

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



подписано электронно-цифровой подписью

## **Программа дисциплины**

### Планирование и обработка эксперимента

Направление подготовки: 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль подготовки: Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): доцент, к.н. Дулов Е.Н. (Кафедра физики твердого тела, Отделение физики), Evgeny.Dulov@kpfu.ru

# **1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

<b>Шифр компетенции</b>	<b>Расшифровка приобретаемой компетенции</b>
ОПК-3	Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные
ПК-1	Способен проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

основы планирования и обработки эксперимента

Должен уметь:

применять знания об основах планирования и обработки эксперимента

Должен владеть:

методами решения задач оптимизации, возникающих при планировании эксперимента и обработке экспериментальных данных

Должен демонстрировать способность и готовность:

готовность к постановке задачи в научной работе;

применять основные математические методы описания объекта исследований;

применять методы и средства компьютерной обработки результатов эксперимента;

проводить статистический анализ результатов эксперимента;

готовность использовать методы поиска оптимальных решений.

## **2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.05 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 28.03.01 "Нанотехнологии и микросистемная техника (Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники)" и относится к части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 3 курсе в 5 семестре.

## **3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных(ые) единиц(ы) на 180 часа(ов).

Контактная работа - 91 часа(ов), в том числе лекции - 36 часа(ов), практические занятия - 54 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 1 часа(ов).

Самостоятельная работа - 89 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет с оценкой в 5 семестре.

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

### **4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)**

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Самостоятельная работа
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практические занятия, всего	Практические в эл. форме	Лабораторные работы, всего	Лабораторные в эл. форме	
1.	Тема 1. Предварительное изучение объекта исследований.	5	4	0	6	0	0	0	10
2.	Тема 2. Выбор критериев оптимизации. Выбор факторов, уровней их варьирования и нулевой точки.	5	4	0	6	0	0	0	10
3.	Тема 3. Отсеивающие эксперименты.	5	4	0	6	0	0	0	10
4.	Тема 4. Математическое описание объектов исследований. Построение моделей.	5	4	0	6	0	0	0	10
5.	Тема 5. Модели различного порядка для одного фактора.	5	4	0	6	0	0	0	10
6.	Тема 6. Статистический анализ результатов эксперимента.	5	4	0	7	0	0	0	10
7.	Тема 7. Поиск оптимальных решений.	5	4	0	7	0	0	0	10
8.	Тема 8. Построение графических зависимостей.	5	3	0	6	0	0	0	10
9.	Тема 9. Специальные задачи.	5	3	0	6	0	0	0	9
	Итого		34	0	56	0	0	0	89

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

##### Тема 1. Предварительное изучение объекта исследований.

Постановка задачи в научной работе. Параметры (критерии) оптимизации. Требования к параметру оптимизации. Задачи с несколькими выходными параметрами. Выбор критериев оптимизации на стадии предварительного изучения объекта исследования. Выбор факторов, уровней их варьирования и нулевой точки. Ошибки измерения критериев и факторов.

##### Тема 2. Выбор критериев оптимизации. Выбор факторов, уровней их варьирования и нулевой точки.

Критерии оптимизации. Шкалы желательности. Обобщённая функция желательности. Графы корреляционных связей. Главные компоненты - линейные комбинации исходных факторов. Обработка результатов исследований, связанных с планированием эксперимента. Центральная предельная теорема теории вероятностей, примеры.

##### Тема 3. Отсеивающие эксперименты.

Факторы. Характеристика факторов, количественные и качественные факторы. Требования к факторам. Точность замеров факторов. Однозначность, совместимость, независимость. Априорное ранжирование факторов (психологический эксперимент). Метод случайного баланса. Неполноблочные планы, учёт качественных факторов и экспертные оценки.

##### Тема 4. Математическое описание объектов исследований. Построение моделей.

Выбор уровня варьирования факторов и основного уровня. Выбор моделей. Полный факторный эксперимент и дробные реплики. Линейная модель. Оптимальность планов. Ротатабельное планирование второго порядка. Ортогональное планирование второго порядка. D-оптимальные планы второго порядка. Планирование третьего порядка.

##### Тема 5. Модели различного порядка для одного фактора.

Модели высокого порядка для одного фактора. Метод наименьших квадратов с полиномами. Матрица Грама. Численные методы нахождения обратной матрицы Грама. Оценка ошибок в методе наименьших квадратов с полиномами. Преобразование уравнения регрессии с переходом к именованным величинам. Корреляция факторов. Факторы второго и более высоких порядков.

##### Тема 6. Статистический анализ результатов эксперимента.

Определение ошибок эксперимента. Проверка значимости коэффициентов регрессии. Статистическая значимость коэффициентов регрессии, критерий Фишера, t-критерий Стьюдента. Проверка адекватности регрессионных уравнений. Матрица ошибок и коэффициенты корреляции. Графическое представление коррелирующих факторов.

##### Тема 7. Поиск оптимальных решений.

Проблемы поиска минимума. Градиентные методы, общая характеристика. Метод релаксации. Методы градиента и наискорейшего спуска. Метод крутого восхождения. Безградиентные методы. Симплекс-планирование. Методы случайного поиска. Компромиссные задачи. Матрица ошибок в якобиане метода наискорейшего спуска.

#### **Тема 8. Построение графических зависимостей.**

Канонический анализ математической модели. Построение сечений поверхности отклика. Факторное пространство. Геометрическая наглядность, случай с двумя факторами. Линии равного отклика. Байесов подход, получение матрицы ошибок. Способность модели предсказывать с наперед заданной точностью направление дальнейших опытов.

#### **Тема 9. Специальные задачи.**

Научно-техническое прогнозирование, выбор направления научной работы. Пассивный и активный эксперимент. Пассивный эксперимент как эксперимент, при котором уровни факторов в каждом эксперименте регистрируются исследователем, но не задаются. Промышленный эксперимент. Обработка результатов пассивного эксперимента.

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

Д.Худсон, Статистика для физиков - <http://nuclphys.sinp.msu.ru/books/b/hudson.djvu>

Н.И.Сидняев, Н.Т.Вилисова Введение в теорию планирования эксперимента - <https://e.lanbook.com/book/106359>

Н.И.Сидняев, Статистический анализ и теория планирования эксперимента - <https://e.lanbook.com/book/103275>

### **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

### **7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

## 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Д.Худсон, Статистика для физиков - <http://nuclphys.sinp.msu.ru/books/b/hudson.djvu>

Н.И.Сидняев, Н.Т.Вилисова Введение в теорию планирования эксперимента - <http://baumanpress.ru/books/382/382.pdf>

Н.И.Сидняев, Статистический анализ и теория планирования эксперимента - <http://baumanpress.ru/books/619/619.pdf>

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	В ходе лекционных занятий вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.
практические занятия	В ходе практических занятий рекомендуется: - делать записи по ходу чтения в виде простого или развернутого плана (создавать перечень основных вопросов, рассмотренных в источнике); - составлять тезисы (цитирование наиболее важных мест статьи или монографии, короткое изложение основных мыслей автора); - готовить аннотации (краткое обобщение основных вопросов работы); - создавать конспекты (развернутые тезисы).
самостоятельная работа	Изучение дисциплины и самостоятельную работу следует начинать с проработки настоящей рабочей программы, особое внимание, уделяя целям и задачам, структуре и содержанию курса. Студентам рекомендуется получить в Библиотечно-информационном центре института учебную литературу по дисциплине, необходимую для эффективной работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины. Успешное освоение курса предполагает активное, творческое участие студента путем планомерной, повседневной работы.
зачет с оценкой	Зачёт представляет собой совокупную оценку работы студента над теоретическими и практическими частями курса. В отведённое для зачёта время студент может улучшить оценку по отдельным разделам курса, дополнив и/или переработав отчётные материалы с учётом комментариев преподавателя, если они имели место.

## 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).



### **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Компьютерный класс.

### **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 28.03.01 "Нанотехнологии и микросистемная техника" и профилю подготовки "Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники".

*Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.05 Планирование и обработка эксперимента*

**Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Направление подготовки: 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль подготовки: Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

**Основная литература:**

1. Григорьев, Ю. Д. Методы оптимального планирования эксперимента: линейные модели : учебное пособие / Ю. Д. Григорьев. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 320 с. - ISBN 978-5-8114-1937-1. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/212090> (дата обращения: 25.03.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Блягоз, З. У. Теория вероятностей и математическая статистика. Курс лекций : учебное пособие / З. У. Блягоз. - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 224 с. - ISBN 978-5-8114-2934-9. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/212693> (дата обращения: 25.03.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Горлач, Б. А. Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация / Б. А. Горлач, В. Г. Шахов. - 5-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2023. - 292 с. - ISBN 978-5-507-46275-9. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/305219> (дата обращения: 25.03.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

**Дополнительная литература:**

1. Алибеков, И. Ю. Теория вероятностей и математическая статистика в среде MATLAB : учебное пособие для вузов / И. Ю. Алибеков. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 184 с. - ISBN 978-5-8114-6865-2. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/152661> (дата обращения: 25.03.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Бахвалов, Н. С. Численные методы : учебник / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. - 12-е эл. изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2024. - 636 с. - ISBN 978-5-93208-875-3. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/458336> (дата обращения: 23.03.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Геронтология in Silico: становление новой дисциплины. Математические модели, анализ данных и вычислительные эксперименты : сборник научных трудов / под редакцией Г. И. Марчука [и др.]. - 5-е изд. (эл.). - Москва : Лаборатория знаний, 2024. - 538 с. - ISBN 978-5-93208-697-1. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/400178> (дата обращения: 23.03.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.



*Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.05 Планирование и обработка эксперимента*

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль подготовки: Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.