возникает сила трения скольжения?
18. Как направлена сила трения скольжения?
19. Напишите соотношение, определяющее величину силы трения скольжения.
20. Сформулируйте условия, при которых возникает сила трения покоя.
21. Как направлена сила трения покоя?
22. Чему равна величина силы трения покоя?
23. Напишите формулу, определяющую максимальное значение силы трения покоя.
24. Запишите формулу закона всемирного тяготения.
25. Запишите выражение для силы тяжести.
26. Выведите формулу для ускорения свободного падения на поверхности Земли g_0 .
27. Выведите формулу, связывающую ускорение свободного падения на высоте h над поверхностью Земли g с ускорением свободного падения на поверхности Земли g_0 .

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1_4. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике (Савельев, т.1, § 49, 50, 53, 58). Запустите программу PHYSICS\BOOKS.exe. Щелкайте мышью на кнопке «↓» справа внизу, пока не появится кнопка «Свободные и вынужденные колебания». Нажмите ее и кнопку «Физика». Прочитайте теорию на экране.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- * Выбор физических моделей для анализа движения тел.
- * Исследование движения тела под действием квазиупругой силы.
- * Экспериментальное определение зависимости частоты колебаний от параметров системы.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

КОЛЕБАНИЕ - периодически повторяющееся движения тела. **ПЕРИОД** T - минимальное время, через которое движение полностью повторяется.

ГАРМОНИЧЕСКОЕ КОЛЕБАНИЕ - движение, при котором координата тела меняется со временем по закону синуса или косинуса: $A = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$.

Основными характеристиками гармонических колебаний являются:

АМПЛИТУДА A_0 – максимальное значение параметра A .

ЦИКЛИЧЕСКАЯ ЧАСТОТА собственных колебаний ω_0 - в 2π раз большая обычной или линейной частоты $\nu = 1/T$ (ν - число полных колебаний за единицу времени).

ФАЗА $(\omega_0 t + \varphi_0)$ – значение аргумента косинуса.

НАЧАЛЬНАЯ ФАЗА φ_0 – значение аргумента косинуса при $t = 0$.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ свободных гармонических колебаний

параметра A : $\frac{d^2 A}{dt^2} + \omega_0^2 A = 0$, свободных затухающих колебаний:

$$\frac{d^2 A}{dt^2} + 2\beta \frac{dA}{dt} + \omega_0^2 A = 0, \text{ где } \beta - \text{коэффициент затухания.}$$

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК (ММ) и **ПРУЖИННЫЙ МАЯТНИК (ПМ)** это **МОДЕЛИ** объектов, в которых могут происходить гармонические колебания.

ММ это материальная точка, подвешенная на идеальной (невесомой и нерастяжимой) нити.

ПМ это материальная точка, прикрепленная к идеальной (невесомой и подчиняющейся закону Гука) пружине. Формулы для ω_0 в этих системах выпишите из конспекта или учебника.

ЗАДАНИЕ: Выведите формулу для циклической частоты свободных колебаний кубика на пружине, лежащего на горизонтальной абсолютно гладкой поверхности.

УКАЗАНИЯ: Выпишите формулу для второго закона Ньютона. Подставьте в

нее все реальные силы, действующие на кубик. Спроектируйте полученное векторное уравнение на вертикальную и горизонтальную оси. Проведя тождественные преобразования, получите уравнение, похожее на дифференциальное уравнение свободных колебаний. Константу, являющуюся множителем перед A , приравняйте к квадрату циклической частоты, откуда получите ω .

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок на экране монитора, найдите все регуляторы и другие основные элементы. Зарисуйте поле движения тела с регуляторами соответствующих параметров (укажите, что они регулируют).

Щелкните мышью кнопку «Старт» в верхнем ряду кнопок.

Нажав мышью, выберите эксперимент с математическим (гармоническим) маятником. Затем, нажимая последовательно кнопки «Содержание», «Свободные и вынужденные колебания», «Пружинный маятник» выберите эксперимент с пружинным маятником и сделайте то же самое.

ЭКСПЕРИМЕНТ 1.

Нажимайте последовательно кнопки «Содержание», «Свободные и вынужденные колебания», «Гармонический маятник». Установите с помощью движков регуляторов максимальную длину нити L и значения коэффициента затухания и начального угла, указанные в табл. 1 для вашей бригады.

Нажимая мышью на кнопку «СТАРТ» внизу на экране монитора, следите за построением графиков угла и скорости (справа вверху) и за поведением маятника. Потренируйтесь, останавливая движение кнопкой «Pause» на клавиатуре (верхний ряд, справа), и запуская далее клавишей пробел (самая длинная внизу клавиатуры). Измеряйте время (отрезок линейкой по оси Ox с учетом масштаба) и подсчитывайте число полных колебаний.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

Приступайте к измерениям длительности t для N (3-5) полных колебаний, начиная с максимальной длины (150 см) нити маятника и уменьшая ее каждый раз на 10 см (до минимальной длины 80 см). Длину нити L и результаты измерений длительности t записывайте в таблицу 2, образец которой приведен ниже.

ЭКСПЕРИМЕНТ 2

Нажмите кнопки «Содержание», «Свободные и вынужденные колебания» и «Груз на пружине». Установите максимальную массу груза, а также значение коэффициента затухания и начальное смещение, указанные в табл. 1 для вашей бригады. Проведите измерения, аналогичные эксперименту 1, уменьшая коэффициент жесткости k каждый раз на 1 Н/м.

Таблица 1. Значения коэффициента затухания (вязкого трения), начального угла отклонения (для первого эксперимента) и начального отклонения (для второго).

Номер бригады	β	α_0	X_0 (см)	Номер бригады	β	α_0	X_0 (см)
1	0.08	20	10	5	0.08	14	7
2	0.07	18	9	6	0.07	16	8
3	0.06	16	8	7	0.06	18	9
4	0.05	14	7	8	0.05	20	10

Таблица 2. Результаты измерений (количество измерений и строк = 8)

Номер измерения	N=			
	L(м)	t(с)	T(с)	$T^2(с^2)$
1	1.5			
2	1.4			
...				
$g(м/с^2)$				

Таблица 3. Результаты измерений (количество измерений и строк = 6)

Номер измерения	N=				
	k(Н/м)	t(с)	T(с)	$\omega(1/с)$	$\omega^2(1/с^2)$
1	5				
2	6				
...					

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Вычислите требуемые величины и заполнить таблицы 2 и 3.

Постройте графики зависимости

- квадрата периода колебаний от длины нити ММ,
- квадрата циклической частоты колебаний от жесткости пружины ПМ.

По наклону графика $T^2 = f(L)$ определите значение g , используя формулу $g = \frac{\Delta L}{\Delta(T^2)} \cdot 4\pi^2$. Оцените абсолютную ошибку определения g .

Проанализируйте ответ и графики.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое колебание?
2. Дайте определение периода колебаний.
3. Дайте определение частоты колебаний.
4. Дайте определение гармонических колебаний.
5. Запишите закон зависимости от времени характеристики А, совершающей гармоническое колебательное изменение.
6. Запишите закон движения МТ, совершающей гармонические колебания.
7. Дайте определение амплитуды гармонических колебаний.

8. Дайте определение фазы гармонических колебаний.
9. Дайте определение начальной фазы гармонических колебаний.
10. Напишите уравнение связи частоты и периода гармонических колебаний.
11. Напишите уравнение связи частоты и циклической частоты гармонических колебаний.
12. Напишите формулу зависимости скорости МТ от времени при гармонических колебаниях.
13. Напишите уравнения связи амплитуды скорости и амплитуды смещения при гармонических колебаниях МТ.
14. Напишите формулу зависимости ускорения МТ от времени при гармонических колебаниях.
15. Напишите уравнения связи амплитуды скорости и амплитуды ускорения при гармонических колебаниях МТ.
16. Напишите уравнения связи амплитуды смещения и амплитуды ускорения при гармонических колебаниях МТ.
17. Напишите дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний МТ.
18. Напишите дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний МТ.
19. Что определяет коэффициент затухания?
20. Дайте определение математического маятника.
21. Запишите формулу циклической частоты свободных колебаний математического маятника.
22. Дайте определение пружинного маятника.
23. Запишите формулу циклической частоты свободных колебаний пружинного маятника.
24. Какие процессы происходят при вынужденных колебаниях?
25. Что такое резонанс?
26. При каком затухании резонанс будет более резким?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1_5. УПРУГИЕ И НЕУПРУГИЕ УДАРЫ

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике (Савельев, т.1, § 27, 28). Запустите программу PHYSICS\BOOKS.exe. Щелкните левой кнопкой мыши, поместив ее маркер на кнопке «↓» справа внизу, пока не появится кнопка «Упругие и неупругие соударения». Нажмите ее и кнопку «Физика». Прочитайте теорию на экране.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- * Выбор физических моделей для анализа взаимодействия двух тел.
- * Исследование физических характеристик, сохраняющихся при столкновениях.
- * Экспериментальное определение зависимости тепловыделения при неупругом столкновении от соотношения масс при разных скоростях.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

СТОЛКНОВЕНИЕ (удар, соударение) - модель взаимодействия двух тел, длительность которого равна нулю (мгновенное событие). Применяется для описания реальных взаимодействий, длительностью которых можно пренебречь в условиях данной задачи.

АБСОЛЮТНО УПРУГИЙ УДАР - столкновение двух тел, после которого форма и размеры сталкивающихся тел восстанавливаются полностью до состояния, предшествовавшего столкновению. Суммарные импульс и кинетическая энергия системы из двух таких тел сохраняются (ПОСЛЕ столкновения такие же, какими были ДО столкновения):

$$\vec{p}_1^{\text{ПОСЛЕ}} + \vec{p}_2^{\text{ПОСЛЕ}} = \vec{p}_1^{\text{ДО}} + \vec{p}_2^{\text{ДО}}; \quad E_{K1}^{\text{ПОСЛЕ}} + E_{K2}^{\text{ПОСЛЕ}} = E_{K1}^{\text{ДО}} + E_{K2}^{\text{ДО}}.$$

АБСОЛЮТНО НЕУПРУГИЙ УДАР - столкновение двух тел, после которого форма и размеры тел не восстанавливаются, тела «слипаются» и движутся как одно целое с одной скоростью. Суммарный импульс двух неупруго сталкивающихся тел сохраняется, а кинетическая энергия становится меньше, так как часть энергии переходит в конечном итоге в тепловую;

$$\vec{p}_1^{\text{ПОСЛЕ}} + \vec{p}_2^{\text{ПОСЛЕ}} = \vec{p}_1^{\text{ДО}} + \vec{p}_2^{\text{ДО}}, \quad E_{K1}^{\text{ПОСЛЕ}} + E_{K2}^{\text{ПОСЛЕ}} = E_{K1}^{\text{ДО}} + E_{K2}^{\text{ДО}} - E_{\text{ТЕПЛ}}.$$

Используя определение импульса и определение абсолютно неупругого удара, преобразуем закон сохранения импульса, спроектировав его на ось OX, вдоль которой движутся тела, в следующее уравнение:

$$(m_1 + m_2) V_X^{\text{ПОСЛЕ}} = m_1 V_{1X}^{\text{ДО}} + m_2 V_{2X}^{\text{ДО}},$$

а закон для кинетической энергии преобразуем в такое уравнение:

$$E_{\text{ТЕПЛ}} = \frac{1}{2} [m_1 (V_{1X}^{\text{ДО}})^2 + m_2 (V_{2X}^{\text{ДО}})^2 - (m_1 + m_2) (V_X^{\text{ПОСЛЕ}})^2].$$

Помножив и разделив второе уравнение на $(m_1 + m_2)$, и используя первое уравнение, получим

$$E_{\text{ТЕПЛ}} = \frac{1}{2} [m_1(m_1+m_2)(V_{1X}^{\text{ДО}})^2 + m_2(m_1+m_2)(V_{2X}^{\text{ДО}})^2 - (m_1 V_{1X}^{\text{ДО}} + m_2 V_{2X}^{\text{ДО}})^2] / (m_1+m_2)$$

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ δ равна отношению

$$\delta = \frac{E_{\text{ТЕПЛ}}}{E_{K1}^{\text{ДО}} + E_{K2}^{\text{ДО}}} = \frac{m_1 m_2 (V_{1X}^{\text{ДО}} - V_{2X}^{\text{ДО}})^2}{(m_1 + m_2) [m_1 (V_{1X}^{\text{ДО}})^2 + m_2 (V_{2X}^{\text{ДО}})^2]} = \frac{(1 - \beta)^2}{(1 + \frac{1}{\xi}) [\xi + \beta^2]},$$

$$\text{где } \beta = \left(\frac{V_{2X}^{\text{ДО}}}{V_{1X}^{\text{ДО}}} \right); \xi = \frac{m_1}{m_2}.$$

ЗАДАНИЕ: Выведите формулу для относительной величины тепловой энергии в пределе:

1) $m_1 = m_2$ и 2) $V_{2X}^{\text{ДО}} = -V_{1X}^{\text{ДО}}$.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок на экране монитора, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект.

Щелкните мышью кнопку «Старт» в верхнем ряду кнопок.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ЭКСПЕРИМЕНТ 1. Исследование абсолютно упругого удара.

Нажмите кнопку «Упругий» справа внизу. Установите, нажимая мышью на кнопки регуляторов, значение массы первой тележки m_1 и ее начальную скорость $V_{1X}^{\text{ДО}}$, указанные в табл. 1 для вашей бригады. Для массы второй тележки выберите минимальное значение. Начальную скорость выберите равной 0.

Нажимая мышью на кнопку «СТАРТ» на экране монитора, следите за движением тележек, останавливая движение после первого столкновения кнопкой «Pause» на клавиатуре (верхний ряд, справа). Результаты измерений необходимых величин записывайте в таблицу 2, образец которой приведен ниже. Измените значение скорости второй тележки и повторите измерения. Когда возможные значения скорости будут исчерпаны, увеличьте массу второй тележки и повторите измерения, начиная с нулевой ее скорости.

ЭКСПЕРИМЕНТ 2. Исследование абсолютно неупругого удара

Нажмите кнопку «Неупругий» справа внизу. Установите, нажимая мышью на кнопки регуляторов, значение масс тележек и их начальные скорости, указанные в табл. 1 для вашей бригады. Проведите измерения, аналогичные эксперименту 1. Результаты запишите в таблицу 3, образец которой приведен ниже.

Таблица 1. Значения для первого и второго экспериментов (не перерисовывать).

Номер бригады	m_1 (кг)	$V_{1X}^{ДО}$ (м/с)	Номер бригады	m_1 (кг)	$V_{1X}^{ДО}$ (м/с)
1	1	1	5	3	1
2	1	2	6	3	2
3	2	1	7	1	-1
4	2	2	8	1	-2

Таблица 2. Результаты измерений и расчетов для абсолютно упругого удара (количество измерений и строк = 9)

Номер измерения	$m_1 = \text{---}, V_{1X}^{ДО} = \text{---}$					
	m_2 (кг)	$V_{2X}^{ДО}$ (м/с)	$V_{1X}^{ПОСЛЕ}$ (м/с)	$V_{2X}^{ПОСЛЕ}$ (м/с)	$E_K^{ДО}$ (Дж)	$E_K^{ПОСЛЕ}$ (Дж)
1	1	0				
2	1	-1				
...						

Таблица 3. Результаты измерений и расчетов для абсолютно неупругого удара (количество измерений и строк = 9)

Номер измерения	$m_1 = \text{---}, V_{1X}^{ДО} = \text{---}$								
	m_2 (кг)	$V_{2X}^{ДО}$ (м/с)	$V_X^{ПОСЛЕ}$ (м/с)	$E_K^{ДО}$ (Дж)	$E_K^{ПОСЛЕ}$ (Дж)	$\delta_{ИЗМ}$	$\delta_{РАСЧ}$	β	ξ
1	1	0							
2	1	-1							
...									

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Вычислите требуемые величины и заполните таблицы 2 и 3.

Постройте графики зависимостей относительного значения тепловой энергии δ

а) от отношения $\frac{\xi}{(1+\xi)^2}$ при $\beta = -1$ и

б) от отношения $\frac{(1-\beta)^2}{1+\beta^2}$ при $\xi = 1$.

Проанализируйте графики и сделайте выводы.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое удар (столкновение, соударение)?
2. Для какого взаимодействия двух тел можно применять модель столкновения?

3. Какое столкновение называют абсолютно неупругим?
4. Какое столкновение называют абсолютно упругим?
5. При каком столкновении выполняется закон сохранения импульса?
6. Дайте словесную формулировку закона сохранения импульса.
7. При каком столкновении выполняется закон сохранения кинетической энергии?
8. Дайте словесную формулировку закона сохранения кинетической энергии.
9. Дайте определение кинетической энергии.
10. Дайте определение потенциальной энергии.
11. Что такое полная механическая энергия.
12. Что такое замкнутая система тел?
13. Что такое изолированная система тел?
14. При каком столкновении выделяется тепловая энергия?
15. При каком столкновении форма тел восстанавливается?
16. При каком столкновении форма тел не восстанавливается?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1_6. СОУДАРЕНИЯ УПРУГИХ ШАРОВ

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике (Савельев, т.1, § 27, 28)
Запустите программу PHYSICS\BOOKS.exe (кнопки «Соударения шаров», «Физика»).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- * Выбор физических моделей для анализа взаимодействия двух шаров при столкновении.
- * Исследование физических характеристик, сохраняющихся при соударениях упругих шаров.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

Ознакомьтесь с текстом в Пособии и в программе компьютера (кнопка «Физика»). Законспектируйте следующий материал:

УДАР (СОУДАРЕНИЕ, СТОЛКНОВЕНИЕ) - модель взаимодействия двух тел, длительность которого равна нулю (мгновенное событие). Применяется для описания реальных взаимодействий, длительностью которых можно пренебречь в условиях данной задачи.

АБСОЛЮТНО УПРУГИЙ УДАР - столкновение двух тел, после которого форма и размеры сталкивающихся тел восстанавливаются полностью до состояния, предшествовавшего столкновению. Суммарные импульс и кинетическая энергия системы из двух таких тел сохраняются (ПОСЛЕ столкновения такие же, какими были ДО столкновения):

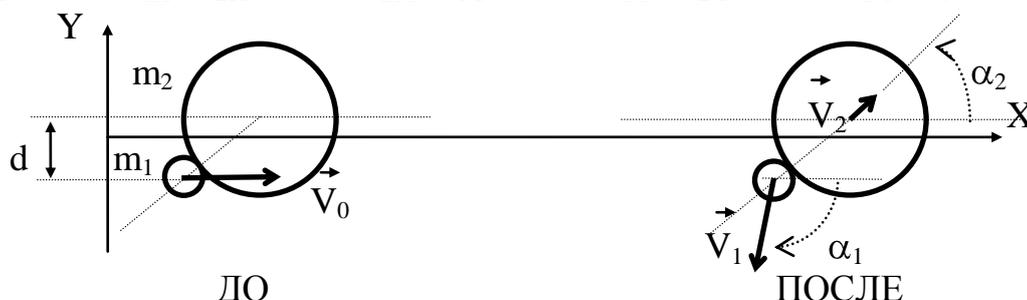
$$\vec{p}_1^{\text{ПОСЛЕ}} + \vec{p}_2^{\text{ПОСЛЕ}} = \vec{p}_1^{\text{ДО}} + \vec{p}_2^{\text{ДО}}; \quad E_{K1}^{\text{ПОСЛЕ}} + E_{K2}^{\text{ПОСЛЕ}} = E_{K1}^{\text{ДО}} + E_{K2}^{\text{ДО}}.$$

Пусть второй шар до удара покоится. Тогда, используя определение импульса и определение абсолютно упругого удара, преобразуем закон сохранения импульса, спроектировав его на ось OX, вдоль которой движется тело, и ось OY, перпендикулярную OX, в следующее уравнение:

$$m_1 v_{1X}^{\text{ПОСЛЕ}} + m_2 v_{2X}^{\text{ПОСЛЕ}} = m_1 v_1^{\text{ДО}}, \quad m_1 v_{1Y}^{\text{ПОСЛЕ}} + m_2 v_{2Y}^{\text{ПОСЛЕ}} = 0.$$

Далее изменим обозначения (для сокращения записи):

$$v_{1X}^{\text{ПОСЛЕ}} = v_{1X}; \quad v_{2X}^{\text{ПОСЛЕ}} = v_{2X}; \quad v_{1Y}^{\text{ПОСЛЕ}} = v_{1Y}; \quad v_{2Y}^{\text{ПОСЛЕ}} = v_{2Y}; \quad v_1^{\text{ДО}} = v_0.$$



ПРИЦЕЛЬНОЕ РАССТОЯНИЕ d есть расстояние между линией движения первого шара и параллельной ей линией, проходящей через центр второго шара. Законы сохранения для кинетической энергии и импульса преобразуем и получим:

$$(V_0^2 - V_1^2) = \frac{m_2}{m_1} V_2^2 \quad (1)$$

$$(V_0 - V_1 \cos \alpha_1) = \frac{m_2}{m_1} V_2 \cos \alpha_2 \quad (2)$$

$$V_1 \sin \alpha_1 = -\frac{m_2}{m_1} V_2 \sin \alpha_2 \quad (3)$$

ЗАДАНИЕ: Выведите формулы 1, 2 и 3

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок на экране монитора, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект.

Щелкните мышью кнопку «Старт» в верхнем ряду кнопок.

Рассмотрите картинку на экране. Установив прицельное расстояние $0 < d < R$ мышью нажмите кнопку «Старт» внизу экрана и наблюдайте процесс рассеяния при столкновении. Зарисуйте с экрана поле движения и все характеристики тел.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ:

Установите, двигая мышью движки регуляторов, массы шаров и начальную скорость первого шара (первое значение), указанные в табл. 1 для вашей бригады. Прицельное расстояние d выберите равным нулю. Нажимая мышью на кнопку «СТАРТ» на экране монитора, следите за движением шаров. Результаты измерений необходимых величин записывайте в таблицу 2, образец которой приведен ниже.

Измените значение прицельного расстояния d на минимальную величину ($0.1d/R$, где R - радиус второго шара) и повторите измерения.

Когда возможные значения d/R будут исчерпаны, увеличьте начальную скорость первого шара и повторите измерения, начиная с нулевого прицельного расстояния d . Результаты запишите в новую таблицу 3, аналогичную табл. 2.

Таблица 1. Массы шаров и начальные скорости (не перерисовывать).

Номер бригады	m_1 (кг)	m_2 (кг)	V_0 (м/с)	V_0 (м/с)
1	1	5	4	7
2	2	5	4	7
3	3	5	4	7
4	4	5	4	7

Номер бригады	m_1 (кг)	m_2 (кг)	V_0 (м/с)	V_0 (м/с)
5	1	4	5	8
6	2	4	5	8
7	3	4	5	8
8	4	4	5	8

Таблицы 2 и 3. Результаты измерений и расчетов (количество измерений и строк = 10)

$m_1 =$ (кг), $m_2 =$ (кг), $V_0 =$ (м/с), $(V_0)^2 =$ (м/с) ²											
№	d/R	V_1 м/с	V_2 м/с	α_1 град	α_2 град	$V_1 \cos \alpha_1$ м/с	$V_1 \sin \alpha_1$ м/с	$V_2 \cos \alpha_2$ м/с	$V_2 \sin \alpha_2$ м/с	V_1^2 (м/с) ²	V_2^2 (м/с) ²
1	0										
2	0.1										
...											

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Вычислите необходимые величины и заполните таблицы 2 и 3.

Постройте графики зависимостей (на трех рисунках)

- разности квадратов скоростей первого шара до и после удара как функция от квадрата скорости второго шара после удара $(V_0^2 - V_1^2) = f(V_2^2)$,
- разности проекций на ОХ скоростей первого шара до и после удара как функция от проекции на ОХ скорости второго шара после удара $(V_0 - V_1 \cos \alpha_1) = f(V_2 \cos \alpha_2)$,
- проекции на ОУ скорости первого шара после удара от проекции на ОУ скорости второго шара после удара $V_1 \sin \alpha_1 = f(V_2 \sin \alpha_2)$.

По каждому графику определите отношение масс m_2/m_1 шаров. Вычислите среднее значение этого отношения и абсолютную ошибку среднего.

Проанализируйте и сравните измеренные и заданные значения отношения масс.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое удар (столкновение)?
2. Для какого взаимодействия двух тел можно применять модель столкновения?
3. Какое столкновение называют абсолютно упругим?
4. При каком столкновении выполняется закон сохранения импульса?
5. Дайте словесную формулировку закона сохранения импульса.
6. При каких условиях сохраняется проекция суммарного импульса системы тел на некоторую ось.
7. При каком столкновении выполняется закон сохранения кинетической энергии?
8. Дайте словесную формулировку закона сохранения кинетической энергии.
9. Дайте определение кинетической энергии.
10. Дайте определение потенциальной энергии.
11. Что такое полная механическая энергия.
12. Что такое замкнутая система тел?
13. Что такое изолированная система тел?

14. При каком столкновении выделяется тепловая энергия?
15. При каком столкновении форма тел восстанавливается?
16. При каком столкновении форма тел не восстанавливается?
17. Что такое прицельное расстояние (параметр) при столкновении шаров?

РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ. ВОЛНЫ. ОПТИКА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

2_1. ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике (Савельев, т.2, §5, §73). Запустите программу PHYSICS\BOOKS.exe. Нажмите кнопку «Электр». Щелкните мышью на кнопке «↓» справа внизу, пока не появится кнопка, около которой надпись «Движение заряженной частицы в электрическом поле». Нажмите ее и затем кнопку «Физика».

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- * Знакомство с моделью процесса движения заряда в однородном электрическом поле.
- * Экспериментальное исследование закономерностей движения точечного заряда в однородном электрическом поле.
- * Экспериментальное определение величины удельного заряда частицы.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

Движение заряженных частиц в электрическом поле широко используется в современных электронных приборах, в частности в электронно-лучевых трубках с электростатической системой отклонения электронного пучка.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД есть величина, характеризующая способность объекта создавать электрическое поле и взаимодействовать с электрическим полем.

ТОЧЕЧНЫЙ ЗАРЯД это абстрактный объект (модель), имеющий вид материальной точки, несущей электрический заряд (заряженная МТ).

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ есть область пространства, в которой на заряженный объект действует сила, называемая электрической.

ОСНОВНЫМИ СВОЙСТВАМИ заряда являются

- аддитивность (суммируемость);
- инвариантность (одинаковость во всех инерциальных системах отсчета);
- дискретность (наличие элементарного заряда, обозначаемого e , и кратность любого заряда этому элементарному $q = Ne$, где N - любое целое положительное и отрицательное число);
- подчинение закону сохранения заряда (суммарный заряд электрически изолированной системы, через границы которой не могут проникать заряженные частицы, сохраняется);
- наличие положительных и отрицательных зарядов (заряд величина алгебраическая).

ЗАКОН КУЛОНА определяет силу взаимодействия двух точечных зарядов

$\vec{F}_{12} = -\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{e}_{12}$, где \vec{e}_{12} - единичный вектор, направленный от первого заряда

да q_1 ко второму q_2 .

НАПРЯЖЕННОСТЬЮ называется векторная характеристика поля, численно равная отношению силы $\vec{F}_{ЭЛ}$, действующей на точечный заряд, к величине q

этого заряда: $\vec{E} = \frac{\vec{F}_{ЭЛ}}{q}$.

Если задана напряженность электрического поля, тогда сила, действующая на заряд, будет определяться формулой $\vec{F}_{ЭЛ} = q\vec{E}$.

ОДНОРОДНЫМ называется поле, напряженность которого во всех точках одинакова как по величине, так и по направлению. Сила, действующая на заряженную частицу в однородном поле, везде одинакова, поэтому неизменным будет и ускорение частицы, определяемое вторым законом Ньютона (при малых скоростях движения $V \ll c$, где c - скорость света в вакууме):

$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{ЭЛ}}{m} = \frac{q}{m} \vec{E} = \text{const}$. Тогда $Y = \frac{at_{ДВ}^2}{2} = \frac{1}{2} \frac{q}{m} E \left(\frac{L}{V_{0X}} \right)^2$, и

$V_Y = at_{ДВ} = \frac{q}{m} E \frac{L}{V_{0X}}$, где Y - смещение частицы по вертикали и V_Y - вертикальная компонента скорости в момент времени, когда частица вылетает из конденсатора .

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок на экране монитора, найдите все регуляторы и другие основные элементы.

Нажмите мышью кнопку «Старт» вверху экрана. Зарисуйте с экрана поле эксперимента и траекторию движения частицы при горизонтальном расположении начальной скорости (для управления положением и величиной начальной скорости нажмите мышью кнопку «Начал. скорость», подведите маркер мыши к концу синего вектора, нажмите левую кнопку мыши и, удерживая ее, перемещайте маркером конец вектора V_0 , следя за числовыми значениями его проекции V_X и V_Y). Для начала процесса движения нажмите мышью нижнюю кнопку «Старт». Аналогичным способом измените величину напряженности поля (кнопка «Напряженность E » и вектор E в средней части экрана). Наблюдайте движение частицы.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ:

Нажмите мышью кнопку «Напряженность E ». Подведите маркер мыши к концу вектора E , расположенного в средней части плоского конденсатора, нажмите левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом состоянии меняйте длину вектора E , установив числовое значение равным взятому из таблицы 1 для вашей бригады.

Нажмите кнопку «Начал скорость» и, зацепив мышью конец вектора начальной скорости, установите $V_{0X} = 50$ Мм/с, $V_{0Y} = 0$. Нажав кнопку «Старт», наблюдайте движение частицы. Увеличивая V_{0X} , подберите минимальное значение, при котором частица вылетает из конденсатора. Запишите значение длины пластин конденсатора L .

Проведите измерения параметров движения частицы в момент вылета из конденсатора. Для этого нажмите кнопку «Старт» и в момент вылета частицы из конденсатора нажмите клавишу «Pause» на клавиатуре компьютера. Запишите числовые значения с экрана в таблицу 2. После записи всех результатов нажмите «Пробел» на клавиатуре компьютера.

Повторите измерения по п.3 еще 6 раз, каждый раз увеличивая V_{0X} на 5 Мм/с. Результаты записывайте в таблицу 2.

ТАБЛИЦА 1. Значения напряженности электрического поля (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
E [В/м]	3100	3000	2900	2800	2700	2600	2500	2400

ТАБЛИЦА 2. Результаты измерений при E = _____ В/м, L = _____ м.

V_{0X} [Мм/с]							
Y [мм]							
X [мм]							
$t_{дв}$ [нс]							
V_X [Мм/с]							
V_Y [Мм/с]							

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Постройте на отдельных листах графики экспериментальных зависимостей

- вертикального смещения на вылете из конденсатора (Y) от квадрата обратной начальной скорости $(1/V_{0X})^2$,
- вертикальной составляющей скорости V_Y на вылете из конденсатора от обратной начальной скорости $(1/V_{0X})$.

Для каждого графика определите по его наклону экспериментальное значение удельного заряда частицы, используя формулы $\frac{q}{m} = \frac{2}{EL^2} \frac{\Delta(Y)}{\Delta(\frac{1}{V_{0X}^2})}$ для

первого и $\frac{q}{m} = \frac{1}{EL} \frac{\Delta(V_Y)}{\Delta(\frac{1}{V_{0X}})}$ для второго.

Рассчитайте среднее значение экспериментально полученного удельного заряда частицы.

Запишите ответ. Сформулируйте выводы по ответу и графикам.

Табличное значение удельного заряда электрона $e/m = 1.76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дайте определение электрического заряда.
2. Выберите, к какому классу характеристик относится электрический заряд
 - характеристика движения,
 - характеристика воздействия ,
 - характеристика объекта.
3. Перечислите все свойства заряда.
4. Сформулируйте свойство дискретности заряда.
5. Сформулируйте свойство аддитивности заряда.
6. Сформулируйте свойство инвариантности заряда.
7. Напишите закон Кулона для силы взаимодействия двух неподвижных зарядов.
8. Дайте определение электростатического (электрического) поля.
9. Дайте определение напряженности электрического поля.
10. Напишите формулу, определяющую напряженность электрического поля.
11. Напишите формулу, определяющую электрическую силу, действующую на точечный заряд в электрическом поле с заданной напряженностью.
12. Напишите формулу для напряженности электрического поля точечного заряда, расположенного в начале координат.
13. Сформулируйте принцип суперпозиции для электрического поля
14. Дайте определение потенциала электрического поля.
15. Напишите формулу для потенциала электрического поля точечного заряда, расположенного в начале координат.
16. Какое поле называется однородным?
17. Что такое конденсатор?
18. Напишите формулу емкости плоского конденсатора.
19. Какое поле существует между пластинами плоского конденсатора?
20. Какую форму имеет траектория движения электрона между пластинами плоского конденсатора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2_2. ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике (Савельев, т.2, §§34-36). Запустите программу PHYSICS\BOOKS.exe. Нажмите кнопки «Электр», «Электрические цепи», «Физика».

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- * Знакомство с компьютерным моделированием цепей постоянного тока.
- * Экспериментальное подтверждение законов Ома и Кирхгофа.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ (СИЛЫ) ТОКА $I = \frac{dq}{dt}$.

ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ: величина (сила) тока, текущего по однородному (в смысле отсутствия сторонних сил) металлическому проводнику, пропорциональна падению напряжения U на проводнике $I = \frac{1}{R} U$, где R - со-

противление проводника.

РЕЗИСТОРОМ называется устройство, обладающее заданным постоянным сопротивлением.

НАПРЯЖЕНИЕ НА РЕЗИСТОРЕ $U_R = IR$.

ЗАКОН ОМА ДЛЯ НЕОДНОРОДНОГО УЧАСТКА ЦЕПИ

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + E_{12}}{R}, \text{ где } \varphi_1 \text{ и } \varphi_2 - \text{ потенциалы концов участка } E_{12} - \text{ э.д.с., дейст-}$$

вующая на данном участке цепи.

ЗАКОН ОМА ДЛЯ ЗАМКНУТОЙ ЦЕПИ $I = \frac{E}{R}$, где E - суммарная э.д.с., дей-

ствующая в цепи, R - суммарное сопротивление всей цепи.

РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПЬЮ называется электрическая цепь, имеющая узлы.

УЗЛОМ называется точка, в которой сходится более чем два проводника. Ток, текущий к узлу, принято считать положительным, а ток, текущих от узла, считается отрицательным.

ПЕРВОЕ ПРАВИЛО КИРХГОФА: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю $\sum I_k = 0$.

ВТОРОЕ ПРАВИЛО КИРХГОФА: в каждом из замкнутых контуров, которые можно мысленно выделить в данной разветвленной цепи, алгебраическая сумма падений напряжения равна алгебраической сумме э.д.с.

$$\sum I_k R_k = \sum E_k.$$

При анализе разветвленной цепи следует обозначать с одним индексом ток, протекающий по всем последовательно соединенным элементам от одного узла до другого. Направление каждого тока выбирается произвольно.

При составлении уравнений второго правила Кирхгофа токам и э.д.с. нужно

приписывать знаки в соответствии с выбранным (как вам удобно) НАПРАВЛЕНИЕМ ОБХОДА:

- ток принято считать положительным, если он совпадает с направлением обхода, и отрицательным, если он направлен против этого направления;
- э.д.с. считается положительной, если ее действие (создаваемый ею ток) совпадает с направлением обхода.

КОЛИЧЕСТВО УРАВНЕНИЙ первого правила Кирхгофа должно быть на одно меньше количества узлов в данной цепи. Количество независимых уравнений второго правила Кирхгофа должно быть таким, чтобы общее количество уравнений оказалось равным количеству различных токов. Каждый новый контур при этом должен содержать хотя бы один участок цепи, не вошедший в уже рассмотренные контуры.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

В данной лабораторной работе исследуется модель простейшей разветвленной электрической цепи, состоящей из трех источников э.д.с., подключенных параллельно к одному резистору (нагрузке).

Внимательно рассмотрите рисунок на экране монитора, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект.

Нарисуйте в конспекте эквивалентную схему цепи, расположив источники один под другим и учитывая наличие внутреннего сопротивления у каждого источника. Укажите знаки э.д.с., направления токов в каждом участке и направления обхода каждого замкнутого контура. Составьте систему уравнений для нахождения токов в каждом участке.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ:

Соберите на экране заданную эквивалентную цепь. Для этого сначала нажмите мышью кнопку э.д.с. в правой части экрана. Переместите маркер мыши на левую рабочую часть экрана, где расположены точки. Щелкните левой кнопкой мыши в верхней части экрана, где будет расположен первый источник э.д.с. Переместите маркер мыши вниз на одну клетку и снова щелкните левой кнопкой под тем местом, где расположился первый источник. Там появится второй источник э.д.с. Аналогично разместите и третий источник.

Разместите далее последовательно с каждым источником резистор, изображающий его внутреннее сопротивление (нажав предварительно кнопку R в правой части экрана) и амперметр (кнопка A там же). Под всеми источниками расположите резистор нагрузки и последовательно соединенный с ним амперметр. Под нагрузкой расположите вольтметр, измеряющий напряжение на нагрузке.

Подключите соединительные провода. Для этого нажмите кнопку провода в правой части экрана, после чего переместите маркер мыши в рабочую зону схемы. Щелкните левой кнопкой мыши в точке, где начинается провод, затем

правой кнопкой мыши в точке, где он заканчивается.

Установите значения параметров для каждого элемента. Для этого щелкните левой кнопкой мыши на данном элементе. Подведите маркер мыши к движку появившегося регулятора, нажмите на левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом состоянии, меняйте величину параметра и установите числовое значение, равное взятому из таблицы 1 для вашей бригады.

Установите сопротивления резистора нагрузки $R = 1 \text{ Ом}$. Измерьте значения всех токов (щелкая мышью по соответствующему амперметру в цепи) и напряжение на нагрузке (щелкнув по вольтметру) и запишите их в таблицу 2. Меняя сопротивление R , повторите измерения параметров и заполните таблицу 2.

Таблица 1. Значения э.д.с. и внутреннего сопротивления источников (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
E_1, E_2, E_3 [В]	3,7,-2	4,-3,-8	3,6,-4	6,-2,-8	-6,5,8	5,8,-4	-4,6,-7	8,-4,6
R_1, R_2, R_3 [Ом]	2,1,1	1,3,1	2,1,2	1,1,2	2,1,1	1,2,1	1,1,2	1,3,1

Таблица 2. Результаты измерений

R[Ом]	I_1 [А]	I_2 [А]	I_3 [А]	I [А]	U [В]
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Таблица 3. Результаты расчета

I_1 [А]	I_2 [А]	I_3 [А]	I [А]

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Запишите для вашей цепи решение системы уравнений для всех токов в общем виде.

Рассчитайте значения всех токов для каждого сопротивления нагрузки и запишите в таблицу 3.

Постройте график экспериментальной зависимости падения напряжения на нагрузке U от тока I через нее.

Сформулируйте выводы по графику.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое электрический ток?
2. Дайте определение величины (силы) тока.
3. Дайте определение разности потенциалов (напряжения).
4. Напишите формулу, связывающую приращение потенциалов и напряже-

ние.

5. Что такое резистор?
6. Напишите формулу для сопротивления последовательно соединенных резисторов.
7. Напишите формулу для сопротивления параллельно соединенных резисторов.
8. Напишите закон Ома для участка цепи. Сравните его с законом Ома в дифференциальной (локальной) форме.
9. Какой участок цепи называется неоднородным?
10. Запишите закон Ома для неоднородного участка цепи.
11. Какими характеристиками описывается источник ЭДС?
12. Сформулируйте первый закон Кирхгофа. Какое свойство заряда он отражает?
13. Запишите формулу для первого закона Кирхгофа.
14. Сформулируйте второй закон Кирхгофа.
15. Запишите формулу для второго закона Кирхгофа.
16. Что такое узел электрической цепи?
17. Что такое полная электрическая цепь?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2_3. СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В КОНТУРЕ

Ознакомьтесь с теорией в конспекте, учебнике (Савельев, т.2, §89, §90) и в программе PHYSICS\BOOKS.exe компьютера (кнопки «Электр», «Колебательный контур», «Физика»).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- * Знакомство с компьютерной моделью процесса свободных затухающих колебаний в электрическом колебательном контуре.
- * Экспериментальное исследование закономерностей свободных затухающих колебаний.
- * Экспериментальное определение величины индуктивности контура.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

КОЛЕБАТЕЛЬНЫМ КОНТУРОМ называется замкнутая цепь, содержащая катушку индуктивности с индуктивностью L и конденсатор с емкостью C . Если в цепи нет активного сопротивления R (резистора), то в контуре возможны гармонические (незатухающие) колебания тока I , заряда конденсатора q и напряжения на элементах.

НАПРЯЖЕНИЕ НА КОНДЕНСАТОРЕ $U_c = \frac{q}{C}$.

ЭДС самоиндукции в катушке $\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$.

НАПРЯЖЕНИЕ НА РЕЗИСТОРЕ $U_R = IR$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА $I = \frac{dq}{dt}$.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ свободных незатухающих колебаний

$\frac{d^2q}{dt^2} + \omega_0^2 q = 0$, где $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ - СОБСТВЕННАЯ ЧАСТОТА контура .

ПЕРИОД $T = 2\pi \sqrt{LC}$.

Его решение $q(t) = q_v \cos(\omega_0 t + \alpha)$, где α - начальная фаза.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ свободных затухающих колебаний

$\frac{d^2q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0$, где $\beta = \frac{R}{2L}$ - коэффициент затухания.

Его решение $q(t) = q_{v0} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha)$, где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ - частота затухающих колебаний..

ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ ЗАТУХАНИЯ в контуре τ есть время, за которое амплитуда колебаний уменьшается в $e = 2.73$ раз. На графике зависимости амплитуды затухающих колебаний от времени касательная, проведенная к этому графику в начальный момент времени, пересекает ось времени в точке $t = \tau$.



ЛОГАРИФМИЧЕСКИМ ДЕКРЕМЕНТНОМ ЗАТУХАНИЯ называется величина, определяемая формулой $\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T$. ДОБРОТНОСТЬ контура

равна $Q = \frac{\pi}{\lambda}$.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок на экране монитора, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект.

Щелкните мышью кнопку «Старт» в верхнем ряду кнопок. Рассмотрите изображение на экране.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ:

Нажмите мышью кнопку «Выбор». Подведите маркер мыши к конденсатору С на схеме слева на экране, нажмите коротко на левую кнопку мыши. Подведите маркер мыши к движку регулятора, нажмите на левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом состоянии, меняйте величину емкости конденсатора и установите числовое значение, равное взятому из таблицы 1 для вашей бригады. Аналогичным способом установите величину индуктивности в соответствии с таблицей 1.

Установите сопротивление резистора $R = 1$ Ом. Нажав кнопку «Старт», наблюдайте график зависимости напряжения на конденсаторе от времени. Измерьте линейкой значения первых шести амплитуд и запишите их в таблицу 1. Меняя сопротивление R , повторите измерения амплитуд и заполните таблицу 2.

ТАБЛИЦА 1. Значения емкости конденсатора и индуктивности катушки (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
C [мкФ]	10	13	16	19	10	13	16	19
L[мГн]	36	25	16	10	25	36	10	16

**ТАБЛИЦА 2. Результаты измерений при $C = \underline{\hspace{1cm}}$ мкФ, $L = \underline{\hspace{1cm}}$ мГн,
 $T = \underline{\hspace{1cm}}$ мс.**

R Ом	A ₁ мм	A ₂ мм	A ₃ мм	A ₄ мм	A ₅ мм	A ₆ мм	τ мс	β с ⁻¹
1								
2								
3								
4								
5								
6								
t [мс]								

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Рассчитайте значения периода колебаний и запишите в заголовке табл. 2.

Рассчитайте время t , при котором измерена соответствующая амплитуда и запишите в таблицу 2.

Постройте на одном чертеже графики экспериментальных зависимостей амплитуды колебания A от времени t (6 линий, соответствующих разным R).

Для каждого графика постройте касательную к нему в начальный момент времени. Продолжив касательную до пересечения с осью времени, определите экспериментальное значение постоянной времени затухания τ , и запишите в таблицу 2.

Рассчитайте величины коэффициента затухания $\beta = 1/\tau$ и также внесите в таблицу 2.

Постройте график зависимости коэффициента затухания от сопротивления резистора.

По графику $\beta(R)$ определите индуктивность контура, используя формулу

$$L = \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{\Delta \beta}.$$

Запишите ответ и сформулируйте выводы по ответу и графикам.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое колебательный контур?
2. Каковы электрические характеристики резистора, конденсатора, катушки?
3. Дайте определение гармонических колебаний.
4. Что такое период колебания?
5. Какая физическая величина испытывает колебания в колебательном контуре?
6. Напишите формулу для напряжения на конденсаторе.
7. Напишите формулу для напряжения на катушке индуктивности. Какое другое название она имеет?
8. Напишите формулу для напряжения на резисторе. Какое другое название

она имеет?

9. Какие законы выполняются для тока и напряжения на отдельных элементах в колебательном контуре?
10. Сформулируйте и запишите в виде формулы закон электромагнитной индукции в общем виде.
11. Сформулируйте и запишите в виде формулы закон электромагнитной индукции для проводящего контура.
12. Сформулируйте и запишите в виде формулы закон самоиндукции.
13. Запишите дифференциальное уравнение для заряда на конденсаторе в контуре, где существуют свободные гармонические колебания.
14. Запишите дифференциальное уравнение для заряда на конденсаторе в контуре, где существуют свободные затухающие колебания.
15. Напишите формулу циклической частоты свободных гармонических колебаний в контуре.
16. Напишите формулу зависимости заряда на конденсаторе от времени при свободных гармонических колебаниях в контуре.
17. Напишите формулу циклической частоты свободных затухающих колебаний в контуре.
18. Напишите формулу зависимости заряда на конденсаторе от времени при свободных затухающих колебаниях в контуре.
19. Напишите формулу для коэффициента затухания.
20. Дайте определение постоянной времени затухания.
21. Напишите формулу логарифмического декремента затухания. Что он характеризует?
22. Напишите формулу связи логарифмического декремента затухания с коэффициентом затухания.
23. Напишите формулу для добротности контура. Что определяет добротность?
24. Нарисуйте зависимость заряда на конденсаторе от времени при свободных затухающих колебаниях в контуре. Покажите на рисунке, как определяется графически постоянная времени затухания.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

2_4. ДИФРАКЦИЯ И ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ

Ознакомьтесь с теорией в конспекте, учебнике (Савельев, т.2, §119,125-127,129,130) и в программе PHYSICS\BOOKS.exe компьютера (кнопки «Оптика», «Интерференция», «Физика»).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

* Знакомство с моделированием процесса сложения когерентных электромагнитных волн.

* Экспериментальное исследование закономерностей взаимодействия световых волн от двух источников (щелей).

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

Между ДИФРАКЦИЕЙ и ИНТЕРФЕРЕНЦИЕЙ нет существенных физических различий. Оба явления заключаются в перераспределении в пространстве энергии светового потока, возникающем в результате суперпозиции волн.

КОГЕРЕНТНОСТЬЮ называется согласованное протекание нескольких колебательных или волновых процессов.

КОГЕРЕНТНЫМИ называются волны, для которых разность фаз возбуждаемых ими колебаний остается постоянной во времени. Когерентными являются гармонические волны с кратными частотами.

ИНТЕРФЕРЕНЦИЕЙ называется устойчивое перераспределение интенсивности, возникающее в результате суперпозиции волн, возбуждаемых конечным количеством дискретных когерентных источников волн.

ДИФРАКЦИЕЙ называется устойчивое перераспределение интенсивности, возникающее в результате суперпозиции волн, возбуждаемых расположенными непрерывно когерентными источниками волн. Одним из проявлений дифракции является распространение волны в область геометрической тени, т.е. туда, куда не попадают световые лучи.

ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА: каждый элемент волновой поверхности является источником вторичной сферической волны, а волна в любой точке перед этой поверхностью (с другой стороны от поверхности, нежели реальный источник волны) может быть найдена как результат суперпозиции волн, излучаемых указанными вторичными источниками.

ЗОНАМИ ФРЕНЕЛЯ называются такие участки на поверхности волнового фронта, для которых излучение от двух соседних участков при сложении дает практически нулевой (минимальный) результат (излучение от двух соседних зон Френеля компенсируется). Расстояния от краев каждой зоны до точки наблюдения отличаются на $\lambda/2$.

Величина напряженности электрического поля dE электромагнитной волны (ЭМВ), излучаемой элементарным участком площадью dS волновой поверхности в точке наблюдения, расположенной на расстоянии r от этого участка,

равна $dE = K \frac{a_0 dS}{r} \cos(\omega t - kr + \alpha_0)$, где множитель a_0 определяется амплитудой

дой светового колебания в том месте, где расположена площадка dS , коэффициент K зависит от угла между нормалью к площадке dS и направлением на точку наблюдения, $k = 2\pi/\lambda$ - волновое число.

Аналогичная формула будет справедлива для любого точечного источника гармонической волны.

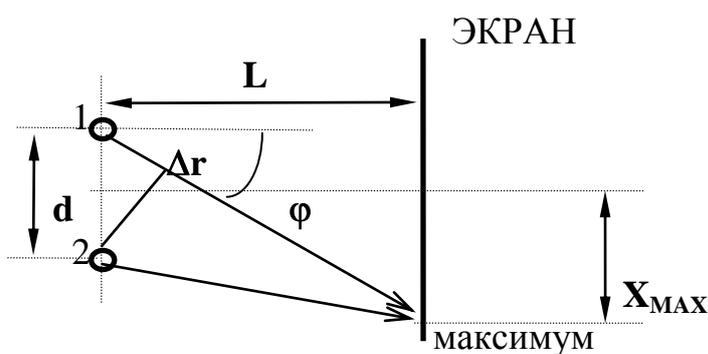
Для двух точечных источников (см. рисунок), расположенных на расстоянии d друг от друга на линии, параллельной экрану, отстоящему от линии источников (1 и 2) на расстоянии L , максимум при интерференции волн на экране наблюдается при условии, что разность хода Δr волн, приходящих в данную точку, кратна длине волны: $\Delta r = m\lambda$ ($m=0,1,2,\dots$).

Формула связи $d \sin(\varphi) = m\lambda$ для первого максимума и при большом расстоянии до экрана $L \gg d$, когда

$$\sin(\varphi) \approx \text{tg}(\varphi) \approx \frac{X_{\text{MAX}}}{L},$$

преобразуется так:

$$\frac{X_{\text{MAX}}d}{L} = \lambda, \text{ откуда } X_{\text{MAX}} = \lambda L \frac{1}{d}.$$



МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок на экране монитора, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект.

Щелкните мышью кнопку «Старт» в верхнем ряду кнопок. Рассмотрите изображение на экране.

Зарисуйте необходимое с экрана в свой конспект лабораторной работы.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ:

Подведите маркер мыши к вертикальной черте на линии спектра, нажмите левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом состоянии, двигайте вертикальную полосу, установив числовое значение длины волны λ_1 , взятое из таблицы 1 для вашей бригады.

Аналогичным образом, зацепив мышью движок регулятора расстояния между щелями, установите минимальное значение $d = 1$ мм. Измерьте, используя шкалу на экране, расстояние X_{MAX} между нулевым и первым максимумами и запишите в таблицу 2. Увеличивая d каждый раз на 0.3 мм, измерьте еще 9 значений расстояния X_{MAX} .

Устанавливая новые числовые значения длины волны λ , из таблицы 1 для вашей бригады, повторите измерения по п.2, записывая результаты в таблицы 3,4,5.

ТАБЛИЦА 1. Примерные значения длины волны (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
λ_1	400	405	410	415	420	425	430	435
λ_2	500	505	510	515	520	525	530	535
λ_3	580	585	590	595	600	605	610	615
λ_4	630	635	640	645	650	655	660	665

ТАБЛИЦЫ 2-5. Результаты измерений при $\lambda = \underline{\hspace{1cm}}$ нм

d[мм]									
X_{MAX} [мм]									
$1/X_{\text{MAX}}$ [мм ⁻¹]									

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Рассчитайте и внесите в таблицы значения обратного расстояния между щелями.

Постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей смещения первого максимума X_{MAX} от обратного расстояния между щелями (указав на них длину волны λ).

Для каждой линии определите по графику экспериментальное значение произведения λL , используя формулу $\lambda L = \frac{\Delta(X_{\text{MAX}})}{\Delta(\frac{1}{d})}$.

Рассчитайте среднее значение экспериментально полученного произведения λL и абсолютную ошибку измерений данного произведения.

Запишите ответ и проанализируйте ответы и графики.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое волна?
2. Что такое гармоническая волна?
3. Что такое длина волны?
4. Напишите математическое условие того, что функция $f(x,t)$ описывает волну.
5. Что определяет форму волны и направление ее распространения?
6. Напишите математическую функцию, определяющую одномерную гармоническую волну, распространяющуюся в положительном направлении оси Ox .
7. Что такое когерентность?
8. Дайте определение когерентных волн.
9. Дайте определение явления интерференции.
10. Дайте определение явления дифракции.
11. Что такое волновая поверхность?
12. Сформулируйте принцип Гюйгенса.
13. Дайте определение зон Френеля.
14. Напишите формулу для напряженности электрического поля dE электромагнитной волны (ЭМВ), излучаемой элементарным участком площадью dS волновой поверхности в точке наблюдения, расположенной на расстоянии r от этого участка. Поясните рисунком.
15. Что такое разность хода двух гармонических волн, излучаемых двумя источниками.
16. При какой разности хода двух волн при их сложении наблюдается максимум?
17. При какой разности хода двух волн при их сложении наблюдается минимум?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2_5. ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА

Ознакомьтесь с теорией в конспекте, учебнике (Савельев, т.2, §129,130) и в программе PHYSICS\BOOKS.exe компьютера (кнопки «Оптика», «Дифракционная решетка», «Физика»).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

* Знакомство с моделированием процесса сложения когерентных электромагнитных волн.

* Экспериментальное исследование закономерностей взаимодействия световых волн с периодической структурой (дифракционной решеткой).

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

Зарисуйте с экрана компьютера то, что расположено в трех прямоугольных рамках.

ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКОЙ называется совокупность большого числа N одинаковых, отстоящих друг от друга на одно и то же расстояние, прямоугольных щелей в плоском непрозрачном экране.

ПЕРИОДОМ (постоянной) дифракционной решетки называется расстояние d между серединами соседних щелей или сумма ширины щели b и ширины непрозрачного участка a .

При анализе излучения, проходящего через решетку, обычно используют линзу и экран, расположенный в фокальной плоскости линзы на расстоянии L от нее. Линза собирает параллельные лучи в одну точку на экране. Положение X точки на экране зависит от угла падения θ лучей на линзу: $X = L \sin(\theta)$. Для очень малых углов $\sin(\theta) = \theta$ и $X = \theta L$.

РАЗНОСТЬ ХОДА лучей от соседних щелей $\Delta = d \sin(\theta)$.

РАЗНОСТЬ ФАЗ лучей от соседних щелей $\delta = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\theta)$.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ, идущего от решетки под углом θ :

$$I_{\text{РЕШ}} = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b \sin\theta}{\lambda}\right)}{\left(\frac{\pi b \sin\theta}{\lambda}\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{N\pi d \sin\theta}{\lambda}\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi d \sin\theta}{\lambda}\right)},$$

где I_0 - интенсивность, создаваемая одной щелью против центра линзы, b - ширина щели. Первый множитель обращается в 0 в точках, для которых $b \sin(\theta_k) = \pm k\lambda$ ($k = 1, 2, \dots$). Второй множитель принимает значение N^2 в точках, удовлетворяющих условию $d \sin(\theta_m) = \pm m\lambda$ ($m = 0, 1, 2, \dots$). Последнее условие определяет положение **ГЛАВНЫХ МАКСИМУМОВ** излучения, а m называется порядком максимума. Интенсивность в главном максимуме преобразуем, раскладывая синус в ряд и ограничиваясь первыми двумя членами разложения:

$$I_m = N^2 I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b \sin \theta_m}{\lambda}\right)}{\left(\frac{\pi b \sin \theta_m}{\lambda}\right)^2} = I_{0N} \frac{\sin^2\left(m\pi \frac{b}{d}\right)}{\left(m\pi \frac{b}{d}\right)^2} = I_{0N} \left[1 - \frac{1}{6} \left(m\pi \frac{b}{d}\right)^2\right]^2.$$

Обозначим $R_m = \frac{I_m}{I_{0N}}$.

Отношение R_m интенсивности в m -том максимуме к интенсивности в нулевом максимуме называется «относительной интенсивностью m -того максимума».

Формулу $\sqrt{R_m} = 1 - \frac{1}{6} \left(m\pi \frac{b}{d}\right)^2$ можно проверить экспериментально и из соответствующего графика получить ширину щели.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок на экране монитора, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект.

Щелкните мышью кнопку «Старт» в верхнем ряду кнопок. Рассмотрите изображение на экране.

При включении программы моделирования автоматически устанавливаются следующие параметры: порядок максимума $m=1$, минимальная длина волны 0.4 мкм, минимальное расстояние между щелями $d = 6$ мкм, количество щелей $N = 2$.

Нажимая левую кнопку мыши, установив ее маркер на регуляторе порядка максимума (слева внизу на экране), меняйте m от 0 до 3 и наблюдайте изменение картины интерференции на среднем экране. Установите длину волны излучения, соответствующую желтому цвету и, меняя m , снова наблюдайте и зарисуйте картину интерференции

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ЭКСПЕРИМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КАРТИНЫ

Установите максимальное количество щелей решетки $N = 100$, минимальное расстояние между щелями $d = 6$ мкм.

Подведите маркер мыши к вертикальной черте на спектре и нажмите левую кнопку мыши. Удерживая кнопку в нажатом состоянии, перемещайте черту до тех пор, пока над спектром не появится значение длины волны, равное взятому из таблицы 1 для вашей бригады

Измерьте линейкой на экране монитора длины светящихся отрезков, соответствующих интенсивности соответствующих максимумов на дифракционной картине. Запишите значения интенсивности в таблицу 2.

Увеличивая d на 0.5 мм, повторите измерения по п.3

Установив новое значение длины волны из таблицы 1 повторите измерения, записывая результаты в таблицу 3.

ТАБЛИЦА 1. Примерные значения длины волны (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
λ_1 [нм]	400	410	420	430	440	450	460	470
λ_2 [нм]	600	610	620	630	640	650	660	670

ТАБЛИЦЫ 2,3. Результаты измерений при $\lambda =$ _____ нм.

d[мкм]	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
$1/d^2$ [м] ⁻²									
I_{0N} [мм]									
I_1 [мм]									
I_2 [мм]									
I_3 [мм]									
I_4 [мм]									
$\sqrt{R_1}$									
$\sqrt{R_2}$									
$\sqrt{R_3}$									
$\sqrt{R_4}$									

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Вычислите и запишите в таблицы 2 и 3 корни из относительных амплитуд максимумов. Постройте по таблице 2 на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей корня из относительной амплитуды от обратного периода решетки для всех максимумов (указав на них номер максимума). На втором рисунке постройте результаты по таблице 3.

По наклону каждого графика определите экспериментальное значение ширины щели, используя формулу

$$b = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sqrt{\frac{\Delta(\sqrt{R_m})}{\Delta(\frac{1}{d^2})}}$$

Вычислите среднее значение ширины щели, проанализируйте ответы и графики.

Истинное значение $b = 1.4$ мкм.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дайте определение световой волны.
2. Дайте определение гармонической волны.
3. Дайте определение электромагнитной волны.
4. Напишите формулу зависимости напряженности электрического поля от времени и координаты для одномерной гармонической ЭМВ, распространяющейся вдоль оси OX.
5. Какие волны называются когерентными?
6. Дайте определение дифракции.

7. Что такое дифракционная решетка?
8. Для каких целей используется дифракционная решетка?
9. Что такое постоянная дифракционной решетки?
10. Зачем между дифракционной решеткой и экраном ставится собирающая линза?
11. Напишите формулу разности хода лучей, идущих от двух соседних щелей дифракционной решетки.
12. Напишите формулу разности фаз лучей от соседних щелей.
13. Как формируются главные максимумы дифракционной картины?
14. Нарисуйте, как распространяется после решетки одна плоская гармоническая волна, падающая перпендикулярно плоскости решетки.
15. Нарисуйте, как будут распространяться после решетки две плоские гармонические волны с близкими длинами волн, падающие перпендикулярно плоскости решетки.
16. Можно ли сделать дифракционную решетку для радиолокационной волны? Как она будет отличаться от обычной дифракционной решетки для видимого света?

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1. М.: «Наука», 1982.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. М.: «Наука», 1978.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.3. М.: «Наука», 1979.

НЕКОТОРЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ СВЕДЕНИЯ

ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

Название	Символ	Значение	Размерность
Гравитационная постоянная	γ или G	$6.67 \cdot 10^{-11}$	$\text{Н м}^2 \text{кг}^{-2}$
Ускорение свободного падения на поверхности Земли	g_0	9.8	м с^{-2}
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8$	м с^{-1}
Постоянная Авогадро	N_A	$6.02 \cdot 10^{26}$	кмоль^{-1}
Универсальная газовая постоянная	R	$8.31 \cdot 10^3$	$\text{Дж кмоль}^{-1} \text{К}^{-1}$
Постоянная Больцмана	k	$1.38 \cdot 10^{-23}$	Дж К^{-1}
Элементарный заряд	e	$1.6 \cdot 10^{-19}$	Кл
Масса электрона	m_e	$9.11 \cdot 10^{-31}$	кг
Постоянная Фарадея	F	$9.65 \cdot 10^4$	Кл моль^{-1}
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8.85 \cdot 10^{-12}$	Ф м^{-1}
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	Гн м^{-1}
Постоянная Планка	h	$6.62 \cdot 10^{-34}$	Дж с

ПРИСТАВКИ И МНОЖИТЕЛИ

для образования десятичных кратных и дольных единиц

Приставка	Символ	Множитель
дека	да	10^1
гекто	г	10^2
кило	к	10^3
мега	М	10^6
гига	Г	10^9
тера	Т	10^{12}

Приставка	Символ	Множитель
деци	д	10^{-1}
санتي	с	10^{-2}
милли	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}