

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 № 13 от 30.11.2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Основы квантовой электроники

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
03.04.02 – Физика

Направленность образовательной программы
Общая и прикладная физика

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01.03 «Основы квантовой электроники» относится к части ООП направления подготовки 03.04.02 Физика, формируемой участниками образовательных отношений.

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-2. Способен самостоятельно анализировать, не предвзято оценивать и ориентироваться в передовых теоретических концепциях и достижениях современной физики	ПК-2.1: Демонстрация способности самостоятельно анализировать, не предвзято оценивать и ориентироваться в передовых теоретических концепциях и достижениях современной физики	ПК-2.1: Иметь представление о веществе как квантовом ансамбле; знать, что такое матрица плотности, ее свойства и физический смысл; знать, что такое населенности и когерентности, их связь с макроскопической поляризацией вещества; знать, что такое квантовое уравнение Лиувилля, его вид в разных операторных представлениях; знать, что такое квантовое кинетическое уравнение, что такое релаксация матрицы плотности, ее физический смысл и спектроскопические проявления; знать, что такое полуклассическое приближение, самосогласованная полуклассическая система уравнений квантовой оптики/лазерной физики в общем виде и в модели 2-х уровневой квантовой системы, взаимодействующей с квазимонохроматическим окolorезонансным излучением; знать, что	Задачи	Задачи Собеседование

		<p>такое о двухуровневое приближение, резонансное приближение, приближение вращающейся волны, балансное приближение.</p> <p>Уметь: различать чистые и смешанные состояния квантового ансамбля; уметь записывать квантовое кинетическое уравнение в базисе энергетических невозмущенных состояний квантового ансамбля с учетом электродипольного взаимодействия квантового ансамбля с электромагнитным излучением, а также в двухуровневом приближении, резонансном приближении, приближении вращающейся волны, балансном приближении; уметь применять математический аппарат полуклассического приближения квантовой оптики для решения различных задач физики лазеров и лазерной физики.</p> <p>Владеть: аппаратом матрицы плотности квантового ансамбля для решения задач, связанных с генерацией, распространением и преобразованиями электромагнитного излучения в веществе вследствие взаимодействия излучения с частицами вещества</p>		
--	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
--	-------

Общая трудоемкость	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

3.2. Содержание дисциплины

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

Наименование и краткое содержание 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	Занятия лабораторного типа	Всего	
	очная	очная	очная	очная	очная	очная
Тема 1. Матрица плотности Полуклассический подход к решению задач квантовой оптики и лазерной физики. Квантовый статистический ансамбль. Чистые и смешанные состояния. Оператор и матрица плотности.	11	2	2	0	4	7
Тема 2. Эволюция матрицы плотности. Уравнение фон Неймана в разных представлениях. Релаксация матрицы плотности. Квантовое кинетическое уравнение.	12	2	2	0	4	8

Тема 3. Модели классического излучения и квантованного вещества Резонансное приближение, приближение вращающейся волны, двухуровневое приближение, балансное приближение, открытая и закрытая системы. Самосогласованная полуклассическая система уравнений, ее укорочение и с ведение к уравнениям физики лазеров.	16	4	4	0	8	8
Тема 4. Основные стационарные эффекты резонансной нелинейной оптики. Насыщение поглощения, полевое уширение спектра. Выжигание спектрального провала, провал Беннета. Субдоплеровская спектроскопия насыщения. Электромагнитно индуцированная прозрачность, безынерсное усиление.	16	4	4	0	8	8
Тема 5. Нестационарные (переходные) режимы резонансной оптики. Раби-осцилляции, самоиндуцированная прозрачность, резонансные солитоны, сверхизлучение	16	4	4	0	8	8
Аттестация	0					
КСР	1				1	
Итого	72	16	16	0	33	39

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Для самостоятельной работы обучающимся предлагается использовать основную и дополнительную литературу и/или электронные Интернет-ресурсы.

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-2

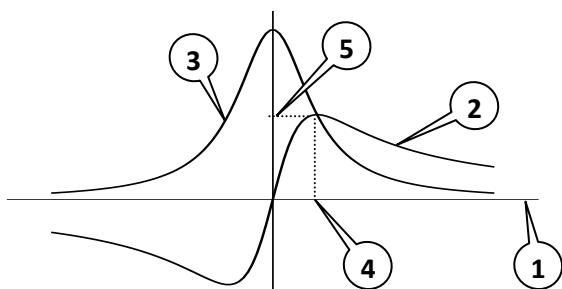
Задача 1.

Показать, что если квантовый ансамбль находится в чистом состоянии, то $|\rho_{mn}|^2 = \rho_{mm}\rho_{nn}$ для любых m, n .

Задача 2.

На графиках, представленных на рисунке, сделайте подписи, обозначенные цифрами.

Для какого случая взаимодействия излучения и среды построены эти кривые



Задача 3.

Из перечисленных вариантов ответов выделите все правильные и обоснуйте свой выбор: $3\pi/2$ -импульс возбуждает в среде а) максимальную амплитуду когерентности; б) минимальную амплитуду когерентности; в) не возбуждает когерентность.

Задача 4.

Дано состояние $|\chi\rangle = c_1 e^{i\phi_1} |1\rangle + c_2 e^{i\phi_2} |2\rangle$. Написать матрицу плотности в базисе $|1\rangle, |2\rangle$ и выяснить, какое это состояние: а) чистое; б) когерентное суперпозиционное; в) некогерентное суперпозиционное; г) смешанное.

Задача 5.

Методом субдоплеровской спектроскопии насыщения измеряется частота квантового перехода атомов нагретого газа. Обнаружено, что провал в спектре поглощения пробного поля имеет место на частоте ω_1 , а частота поля управляющего лазера при этом равна ω_2 . Найдите частоту измеряемого квантового перехода атомов газа.

Задача 6.

Напишите квантовые кинетические уравнения для эволюции трехуровневого атома, находящегося в вакууме в состоянии, характеризуемом элементами матрицы плотности $\rho_{11}, \rho_{22}, \rho_{33}, \rho_{21}, \rho_{32}, \rho_{31}$.

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

Оценка		Критерии оценивания
Зачтено		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 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.
Не зачтено	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.

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	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы 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	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован 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

5.3.2 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2

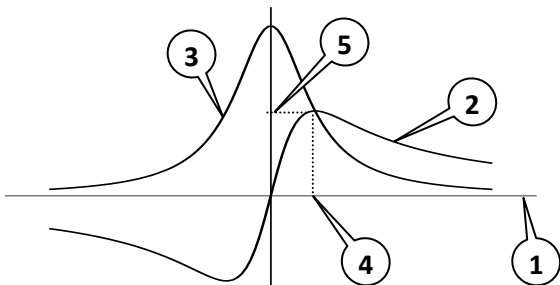
Задача 7.

Показать, что если квантовый ансамбль находится в чистом состоянии, то $|\rho_{mn}|^2 = \rho_{mm}\rho_{nn}$ для любых m, n .

Задача 8.

На графиках, представленных на рисунке, сделайте подписи, обозначенные цифрами.

Для какого случая взаимодействия излучения и среды построены эти кривые



Задача 9.

Из перечисленных вариантов ответов выделите все правильные и обоснуйте свой выбор: $3\pi/2$ -импульс возбуждает в среде а) максимальную амплитуду когерентности; б) минимальную амплитуду когерентности; в) не возбуждает когерентность.

Задача 10.

Дано состояние $|\chi\rangle = c_1 e^{i\phi_1} |1\rangle + c_2 e^{i\phi_2} |2\rangle$. Написать матрицу плотности в базисе $|1\rangle, |2\rangle$ и выяснить, какое это состояние: а) чистое; б) когерентное суперпозиционное; в) некогерентное суперпозиционное; г) смешанное.

Задача 11.

Методом субдоплеровской спектроскопии насыщения измеряется частота квантового перехода атомов нагретого газа. Обнаружено, что провал в спектре поглощения пробного поля имеет место на частоте ω_1 , а частота поля управляющего лазера при этом равна ω_2 . Найдите частоту измеряемого квантового перехода атомов газа.

Задача 12.

Напишите квантовые кинетические уравнения для эволюции трехуровневого атома, находящегося в вакууме в состоянии, характеризуемом элементами матрицы плотности $\rho_{11}, \rho_{22}, \rho_{33}, \rho_{21}, \rho_{32}, \rho_{31}$.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка		Критерии оценивания
Зачтено	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

Оценка		Критерии оценивания
		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.
Не зачтено	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.

Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Квантовый статистический ансамбль в квантовой механике и квантовой оптике. Состояние и волновая функция квантового статистического ансамбля. Квантовая суперпозиция. Чистые и смешанные состояния. Виды, свойства и признаки чистых и смешанных состояний.
2. Определение оператора плотности и его физический смысл. Определение и физический смысл матрицы плотности. Населенность и когерентность. Свойства матрицы плотности. Когерентная и некогерентная смесь, полностью когерентный квантовый ансамбль. Признаки чистого состояния по виду матрицы плотности. Среднее значение физической величины для смеси собственных и несобственных состояний.
3. Уравнение фон Неймана. Шредингеровское представление, гейзенберговское представление, представление взаимодействия. Уравнение фон Неймана в энергетическом представлении и свободная эволюция элементов матрицы плотности. Матрица плотности канонического ансамбля и возбуждение когерентности электромагнитным полем. Поляризация.
4. Релаксация. Квантовое кинетическое уравнение. Релаксация населенностей и когерентностей. Скорости релаксации, их физический смысл и соотношение между ними. Форма и ширина спектральной линии излучения. Однородное уширение.
5. Двухуровневое приближение. Резонансное приближение (приближение вращающейся волны). Квантовые кинетические уравнения для 2-х уровневой системы и квазимонохроматического поля (классического или квантованного). Частота Раби. Балансное приближение.

6. Укороченное уравнение распространения плоской электромагнитной волны в квазиоднородной диэлектрической среде в условиях квантового резонанса (вывод из уравнений Максвелла). Самосогласованная полуклассическая система уравнений квантовой оптики (лазерной физики). Векторная и скалярная формы записи для 2-х уровневой системы и квазимонохроматического околорезонансного излучения.
7. Установившийся режим воздействия резонансного излучения на двухуровневую квантовую систему. Населенности, когерентность, поляризация, нелинейная восприимчивость. Спектральный профиль резонансного поглощения и резонансной дисперсии. Эффект насыщения поглощения. Коэффициент насыщенного поглощения и поглощаемая мощность. Полевое уширение спектра поглощения. Инверсия населенностей и индуцированное усиление излучения.
8. Режимы резонансного распространения квазимонохроматического излучения в двухуровневой среде. Линейное и насыщенное поглощение, индуцированное усиление в инвертированной среде, порог усиления. Сведение полуклассической системы уравнений к балансным уравнениям усилителя бегущей волны.
9. Разносортность квантовых частиц среды. Неоднородное уширение, модификация уравнений. Эффект выжигания спектрального провала, провал Беннета. Принцип субдоплеровской спектроскопии.
10. Модификация полуклассической системы для описания динамики лазеров. Скалярная модель одномодового лазера с сосредоточенными параметрами с однородно уширенной линией усиления активной двухуровневой среды (динамическая модель Лоренца-Хакена). Динамические классы лазеров. Адиабатическое исключение поляризации и балансная модель лазера класса В
11. Нестационарные (переходные) режимы резонансного взаимодействия монохроматического (одномодового) лазерного излучения с двухуровневой системой. Случай слабого поля (линейное приближение по полю). Случай сильного поля (нелинейный режим взаимодействия). Раби-осцилляции и условия их наблюдения. Самоиндуцированная прозрачность, 2π -солитоны.
12. Двухуровневый квантовый ансамбль с возбужденной когерентностью, эффект сверхизлучения: основные свойства и условия. Трехуровневый квантовый ансамбль с возбужденной когерентностью, эффекты электромагнитно индуцированной прозрачности и безынверсного усиления: основные свойства и условия.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

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.

Оценка		Критерии оценивания
Зачтено	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 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.
Не зачтено	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)

а) основная литература:

1. Ханин Я. И. - Лекции по квантовой радиофизике. - Н. Новгород: ИПФ РАН, 2005. - 224 с.- 42 экз
2. Физика : волновая и квантовая оптика [Электронный ресурс] / Степанова, В.А. - М. : МИСиС, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876236548.html>

3. Физика. В 2 ч. Ч. 2. Оптика. Квантовая физика. Строение и физические свойства вещества [Электронный ресурс]: учебник. / И.И. Ташлыкова-Бушкевич - Минск : Выш. шк., 2014. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789850625069.html>

б) дополнительная литература:

1. Блум К. - Теория матрицы и ее приложения. - М.: Мир, 1983. - 247 с.-3 экз.
2. Квантовая оптика и квантовая радиофизика: Лекции в Летней школе теоретической физики Гренобльского университета, Лезуш, Франция : пер. с англ. и фр. - М.: Мир, 1966. - 452 с.-4 экз.

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

Не используется

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: 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 ФГОС ВО по направлению 03.04.02 - Физика.

Автор(ы): Е.В. Радионычев

Заведующий кафедрой: Господчиков Егор Дмитриевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 30.06.2022 г., протокол № 3.