

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)»**
ВОЛЖСКИЙ ФИЛИАЛ МАДИ

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ИиТТП
Петрова А.В.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ФИЗИКА»**

Направление подготовки

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

Направленность (профиль)

***Автоматизированные системы обработки информации и управления в
отраслях транспортно-дорожного комплекса***

Квалификация

Бакалавр

Кафедра: ИиТТП

Чебоксары

Содержание

1	Обработка результатов физических измерений	3
2	Движение с постоянным ускорением	9
3	Изучение распределения Максвелла	13
4	Адиабатический процесс	17
5	Теорема Остроградского-Гаусса для электростатического поля в вакууме	21
6	Закон Ома для неоднородного участка цепи	25
7	Электромагнитная индукция	30
8	Свободные колебания в контуре	34
9	Литература	37

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ.

Цель работы: рассмотреть простейшие методы измерений линейных величин и получить навыки обработки прямых и косвенных измерений; ознакомиться с методом наименьших квадратов.

Оборудование: штангенциркуль, микрометр, образцы для измерений.

Краткая теория

Для определения длины и расстояний применяются самые разнообразные способы, выбор которых определяется необходимой степенью точности и условий эксперимента. Для непосредственного измерения длины широко применяется масштабная линейка с сантиметровыми и миллиметровыми делениями.

Ценой деления шкалы любого прибора называется разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Для масштабной линейки она составляет 1 мм. При измерении максимальная ошибка не превосходит половины цены деления шкалы, поэтому точность измерения масштабной линейки не превышает, таким образом, половины цены деления, т.е. 0,5 мм.

Если необходимо произвести измерения с большей точностью, пользуются приборами, снабженными нониусами (см. ниже), например, штангенциркулем. Точность приборов в этом случае составляет 0,1-0,01 основного деления. Для измерения малых размеров (толщины, радиуса проволоки и т.д.) применяются приборы, снабженные микрометрическим винтом. Так очень распространен микрометр, которым можно измерять с точностью 0,01-0,005 мм.

Метод линейного нониуса

Нониусом называется небольшая дополнительная шкала к обычному масштабу, позволяющая увеличивать точность в 10-20 раз. Линейным нониусом называется маленькая линейка с делениями, которая может скользить вдоль большой линейки также с делениями, называемой масштабом.

Деления на нониусе наносятся обычно так, что одно деление нониуса составляет $\frac{m-1}{m} = 1 - \frac{1}{m}$ делений масштаба, где m — число делений нониуса.

Именно это позволяет, пользуясь нониусом, производить отсчеты с точностью до $1/m$ части наименьшего деления масштаба. Пусть расстояние между соседними штрихами масштаба y , а между соседними штрихами нониуса x . Можно записать, что $x = y - (y/m)$. Величина $\Delta x = y - x = y/m$ носит название точности нониуса. В любом положении нониуса относительно масштаба одно из делений первого совпадает с каким-либо делением второго. Отсчет по нониусу основан именно на способности глаза фиксировать это совпадение делений нониуса и масштаба.

Рассмотрим теперь процесс измерения при помощи линейного нониуса. Пусть L — измеряемый отрезок. Совместим с его началом нулевое деление основного масштаба. Пусть при этом конец его окажется между k и $(k+1)$ делением этого масштаба. Тогда можно записать $L = ky + \Delta L$, где ΔL — неизвестная пока доля k -го деления масштаба.

Приложим теперь к концу отрезка L наш нониус так, чтобы нуль нониуса совпадал с концом этого отрезка. Так как деления нониуса не равны делениям масштаба, то обязательно найдется на нем такое деление n , которое будет ближе всего подходить к соответствующему $(k+n)$ делению масштаба.

Как видно из рис.1,

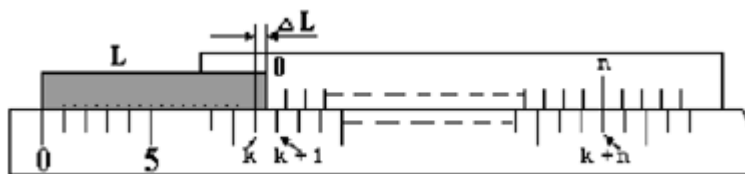


Рис.1 Схема нониуса

$$\Delta L = ny - nx = n(y - x) = n \Delta x,$$

и вся длина будет равна

$$L = ky + n\Delta x \text{ или } L = ky + n(y/m),$$

что можно сформулировать так: длина отрезка, измеряемого при помощи нониуса, равна числу целых делений масштаба плюс точность нониуса, умноженная на номер деления нониуса, совпадающего с некоторыми делениями масштаба. Погрешность нониуса принимают равной его точности.

Штангенциркуль (рис.2) состоит из разделенного на миллиметры масштаба М, вдоль которого может перемещаться ножка FB с зажимным винтом С. В обойме сделан вырез против делений масштаба, на скошенном краю которого, прилегающем к масштабу, нанесен нониус. Цена деления обычно 0,1; 0,05; 0,02 мм.

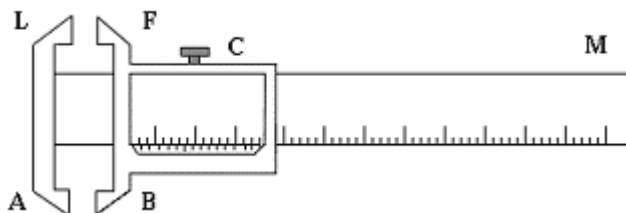


Рис.2. Схема штангенциркуля.

При нулевом показании нуль нониуса совпадает с нулем масштаба. Неподвижная ножка LA служит упором для измеряемого тела, части обеих ножек АВ - для измерения внутренних размеров тела.

Метод микрометрического винта (микрометр)

При точных измерениях расстояний нередко применяются микрометрические винты — винты с малым и точно выверенным шагом.

Микрометр (рис.3) имеет вид тисков, в которых измеряемый объект зажимается с помощью винта. Шаг винта обыкновенно равен 1 или 0,5 мм. На стержне А укрепляется барабан с нанесенной на него шкалой, имеющей 50 или 25 делений. При зажатом винте нуль барабана стоит против нуля шкалы D.

Измеряемый предмет помещают между винтом и противоположным ему упором, затем, вращая винт за головку В, доводят его до соприкосновения с исследуемым предметом.

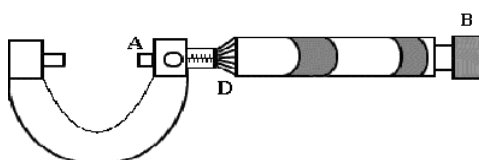


Рис.3. Схема микрометра

По линейной шкале отсчитываются миллиметры, а по шкале барабана — сотые доли миллиметра. Главным источником ошибок является неравномерность нажатия винта на измеряемый предмет.

Для устранения этого недостатка микрометры снабжаются специальным приспособлением, не допускающим сильного нажатия на исследуемый предмет (трещотки). Действие подобных приспособлений основано на проскальзывании, возникающем между стержнем винта А и рукояткой В, проворачивающей винт при усилии, большем порогового.

Практическая часть (измерения)

1. Измерьте штангенциркулем диаметр d цилиндра (систематическая ошибка измерения равна $\delta = 0.05 \text{ мм}$). Результаты измерений занесите во вторую графу таблицы, найти $\bar{x}$ и в третью графу этой таблицы записать разности $(d - \bar{x})$, а в четвертую — их квадраты (таблица 1).

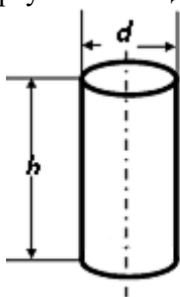


Таблица 1

n	$d, \text{мм}$	$(d - \bar{x})$	$(d - \bar{x})^2$
1			
2			
3			
4			
5			
Σ			

$$\bar{x} = \frac{\sum d_i}{n} =$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (d - \bar{x})^2}{n(n-1)}} =$$

Задавшись надежностью $P = 0,95$, по таблице коэффициентов Стьюдента для пяти измерений находим $t = 2,77$. Абсолютная ошибка находится по формуле:

$$\Delta d = S_{\bar{x}} \cdot t, \quad \Delta d =$$

Сравните случайную и систематическую ошибки:

$$\frac{\Delta d}{\delta} =$$

Если $\frac{\Delta d}{\delta} \leq 3$, то отбрасывать δ нельзя, так как величина погрешности результата измерения Δd сравнима с величиной погрешности прибора δ , и в качестве границы доверительного интервала следует взять

$$\Delta d = \sqrt{(S_x \cdot t)^2 + \delta^2}, \quad \Delta d =$$

Окончательный результат запишите в виде

$$d = (\quad \pm \quad) \text{ мм} \quad \text{при } P = 0.95.$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{x} \cdot 100\% =$$

2. Измерьте штангенциркулем высоту h цилиндра (систематическая ошибка измерения равна $\delta = 0.05 \text{ мм}$). Результаты измерений занесите во вторую графу таблицы, найдите $\bar{x}$ и в третью графу этой таблицы запишите разности $(h - \bar{x})$, а в четвертую – их квадраты (таблица 3).

Таблица 3

n	$h, \text{ мм}$	$(h - \bar{x})$	$(h - \bar{x})^2$
1			
2			
3			
4			
5			
Σ			

$$\bar{x} = \frac{\sum h_i}{n} =$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (h - \bar{x})^2}{n(n-1)}} =$$

Задавшись надежностью $P = 0,95$, по таблице коэффициентов Стьюдента для пяти измерений находим $t = 2,77$. Абсолютная ошибка находится по формуле:

$$\Delta h = S_{\bar{x}} \cdot t, \quad \Delta h =$$

Сравните случайную и систематическую ошибки:

$$\frac{\Delta h}{\delta} =$$

Если $\frac{\Delta h}{\delta} \leq 3$, то отбрасывать δ нельзя, так как величина погрешности результата измерения ΔD сравнима с величиной погрешности прибора δ , и в качестве границы доверительного интервала следует взять

$$\Delta h = \sqrt{(S_x \cdot t)^2 + \delta^2}, \quad \Delta h =$$

Окончательный результат запишите в виде

$$h = (\quad \pm \quad) \text{ мм} \quad \text{при } P = 0.95.$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h} \cdot 100\% =$$

3) Вычислите объем цилиндра и оцените точность измерения (как для косвенного измерения):

Объем цилиндра находится по формуле

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h,$$

где d – диаметр цилиндра, h – высота цилиндра.

Все эти величины мы определили непосредственно в ходе работы (см. выше):

$$d = (\quad \pm \quad) \text{ мм},$$

$$h = (\quad \pm \quad) \text{ мм}, \text{ при одинаковой надежности } P = 0.95.$$

Определите среднее значение объема согласно формуле:

$$\bar{V} = \frac{\pi \bar{d}^2}{4} \bar{h},$$

$$\bar{V} =$$

Для нахождения **случайной ошибки** косвенного измерения используется формула:

$$\Delta N = \pm \bar{N} \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial y} \Delta y\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial z} \Delta z\right)^2 + \dots}$$

Воспользовавшись этим выражением, имеем:

$$\ln V = \ln \pi + \ln h + 2 \ln d - \ln 4$$

$$\frac{\partial \ln V}{\partial h} = \frac{1}{h}; \quad \frac{\partial \ln V}{\partial d} = \frac{2}{d};$$

$$\Delta V = \pm \bar{V} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{h} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{2}{d} \Delta D\right)^2}$$

$$\Delta V =$$

На практике часто можно ограничиться нахождением верхней оценки $\Delta \Phi$:

$$\Delta f = \sum_{i=1}^n \frac{\delta f}{\delta x_i} \Delta x_i .$$

Таким образом, результат измерения оказывается равным

$$V = (\quad \pm \quad) \text{ мм}^3 \quad \text{при } P = 0.95.$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100\% =$$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ДВИЖЕНИЕ С ПОСТОЯННЫМ УСКОРЕНИЕМ
(«Механика», «Свободное падение тел»)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

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

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

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

ТАНГЕНЦИАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ – показывает, как быстро меняется величина 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

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

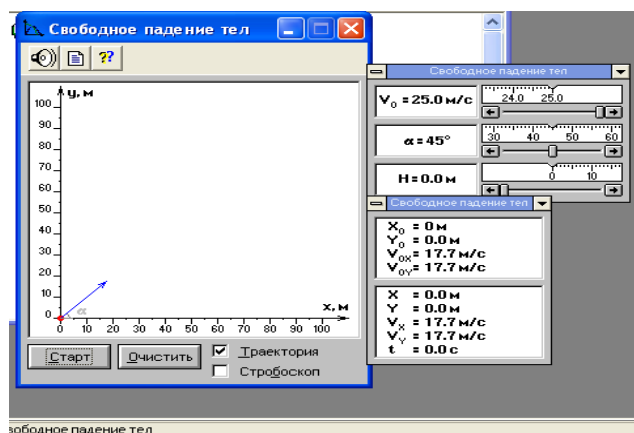


Рис. 1

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.

Проведите измерения на первой траектории, записывая результаты пяти измерений координаты $y_{\max}$ 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

Номер бригады	Начальная высота $h, (м)$	Начальный угол $\alpha, (град)$	Номер бригады	Начальная высота $h, (м)$	Начальный угол $\alpha, (град)$
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

№ изм.	Траектор. 1 $v_0 = 15 \text{ м/с}$ $v_0^2 = \text{ (м/с)}^2$		Траектор. 2 $v_0 = 17 \text{ м/с}$ $v_0^2 = \text{ (м/с)}^2$		Траектор. 3 $v_0 = 19 \text{ м/с}$ $v_0^2 = \text{ (м/с)}^2$		Траектор. 4 $v_0 = 22 \text{ м/с}$ $v_0^2 = \text{ (м/с)}^2$		Траектор. 5 $v_0 = 25 \text{ м/с}$ $v_0^2 = \text{ (м/с)}^2$	
	$y_{\text{max}}, \text{ м}$	$\Delta y_{\text{max}}, \text{ м}$	$y_{\text{max}}, \text{ м}$	$\Delta y_{\text{max}}, \text{ м}$	$y_{\text{max}}, \text{ м}$	$\Delta y_{\text{max}}, \text{ м}$	$y_{\text{max}}, \text{ м}$	$\Delta y_{\text{max}}, \text{ м}$	$y_{\text{max}}, \text{ м}$	$\Delta y_{\text{max}}, \text{ м}$
1										
2										
3										
4										
5										
$\langle y_{\text{max}} \rangle$										
δ_y										

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

1. Вычислите и запишите в таблицу средние значения вертикальной координаты точки максимального подъема $\langle y_{\text{max}} \rangle$ и отклонения Δy_{max} измеренного значения от среднего.
2. Постройте график зависимости средних значений вертикальной координаты точки максимального подъема $\langle y_{\text{max}} \rangle$ от квадрата начальной скорости.

Вывод по графику: Полученный экспериментально график зависимости _____ от _____ имеет вид _____ и качественно _____ с теоретической зависимостью данных характеристик, имеющей вид _____

3. Определите по графику значение ускорения свободного падения g , используя формулу

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

4. . Вычислите ошибку среднего значения g , используя формулу:

$$\varepsilon = \frac{\delta g}{\langle g \rangle} = 2 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \delta \alpha + \frac{\delta v_{01} + \delta v_{02}}{v_{01} + v_{02}} + \frac{\delta v_{01} + \delta v_{02}}{v_{02} - v_{01}} + \frac{\delta y_{\max 2} + \delta y_{\max 1}}{y_{\max 2} - y_{\max 1}} =$$

$$2 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \delta \alpha + \frac{2 \delta v_0}{v_{01} + v_{02}} + \frac{2 \delta v_0}{v_{02} - v_{01}} + \frac{2 \delta y_{\max}}{y_{\max 2} - y_{\max 1}} = 2 \operatorname{ctg} \text{---}^0 \cdot 0,0087 + \frac{2 \cdot 0,05}{\text{---}} + \frac{2 \cdot 0,05}{\text{---}} + \frac{2 \cdot 0,05}{\text{---}} =$$

$$\delta g = \varepsilon \cdot \langle g \rangle =$$

ОТВЕТ: По результатам измерений и расчётов получено значение ускорения свободного падения, равное

$$g = (\quad \pm \quad) \frac{m}{c^2}$$

ВЫВОД ПО ОТВЕТУ: полученное экспериментально значение ускорения свободного падения, равное _____ с точностью до ошибки измерений, составляющей _____, совпадает (не совпадает) с табличным значением данной величины, равным

Вопросы и задания для самоконтроля по работе

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 переменной 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?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

Цель работы

- Знакомство с компьютерной моделью, описывающей поведение молекул идеального газа.
- Экспериментальное подтверждение распределения Максвелла молекул идеального газа по скоростям.
- Экспериментальное определение массы молекул в данной модели.

Краткая теория

Вероятностью P_i получения некоторого результата измерения называется предел отношения количества измерений, давших этот результат, (N_i) к полному числу измерений N , когда $N \rightarrow \infty$.

Элементарной вероятностью dP_v при измерении **величины скорости** v называется вероятность наличия скорости величиной от v до $v + dv$. Эта вероятность пропорциональна приращению скорости dv : $dP_v = F(v) dv$, где коэффициент пропорциональности $F(v)$ называется **функцией распределения** молекул по величине скорости. Она может быть выражена через другие функции распределения:

$$F(v) = \varphi(v_x) \cdot \varphi(v_y) \cdot \varphi(v_z) \cdot 4\pi v^2 = f(v) \cdot 4\pi v^2,$$

где $\varphi(v_x)$, $\varphi(v_y)$ и $\varphi(v_z)$ – функции распределения для соответствующих **проекций** скоростей молекул, а $f(v)$ – их произведение.

В §98 Вы можете найти вывод формул, в частности

$$F(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{\left(-\frac{mv^2}{2kT} \right)} 4\pi v^2.$$

Средняя скорость $\langle v \rangle = \int_0^{\infty} v F(v) dv = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}},$

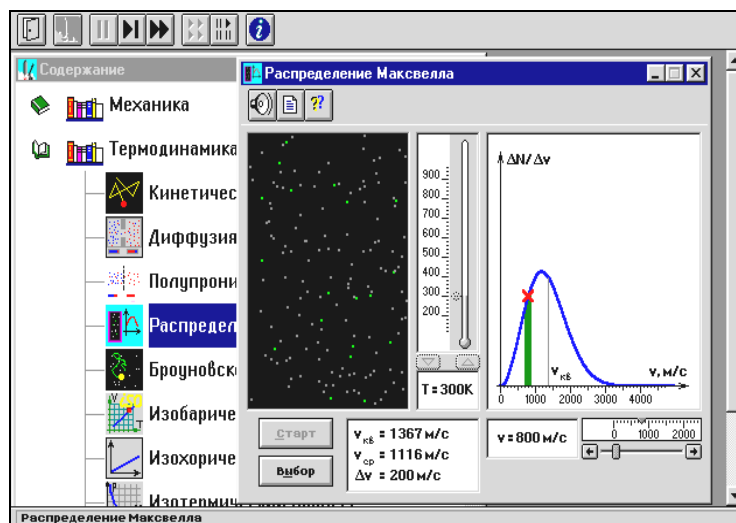
Средняя квадратичная скорость $v_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}.$

Наиболее вероятной называется скорость $v_{\text{вер}}$, при которой $F(v)$ имеет максимум

$$v_{\text{вер}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}.$$

Методика и порядок измерений

Внимательно рассмотрите изображение на экране монитора компьютера. Обратите внимание на систему частиц, движущихся в замкнутом объеме слева во внутреннем окне. Они абсолютно упруго сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда. Их количество около 100 и данная система является хорошей «механической» моделью идеального газа. В процессе исследований можно останавливать движение всех молекул (при нажатии кнопки «||» вверху) и получать как бы «мгновенные фотографии», на которых выделяются более ярким свечением частицы (точки), скорости которых лежат в заданном диапазоне Δv вблизи заданной скорости v (т.е. имеющие скорости от v до $v + \Delta v$). Для продолжения наблюдения движения частиц надо нажать кнопку «▶▶». Запишите в тетрадь значение Δv , указанное на экране.



Измерения

1. Нажмите кнопки «▶▶», «СТАРТ» и «ВЫБОР» и установите температуру T_1 , указанную в табл. 1 для вашей бригады. Запишите для нее значение наиболее вероятной скорости.
2. Установите скорость выделенной группы молекул вблизи минимального заданного в форме 1 значения.
3. Нажмите клавишу «||» и подсчитайте на «мгновенной фотографии» количество молекул ΔN , скорости которых лежат в заданном диапазоне Δv вблизи заданной скорости молекул v (они более яркие). Результат запишите в таблицу по форме 1.
4. Нажмите кнопку «▶▶» и через 10–20 секунд получите еще одну мгновенную фотографию (нажав кнопку «||»). Подсчитайте количество частиц с заданной скоростью. Результат запишите в таблицу по форме 1.
5. Повторите еще 3 раза измерения для данной скорости и результаты запишите в таблицу 2.
6. Измените скорость до значения, указанного в форме 1, и выполните по 5 измерений (как в п.4) для каждой скорости.
7. Установите (как в п.1) вторую температуру T_2 из табл.1. Запишите для нее значение наиболее вероятной скорости.
8. Повторите измерения (по п. 2,3,4,5), записывая результат в таблицу 3.

Примерные значения температуры

Табл. 1

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
T_1	160	200	260	300	360	400	460	500
T_2	700	740	760	800	840	860	900	960

Результаты измерений при $T = \text{--- К}$

Табл. 2

v [км/с]=	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	$v_{\text{вер}}=$
ΔN_1								
ΔN_2								
ΔN_3								
ΔN_4								
ΔN_5								
$\Delta N_{\text{ср}}$								

Результаты измерений при $T = \text{---} \text{ K}$

Табл. 3

v [км/с]=	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	$v_{\text{вер}} =$
ΔN_1								
ΔN_2								
ΔN_3								
ΔN_4								
ΔN_5								
$\Delta N_{\text{ср}}$								

Обработка результатов и оформление отчета

9. Вычислите и запишите в таблицы средние значения количества частиц $\Delta N_{\text{ср}}$, скорости которых лежат в данном диапазоне от v до $v + \Delta v$.

10. Постройте на одном рисунке графики экспериментальных и теоретических зависимостей $\Delta N_{\text{ср}}(v)$. Теоретические зависимости можно срисовать с экрана монитора компьютера, подобрав соответствующий масштаб по вертикальной оси ординат.

Вывод по графику: Полученный экспериментально график зависимости _____ от _____ имеет вид _____ и качественно совпадает с теоретической зависимостью данных характеристик, имеющей вид :

11. Для каждой температуры определите экспериментальное значение наиболее вероятной скорости молекул $v_{\text{вер}}$. Вычислите квадрат вероятной скорости и занесите в таблицу 4.

Табл. 4

$T_1 =$	$v_{\text{вер } 1} =$	$v_{\text{вер } 1}^2 =$
$T_2 =$	$v_{\text{вер } 2} =$	$v_{\text{вер } 2}^2 =$

12. Постройте график зависимости квадрата наиболее вероятной скорости от температуры $v_{\text{вер}}^2(T)$.

13. По данному графику определите значение массы молекулы

$$m = 2k \frac{\Delta(T)}{\Delta(v_{\text{вер}}^2)} =$$

14. Оцените погрешность:

15. Подберите газ, масса молекулы которого достаточно близка к измеренной массе молекулы. Этот газ:

Табличные значения

Газ	Водород	Гелий	Неон	Азот	Кислород
Масса молекулы 10^{-27} кг	3.32	6.64	33.2	46.5	53.12

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дайте определение вероятности получения некоторого результата измерения.
2. Дайте определение элементарной вероятности при измерении величины скорости.
3. Что такое функция распределения?
4. Каковы особенности графика функции распределения величины скорости для молекул идеального газа?
5. Как вычисляется среднее значение некоторой физической величины A , если известна ее функция распределения $f(A)$?
6. Напишите формулу для вычисления среднего значения скорости молекул.
7. Напишите формулу для вычисления средней квадратичной скорости молекул.
8. Напишите условие для вычисления наиболее вероятной скорости молекул.
9. Напишите выражение для средней скорости молекул идеального газа.
10. Напишите выражение для средней квадратичной скорости молекул идеального газа.
11. Напишите выражение для наиболее вероятной скорости молекул идеального газа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА АДИАБАТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

(«Термодинамика и молекулярная физика», «Адиабатический процесс»)

Цель работы

- Знакомство с компьютерной моделью, описывающей адиабатический процесс в идеальном газе.
- Экспериментальное подтверждение закономерностей адиабатического процесса.
- Экспериментальное определение показателя адиабаты, количества степеней свободы и структуры молекул газа в данной модели.

Краткая теория

Состояние системы имеет **фиксированные** значения **макроскопических** параметров, описывающих систему в целом. Параметры, характеризующие систему в целом, называются **параметрами состояния**. Примерами являются температура, давление, объем и т.д.

Равновесным называется такое состояние системы, при котором все параметры системы имеют определенные значения, остающиеся **неизменными** сколь угодно долго при неизменных внешних условиях.

Обратимым называется процесс, при реализации которого в обратном направлении система проходит через **те же состояния**, что и при прямом ходе, но в обратной последовательности, и при этом в окружающей среде не происходит никаких изменений. Равновесные процессы всегда обратимы.

Круговым процессом (ЦИКЛОМ) называется процесс, при котором система после ряда изменений возвращается в **исходное** состояние.

Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева - Клапейрона)

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

Теплоемкость тела численно равна отношению количества тепла dQ , сообщенного телу, к изменению температуры тела dT , которое при этом произошло:

$$C_{\text{тела}} = \frac{dQ}{dT}$$

Удельной теплоемкостью вещества называется отношение теплоемкости к массе тела:

$$c = \frac{dQ}{m dT}$$

Молярной теплоёмкостью называется отношение теплоёмкости тела к количеству вещества

$$C_{\mu} = \frac{dQ}{\mu dT}$$

Если тело не меняет свой объем, то оно не совершает работы, поэтому при постоянном объеме тела переданное телу тепло dQ' идет на изменение его внутренней энергии dU .

Теплоемкость при постоянном объеме

$$C_V = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_V = \frac{dU}{dT} = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R$$

Теплоемкость при постоянном давлении идеального газа, молекулы которого имеют i степеней свободы:

$$C_p = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_p = \frac{dU}{dT} + p \left(\frac{dV}{dT} \right)_p = \frac{i+2}{2} \frac{m}{\mu} R \quad (1)$$

Отношение $\frac{C_p}{C_V} = \gamma$ является константой (в определенном диапазоне температур) для данного газа. Эта константа называется *показателем адиабаты*.

Формула

$$\gamma = 1 + \frac{2}{i} \quad (2)$$

устанавливает связь отношения теплоемкостей γ с **числом степеней свободы** молекулы газа i .

Число (количество) степеней свободы есть минимальное количество независимых координат, необходимых для однозначного описания положения молекулы в пространстве, или минимальное количество независимых движений, суперпозиция которых дает любое движение молекулы.

Поступательное движение всегда имеет 3 степени свободы.

Вращательное движение имеет 2 степени свободы для линейной молекулы и 3 степени свободы, если атомы в молекуле не расположены на одной линии.

Колебательное движение дает $2n_{\text{КОЛ}}$ степеней свободы, где $n_{\text{КОЛ}}$ – количество независимых колебаний атомов в молекуле (у двухатомной молекулы $n_{\text{КОЛ}} = 1$).

Адиабатическим называется процесс, происходящий без теплообмена с внешней средой ($dQ = 0$). Уравнение адиабаты

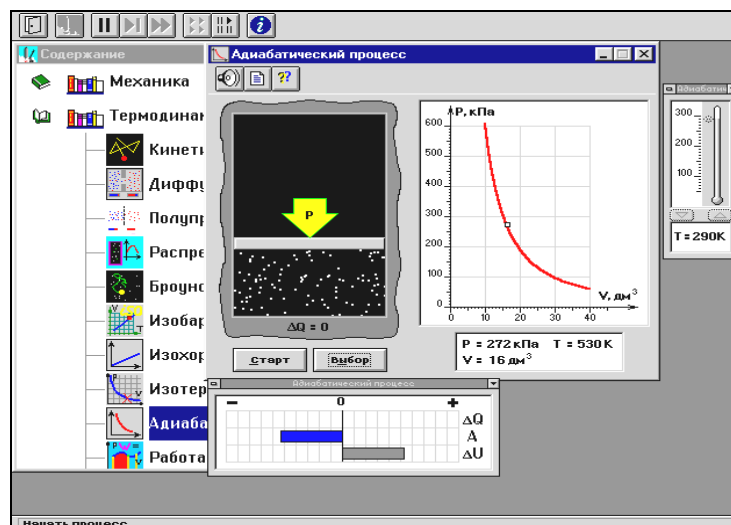
$$PV^\gamma = \text{const} \quad (3)$$

Работа газа в адиабатическом процессе

$$A_{1 \rightarrow 2} = \frac{m}{\mu} C_V (T_1 - T_2) \quad (4)$$

Принято также выделять изотермический, изобарический и изохорический процессы.

Методика и порядок измерений



Измерения

Установите начальное значение объема $V_{\text{нач}} = 40 \text{ дм}^3$ и начальную температуру T_1 газа, близкую к числам из табл.1. Для этого нажмите кнопку «ВЫБОР», переместите маркер мыши так, чтобы его острие находилось в указанной точке вблизи границы столбика на градуснике, и коротко нажмите и, удерживая левую кнопку мыши, двигайте столбик.

Нажмите мышью кнопку «СТАРТ» на экране и наблюдайте перемещение поршня и перемещение точки по красной кривой адиабаты. Попробуйте останавливать процесс нажатием кнопки «СТОП». Последующий запуск процесса осуществляется нажатием кнопки «СТАРТ».

После автоматической остановки процесса запустите его снова, нажав кнопку «СТАРТ», и останавливайте, нажимая кнопку «СТОП», когда крестик на теоретической адиабате (красная кривая) будет находиться вблизи следующих значений объема: 15, 20, 25, 30, 35 и 40 дм^3 (6 значений), записывая при остановке значения объема, температуры и давления в таблицу 2.

Установите новое значение температуры T_2 , взяв его из табл.1, задавая $V_{\text{нач}} = 40 \text{ дм}^3$, и повторите измерения, записывая результаты в таблицу 3.

Начальные значения температуры

Таблица 1

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
T_1	50	70	100	120	140	170	200	220
T_2	230	240	250	260	270	280	290	300

Результаты измерений

Для $T_1 =$

Таблица 2

$T[K]$						
$V[m^3]$						
$\ln V$						
$p[Па]$						
$\ln p$						

Для $T_2 =$

Таблица 3

$T[K]$						
$V[m^3]$						
$\ln V$						
$p[Па]$						
$\ln p$						

Обработка результатов и оформление отчета

1. Постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей логарифма давления от логарифма объема для обеих адиабат (указав на них начальные температуры).

Вывод по графику: Полученный экспериментально график зависимости _____ от _____ имеет вид _____ и качественно совпадает с теоретической зависимостью данных характеристик, имеющей вид :

2. Для каждой адиабаты определите по графику экспериментальное значение показателя, используя формулу

$$\gamma = - \frac{\Delta(\ln p)}{\Delta(\ln V)}$$

$$\gamma_1 = - \frac{\Delta_1(\ln p)}{\Delta_1(\ln V)} =$$

$$\gamma_2 = - \frac{\Delta_2(\ln p)}{\Delta_2(\ln V)} =$$

3. Определите число степеней свободы молекулы газа, исследуемого в данной компьютерной модели, используя формулу (2):

$i =$

$i_1 =$

$i_2 =$

4. Оцените погрешности.

5. Подберите распространенный газ, структура молекулы которого близка к наблюдаемой:

6. Запишите ответы и проанализируйте ответы и графики.

Ответ: По результатам измерений и расчетов получено значение _____, равное

$$i = \pm$$

Вывод по ответу: Полученное экспериментально значение величины _____, равное _____, с точностью до ошибки измерений, составляющей _____, совпадает (не совпадает) с теоретическим значением данной величины, равным _____.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое параметры состояния системы?
2. Дайте определение равновесного состояния системы.
3. Какой процесс называется обратимым?
4. Что такое цикл?
5. Что такое уравнение состояния?
6. Для какого состояния газа можно применить модель «идеальный газ»?
7. Какому уравнению подчиняется состояние идеального газа? Напишите его.
8. Дайте определение теплоемкости тела.
9. Дайте определение удельной теплоемкости.
10. Напишите формулу для теплоемкости при постоянном объеме.
11. Напишите формулу для теплоемкости идеального газа при постоянном давлении.
12. Что такое число степеней свободы? Чему оно равно для одноатомной молекулы?
13. Что такое показатель адиабаты?
14. Напишите формулу связи показателя адиабаты с числом степеней свободы молекулы идеального газа.
15. Дайте определение адиабатического процесса.
16. Напишите уравнение адиабатического процесса.
17. Дайте определение изопроцесса. Перечислите известные изопроцессы.
18. Напишите уравнение и нарисуйте PV -диаграмму изотермического процесса.
19. Напишите уравнение и нарисуйте PV -диаграмму изобарического процесса.
20. Напишите уравнение и нарисуйте PV -диаграмму изохорического процесса.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ТЕОРЕМА ОСТРОГРАДСКОГО-ГАУССА ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ВАКУУМЕ
(«Электричество и магнетизм», «Электрическое поле точечных зарядов»)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- Знакомство с графическим моделированием электростатических полей.
- Экспериментальная проверка теоремы Остроградского-Гаусса.
- Экспериментальное определение величины электрической постоянной.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

НАПРЯЖЁННОСТЬ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ в данной точке есть векторная физическая величина, равная отношению силы F действующей со стороны поля на неподвижный точечный заряд q_0 , помещённый в данную точку поля, к величине этого заряда:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

ЛИНИЯМИ НАПРЯЖЁННОСТИ (силовыми линиями) называются линии, проведённые в поле так, что касательные к ним в каждой точке совпадают по направлению с вектором напряжённости. Линии напряжённости проводят так, что они начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных или уходят в бесконечность. (Рис. 1)

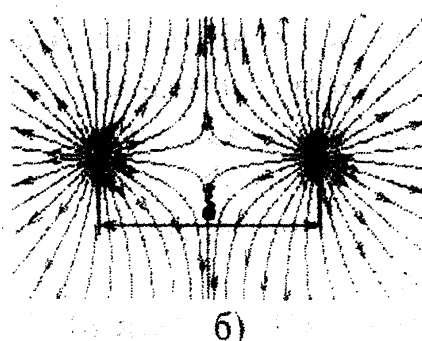
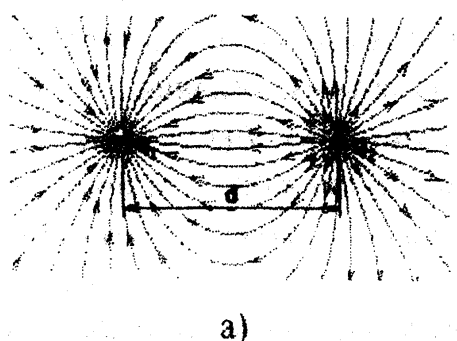


Рис 1. Линии напряжённости двух точечных зарядов: а) разноимённых; б) одноимённых

ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ: напряжённость электростатического поля систем точечных зарядов равна векторной сумме напряжённостей полей каждого из этих зарядов в отдельности:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

ПОТОК ВЕКТОРА НАПРЯЖЁННОСТИ.

Силовая линия, определяя направление вектора напряжённости, сама по себе не определяет величину модуля вектора напряжённости. Введём условие, связывающее величину модуля вектора напряжённости с числом проводимых линий напряженности через единицу площади. Для этого выделим в электростатическом поле малую область, в пределах которой электростатическое поле можно считать однородным. Проведём в этой области элементарную площадку dS_0 , перпендикулярную к линиям напряжённости. Условимся через эту площадку проводить такое число $d\Phi$ линий напряжённости, чтобы число линий, приходящихся на единицу поверхности площадки dS_0 равнялось величине модуля вектора напряжённости в области этой площадки, т.е. потребуем выполнения условия:

$$\frac{d\Phi}{dS_0} = E \quad (1)$$

При выполнении этого условия графического изображения электростатических полей численное значение вектора напряжённости будет связано с густотой линий напряжённости. Тогда число линий напряжённости пронизывающих элементарную площадку dS , нормаль n которой образует угол α с вектором E ; равно

$$d\Phi = EdS \cos \alpha \quad (2)$$

где величина $d\Phi$ называется потоком вектора напряжённости через площадку dS

Число линий напряжённости Φ , пронизывающих некоторую поверхность S , назовём *поток вектора напряжённости через эту поверхность*. Для произвольной замкнутой поверхности S поток вектора E сквозь эту поверхность будет равен

$$\Phi = \oint_S EdS \cos \alpha \quad (3)$$

Для замкнутой поверхности принято считать положительным направление нормали к элементу поверхности, выходящее из объёма, ограничиваемого поверхностью. Тогда линии напряжённости, выходящие из объёма, создадут положительный поток Φ_+ , линии, входящие в объём, создадут отрицательный поток Φ_- , а результирующий поток будет равен алгебраической сумме этих потоков

ТЕОРЕМА ОСТРОГ?АДСКОГО-Г АУССА: *поток вектора напряжённости электростатического поля в вакууме через произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме заключённых внутри этой поверхности зарядов, делённой на ϵ_0*

$$\Phi_+ + \Phi_- = \Phi = \oint_S EdS \cos \alpha = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i \quad (4)$$

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ:

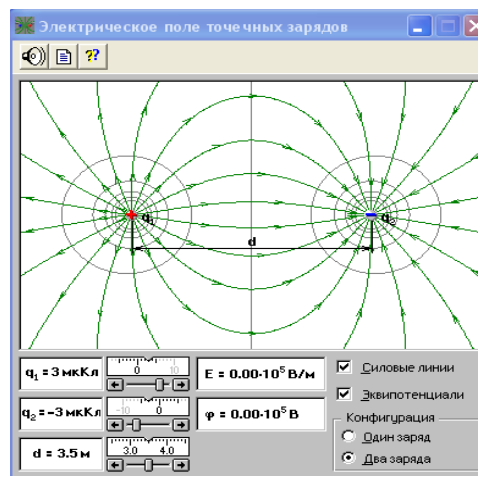


Рис. 2

Как известно, электростатическое поле в вакууме изотропное. Следовательно, количество силовых линий, пересекающих произвольную замкнутую поверхность, содержащую внутри себя электрические заряды, будет пропорционально количеству силовых линий, пересекающих замкнутый контур, ограничивающий площадь сечения, в которой находятся электрические заряды этой замкнутой поверхности.

Такое допущение даёт возможность привести в количественное соответствие реальное трёхмерное электростатическое поле с его графической интерпретацией в плоской компьютерной модели, которая показана на рис. 2. Для этого определим число силовых линий Φ , которые

фактически должны пересекать произвольную замкнутую поверхность, внутри которой находится электрический заряд $q = 1 \text{ мкКл}$. По теореме Остроградского-Гаусса имеем:

$$\Phi = \frac{q}{\varepsilon_0} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{8.85 \cdot 10^{-12}} = 1.13 \cdot 10^5$$

Откройте окно опыта. В нижнем правом прямоугольнике «Конфигурация» щёлкните мышью на кнопке «Один заряд». Зацепив мышью, перемещайте движок регулятора величины заряда и установите значение $q_1 = +1 \text{ мкКл}$. Подсчитайте число силовых линий; выходящих из заряда. Их должно быть 6. Следовательно, силовая линия в плоской компьютерной модели опыта соответствует

$$N = \frac{1.13 \cdot 10^5}{6} = 1.88 \cdot 10^4 \quad (5)$$

линиям реального трёхмерного кулоновского поля. На основании таких допущений и оценок создаётся возможность экспериментальной проверки теоремы Остроградского-Гаусса с помощью графического компьютерного моделирования электростатических полей в данной лабораторной, работе.

ЭКСПЕРИМЕНТ 1. (Постоянное пространственное распределение переменного заряда внутри замкнутой поверхности)

1. В нижнем правом прямоугольнике «Конфигурация» нажмите мышью кнопку «Два заряда».
2. Зацепив мышью, перемещайте движок регулятора первого заряда до установления значения, указанного в табл. 1 для вашей бригады.

Таблица 1. Установочные значения физических параметров для проведения экспериментов

Бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
Эксперимент 1								
$q_1, \text{мкКл}$	-1	-2	-3	-4	-5	-4	-3	-2
$d, \text{м}$	2	3	4	5	5	4	3	2
Эксперимент 2								
$q_1, \text{мкКл}$	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-4	-4
$q_2, \text{мкКл}$	+1	+2	+3	+4	+5	+4	+3	+2

3. Аналогичным образом установите заданное в табл.1 расстояние d между зарядами.
4. Установите мышью на кнопке «Силовые линии» флажок.
5. Установите величину второго заряда 0 и подсчитайте число силовых линий Φ_+ выходящих и Φ_- входящих через границы замкнутого контура, которым в нашем опыте будет являться прямоугольная рамка окна опыта. При этом внимательно смотрите за направлением стрелок на силовых линиях поля. Запишите эти данные и разность $\Phi = \Phi_- - \Phi_+$ в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты измерений в эксперименте 1

$q_1 = \text{___ мкКл}$, $d = \text{___ м}$

$q_2 = 0$ мкКл			$q_2 = +1$ мкКл			$q_2 = +2$ мкКл			$q_2 = +3$ мкКл			$q_2 = +4$ мкКл			$q_2 = +5$ мкКл		
Φ_-	Φ_+	Φ	Φ_-	Φ_+	Φ	Φ_-	Φ_+	Φ	Φ_-	Φ_+	Φ	Φ_-	Φ_+	Φ	Φ_-	Φ_+	Φ

6. Последовательно устанавливайте заряды: $q_2 = +1, +2, +3, +4, +5$ мкКл, и выполните п.5 ещё 5 раз.

ЭКСПЕРИМЕНТ 2. (Переменное пространственное распределение постоянного заряда внутри заткнутой поверхности)

1. Установите значения q_1 и q_2 соответствующие значениям, указанным в таблице 1 для вашей бригады.
2. Установите также минимальное расстояние между зарядами $d = 2$ м и на экране окна эксперимента, подсчетом определите числа Φ_+ , Φ_- и Φ .
3. Последовательно увеличивай расстояние между зарядами с шагом 0,5 м, выполните п. 2 ещё 6 раз.
4. Результаты измерений запишите в табл. 3.

Таблица 3. Результаты измерений в эксперименте 2

$q_2 =$ _____ мкКл $q_1 =$ _____ мкКл

d=2 м			d=3 м			d=3,5 м			d=4 м			d=4,5 м			d=5 м		
Φ_-	Φ_+	Φ	Φ_-	Φ_+	Φ	Φ_-	Φ_+	Φ	Φ_-	Φ_+	Φ	Φ_-	Φ_+	Φ	Φ_-	Φ_+	Φ

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА:

1. Постройте по данным табл.2 график зависимости потока вектора напряжённости Φ от величины заряда $q=(q_1+q_2)$

Вывод по графику: Полученный экспериментально график зависимости _____ от _____ имеет вид _____ и качественно _____ с теоретической зависимостью данных характеристик, имеющей вид _____

2. По котангенсу угла наклона графика и используя ф-лы (4) и (5), определите электрическую постоянную ε_0 .

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta q}{\Delta \Phi} =$$

3. Оцените погрешность полученного результата:

ОТВЕТ: По результатам измерений и асчётов получено значение _____, равное

$$\varepsilon_0 = (\quad \pm \quad) \cdot 10$$

ВЫВОД ПО ОТВЕТУ: полученное экспериментальное значение величины _____, равное _____ с точностью до ошибки измерений, составляющей _____, совпадает (не совпадает) с табличным (теоретическим) значением данной величины, равным _____

4. По данным, приведённым в табл.3, постройте график зависимости потока вектора напряжённости Φ от расстояния между зарядами d .

Вывод по графику: Полученный экспериментально график зависимости _____ от _____ имеет вид _____ и качественно _____ с теоретической зависимостью данных характеристик, имеющей вид _____

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие поля называют электростатическими?
2. Что такое напряжённость электростатического поля?
3. Как определяется направление вектора напряжённости?
4. Что такое поток вектора напряжённости?
5. Какая линия называется силовой? Почему они не могут пересекаться?
6. Какая линия называется эквипотенциальной?
7. Докажите, что эквипотенциальные и силовые линии ортогональны.
8. От чего зависит густота силовых и эквипотенциальных линий?
9. В чём заключается физический смысл теоремы Остроградского-Гаусса?
10. Рассчитайте, используя теорему О-Г,
 - а) поле равномерно заряженной бесконечной плоскости;
 - б) поле двух бесконечных параллельных разноимённо заряженных плоскостей;
 - в) поле равномерно заряженной сферической поверхности;
 - г) поле объёмно заряженного шара;
 - д) поле равномерно заряженного бесконечного цилиндра (нити);
11. Каким образом теорема ОГ и следствия из неё могут быть косвенным подтверждением справедливости закона Кулона?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ЗАКОН ОМА ДЛЯ НЕОДНООДНОГО УЧАСТКА ЦЕПИ
(«Электричество и магнетизм», «Цепи постоянного тока»)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- Знакомство с компьютерным моделированием цепей постоянного тока.
- Экспериментальное подтверждение закона Ома для неоднородного участка цепи.

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 - сопротивление проводника.

РЕЗИСТОРОМ называется устройство, обладающее заданным постоянным сопротивлением.

РЕОСТАТОМ называется переменное сопротивление.

НАПРЯЖЕНИЕМ НА УЧАСТКЕ ЦЕПИ 1-2 называется физическая величина, определяемая выражением $U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + E_{12}$

ЗАКОН ОМА ДЛЯ НЕОДНОРОДНОГО УЧАСТКА ЦЕПИ:

$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + E_{12}}{R}$, где φ_1 и φ_2 - потенциалы концов участка, E_{12} - э.д.с, действующая на данном

участке цепи.

Применяя закон Ома для неоднородного участка цепи, необходимо помнить о правиле выбора знаков: произведение IR следует брать со знаком «+», если направление обхода совпадает с направлением тока на этом участке, э.д.с. E_{12} будет иметь знак «+», если её направление (от минуса к плюсу) совпадает с направлением обхода. При этом надо иметь в виду, что вольтметр, подключенный к концам любого участка цепи, будет показывать разность потенциалов между точками подключения прибора, а направление отклонения стрелки прибора будет определяться параметрами внешней цепи.

Таким образом, закон Ома для полной цепи можно записать в виде

$$I(R+r) = \pm V + E_{12} \quad (1)$$

Из формулы (1) видно, что при $1 = 0$ вольтметр покажет э.д.с. источника, включенного в данный участок цепи.

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ:

В данной лабораторной работе изучается модель электрической цепи, содержащей на одном из своих участков источник электродвижущей силы (э.д.с.). На этом участке, в зависимости от соотношений между параметрами цепи, разность потенциалов между его крайними точками может менять знак, переходя через 0.

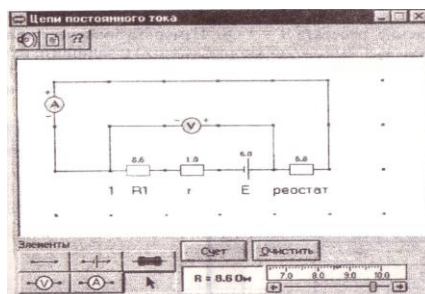


Рис.1.

ИЗМЕРЕНИЯ:

6. Соберите на экране опыта замкнутую цепь, показанную на рис. 1.

Для этого сначала щелкните левой кнопкой мыши на кнопке ЭДС.  в нижней части экрана. Переместите маркер мыши на рабочую часть экрана, где расположены точки. Щелкните левой кнопкой мыши в рабочей части экрана, где должен быть расположен источник ЭДС.

7. Разместите далее последовательно с источником резисторы, выполняющие функции его внутреннего сопротивления r и сопротивления неоднородного участка R_1 (нажав предварительно кнопку  в нижней части экрана), и амперметр (кнопка  там же). Затем расположите резистор нагрузки (реостат) и последовательно соединенный с ним амперметр. Над участком цепи расположите вольтметр , измеряющий разность потенциалов на этом неоднородном участке цепи.

8. Соедините все указанные приборы в замкнутую цепь. Для этого нажмите кнопку соединительного провода  внизу экрана, после чего переместите маркер мыши в рабочую зону схемы. Щелкайте левой кнопкой мыши в необходимых местах рабочей зоны и сформируйте замкнутую цепь, показанную на рис. 1.

9. Установите заданные значения параметров для каждого прибора цепи. Для этого щелкните левой кнопкой мыши на кнопке со стрелкой . Затем щелкните на данном приборе. Подведите маркер мыши к движку появившегося регулятора, нажмите на левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом состоянии, установите значения R_1 , r , E , которые указаны в таблице 1 для вашей бригады.

Таблица 1. Значения ЭДС, внутреннего сопротивления источника r и R_1

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
E_1 , В	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
E_2 , В	- 2,5	- 3,5	- 4,0	- 3,5	- 3,0	- 4,5	- 5,0	- 5,5
r , Ом	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
R_1 , Ом	8,0	7,5	7,0	6,5	8,5	9,0	9,5	10,0

10. Установите сопротивление реостата $R = 1$ Ом. Измерьте значения тока и разности потенциалов (щелкнув мышью по кнопке «Счет») и запишите их в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты измерений

№ измерения	$E_1 =$	$R_1 =$	$r =$	$E_1 =$	$E_2 =$	$R_1 =$	$r =$
	R (Ом)	U (В)	I (А)	R (Ом)	U (В)	I (А)	
1	1			1			
2	2			2			
3	3			3			
4	4			4			
5	5			5			
6	6			6			
7	7			7			
8	8			8			
9	9			9			
10	10			10			

11. Увеличивая сопротивление реостата K каждый раз на ΔR , повторите измерения силы тока и

разности потенциалов по п.5 и заполните таблицу 2.

12. Включите в схему второй источник питания, как показано на рис.2, и установите значение E_2 , соответствующее номеру вашей бригады.

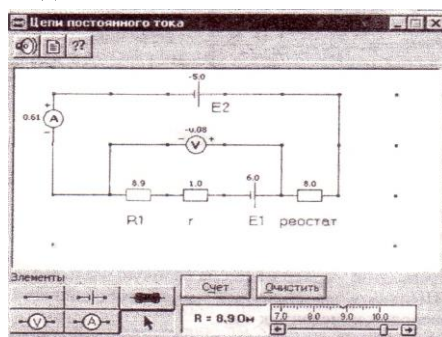


Рис.2

13. Проведите на второй схеме (рис.2) все измерения п.п. 5,6.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА:

1. На одном графике покажите зависимость показаний вольтметра (ось ординат) от силы тока для первой и второй схем (ось абсцисс).

Вывод по графику: Полученный экспериментально график зависимости _____ от _____ имеет вид _____ и качественно _____ с теоретической зависимостью данных характеристик, имеющей вид _____

2. Экстраполируя оба графика до пересечения с осью ординат, определите по формуле (1) экспериментально установленное значение э.д.с. (E_1) источника тока, включённого в неоднородный участок цепи, и сравните его с установочным значением.

3. По тангенсу наклона прямой к оси I определите полное сопротивление участка для двух схем и сравните его значение с установочным значением.

$$R = \frac{\Delta U}{\Delta I} =$$

4. Рассчитайте погрешности измерений и запишите окончательный результат.

ОТВЕТ: По результатам измерений и расчётов получены значения _____, равные

$$E = (\quad \pm \quad) \text{ В}$$

$$R = (\quad \pm \quad) \text{ Ом}$$

ВЫВОД ПО ОТВЕТУ: полученные экспериментально значения величин _____, равные _____ и _____ с точностью до ошибок измерений, составляющих _____ и _____, совпадают (не совпадают) с установленными значениями данных величин, равными _____ и _____

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дайте определения понятий: разность потенциалов, э.д.с. источника тока, напряжение на участке цепи.

2. Что называется сторонней силой? Какова её природа?

3. Укажите правильное выражение закона Ома для неоднородного участка цепи, показанного на рисунке:

1) $IR = (\varphi_1 - \varphi_2) + E$; 2) $IR = (\varphi_1 - \varphi_2) - E$; 3) $IR = E - (\varphi_1 - \varphi_2)$; 4) $IR = E$; 5) $IR = (\varphi_1 - \varphi_2)$

2. Выведите Закон Ома в дифференциальной форме.

3. Что называется удельным сопротивлением проводника? От чего оно зависит?

4. Сформулируйте правила Кирхгофа для разветвлённых цепей.

5. Выведите формулы сопротивлений батарей последовательно и параллельно соединённых резисторов.

6. Сформулируйте закон Ома для полной цепи.

7. Объясните принцип действия экспериментальной установки. В чём принципиальная разница первого и второго варианта схем?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

(«Электричество и магнетизм», «Электромагнитная индукция»)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- Знакомство с моделированием явления электромагнитной индукции (ЭМИ).
- Экспериментальное подтверждение закономерностей ЭМИ.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

ЭЛЕМЕНТАРНЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ $d\Phi_B$ через физически малый элемент поверхности площадью dS называется скалярное произведение вектора индукции магнитного поля $\vec{B}$ на вектор нормали $\vec{n}$ к данному элементу поверхности и на площадь dS :

$$d\Phi_B = (\vec{B} \cdot \vec{n}) \cdot dS$$

МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ Φ_B через поверхность площадью S называется сумма всех элементарных потоков через все элементы этой поверхности (интеграл по поверхности):

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

Анализируя свойства интеграла в правой части данного соотношения, можем получить условия, когда для определения потока не требуется интегрирование.

Простейший вариант: потока нет ($\Phi_B = 0$), если 1) $\vec{B} = 0$ или 2) вектор магнитной индукции направлен по касательной к поверхности в любой ее точке ($\vec{B} \perp \vec{n}$).

Второй вариант: поток есть произведение индукции на площадь ($\Phi_B = BS$). если $(\vec{B} \cdot \vec{n}) = \text{const}$, т.е. одновременно выполняются два условия: вектор индукции направлен по нормали и имеет одну и ту же величину в любой точке поверхности.

ИНДУКЦИЕЙ называется явление возникновения одного поля (например, электрического) при изменении другого поля (например, магнитного).

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИЕЙ (ЭМИ) называется явление возникновения электрического поля при изменении магнитного поля.

ЗАКОН ЭМИ: циркуляция электрического поля по замкнутому контуру Γ пропорциональна скорости изменения потока магнитного поля Φ_B через замкнутую поверхность S ограниченную

контуром L , по которому рассчитана циркуляция. Математически: $\Gamma_{oE} = - \frac{d\Phi}{dt}$, где знак $-$ соответствует «правилу Ленца» В расшифрованном виде

$$\oint_{L_0} \vec{E} d\vec{L} = - \frac{\partial}{\partial t} \left(\oiint_{S(l_0)} \vec{B} d\vec{S} \right)$$

В результате ЭМИ возникает электрическое поле с ненулевой циркуляцией. Поле с ненулевой циркуляцией называется вихревым

Если в таком поле находится проводящее вещество, то в веществе возникает ВИХРЕВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК, величина которого пропорциональна напряженности вихревого электрического поля. Такие токи называются токами Фуко.

Если проводящее вещество имеет форму ЗАМКНУТОГО КОНТУРА, тогда циркуляция электрического поля в нем определяет ЭДС которая в случае ЭМИ называется ЭДС индукции. Закон ЭМИ для проводящего контура будет выглядеть так:

$$E_i = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Ток, который в этом случае появляется в контуре, называется индукционным.

Обозначая ЭДС индукции символом $\epsilon_{\text{инд}}$ и используя закон Ома для полной цепи, получим выражение для тока индукции $i_{\text{инд}} = \epsilon_{\text{инд}}/R$, где R – сопротивление контура.

Если имеется замкнутый контур с переменным током, тогда магнитное поле с изменяющимся

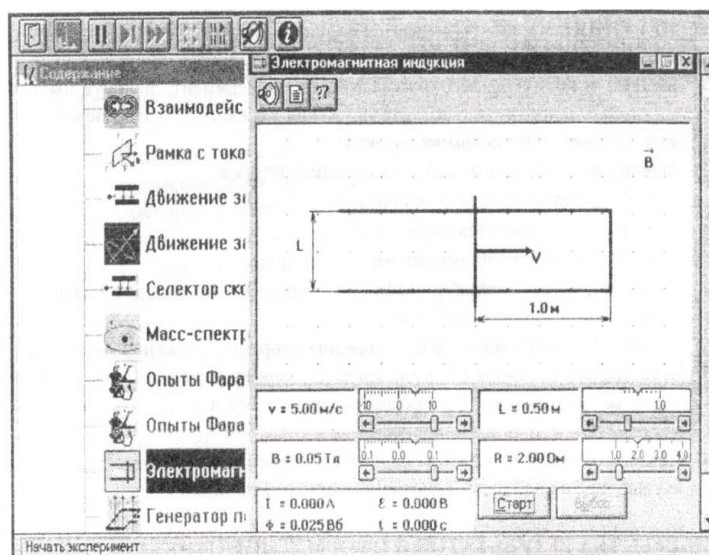
потоком создается собственным током в этом контуре и в соответствии с законом ЭМИ в контуре возникает дополнительная ЭДС называемая ЭДС самоиндукции.

Явлением САМОИНДУКЦИИ называется возникновение ЭДС самоиндукции при протекании по проводнику переменного тока.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ:

В данной лабораторной работе используется компьютерная модель, в которой изменяющийся магнитный поток возникает в результате движения проводящей перемычки по параллельным проводникам, замкнутым с одной стороны.

Эта система изображена на рисунке:



ИЗМЕРЕНИЯ:

1. Запустите эксперимент, щёлкнув мышью по кнопке «старт». Наблюдайте движение перемычки и изменение магнитного потока Φ (цифры внизу окна).
2. Зацепив мышью, перемещайте движки регуляторов:
 - L - расстояние между проводами,
 - R – сопротивление перемычки,
 - B – величины индукции магнитного поля
 и зафиксируйте значения, указанные в таблице № А и под ней для вашей бригады.

Таблица А.

Бригады	R , Ом	B_1 , мТл	B_2 , мТл	B_3 , мТл
1 и 5	1	- 30	40	90
2 и 6	2	- 40	20	80
3 и 7	1	- 50	10	70
4 и 8	2	- 60	- 20	100

Для бригад №№ 1-4 $L=1$ м, для бригад №№ 5-8 $L = 0,7$ м.

3. Установив указанное в таб. 1 значение скорости движения перемычки, нажмите левую кнопку мыши, когда её маркёр размещён над кнопкой «старт». Значение ЭДС и тока индукции занесите в таблицу 1. Повторите измерения для других значений скорости из таблицы 1.

Таблица 1 $B_1 =$ мТл.

V, м/с	- 10	- 8	-6	- 4	- 2	0	2	4	6	8	10
ЭДС, В											
I, мА											

4. Повторите измерения для двух других значений индукции магнитного поля, выбирая их из таблицы 1. Полученные результаты запишите в таб. 2 и 3.

Таблица 2 $B_2 =$ мТл.

V, м/с	- 10	- 8	-6	- 4	- 2	0	2	4	6	8	10
ЭДС, В											
I, мА											

Таблица 3 $B_3 =$ мТл.

V, м/с	- 10	- 8	-6	- 4	- 2	0	2	4	6	8	10
ЭДС, В											
I, мА											

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА:

1. Постройте на одном листе графики зависимости тока индукции от скорости движения перемычки при трёх значениях индукции магнитного поля.

Вывод по графику. Полученный экспериментально график зависимости тока индукции от скорости движения перемычки имеет вид прямой, проходящей через начало координат и качественно совпадает с теоретической зависимостью данных характеристик, имеющей вид:

$$2. \text{ Для каждой прямой определите тангенс угла наклона по формуле: } tg\varphi_{\text{эксп}} = \frac{\Delta i}{\Delta v}.$$

$$3. \text{ Вычислите теоретическое значение тангенса для каждой прямой по формуле } tg\varphi_{\text{теор}} = \frac{BL}{R}.$$

4. Заполните таблицу результатов измерений.

Номер измерения	$tg\varphi_{\text{эксп}}, \text{ Ас/м}$	$tg\varphi_{\text{теор}}, \text{ Ас/м}$

5. Сделайте выводы по графикам и результатам измерений:

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что называется элементарным магнитным потоком?
2. Что называется магнитным потоком?
3. При каких условиях магнитный поток равен нулю?
4. При каких условиях магнитный поток равен произведению индукции магнитного поля на площадь контура?
5. Сформулируйте определение явления электромагнитной индукции.
6. Сформулируйте закон электромагнитной индукции.
7. Дайте определение циркуляции магнитного поля.
8. Запишите закон ЭМИ в расшифрованном виде.
9. Какое поле является вихревым?
10. Что такое ток Фуко?
11. Чем отличается электрическое поле, созданное точечным зарядом, от электрического поля, появляющегося при ЭМИ?
12. Сформулируйте закон ЭМИ для замкнутого проводящего контура.
13. При каких условиях возникает ЭДС самоиндукции?
14. Сформулируйте определение явления самоиндукции.
15. Сформулируйте словами закон самоиндукции.
16. Назовите все способы создания переменного магнитного потока.
17. Как изменяется со временем магнитный поток в данной работе?
18. Как выглядит поверхность, через которую формируется переменный магнитный поток в данной работе?
19. Какова зависимость магнитного потока от времени в данной работе?
20. Как направлен вектор магнитной индукции в данной работе?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В КОНТУРЕ

(«Электричество и магнетизм», «Свободные колебания в RLC контуре»)

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 $U = \frac{q}{C}$

ЭДС самоиндукции в катушке $\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}$

НАПРЯЖЕНИЕ НА РЕЗИСТОРЕ $U_R = IR$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА $I = \frac{dq}{dt}$

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ свободных незатухающих колебаний

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

ПЕРИОД $T = 2\pi\sqrt{LC}$

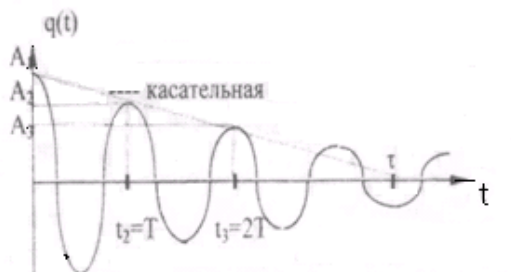
Его решение $q(t) = q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha)$ где α - начальная фаза.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ свободных затухающих колебаний

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

Его решение $q(t) = q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha)$, где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ - частота затухающих колебаний.

ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ ЗАТУХАНИЯ в контуре τ - есть время, за которое амплитуда

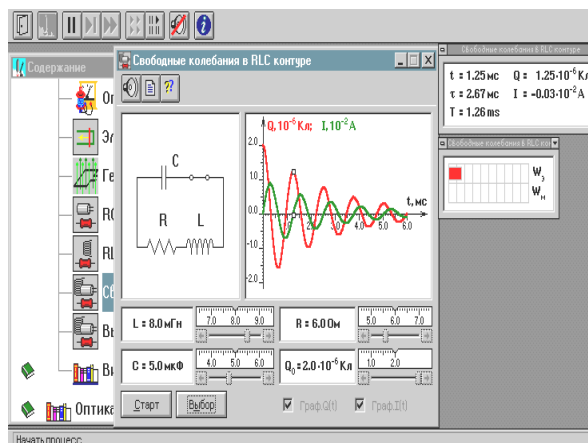


колебаний уменьшается в $e = 2.73$ раз. На графике зависимости амплитуды затухающих колебаний от времени касательная, проведенная к этому графику в начальный момент времени,

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:



1. Нажмите мышью кнопку «Выбор». 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.

Таблица 1. Значения емкости конденсатора и индуктивности катушки

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
C [мкФ]	3	3	2.7	2.7	2.4	2.4	2	2
L[мГн]	6	7	8	9	10	9	8	7

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

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

R, Ом	A1, мм	A2, мм	A3, мм	A4, мм	A5, мм	A6, мм	τ , мс	β , с-1
1								
2								
3								
4								
5								
6								
t[мс]								

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

1. Рассчитайте значения периода колебаний и запишите в заголовке табл. 2.
2. Рассчитайте время t , при котором измерена соответствующая амплитуда и запишите в таблицу 2.
3. Постройте на одном чертеже графики экспериментальных зависимостей амплитуды колебания A от времени t (6 линий, соответствующих разным R).
4. 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.
5. Рассчитайте величины коэффициента затухания $\beta = 1/\tau$ и также внесите в таблицу 2.
6. Постройте график зависимости коэффициента затухания от сопротивления резистора.

Вывод по графику: Полученный экспериментально график зависимости _____ от _____ имеет вид _____ и качественно _____ с теоретической зависимостью данных характеристик, имеющей вид _____

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

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

8. Оцените погрешность:

9. 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. 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. Напишите формулу для добротности контура. Что определяет добротность?

Литература

1. Трофимова Т.И. Физика: Учебник - М.: Academia, 2012.
2. Савельев И. В. Курс общей физики, тт. 1-3. - М.: Лань, 2011.
3. Демидченко В.И. Физика: учебник. – М.: Феникс, 2012, - 573 с
4. Ливенцев Н.М. Курс физики. – М.: Лань, 2012, - 672 с.
5. Тихомиров Ю.В., Лаптенков Б. К., Фёдоров В. Е. Лабораторный практикум (виртуальный) по курсу физики. Чебоксары. 2002.

Справочные материалы

ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

Название	Символ	Значение	Размерность
Гравитационная постоянная	γ или G	$6.67 \cdot 10^{-11}$	$\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$
Ускорение свободного падения на пов-ти Земли	g_0	9.81	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8$	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
Постоянная Авогадро	N_A	$6.02 \cdot 10^{26}$	кмоль^{-1}
Универсальная газовая постоянная	R	$8.31 \cdot 10^3$	$\text{Дж} \cdot \text{кмоль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$
Постоянная Больцмана	k	$1.38 \cdot 10^{-23}$	$\text{Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Элементарный заряд	e	$1.6 \cdot 10^{-19}$	Кл
Масса электрона	m_e	$9.11 \cdot 10^{-31}$	кг
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8.85 \cdot 10^{-12}$	$\text{Ф} \cdot \text{м}^{-1}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	$\text{Гн} \cdot \text{м}^{-1}$
Постоянная Планка	h	$6.62 \cdot 10^{-34}$	$\text{Дж} \cdot \text{с}$

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}
пета	П	10^{15}

Приставка	Символ	Множитель
деци*	д	10^{-1}
санτι*	с	10^{-2}
милли	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}
фемто	ф	10^{-15}

*) применяют только в наименованиях кратных и дольных единиц, уже получивших широкое распространение (например, гектар, декалитр, дециметр, сантиметр).

ГРЕЧЕСКИЙ АЛФАВИТ

Обозначения букв	Названия букв	Обозначения букв	Названия букв
A, α	альфа	N, ν	ню
B, β	бета	Ξ , ξ	кси
Γ , γ	гамма	Θ , θ	омикрон
Δ , δ	дэльта	Π , π	пи
E, ϵ	эпсилон	ρ , ρ	ро
Z, ζ	дзета	Σ , σ	сигма
H, η	эта	T, τ	тау
Θ , θ	тэта	Υ , υ	ипсилон
I, ι	йота	Φ , ϕ	фи
K, κ	каппа	χ , χ	хи
Λ , λ	ламбда	Ψ , ψ	пси
M, μ	мю	Ω , ω	омега

Учебное издание

Составитель Григорьев Ю.И.

Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ
по дисциплине
«Физика»
для направления подготовки бакалавра
09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
профиля
«Автоматизированные системы обработки информации и управления»

Учебно – методическое пособие

Компьютерная верстка –Григорьев Ю.И.

Подписано в печать . Формат 60х84/16.
Бумага писчая. Печать оперативная. Усл. печ.л.4.
Тираж экз. Заказ № . Цена свободная

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
«Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)»
Волжский филиал

428000, г. Чебоксары, ул. Тракторостроителей, 101, Корп. 30