

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет
Кафедра физики наноструктур и наноэлектроники

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол № 13 от «30» ноября 2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Основы дифракционного структурного анализа

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки: 11.04.04 Электроника и наноэлектроника
Направленности (профили): твердотельная электроника и наноэлектроника

Форма обучения
очная

Нижний Новгород
2023

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Основы дифракционного структурного анализа» относится к дисциплинам формируемой участниками образовательных отношений части образовательной программы по направлению подготовки магистров 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника» и осваивается в течение первого семестра второго года обучения в магистратуре. «Основы дифракционного структурного анализа» формирует у студентов базовые знания об использовании явления дифракции для получения информации об атомной структуре твердых тел. Курс базируется на знаниях студентов, приобретенных в курсах теория колебаний и волн, общая физика, электродинамика, физика твердого тела и др.

Целями освоения дисциплины являются:

Целями освоения дисциплины «Основы дифракционного структурного анализа» являются включение современной методологии дифракционных методов исследования твердых тел в общую систему знаний студентов, формирование у студентов общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ОС ВО по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-4. Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, и способность обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПК-4.1. Знает тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники ПК-4.2. Умеет рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и нанoeлектроники ПК-4.3 Умеет обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы исследования изделий микро- и нанoeлектроники	Знать: приемы построения обратного пространства для кристаллических объектов различного типа; способы перехода от картины в обратном пространстве к дифракционной картине, регистрируемой прибором; способы анализа основных параметров кристаллической структуры и микроструктуры по дифракционной картине; виды искажений дифракционной картины в случае кристалла с дефектами; основные дифракционные методы исследования твердых тел. Уметь:	Вопросы по темам/разделам дисциплины. Комплект задач и заданий к практическим занятиям. Фонд тестовых заданий

		<p>применять полученные знания для решения практических задач, описания физических эффектов в области, соответствующей тематике курса; ориентироваться в современной научной литературе по вопросам дифракционного структурного анализа твердых тел, пользоваться основными подходами для анализа структуры твердых тел.</p> <p>Владеть:</p> <p>навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.</p>	
--	--	--	--

Окончательное завершение формирования компетенции ПК-4 происходит при прохождении практики и выполнении научно-исследовательской работы.

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	4 ЗЕТ
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	32
самостоятельная работа	58 (работа в семестре) 36 (на подготовку к экзамену)
Промежуточная аттестация	2 семестр – экзамен

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
<u>Тема 1.</u> Предмет дифракционного структурного анализа. Структурный анализ как преобразование Фурье	16	2	4		6	10
<u>Тема 2.</u> Определение геометрии дифракционной картины с помощью фурье-образов рассеивающих объектов	16	2	4		6	10
<u>Тема 3.</u> Периодически модулированные структуры	9	1	2		3	6
<u>Тема 4.</u> Фазовая проблема и ее решение патерсоновскими и прямыми методами. Атомное строение некоторых кристаллов	9	1	2		3	6
<u>Тема 5.</u> Влияние симметрии кристалла на картину дифракции	9	1	2		3	6
<u>Тема 6.</u> Кристалл с дефектами	16	2	4		6	10
<u>Тема 7.</u> Особенности анализа поликристалла и осевой текстуры. Основные типы рентгеновской дифракционной аппаратуры. Особенности рентгеновского дифрактометра	16	2	4		6	10
<u>Тема 8.</u> Дифракционное исследование эпитаксиальных гетероструктур. Анализ мозаичной структуры	13	1	2		3	10
<u>Тема 9.</u> Измерение упругих деформаций и концентрации твердого раствора	9	1	2		3	6
<u>Тема 10.</u> Интенсивность отражения от кристаллической пластинки	9	1	2		3	6
<u>Тема 11.</u> Кинематическое и динамическое рассеяние. Графики Дю-Монда	11	1	2		3	8

Тема 12. Рекуррентная формула для многослойной структуры. Диагностика дефектов эпитаксиальных гетероструктур по кривым качания	9	1	2		3	6
Контроль самостоятельной работы	2				2	
Итоговая аттестация - экзамен						

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде решений и последующей проверки домашних контрольных работ, а также в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Промежуточный контроль осуществляется на экзамене.

4. Образовательные технологии

При изучении данного курса используются современные образовательные технологии. Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерное моделирование, разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

На занятиях лекционного типа используются мультимедийные средства поддержки образовательного процесса. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних заданий, написание рефератов с предоставлением докладов или кратких сообщений, а также теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, студенты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, мастер-классы экспертов и специалистов в области качественно-численного анализа конкретных современных задач физики твердого тела.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является экзамен, в ходе которого оцениваются уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, выполнение домашних заданий с последующей проверкой навыков решения задач, а также слушание докладов и сообщений по предлагаемым темам рефератов.

Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к экзамену по дисциплине.

Выполнение домашних заданий осуществляется раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Задачи для выполнения самостоятельных контрольных работ по каждому разделу дисциплины и темы рефератов составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов и тем докладов зависит от числа обучающихся.

Примеры предлагаемых тем рефератов:

1. Методы расшифровки атомной структуры кристаллов.
2. Источники рентгеновского излучения для дифракционного анализа.
3. Оптические элементы для управления, коллимации и монохроматизации рентгеновского пучка.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ПК-4. Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, и способность обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач

6.2. Описание шкал оценивания

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«незачет»		«зачет»				
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»

<u>Знания</u> Знать принципы получения, методы обработки и интерпретации результатов экспериментов по дифракционному анализу твердых тел; знать последние достижения и открытия в современной научной литературе по вопросам дифракционного анализа структуры твердых тел; (ПК-4)	отсутствие знаний материала	наличие грубых ошибок в основном материале	знание основного материала с рядом негрубых ошибок	знание основного материала с рядом заметных погрешностей	знание основного материала с незначительными погрешностями	знание основного материала без ошибок и погрешностей	знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> Уметь применять полученные знания для решения практических задач, описания физических эффектов в области, соответствующей тематике курса; Уметь ориентироваться в современной научной литературе по вопросам дифракционного структурного анализа твердых тел;	Полное отсутствие умения использовать основные принципы структурного анализа твердых тел для решения задач	Неумение использовать основные принципы структурного анализа твердых тел для решения задач (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным законам)	Умение использовать основные принципы структурного анализа твердых тел для решения стандартных задач с негрубыми ошибками	Умение использовать все изученные принципы структурного анализа твердых тел для решения стандартных задач с негрубыми ошибками	Умение использовать все изученные принципы структурного анализа твердых тел для решения стандартных задач с незначительными погрешностями	Умение использовать все изученные принципы структурного анализа твердых тел для решения стандартных задач и задач повышенной сложности с незначительными погрешностями	Умение использовать все изученные принципы структурного анализа твердых тел для решения стандартных задач и задач повышенной сложности
<u>Навыки</u> Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях	Полное отсутствие навыка решения стандартных задач	Не владение навыками решения стандартных задач (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным принципам структурного анализа твердых тел)	Владение навыками решения стандартных задач по основным разделам курса с негрубыми ошибками	Владение навыками решения стандартных задач по всем разделам курса с негрубыми ошибками	Владение навыками решения стандартных задач по всем разделам курса с незначительными погрешностями	Владение навыками решения стандартных задач и задач повышенной сложности с незначительными погрешностями	Владение навыками решения стандартных задач и задач повышенной сложности
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен проводится в устной форме. Устная часть заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть экзамена предусматривает решение двух задач по различным разделам курса.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит исчерпывающие, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение уверенно применять на практике приобретенные навыки, владение в полной мере методиками решения задач. 100 % -ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит почти полные, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями; неполно отвечает на дополнительные вопросы; приводит достаточно аргументированные и почти полные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами; или исчерпывающее решение приводится только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена с заметными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.

Хорошо	В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полные решения всех сформулированных в билете задач с некоторыми недочетами; или исчерпывающее решение приведено только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена со значительными погрешностями. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей и не всегда полной обоснованностью выводов, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.
Удовлетворительно	Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит неполные, слабо аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы не отличаются стройной логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, что говорит о не достаточно полном понимании общефизических и профессиональных дисциплин, умении применять на практике лишь некоторые приобретенные навыки, владении не всеми изученными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.
Неудовлетворительно	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решения сформулированных в билете задач с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владение методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.
Плохо	Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы, демонстрирует полное непонимание сформулированных в билете задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование,
- устные и/или письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающие одну или несколько задач.

По сложности ПКЗ разделяются на простые (стандартные) и комплексные задания. Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия, применяются для оценки умений. Комплексные задания (задания повышенной сложности) требуют поэтапного решения и развернутого ответа с применением нестандартных подходов к решению. Комплексные практические задания применяются для оценки владений навыками.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

- 1) Предмет дифракционного структурного анализа. Структурный анализ как преобразование Фурье.
- 2) Прямая и обратная решетка кристалла. 4-х индексные обозначения.
- 3) Одномерный кристалл. Сфера Эвальда. Случаи малых длин волн, больших длин волн и средних длин волн.
- 4) Фурье-образы. Теорема свертки. Принцип взаимности
- 5) Двумерная дифракция. Кристалл конечной толщины и соотношение неопределенностей.
- 6) Одномерная кристаллическая сверхрешетка. Сверхрешетка на вицинальной поверхности. Двумерная модуляция.
- 7) Функция Патерсона. Гомометрические структуры.
- 8) Простейшие структурные типы и две плотнейшие упаковки.
- 9) Точечные группы симметрии кристалла, решетки Браве, пространственные группы симметрии.
- 10) Иерархия кристаллического совершенства вещества (аморфное тело, поликристалл, текстура, мозаичный монокристалл, идеальный монокристалл). Обратное пространство поликристалла. Осевая текстура. Прямая и обратная полюсные фигуры.
- 11) Дифракционное исследование эпитаксиальных гетероструктур. Анализ мозаичной структуры.
- 12) Твердые растворы замещения, коэффициент деформации решетки примесью.
- 13) Начальная, упругая и пластическая деформации в слое; их анализ по сдвигу дифракционных пиков.
- 14) Интенсивность отражения от кристаллической пластинки.
- 15) Кинематическое и динамическое рассеяние. Графики дю-Монда.
- 16) Диагностика дефектов эпитаксиальных гетероструктур по кривым качания.

Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Для оценки сформированности компетенции ПК-4: Способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике современную и эффективную методику экспериментального исследования параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения

Задача 1.1

Гетероэпитаксиальная система состоит из подложки Si(001), толстого буферного слоя $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ и тонкого слоя Si на поверхности, причем сопряжение верхнего слоя Si с буфером - бездефектное. Экспериментально измерены: деформация решетки буфера относительно подложки в плоскости слоя $\epsilon_x=0.01$ и по нормали к поверхности $\epsilon_z=0.046$.

Определить: концентрацию x_{Ge} в буфере; упругие напряжения в буфере и слое Si; плотность дислокаций несоответствия в гетеропереходе между подложкой и буфером.

Использовать численные константы:

$(a_{Ge}-a_{Si})/a_{Si}=0,04$; $\varepsilon_z^{elast} / \varepsilon_x^{elast} = -0,8$; $\sigma_x = \varepsilon_x^{elast} \times 150$ [ГПа];

вектор Бюргерса в проекции на плоскость слоя $b_x=0,5$ нм.

Задача 1.2

Определить, являются ли две структуры А и Б гомометрическими, т.е. неразличимыми по интенсивности дифракционной картины. Структуры одномерные, содержат по 5 одинаковых атомов, период $a=10$. Координаты атомов: А- $x_i = 0, 3, 4, 5, 6$; Б- $x_i = 0, 1, 3, 4, 5$.

Задача 1.3

Рассмотреть, чем должны различаться схемы сканирования обратного пространства при измерении на рентгеновском дифрактометре интегральной интенсивности брегговского отражения в случаях: 1- тонкая эпитаксиальная пленка совершенного кристалла; 2 - толстый эпитаксиальный слой мозаичного кристалла.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждено приказом № 241-ОД от 13.05.2021. с изменениями, утвержденными приказом ректора ННГУ от 10.09.2021 № 496-ОД.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Основы дифракционного структурного анализа»

а) основная литература:

1. П.В. Андреев, В.Н. Трушин, М.А. Фаддеев. Рентгеновский фазовый анализ поликристаллических материалов. Нижний Новгород. ННГУ. 2013.
<http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/files/andreev.pdf>
2. Г.С.Жданов, А.С.Илюшин, С.В.Никитина. Дифракционный и резонансный структурный анализ. М. Наука. 1980. <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/direct/346350879>
3. М.П.Шаскольская. Кристаллография. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1984. - 375с.
4. Ю.Н.Сироткин, М.П.Шаскольская. Основы кристаллофизики. М. Наука, 1979 г.
5. Берклеевский курс физики, том III. Ф. Крауфорд. Волны. М. Наука. 1984.

б) дополнительная литература:

1. Най Дж. Физические свойства кристаллов/Дж. Най. - М.: Мир, 1967. - 385 с.
2. Каули Дж. Физика дифракции. М. Мир, 1979.
3. Е.В. Зайцева, М.А. Фаддеев, Е.В. Чупрунов. Динамическая теория дифракции рентгеновских лучей в кристаллах. ННГУ. 1999.
4. З.Г. Пинскер. Динамическое рассеяние рентгеновских лучей в идеальных кристаллах. М. Наука. 1974.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) <http://pubs.acs.org/>
- 2) <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
- 3) <http://www.elementy.ru>
- 4) <http://eqworld.ipmnet.ru/>
- 5) <http://ibooks.ru/>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории. Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.04.04 – «Электроника и наноэлектроника».

Авторы

Зав. отдела технологии наноструктур и приборов, к. ф.-м. н. Ю.Н. Дроздов
научный сотрудник отдела технологии наноструктур и приборов
к.ф.-м.н. П.А. Юнин

Рецензент

главный научный сотрудник отдела магнитных наноструктур ИФМ РАН,
д. ф.-м. н. А.А. Фраерман

Заведующий кафедрой «Физика наноструктур и наноэлектроника», руководитель научного направления «Физика микро- и наноструктур» ИФМ РАН, д. ф.-м. н., член-корреспондент РАН З.Ф. Красильник

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ, протокол б/н от «17» ноября 2022 г.

Председатель Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ
к.ф.-м.н. А.А. Перов