

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Высшая школа общей и прикладной физики

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Введение в спектроскопию твердого тела

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
03.04.02 - Физика

Направленность образовательной программы
Общая и прикладная физика

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.02.04 Введение в спектроскопию твердого тела относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	ПК-1.1: Демонстрация способности самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	ПК-1.1: Знать базовые методики, новейшие достижения и современные проблемы в области спектроскопии твердого тела; Уметь использовать новейшие достижения в области спектроскопии твердого тела в теоретической и экспериментальной научно-исследовательской работе; Владеть передовыми современными методами решения практических задач спектроскопии твердого тела.	Задачи	Зачёт с оценкой: Задачи Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 Зачёт с оценкой

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	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 (практические занятия/лабора- торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Идеи, положенные в основу спектроскопии твердых тел.	12	2	2	4	8
Отражательная спектроскопия. Спектроскопия твердых тел методом нарушенного полного внутреннего отражения	11	2	2	4	7
Основы нелинейной спектроскопии твердых тел	10	2	2	4	6
Межзонное поглощение в полупроводниках. Фотопроводимость. Фотолюминесценция.	10	2	2	4	6
Комбинационное рассеяние света.	14	4	4	8	6
Техника экспериментов по спектроскопии твердых тел. Многослойные твердотельные структуры.	14	4	4	8	6
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	16	16	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

Идеи, положенные в основу спектроскопии твердых тел.

Отражательная спектроскопия. Спектроскопия твердых тел методом нарушенного полного внутреннего отражения

Основы нелинейной спектроскопии твердых тел

Межзонное поглощение в полупроводниках. Фотопроводимость. Фотолюминесценция.

Комбинационное рассеяние света.

Техника экспериментов по спектроскопии твердых тел. Многослойные твердотельные структуры.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

а) основная литература:

1. В.Л.Бонч-Бруевич, С. Г.Калашников // Физика полупроводников, М., «Наука», 1990.
2. В.П.Грибковский // Теория поглощения и испускания света в полупроводниках, Минск,

«Наука и техника», 1975.

3. Л.Д.Ландау, Е. М.Лифшиц // Электродинамика сплошных сред, М., «Наука», 1982.

4. Н.Ашкрофт, Н. Мермин // Физика твердого тела, М., «Мир», 1979, Т.1 -приложение «Л»; Т.2 — гл.27

б) дополнительная литература:

1) С.М. Зи. Физика полупроводниковых приборов. М., 1973.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

1) Журнал Optics Express

<https://www.osapublishing.org/oe/home.cfm>

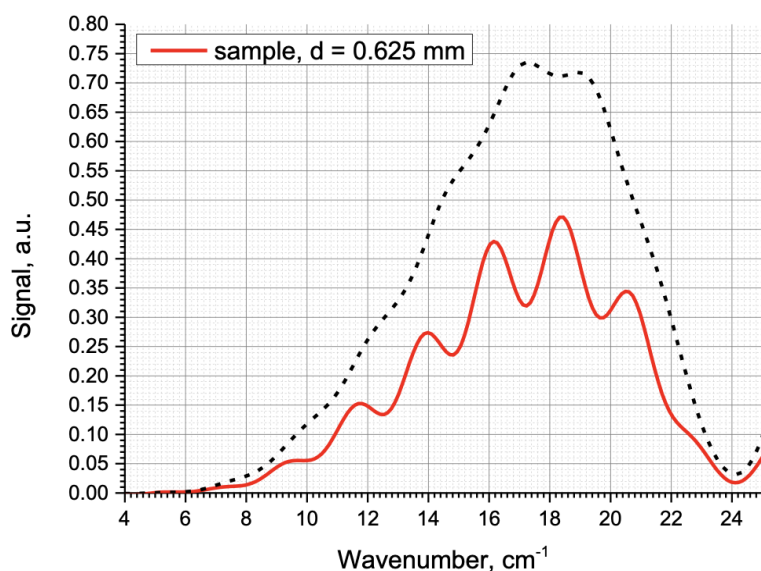
5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

Решите задачи. Запишите решение и ответ.

1. На рисунке приведен спектр пропускания плоскопараллельной пластинки полупроводникового материала толщиной 625 мкм в дальнем ИК диапазоне, а также спектр, полученный при отсутствии пластинки в оптическом тракте. Определите действительную и мнимую части показателя преломления пластинки на частоте 0.5 ТГц.



Ответ:

2. Максимальное время излучательной рекомбинации в полупроводнике с шириной запрещенной зоны 1 эВ составляет 510 мс при концентрации электронов $6.3 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$. Какое время излучательной рекомбинации соответствует тому же материалу с концентрацией свободных электронов 10^{16} см^{-3} ?

Ответ:

3. Может ли существовать полоса остаточных лучей в материале, содержащем атомы одного сорта в элементарной ячейке?

Ответ:

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые

Оценка	Критерии оценивания
	навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

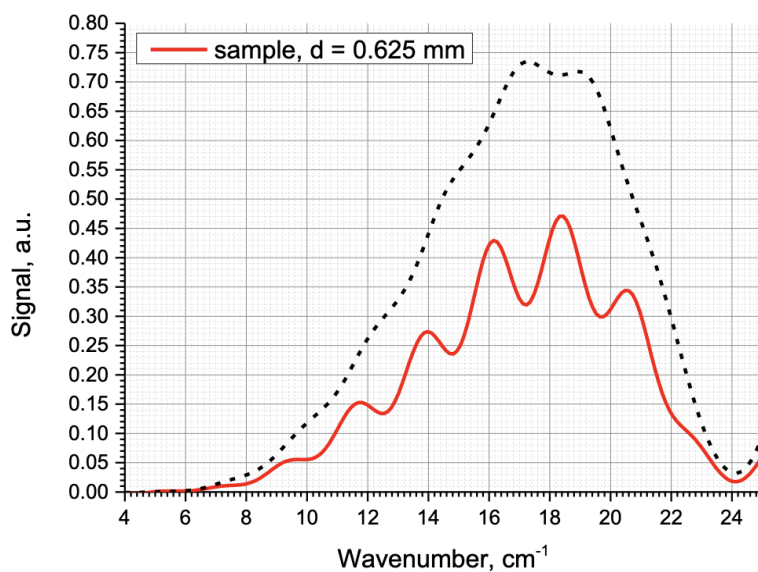
Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Решите задачи. Запишите решение и ответ.

1. На рисунке приведен спектр пропускания плоскопараллельной пластинки полупроводникового материала толщиной 625 мкм в дальнем ИК диапазоне, а также спектр, полученный при отсутствии пластинки в оптическом тракте. Определите действительную и мнимую части показателя преломления пластинки на частоте 0.5 ТГц.



Ответ:

2. Максимальное время излучательной рекомбинации в полупроводнике с шириной запрещенной зоны 1 эВ составляет 510 мс при концентрации электронов $6.3 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$. Какое время излучательной рекомбинации соответствует тому же материалу с концентрацией свободных электронов 10^{16} см^{-3} ?

Ответ:

3. Может ли существовать полоса остаточных лучей в материале, содержащем атомы одного сорта в элементарной ячейке?

Ответ:

4. Какова область дисперсии (выраженная в обратных сантиметрах) для дифракционной решетки с плотностью штрихов 600 штр./мм при автоколлимационной установке под 30° ?

Ответ:

5. Какова спектральная ширина (выраженная в обратных сантиметрах) аппаратной функции для дифракционной решетки с плотностью штрихов 600 штр./мм и общей шириной 10 см при автоколлимационной установке под 30°?

Ответ:

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от

Оценка	Критерии оценивания
	ответа.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Диэлектрическая проницаемость системы невзаимодействующих осцилляторов. Формула Клаузиуса — Мосотти.
2. Соотношение Крамерса — Кронига для диэлектрической проницаемости.
3. Отражение электромагнитного излучения от однородной безграничной среды. Нормальное падение. Наклонное падение. ТЕ (s) и ТМ (p) поляризации падающих волн. Спектроскопия тонких пленок.
4. Межзонная и примесная фотопроводимость в полупроводниках. Механизмы рекомбинации носителей. Фотолюминесценция.
5. Поверхностные волны на границах раздела сред. Поверхностные поляритоны.
6. Поверхностные и волноводные моды в слоях и пленках. Высвечивающиеся (leaky) волны. Дифракционные способы возбуждения ПВ. Проблема оптимального размера щели между призмой и поверхностью.
7. Механизмы нелинейностей (электронная, керровская, из-за непараболичности зоны в полупроводниках и т. д.). Квадратичная и кубичная нелинейности. Генерация гармоник электромагнитного поля.
8. Поглощение в кристалле с идеальной решеткой. Классическое и квантовое выражения для показателя поглощения.
9. Соотношения между вероятностями поглощения, вынужденного и спонтанного излучения в термодинамическом равновесии. Люминесценция в твердых телах.
10. Квантовая теория комбинационного рассеяния света. Вывод вероятностей стоксового и антистоксового рассеяния методом теории возмущений.
11. Дифракционные монохроматоры. Линейная дисперсия, разрешающая способность, светосила. Расчет основных параметров призмы и дифракционной решетки.
12. Фурье-спектрометр. Спектральная дискриминация в интерферометре Майкельсона. Выигрыш Жакино и Фелжета.
13. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов, используемые в монохроматорной и фурье-спектроскопии

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Бонч-Бруевич Виктор Леопольдович. Физика полупроводников : учеб. пособие для физ. специальностей вузов. - М. : Наука, 1990. - 685 с. : ил. - ISBN 5-02-014032-5 : 2.00., 7 экз.
2. Грибковский Виктор Павлович. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках. - Минск : Наука и техника, 1975. - 463 с. : граф. - 2.98., 2 экз.
3. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика. Том 8. Электродинамика сплошных сред : Учебное пособие. - 5-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2016. - 656 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-1702-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=741032&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов : пер. с англ. / под ред. А. Ф. Трутко. - М. : Энергия , 1973. - 655 с. : ил. - 2.26., 13 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

- 1) Журнал Optics Express
<https://www.osapublishing.org/oe/home.cfm>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: 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.

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 ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.02 - Физика.

Автор(ы): Красильник Захарий Фишелевич, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Викторов Михаил Евгеньевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 31.01.2025, протокол № 2.