

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ П.А. СТОЛЫПИНА»  
(ФГБОУ ВО Омский ГАУ им. П.А. Столыпина)**

---

**С.М. АНДРЮШЕЧКИН, А.А. БАБАРИКО**

**КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ**

**ОМСК**  
**Издательство ФГБОУ ВО Омский ГАУ**  
**им. П.А. Столыпина**  
**2016**

УДК 53(075)

ББК 22.3я7

*Рецензенты:*

доцент кафедры «Физика» ФГБОУ ВО ОмГТУ, к.т.н. М.А. Зверев,  
доцент кафедры «Физика» ФГБОУ ВО «СибАДИ», к.т.н. А.В. Тюкин  
доцент кафедры «Агроинженерия» ФГБОУ ВО Омский ГАУ, к.т.н.  
О.В. Мяло

Андрюшечкин, С.М.

Компьютерный практикум по физике: учебное пособие /  
С.М. Андрюшечкин, А.А. Бабарико. – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО  
Омский ГАУ им. П.А. Столыпина, 2016. – 48 с.

В учебном пособии представлен материал к 15 компьютерным лабораторным работам, разработанным на базе виртуального практикума компании «ФИЗИКОН». Подробно изложен авторский подход к постановке 10 лабораторных работ.

Содержание пособия соответствует программам дисциплин «Физика» и «Физика приборов и устройств» для направлений подготовки 35.03.06 – Агроинженерия, 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, 35.03.01 – Лесное дело, 35.03.04 – Агрономия.

УДК 53(075)

ББК 22.3я7

© Андрюшечкин С.М., Бабарико А.А., 2016

© ФГБОУ ВО Омский ГАУ им.  
П.А. Столыпина, 2016

© Оформление. Издательство ФГБОУ ВО  
Омский ГАУ им. П.А. Столыпина, 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	4
ВВЕДЕНИЕ .....	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Движение под действием постоянной силы .....	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Соударения упругих шаров.....	8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Упругие и неупругие удары.....	11
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Законы течения идеальной жидкости .....	14
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. Теплоемкость идеального газа.....	18
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. Уравнение состояния Ван-дер- Ваальса .....	19
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. Диффузия в газах.....	22
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. Движение заряженной частицы в электрическом поле.....	25
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9. Определение удельного заряда частицы методом отклонения в магнитном поле .....	28
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10. Зависимость мощности и КПД источника постоянного тока от внешней нагрузки.....	31
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11. Переходные процессы в цепях постоянного тока с конденсатором .....	34
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12. Вынужденные колебания в <i>RLC</i> - контуре (с упрощенной теорией).....	37
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13. Опыт Юнга.....	40
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14. Внешний фотоэффект .....	42
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15. Эффект Комптона.....	44
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	47

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из равноправных методов современной физической науки, помимо реального экспериментального исследования и построения теоретической модели изучаемого явления, в настоящее время выступает компьютерное моделирование. По этой причине не является случайным появление в современном образовательном процессе по дисциплине «Физика» учебного компьютерного моделирования физических процессов, что реализуется в форме виртуальных физических экспериментов, выполнения обучающимися компьютерных лабораторных работ.

Не подменяя и не заменяя реальный лабораторный физпрактикум, компьютерные эксперименты позволяют наглядно изучить те физические процессы, которые невозможно (или затруднительно) реализовать в учебном натурном эксперименте.

В данном пособии приведены указания к компьютерным лабораторным работам, выполняемым на основе компьютерного физического практикума (часть 1 и 2) компании «Физикон» (г. Долгопрудный, Россия).

Указания и задания к лабораторным работам «Движение под действием постоянной силы», «Соударения упругих шаров», «Теплоемкость идеального газа», «Опыт Юнга», «Эффект Комптона» дублируют указания и экспериментальные задания, приведенные в практикуме «Физикон».

Указания и задания к лабораторным работам «Упругие и неупругие удары», «Законы течения идеальной жидкости», «Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса», «Диффузия в газах», «Движение заряженной частицы в электрическом поле», «Определение удельного заряда частицы методом отклонения в магнитном поле», «Зависимость мощности и КПД источника постоянного тока от внешней нагрузки», «Переходные процессы в цепях постоянного тока с конденсатором», «Вынужденные колебания в  $RLC$ -контуре (с упрощенной теорией)», «Внешний фотоэффект» составлены непосредственно авторами пособия.

## ВВЕДЕНИЕ

Модели и моделирование используются человечеством с незапамятных времен. С помощью моделей и модельных отношений развились разговорные языки, письменность, графика. Наскальные изображения наших предков, затем картины и книги – это модельные, информационные формы передачи знаний об окружающем мире последующим поколениям.

На современном этапе развития науки трудно представить себе процесс познания без использования технологий моделирования. В эпоху новых информационных технологий и компьютеризации этот метод приобрел много разнообразных форм и средств реализации.

Грамотное использование компьютерных моделей при обучении физике позволяет дополнить натурный лабораторный эксперимент. Компьютерное моделирование в физике дает возможность исследования таких вопросов, которые могут быть небезопасны при проведении реального эксперимента (например, работы по радиоактивности, ядерной физике, с большими значениями токов, напряжений, давлений и др.) с одной стороны, с другой стороны позволяет пронаблюдать физические процессы более детализировано, а также ускорить или замедлить их протекание во времени.

В настоящее время компьютер находит широчайшее применение в различных отраслях производства, техники, средств связи, мониторинга технологических процессов, научных исследований. Компьютерный практикум по физике дает возможность обучить студентов постановке виртуального эксперимента, и тем самым подготовить обучающихся к дальнейшей профессиональной деятельности.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Движение под действием постоянной силы

### *Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе*

1. Как направлены силы трения?
2. При каком условии возникают силы трения?
3. Какие виды сил трения вы знаете?
4. От чего зависит коэффициент трения скольжения?
5. Как уменьшить влияние трения?
6. Автомобиль массой  $m$  за время  $t$  увеличивает свою скорость от  $v_1$  до  $v_2$ . Сила тяги двигателя автомобиля равна  $F$ . Определите величину, обозначенную \*. Какой путь пройдет автомобиль за данное время?

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Масса автомобиля $m$ , т	*	0,90	1,2	1,4	1,6	*	1,5	1,4	1,2	0,90	*	1,8
Время движения автомобиля $t$ , с	20	*	8,0	10	12	15	*	5,0	12	8,0	10	*
Начальная скорость автомобиля $v_1$ , км/ч	72	54	*	36	108	36	72	*	18	72	54	36
Конечная скорость автомобиля $v_2$ , км/ч	144	90	54	*	144	72	144	72	*	108	90	108
Сила тяги автомобиля $F$ , кН	1,4	1,2	1,5	1,6	*	0,80	2,0	1,4	1,6	*	1,8	1,6

**Цель работы:** исследование движения тела под действием постоянной силы; выбор физической и компьютерной моделей для анализа движения тела; экспериментальное определение свойств сил трения покоя и движения; определение массы тела.

**Краткая теория** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 2. Движение под действием постоянной силы).

**Методика и порядок измерений** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 2. Движение под действием постоянной силы).

### **Измерения**

1. Установите угол наклона плоскости равный нулю.
2. Нажав предварительно кнопку «Назад» (левая часть кнопки управления), установите величину внешней силы 1 Н. Установите

значение коэффициента трения соответствующее вашей бригаде из табл. 1.

3. Нажмите **Пуск** (средняя часть кнопки управления) и наблюдайте поведение кубика. Величину силы трения и ускорения определите по таблице внизу слева экрана. Результаты измерений силы трения и ускорения запишите в табл. 2, образец которой приведен ниже.

4. Нажмите кнопку **Назад** (левая часть кнопки управления), увеличьте величину внешней силы на 1 Н. Если полученное значение больше 10 Н, переходите к п. 5.

5. Повторите действия, начиная с п. 2, записывая результаты в следующей строке табл. 2.

6. Установите следующее значение коэффициента трения, которое указано в табл. 1, и величину внешней силы 1 Н. Повторите действия, начиная с п. 2.

Таблица 1

### Значения коэффициентов трения (не перерисовывать)

Номер бригады	$m, \text{ кг}$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	Номер бригады	$m, \text{ кг}$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$
1	2,0	0,1	0,2	0,3	5	2,1	0,2	0,1	0,3
2	2,1	0,1	0,2	0,3	6	2,2	0,2	0,1	0,3
3	2,2	0,1	0,2	0,3	7	2,3	0,1	0,2	0,3
4	2,3	0,3	0,1	0,2	8	2,4	0,2	0,1	0,3

Таблица 2

### Результаты измерений $m = \underline{\hspace{2cm}}$ кг

Номер измерения	$\mu_1 = \underline{\hspace{1cm}}$			$\mu_2 = \underline{\hspace{1cm}}$			$\mu_3 = \underline{\hspace{1cm}}$		
	$F_{\text{вн}}, \text{ Н}$	$F_{\text{тр}}, \text{ Н}$	$a, \text{ м/с}^2$	$F_{\text{вн}}, \text{ Н}$	$F_{\text{тр}}, \text{ Н}$	$a, \text{ м/с}^2$	$F_{\text{вн}}, \text{ Н}$	$F_{\text{тр}}, \text{ Н}$	$a, \text{ м/с}^2$
1	1								
2	2								
...									

### Обработка результатов и оформление отчета

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

2. По наклону графика  $a = f(F_{\text{вн}})$  определите значение  $m$ , используя формулу

$$m = \frac{\Delta F_{\text{вн}}}{\Delta a}.$$

3. Вычислите среднее значение  $m$  и абсолютную ошибку среднего значения  $m$ . В выводе по ответу сравните экспериментальное значение массы с табличным.

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Как проявляется действие силы? Приведите примеры.
2. Что называется равнодействующей силой?
3. Почему люди не ощущают всемирного тяготения к окружающим телам?
4. Материальная точка массой  $m$  движется с ускорением  $a$  под действием двух взаимно перпендикулярных сил  $F_1$  и  $F_2$ . Определите величину, обозначенную \*.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Масса материальной точки $m$ , кг	2,0	2,5	3,0	*	0,50	5,0	2,0	*	0,50	10	4,0	*
Ускорение материальной точки $a$ , м/с <sup>2</sup>	*	2,0	5,0	0,25	5,0	10	*	0,20	*	0,50	12,5	2,5
Первая сила $F_1$ , Н	30	*	9,0	2,0	*	40	6,0	0,40	0,80	3,0	*	9,0
Вторая сила $F_2$ , Н	40	4,0	*	1,5	2,0	*	8,0	0,30	0,60	*	30	12

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Соударения упругих шаров**

**Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе**

1. Тело массой  $m$  движется равноускоренно с ускорением  $a$  и в момент времени  $t$  имеет импульс  $p$ . Начальная скорость тела  $v_0$ . Определите величину, обозначенную \*. Вектор начальной скорости тела и вектор ускорения тела сонаправлены.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Масса тела $m$ , кг	1,5	*	0,50	2,5	3,0	1,5	*	4,0	2,0	5,0	0,50	*
Ускорение тела $a$ , м/с <sup>2</sup>	*	2,5	2,0	1,5	0,50	*	2,0	6,0	2,0	2,0	*	8,0
Время движения $t$ , с	2,0	2,0	3,0	4,0	*	4,0	5,0	0,50	2,0	*	5,0	4,0
Импульс тела $p$ , кг·м/с	10,5	1,6	7,0	*	45	15	30	12	*	80	8,0	8,0
Начальная скорость $v_0$ , м/с	4,0	3,0	*	6,0	10	2,0	5,0	*	2,0	8,0	6,0	8,0

2. В чем заключается закон сохранения механической энергии?

3. Что будет происходить с механической энергией падающего тела, если учесть сопротивление воздуха?

4. Что такое удар? Виды ударов. Запишите законы сохранения для абсолютно упругого и абсолютно неупругого ударов.

**Цель работы:** исследование взаимодействия двух шаров при столкновении и выбор физической модели; исследование физических характеристик, сохраняющихся при соударениях упругих шаров.

**Краткая теория** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 4. Соударения упругих шаров).

**Методика и порядок измерений** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 4. Соударения упругих шаров).

### Измерения

1. Установите, щелкая мышью кнопки регуляторов, массы шаров и начальную скорость первого шара (первое значение), указанные в табл. 3 для вашей бригады. Прицельное расстояние  $d$  выберите равным нулю.

2. Щелкая мышью кнопку «Пуск» (средняя часть кнопки управления) на экране монитора, следите за движением шаров. После остановки анимации запишите результаты измерений скоростей и углов в табл. 4, образец которой приведен ниже.

3. Щелкните «Назад» (левую часть кнопки управления). Измените значение прицельного расстояния  $d$  на величину  $\frac{0,2d}{R}$ , где  $R$  – радиус шара и повторите измерения.

4. Когда возможные значения  $d/R$  будут исчерпаны, установите второе значение начальной скорости первого шара из табл. 3 и повторите измерения, начиная с нулевого прицельного расстояния  $d$ . Результаты записывайте в табл. 5, аналогичную табл. 4.

Таблица 3

### *Массы шаров и начальные скорости (не перерисовывать)*

Номер бригады	$m_1, \text{кг}$	$m_2, \text{кг}$	$v_0, \text{м/с}$	Номер бригады	$m_1, \text{кг}$	$m_2, \text{кг}$	$v_0, \text{м/с}$
1	4,1	5	5 и 7	5	4,5	4	6 и 10
2	4,2	5	5 и 7	6	4,6	4	6 и 10
3	4,3	5	5 и 7	7	4,7	4	6 и 10
4	4,4	5	5 и 7	8	4,8	4	6 и 10

**Результаты измерений и расчетов**

$m_1 = \text{___ кг}, m_2 = \text{___ кг}, v_0 = \text{___ м/с}$									
№	$d/R$	$v_1, \text{ м/с}$	$v_2, \text{ м/с}$	$\alpha_1, ^\circ$	$\sin \alpha_1$	$\cos \alpha_1$	$\alpha_2, ^\circ$	$\sin \alpha_2$	$\cos \alpha_2$
1	0								
2	0,2								
...									

**Результаты расчетов**

$m_1 = \text{___ кг}, m_2 = \text{___ кг}, v_0 = \text{___ м/с}, (v_0)^2 = \text{___ (м/с)}^2$									
№	$d/R$	$v_1 \cos \alpha_1, \text{ м/с}$	$v_0 - v_1 \cos \alpha_1, \text{ м/с}$	$v_2 \cos \alpha_2, \text{ м/с}$	$v_1 \sin \alpha_1, \text{ м/с}$	$v_2 \sin \alpha_2, \text{ м/с}$	$(v_1)^2, \text{ (м/с)}^2$	$(v_0)^2 - (v_1)^2, \text{ (м/с)}^2$	$(v_2)^2, \text{ (м/с)}^2$
1	0								
2	0,2								
...									

**Обработка результатов и оформление отчета** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 4. Соударения упругих шаров).

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Чем отличается абсолютно упругий удар от абсолютно неупругого?
2. Как определить скорости тел после центрального абсолютно упругого удара? Следствием каких законов являются эти выражения?
3. Что такое полная механическая энергия?
4. Что такое прицельное расстояние (параметр) при столкновении шаров?
5. Что такое изолированная система тел?
6. Что такое замкнутая система тел?
7. Дайте определение потенциальной энергии.
8. Как математически определяется быстрота изменения импульса?
9. Что определяет быстроту изменения импульса?
10. Шар массой  $m_1$ , двигавшийся со скоростью  $v_0$ , налетает на неподвижный шар массой  $m_2$ . Удар центральный, упругий. Скорости

шаров после столкновения  $v_1$  и  $v_2$  соответственно. Вычислите величину, обозначенную \*.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Масса первого шара $m_1$ , кг	0,30	0,40	0,50	*	*	0,40	0,50	*	0,70	0,40	0,60	0,50
Начальная скорость первого шара $v_0$ , м/с	2,0	1,5	1,6	1,3	1,6	*	*	*	*	1,5	1,8	1,9
Масса второго шара $m_2$ , кг	0,20	*	*	0,40	0,20	0,30	*	0,50	0,35	0,20	*	*
Скорость первого шара после столкновения $v_1$ , м/с	*	0,35	*	0,26	*	0,29	0,57	0,13	*	*	0,60	*
Скорость второго шара после столкновения $v_2$ , м/с	*	*	2,0	*	1,9	*	2,3	1,5	2,4	*	*	2,1

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Упругие и неупругие удары

#### Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе

1. Шайба массой  $m$  соскальзывает с наклонной плоскости высоты  $h$  и имеет у ее основания скорость  $v$ . Количество теплоты, выделившееся при скольжении шайбы, равно  $Q$ . Рассчитайте величину, обозначенную \*.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Масса шайбы $m$ , г	200	50	*	50	100	200	*	200	50	100	*	100
Высота наклонной плоскости $h$ , см	60	*	80	60	40	*	60	40	80	*	40	80
Скорость шайбы у основания $v$ , м/с	*	3,0	3,5	2,0	*	2,5	2,8	2,2	*	3,5	2,0	3,0
Количество теплоты, выделившееся при скольжении шайбы, $Q$ , Дж	0,80	0,28	0,28	*	0,20	1,4	0,30	*	0,30	0,39	0,30	*

2. Что такое удар (столкновение, соударение)?
3. Какое столкновение называют абсолютно неупругим?
4. При каком столкновении выполняется закон сохранения импульса?

**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** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 5. Упругие и неупругие удары).

Рассмотрим частный случай абсолютно неупругого удара: когда одна из тележек покоится (допустим,  $v_2 = 0$ ), а другая – движется.

Закон сохранения импульса тогда запишется:  $m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v'$ .

Отсюда выразим скорость тележек после столкновения:  $v' = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}$ .

Кинетическая энергия тележек до столкновения равна:  $E_{\kappa}^{\text{до}} = \frac{m_1 v_1^2}{2}$ .

Кинетическая энергия тележек после столкновения определяется выражением:  $E_{\kappa}^{\text{после}} = \frac{(m_1 + m_2) v'^2}{2}$ . Подставим в последнее выражение

скорость тележек после столкновения, найденную из закона сохранения импульса:  $E_{\kappa}^{\text{после}} = \frac{m_1^2 v_1^2}{2(m_1 + m_2)}$ .

Количество теплоты, выделившееся в результате столкновения тележек, находится:

$$\Delta E_{\kappa} = \frac{m_1 v_1^2}{2} - \frac{m_1^2 v_1^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{m_1 v_1^2}{2} \left( 1 - \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right) = \frac{m_1 v_1^2}{2} \cdot \frac{m_2}{m_1 + m_2}.$$

Коэффициент потерь энергии равен:  $\gamma = \frac{\Delta E_{\kappa}}{E_{\kappa}^{\text{до}}} = \frac{m_2}{m_1 + m_2}$ . Введем

обозначение:  $k = \frac{m_2}{m_1}$ . Тогда:  $\gamma = \frac{k}{1 + k}$ .

**Методика и порядок измерений** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 5. Упругие и неупругие удары).

## Измерения

1. Установите, щелкая мышью кнопки регуляторов, значение массы первой тележки  $m_1$  и ее начальную скорость  $v_1$ , указанные в табл. 8 для вашей бригады. Щелкните кнопку «Абсолютно неупругое». Для второй тележки выберите минимальное значение массы  $m_2$  и ее начальную скорость выберите равной  $v_2 = 0$ .

2. Запишите значение кинетической энергии до столкновения  $E_{к1}$  в табл. 9, образец которой приведен ниже (кинетическая энергия в этой и во всех других таблицах равна сумме энергий обеих тележек).

3. Щелкните мышью кнопку «Пуск» (средняя часть кнопки управления, имеющей круглую форму) на экране монитора. Следите за движением тележек, остановив движение после первого столкновения кнопкой «Пауза». Запишите значение  $\Delta E$  в таб. 9.

4. Щелкните мышью кнопку «Назад» (левая часть кнопки управления, имеющей круглую форму) на экране монитора. Увеличивая значение массы второй тележки, повторите измерения еще 10 раз, начиная с п. 1.

Таблица 8

### *Значение массы и скорости для первой тележки (не перерисовывать)*

Номер бригады	$m_1, \text{кг}$	$v_1, \text{м/с}$	Номер бригады	$m_1, \text{кг}$	$v_1, \text{м/с}$
1	1	1	5	3	1
2	1,5	2	6	3,5	2
3	2	1	7	4	1
4	2,5	2	8	4,5	2

Таблица 9

### *Результаты измерений и расчетов*

Номер измерения	$m_1, \text{кг}$	$m_2, \text{кг}$	$k$	$\Delta E, \text{Дж}$	$E_1, \text{Дж}$	$\gamma_T$	$\gamma_{\text{экс}}$
1							
2							
...							
10							

### Обработка результатов и оформление отчета:

1. Вычислите требуемые величины и заполните табл. 9:

$$k = \frac{m_2}{m_1}, \text{ теоретический коэффициент потерь энергии } \gamma = \frac{m_2}{m_1 + m_2},$$

$$\text{экспериментальный коэффициент потерь } \gamma = \frac{\Delta E_{\kappa}}{E_{\kappa}^{\text{до}}}.$$

2. Постройте на одном графике зависимости  $\gamma_m = f(k)$  и  $\gamma_{\text{экс}} = f(k)$ .

3. Проанализируйте графики и сделайте выводы.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дайте определение потенциальной энергии.

2. Что такое замкнутая система тел?

3. Что такое изолированная система тел?

4. Являются ли тележки изолированной системой тел?

5. Движение тела массой  $m$  описывается уравнением  $x = k_0 + k_1 t + k_2 t^2$ . Через  $t$  секунд импульс тела равен  $p$ , а сила, вызвавшая это изменение импульса,  $F$ . Определите величины, обозначенные \*. Каков физический смысл величин  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ ? Направление силы, действующей на тело, совпадает с направлением начальной скорости тела.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Масса тела $m$ , кг	2	*	4	*	6	*	5	*	3	10	8	5
$k_0$ , м	2	4	6	8	10	4	7	3	1	5	9	2
$k_1$ , м/с	10	5	*	*	5	2	4	1	*	3	15	25
$k_2$ , м/с <sup>2</sup>	*	3	*	5	*	10	2	4	20	1,5	5	40
Время $t$ , с	5	2	4	3	*	*	8	3	4	*	10	*
Импульс тела $p$ , кг·м/с	*	*	80	30	180	44	*	250	600	240	*	225
Сила, действующая на тело $F$ , Н	8	60	20	10	30	20	*	*	*	*	*	*

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Законы течения идеальной жидкости

### Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе

1. Получите и сформулируйте теорему неразрывности струи.

2. В трубе переменного сечения скорость потока воды в сечении площадью  $S_1$  равна  $v_1$ , а в сечении площадью  $S_2$  составляет  $v_2$ . Определите величину, обозначенную \*. Рассчитайте массу воды, проходящую каждую секунду через сечение трубы.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Площадь первого сечения $S_1, \text{см}^2$	20	10	12	*	15	18	120	*	25	30	24	*
Скорость воды в первом сечении $v_1$ ,	*	3,0	0,60	2,5	*	1,5	4,0	8,0	*	1,0	5,0	0,25
Площадь второго сечения $S_2, \text{см}^2$	25	*	3,6	10	20	*	60	15	30	*	60	12
Скорость воды во втором сечении $v_2$ ,	4,0	2,0	*	5,0	6,0	4,5	*	4,0	2,0	0,25	*	0,50

**Цель работы:** знакомство с компьютерной моделью течения идеальной жидкости; экспериментальная проверка уравнений неразрывности и Бернулли; экспериментальное определение расхода жидкости.

**Краткая теория** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 6. Законы течения идеальной жидкости).

**Методика и порядок измерений** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 6. Законы течения идеальной жидкости).

### Измерения

1. Установите с помощью мыши значение диаметра трубы  $d_1$ , равное величине  $D_1$ , указанное в табл. 10 (см. ниже) для вашей бригады, а  $d_2 = d_3 > d_1$ .

2. С помощью миллиметровой линейки измерьте длину трубы  $L_1$  диаметра  $d_1$  и  $L_2$  диаметра  $d_2$ .

3. Зафиксируйте свое внимание на одной из пяти штриховой линии в жидкости (5 темных горизонтальных линий в трубе), находящейся на входе в трубу и одновременно включите секундомер. Не выпуская из внимания выделенную линию и сопровождая визуально ее течение по трубе, выключите секундомер в момент прохождения ею выходного сечения трубы диаметром  $d_1$ . Запишите это время  $t_1$  в табл. 11.

4. Таким же образом измерьте время  $t_2$  прохождения жидкостью трубы диаметром  $d_2$ . Запишите это время в табл. 11.

5. Запишите в табл. 11 значения  $h_1$  и  $h_2$ .
6. С помощью курсора мыши установите следующее значение  $d_2 = d_3$  и повторите измерения в соответствии с п. 4.

Таблица 10

**Значения диаметров трубы**

Номер бригады	$D_1, мм$	Номер бригады	$D_1, мм$
<b>1</b>	30	<b>5</b>	38
<b>2</b>	32	<b>6</b>	40
<b>3</b>	34	<b>7</b>	42
<b>4</b>	36	<b>8</b>	44

Таблица 11

**Результаты измерений и расчетов**

$d_1, мм$															
$L_1, см$															
$t_1, с$															
$t_{ср1}, с$															
$v_1, м/с$															
$h_1, мм$															
$S_1 v_1$															
$d_2, мм$															
$L_2, см$															
$t_2, с$															
$t_{ср2}, с$															
$v_2, м/с$															
$S_2 v_2$															
$h_2, мм$															
$\Delta h, мм$															
$v_1^2 - v_2^2$															

## Обработка результатов и оформление отчета:

1. По формулам  $v = \frac{L}{t_{cp}}$  и  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  выполните необходимые

расчеты и заполните табл. 11.

2. Постройте график зависимости  $v_1^2 - v_2^2 = f(\Delta h)$ .

3. По графику определите экспериментальное значение ускорения свободного падения:  $g = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2\Delta h}$ .

4. По формуле  $S_1 v_1 = S_2 v_2$  проверьте выполнение в вашем опыте уравнения неразрывности.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какое течение жидкости называется ламинарным и турбулентным?

2. Как в потоке жидкости можно измерить статическое, динамическое и полное давление?

3. Выведите уравнение Бернулли и проанализируйте его физическое содержание. Укажите область его применимости.

4. В боковой стенке сосуда, заполненного невязкой жидкостью плотностью  $\rho$ , у дна имеется небольшое отверстие (с закругленными краями) диаметром  $d$ . При высоте жидкости в сосуде  $h$  скорость ее истечения из отверстия составляет  $v$ , а масса жидкости, вытекающей за секунду, равна  $m$ . Определите величины, обозначенные \*.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Плотность жидкости $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	*	0,80	1,0	1,0	*	0,90	0,80	*	1,0	0,90	1,0	0,80
Диаметр отверстия $d$ , мм	5,0	*	*	3,0	4,0	3,0	6,0	5,0	*	*	6,0	3,0
Высота столба жидкости $h$ , см	*	30	*	35	40	*	*	*	35	*	20	*
Скорость вытекания жидкости $v$ , м/с	2,0	*	2,2	*	*	3,0	*	3,0	*	2,2	*	2,4
Масса жидкости, вытекающей за одну секунду $m$ , г/с	35	55	28	*	28	*	63	52	33	39	*	*

5. Каким критерием определяется переход режима течения жидкости от ламинарного к турбулентному?

6. Какое давление измеряет манометр в данной работе? Как с помощью манометра убедиться в стационарности течения воды по трубке? (Ответ обосновать).

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. Теплоемкость идеального газа

### Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе

1. Какую физическую величину называют удельной теплоемкостью вещества?

2. Что показывает удельная теплоемкость вещества?

3. Как можно изменить внутреннюю энергию тела?

4. Как связаны между собой универсальная газовая постоянная, постоянная Больцмана и постоянная Авогадро?

5. При нагревании (охлаждении) идеальный газ в баллоне с подвижным поршнем расширяется (сжимается) и, перемещая поршень, совершает работу  $A_{\text{газ}}$ . Внутренняя энергия газа при этом изменяется от  $U_1$  до  $U_2$ . Количество теплоты, переданное газу в данном процессе, равно  $Q$ . Определите величину, обозначенную \*. Можно ли по приведенным в условии задачи данным определить работу внешних сил, приложенных к поршню, и, если да, то чему она равна? Как изменилась – возросла или уменьшилась – температура газа в данном процессе?

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Работа, совершенная газом, $A_{\text{газ}}$ , кДж	*	3,0	5,0	6,0	*	3,5	5,0	6,5	*	4,0	4,5	5,5
Начальная внутренняя энергия газа $U_1$ , кДж	3,5	*	5,0	6,5	4,0	*	4,5	6,0	4,5	*	5,5	2,0
Конечная внутренняя энергия газа $U_2$ , кДж	3,0	5,0	*	4,5	3,5	6,0	*	34	2,5	7,0	*	4,0
Количество теплоты, переданное газу $Q$ , кДж	2,0	4,0	6,0	*	2,5	6,0	7,5	*	1,5	8,0	2,0	*

**Цель работы:** знакомство с теплоемкостью идеального газа в изохорическом и изобарическом процессах; экспериментальное подтверждение закономерностей изопроцессов; экспериментальное определение количества степеней свободы и структуры молекул газа в данной модели.

**Краткая теория** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 1. Теплоемкость идеального газа).

**Методика и порядок измерений** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 1. Теплоемкость идеального газа).

**Измерения** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 1. Теплоемкость идеального газа).

**Обработка результатов и оформление отчета** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 1. Теплоемкость идеального газа).

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Почему теплоемкость газа при изобарном процессе меньше, чем при изохорном?
2. В чем заключается теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы?
3. Что такое число степеней свободы?
4. Дайте определение изопроцесса. Перечислите известные вам изопроцессы.
5. Напишите общую формулу для числа степеней свободы.
6. При изобарном расширении одноатомного идеального газа (масса газа  $m$ ) ему передано количество теплоты  $Q$ . При этом температура газа возросла от  $T_1$  до  $T_2$ . Определите величину, обозначенную \*, или вид газа.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вид газа	Ne	Kr	Ar	*	Ne	Kr	Ar	He	*	Kr	Ar	He
Масса газа $m, г$	10	60	*	2,0	20	80	40	*	10	40	80	8,0
Количество теплоты, переданное газу $Q, кДж$	1,0	*	0,85	0,83	4,1	2,6	*	1,7	1,1	1,4	9,6	*
Начальная температура газа $T_1, К$	*	300	370	400	280	*	370	420	270	310	*	410
Конечная температура газа $T_2, К$	350	400	450	520	*	480	490	500	380	*	590	560

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса**

**Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе**

1. Перечислите все известные агрегатные состояния вещества.
2. Что такое идеальный газ?

3. В вертикально расположенном цилиндре с гладкими внутренними стенками под поршнем массой  $m$  находится  $\nu$  молей газа. При температуре  $t$  поршень находится на высоте  $h$  от дна цилиндра. Определите величину, обозначенную \*. Давление воздуха снаружи считать малым. Ускорение свободного падения принять равным  $10 \text{ м/с}^2$ . Постройте график зависимости высоты положения поршня  $h$  от температуры  $t$  газа.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Масса поршня $m$ , кг	10	30	20	*	30	20	10	*	20	10	30	*
Количество вещества $\nu$ , моль	*	0,15	0,10	0,050	*	0,10	0,050	0,15	*	0,050	0,15	0,10
Температура $t$ , °С	127	*	77	127	27	*	127	27	77	*	27	77
Высота положения поршня $h$ , см	300	100	*	200	100	200	*	300	200	300	*	100

**Цель работы:** знакомство с поведением вещества, находящегося в газообразном состоянии и переходящего в жидкое состояние, на основе соответствующей компьютерной модели; экспериментальное подтверждение закономерностей поведения реального газа.

**Краткая теория** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 4. Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса).

**Методика и порядок измерений** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 4. Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса).

### Измерения

1. Подведите маркер мыши к кнопке на регуляторе температуры и нажмите левую кнопку мыши. Удерживайте кнопку в нажатом состоянии пока не появится критическая изотерма (с точкой перегиба, в которой касательная горизонтальна).

2. Запишите в свой конспект значения критических параметров  $T_{кр}$ ,  $V_{кр}$ ,  $p_{кр}$ .

3. Установите значение температуры, указанное первым в таблице начальных значений для вашей бригады. Нажмите мышью кнопку «Пуск» на экране и наблюдайте перемещение поршня на левой картинке модели и перемещение точки по красной кривой теоретической адиабаты. Попробуйте останавливать процесс нажатием кнопки «Пауза» на экране. Последующий запуск процесса осуществляется нажатием кнопки «Пуск».

4. После остановки процесса запустите его снова, нажав кнопку «Пуск», и останавливайте, нажимая кнопку «Пауза», когда крестик на теоретической изотерме (синяя кривая) будет находиться вблизи указанных в табл. 12 значений объема, записывая при остановке значения в табл. 13.

5. Установив новое значение температуры  $T$  из табл. 12, повторите измерения, записывая результаты в табл. 14, 15, 16, 17.

Таблица 12

**Примерные значения температуры**

Бригада	1, 4, 7	2, 5, 8	3, 6
газ	Ne	NH <sub>3</sub>	Ne
$T_1, K$	470	475	485
$T_2, K$	520	525	535
$T_3, K$	570	575	585
$T_4, K$	620	625	635
$T_5, K$	350	380	300

Таблицы 14, 15, 16, 17

**Результаты измерений при  $T = \underline{\hspace{2cm}}$  K**

$V, \text{дм}^3$	0,3	0,25	0,2	0,15	0,125	0,1
$p, \text{кПа}$						
$1/V, \text{дм}^{-3}$						
Состояние вещества						

**Обработка результатов и оформление отчета** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 4. Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса).

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Каковы особенности поведения газа при температуре выше и ниже критической?
2. Что такое точка росы?
3. Опишите изотерму Ван-дер-Ваальса: какой участок изотермы какому состоянию вещества соответствует?
4. Приведите пример применения перегретой жидкости.
5. Один моль газообразного вещества, состояние которого описывается уравнением Ван-дер-Ваальса, имеет критическую температуру  $T_{кр}$ , критическое давление  $p_{кр}$ , критический объем  $V_{кр}$ . Определите величину, обозначенную \*.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Критическая температура $T_{кр}, K$	*	154,8	1750	*	304,2	150,86	*	33,0	516,3	*	647	126,25
Критическое давление $p_{кр}, 10^5 Pa$	12,8	*	1500	63,0	*	48,1	50,1	*	63,0	72,9	*	33,5
Критический объем $V_{кр}, см^3$	61,8	74,4	*	167	94,0	*	74,4	61,8	*	94,0	56	*

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. Диффузия в газах

### Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе

1. Что происходит с изолированной макросистемой при нарушении равновесия?
2. Дайте определение явления переноса.
3. Дайте определение явления диффузии.
4. Напишите уравнение одномерной диффузии для двухкомпонентной системы газов.
5. На поверхность изделия площадью  $S$  в течение времени  $t$  напыляют металлическое покрытие толщиной  $h$ ; при этом каждую секунду осаждается  $k$  атомов металла. Определите величину, обозначенную \*, а также концентрацию атомов в напыленном слое, их общее число и массу одного атома.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Площадь поверхности $S, см^2$	*	100	5,0	4,0	*	2,0	3,0	1000	*	5,0	1,0	0,50
Толщина покрытия $h, мкм$	5,0	*	1,0	2,0	1,0	*	5,0	1,0	2,0	*	1,0	2,0
Число атомов, осаждающихся ежесекундно $k, \times 10^{18} c^{-1}$	3,0	4,0	*	2,0	2,0	0,50	*	5,0	6,0	1,0	*	2,0
Время процесса $t, мин$	10	2,0	1,0	*	0,50	5,0	4,0	*	10	5,0	3,0	*
Металл	<i>Al</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Ag</i>	<i>Au</i>	<i>Pt</i>	<i>Al</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Ag</i>	<i>Au</i>	<i>Pt</i>

**Цель работы:** знакомство с явлением диффузии на основе компьютерной модели, описывающей диффузию молекул идеального газа; экспериментальное подтверждение закона диффузии;

экспериментальное определение средней скорости теплового движения частиц в данной модели.

**Краткая теория** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 6. Диффузия в газах).

**Методика и порядок измерений** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 6. Диффузия в газах).

### Измерения

1. Нажмите кнопку «Пуск» и через  $\Delta t$  секунд (из табл. 18) после начала процесса нажмите кнопку «Пауза» и измерьте характеристику, которая соответствует требуемому по табл. 18 измерению (например, количество зеленых частиц сверху). Результат запишите в табл. 19. Нажмите «Пуск» и через следующие  $\Delta t$  секунд остановите процесс и запишите количество частиц.

2. Закончив измерения с данным отверстием, установите следующее значение диаметра отверстия из табл. 18 и повторите измерения, записывая результаты в табл. 20 ÷ 24, аналогичные табл. 19.

Таблица 18

### *Значения диаметров отверстия и сорта частиц в объеме наблюдения*

Бригада	1	2	$\Delta t, c$
$d_1, мм$	50	50	10
$d_2, мм$	55	55	
$d_3, мм$	60	60	
$d_4, мм$	70	70	5
$d_5, мм$	75	75	
$d_6, мм$	80	80	
Сорт	красные	зеленые	
Объем	снизу	сверху	

Таблицы 19 ÷ 24

**Результаты измерений и расчетов. Диаметр отверстия  $d = \_ \_ мм$**

Номер измерения	$t, c$	$N(t)$	$dN$	$N - 2N(t), \left( \frac{\Delta N}{\Delta x} \right)$
1				
2				
...				
10				

### Обработка результатов и оформление отчета:

1. Вычислите и запишите в таблицы все указанные значения.
2. Постройте два графика: 1) зависимости  $N = f(t)$  для  $d_1$ ,  $d_2$  и  $d_3$ ; 2) зависимости  $N = f(t)$  для  $d_1$ ,  $d_2$  и  $d_3$ .
3. Проанализируйте полученные графики.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Куда направлен вектор градиента плотности?
2. Чему равен модуль вектора градиента плотности?
3. Что такое длина свободного пробега частицы?
4. Что такое эффективный диаметр и эффективное сечение частицы?
5. Какое уравнение связывает среднюю скорость с коэффициентом диффузии?
6. Через мембрану площадью  $S$  за время  $t$  диффундирует газ массой  $m$  при градиенте плотности  $\frac{\Delta\rho}{\Delta x}$ . Коэффициент диффузии газа равен  $D$ . Определите величину, обозначенную \*.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Площадь мембраны $S, \text{см}^2$	4,0	5,0	3,0	2,0	*	3,0	5,5	4,5	1,5	2,5	*	6,0
Время процесса диффузии $t, \text{с}$	80	90	60	*	40	70	80	60	50	*	30	20
Масса продиффундировавшего газа $m, \text{мг}$	256	576	*	45	40,5	120	88	32	*	192	10,8	*
Градиент плотности $\frac{\Delta\rho}{\Delta x}, \text{кг/м}^4$	0,040	*	0,030	0,025	0,045	*	0,020	*	0,050	0,030	0,040	0,025
Коэффициент диффузии газа $D, \text{см}^2/\text{с}$	*	0,64	0,21	0,18	0,09	0,14	*	0,08	0,20	0,64	0,18	0,14

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. Движение заряженной частицы в электрическом поле

### Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе

1. Какое поле называется электростатическим?
2. Какие общие закономерности можно провести между электрическим и гравитационным полем?
3. Что представляют собой силовые линии электрического поля?
4. Положительно заряженная частица с зарядом  $q$  и массой  $m$  влетает в однородное электрическое поле с напряженностью  $E$  так, что вектор начальной скорости совпадает по направлению с вектором напряженности электрического поля. За время  $t$  скорость частицы увеличивается от начальной скорости  $v_0$  до скорости  $v$ . Определите величину, обозначенную  $*$ .

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12*
Заряд частицы $q, 10^{-19} \text{ Кл}$	1,6	3,2	1,6	4,8	1,6	*	1,6	4,8	1,6	3,2	4,8	*
Масса частицы $m, 10^{-27} \text{ кг}$	5,01	6,64	3,34	9,99	*	11,6	9,99	11,6	1,67	6,64	*	3,34
Напряженность электрического поля $E, \text{ кН/Кл}$	50	80	70	*	40	30	80	70	60	*	30	50
Время движения частицы $t, \text{ мкс}$	2,0	0,50	*	1,5	0,52	7,25	2,2	1,3	*	1,8	2,1	1,7
Начальная скорость частицы $v_0, \text{ км/с}$	800	*	600	700	500	200	300	*	400	150	900	230
Конечная скорость частицы $v, 10^2 \text{ км/с}$	*	35	19	50	25	32	*	41	21	36	35	43

**Цель работы:** знакомство с процессом движения заряда в однородном электрическом поле и его моделированием; экспериментальное исследование закономерностей движения точечного заряда в однородном электрическом поле; экспериментальное определение величины удельного заряда частицы.

**Краткая теория** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 14. Движение заряженной частицы в электрическом поле).

**Методика и порядок измерений** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 14. Движение заряженной частицы в электрическом поле).

### Измерения

1. Нажмите кнопку «Сброс» (нижняя часть кнопки управления). Подведите маркер мыши к кнопке регулятора напряженности  $E$ . Щелкая левой кнопкой мыши, установите минимальное числовое значение напряженности электрического поля  $E$ .

2. Зацепив мышью пластину конденсатора, меняйте его длину и расстояние между пластинами. Установите числовое значение длины конденсатора  $L$  в соответствии с табл. 25 для вашей бригады. Расстояние между пластинами  $d$  должно быть максимальным.

3. Аналогичным способом установите  $v_{0x1}$ ,  $v_{0y} = 0$ ,  $y_0$ .

4. Нажав кнопку «Пуск» (средняя часть кнопки управления), наблюдайте движение частицы. После окончания движения проведите измерения параметров движения частицы. Запишите числовые значения с экрана в табл. 26.

5. Повторите измерения с п. 1, изменяя  $E$  на  $0,2 \text{ кВ/м}$ , до момента столкновения электрона с пластиной конденсатора, нажимая кнопку «Назад» (левая часть кнопки управления). Результаты записывайте в табл. 26.

6. Установите второе значение  $v_{0x1}$  и повторите измерения с п. 1. Результаты записывайте в табл. 27, аналогичную табл. 26.

Таблица 25

### Начальные значения (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$v_{0x1}, 10^6 \text{ м/с}$	5	4,5	4	5	4,5	4	5	4,5
$v_{0x2}, 10^6 \text{ м/с}$	4,5	4,7	3,8	4,7	4,2	4,3	3,7	3,9
$L, \text{ см}$	4,5	3,0	3,5	4,5	3,0	3,5	4,5	3,0
$y_0, \text{ см}$	0,10	0,12	0,16	0,10	0,12	0,16	0,10	0,12

Таблицы 26 ÷ 27

**Результаты измерений для  $v_{0x1} = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 10^6 \text{ м/с}$**

Номер измерения	$E, \text{ кВ/м}$	$v_y, 10^6 \text{ м/с}$
1		
2		
...		

### Обработка результатов и оформление отчета:

1. Постройте на одном графике экспериментальные зависимости  $v_y = f(E)$ .

2. По графикам определите значение удельного заряда частицы, используя формулы:  $\frac{q}{m} = \frac{\Delta v_y}{\Delta E \cdot t_{\text{об}}}$ ,  $t_{\text{об}} = \frac{L}{v_{0x}}$ .

3. Сформулируйте выводы по ответам и графикам. Табличное значение удельного заряда электрона  $\frac{q_e}{m_e} = -1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$ .

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какое поле существует между пластинами плоского конденсатора?

2. Какому закону подчиняется движение точечного заряда внутри плоского конденсатора?

3. Какую форму имеет траектория движения электрона между пластинами плоского конденсатора?

4. Как будет двигаться заряд, если его начальная скорость вертикальна (пластины конденсатора расположены горизонтально)?

5. Частица с зарядом  $q$  и массой  $m$ , двигаясь из состояния покоя в однородном электрическом поле с напряженностью  $E$ , приобретает скорость  $v$ , пройдя расстояние  $d$ . При этом напряжение, ускорившее частицу, составляет  $U$ . Определите величины, обозначенные \*.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Заряд частицы $q, 10^{-19} \text{ Кл}$	*	*	3,2	*	3,2	1,6	*	1,6	*	1,6	3,2	4,8
Масса частицы $m, 10^{-27} \text{ кг}$	26,6	1,67	19,9	9,99	13,3	*	16,6	23,2	105	179	*	*
Напряженность электрического поля $E, \text{ кВ/м}$	*	2,0	*	5,0	10	5,0	*	20	5,0	*	*	5,0
Скорость частицы $v, \text{ км/с}$	98,1	239	56,7	80,0	155	120	152	*	55,2	*	34,3	46,3
Расстояние, пройденное частицей $d, \text{ см}$	10	*	5,0	4,0	*	6,0	3,0	2,0	*	15	5,0	*
Напряжение $U, \text{ В}$	400	300	*	*	*	*	600	*	500	300	200	100

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9. Определение удельного заряда частицы методом отклонения в магнитном поле

### Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе

1. Как определяется направление действия силы Лоренца?
2. Почему сила Лоренца не совершает работы?
3. Можно ли разделить полюса магнита?

4. Ионы двух изотопов с массами  $m_1$  и  $m_2$ , имеющие одинаковый заряд и прошедшие в электрическом поле одинаковую ускоряющую разность потенциалов, влетают в магнитное поле перпендикулярно силовым линиям магнитного поля. Найдите отношение радиусов окружностей, по которым будут двигаться ионы в магнитном поле.

5. Частица массой  $m$ , имеющая заряд  $q$ , влетает в магнитное поле с индукцией  $B$  так, что вектор скорости  $v$  частицы перпендикулярен линиям магнитной индукции. В магнитном поле траекторией частицы является окружность диаметром  $d$ . Определите величину, обозначенную \*.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Масса частицы $m$ , а. е. м.	4,0	7,0	10,0	*	12,0	14,0	16,0	2,0	*	12,0	11,0	6,0
Заряд частицы $q$ , $10^{-19}$ Кл	1,6	1,6	3,2	1,6	*	3,2	3,2	1,6	1,6	*	3,2	1,6
Индукция магнитного поля $B$ , мТл	*	400	150	100	300	*	250	120	400	150	*	200
Скорость частицы $v$ , Мм/с	0,70	*	0,44	0,81	0,40	0,37	*	0,99	0,34	0,40	0,42	*
Диаметр окружности $d$ , см	58,2	16,0	*	50,5	16,6	10,8	23,3	*	30,0	33,3	16,0	35,6

**Цель работы:** знакомство с компьютерным моделированием движения заряженных частиц в магнитном поле; ознакомление с принципом работы масс-спектрометра; определение удельного заряда изотопов.

**Краткая теория** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 15. Определение удельного заряда частицы методом отклонения в магнитном поле).

**Методика и порядок измерений** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 15. Определение удельного заряда частицы методом отклонения в магнитном поле).

## Измерения

1. Зацепив мышью движок регулятора скорости, установите значение скорости, взятое из табл. 28 для вашей бригады. Выберите соответствующей вашей бригаде изотоп. Установите значение  $B$ , взятое из табл. 29.

2. Нажмите мышью кнопку «Пуск». Проследите за движением двух изотопов в магнитном поле модельного масс-спектрометра. Запишите в табл. 29 значения радиусов окружностей, по которым двигались эти изотопы (они показаны в нижнем окне).

3. Нажмите мышью кнопку «Возврат» и, последовательно увеличивая значение магнитной индукции, проделайте пп. 1 ÷ 2 еще 6 раз и заполните табл. 29.

Таблица 28

### Значения скорости

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
$v \cdot 10^3, \text{ м/с}$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Изотоп	${}^{12}_6\text{C} - {}^{14}_6\text{C}$				${}^{20}_{10}\text{Ne} - {}^{22}_{10}\text{Ne}$			

Таблица 29

### Результаты измерений и расчетов

$B, \text{ мТл}$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9
$\frac{1}{B}, \text{ Тл}^{-1}$							
$v, \text{ км/с}$							
$R_1, \text{ мм}$							
$R_2, \text{ мм}$							
$t_1, \text{ мкс}$							
$t_2, \text{ мкс}$							

### Обработка результатов и оформление отчета:

1. Постройте на одном графике зависимости  $t_1 = f\left(\frac{1}{B}\right)$  и  $t_2 = f\left(\frac{1}{B}\right)$ .

2. Используя график, вычислите по формуле  $\frac{q}{m} = \frac{\pi \Delta \left(\frac{1}{B}\right)}{\Delta t}$ , удельные заряды изотопов.

3. Вычислите по формуле  $\frac{q}{m} = \frac{Z \cdot |e|}{A \cdot 1a.e.m.}$  теоретическое значение удельного заряда изотопа.  ${}^A_ZX$ , где  $Z$  – зарядовое число (число протонов в ядре),  $A$  – массовое число,  $X$  – изотоп,  $|e| = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$  – заряд электрона,  $1a.e.m. = 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$  – атомная единица массы.

4. Сравните полученные теоретические и экспериментальные значения удельного заряда изотопа. Сделайте выводы.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Пройдя ускоряющую разность потенциалов  $U$ , частица массой  $m$  с зарядом  $q$  попадает в однородное магнитное поле магнитной индукции  $B$  так, что направление ее скорости  $v$  составляет угол  $\alpha$  с направлением магнитного поля. В магнитном поле частица движется по спирали, период ее обращения  $T$ , радиус орбиты  $R$ , шаг спирали  $d$ . Определите величины, обозначенные \*. ( $e$  – элементарный заряд,  $m_e$ ,  $m_p$ ,  $m_\alpha$  – масса электрона, протона или  $\alpha$ -частицы соответственно.)

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Масса частицы $m$	$m_e$	$m_e$	$m_p$	$m_p$	$m_\alpha$	$m_e$	$m_e$	$m_p$	$m_p$	$m_\alpha$	$m_e$	$m_p$
Заряд частицы $q$	+e	-e	+e	-e	+2e	+e	-e	+e	-e	+2e	-e	+e
Ускоряющая разность потенциалов $U, В$	100	150	200	300	*	*	*	*	*	*	*	*
Индукция магнитного поля $B, мТл$	*	0,2	20	*	30	*	*	10	*	*	*	10
Угол, который составляет направление скорости частицы с направлением магнитного поля $\alpha, ^\circ$	30	60	*	*	*	30	45	30	*	*	60	30
Период обращения частицы $T, мс$	*	*	*	40	*	0,30	*	*	*	0,50	$10^{-4}$	*
Радиус орбиты $R, см$	3,0	*	*	15	*	*	1,0	10	10	100	1,0	30
Шаг спирали $d, м$	*	*	0,30	*	0,20	*	*	*	1,0	5,0	*	*
Скорость частицы $v, Мм/с$	*	*	*	*	0,10	10	5,0	*	0,20	*	*	*

2. Определите, во сколько раз изменится радиус окружности, по которой заряженная частица движется в однородном магнитном поле, если ее кинетическую энергию увеличить в  $n$  раз?

3. Какие вещества относятся к ферромагнетикам?

4. Как определить направление силы Лоренца, действующей на отрицательный заряд?

5. В однородном магнитном поле движутся по окружностям протон и  $\alpha$ -частица, имея равные кинетические энергии. Какая из этих частиц будет иметь орбитальный магнитный момент и период вращения больше и во сколько раз?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10. Зависимость мощности и КПД источника постоянного тока от внешней нагрузки

### Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе

1. Как зависит выделившееся в проводниках количество теплоты от их сопротивления при последовательном и параллельном соединении проводников?

2. При подключении к батарее гальванических элементов резистора сопротивлением  $R$  во внешней цепи выделяется мощность  $P$ . ЭДС батареи равна  $E$ , внутреннее сопротивление  $r$ . Определите величину, обозначенную \*.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сопротивление резистора $R$ , Ом	*	4,0	5,5	10	*	16	11	8	*	20	9	6,0
Мощность, выделяющаяся во внешней цепи $P$ , Вт	2,0	*	32	40	0,90	*	11	32	0,80	*	81	7,6
ЭДС батареи $E$ , В	12	4,5	*	24	9,0	36	*	18	4,0	42	*	9,0
Внутреннее сопротивление батареи $r$ , Ом	0	0,50	2,0	*	0	2,0	1,0	*	0	1,0	3,0	*

**Цель работы:** знакомство с компьютерным моделированием цепей постоянного тока; исследование зависимости мощности и КПД источника постоянного тока от сопротивления внешней цепи.

**Краткая теория** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 12. Зависимость мощности и КПД источника постоянного тока от внешней нагрузки).

**Методика и порядок измерений** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 12. Зависимость мощности и КПД источника постоянного тока от внешней нагрузки).

### **Измерения**

1. Соберите на экране электрическую цепь. Для этого сначала щелкните левой кнопкой мыши в голубой кнопке, расположенной слева от значка источника тока, расположенного в окне «Элементы схемы».

2. Переместите маркер мыши на рабочую часть экрана, где расположены точки. Щелкните левой кнопкой мыши в рабочей части экрана, где будет расположен источник тока.

3. Аналогичным образом разместите справа от источника тока резистор, играющий роль его внутреннего сопротивления и амперметр.

4. Затем расположите аналогичным образом резисторы нагрузки и вольтметр, измеряющий напряжение на нагрузке.

5. Все элементы схемы соедините аналогичным образом между собой с помощью соединительных проводов.

6. Установите значения параметров для источника тока и внутреннего сопротивления, указанные в табл. 30 для вашей бригады. Для этого щелкните левой кнопкой мыши на голубой кнопке значка «резистор с перекрещенным гаечным ключом», расположенной в окне «Управление».

7. Затем щелкните на цифре, расположенной под элементом схемы и на появившемся регуляторе установите необходимое числовое значение конкретного элемента схемы.

8. Установите сопротивление внешней цепи  $1\text{ Ом}$ , нажмите кнопку «Рассчитать» и запишите показания электроизмерительных приборов в соответствующие строки табл. 31.

9. Последовательно увеличивайте с помощью движка регулятора сопротивление внешней цепи на  $1\text{ Ом}$  до  $20\text{ Ом}$  и, нажимая кнопку «Счет», записывайте показания электроизмерительных приборов в табл. 31.

Таблица 30

### **Исходные параметры электрической цепи**

<b>Номер бригады</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
$E, B$	20	25	30	35	40	20	25	30
$r, Ом$	3	3,5	4	4,5	3,5	4	4,5	3

**Результаты измерений и расчетов**

$r, \text{Ом}$	$E, \text{В}$	$R, \text{Ом}$	$I, \text{А}$	$U, \text{В}$	$\frac{1}{I}, \text{А}^{-1}$	$P, \text{Вт}$
		1				
		2				
		...				
		20				

**Обработка результатов и оформление отчета:**

1. Проведите необходимые расчеты и заполните табл. 31. Мощность рассчитывается по формуле  $P = I \cdot U$ .

2. Постройте график зависимости  $\frac{1}{I} = f(R)$ . Из графика определите значение внутреннего сопротивления источника питания.

3. Постройте график зависимости  $P = f(R)$ . Из графика определите, при каком сопротивлении мощность достигает максимального значения.

4. Проанализируйте полученные результаты.

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Чему равен коэффициент полезного действия источника тока?

2. Верно ли утверждение, что мощность, выделяемая во внутренней части цепи, постоянна для данного источника?

3. Каковы условия, необходимые для создания тока?

4. При подключении к батарее гальванических элементов резистора сила тока в цепи  $I_1$ , напряжение на резисторе  $U_1$ , мощность тока во внешней цепи  $P_1$ . При подключении к этой же батарее другого резистора силы тока в цепи  $I_2$ , напряжение на резисторе  $U_2$ , мощность тока  $P_2$ . Определите ЭДС и внутреннее сопротивление батареи, а также величину, обозначенную \*.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сила тока $I_1, \text{А}$	*	3,0	1,0	1,0	2,0	4,0	3,0	1,0	*	2,0	2,0	3,0
Напряжение $U_1, \text{В}$	2,5	*	2,5	11	3,0	6,0	3,0	1,3	5,5	*	10	6,0
Мощность $P_1, \text{Вт}$	5,0	13,5	*	11	6,0	24	9,0	1,3	22	6,6	*	18
Сила тока $I_2, \text{А}$	3,0	4,0	2,0	*	4,0	2,0	4,0	0,50	2,0	1,0	1,5	*
Напряжение $U_2, \text{В}$	1,5	4,0	2,0	9,0	*	9,0	*	1,4	6,5	3,9	10,5	7,0
Мощность $P_2, \text{Вт}$	4,5	16	4,0	2,7	16	*	8,0	*	13	3,9	15,8	14

5. Какая физическая величина характеризует работу электрического поля на участке цепи?

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11. Переходные процессы в цепях постоянного тока с конденсатором

#### Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе

1. Что называется конденсатором и для чего он используется?
2. Каковы необходимые условия для получения электрического тока? Постоянного электрического тока?
3. Почему электроемкость конденсатора не зависит от внешних электростатических полей?
4. Заряженный конденсатор емкостью  $C_1$ , обладающий энергией  $W$ , подсоединяют к незаряженному конденсатору емкостью  $C_2$ . Количество теплоты, выделившееся при перераспределении заряда между ними, равно  $Q$ . Определите величину, обозначенную \*.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Емкость первого конденсатора $C_1$ , мкФ	*	10	20	15	*	15	10	20	*	10	20	15
Энергия первого конденсатора $W$ , Дж	0,10	*	0,20	0,25	0,50	*	0,60	0,60	0,80	*	0,50	0,10
Емкость второго конденсатора $C_2$ , мкФ	3,0	8,0	*	12	15	20	*	10	15	15	*	6,0
Количество теплоты $Q$ , мДж	37,5	180	86	*	300	170	400	*	440	180	100	*

**Цель работы:** знакомство с компьютерным моделированием переходных процессов в цепях постоянного тока; экспериментальное определение сопротивления нагрузки.

**Краткая теория** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 13. Переходные процессы в цепях постоянного тока с конденсатором).

Условно исследуемую схему можно представить следующим образом (рис 1):

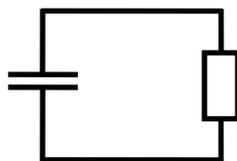


Рис. 1. Колебательный контур

Сила тока в цепи определяется выражением:  $I = \frac{U_{\text{конд}}}{R}$ . Емкость

конденсатора:  $C = \frac{q_{\text{конд}}}{U_{\text{конд}}}$ . Выразим из этого выражения напряжение на

конденсаторе и подставим в выражение для силы тока:  $I = \frac{q_{\text{конд}}}{CR}$ .

Заряд на конденсаторе с течением времени уменьшается:  $q_{\text{конд}} = q_0 - q$

. Следовательно,  $I = \frac{q_0}{CR} - \frac{q}{CR}$ .

Продифференцируем последнее выражение:  $\frac{dI}{dt} = -\frac{1}{CR} \frac{dq}{dt}$ . По

определению:  $I = \frac{dq}{dt}$ . Следовательно,  $\frac{dI}{dt} = -\frac{1}{CR} I$ . Разделяем

переменные:  $\frac{dI}{I} = -\frac{dt}{CR}$ . Интегрируем:  $\ln I = -\frac{t}{CR} + const$ .

В момент времени  $t_1$ :  $\ln I_1 = -\frac{t_1}{CR} + const$ . В момент времени  $t_2$ :

$\ln I_2 = -\frac{t_2}{CR} + const$ . Отсюда следует:  $\ln I_1 - \ln I_2 = \frac{t_2 - t_1}{CR}$ . Или:

$|\Delta(\ln I)| = \frac{|\Delta t|}{CR}$ . Отсюда находим сопротивление:  $R_{\text{общ}} = \frac{|\Delta t|}{C|\Delta(\ln I)|}$ .

**Методика и порядок измерений** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 13. Переходные процессы в цепях постоянного тока с конденсатором).

### Измерения

1. Соберите электрическую схему.
2. Установите значения параметров в соответствии с табл. 32.
3. Щелкните мышью на разрезной кнопке «Старт» (центральная часть круглой разрезной кнопки управления). Должна засветиться лампа  $L_7$ , а значок на кнопке измениться на «Стоп».
4. Курсором мыши замкните ключ К.

5. После установления в цепи стационарного тока (должны погаснуть лампы  $L_5$  и  $L_6$  и светиться лампы  $L_1 \div L_4$ ), нажмите на кнопку «Стоп» и курсором мыши (он должен превратиться в указательный палец при наведении его на ключ) разомкните ключ  $K$ .

6. Двумя короткими щелчками мыши на кнопке «Старт» запустите и остановите процесс разрядки конденсатора. Показания амперметра будут соответствовать начальному току разрядки конденсатора  $I_0$ . Запишите это значение в табл. 33.

7. При разомкнутом ключе нажатием кнопки «Старт» запустите процесс разрядки конденсатора и одновременно включите секундомер.

8. Нажимая на кнопку «Пауза» через каждые  $\Delta t$ , снимайте показания амперметра. Проведите 10 измерений.

9. Измените количество лампочек в цепи до трех и повторите измерения по пп. 3 ÷ 8. Занесите данные в табл. 34, аналогичную табл. 33.

Таблица 32

**Параметры электрической цепи**

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
ЭДС пяти источников тока, В	50	49	48	47	46	45	44	43
Сопротивление лампы, кОм	4	3	2	1	2	3	4	5
Емкость конденсатора, мкФ	100	200	300	400	400	300	200	100

Таблицы 33 ÷ 34

**Результаты измерений и расчетов**

Номер измерения	$I, A$	$t, c$	$\ln I$
1			
2			
...			
10			

**Обработка результатов и оформление отчета:**

1. Постройте графики зависимостей  $\ln I = f(t)$ .
2. По графикам определите сопротивление лампочки:

$$R = \frac{|\Delta t|}{NC|\Delta(\ln I)|}, \text{ где } N - \text{число лампочек в схеме (6 или 3)}.$$

3. Сравните рассчитанное сопротивление лампочки с установочным.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие свойства конденсаторов нашли широкое практическое применение?

2. Как изменится энергия заряженного плоского конденсатора при раздвигании пластин? За счет чего?

3. Какие преобразования энергии осуществляются в источнике тока? В потребителе тока?

4. Конденсатор емкостью  $C$  зарядили до напряжения  $U_0$  и подключили к резистору сопротивлением  $R$ . Начертите график зависимости силы тока от времени при разрядке конденсатора.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Емкость конденсатора $C$ , мкФ	100	200	400	500	250	300	400	200	250	800	500	200
Напряжение $U_0$ , В	42	36	24	12	36	42	24	12	42	24	12	36
Сопротивление резистора $R$ , кОм	50	100	200	50	80	200	100	60	120	400	250	150

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12. Вынужденные колебания в $RLC$ -контуре (с упрощенной теорией)

### Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе

1. Дайте определение вынужденным колебаниям.

2. Какие колебания называются свободными? При каких условиях колебания в колебательном контуре являются свободными?

3. Какой ток называется переменным?

4. Сформулируйте правила для нахождения силы тока, напряжения и сопротивления последовательно соединенных проводников.

5. Колебание заряда в колебательном контуре происходит по закону  $q = q(t)$ . Определите круговую частоту, частоту, период колебания. Определите максимальное значение силы тока в контуре; максимальное значение магнитного потока, пронизывающего катушку; ЭДС самоиндукции и напряжения на конденсаторе, если индуктивность катушки  $L$ . Чему равна емкость конденсатора колебательного контура?

Номер варианта	Зависимость заряда конденсатора от времени $q = q(t), Кл$	Индуктивность контура $L, мкГн$
1	$q(t) = 1,5 \cdot 10^{-6} \cos(2 \cdot 10^5 \pi t + \pi/3)$	8,0
2	$q(t) = 0,3 \cdot 10^{-6} \sin(6 \cdot 10^5 \pi t + \pi/4)$	15
3	$q(t) = 0,7 \cdot 10^{-6} \cos(3 \cdot 10^5 \pi t + \pi/6)$	12
4	$q(t) = 2,2 \cdot 10^{-6} \sin(4 \cdot 10^5 \pi t + \pi/8)$	0,9
5	$q(t) = 0,8 \cdot 10^{-6} \cos(5 \cdot 10^5 \pi t + \pi/5)$	1,2
6	$q(t) = 0,6 \cdot 10^{-6} \sin(8 \cdot 10^5 \pi t + \pi/4)$	2,0
7	$q(t) = 0,4 \cdot 10^{-6} \cos(2 \cdot 10^5 \pi t + \pi/6)$	1,5
8	$q(t) = 0,2 \cdot 10^{-6} \sin(8 \cdot 10^5 \pi t + \pi/6)$	6,0
9	$q(t) = 0,9 \cdot 10^{-6} \cos(4 \cdot 10^5 \pi t + \pi/3)$	5,0
10	$q(t) = 1,2 \cdot 10^{-6} \sin(6 \cdot 10^5 \pi t + \pi/5)$	4,0
11	$q(t) = 3,0 \cdot 10^{-6} \cos(10^5 \pi t + \pi/3)$	3,0
12	$q(t) = 2,0 \cdot 10^{-6} \sin(4 \cdot 10^5 \pi t + \pi/4)$	2,0

**Цель работы:** знакомство с процессами в колебательном  $RLC$ -контуре и их компьютерным моделированием; экспериментальное подтверждение закономерностей при вынужденных колебаниях в  $RLC$ -контуре.

**Краткая теория** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 20. Вынужденные колебания в  $RLC$ -контуре (с упрощенной теорией)).

**Методика и порядок измерений** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 20. Вынужденные колебания в  $RLC$ -контуре (с упрощенной теорией)).

### Измерения

1. Установите указанные в табл. 35 для вашей бригады значения:  $L$  – индуктивности катушки;  $C$  – значение емкости конденсатора;  $R$  – сопротивление резистора, щелкая мышью по кнопкам соответствующих регуляторов.

2. Изменяя циклическую частоту источника ЭДС, снимите показания амперметра. Занесите данные в табл. 36.

**Исходные данные**

Бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
$L, мГн$	5,0	5,0	4,7	4,1	3,8	4,1	3,5	3,3
$C, мкФ$	35	32	34	36	36	31	34	33
$R, Ом$	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,0

**Результаты измерений и расчетов**

Номер измерения	$\omega, с^{-1}$	$I, A$	$U_C, B$	$U_L, B$	$P, Вт$
1	1000				
2	1150				
3	1300				
...	...				

**Обработка результатов и оформление отчета:**

1. Рассчитайте все величины и заполните табл. 36:

$$U_C = \frac{I}{\omega C}, U_L = I\omega L, P = I^2 R.$$

2. Постройте графики зависимостей  $I = f(\omega)$ ,  $P = f(\omega)$ ,  $U_C = f(\omega)$  и  $U_L = f(\omega)$  (две последних зависимости на одном графике).

3. Проанализируйте полученные зависимости, сделайте выводы.

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Чему равны реактивные сопротивления катушки и конденсатора?
2. Чему равно полное сопротивление колебательного контура?
3. Дайте определение резонанса для тока в колебательном контуре.
4. Чему равно отношение амплитуд напряжения на конденсаторе при резонансе и ЭДС?
5. Электрическая цепь, содержащая соединенные последовательно резистор сопротивлением  $R$ , катушку

индуктивностью  $L$  и конденсатор емкостью  $C$ , подключена к источнику переменного тока частотой  $\nu$  и напряжением  $U$ . Сила тока в цепи  $I$ , напряжения на резисторе, катушке, конденсаторе равны соответственно  $U_R, U_L, U_C$ . Определите величины, обозначенные \*. Вычислите мощность тока в резисторе.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сопrotивление резистора $R, \text{ Ом}$	12	15	10	10	35	40	*	25	28	42	30	*
Индуктивность катушки $L, \text{ мГн}$	50	*	20	50	100	*	150	300	*	100	50	200
Емкость конденсатора $C, \text{ мкФ}$	120	250	*	150	*	100	25	50	150	*	300	80
Частота тока $\nu, \text{ Гц}$	100	50	100	50	100	50	100	50	100	100	50	50
Напряжение источника $U, \text{ В}$	*	36	*	*	42	*	54	*	90	*	*	80
Сила тока в цепи $I, \text{ А}$	*	1,5	*	*	0,80	*	1,3	*	3,0	*	*	1,6
Напряжение на резисторе $U_R, \text{ В}$	*	*	*	21	*	*	*	*	*	*	*	*
Напряжение на катушке $U_L, \text{ В}$	50	*	30	*	*	52	*	*	*	100	46	*
Напряжение на конденсаторе $U_C, \text{ В}$	*	*	40	*	*	26	*	87	*	63	*	*

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13. Опыт Юнга

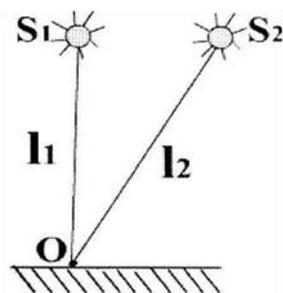
#### Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе

1. Что такое волна?

2. Как связаны длина волны и ее частота?

3. Что такое когерентность?

4. Два когерентных источника света  $S_1$  и  $S_2$  в вакууме излучают световые волны с частотой  $\nu$ . При этом в точке  $O$ , находящейся на расстоянии  $l_1$  от источника  $S_1$  и на расстоянии  $l_2$  от источника  $S_2$  наблюдается интерференционный максимум освещенности  $k$ -го порядка. Определите величину, обозначенную \*. При расчетах принять скорость света равной  $3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ .



Номер варианта	Частота света $\nu$ , ТГц	Расстояние $l_1$ , см	Расстояние $l_2$ , см	Номер интерференционного максимума $k$
1	*	37,87600	37,87612	2
2	375	*	54,32155	4
3	750	43,78183	*	3
4	600	42,22075	42,22100	*
5	*	34,80816	34,88032	4
6	500	*	47,92350	3
7	375	31,12760	*	5
8	500	52,52326	52,52340	*
9	*	70,83385	70,83400	3
10	750	*	29,28900	5
11	500	32,32320	*	2
12	375	57,99968	58,00000	*

**Цель работы:** знакомство с процессом сложения когерентных электромагнитных волн и его моделированием; экспериментальное исследование закономерностей взаимодействия световых волн от двух источников (щелей).

**Краткая теория** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 22. Опыт Юнга).

**Методика и порядок измерений** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 22. Опыт Юнга).

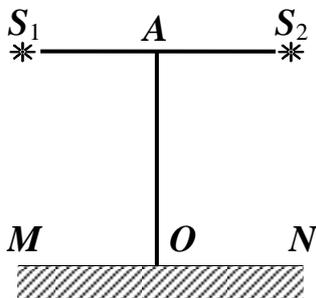
**Измерения** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 22. Опыт Юнга).

**Обработка результатов и оформление отчета:** (см. часть 1 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 22. Опыт Юнга).

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Как получают когерентные волны?
2. Дайте определение явления интерференции.
3. При какой разности хода двух волн при их сложении наблюдается максимум и минимум?

4. Два когерентных источника  $S_1$  и  $S_2$  излучают монохроматический свет частотой  $\nu$ . Первый максимум освещенности на экране  $MN$  находится от точки  $O$  на расстоянии  $x$ , а расстояния  $AO$  и  $S_1A$  ( $S_2A = S_1A$ ) равны соответственно  $L$  и  $d$ . Определите величину, обозначенную  $*$ . (Учтите, что  $d \ll L$  и  $x \ll L$ .)



Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Частота света $\nu$ , ТГц	400	450	500	*	550	600	650	*	700	750	400	*
Расстояние от центра экрана до первого максимума $x$ , мм	0,80	0,70	*	0,85	0,60	0,65	*	0,86	0,85	0,50	*	0,36
Расстояние до экрана $L$ , м	1,5	*	1,9	2,0	1,6	*	1,7	2,1	2,0	*	2,9	1,8
Расстояние между источниками света $d$ , мм	*	0,80	0,90	0,70	*	0,60	0,70	0,90	*	0,80	0,50	1,0

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14. Внешний фотоэффект

### Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе

1. От чего при фотоэффекте зависит работа выхода электрона из металла?
2. Как зависит от интенсивности падающего света (при неизменной длине волны) энергия фотоэлектронов? Число фотоэлектронов?
3. Как зависит запирающее напряжение от длины волны освещающего света?
4. Как изменится скорость вылетающих электронов при увеличении частоты освещающего света?
5. При освещении поверхности металла монохроматическим излучением с некоторой длиной волны наблюдается фотоэффект. Увеличивая длину волны излучения до значения  $\lambda_{\min}$ , добиваются прекращения фотоэффекта. Работа выхода металла  $A_{\text{вых}}$ . Объясните наблюдаемое явление. Определите величину, обозначенную  $*$ .

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Работа выхода металла $A_{\text{вых}}, \text{эВ}$	*	4,20	*	1,31	*	3,70	*	2,40	*	1,05	*	1,36
Длина волны излучения, при которой прекращается фотоэффект $\lambda_{\text{прек}}, \text{нм}$	0,59	*	0,23	*	0,47	*	0,28	*	0,24	*	0,29	*

**Цель работы:** знакомство с квантовой моделью внешнего фотоэффекта; экспериментальное подтверждение закономерностей внешнего фотоэффекта; экспериментальное определение красной границы фотоэффекта, работы выхода фотокатода и постоянной Планка.

**Краткая теория** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 10. Внешний фотоэффект).

**Методика и порядок измерений** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 10. Внешний фотоэффект).

**Измерения:**

1. Установите тип вещества в соответствии с табл. 37 для вашей бригады.

2. Определите диапазон длин волн, для которых вы можете наблюдать фотоэффект на данной модели для вашего вещества. Разбейте этот диапазон на 10 точек.

3. Установите первую длину волны  $\lambda$  из вашего диапазона. Изменяя напряжение  $U$  между анодом и катодом, добейтесь такого состояния, при котором фототок прекращается (при визуальном наблюдении электронов вы видите, что электроны почти долетают до поверхности анода и после этого движутся обратно к катоду). Это напряжение равно запирающему напряжению  $U_{\text{зап}}$ .

4. Запишите значения длины волны  $\lambda$  и запирающего напряжения  $U_{\text{зап}}$  в табл. 38.

Таблица 37

**Виды вещества**

Бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
Вещество	Цезий	Цинк	Ртуть	Платина	Медь	Железо	Никель	Цезий

**Результаты измерений (вещество \_\_\_\_\_)**

Номер измерения	$\lambda$ , нм	$\frac{1}{\lambda}$ , нм <sup>-1</sup>	$U_{\text{зап}}$ , В
1			
2			
...			
10			

**Обработка результатов и оформление отчета:** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 10. Внешний фотоэффект).

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Напишите формулу Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
2. Дайте определение красной границы фотоэффекта.
3. Зачем в фотоэлементе применяют вакуумированный корпус?
4. Максимальная скорость, которую могут получить вырванные из металла электроны при облучении его монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ , составляет  $v$ . Работа выхода металла  $A_{\text{вых}}$ . Определите величину, обозначенную \*.

Номер варианта	6	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12
Длина волны излучения $\lambda$ , мкм	0,30	*	0,15	0,25	*	0,65	*	0,15	0,12	*	0,25	0,40
Максимальная скорость фотоэлектронов $v$ , км/с	730	1600	*	520	250	*	440	*	1300	630	*	560
Работа выхода металла $A_{\text{вых}}$ , эВ	*	5,15	4,80	*	1,10	1,31	1,36	3,70	*	2,40	4,50	*

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15. Эффект Комптона****Вопросы и задания для подготовки к лабораторной работе**

1. Назовите эффекты, для описания которых надо использовать и волновую, и квантовую модели электромагнитного излучения. Проиллюстрируйте один из эффектов.

2. Как моделируется электромагнитное излучение при взаимодействии падающего рентгеновского фотона и свободного электрона вещества?

3. Какие законы сохранения выполняются при взаимодействии фотона со свободным электроном в эффекте Комптона?

4. Длина волны электромагнитного излучения, квант которого обладает энергией  $E$  и импульсом  $p$ , составляет  $\lambda$ . Определите величины, обозначенные \*.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Энергия кванта $E$ , эВ	2,50	*	*	4,70	*	*	3,20	*	*	1,80	*	*
Импульс кванта $p$ , $10^{-27}$ кг·м/с	*	*	1,60	*	*	1,25	*	*	0,85	*	*	1,40
Длина волны излучения $\lambda$ , нм	*	800	*	*	550	*	*	400	*	*	650	*

**Цель работы:** знакомство с моделями электромагнитного излучения и их использованием при анализе процесса рассеяния рентгеновского излучения в веществе; экспериментальное подтверждение закономерностей эффекта Комптона; экспериментальное определение комптоновской длины волны электрона.

**Краткая теория** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 11. Эффект Комптона).

**Методика и порядок измерений** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 11. Эффект Комптона).

### Измерения

1. Подведите маркер мыши к кнопке регулятора длины волны падающего ЭМИ и установите первое значение длины волны  $\lambda_{01}$  из табл. 39, соответствующее номеру вашей бригады.

2. Подведите маркер мыши к кнопке регулятора угла приема рассеянного ЭМИ и установите первое значение угла из табл. 40.

3. Определите по графику и значению в окне «Выходные данные» длину волны  $\lambda$  рассеянного ЭМИ и запишите в первую строку табл. 40.

4. Изменяйте угол наблюдения с шагом  $10^\circ$  и записывайте измеренные значения  $\lambda$  в табл. 40.

5. Выполнив измерения для всех углов, указанных в табл. 40, установите значение длины волны падающего ЭМИ в соответствии

со следующим значением для вашей бригады  $\lambda_{02}$  и  $\lambda_{03}$  из табл. 39. Повторите измерения длины волны рассеянного ЭМИ, заполняя сначала табл. 41, а затем и табл. 42 (аналогичные табл. 40).

Таблица 39

**Исходные значения длины волны падающего ЭМИ, нм**

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda_{01}$	30	32	34	36	38	40	42	44
$\lambda_{02}$	50	52	54	56	58	60	63	66
$\lambda_{03}$	70	72	74	76	78	80	84	90

Таблицы 40, 41, 42

**Результаты измерений. Длина волны  $\lambda = \underline{\hspace{2cm}}$  нм**

Номер измерения	1	2	...	11
$\theta, ^\circ$	60	70		160
$\lambda', \text{ нм}$				
$1 - \cos \Theta$				
$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda_0, \text{ нм}$				

**Обработка результатов и оформление отчета:** (см. часть 2 компьютерного практикума «Физикон» Работа № 11. Эффект Комптона).

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Как меняется энергия фотона при его комптоновском рассеянии?
2. Напишите формулу для эффекта Комптона.
3. Чему равно максимальное изменение длины волны рассеянного фотона и когда оно наблюдается?
4. При прохождении рентгеновского излучения с длиной волны  $\lambda_0$  через вещество экспериментально обнаружено, что длина волны и частота рассеянного излучения иные и что излучение, рассеянное под углом  $\varphi$ , имеет частоту  $\nu$ . Объясните явление и вычислите величину, обозначенную \*. Какова кинетическая энергия электрона отдачи?

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Длина волны излучения $\lambda_0, \times 10^{-12} \text{ м}$	12,4	18,3	*	11,5	16,4	*	14,3	12,8	*	13,5	14	*
Угол рассеяния $\varphi, ^\circ$	*	120	60	*	180	70	*	90	150	*	100	40
Частота рассеянного излучения $\nu, \times 10^{19} \text{ Гц}$	2,02	*	2,56	2,22	*	2,17	2,05	*	1,75	1,66	*	2,21

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрюшечкин С.М. Трехсеместровая физика: учебное пособие для вузов / С.М. Андрюшечкин. – М.: Баласс, 2015. – 273 с., ил.
2. Грабовский Р.И. Курс физики: Учебное пособие. 11-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 608 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).
3. Детлаф А.А. Курс физики: Учеб. пособие для втузов / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – 4-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2002. – 718 с.: ил.
4. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Таисия Ивановна Трофимова. – 11-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 560 с.

Учебное издание

Андрюшечкин Сергей Михайлович

Бабарико Анна Александровна

**КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ**

Учебное пособие