

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**

Нелинейные волны в гидродинамике

---

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.04.03.03 «Нелинейные волны в гидродинамике» 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: Знать теорию нелинейных волн с учетом передовых теоретических концепций и достижений в изучаемой области знаний. Уметь применять полученные в ходе освоения дисциплины знания при решении задач описания нелинейных волновых процессов. Владеть навыками построения эталонных моделей теории нелинейных волн и методов их анализа.	Собеседование	Собеседование

## 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
1. Дисперсионное уравнение и энергия волн в слабодиссипативных средах	12	2	2	0	4	8
2. Нелинейное взаимодействие волн	12	2	2	0	4	8
3. Нелинейные волны в консервативных средах со слабой дисперсией	16	4	4	0	8	8
4. Модулированные нелинейные волны в консервативных средах	16	4	4	0	8	8
5. Самоорганизация, структуры и турбулентность диссипативных неравновесных средах	15	4	4	0	8	7
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 (модюлю)

##### 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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Построение дисперсионного уравнения и свойства симметрии его решений. Решение задач с начальными и граничными условиями.

2. Дисперсионное уравнение для волн пространственного заряда в системе взаимопроникающих «холодных» потоков заряженных частиц.
3. Определение плотности энергии волн с помощью уравнения энергетического баланса на примере волн пространственного заряда в многопотоковой системе.
4. Вывод уравнения для огибающей волнового пакета, возбуждаемого сторонним током, асимптотическим методом Боголюбова-Митропольского с применением спектрально-операторного формализма.
5. Волны с отрицательной энергией (ВОЭ) в неравновесных средах. Термодинамические ограничения на знак волновой энергии в равновесной среде. Физический смысл ВОЭ и формализм ВОЭ в линейных средах.
6. Трехволновые резонансные взаимодействия в консервативных средах с квадратичной нелинейностью.
7. Вывод уравнений для комплексных амплитуд при резонансном взаимодействии трех модулированных волн в приближении группового распространения на примере волн пространственного заряда в многопотоковой системе.
8. Условия пространственно-временного резонанса (синхронизма) в среде с квадратичной нелинейностью. Графическое определение резонансных волновых триплетов.
9. Общие свойства коэффициентов трехволнового взаимодействия в консервативных средах. Соотношения Мэнли-Роу и аналогия трехволновых взаимодействий в равновесных средах с процессами распада и слияния квазичастиц в квантовой механике.
10. Уравнение для спектральной плотности амплитуд гармоник в широком волновом пакете и переход к взаимодействию узких волновых пакетов.
11. Резонансное взаимодействие трех пространственно однородных волн во времени.
12. Особенности параметрического усиления встречных волн на примере вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) в газе.
13. Особенности резонансных трехволновых взаимодействий в неравновесных средах Распадная неустойчивость низкочастотных волн и взрывная неустойчивость.
14. Четырехволновые взаимодействия в консервативных средах. Условие четырехволнового резонанса в кубичной среде. Самовоздействие и нерезонансное взаимодействие волн.
15. Эффективная кубичная нелинейность и средние поля второго порядка по амплитуде волн в квадратичной среде на примере решения модельного уравнения с квадратичной и кубичной нелинейностью.
16. Взаимодействие волн в средах с диссипативной нелинейностью. Связь взрывной неустойчивости с жестким возбуждением волн.
17. Конкуренция волн в активных средах с кубичной нелинейностью. Исследование конкуренции двух однородных волн во времени и попутных волн в пространстве методом фазовой плоскости.
18. Резонансное взаимодействие модулированных волн в приближении группового распространения.
19. Вывод уравнения Кортевега-де-Вриза (КдВ). Периодические стационарные волны и солитоны в уравнении КдВ.
20. Уравнение КдВ для волн на мелкой воде. Влияние потерь на форму стационарных волн. Волнистая и турбулентная боры на мелкой воде. Уравнение КдВ как модель развития цунами.
21. Понятие о методе обратной задачи теории рассеяния (ОЗР). Распад начального возмущения на солитоны. Аналогия солитонов с частицами.
22. Уравнение Бенджамена-Оно для среды с «квадратичной» дисперсией и одномерные алгебраические солитоны.
23. Уравнение Кадомцева-Петвиашвили для двумерных волн и двумерные алгебраические солитоны в среде с «положительной дисперсией». Устойчивость КдВ солитонов к трехмерным возмущениям.
24. Нелинейное уравнение Шредингера (НУШ) для модулированных волн. Соотношение между дисперсией и нелинейностью в НУШ.

25. Обобщение НУШ для неоднородных волновых полей (нелинейное параболическое уравнение). Самомодуляция и самофокусировка плоских волн в консервативных средах и их интерпретация как «четырёхквантовых» распадных процессов.
26. Хаос и структуры в рамках комплексного уравнения Гинзбурга-Ландау (КУГЛ). Неустойчивость когерентных структур в виде монохроматических бегущих волн, критерий Бенджамена-Фейра-Ньюэла.
27. Диссипативный предел двумерного КУГЛ и понятие градиентной системы. Решение диссипативного двумерного уравнения Гинзбурга-Ландау в виде «вихрей».
28. Вихри и топологические дефекты. Решение двумерного КУГЛ в виде спиралей.
29. Турбулентность и структуры в двумерном КУГЛ: спирали, фазовая турбулентность, турбулентность дефектов и замороженные состояния («вихревые стекла»).
30. Термическая гравитационная конвекция в жидком слое, подогреваемом снизу, как пример структурообразующей системы. Числа Рэлея и Прандтля. Конвективные валы и нейтральная кривая для них.
31. Исследование отбора (селекции) структур с помощью уравнения Свифта-Хоенберга. Понятие о пенто-гепто дефектах в периодической решетке шестигранников.
32. Исследование системы валов, содержащей дислокации, с помощью уравнения Ньюэла-Вайтхеда-Сегеля. Направление движения дислокаций в решетке искривленных валов.
33. Доменные стенки и их простейшие модели.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

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.

## 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 и. 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 отдельным 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 некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и 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

### 5.3.2 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

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

34. Построение дисперсионного уравнения и свойства симметрии его решений. Решение задач с начальными и граничными условиями.
35. Дисперсионное уравнение для волн пространственного заряда в системе взаимопроникающих «холодных» потоков заряженных частиц.
36. Определение плотности энергии волн с помощью уравнения энергетического баланса на примере волн пространственного заряда в многопоточковой системе.
37. Вывод уравнения для огибающей волнового пакета, возбуждаемого сторонним током, асимптотическим методом Боголюбова-Митропольского с применением спектрально-операторного формализма.
38. Волны с отрицательной энергией (ВОЭ) в неравновесных средах. Термодинамические ограничения на знак волновой энергии в равновесной среде. Физический смысл ВОЭ и формализм ВОЭ в линейных средах.
39. Трехволновые резонансные взаимодействия в консервативных средах с квадратичной нелинейностью.
40. Вывод уравнений для комплексных амплитуд при резонансном взаимодействии трех модулированных волн в приближении группового распространения на примере волн пространственного заряда в многопоточковой системе.
41. Условия пространственно-временного резонанса (синхронизма) в среде с квадратичной нелинейностью. Графическое определение резонансных волновых триплетов.
42. Общие свойства коэффициентов трехволнового взаимодействия в консервативных средах. Соотношения Мэнли-Роу и аналогия трехволновых взаимодействий в равновесных средах с процессами распада и слияния квазичастиц в квантовой механике.
43. Уравнение для спектральной плотности амплитуд гармоник в широком волновом пакете и переход к взаимодействию узких волновых пакетов.
44. Резонансное взаимодействие трех пространственно однородных волн во времени.
45. Особенности параметрического усиления встречных волн на примере вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) в газе.
46. Особенности резонансных трехволновых взаимодействий в неравновесных средах Распадная неустойчивость низкочастотных волн и взрывная неустойчивость.
47. Четырехволновые взаимодействия в консервативных средах. Условие четырехволнового резонанса в кубичной среде. Самовоздействие и нерезонансное взаимодействие волн.
48. Эффективная кубичная нелинейность и средние поля второго порядка по амплитуде волн в квадратичной среде на примере решения модельного уравнения с квадратичной и кубичной нелинейностью.
49. Взаимодействие волн в средах с диссипативной нелинейностью. Связь взрывной неустойчивости с жестким возбуждением волн.
50. Конкуренция волн в активных средах с кубичной нелинейностью. Исследование конкуренции двух однородных волн во времени и попутных волн в пространстве методом фазовой плоскости.
51. Резонансное взаимодействие модулированных волн в приближении группового распространения.
52. Вывод уравнения Кортевега-де-Вриза (КдВ). Периодические стационарные волны и солитоны в уравнении КдВ.
53. Уравнение КдВ для волн на мелкой воде. Влияние потерь на форму стационарных волн. Волнистая и турбулентная боры на мелкой воде. Уравнение КдВ как модель развития цунами.
54. Понятие о методе обратной задачи теории рассеяния (ОЗР). Распад начального возмущения на солитоны. Аналогия солитонов с частицами.



55. Уравнение Бенджамена-Оно для среды с «квадратичной» дисперсией и одномерные алгебраические солитоны.
56. Уравнение Кадомцева-Петвиашвили для двумерных волн и двумерные алгебраические солитоны в среде с «положительной дисперсией». Устойчивость КдВ солитонов к трехмерным возмущениям.
57. Нелинейное уравнение Шредингера (НУШ) для модулированных волн. Соотношение между дисперсией и нелинейностью в НУШ.
58. Обобщение НУШ для неодномерных волновых полей (нелинейное параболическое уравнение). Самомодуляция и самофокусировка плоских волн в консервативных средах и их интерпретация как «четырёхквантовых» распадных процессов.
59. Хаос и структуры в рамках комплексного уравнения Гинзбурга-Ландау (КУГЛ). Неустойчивость когерентных структур в виде монохроматических бегущих волн, критерий Бенджамена-Фейра-Ньюэла.
60. Диссипативный предел двумерного КУГЛ и понятие градиентной системы. Решение диссипативного двумерного уравнения Гинзбурга-Ландау в виде «вихрей».
61. Вихри и топологические дефекты. Решение двумерного КУГЛ в виде спиралей.
62. Турбулентность и структуры в двумерном КУГЛ: спирали, фазовая турбулентность, турбулентность дефектов и замороженные состояния («вихревые стекла»).
63. Термическая гравитационная конвекция в жидком слое, подогреваемом снизу, как пример структурообразующей системы. Числа Рэлея и Прандтля. Конвективные валы и нейтральная кривая для них.
64. Исследование отбора (селекции) структур с помощью уравнения Свифта-Хоенберга. Понятие о пенто-гепто дефектах в периодической решетке шестигранников.
65. Исследование системы валов, содержащей дислокации, с помощью уравнения Ньюэла-Вайтхеда-Сегеля. Направление движения дислокаций в решетке искривленных валов.
66. Доменные стенки и их простейшие модели.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

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

Оценка		Критерии оценивания
		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. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. учеб. пособие для физ. специальностей вузов. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. - 432 с.
2. Рабинович М.И., Езерский А.Б. Динамическая теория формообразования. М.: Янус-К, 1998. 191С.
3. Вильхельмссон Х., Вейланд Я. Когерентное нелинейное взаимодействие волн в плазме. М.: Энергоиздат, 1981
4. Сухоруков А.П. Нелинейные волновые взаимодействия в оптике и радиофизике. М.: Наука, 1988. 232 с.
5. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. М. : Наука, Гл. ред. физ.-

мат. лит., 1979. - 383 с.

6. Додд Р., Эйлбек Дж., Гиббон Дж, Моррис Х. Солитоны и нелинейные волновые уравнения. М.: Мир, 1988.
7. Дж. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977.
8. Карпман В.И. Нелинейные волны в диспергирующих средах. М.: Наука, 1973. 176 с.
9. Михайловский А.Б. Теория плазменных неустойчивостей : [в 2 т.]. Т. 1 : Неустойчивости однородной плазмы. - 2-е изд., перераб., доп. - М. : Атомиздат, 1975. - 272 с.
10. Найфэ А.Х. Методы возмущений. М.: Мир, 1976.

б) дополнительная литература:

1. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1976.
2. Скотт Э. Волны в активных и нелинейных средах в приложении к электронике. М.: Сов. радио, 1977. 368 с.
3. Цытович В.Н. Нелинейные эффекты в плазме. М. Наука, 1967. 288 с.
4. Бломберген Н. Нелинейная оптика. М.: Мир, 1966. 424 с.
5. Заславский Г.М. Стохастичность динамических систем. М.: Наука, 1984
6. Д.И. Трубецков, Е.С. Мchedlova, Л.В. Красичков. Введение в теорию самоорганизации открытых систем. Физматлит, 2005.
7. Ю.С. Кившарь, Г.П. Агравал. Оптические солитон: от световодов к фотонным кристаллам. Пер. с англ. М.: Физматлит, 2005.
8. Лайтхилл Дж. Волны в жидкостях. М.: Мир. 1981. 600с.
9. Ньюэлл А. Солитоны в математике и физике. М.: Мир, 1989. 323 с.
10. Солитоны в действии. Сб. под ред. К. Лонгрена и Э. Скотта. М.: Мир, 1981

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): А.И. Реутов

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

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