

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов»*

Факультет физико-математических и естественных наук

Институт физических исследований и технологий

Рекомендовано МССН

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ФИЗИКЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

**Рекомендуется для направления подготовки/специальности
03.04.02 «Физика» специализация "Фундаментальная и прикладная физика"**

Квалификация (степень) выпускника

магистр

Цели и задачи дисциплины:

Содержание дисциплины курса направлено на обеспечение постановки и проведения вычислительного эксперимента в физике сложных систем. Целями курса являются: изучение методов численного моделирования сложных систем и получение студентами практических навыков в разработке численных моделей и проведении вычислительного эксперимента. Одной из задач курса является закрепление на более высоком уровне знаний в областях вычислительных методов и вычислительных технологий, используемых в современной физике, и их реализации при решении сложных практических задач.

2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:

Дисциплина «Вычислительный эксперимент в физике сложных систем» относится к дисциплинам вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению **03.04.02 Физика**, Специализация: **Фундаментальная и прикладная физика**.

В таблице 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица 1

Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
1	УК-7 Способен: искать нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач; проводить оценку информации, ее достоверность, строить логические умозаключения на основании поступающих информации и данных.	Компьютерные технологии в науке и образовании	
2	ОПК-3: Способен применять знания в области информационных технологий, использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть «Интернет») для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки	Компьютерные технологии в науке и образовании	
3	ОПК-4: Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности	Компьютерные технологии в науке и образовании	
4	ПК-1: способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с	Компьютерные технологии в науке и образовании	Производственная (преддипломная) практика

	использованием новейшего российского и зарубежного опыта		
--	--	--	--

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование ряда компетенций в соответствии с ОС ВО РУДН.

Универсальные компетенции (УК):

УК-7. Способен:

искать нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач;

проводить оценку информации, ее достоверность, строить логические умозаключения на основании поступающих информации и данных.

Общепрофессиональные компетенции ОПК:

ОПК-3. Способен применять знания в области информационных технологий, использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть «Интернет») для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки

ОПК-4. Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности

Профессиональные компетенции (ПК):

ПК-1. Способность 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

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: методы моделирования процессов, протекающих в сложных физических системах;

Уметь: разрабатывать и применять для решения практических задач численные модели, строить алгоритмы и писать программы (коды) на одном или нескольких языках программирования, использовать разработанные ранее алгоритмы и библиотеки подпрограмм;

Владеть:

УК-7. Способен:

-искать нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач;

-проводить оценку информации, ее достоверность, строить логические умозаключения на основании поступающих информации и данных.

ОПК-3. Способен применять знания в области информационных технологий, использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть «Интернет») для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки;

ОПК-4. Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности.

ПК-1: способностью 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

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц (288 часов)

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр		
		1	2	3
Аудиторные занятия (всего)	68			68
В том числе:				
Лекции				
Прочие занятия				-
<i>В том числе:</i>				
Практические занятия (ПЗ)				
Семинары (С)				
Лабораторные занятия (ЛР)	68			68
Самостоятельная работа (ак. часов)	220			220
Общая трудоемкость (ак. часов)	288			288
Общая трудоемкость (зачетных единиц)	8			8

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Математическое моделирование и вычислительный эксперимент в физике сложных систем	Моделирование задач физики плазмы и астрофизики методом частиц в ячейке. Общая схема моделирования.
2	Методы моделирования одномерных плазменных систем	Решение уравнений поля в плазменных и астрофизических системах. Решение уравнения Пуассона. Задача о распространении ленгмюровской волны. Коллективное ускорение ионов релятивистского плазменного сгустка.
3	Метод молекулярной динамики.	Изучение состояния идеального газа. Разработка двумерной модели состояния идеального газа на основе метода молекулярной динамики.
4	Моделирование двумерных и трехмерных плазменных систем.	Метод частиц в ячейке для двумерных и трехмерных электростатических процессов. Примеры моделирования трехмерных плазменных систем. Постановка вычислительного эксперимента. Общая схема эксперимента. Диагностики в вычислительном эксперименте. Проведение вычислительного эксперимента «Удержание и нагрев плазмы в открытых магнитных ловушках в условиях резонансов и авторезонансов», «Моделирование плазмы в стационарных плазменных двигателях».

5.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Лаб. зан.	Семина	СРС	Всего час.
1.	Математическое моделирование и вычислительный эксперимент в физике сложных систем			4	-	35	39
2.	Методы моделирования			32	-	75	107

	одномерных плазменных систем						
3	Метод молекулярной динамики.			16	-	55	71
4	Моделирование двумерных и трехмерных плазменных систем.			16	-	55	71

6. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (час.)
1.	1, 2	Решение уравнение Пуассона методом прогонки.	20
2.	1, 2	Моделирование распространения ленгмюровских волн в одномерной плазме.	24
3	2	Одномерная модель коллективного ускорения протонов и многозарядных ионов.	24
4	3	Изучение состояния идеального газа на численной модели методом молекулярной динамики.	32
5	1, 4	Моделирование плазмы, удерживаемой в магнитных ловушках различных типов. Резонансные и авторезонансные взаимодействия электронов плазмы с СВЧ полями.	32

7. Практические занятия (семинары) не предусмотрены

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины:

Персональные компьютеры (16 станций), локальная сеть, выход в интернет, мультимедиа средства, проектор, интерактивная доска.

Программное обеспечение: Intel Visual Fortran, Matlab . Авторская программа «Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях».

Электронные учебники «Современные методы вычислительного эксперимента в прикладной физике», «Современные численно-аналитические пакеты для сложных инженерно-физических вычислений»

9. Информационное обеспечение дисциплины

- Информационно-справочные и поисковые системы:
телекоммуникационная учебно-информационная система (ТУИС)
Учебный портал РУДН
- Научная электронная библиотека РУДН
- EqWold. Мир математических уравнений. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/software.htm>
- Математическое моделирование в естественных науках.
http://mathmod.aspu.ru/?id=6&sub_id=1
- Вычислительные методы и программирование. <http://num-meth.srcc.msu.su>
- Основы физики плазмы <http://www.physics.ucla.edu/plasma-exp/>
- плазма в интернете <http://plasma-gate.weizmann.ac.il/PlasmaI.html> –

10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

- А.А.Самарский, П.Н.Вабищевич. [Математическое моделирование и вычислительный эксперимент](#), Институт математического моделирования ММ РАН, 2000 (Интернет-публикация).
- Сигов Ю.С. Вычислительный эксперимент: мост между прошлым и будущим физики плазмы. - М: Физматлит, 2001. 286 с.
- Вабищевич П.Н. Численное моделирование, Москва: МГУ. 1993. 152 с.
- Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред –М., Физматлит, 1994, 442 с.

5. Днестровский Ю.Н., Костомаров Д.П. Математическое моделирование плазмы.- М.: Наука, 1993, 335 с.
6. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц. -М: Мир, 1987. 480 с.
7. Бэдсел Ч., Ленгдон А. Физика плазмы и численное моделирование. – М: Энергоатомиздат, 1989. 348 с.
8. Поттер Д. Вычислительные методы в физике.-М.: Наука, 1975.
9. Кролл Н., Трайвелпис А. Основы физики плазмы. - М: Мир, 1975.
10. Geller R. Electron Cyclotron Resonance Ion Sources and ECR Plasmas. IOP Publishing Ltd, 1996. 433 с.
11. Молоковский С.И., Сушков А.Д. Интенсивные электронные и ионные пучки. М.: Энергоатомиздат, 1991.
12. Лоусон Дж. Физика пучков заряженных частиц. – М: Мир, 1980. 428 с.

б) дополнительная литература:

1. Самарский А.А. Введение в численные методы. - М: Наука, 1987
2. Туриков В.А., Ульяницкий И.В., Умнов А.М. Численное моделирование плазменных процессов. -М: Изд. РУДН, 2003. 126 с.
3. Рошаль А.С. Моделирование заряженных пучков. –М: Атомиздат, 1979, 224 с.
4. Ораевский В. Н. Основы физики плазмы. Под ред. Галеева А.А. и Судана Р. М.: Энергоатомиздат, т. 2, 7, 1984.
5. Вычислительные методы в физике плазмы. под редакцией Олдера Б., Фернбаха С. Ротенберга М. -М: Мир, 1974, 111 с.
6. Красовицкий В.Б., Дорофеенко В.Г., Туриков В.А., Сотников В.И. Физика плазмы, 32, 26, 2006.
7. Andreev V. V., Umnov A. M. Plasma Sources Sci. Technol. 1999. V. 8. P. 479 – 487.
8. Литвак А.Г. Вопросы теории плазмы. Под ред. М.А. Леонтовича. М.: Атомиздат, вып. 10, 164, 1980.
9. Милантьев В.П., Туриков В.А. Вопросы атомной науки и техники., №5, 185, 2007.
10. Birdsall C.K. Particle-in-Cell Charged-Particle Simulations, Plus Monte Carlo Collisions With Neutral Atoms, PIC-MCC // IEEE Trans. Plasma Sci. — 1991, v. 19, n. 2, pp. 65 – 85.
11. Dougar-Jabon V.D., Umnov A.M., D.Suescun Diaz // Rev Sci Instrum 73(2), 2002, 629-631.
12. Андреев В.В., Умнов А.М., Балмашнов А.А., Никитин Г.В., Саванович В.Ю. // Известия РАН. Серия Физическая, 2003, Т. 67, №9, с. 1314-1321.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Целью настоящего курса является обеспечение подготовки студентов магистратуры в области вычислительного эксперимента; изучение основ постановки численного эксперимента в современной прикладной физике; изучение принципов организации и проведения вычислительного эксперимента; изучение принципов и методов, лежащих в основе вычислительного эксперимента; ознакомление студентов с основными направлениями в вычислительном эксперименте в физике; изучение основных методов численного моделирования, используемых при постановке вычислительного эксперимента; создание численных моделей для изучения сложных физических явлений и процессов, протекающих в действующих и проектируемых экспериментальных установках, и проведение студентами вычислительных экспериментов; оценка перспектив развития вычислительного эксперимента в прикладной физике.

Курс состоит из лабораторных занятий В программе курса предусмотрено выполнение трудоемких лабораторных работ, связанных с созданием трехмерных численных моделей и выполнением численных экспериментов. Изложение курса базируется на большинстве разделов курсов информатики, высшей математики (высшая алгебра, математический анализ, обыкновенные дифференциальные уравнения, уравнения в частных производных, методы математической физики), курсов общей физики и теоретической физики (электродинамика, статистическая физика), специальных курсов (основы физики плазмы, физика ускорителей заряженных частиц).

Первым этапом лабораторных занятий является обсуждение общей концепции, выполняемой студентами работы и проверкой преподавателем самостоятельной работы каждого студента, результатом которой является допуск (или недопуск) к выполнению работы. На втором этапе студент выполняет лабораторную работу, обрабатывает полученные результаты и составляет отчет согласно методическим требованиям. На третьем этапе обсуждаются отчеты студентов по выполненной теме с каждым студентом индивидуально, так и в составе всей группы.

Освоив курс, студент должен: овладеть методами постановки современного вычислительного эксперимента, научиться разрабатывать и применять численные модели, строить алгоритмы и писать программы (коды) на одном из языков программирования (предпочтительно на Фортране), а также использовать разработанные ранее алгоритмы и библиотеки подпрограмм.

Все отчеты по лабораторным работам выполняются в электронном виде и крепятся к заданиям в соответствующих разделах электронного курса ТУИС РУДН.

12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Шкала оценок

Соответствие систем оценок (согласно Приказу Ректора № 996 от 27.12.2006 г.)

Баллы БРС	Традиционные оценки в РФ	Баллы для перевода оценок	Оценки	Оценки
86-100	5	95-100	5+	A
		86-94	5	B
69-85	4	69-85	4	C
51-68	3	61-68	3+	D
		51-60	3	E
0-50	2	31-50	2+	FX
		0-30	2	F
51-60	Зачет		Зачет	Passed

Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине «Вычислительный эксперимент в физике сложных систем»

Направление/специальность: 03.04.02 Физика

Дисциплина: Вычислительный эксперимент в физике сложных систем

Код контролируемой компетенции или ее части	Контролируемый раздел дисциплины	Контролируемая тема дисциплины	Наименование оценочного средства			Баллы темы	Баллы раздела
			Текущий контроль		Промежуточная аттестация		
			Опрос	Выполнение ЛР			
УК-7, ОПК-3, ОПК-4, ПК-1	Математическое моделирование и вычислительный эксперимент в физике сложных систем	Тема 1: Общая схема вычислительного эксперимента	5			5	5
УК-7, ОПК-3, ОПК-4, ПК-1	Методы моделирования одномерных плазменных систем	Тема 2. Моделирование коллективного ускорения протонов плазменного сгустка.		15		15	30
		Тема 3. Построение одномерной электростатической модели распространения ленгмюровской волны в плазме.		15		15	
УК-7, ОПК-3, ОПК-4, ПК-1	Метод молекулярной динамики.	Тема 4. Изучение состояния газа на численной модели методом молекулярной динамики.		20		20	20
УК-7, ОПК-3, ОПК-4, ПК-1	Моделирование двумерных и трехмерных плазменных систем.	Тема 5. Построение трехмерной модели плазмы в условиях резонансных и авторезонансного взаимодействия с СВЧ полем.		25		25	25

		ИТОГО		80	20	80	80
--	--	-------	--	----	----	----	----

Вопросы для самостоятельной работы

1. Что такое численная модель?
2. Что лежит в основе численной модели?
3. Что является основой численного моделирования?
4. Дайте определение алгоритма.
5. В чем отличие численной модели от программы?
6. Назовите основные этапы вычислительного эксперимента.
7. Что такое многовариантность и в чем ее значение?
8. Что такое метод молекулярной динамики?
9. Как вычисляется внутренняя энергия газа в методе молекулярной динамики?
10. В чем состоят основные положения метода частиц в ячейке?
11. Объясните физический смысл дебаевской длины в плазме.
12. Как метод частиц применяется к моделированию галактик?
13. Что такое завихренность и функция тока?
14. Что такое самосогласованное электростатическое поле?
15. Как перейти к безразмерной форме уравнения движения заряженной частицы?
16. Как вычисляется распределение плотности заряда по методу NGP?
17. Что такое метод «облаков в ячейке»?
18. Как вычисляется электрическое поле в месте нахождения частицы?
19. В чем состоит метод прогонки для решения уравнения Пуассона с непериодическими граничными условиями?
20. Как решается уравнение Пуассона с периодическими граничными условиями?
21. Как производится продвижение частиц на очередном временном шаге по методу «перешагиванием»?
22. Нарисуйте общую блок-схему метода частиц в ячейке для моделирования одномерных электростатических процессов.
23. В каких процессах нужно использовать одномерную электромагнитную модель плазмы?
24. В чем состоит метод Бориса для решения релятивистских уравнений движения заряженных частиц в электромагнитных полях?
25. Какая электромагнитная волна называется правополяризованной?
26. Что такое авторезонансный режим ускорения заряженных частиц?
27. Как распределяется плотность заряда по узлам двухмерной сетки по методу взвешивания по площадям?
28. Почему в схемах двухмерного и трехмерного моделирования следует производить пересчет для частиц реже, чем для полей?
29. Какой порядок точности по пространственным и временным шагам имеют центрированные разностные схемы?
30. Назовите основные этапы PIC-схемы моделирования плазмы в зеркальной ловушке и ловушке с минимумом В.
31. Каковы основные подходы к обезразмериванию физических величин в вычислительном эксперименте?
32. Как распределяется плотность заряда по узлам трехмерной сетки по методу взвешивания по объемам?
33. Чем обусловлен выбор шага сетки и временного шага интегрирования уравнений движения при моделировании резонансных взаимодействий?
34. Каковы основные диагностики при моделировании плазменных процессов?

35. Как рассчитывается электрическое СВЧ-поле при моделировании ЭЦР в зеркальной магнитной ловушке?
36. В чем заключается основное отличие модели адиабатического сжатия плазмы от модели нагрева плазмы?
37. На чем основаны методы коллективного ускорения ионов?
38. Чем обусловлено изменение шага пространственной сетки на различных стадиях создания плотной релятивистской плазмы и коллективного ускорения ионов?
39. Каковы основные диагностики при моделировании плазменных процессов?
40. Как рассчитывается собственное магнитное поле плазмы при моделировании коллективного ускорения ионов?

Тестовые задания

1. Какой вид имеет модельный потенциал Ленарда-Джонса?

$$\Phi(r) = 8\varepsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^8 - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^4 \right]$$

$$\Phi(r) = 4\varepsilon \left[\left(\frac{r}{\sigma} \right)^{12} - \left(\frac{r}{\sigma} \right)^6 \right]$$

$$\Phi(r) = 4\varepsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]$$

$$\Phi(r) = 4\varepsilon \sigma r^{12}$$

2. Как изменится дебаевская длина при увеличении температуры плазмы в 4 раза?

- Увеличится в 4 раза
- Уменьшится в 4 раза
- Уменьшится в 2 раза
- Увеличится в 2 раза

3. При каком условии применимо бесстолкновительное приближение для описания плазмы?

$$\lambda_D^3 n \ll 1$$

$$\lambda_D^3 n \gg 1$$

$$\lambda_D^3 n \cong 1$$

$$\lambda_D^3 n < \pi$$

4. Как изменится плазменная частота при увеличении плотности плазмы в 9 раз?

- Увеличится в 3 раза
- Уменьшится в 9 раз
- Уменьшится в 3 раза
- Увеличится в 9 раз

5. Как выражается завихренность жидкости ξ через проекции скорости v_x, v_y при плоском течении?

$$\xi = \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial v_y}{\partial y}$$

$$\xi = \frac{\partial v_y}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial y}$$

$$\xi = \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y}$$

$$\xi = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y}$$

6. Какой вид имеет уравнение Власова для функции распределения f_α частиц сорта α ?

$$\frac{\partial f_\alpha}{\partial t} + v \frac{\partial f_\alpha}{\partial v} + \frac{e_\alpha}{m_\alpha} \left(\frac{\rho}{E} + \frac{1}{c} [vB] \right) \nabla f_\alpha = 0$$

$$v \frac{\partial f_\alpha}{\partial t} + \frac{e_\alpha}{m_\alpha} \left(\frac{\rho}{E} + \frac{1}{c} [vB] \right) \frac{\partial f_\alpha}{\partial v} = 0$$

$$v \nabla f_\alpha + \frac{e_\alpha}{m_\alpha} \left(\frac{\rho}{E} + \frac{1}{c} [vB] \right) \frac{\partial f_\alpha}{\partial v} = 0$$

$$\frac{\partial f_\alpha}{\partial t} + v \nabla f_\alpha + \frac{e_\alpha}{m_\alpha} \left(\frac{\rho}{E} + \frac{1}{c} [vB] \right) \frac{\partial f_\alpha}{\partial v} = 0$$

7. Отношение массы иона к массе электрона $m_i / m_e = 10000$. Чему равно отношение тепловой скорости ионов к тепловой скорости электронов v_{Ti} / v_{Te} ?

0.001

1000

100

0.01

8. Как изменяется фазовый объем, занимаемый частицами плазмы в отсутствие внешних полей при изменении полной энергии частиц в 4 раза?

Увеличивается в 4 раза

Не изменяется

Уменьшится в 2 раза

Уменьшится в 4 раза

9. Как распределяется заряд частицы по узлам пространственной сетки в методе NGP?

Поровну между четырьмя ближайшими узлами

Весь заряд приписывается ближайшему узлу

Распределяется между четырьмя узлами в зависимости от расстояний до них

Поровну между всеми узлами сетки

10. В одномерном моделировании частица с зарядом q находится между узлами с номерами $j = 10$ и $j = 11$ на расстоянии равном четверти пространственного шага Δ от узла $j = 10$.

Какая часть заряда должна быть приписана узлу $j = 11$ в методе прямоугольных облаков размером Δ ?

$$\frac{3}{4}q$$

$$\frac{1}{4}q$$

$$\frac{3}{8}q$$

$$\frac{1}{8}q$$

11. Как выражается поле $E(x)$ в точке x между узлами x_j и x_{j+1} с шагом Δ через значения полей E_j и E_{j+1} в методе облаков в ячейке?

$$E(x) = \frac{(x_j - x)E_j}{\Delta} + \frac{(x - x_{j+1})E_{j+1}}{\Delta}$$

$$E(x) = \frac{(x_{j+1} - x)E_{j+1}}{\Delta} + \frac{(x - x_j)E_j}{\Delta}$$

$$E(x) = \frac{(x_{j+1} + x)E_j}{\Delta} + \frac{(x + x_j)E_{j+1}}{\Delta}$$

$$E(x) = \frac{(x_{j+1} - x)E_j}{\Delta} + \frac{(x - x_j)E_{j+1}}{\Delta}$$

12. Как производится изменение скорости электрона под действием поля E на очередном временном шаге Δt в методе «с перешагиванием»?

$$v^n = v^{n-1} + \frac{e}{m} 2\Delta t E^n$$

$$v^n = v^{n-2} + \frac{e}{m} 2\Delta t E^n$$

$$v^n = v^{n-2} + \frac{e}{m} 2\Delta t E^{n-1}$$

$$v^n = v^{n-1} + \frac{e}{m} 2\Delta t E^{n-1}$$

13. Как обезразмеривается напряженность электрического поля в одномерном методе частиц в ячейке?

$$E = E_{разм} \frac{4(\Delta t)^2}{\Delta} \frac{e}{m_e}$$

$$E = -E_{разм} \frac{(\Delta t)^2}{\Delta} \frac{e}{m_e}$$

$$E = -E_{разм} \frac{4(\Delta t)^2}{\Delta} \frac{e}{m_e}$$

$$E = -E_{разм} \frac{2(\Delta t)^2}{\Delta} \frac{e}{m_e}$$

14. Какой вид имеет релятивистское движение электрона в электромагнитном поле \vec{E}, \vec{B} в гауссовой системе единиц?

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = -e\{\vec{E} + [\vec{v}\vec{B}]\}$$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = -\frac{e}{c}\{\vec{E} + [\vec{v}\vec{B}]\}$$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = -e\left\{\vec{E} + \frac{1}{c}[\vec{v}\vec{B}]\right\}$$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = -e\{\vec{E} + \vec{B}\}$$

15. Каким соотношением связаны пространственный шаг Δ и временной шаг Δt в случае учета релятивистских эффектов?

$$\Delta = \Delta t$$

$$\Delta = \Delta t / 2$$

$$\Delta = \sqrt{\Delta t}$$

$$\Delta = c\Delta t$$

16. С помощью каких соотношений вводятся вспомогательные скорости u^\pm в схеме Бориса?

$$u^{\pm\frac{1}{2}} = u^\pm \pm \frac{eE^n}{m_e} \frac{\Delta t}{2}$$

$$u^{\pm\frac{1}{2}} = u^\pm \pm \frac{eE^n}{m_e} \frac{\Delta t}{2}$$

$$u^{\pm\frac{1}{2}} = u^\pm \pm \frac{eE^n}{m_e} \Delta t$$

$$u^{\pm\frac{1}{2}} = u^\pm \pm \frac{eE^{n\pm\frac{1}{2}}}{m_e} \frac{\Delta t}{2}$$

17. В каком направлении вращается вектор электрического поля в правополяризованной электромагнитной волне?

В направлении циклотронного вращения ионов

В направлении циклотронного вращения электронов

В направлении волнового вектора

В направлении фазовой скорости

18. Какая поперечная электромагнитная волна называется линейно поляризованной?

У которой скорость направлена параллельно электрическому полю

У которой электрическое поле пропорционально частоте

У которой вектор электрического поля и волновой вектор лежат в фиксированной плоскости

У которой вектор электрического поля лежит в фиксированной плоскости

19. Каким образом проводится тестирование программы?

Тестирование начинается с фрагментов низшего уровня

Тестирование начинается с фрагментов высшего уровня

Проводится тестирование наиболее важных фрагментов программы

20. Условием электронного циклотронного резонанса является

$$\omega_{ce} = eB/(m_0c) = \omega$$

$$\omega_{ce} > eB/(m_0c) = \omega$$

$$\omega_{ce} < eB/(m_0c) = \omega$$

21. При нагреве плазмы в зеркальной ловушке чаще всего используется следующая мода колебаний СВЧ-поля в резонаторе

TE₁₀₁

TE₁₀₀

TE₀₁₀

TE₁₁₁

22. В каких пределах варьируется дебаевский радиус λ_D если плотность плазмы варьируется в пределах в пределах 10^9 – 10^{10} см⁻³, а электронная температура составляла несколько кэВ? от 5 мм до 1.5 см.

от 5 мм до 1.5 см

от 5 см до 10 см

от 0.1 мм до 3 мм

23. Гиромангнитный авторезонанс представляет собой

Ускорение электронов при взаимодействии с лазерным излучением

Электронный циклотронный резонанс в спадающем во времени магнитном поле

Электронный циклотронный резонанс в нарастающем во времени магнитном поле

Ускорение электронов при адиабатическом сжатии плазмы.

24. Каково оптимальное отношение шага интегрирования уравнений движения к периоду СВЧ-поля при моделировании резонансных взаимодействий электронов с СВЧ?

1/10

1

1/50

1/250

25. В каких пределах варьируется дебаевский радиус λ_D если плотность плазмы варьируется в пределах в пределах 10^9 – 10^{10} см⁻³, а электронная температура составляла несколько кэВ? от 5 мм до 1.5 см.

от 5 мм до 1.5 см

от 5 см до 10 см

от 0.1 мм до 3 мм

Перечень вопросов итоговой аттестации по курсу

1. Метод молекулярной динамики.
2. Основные положения метода частиц в ячейке.
3. Применение метода частиц к моделированию галактик.
4. Завихренность и функция тока для несжимаемой жидкости.
5. Метод частиц для моделирования движения несжимаемой жидкости.
6. Функция распределения частиц в фазовом пространстве.
7. Самосогласованное электромагнитное поле и уравнение Власова.
8. Приведение к безразмерной форме уравнений Власова и Пуассона.
9. Распределение плотности заряда по методу NGR.
10. Вычисление электрического поля в месте нахождения частицы.

11. Метод прогонки для решения для решения уравнения Пуассона с неперiodическими граничными условиями.
12. Численное решение уравнения Пуассона с периодическими граничными условиями.
13. Метод быстрого преобразования Фурье.
14. Продвижение частиц на очередном временном шаге по методу «с перешагиванием».
15. Формирование начального распределения частиц на фазовой плоскости при моделировании плазмы методом частиц.
16. Общая блок-схема метода частиц в ячейке для моделирования одномерных электростатических процессов.
17. Метод Бориса для решения релятивистских уравнений движения заряженных частиц в электромагнитных полях.
18. Авторезонансный режим ускорения заряженных частиц.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

Руководитель направления 03.04.02

Директор института физических исследований
и технологий, д.ф.-м.н., профессор



О.Т. Лоза