

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
 «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
 (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет

Согласовано, декан ФФ  
 Блиннов В.Е.  
 подпись  
 «04» 04 2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Обработка данных физического эксперимента**

Направление подготовки: **03.03.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика. Фундаментальная и экспериментальная физика**

Направление подготовки **03.03.01 Прикладные математика и физика**

Направленность (профиль): **Все профили подготовки**

Форма обучения: очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Индивидуальная работа с преподавателем/ Консультации в период занятий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13
1	108	16	24	32		12	18	4			2
Всего 108 часов /3 зачетные единицы, из них: контактная работа 78 часов											
Компетенции: ОПК-3 (СУОС 03.03.02 Физика) ОПК-2 (ФГОС 03.03.01 Прикладные математика и физика)											

Ответственный за образовательную программу  
 д.ф.-м.н., проф.



С.В.Цыбуля

Новосибирск, 2026

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с установленными в программе индикаторами достижения компетенций .....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	3
3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося .....	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий .....	4
5. Перечень учебной литературы .....	6
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся .....	6
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	9
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....	9
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	9
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине .....	10
Приложение 1_ОТЧЕТ О РАБОТЕ .....	16

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с установленными в программе индикаторами достижения компетенций

При освоении дисциплины «**Обработка данных физического эксперимента**» студенты изучают методы обработки и получают представление о получении данных в эксперименте согласно общепринятым нормам, существующим в научном сообществе, которые необходимы физикам в его профессиональной деятельности.

Цель курса: знакомство студентов-физиков с методами и методиками обработки полученных экспериментальных данных, анализом данных физического эксперимента

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося общепрофессиональной компетенции

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ОПК-3. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.	ОПК – 3.2. Применяет основные приемы, возможности и правила работы со стандартными и специализированными программными продуктами при решении профессиональных задач.	<b>Знать</b> базовые методы измерений физических величин. <b>Уметь</b> оценивать основные погрешности результатов измерений при выполнении лабораторных работ, обработать и представить полученные в эксперименте данные согласно общепринятым нормам
ОПК-2. Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК – 2.2. Использует основные приемы, возможности и правила работы со стандартными и специализированными программными продуктами при решении профессиональных задач.	

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина ведется в первом семестре первого курса параллельно с дисциплинами «Измерительный практикум» и «Введение в технику физического эксперимента».

Приступая к изучению данной дисциплины обучающийся должен обладать базовыми знаниями основных физических законов и явлений, а также начальными навыками работы на компьютере. Данная дисциплина является базовой для освоения следующих дисциплин в рамках лабораторных практикумов: «Измерительный практикум», «Молекулярный практикум», «Электромагнитный практикум», «Практикум по физической оптике», «Атомный практикум» и специализированные практикумы в научных лабораториях выпускающих кафедр. Результатом освоения дисциплины является формирование у обучающихся базовых представлений об основных методах обработки экспериментальных данных, базовых знаний по

теоретическим основам статистических методов обработки и анализа данных, базовых навыков применения машинного обучения для анализа данных физического эксперимента.

**3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося**

Трудоемкость дисциплины составляет: 3 зачетные единицы, 108 часов.

Форма промежуточной аттестации: 1 семестр – экзамен

№	Вид деятельности	Семестр
		1
1	Лекции, ч	16
2	Практические занятия, ч	24
3	Лабораторные занятия, ч	32
4	Занятия в контактной форме, ч из них	78
5	из них аудиторных занятий, ч	72
6	в электронной форме, ч	-
7	консультаций, час.	4
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	30
10	Всего, ч	108

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

Лекции (16 ч)

Наименование темы и их содержание	Объем, час
1. Ошибки измерения. Источники ошибок. Почему в эксперименте почти нет точных величин. Статистические и систематические ошибки. Способы представления измерений (таблица, график, гистограмма) и ошибок (+- и интервал). Значащие цифры. Абсолютные и относительные ошибки.	2
2. Измерения как случайные величины. Формы описания случайных величин: гистограмма, распределение. Свойства случайных величин: среднее значение, дисперсия, медиана, ширина на полувысоте, моменты. Связь дисперсии и ошибки измерения.	2
3. Нормальное распределение. Центральная роль нормального распределения. Ключевые распределения и примеры из возникновения: равномерное, биномиальное, экспоненциальное, Пуассона.	2

4. Функция от случайной величины. Распределение вероятности для функции. Формула переноса ошибок. Ошибка суммы, разности, произведения, отношения измерений.	2
5. Выборка. Выборочное среднее и выборочная дисперсия и их связь со свойствами случайной величины. Измерение как задача оценки параметров случайной величины по экспериментальной выборке. Свойства оценки: состоятельность и смещенность. Точность оценки. Доверительный интервал.	2
6. Оценка методом наименьших квадратов. Примеры применения: усреднение результатов эксперимента, подгонка данных прямой, подгонка данных полиномом. Подгонка гистограммы. Численные методы поиска минимума функции. Графический метод определения ошибки.	2
7. Задача проверки гипотезы. Критерий согласия, P-value. Критерий согласия $\chi^2$ . Распределение $\chi^2$ .	2
8. Метод максимального правдоподобия. Примеры: время жизни, подгонка гистограммы. Контрольная работа	2

#### Практические занятия (24 ч)

Содержание практического занятия	Объем, час
Проведение инженерных и научных расчётов средствами пакета Mathcad	2
Обработка и визуализация экспериментальных данных в программе Excel	2
Обработка и визуализация экспериментальных данных в программе Origin	2
Построение измерительных систем с помощью универсальных модулей ввода-вывода и программы LabVIEW SignalExpress	2
Компьютерная графика. Графические форматы данных. Графические редакторы. Подготовка векторных изображений в программе Visio	2
Основные правила оформления научных текстов. Инструменты подготовки научных текстов в текстовом редакторе Word.	2
Применение численных методов для анализа полученных экспериментальных данных, включая анализ погрешностей измерений	2
Обсуждение проведенного анализа экспериментальных данных, работа над допущенными ошибками. Проверка задания для самостоятельной работы студентов.	2
Обработка экспериментальных данных, полученных в измерительном практикуме	2
Подготовка графических изображений для отчета о лабораторной работе	2
Написание текста отчета о лабораторной работе	2
Особенности подготовки научных материалов к публикации в Интернете. Создание с помощью программы Expression Web и публикация в Интернете Web-сайта, содержащего отчет о лабораторной работе	2

#### Лабораторные работы (32 ч) - выполняется 4 работы из 5 предложенных

Содержание практического занятия	Объем, час
работа 1.1 Радиоактивность	8
работа 2.1 Электростатический вольтметр	8

работа 4.2 Измерение толщины проволоки и вычисление удельного сопротивления меди	8
работа 6 Определение скорости звука в ударяющихся стержнях	8
работа 7 Ускорение свободного падения	8

Самостоятельная работа студентов (30ч)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка отчета по лабораторной работе.	10
Подготовка к контрольной работе	2
Подготовка к экзамену	18

## 5. Перечень учебной литературы

1. Князев Б.А., Черкасский В.С. Начала обработки экспериментальных данных. Учеб. Пособие. Новосибирск. НГУ, 1996. (142 экз.)
2. Косинов А.Д., Костюрина А.Г., Брагин О.А. Введение в Измерительный практикум: учеб. пособие/ Новосибир. Гос. ун-т. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2016. –87 с. (18 экз.)
3. Методы физических измерений /Под ред. Р.И.Солоухина. Новосибирск, 1975г. (134 экз.)

## 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся

Для самостоятельной работы студентов используется материал лекций, а также фильмы по Microsoft Excel 2021 и Google Sheets:

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLAdYXyZ9D6i1qN78RmZq9O42R5nkJ6V9c>

### Методические рекомендации к подготовке к практическим занятиям

#### **«Проведение инженерных и научных расчётов средствами пакета Mathcad»**

Задание 1. Постройте изотерму газа Ван дер Ваальса в координатах  $P, V$  для комнатной температуры и больших объемов. Пользуйтесь при этом системой единиц СИ. Постройте на том же рисунка изотерму идеального газа. Добавьте к графику еще две изотермы газа Ван дер Ваальса для температур на 10 градусов выше и ниже уже нарисованной. Сравните полученные графики.

Задание 2. При критической температуре  $T_{крит}$  изотерма газа Ван дер Вальса имеет перегиб. В точке перегиба первая и вторая производные давления по объему равны нулю. Равенство нулю первой и второй производных и само уравнение Ван дер Ваальса составляют систему уравнений, определяющих критические значения  $P_{крит}$ ,  $V_{крит}$ ,  $T_{крит}$ . Найдите средствами символьной математики Mathcad аналитическое решение данной системы уравнений. Используя полученное решение, вычислите критические параметры для выбранного вами газа.

Задание 3. Используя результаты предыдущего задания, постройте несколько изотерм газа Ван дер Ваальса в окрестности критической точки. Одна из изотерм должна соответствовать критической температуре, остальные – температурам выше и ниже  $T_{крит}$ . Подберите диапазон изменения давления таким образом, чтобы на графике

были хорошо видны характерные перегибы. Добавьте на график изотерму идеального газа. Сравните полученные графики с результатом первого задания.

Задание 4. Создайте анимационный клип бегущей волны, описываемый уравнением

$$Z = \sin(kr - \omega t), \text{ где } r = \sqrt{x^2 + y^2}.$$

#### **«Обработка и визуализация экспериментальных данных в программе Excel»**

Задание 1. Отобразите в виде гистограммы распределение роста студентов по интервалам величиной в 10 см, исходные данные для которой находятся в файле Rost.dat.

Задание 2. Рассчитайте средние значения и погрешности измерений времени прохождения звуковой волны через стержни различной длины (файл Studan.dat). Постройте график, иллюстрирующий полученную экспериментальную зависимость времени прохождения волны от длины стержня.

Задание 3. Постройте методом линейной регрессии линейную функцию, наилучшим образом аппроксимирующую экспериментальные данные, т. е. зависимость среднего времени прохождения звуковой волны через стержень от длины стержня. Определите из полученной зависимости скорость звука в стержне.

#### **«Обработка и визуализация экспериментальных данных в программе Origin»**

Задание 1. Постройте график табличной функции, определенной в ASCII-файле (файл Dose Response - No Inhibitor.dat), с отображением среднеквадратичного отклонения и сохраните его в качестве шаблона.

Задание 2. Постройте график функции  $Z(X, Y)$  (файл XYZ Random Gaussian.dat) в виде трехмерной сеточной поверхности.

Задание 3. Постройте методом линейной регрессии линейную функцию, наилучшим образом аппроксимирующую экспериментальные данные, содержащиеся в файле Outlier.dat. Проанализируйте роль точек, сильно отступающих от линии регрессии (выбитые точки).

Задание 4. Выполните сглаживание экспериментальных данных (файл fftfilter1.dat) с помощью цифрового фильтра нижних частот. Сравните исходный и сглаженный графики при различных значениях полосы пропускания фильтра. Продифференцируйте сглаженную кривую и определите положения максимумов исходной функции, то есть точек, в которых производная равна нулю.

#### **«Построение измерительных систем с помощью универсальных модулей ввода-вывода и программы LabVIEW SignalExpress»**

Задание 1. Сконфигурируйте с помощью программы LabVIEW SignalExpress измерительную систему для измерения температуры на базе термопары и USB-модуля NI USB-9211A. Измерения проводите один раз в секунду. Используйте скользящее усреднение по 60 точкам. Измерьте температуру воздуха, идущего от вентилятора вашего компьютера, при различной загрузке процессора.

Задание 2. Сконфигурируйте с помощью программы LabVIEW SignalExpress измерительную систему на базе USB-модуля NI USB-6216 BNC для измерения вольт-амперных характеристик двухполюсников. Измерьте вольт-амперную характеристику стабилитрона.

#### **«Компьютерная графика. Графические форматы данных. Графические редакторы.**

### **Подготовка векторных изображений в программе Visio»**

Задание 1. Изобразите схему измерений числа  $\alpha$ -распадов ([1] стр. 8). Нарисуйте схему устройства фотоэлектронного умножителя ([1], стр. 14).

Задание 2. Изобразите блок-схему цифрового вольтметра ([1], стр. 48). Нарисуйте схему устройства вакуумного фотоэлемента ([1], стр. 72).

Задание 3. Изобразите блок-схему устройства электронно-лучевого осциллографа ([1], стр.

79). Нарисуйте блок-схему цифрового осциллографа ([1], стр. 100). Придумайте наглядные и понятные графические примитивы для АЦП, микроконтроллера и дисплея ЭЛТ.

Задание 4. Постройте схему двойного моста Томпсона ([1], стр. 116). Изобразите схему одного канала автоматического электронного потенциометра (самописца, [1], стр. 112). Создайте наглядные и понятные графические примитивы для двигателя и делителя напряжения. Рисунок снабдите формулами.

Задание 5. Нарисуйте блок-схему экспериментальной установки для измерения скорости звука методом бегущей волны ([2], стр. 128). Нарисуйте блок-схему экспериментальной установки для измерения скорости звука методом стоячей волны ([2], стр. 138). Задание 6. Постройте схему экспериментальной установки для измерения скорости звука в металлических стержнях ([2], стр. 147). Нарисуйте блок-схему цифрового осциллографа ([1], стр. 100). Придумайте наглядные и понятные графические примитивы для АЦП, микроконтроллера и дисплея ЭЛТ.

Задание 7. Постройте схему экспериментальной установки для измерения величины ускорения свободного падения ([2], стр. 155). Нарисуйте блок-схему цифрового осциллографа ([1], стр. 100). Придумайте наглядные и понятные графические примитивы для АЦП, микроконтроллера и дисплея ЭЛТ.

1. А. В. Багинский и др., Описание лабораторных работ по физике.

Измерительный практикум. Часть 1. Под ред. А. В. Багинского. Новосибирск: Новосиб. ун-т, 1999. – 119 с.

2. А. В. Багинский и др., Описание лабораторных работ по физике.

Измерительный практикум. Часть 2. Под ред. А. В. Багинского. Новосибирск: Новосиб. ун-т, 1999. – 95 с

### **Разделы 6-12**

Темы лабораторных работ, выполняемых в измерительном практикуме кафедры общей физики, а обработка данных которых, подготовка отчета, создание презентации и Webсайта осуществляются в рамках настоящего курса:

- Исследование распределения средних от выборок, полученных при измерении интенсивности  $\alpha$ -источника.
- Функция распределения и критерий  $\chi^2$ .
- Исследование вольт-амперной характеристики стабилитрона.
- Измерение скорости звука в стержнях.
- Измерение ускорения свободного падения.
- Исследование влияния сопротивления воздуха при измерении ускорения свободного падения.

Задание 1. Обработайте экспериментальные данные, полученные при выполнении лабораторной работы в измерительном практикуме.

- Задание 2. Подготовьте графические изображения для отчета о лабораторной работе.
- Задание 3. Подготовьте текст отчета о лабораторной работе.
- Задание 4. Оформите отчет о лабораторной работе в программе Word.
- Задание 5. Создайте с помощью программы PowerPoint презентацию по результатам выполненной лабораторной работы.
- Задание 6. Создайте с помощью программы Expression Web и опубликуйте в Интернете Web-сайт, содержащий отчет о лабораторной работе.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

### ***7.1 Ресурсы сети Интернет***

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС, электронную почту.

### ***7.2 Современные профессиональные базы данных:***

Не используются.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

### ***8.1 Перечень программного обеспечения***

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office, а также свободное ПО: операционная система и аналог office.

### ***8.2 Информационные справочные системы*** Не используются.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, промежуточной и итоговой аттестации;
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся;
3. Помещения лабораторного практикума, оснащенного оборудованием необходимым для проведения экспериментальной части

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

### ***10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине***

#### ***Текущий контроль успеваемости:***

Текущий контроль успеваемости осуществляется на практических занятиях преподавателем. Проводится контроль посещения лекций и практических занятий. В течение семестра проводится письменная контрольная работа по материалам прослушанных лекций и сдача Отчета по индивидуальному заданию на основании прделанных лабораторных работ:

работа 1.1 - радиоактивность;

работа 2.1 - электростатический вольтметр;

работа 4.2 - измерение толщины проволоки и вычисление удельного сопротивления меди; работа 6 - определение скорости звука в ударяющихся стержнях;

работа 7 - ускорение свободного падения, а также из специальных работ, адаптированных для данного курса.

Оценивание контрольной работы и Отчета производится по шкале в соответствии с Критериями оценивания результатов обучения (Таблица 10.2)

#### ***Промежуточная аттестация:***

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит в рамках промежуточной аттестации с учетом результатов текущего контроля успеваемости обучающегося в семестре.

Критерии и шкалы оценивания индикаторов достижения результатов обучения отражены в Таблице 10.3.

#### ***Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Обработка данных физического эксперимента»***

Таблица 10.1

Код компетенции	Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочное средство
<b>ОПК-3 (СУОС 03.03.02 Физика)</b>	ОПК – 3.2. Применяет основные приемы, возможности и правила работы со стандартными и специализированными программными продуктами при решении профессиональных задач.	<b>Знать</b> базовые методы измерений физических величин. <b>Уметь</b> оценивать основные погрешности результатов измерений при выполнении лабораторных работ, обработать и представить полученные в эксперименте данные согласно общепринятым нормам	Контрольная (тестовая) работа Отчет по индивидуальному заданию. Экзамен
<b>ОПК-2 (ФГОС 03.03.01 Прикладные математика и физика)</b>	ОПК – 2.2. Использует основные приемы, возможности и правила работы со стандартными и специализированными программными продуктами при решении профессиональных задач.		

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
<p><u>Письменная контрольная (тестовая) работа:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– не менее 95% ответов должны быть правильными.</li> <li>– точность ответа, отсутствие ошибок.</li> </ul> <p><u>Отчёт по индивидуальному заданию</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– работа оформлена аккуратно, четкие рисунки и чертежи, – осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала,</li> <li>– точность и корректность применения терминов и понятий.</li> <li>- полное соответствие требованиям</li> </ul>	<i>Отлично</i>
<p><u>Письменная контрольная (тестовая) работа:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– не менее 80% ответов должны быть правильными.</li> </ul> <p><u>Отчёт по индивидуальному заданию</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– задание решено правильно,</li> <li>– работа оформлена аккуратно, четкие рисунки и чертежи,</li> <li>– осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в формулировке собственных суждений,</li> <li>– точность и корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок. -неполное соответствие требованиям</li> </ul>	<i>Хорошо</i>

<p><u>Письменная контрольная (тестовая) работа:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– не менее 50% ответов должны быть правильными.</li> </ul> <p><u>Отчёт по индивидуальному заданию</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа оформлена неаккуратно</li> <li>– неосознанность и неосновательность выбранных методов анализа, – нет осмысленности в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации,</li> <li>– корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок. -50% соответствие требованиям</li> </ul>	<p><i>Удовлетворительно</i></p>
<p><u>Письменная контрольная (тестовая) работа:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– присутствие многочисленных ошибок (более 70% ответов содержат ошибки).</li> </ul> <p><u>Отчёт по индивидуальному заданию</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– компилятивное, неосмысленное, нелогичное и неаргументированное изложение материала,</li> <li>– грубые ошибки в применении терминов и понятий,</li> <li>-менее 50% выполненных требований</li> </ul>	<p><i>Неудовлетворительно</i></p>

Таблица 10.3

<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>	<b>Шкала оценивания</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– контрольная работа выполнена на 5 баллов;</li> <li>- Отчет по индивидуальному заданию выполнен на 5 баллов;</li> <li>- самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений,</li> <li>– точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.</li> </ul>	<p><i>Отлично</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– контрольная работа выполнена на 4-5 баллов;</li> <li>- Отчет по индивидуальному заданию выполнен на 4-5 баллов;</li> <li>- самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений,</li> <li>– точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить неточности.</li> </ul>	<p><i>Хорошо</i></p>

<p>– контрольная работа выполнена на 3 балла;  - Отчет по индивидуальному заданию выполнен на 3 балла;  - самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений,  – неточность при применении терминов и понятий,  При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся допускает ошибки.</p>	<i>Удовлетворительно</i>
<p>– контрольная работа выполнена на 2 балла;  - Отчет по индивидуальному заданию выполнен на 2 балла;  – фрагментарное и недостаточное представление теоретического и фактического материала, не подкрепленное ссылками на научную литературу и источники,  – непонимание причинно-следственных связей,  – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.</p>	<i>Неудовлетворительно</i>

***Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения***

**Примерные задания к контрольной работе:**

1. По набору данных [399, 389, 349, 365, 437] (№1) вычислите:

оценку среднего (выборочное среднее)

\_\_\_\_\_

несмещенную оценку среднеквадратичного отклонения  $s$

\_\_\_\_\_

оценку погрешности оценки среднего

\_\_\_\_\_

2. Емкость плоского конденсатора равна  $C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$ , где  $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$  Ф/м. Найдите емкость плоского конденсатора с квадратными пластинами с длиной стороны  $a = 5.0 \pm 0.1$  см, зазором  $d = 1 \text{ мм} \pm 20 \text{ мкм}$ , заполненный слюдой с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 6.0 \pm 0.2$ . Укажите абсолютную и относительную погрешности.

\_\_\_\_\_

3. Радиоактивный образец помещен в свинцовый контейнер. Вес пустого контейнера  $5 \pm 0.05$  кг. Вес контейнера с образцом  $5.5 \pm 0.05$  кг. Чему равен вес образца и его погрешность?

\_\_\_\_\_

4. Звук с трубы записали и оцифровали в 100 точках по времени. Зависимость амплитуды сигнала от времени описали суммой 6 гармоник, каждая из которых представляет собой чистый звук с синусоидальной зависимостью амплитуды от времени с некоторой частотой, амплитудой и фазой. Параметры гармоник оценили с помощью метода наименьших квадратов. По результатам минимизации получили, что значение суммы  $\chi^2$  равно 69. Оцените величину Р-значения. Можно ли считать, что теоретическая кривая хорошо описывает данные?
- 
5. Вес одного и того же тела измерили на одних весах и получили результат  $1.05 \pm 0.05$  кг, а на других, более точных, весах получили результат  $0.98 \pm 0.02$  кг. Определите наилучшую оценку веса тела и ее погрешность.
- 
6. Видимую яркость далекого астрономического источника измеряют с помощью подсчета числа фотонов, пришедших от источника. Если измерение длится 1 минуту, то его статистическая точность составляет 10%. Систематическая точность измерения составляет 3%. Сколько времени должно длиться измерение, чтобы его полная точность составила 5%?
- 

#### **Требования к отчёту по выполненной лабораторной работе:**

- \* должна быть таблица сырых данных;
- \* должна быть гистограмма;
- \* должна быть оценка статистических и систематических погрешностей; \* должна быть аппроксимация методом наименьших квадратов;
- \* должна быть проверка критерия хи-квадрат.

#### **Вопросы к экзамену по курсу «Обработка данных физического эксперимента»**

Экзаменационный билет состоит из двух вопросов. Первый вопрос по теории, второй – практическая задача из списка задач для контрольной.

#### **Список теоретических вопросов.**

1. Погрешности измерения. Статистические и систематические погрешности. Абсолютные и относительные погрешности. Способы записи погрешностей.
  2. Распределение и плотность распределения случайных величин. Свойства случайных величин: среднее значение, дисперсия, медиана, ширина на полувывсоте.
  3. Равномерное распределение и его свойства. Привести примеры измерений, в которых возникает равномерное распределение.

4. Биномиальное распределение и его свойства. Привести примеры измерений, в которых возникает биномиальное распределение.
5. Распределение Пуассона и его свойства. Привести примеры измерений, в которых возникает распределение Пуассона.
6. Нормальное распределение и его свойства. Особая роль нормального распределения в практических применениях.
7. Распределение  $\chi^2$  и его свойства. Особая роль распределения  $\chi^2$  при проверке качества оценки методом наименьших квадратов.
8. Функция от случайных величин. Погрешность значения функции. Формула переноса ошибок.
9. Погрешность суммы, разности, произведения, частного, степени случайных величин.
10. Выборка. Измерение как задача оценки параметров случайной величины по экспериментальной выборке. Свойства оценки: состоятельность и смещенность.
11. Оценка методом наименьших квадратов. Пример: формула усреднения с весами.
12. Оценка методом наименьших квадратов. Пример: аппроксимация линейной функцией.
13. Задача проверки гипотезы. Критерий согласия, P-value.
14. Проверка качества аппроксимации методом наименьших квадратов. Критерий согласия  $\chi^2$ . Число степеней свободы.

**Тематика задач для второго вопроса в билете.**

1. Определить погрешность значения формулы, если известны погрешности аргументов.
2. Для заданной ситуации определить число степеней свободы, значение  $\chi^2$  на степень свободы, определить P-значение, сделать вывод о согласии между экспериментальными точками и теоретическим предсказанием.
3. Оценить погрешность измерения при изменении размера экспериментальной выборки, с учетом вклада систематической ошибки.
4. Вычислить среднее нескольких измерений, сделанных разными приборами с разными погрешностями.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ

УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

ОТЧЕТ О РАБОТЕ

**«Измерение ускорения свободного падения»**

Выполнил: студент гр. № группы  
Ф.И.О. студента полностью

Работа выполнена в рамках курса  
«Обработка данных физического  
эксперимента»

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Оценка

\_\_\_\_\_

Преподаватель Ф.И.О.преподавателя

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## Описание экспериментальной установки и методики измерений

Для измерения ускорения свободного падения использовалась установка в составе:

- магнитный подвес, установленный на высоте  $H = 1$  м,
- фотоэлектронный датчик,
- система измерения времени.

Металлический шарик диаметром 1 см подвешивается к магнитному подвесу. При нажатии кнопки, магнитный подвес выключается и шарик начинает свободное падение.

Одновременно запускается система измерения времени. При пересечении шариком уровня фотоэлектронного датчика счетчик времени останавливается и фиксируется время падения шарика от подвеса до датчика. Точность измерения времени составляет 1 мс (миллисекунду).

Высота, на которую упадет шарик из состояния покоя за время  $t$ , составляет

$$H = \frac{gt^2}{2}$$

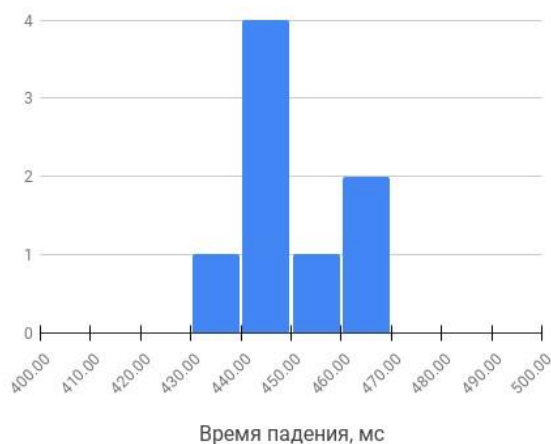
Измерив время падения и зная высоту, можно вычислить величину ускорения свободного падения

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

## Описание экспериментальных данных

Была проведена серия из 10 измерений в одинаковых условиях. Результаты приведены в таблице и на гистограмме.

Номер измерения	Измеренное время падения, мс
1	451
2	450
3	448
4	452
5	443
6	433
7	462
8	444
9	460
10	448



## Анализ данных

Для каждого измерения было вычислено соответствующее значение величины ускорения свободного падения. Результаты приведены в таблице.

Номер измерения	Измеренное время падения, мс	Ускорение свободного падения, м/с <sup>2</sup>
1	451	9.83
2	450	9.88
3	448	9.96
4	452	9.79
5	443	10.19
6	433	10.67
7	462	9.37
8	444	10.15
9	460	9.45
10	448	9.96

Среднее значение  $\bar{g} = \frac{1}{n} \sum g_i$  составило 9.93 м/с<sup>2</sup>

Выборочная  $s = \sqrt{\frac{\sum (g_i - \bar{g})^2}{n-1}}$  дисперсия составила 0.37 м/с<sup>2</sup>

Точность определения среднего  $s/\sqrt{n}$  составила 0.12 м/с<sup>2</sup>

Таким образом, результат измерений без учета возможных систематических ошибок составил

$$9.93 \pm 0.12 \text{ м/с}^2$$

# Оценка систематических ошибок

Возможные источники систематических ошибок.

Точность измерения высоты падения. Расстояние между центром подвешенного шарика и центром фотоэлемента измерено с точностью 2 мм. Существует неопределенность в том, какую долю светового потока должен перекрыть шарик, чтобы вызвать срабатывание фотоэлемента.

Предположим, что эта неопределенность составляет около половины радиуса шарика, или 2.5 мм. Складывая эти неопределенности квадратично, получаем, что систематическая точность измерения высоты падения составляет 3 мм. Так как высота падения входит в формулу для ускорения линейно, относительные ошибки высоты и ускорения совпадают. Поэтому систематическая ошибка определения высоты, 3%, приводит с систематической ошибкой измерения ускорения в 3%, или 0.3 м/с<sup>2</sup>.

Точность измерения времени. Система измерения времени определяет время с точностью 1 мс, или 0.22%. Так как время падения входит в формулу для ускорения квадратично, относительная ошибка ускорения в 2 раза больше, чем относительная ошибка времени, что составляет 0.44% или 0.044 м/с<sup>2</sup>

Влияние силы Архимеда. Ускорение свободного падения, которое действует на шарик, уменьшается из-за действия силы Архимеда,  $F = \rho_{\text{воздуха}} g V$ . Относительное изменение ускорения свободного падения составляет

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\rho_{\text{воздуха}}}{\rho_{\text{шарика}}}$$

Учитывая плотность воздуха  $\rho_{\text{воздуха}} \approx 1.2 \text{ кг/м}^3$  и плотность железа, материала шарика,  $\rho_{\text{шарика}} \approx 7900 \text{ кг/м}^3$ , ожидаемый вклад в систематическую ошибку составляет 0.015% или 0.0015 м/с<sup>2</sup>.

Влияние силы сопротивления воздуха. Сила сопротивления воздуха равна

$$F = c_x \frac{\rho_{\text{воздуха}} v^2}{2} S$$

Ускорение за счет силы сопротивления воздуха равно

$$a = \frac{F}{m} = \frac{3}{8} c_x \frac{\rho_{\text{воздуха}} v^2}{\rho_{\text{шарика}} R}$$

Для оценки возьмем среднюю скорость падения шарика 2 м/с,  $c_x = 0.5$ ,  $R = 5 \text{ мм}$ . Тогда  $a \approx 0.02 \text{ м/с}^2$ .

Итого, доминирующий вклад в систематическую ошибку измерения ускорения свободного падения в описываемом эксперименте вносит погрешность измерения высоты падения, оцениваемая в 0.3 м/с<sup>2</sup>.

## Результат

Результат измерения ускорения свободного падения:

$$9.93 \pm 0.12 \pm 0.3 \text{ м/с}^2$$

где первая погрешность статистическая, а вторая – систематическая.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям ФГОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в электронном виде.