

Программа утверждена на заседании кафедры вычислительной математики

27 ноября 2014 г., протокол № 4.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

1. Код и наименование дисциплины (модуля): Методы для задач физики плазмы
2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.
3. Направление подготовки: 02.06.01 Компьютерные и информационные науки. Направленность программы: Вычислительная математика (научная специальность 01.01.07).
4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, элективный курс по выбору кафедры, обязателен для освоения не позднее второго года обучения.
5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<i>УК-1</i> <i>УК-4</i>	У1 (УК-1) анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов 31 (УК-4) знать методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках
<i>ОПК-1</i>	В2 (ОПК-1) владеть навыками решения теоретических и практических задач при помощи современных программных средств
<i>ПК-1</i>	31 (ПК-1) ЗНАТЬ: методы теории дифференциальных уравнений, используемые при обосновании решений задач для уравнений математической физики и численных методов; в том числе, основные и специальные разделы качественной теории дифференциальных уравнений, метода возмущений и разностных схем, их современные тенденции; У1 (ПК-1) УМЕТЬ: использовать результаты теории уравнений математической физики (и других

	<p>уравнений подобного типа) и совершенствовать их с целью применения в своих исследованиях; в частности, корректно ставить задачи в терминах эйлеровых и лагранжевых переменных, выбирать методы их анализа и решения, представлять и интерпретировать полученные результаты;</p> <p>В1 (ПК-1) ВЛАДЕТЬ: навыками решения новых теоретических и практических задач в области численных, аналитических и асимптотических методов, возникающих в науке на современном этапе ее развития, в том числе, методами качественной теории дифференциальных уравнений и возмущений, теорией разностных схем для решения теоретических и прикладных задач; навыками создания и исследования новых актуальных теорий и направлений, востребованных в современной науке; приемами создания многоцелевых программных комплексов; способами эффективной обработки результатов численных экспериментов.</p>
--	---

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 44 часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (34 часа занятия лекционного типа, 2 часа занятия семинарского типа, 8 часов мероприятия текущего и промежуточного контроля успеваемости), 28 часов составляет самостоятельная работа аспиранта.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен Знать: основные направления, проблемы, теории и методы современной математики.

Уметь: решать стандартные задачи математического анализа, линейной алгебры, дифференциальных уравнений и численных методов и применять идеи, использованные в их решениях, для решения аналогичных задач.

Иметь навык: программирования на языке высокого уровня типа Си.

Владеть: навыками решения задач из следующих разделов современной математики: математический анализ, линейная алгебра, дифференциальные уравнения, разностные схемы.

8. Формат обучения.

спецкурс по выбору кафедры

9. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе							
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др)*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..
Тема 1: Что такое опрокидывание плазменных колебаний? Физическая модель и основные уравнения.	4	2				2	1		1
Тема 2: Системы PIRE и PINE: плоские одномерные релятивистские и нерелятивистские колебания электронов.	6	4				4	1		1
Тема 3: Начальные и граничные условия.	6	2			2	4	2		2

Система P1NE: постановки задач в эйлеровых и лагранжевых переменных.										
Тема 4: Аксиальные решения системы P1NE. Эквивалентность дифференциальной и дифференциально- алгебраической постановок.	6	2					2	2		4
Тема 5: Теорема о необходимом и достаточном условии существования и единственности аксиального решения P1NE. Вывод «сложных» и «простых» формул аксиального решения системы P1NE.	4	2					2	2		2
Тема 6: Простые и составные «треугольные» решения системы P1NE. Численно- аналитический метод	4	2					2	2		2

решения системы P1NE.										
Тема 7: Численный алгоритм решения системы P1NE в лагранжевых переменных. Свойства схемы с «перешагиванием» по времени: аппроксимация, устойчивость, коррекция частоты.	6	2					2	2		4
Тема 8: Численный алгоритм решения системы P1NE в эйлеровых переменных. Схема Лакса-Вендроффа для уравнения Бюргера и уравнения переноса.	8	2	2			2	6	2		2
Тема 9: Схема Мак-Кормака (предиктор-корректор) для уравнений в дивергентной форме и ее адаптация для уравнения переноса. Метод возмущений для	8	2				2	4	2		4

модельного нелинейного уравнения колебаний: прямое разложение.										
Тема 10: Метод возмущений для модельного нелинейного уравнения колебаний: равномерно пригодное разложение третьего порядка. Асимптотика времени опрокидывания.	4	2					2	2		2
Тема 11: Численный алгоритм решения системы P1RE в лагранжевых переменных. Сценарий развития - завершения плоских релятивистских электронных колебаний.	4	2					2	2		2
Тема 12: Системы C1RE и C1NE: цилиндрические одномерные колебания электронов, постановки задач в эйлеровых и	6	4					4	2		2

лагранжевых переменных.										
Тема 13: . Аксиальные решения системы С1NE. Теорема о необходимом и достаточном условии существования и единственности аксиального решения.	6	2				2	4	2		2
Тема 14: Метод возмущений для системы С1NE: равномерно пригодное разложение третьего порядка. Численный алгоритм решения системы С1NE в лагранжевых переменных.	4	2					2	2		2
Тема 15: Численный алгоритм решения системы С1NE в эйлеровых переменных. Сценарий развития - завершения цилиндрических нерелятивистских электронных колебаний.	4	2					2	2		2

Промежуточная аттестация: экзамен	6		8								
Итого	72	34	2			8	44	28	0	28	

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы аспирантов по дисциплине (модулю).

Конспект лекций из Интернета, изготовленный автором курса, списки упражнений к лекциям, литература из списка литературы, см. 12.

11. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю).

- Перечень компетенций: УК-1, УК-4, ОПК-1, ПК-1
- Шкала оценивания: экзамен с оценкой по пятибалльной шкале.
- Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ШКАЛА оценивания					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ*
	1	2	3	4	5	
<i>У1 (УК-1)</i>	Отсутствие умений	Частично освоенное умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыш	В целом успешно, но не систематически осуществляемые анализ альтернативных вариантов решения исследовательских и практических задач и оценка потенциальных выигрышей/проигрышей	В целом успешно, но содержащие отдельные пробелы анализ альтернативных вариантов решения исследовательских задач и оценка потенциальных выигрышей/проигрышей реализации этих	Сформированное умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыш	оценка в форме индивидуального собеседования

		и реализации этих вариантов	реализации этих вариантов	вариантов	и реализации этих вариантов	
31 (УК-4)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания методов и технологий научной коммуникации на государственном и иностранном языках	Неполные знания методов и технологий научной коммуникации на государственном и иностранном языках	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания методов и технологий научной коммуникации на государственном и иностранном языках	Сформированные и систематические знания методов и технологий научной коммуникации на государственном и иностранном языках	оценка в форме индивидуального собеседования
B2 (ОПК-1)	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков построения и анализа математических моделей, решения задач при помощи современных программных средств	В целом успешное, но не систематическое применение навыков построения и анализа математических моделей, решения задач при помощи современных программных средств	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков построения и анализа математических моделей, решения задач при помощи современных программных средств	Успешное и систематическое применение навыков построения и анализа математических моделей, решения задач при помощи современных программных средств	оценка в форме индивидуального собеседования о результатах численного моделирования
31 (ПК-1)	Не имеет базовых знаний	Допускает существенные ошибки	Демонстрирует частичные знания	Демонстрирует знания с небольшими пробелами	Раскрывает полное содержание основных и специальных разделов качественной теории дифференциальных уравнений, метода возмущений и разностных схем, их современные тенденции.	экзамен в форме индивидуального собеседования
У1 (ПК-1)	Не умеет и не готов формулировать базовые определения и постановки	Имея базовые представления о предмете, не готов формулировать задачи и выбирать методы их решения.	Не учитывает специфики и современного состояния предмета	Не вполне готов выбирать методы анализа и интерпретировать результаты	Умеет корректно ставить задачи в терминах эйлеровых и лагранжевых переменных,	письменное решение задач

	задач				выбирать методы их анализа и решения, представлять и интерпретировать полученные результаты	
В1 (ПК-1)	Не владеет методами и навыками.	Владеет отдельными приемами	Владеет приемами и навыками решения основных стандартных задач	Владеет методами и навыками, но не готов оценивать значимость конкретных задач в современной науке.	Полностью владеет методами качественной теории дифференциальных уравнений и возмущений, теорией разностных схем для решения задач; навыками создания и исследования новых актуальных теорий и направлений, востребованных в современной науке	экзамен в форме индивидуального собеседования

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций: конспекты лекций снабжены упражнениями для самостоятельных занятий по теме каждой лекции.

Контрольные вопросы и задания по обязательной и вариативной частям дисциплины для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

1. Для простейшей модели движения частиц установить эквивалентность пересечения траекторий и сингулярности плотности.
2. Объяснить основные уравнения гидродинамической модели плазмы.
3. Вывести уравнения, описывающие плоские одномерные релятивистские колебания электронов.
4. Вывести уравнения, описывающие плоские одномерные нерелятивистские колебания электронов.
5. Объяснить связь начальных и граничных условий с параметрами лазерного импульса.

6. Сформулировать постановку задачи в эйлеровых переменных.
7. Сформулировать постановку задачи в лагранжевых переменных.
8. Вывести уравнения для аксиальных решений системы P1NE.
9. Установить эквивалентность дифференциальной и дифференциально-алгебраической постановок.
10. Доказать теорему о необходимом и достаточном условии существования и единственности аксиального решения P1NE.
11. Вывести «сложные» формулы аксиального решения системы P1NE.
12. Вывести «простые» формулы аксиального решения системы P1NE.
13. Доказать свойства простых «треугольных» решений системы P1NE.
14. Доказать свойства составных «треугольных» решений системы P1NE.
15. Изложить численно-аналитический метод решения системы P1NE.
16. Изложить численный алгоритм решения системы P1NE в лагранжевых переменных (схема с «перешагиванием» по времени).
17. Обосновать свойства схемы с «перешагиванием» по времени: аппроксимация, устойчивость, коррекция частоты.
18. Изложить численный алгоритм решения системы P1NE в эйлеровых переменных (схема расщепления по физическим процессам).
19. Схема Лакса - Вендроффа («тренога») для уравнения Бюргера: построение, аппроксимация, устойчивость.
20. Схема Лакса - Вендроффа («тренога») для уравнения переноса: построение, аппроксимация, устойчивость.
21. Схема Мак-Кормака (предиктор - корректор) для уравнений в дивергентной форме: аппроксимация, устойчивость в линейном случае, адаптация для уравнения переноса.
22. Применить метод возмущений для модельного нелинейного уравнения колебаний с целью получения прямого разложения.
23. Применить метод возмущений для модельного нелинейного уравнения колебаний с целью получения равномерно пригодного разложения третьего порядка.
24. Объяснить, что сдвиг частоты колебаний в равномерно пригодном разложении третьего порядка - причина пересечения траекторий соседних частиц. Вывести асимптотику времени опрокидывания.
25. Объяснить нарушение свойства инвариантности системы P1NE в системе P1RE. Как ускорить и замедлить процесс опрокидывания колебаний?
26. Изложить численный алгоритм решения системы P1RE в лагранжевых переменных (схема с «перешагиванием» по времени).
27. Изложить сценарий развития - завершения плоских релятивистских электронных колебаний.
28. Вывести системы C1RE и C1NE, описывающие цилиндрические одномерные колебания электронов.
29. Сформулировать постановку задачи в эйлеровых переменных.
30. Сформулировать постановку задачи в лагранжевых переменных.
31. Для аксиальных решений системы C1NE установить эквивалентность дифференциальной и дифференциально-алгебраической постановок.
32. Доказать теорему о необходимом и достаточном условии существования и единственности аксиального решения C1NE.
33. Применить метод возмущений для системы C1NE с целью получения равномерно пригодного разложения третьего порядка.
34. Построить численный алгоритм решения системы C1NE в лагранжевых переменных (схема с «перешагиванием» по времени).

35. Построить численный алгоритм решения системы С1NE в эйлеровых переменных (схема расщепления по физическим процессам).

36. Изложить сценарий развития - завершения цилиндрических нерелятивистских электронных колебаний.

- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения: листки с определениями и задачами для самостоятельного решения.

Определения - из списка контрольных вопросов и заданий для промежуточной аттестации.

Задачи для самостоятельного решения - из конспекта лекций, подготовленного автором, и из списка контрольных вопросов для промежуточной аттестации.

Билет формируется из двух вопросов из списка и одной задачи, взятых из различных разделов промежуточной аттестации.

12. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы:

1. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. *Основы электродинамики плазмы*. Изд. 2-е, перераб. и дополн. М.: Высшая школа, 1988.
2. Арнольд В.И. *Обыкновенные дифференциальные уравнения*. – М.: Наука, 1971.
3. Бахвалов Н.С., Корнев А.А., Чижонков Е.В. *Численные методы. Решения задач и упражнения*. – М.: Дрофа, 2009.
4. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. *Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний*. – М.: Наука, 1974.
5. Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д. *Элементы математической физики*. – М.: Наука, 1973.
6. Горбунов Л.М., Фролов А.А., Чижонков Е.В., Андреев Н.Е. Опрокидывание нелинейных цилиндрических колебаний плазмы // *Физика плазмы*, 2010, том 36, № 4, с. 58-65.
7. Попов А.В., Чижонков Е.В. Об одной разностной схеме для расчета плазменных аксиально-симметричных колебаний // *Вычисл. методы и программ.*, 2012, том 13, № 1, с. 5-17.
8. Чижонков Е.В. К моделированию электронных колебаний в плазменном слое // *Ж. вычисл. математики и матем. физики*, 2011, том 11, № 2, с. 57-69.
9. Dawson J.M. Nonlinear electron oscillations in a cold plasma // *Phys. Review*, 1959, vol. 113, N 2, p. 383-387.
10. Goriely A., Hyde C. Necessary and sufficient condition for finite time singularities in ordinary differential equations // *J. Differential Equat.*, 2000, vol. 161, p. 422-448.
11. Hockney R.W., Eastwood J.W. *Computer simulation using particles*. – New York: McGraw-Hill Inc., 1981.

- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»
 1. Чижонков Е.В. *Конспект лекций по спецкурсу «Опрокидывание плазменных колебаний». Рабочая версия – 2015, 58 с.*
<https://yadi.sk/i/hUFaTrEVj6WcW>
- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости): по ситуации - библиотеки численного анализа www.netlib.org, построение графиков - gnuplot.
- Описание материально-технической базы: аудиторный фонд механико-математического факультета.

13. Язык преподавания.
русский

14. Преподаватель (преподаватели).
Профессор, д.ф.-м.н. Евгений Владимирович Чижонков

Заведующий кафедрой
Вычислительной математики
профессор, д.ф.-м.н.

/Кобельков Г.М./