Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования Московской области
«Международный университет природы, общества и человека «Дубна»
(Университет «Дубна»)
Факультет естественных и инженерных наук

Кафедра Ядерной физики

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

«ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА»

Для направления (специальности)__________________________________

_____________ по направлению 010700 – физика ______________
(код и наименование направления (специальности))

Дубна, 2011

УМК разработан ____к. ф.-м. н. доцентом А. В. Карповым.________________

(ученая степень, ученое звание, фамилия, имя, отчество разработчиков)

____

Протокол заседания кафедры **ядерной физики** № от “____ ” _____________20____ г.

Заведующий кафедрой д. ф-м. н. профессор /_______________/ Оганесян Ю.Ц.

Декан факультета естественных и инженерных наук ___________/ А.С. Деникин /

(подпись) (фамилия, имя, отчество)

“____ ” _______________20____ г.

Проректор по учебной работе к.х.н., доцент С.В. Моржухина

“____ ” _______________20____ г.

Оглавление

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Курс изучается в пятом семестре.

Целью курса «Вычислительная физика» является приобретение студентами практических навыков использования простейших численных методов и графических свойств современных компьютеров при решении несложных физических задач. При изучении данного курса студенты должны уже в полной мере владеть языками программирования (главным образом, C++) и основами численных методов, уметь использовать графические и анимационные возможности современных компьютеров для решения разнообразных прикладных задач и создания простейших Windows приложений (курс «Компьютерная графика и анимация»).

В ходе данного курса студент должен освоить основные методы компьютерного моделирования простейших физических систем с использованием наиболее распространенных численных методов и алгоритмов. Численное моделирование и видео-графический компьютерный анализ позволяют студенту получить также и более глубокое понимание исследуемых динамических процессов.

Международный университет природы, общества и человека «Дубна»

Утверждаю:

проректор..........................С.В.Моржухина

“.........”.........................2011г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН (РАБОЧАЯ ПРОГРАММА)

Учебно-методическая карта дисциплины «**Вычислительная физика**»

Кафедра Ядерной физики.......направление: Физика......курс....3...семестр...5...2011/2012 учебного года, учебный план 2011г.

Номера и даты недель	Виды и содержание учебных занятий									Самостоятельная работа			
	Лекции						Практические занятия (4 часа в неделю)	Лабораторные работы					
	В аудитоии			Самостоятельное изучение									
	Даты лекций	Часы	Содержание	Использ. ТСО**	Содержание и раздел учебника (глава, параграф)	Форма контроля		№	Название	Вид задан.	Содержание	Часы	Форма контроля
1 нед.							Решение задачи о вынужденных колебаниях гармонического осциллятора при наличии трения. Постановка задачи. (4, гл. V, § 21, 22, 25, 26)						
2 нед.							Численное решение уравнения колебаний методом Рунге-Кутта 4 порядка точности.						
3 нед.							Поиск численного решения уравнения колебаний с заданной точностью.						
4 нед.							Поиск временного интервала численного нахождения решения из условия установления гармонических колебаний						
5 нед.							Моделирование идеального газа. Простейшая модель реального газа. Постановка задачи. (4, гл. IV, § 16,17)						
6 нед.							Задание начальных условий. Организация эволюции системы во времени без взаимодействия «молекул» газа.						
7 нед.							Поиск распределения молекул по скоростям. Нахождение среднего давления газа на стенки сосуда.						
8 нед.							Изучение зависимости давления газа от свойств системы (объем емкости, энергия системы и т.д.). Сравнение рассчитанного давления с найденным из уравнения состояния идеального газа.						
9 нед.							Изучение фазовых траекторий частиц газа. Построение диаграмм Пуанкаре. Влияние столкновения частиц на характер фазовых траекторий.						

10 нед.							Использование метода показателей Ляпунова для оценок хаотичности системы.						
11 нед.							Изучение фрактальных структур и множества (кривая Дракона, множества Мандельброта и т.д.).						
12 нед.							Постановка задачи о рассеянии в кулоновском поле. (4, гл. IV, § 18-20)						
13 нед.							Нахождение закона движения. Метод численного интегрирования наивысшей точности (метод Гаусса).						
14 нед.							Нахождение функции угла отклонения.			П	Работа над курсовым проектом	1	К
15 нед.							Поиск дифференциального сечения рассеяния. Сравнение с формулой Резерфорда.			П	Работа над курсовым проектом	1	К
16 нед.							Работа над курсовым проектом			П	Работа над курсовым проектом	1	К
17 нед.							Работа над курсовым проектом			П	Работа над курсовым проектом	1	К
18 нед.					Зачетная неделя		Зачетная неделя				Зачетная неделя		
										А Л	Всего		
										Р, Т П	Всего	4	

УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА (ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ)

№	Название, автор, год издания	Примеча-
1	Д. Каханер, К. Моулер, С. Нэш, Численные методы и программное обеспечение. М. Мир, 2001.	
2	Калиткин Н.Н. Численные методы: - СПб.: БХВ-Петербург, 2011.	
3	Поттер Д. Вычислительные методы в физике / - М.: Мир, 1975.	
4	Л.Д. Ландау, М.И. Лифшиц, Курс теоретической физики, Т.1, Механика, М.: Физматлит, 2007г	
5	В.И. Ращиков Численные методы решения физических задач: Учебное. - СПб.: Лань, 2005	

А – задание к практич. занятиям
Л – задание к лабор. занятиям
Р – расчетное задание
Т – типовой расчет
П – курсовой проект
К – контрольная или проверочная работа

Дата _______ *практич. занятия* _________________ Карпов А.В.

"Утверждаю"
Зав. кафедрой__________________________ Оганесян Ю.Ц.

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московской области «Международный университет природы, общества и человека «Дубна»
(университет «Дубна»)
Факультет естественных и инженерных наук
Кафедра «Ядерная физика»

УТВЕРЖДАЮ
проректор по учебной работе

____________ С.В. Моржухина

«_____»___________20 г.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА»

(наименование дисциплины)

по направлению 010700 – физика

(№, наименование направления, специальности)

Форма обучения: дневная

Уровень подготовки: *бакалавр*

Курс (семестр): 3 (5)

г. Дубна, 2011 г.

Автор программы:
к. ф.-м. н. Карпов А.В.,
доцент кафедры «Ядерная физика» ______________________________

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и учебным планом по направлению подготовки (специальности)

010700 – физика
(код и наименование направления подготовки (специальности))

Программа рассмотрена на заседании кафедры ___“Ядерная физика”___________
(название кафедры)

Протокол заседания № ____ от “____” ____________________20____ г.

Заведующий кафедрой д. ф-м. н. профессор /______________/ Оганесян Ю.Ц.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета естественных и инженерных наук __________/ А.С. Деникин /
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

“____” ______________20____ г.

Рецензент
____

(Фамилия, имя, отчество)
____

(ученая степень, ученое звание)
____

(должность, кафедра или иное подразделение, организация)

Руководитель библиотечной системы / __________________ / Черепанова В.Г.

Содержание

1. Выписка из ГОС ВПО

Выписка из государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования. Специальность 010700 Физика. Квалификация − физик. Регистрационный N 176 ен/сп (утв. Минобразованием РФ 17.03.2000г.).

Индекс	Наименование дисциплин и их основные разделы	Всего часов
ЕН.Ф.04	Информатика	200
	Вычислительная физика (Практикум на ЭВМ). Предмет вычислительной физики. Элементы численных методов: вычисление определенных интегралов, решение трансцендентных уравнений, задачи линейной алгебры, задача Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Компьютерное моделирование в физике: численный эксперимент в задачах механики, электричества и статистической физики (задача преследования, движение в центральном поле, негармонические колебания, фазовые портреты, визуализация полей системы электрических зарядов, кинематическая модель газа и др.).	

2. Аннотация

Место курса в профессиональной подготовке бакалавров

Курс «Вычислительная физика» базируется на курсах «Программирование», «Компьютерная графика и анимация», «Численные методы и математическое моделирование», «Общая физика» и «Теоретическая механика». Он является необходимой вводной частью последующего курса «Компьютерное моделирование физических процессов», в котором студенты должны интенсивно использовать приобретенные навыки численного видео-графического моделирования простейших задач уже при решении достаточно сложных физических проблем различных разделов физики.

Методы обучения (в т.ч. инновационные)

Преподавание дисциплины предусматривает активное использование следующих методов обучения: мультимедийных презентаций с представлением методики составления программ и компьютерных расчетов; в т.ч. инновационных методов: применением образовательных Интернет-ресурсов.

Требования к студентам

В качестве входных знаний студенты должны владеть навыками программирования на языке С++, знать основные алгоритмические конструкции, уметь работать на персональном компьютере (ноутбуке).

Виды контроля и формы работ студентов:

Форма работы студентов в ходе изучения дисциплины предусмотрена в виде семинарских занятий, а также выполнения домашних и индивидуальных заданий. Для текущего контроля предусмотрена проверка домашних заданий.

Зачет по результатам практических работ. Для получения оценки «зачтено» студенту необходимо выполнить и защитить расчетно-графических заданий, входящих в план работы на семестр, Форма итогового контроля – курсовая работа.

Методика формирования результирующей оценки.

Для оценки результатов деятельности студента по изучению дисциплины используется четыре показателя:

своевременность выполнения заданий,
уровень объяснений содержания программ,
отчет о выполнении курсовой работы,
ответы на вопросы при защите курсовой работы.

3. Цель и задачи дисциплины

Цель освоения дисциплины:

- приобретение студентами практических навыков использования простейших численных методов и графических свойств современных компьютеров при решении несложных физических задач.

Задачи освоения дисциплины:

- развить навыки применения численных методов к решению несложных физических задач на компьютере;
- развить у студента навыки визуализации изучаемого физического процесса с использованием графических и анимационных возможностей современных средств разработки;

4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В ходе данного курса студент должен освоить основные методы компьютерного моделирования простейших физических систем с использованием наиболее распространенных численных методов и алгоритмов. Численное моделирование и видео-графический компьютерный анализ позволяют студенту получить также и более глубокое понимание исследуемых динамических процессов.

5. Объём дисциплины и виды учебной работы:

Вид занятий	Всего часов	Семестр 5
Общая трудоемкость	40	40
Аудиторные занятия:		
Лекции		
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Семинары (С)		
Лабораторные работы (ЛР)		
Самостоятельная работа:	4	4
Курсовой проект (работа)	4	4
Расчетно-графические работы		
Реферат		
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	зачет	Курсовая работа

6. Разделы (темы) дисциплины, содержание и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ	ЛР	Сам. работа
	5 семестр				
1	Колебания		8		
2	Молекулярная динамика и Динамический хаос		8		
3	Движение частиц в центральном поле		14		
4	Выполнение курсового проекта		6		4
	Итого		36		4

Содержание разделов дисциплины:

1) Движение частиц в центральном поле

1.1. Двумерные траектории, задача Кеплера
1.2. Рассеяние частиц силовым центром
1.3. Траектории частиц с различными прицельными параметрами,
1.4. Функция угла отклонения, радужное рассеяние, орбитирование
1.5. Дифференциальное сечение упругого рассеяния

2) Колебания

2.1. Одномерные, затухающие и вынужденные колебания
2.2. Ангармоничные колебания
2.3. Колебания в системе с двумя степенями свободы

3) Динамический хаос

3.1. Нелинейные системы, фазовое пространство
3.2. Диаграммы Пуанкаре
3.3. Бифуркации, локальная неустойчивость, показатели Ляпунова
3.4. Связанные нелинейные осцилляторы, диссипация, странные аттракторы

4) Молекулярная динамика

4.1. Система трех частиц с реалистической динамикой
4.2. Ансамбль конечного числа твердых шаров на плоскости и в трехмерном замкнутом пространстве
4.3. Моделирование газовой динамики
4.4. Метод Монте-Карло в статистической физике. Алгоритм Метрополиса
4.5. Транспортные уравнения и разностные схемы

Практические занятия (семинары)

№ п/п	Раздел дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)
1	Колебания	Решение задачи о вынужденных колебаниях гармонического осциллятора при наличии трения. Постановка задачи.
2	Колебания	Численное решение уравнения колебаний методом Рунге-Кутта 4 порядка точности.
3	Колебания	Поиск численного решения уравнения колебаний с заданной точностью.
4	Колебания	Поиск временного интервала численного нахождения решения из условия установления гармонических колебаний.
5	Молекулярная динамика и Динамический хаос	Моделирование идеального газа. Простейшая модель реального газа. Постановка задачи. (4, гл. IV, § 16,17)
6	Молекулярная динамика и Динамический хаос	Задание начальных условий. Организация эволюции системы во времени без взаимодействия «молекул» газа.
7	Молекулярная динамика и Динамический хаос	Поиск распределения молекул по скоростям. Нахождение среднего давления газа на стенки сосуда.
8	Молекулярная динамика и Динамический хаос	Изучение зависимости давления газа от свойств системы (объем емкости, энергия системы и т.д.). Сравнение рассчитанного давления с найденным из уравнения состояния идеального газа.
9	Молекулярная динамика и Динамический хаос	Изучение фазовых траекторий частиц газа. Построение диаграмм Пуанкаре. Влияние столкновения частиц на характер фазовых траекторий.
10	Молекулярная динамика и Динамический хаос	Использование метода показателей Ляпунова для оценок хаотичности системы.
11	Молекулярная динамика и Динамический хаос	Изучение фрактальных структур и множества (кривая Дракона, множества Мандельброта и т.д.).
12	Движение частиц в центральном поле	Постановка задачи о рассеянии в кулоновском поле.

13	Движение частиц в центральном поле	Нахождение закона движения. Метод численного интегрирования наивысшей точности (метод Гаусса).
14	Движение частиц в центральном поле	Нахождение функции угла отклонения.
15	Движение частиц в центральном поле	Поиск дифференциального сечения рассеяния. Сравнение с формулой Резерфорда.
16	Выполнение курсового проекта	Выполнение курсового проекта
17	Выполнение курсового проекта	Выполнение курсового проекта
18	Зачетная неделя	Зачетная неделя

Примерные физические задачи для курсовых работ

1. Движение в центральном поле. Запуск спутника на лунную орбиту
2. Рассеяние частиц притягивающим и отталкивающим кулоновским полем
3. Упругое ядро-ядерное рассеяние (классическое рассмотрение)
4. Вынужденные гармонические и нелинейные колебания
5. Возбуждение осциллятора пролетающей частицей (потери энергии)
6. Связанные линейные и нелинейные осцилляторы
7. Диссипативные силы, флуктуации и уравнение Ланжевена (деление ядер)
8. Идеальный газ в деформируемом объеме
9. Распределение Больцмана и его компьютерная проверка
10. Уравнение теплопроводности (одномерный и двумерный случай)

Во всех задачах требуется визуализировать и анимировать исследуемый процесс, реализовать интерактивные диалоги ввода начальных данных и сохранения полученных результатов, непосредственно в программе построить двумерные и/или трехмерные графики исследуемых величин.

7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература:

1. Д. Каханер, К. Моулер, С. Нэш, Численные методы и программное обеспечение. М. Мир, 2001.
2. Калиткин Н.Н. Численные методы: Учебное пособие для студентов университетов и высших технических учебных заведений / Калиткин Н.Н.; Под ред. А.А.Самарского. - 2-е изд.,испр. - СПб.: БХВ-Петербург, 2011. - 592с.
3. Поттер Д. Вычислительные методы в физике / Поттер Давид; Пер.с англ. Г.В.Переверзева; Под ред. Ю.Н.Днестровского. - М.: Мир, 1975. - 392с.
4. Л.Д. Ландау, М.И. Лифшиц, Курс теоретической физики, Т.1, Механика, М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007 г
5. В.И. Ращиков Численные методы решения физических задач: Учебное пособие - СПб.: Лань, 2005. - 208с.

Дополнительная литература:

1. Архангельский А.Я. Язык C++ в C++ Builder: Справочное и методическое пособие. - М.: Бином-Пресс, 2008. - 944с.
2. Д.В. Сивухин, Общий курс физики, Т. 2, Термодинамика и Молекулярная Физика, М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2005.
3. Ю.Ю. Тарасевич, Математическое и компьютерное моделирование: Вводный курс: Учебное пособие для вузов / Тарасевич Юрий Юрьевич. - 4-е изд.,испр. - М.: Едиториал УРСС, 2004.

4. Б. Страуструп, Язык программирования C++ / Страуструп Бьерн; - СПб.; М.: БИНОМ: Невский Диалект, 2001.
5. Г. Шилдт, Самоучитель C++, БХВ-Петербург, 2003.
6. Г. Шилдт, C++. Руководство для начинающих, Издательский дом "Вильямс", 2005.
7. Лапчик М.П. Численные методы: Учебное пособие для студентов вузов / Лапчик Михаил Павлович, Рагулина Марина Ивановна, Хеннер Евгений Карлович; Под ред. М.П.Лапчика. - 4-е изд.,стер. - М.: Академия, 2008. - 384с.
8. Турчак Л.И. Основы численных методов: Учебное пособие для вузов / Турчак Л.И., Плотников П.В. - 2-е изд.,перераб.и доп. - М.: Физматлит, 2005. - 304с.
9. Бахвалов Н.С. Численные методы: Учебное пособие для вузов / Бахвалов Николай Сергеевич, Жидков Николай Петрович, Кобельков Георгий Михайлович. - 6-е изд. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. - 636с.
10. Самарский А.А. Численные методы: Учебное пособие для вузов / Самарский Александр Андреевич, Гулин Алексей Владимирович. - М.: Наука, 1989. - 432с.

Перечень программного обеспечения

В ходе изучения курса предусмотрено использование среды разработки Borland Builder C++ или Microsoft Visual C++.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

(указываются специализированные лаборатории и классы, основные приборы, установки)

Практические задания выполняются в аудиториях оборудованных персональными компьютерами с доступом в Интернет, а также отдельным компьютером для преподавателя снабженным проектором.

9. Формы контроля

Перечень возможных аудиторных заданий:

Одномерные затухающие вынужденные колебания

Пружинный маятник совершает колебания в вязкой среде с коэффициент трения γ при наличии периодической вынуждающей силы $F_{вынужд} = ma\cos(\Omega t)$ (m – масса маятника, a – амплитуда вынуждающей силы, Ω – частота вынуждающей силы). Положение маятника в момент времени t определяется функцией $x(t)$ – отклонением маятника от положения равновесия. Собственная частота колебаний маятника равна ω. В начальный момент времени маятник находился в точке x_0 и имел скорость v_0.

Задание:

1) Решить численно уравнение движения маятника (задачу Коши):

$$\ddot{x}(t) + 2\gamma\,\dot{x}(t) + \omega^2 x(t) = a\cos(\Omega\, t)$$

$$x(0) = x_0, \qquad \dot{x}(0) = v_0 .$$

При решении уравнения использовать метод Рунге-Кутта 4-го порядка точности. Точность решения (ε) должна быть не ниже 10^{-4}.

Численно найденное решение необходимо сравнить с точным.

2) Продемонстрировать:

а) Гармонические колебания.

б) Затухающие колебания и случай апериодического затухания при нулевой вынуждающей силе.

в) При наличии трения и вынуждающей силы показать, что с течением времени в системе устанавливаются гармонические колебания с частотой вынуждающей силы.

3) Построить зависимость амплитуды установившихся гармонических колебаний от частоты вынуждающей силы $A(\Omega)$. Сравнить численно найденную зависимость с точной.

Указания:

Все параметры исследуемой системы (a, Ω , γ , ω , x_0, v_0), а также точность решения уравнения ε должны задаваться с экрана.

При наличии вынуждающей силы закон движения $x(t)$ необходимо искать до такого $t_{\max}$, при котором уже установятся гармонические колебания (проверять, что амплитуда колебания не меняется более во времени). Результаты оформить в виде графиков $x(t)$ и $A(\Omega)$.

Рассеяние частиц силовым центром

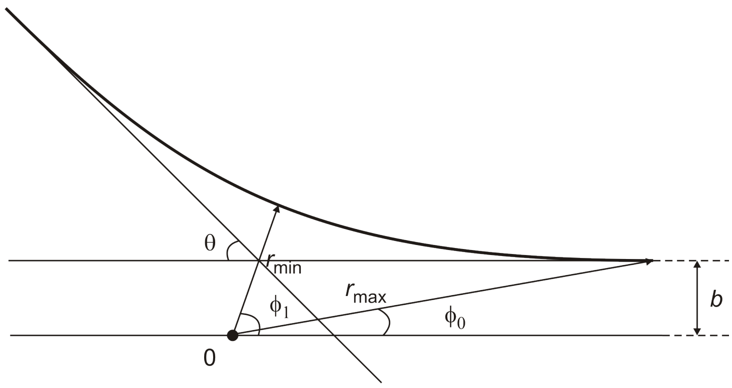
Поток заряженных частиц (заряд каждой равен Z_1) падает на рассеивающий центр, имеющий заряд Z_2 . Кинетическая энергия частиц в системе центра масс равна E .

Задание:

1) Предполагая, что взаимодействие частиц является чисто кулоновским $V(r) = Z_1 Z_2 / r$ (используем систему СГС), построить траектории движения частиц в системе центра инерции (на одном графике сразу несколько траекторий для разных прицельных параметров b).

2) Найти (и построить соответствующий график) зависимость угла рассеяния θ от прицельного параметра b .

3) Сравнить результаты, полученные численно в пунктах (1) и (2), с известными точно (задача Кеплера, рассеяние Резерфорда).



Указания:

1) Все параметры исследуемой системы (E, Z_1, Z_2), а также параметра $r_{\max}$ должны задаваться с экрана.

2) Величина $r_{\min}$ находится как корень уравнения $1 - b^2/r^2 - V(r)/E = 0$.

3) Угол ϕ_0 – так называемый угол кулоновского доворота находится как $\phi_0 = \int\limits_{r_{\max}}^{\infty} \frac{b/r^2 \mathrm{d}r}{\sqrt{1 - b^2/r^2 - V(r)/E}}$. Интеграл может быть вычислен аналитически.

4) Далее интервал от $r_{\min}$ до $r_{\max}$ разбивается на N частей. Приращение угла на каждом из интервалов есть $\Delta\phi_i = \int\limits_{r_{\max} - i\Delta r}^{r_{\max} - (i-1)\Delta r} \frac{b/r^2 \mathrm{d}r}{\sqrt{1 - b^2/r^2 - V(r)/E}}, i = 1,..,N$.

5) Остальная часть траектории строится симметричным отражением участка от $r_{\min}$ до $r_{\max}$ относительно прямой, соединяющей начало координат и точку $r_{\max}$.

6) Интегралы предлагается вычислять методом Гаусса:

$$\int\limits_a^b f(x)\mathrm{d}x = \frac{b-a}{2} \sum_{n=1}^{N} w_n \cdot f\left(\frac{b-a}{2} \cdot x_n + \frac{b+a}{2} \right)$$

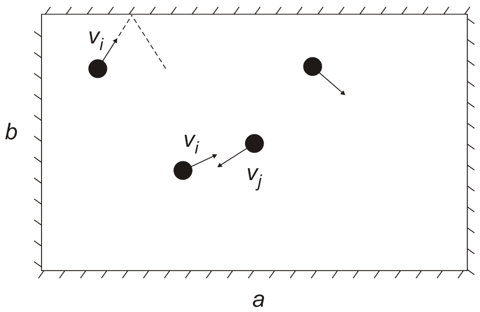
где x_n и w_n – таблично заданные веса и узлы метода Гаусса; N – порядок метода.

Моделирование реального газа (трехмерный бильярд)

Система состоит из N одинаковых частиц массой m и радиуса r, заключенных в трехмерный прямоугольный «ящик» со сторонами a, b и c. Полная энергия системы (сумма кинетических энергий всех частиц) равна E. В процессе движения частицы могут сталкиваться между собой и со стенками ящика. Столкновения считать упругими.

Условия столкновения:

1) Частица сталкивается со стенкой ящика, если расстояние от ее центра до стенки меньше либо равно r, а скорость направлена навстречу стенки.
2) Две частицы сталкиваются между собой, если $|\vec{r}_i - \vec{r}_j| \le 2r$ и они движутся навстречу друг другу. Считать, что скорость относительного движения 2-ух частиц в системе центра масс после столкновения имеет любое направление с равной вероятностью.



Задание:

1) В начальный момент времени расположить частицы в объеме ящика случайным образом. Все частицы, кроме одной, считать покоящимися. Начальная скорость движущейся частицы находится исходя из значения полной энергии системы E.
2) По нажатию кнопки начала движения отображать на форме эволюцию системы, через равные промежутки времени.
3) Отображать изменение во времени распределения частиц по модулю скорости. Убедиться в том, что это распределение асимптотически приближается к максвелловскому. Показать, что полная энергия системы сохраняется.
4) Вывести на форму график изменения давления на стенки ящика от времени.
5) *Показать, что в среднем давление описывается уравнением состояния газа Ван-дер-Ваальса (в данном случае $\left(P+\frac{\alpha \nu^2}{V^2}\right)(V-\nu\beta) = \nu RT = NkT$, ν – количество моль вещества), а k – постоянная Больцмана.
6) Предусмотреть на форме поля для ввода параметров N, m, r, a, b, c, E.

Перечень возможных заданий на курсовые проекты:

Задача Кеплера

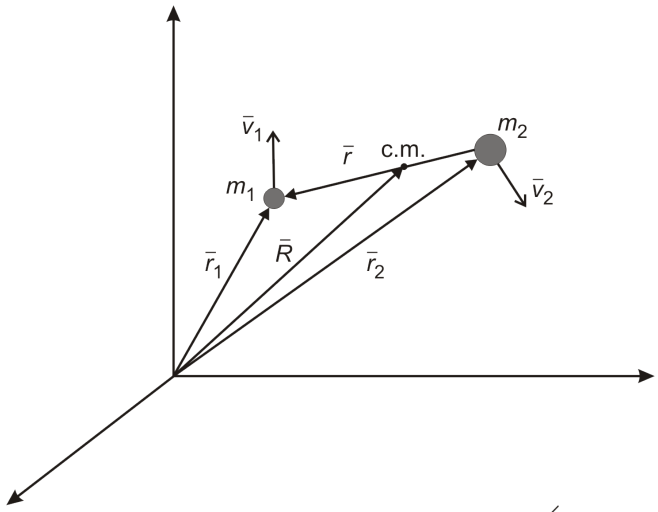
Рассмотреть движение двухтельной системы с гравитационным взаимодействием:

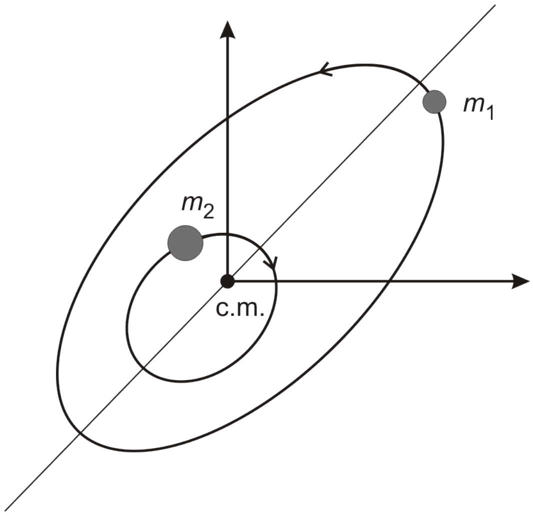
$$V_{12}(r) = -G\frac{m_1 m_2}{r}.$$

1) Гамильтониан системы: $H = T_1 + T_2 + V_{12}(r) = m_1 v_1^2/2 + m_2 v_2^2/2 + V_{12}(r)$

или: $H = T_{cm} + t_{cm} + V_{12}(r) = MV_{cm}^2/2 + \mu v_{12}^2/2 + V_{12}(r)$,

где V_{cm} – скорость центра масс всей системы; v_{12} – скорость относительного движения 1ой и 2ой частиц; $M = m_1 + m_2$ – полная масса системы; $\mu = m_1 m_2/M$ – приведенная масса.





2) Считать известными положения и скорости тел в начальный момент времени ($t = 0$).
3) Уравнения движения (уравнения Гамильтона) записать в системе центра масс (т.е. избавиться от движения системы как целого: $V_{cm} = 0$).
4) Использовать декартову или полярную систему координат (по указанию преподавателя) для решения уравнений движения.
5) На форме приложения предусмотреть поля для ввода начальных условий (скорости, координаты и массы тел). Рисовать траектории тел.
6) Продемонстрировать справедливость законов Кеплера.
7) Рассмотреть два случая: $E_{tot} < 0$ и $E_{tot} > 0$.

Литература:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Курс теоретической физики, Т.1. Механика.

Неидеальный газ в деформируемом объеме

Система состоит из N одинаковых частиц массой m и радиуса r, заключенных в деформируемую оболочку, имеющую постоянный объем V. Полная начальная энергия системы частиц (сумма кинетических энергий всех частиц) равна E_0. В процессе движения частицы могут сталкиваться между собой и со стенками оболочки. Столкновения считать упругими.

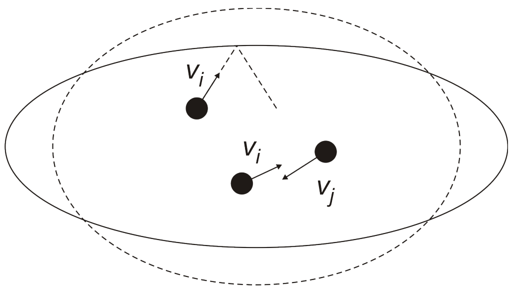
Условия столкновения:

1) Частица сталкивается со стенкой, если расстояние от ее центра до стенки меньше либо равно r, а скорость направлена навстречу стенки.
2) Все частицы сталкиваются между собой, если $|\vec{r}_i - \vec{r}_j| \le 2 \cdot r$ и они движутся навстречу друг другу. Считать, что скорость относительного движения 2-ух частиц в системе центра масс после столкновения имеет любое направление с равной вероятностью.

Оболочка имеет форму (по указанию преподавателя):

1) Параллелепипеда со стороной a вдоль оси *OZ* и квадратным сечение со стороной b в перпендикулярном направлении.
2) Эллипсоида вращения, полуось которого вдоль оси *OZ* равна a, а сечение в перпендикулярном направлении – окружность радиуса b.
3) Цилиндра, высота которого направлена вдоль оси *OZ* и равна a, а сечение в перпендикулярном направлении – окружность радиуса b.

Величина a совершает гармонические колебания по закону $a = a_0 + A\sin(\omega t)$, где $A < a_0$ – амплитуда колебаний. Параметр b находится из условия постоянства объема оболочки (например, для параллелепипеда: $b = \sqrt{V/a}$, где $V = a_0^3$).



Задание:

1) В начальный момент времени расположить частицы в объеме случайным образом. Все частицы, кроме одной, считать покоящимися. Начальная скорость движущейся частица находится изходя из значения начальной полной энергии системы E_0.
2) По нажатию кнопки на форме отображать эволюцию системы, через равные промежутки времени.
3) Отображать изменение во времени распределения частиц по модулю скорости и энергии.
4) Построить график изменения полной энергии системы от времени $E(t)$.
5) Исследовать поведение зависимости $E(t)$ от параметров системы (числа частиц, частоты колебаний, наличия/отсутствия столкновения между частицами).

Предусмотреть на форме поля для ввода параметров $N, m, r, a_0, A, \omega, E$.

Параллельный электрический колебательный контур

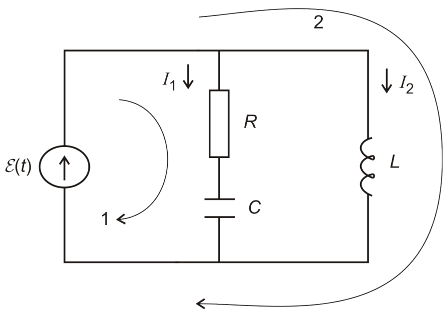
Используя правила Кирхгофа для двух контуров, записываем систему дифференциальных уравнений, описывающих токи и напряженности в разных ветвях цепи:

1-ый контур: $$\mathcal{E}(t) = I_1(t)R + U_C(t), \qquad I_1(t) = C\frac{\mathrm{d}U_C(t)}{\mathrm{d}t},$$

2-ой контур: $$\mathcal{E}(t) = L\frac{\mathrm{d}I_2(t)}{\mathrm{d}t},$$

$I_1 + I_2 = I_0$,

где $\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_0 \sin(\omega t)$, $\mathcal{E}_0$ и ω – заданные константы. Получаем систему дифференциальных уравнений:



$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}U_C}{\mathrm{d}t} = \dfrac{1}{RC}(\mathcal{E}(t) - U_C(t)), \\ \dfrac{\mathrm{d}I_2}{\mathrm{d}t} = \dfrac{1}{L}\mathcal{E}(t) \end{cases} \qquad (1)$$

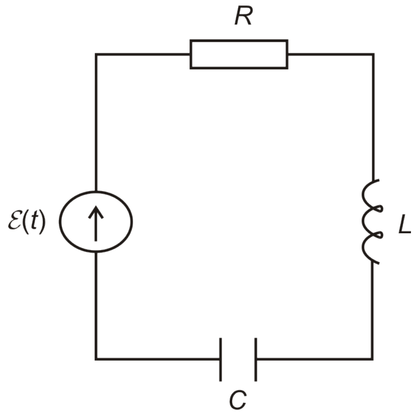
1) Решить численно систему дифференциальных уравнений (1) с начальными условиями: $U_C(t=0) = U_{C0}$, $I_2(t=0) = I_{20}$.
2) На форме отобразить графики изменения $\mathcal{E}(t)$, $U_C(t)$ и $I_2(t)$.
3) Построить зависимость от ω амплитуд $U_{C\max}(\omega)$ и $I_{2\max}(\omega)$. Определить резонансную частоту контура.
4) Построить фазо-частотную характеристику $\Delta\varphi_{U_C}(\omega)$ и $\Delta\varphi_{I_2}(\omega)$.
5) Предусмотреть на форме поля для ввода параметров $C, R, L, \omega, \Delta\omega, U_{C0}, I_{20}$, где $\Delta\omega$ – интервал изменения частоты в п. 3.

Последовательный электрический колебательный контур

Второе правило Кирхгофа:

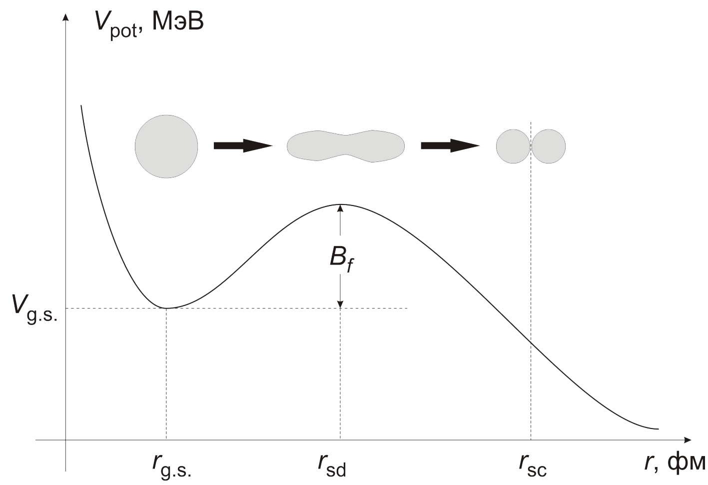
$$\mathcal{E}(t) = I(t)R + L\frac{\mathrm{d}I(t)}{\mathrm{d}t} + U_C(t),.$$

где $\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_0 \sin(\omega t)$, $\mathcal{E}_0$ и ω – заданные константы.



1) Помня, что $I(t) = \mathrm{d}q(t)/\mathrm{d}t$, записать дифференциальное уравнение для $U_C(t) = q(t)/C$. Получить аналитическое решение.
2) Решить численно полученное дифференциальное уравнение с начальными условиями: $U_C(t = 0) = U_{C0}$, $U'_C(t = 0) = U'_{C0} = I(t = 0)/C$.
3) На форме отобразить графики изменения $\mathcal{E}(t)$, $U_C(t)$ и $I(t)$.
4) Построить зависимость от ω амплитуд $U_{C\max}(\omega)$ и $I_{\max}(\omega)$. Сравнить точное значение резонансной частоты с полученной численно.
5) Предусмотреть на форме поля для ввода параметров $C, R, L, \omega, \Delta\omega, U_{C0}, I_0$, где $\Delta\omega$ – интервал изменения частоты в п. 4.
6) Построить фазо-частотную характеристику $\Delta\varphi_{U_C}(\omega)$ и $\Delta\varphi_I(\omega)$.

Диссипативные силы, флуктуации и уравнения Ланжевена (деление ядер)



При изучении процесса деления ядер часто применяется классический подход, основанный на использовании уравнений Ланжевена. Метод основан на проведении аналогии между блужданием броуновской частицы в среде и изменением формы ядра от сферической формы моноядра до конфигурации из двух осколков. Все степени свободы ядра делятся на два типа: «медленные» коллективные, определяющие форму ядра, и «быстрые» внутренние, образующие вязкую «среду», характеризующуюся температурой T. Взаимодействие между коллективными и внутренними степенями свободы определяется, с одной стороны, диссипацией энергии коллективного движения во внутренюю из-за вязкости среды. С другой строны, на «броуновскую» частицу действует случайная сила.

Деление ядра может моделироваться как случайное броуновское движение «частицы» в вязкой среде с температурой T. Уравнения движения частицы в случае одной степени свободы имеют вид:

$$\begin{cases} \dot{q} = p/m; \\ \dot{p} = -\mathrm{d}V/\mathrm{d}q - \gamma\, p/m + F_{\mathrm{random}}, \end{cases}$$

где q – коллективная координата, определяющая форму делящегося ядра, p – импульс, сопряженный с координатой q, $V(q)$ – потенциальная энергия, m – массовый параметр,

γ – коэффициент трения, $F_{\text{random}} = \theta \cdot \xi$ - случайная сила, θ – амплитуда случайной силы, ξ – нормальнораспределенная случайная величина с дисперсией 2. Амплитуда случайной силы может быть найдена из связи с коэффициентом диффузии

$$D = \theta^2$$

и соотношения Эйнштейна

$$D = \gamma T .$$

Температура ядра находится как

$$T = \sqrt{\frac{E_{\text{int}}}{a}}, \quad a = \frac{A}{10},$$

A – массовое число ядра. Внутренняя энергия возбуждения E_{int} находится из закона сохранения энергии:

$$E_{\text{tot}} = V(q) + E_{\text{int}} + p^2/(2m).$$

Здесь E_{tot} – полная энергия системы.

Задание

Решить систему уравнений Ланжевена, используя следующую разностную схему:

$$\begin{cases} p^{(n+1)} = p^{(n)} - \left[(\mathrm{d}V/\mathrm{d}q)^{(n)} + \gamma^{(n)} p^{(n)}/m^{(n)}\right]\tau + \theta^{(n)}\xi^{(n)}\sqrt{\tau}; \\ q^{(n+1)} = q^{(n)} + \dfrac{1}{2m^{(n)}}\left(p^{(n+1)} + p^{(n)}\right)\tau , \end{cases}$$

где n – номер шага по времени, τ – шаг по времени. Потенциальную энергию деформации ядра выбрать в виде двух гладко сшитых парабол:

$$V(r) = \begin{cases} V_{g.s.} + \dfrac{C_{g.s.}(r - r_{g.s.})^2}{2}, & r < r_1; \\ V_{g.s.} + B_f - \dfrac{C_{sd}(r - r_{sd})^2}{2}, & r \geq r_1, \end{cases}$$

где r_1 – точка сшивки парабол, определяемая из непрерывности самой функции и ее производной, B_f – барьер деления, $r_{g.s.}$ – положение основного состояния (минимума потенциальной энергии), r_{sd} – положение барьера деления, $V_{g.s.}$ – константа, значение которой можно положить равным 0.

В начальный момент времени считать, что система находится при $r = r_{g.s.}$ и покоится. Моделирование движения системы прекращаются при достижении ей критической деформации $r = r_{sc}$.

а) Отобразить на форме закон движения (график $r(t)$). Должна быть возможность отключения рисования данного графика.

б) Найти среднее время процесса деления и распределение событий деления по временам. Для этого необходимо промоделировать большое число траекторий (порядка 10^6) и провести указанные вычисления для получившегося статистического ансамбля.

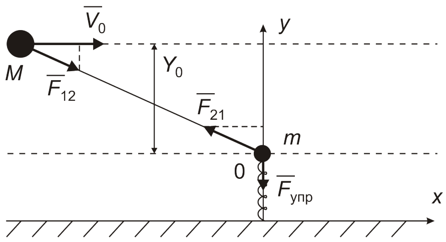
в) Найти скорость деления, используя соотношение:

$$R_f(t) = \frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} \cdot \frac{1}{N_{tot} - N(t)} \approx \frac{\Delta N}{\Delta t} \cdot \frac{1}{N_{tot} - N(t)},$$

где ΔN – число событий деления за промежуток времени от t до $t + \Delta t$, N_{tot} – полоное число событий деления, $N(t)$ – чило событий деления к моменту времени t.

Отклик механической системы на внешнее воздействие

Рассмотреть динамику системы, состоящей из тела массой m на прежине жесткостью k, которое может перемещаться только вдоль оси *OY*. По оси *OX* из бесконечности на расстоянии Y_0 от положения равновесия первого тела налетает тело массой M с начальной скоростью V_0. Это тело может двигаться только вдоль оси *OX*. На тело m со стороны тела M действует сила $\vec{F}_{12} = \frac{\alpha}{r^{n+1}}\vec{r}$, где $\alpha = const$ и n – целочисленная константа, r – расстояние между телами. На тело M со стороны тела m действует по 3-му закону Ньютона сила $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$. Движение тела массой m определяется проекцией силы $\vec{F}_{12}$ на ось *OY*, тела M – проекцией силы $\vec{F}_{21}$ на ось *OX*.



Задание:

1) Записать уравнения движения для 1-го и 2-го тел.
2) Предполагая, что взаимодействие между телами действует на расстоянии меньшем $R_{\max}$, рассчитать динамику системы (численно решить полученные дифференциальные уравнения).
3) На форме отобразить:
   а) движение системы (анимация).
   б) график функции отклика: $E_m(V_0)$, где E_m – энергия колебаний тела m после окончания взаимодействия (при удалении тела M от тела m на расстояние большее $R_{\max}$).
4) Предусмотреть на форме поля для ввода параметров $m, M, k, \alpha, n, V_0, Y_0, R_{\max}$.

Упругое ядро-ядерное рассеяние (классическое рассмотрение)

Поток заряженных частиц (заряд каждой равен $e \cdot Z_1$, масса – $m_0 \cdot A_1$) падает на рассеивающий центр, имеющий заряд $e \cdot Z_2$ и массу $m_0 \cdot A_2$ (m_0 – масса нуклона). Кинетическая энергия частиц в системе центра масс равна E. Взаимодействие частиц $V(r) = V_C(r) + V_N(r)$ есть сумма кулоновского $V_C(r) = e^2 Z_1 Z_2 / r$ и ядерного членов. Ядерное взаимодействие задается в виде

$$V_N(\xi) = 4\pi\gamma \tilde{b} P_{\mathrm{sph}}^{-1} \cdot \Phi(\xi/\tilde{b}).$$

Здесь $\Phi(\xi/b)$ – универсальный безразмерный форм-фактор, $\tilde{b}$ – параметр толщины поверхностного слоя (≈ 1 фм), $\gamma = \gamma_0(1 - 1.7826 \cdot I^2)$, $\gamma_0 \approx 0.95$ МэВ фм$^{-2}$ - коэффициент поверхностного натяжения, $I = (N - Z)/A$, $\xi = r - R_1 - R_2$, а $P_{\mathrm{sph}} = 1/\bar{R}_1 + 1/\bar{R}_2$ и $\bar{R}_i = R_i[1 - (\tilde{b}/R_i)^2]$, $R_i = r_0 \cdot A_i^{1/3}$ – радиусы ядер ($r_0 = 1.16$ фм). Функция Φ имеет вид:

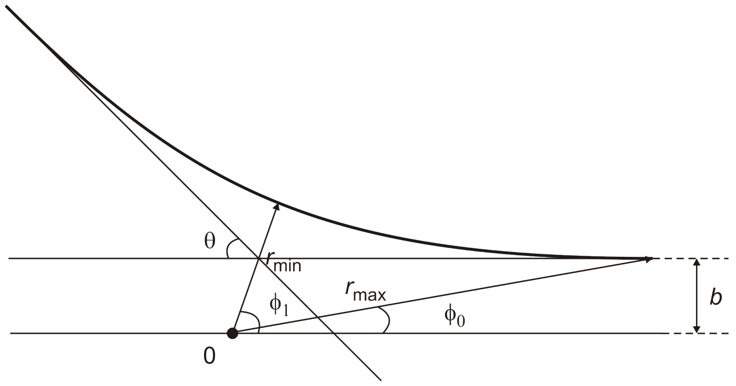
$$\Phi(y) = \begin{cases} -1.7817 + 0.9270 \cdot y + 0.143 \cdot y^2 - 0.09 \cdot y^3, \text{при } y \le 0; \\ -1.7817 + 0.9270 \cdot y + 0.01696 \cdot y^2 - 0.05148 \cdot y^3, \text{при } 1.9475 \ge y > 0; \\ -4.41 \cdot \exp\left(-y/0.7176\right), \text{при } y > 1.9475. \end{cases}$$

Задание:

1) Построить траектории движения частиц в системе центра инерции (на одном графике сразу несколько траекторий для разных прицельных параметров b).

2) Найти (и построить соответствующий график) зависимость угла рассеяния θ от прицельного параметра b .

3) Нарисовать график зависимости дифференциального сечения упругого рассеяния $d\sigma / d\theta$ от угла θ .



Указания:

1) Для удобства расчетов следует выбрать единицы измерения физических величин, при которых масса нуклона $m_0 = 1$, расстояния измеряются в фм, а энергия – в МэВ. Заряд электрона в квадрате равен $e^2 = 1.4399764 \text{МэВ} \cdot \text{фм}$.

Моделирование реального газа

Система состоит из N одинаковых взаимодействующих атомов азота массой m, заключенных в трехмерную оболочку, имеющую форму куба со стороной a . Полная кинетическая энергия системы (сумма кинетических энергий всех частиц) равна E_K .

Потенциал парного взаимодействия частиц имеет вид:

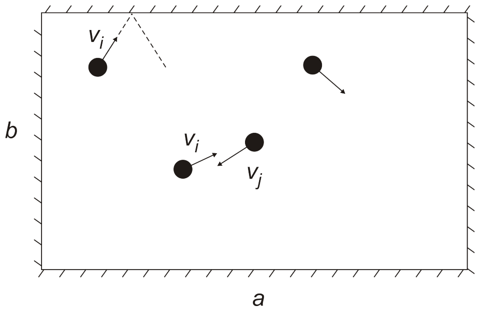
$$V_{12}(r) = \frac{a_1}{r^{12}} - \frac{a_2}{r^6}, \tag{1}$$

где a_1 и a_2 – константы.

В процессе движения частицы также могут сталкиваться со стенками ящика. Столкновения считать упругими. Частица сталкивается со стенкой, если, скорость направлена навстречу стенки, а расстояние от ее центра до стенки меньше либо равно R , где R определяется из условия $V_{12}\left(2R\right) = 0$.

Единицы измерения:

Моделирование удобно проводить, используя следующие единицы измерения физических величин: длина – ангстрем, масса – 10^{-23} г (масса атома аргона $6.64 \cdot 10^{-23}$ г); энергия/$k_Б$ = 100 К, где $k_Б$ – постоянная Больцмана.



Задание:

1) В начальный момент времени расположить частицы в объеме случайным образом. Все частицы, кроме одной, считать покоящимися. Начальная скорость движущейся частицы находится исходя из значения полной кинетической энергии системы E_K .
2) По нажатию кнопки на форме отображать эволюцию системы, через равные промежутки времени. Показать, что полная энергия системы (сумма кинетической и потенциальной энергий) сохраняется.
3) Вывести на форму график изменения давления на стенки параллелепипеда от времени. Посчитать среднее по времени давление газа и найти постоянные уравнения состояния газа Ван-дер-Ваальса $\left(P + \frac{\alpha \nu^2}{V^2}\right)(V - \nu\beta) = \nu RT = NkT$.
4) Исходя их уравнения состояния газа Ван-дер-Ваальса, посчитать критическую температуру T_k , объем V_k и давление P_k (вывести значения на форму). Построить три изотермы $P(V, T = const)$: ниже, выше и при критической температуре. Наложить на полученные кривые изотермы газа Ван-дер-Ваальса при тех же значениях температур.
5) Предусмотреть на форме поля для ввода параметров N, m, a_1, a_2, a, E .

Литература:

[1] Л.Д. Ландау, М.И. Лифшиц, Курс теоретической физики, Т.1, Механика, М.: Наука, 1988
[2] Х. Гулд, Я. Тобочник, Компьютерное моделирование в физике, Т. 1, М.: Мир, 1990
[3] Д.В. Сивухин, Общий курс физики, Т. 2, Термодинамика и Молекулярная Физика, М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2005
[4] Б. Страуструп, Язык программирования C++

Определение динамических характеристик газа аргон

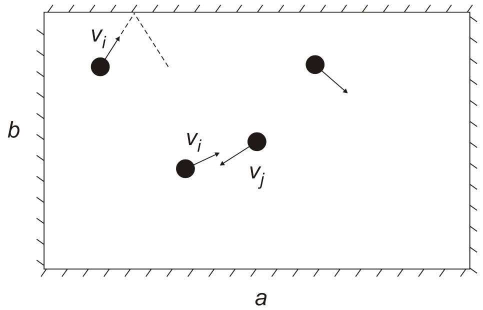
Система состоит из N одинаковых атомов газа аргон массой m и радиуса r, заключенных в трехмерный кубический «ящик» со стороной a. Полная энергия системы (сумма кинетических энергий всех частиц) равна E. В процессе движения частицы могут сталкиваться между собой и со стенками ящика. Столкновения считать упругими.

Условия столкновения:

1) Частица сталкивается со стенкой ящика, если расстояние от ее центра до стенки меньше либо равно r, а скорость направлена навстречу стенки.
2) Две частицы сталкиваются между собой, если $|\vec{r}_i - \vec{r}_j| \le 2r$ и они движутся навстречу друг другу. Считать, что скорость относительного движения 2-ух частиц в системе центра масс после столкновения имеет любое направление с равной вероятностью.

Единицы измерения:

Моделирование удобно проводить, используя следующие единицы измерения физических величин: длина – ангстрем, масса – 10^{-23} г (масса атома аргона $6.64 \cdot 10^{-23}$ г); энергия/$k_Б$ = 100 К, где $k_Б$ – постоянная Больцмана.



Задание:

1) Предусмотреть на форме поля для ввода параметров N, m, r, a, E.
2) Предусмотреть возможность автоматического подбора параметров модели (полной энергии и размеров емкости), соответствующих нормальным условиям.
3) В начальный момент времени расположить частицы в объеме ящика случайным образом. Все частицы, кроме одной, считать покоящимися. Начальная скорость движущейся частицы находится исходя из значения полной энергии системы E.
4) По нажатию кнопки начала движения отображать на форме эволюцию системы, через равные промежутки времени. Показать, что полная энергия системы сохраняется.
5) Найти в литературе эффективный радиус атомов газа аргон.
6) Используя соотношение Эйнштейна для квадрата смещения $\langle r \rangle^2 = 6Dt$, где $\langle r \rangle^2$ – смещение атома относительно начального положения, а t – время моделирования, рассчитать коэффициент самодиффузии аргона при нормальных условиях и сравнить его с экспериментальным значением для аргона $D = 0.156$ см²/с. Построить зависимость $\langle r \rangle^2 (t)$. Использовать циклические условия на границах емкости для величины смещения атомов газа.
7) Определить длину свободного пробега атомов газа и сравнить найденное значение с табличным значением при нормальных условиях.
8) Сделать выводы о реалистичности использованной модели газа.

Литература:

[1] Л.Д. Ландау, М.И. Лифшиц, Курс теоретической физики, Т.1, Механика, М.: Наука, 1988
[2] Х. Гулд, Я. Тобочник, Компьютерное моделирование в физике, Т. 1, М.: Мир, 1990
[3] Д.В. Сивухин, Общий курс физики, Т. 2, Термодинамика и Молекулярная Физика, М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2005
[4] Б. Страуструп, Язык программирования C++

Изучение процесса установления термодинамического равновесия в газе

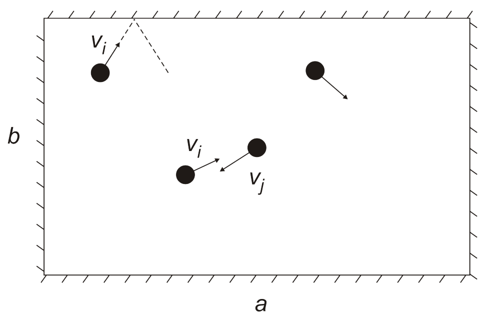
Система состоит из N одинаковых атомов газа аргон массой m и радиуса r, заключенных в трехмерный кубический «ящик» со стороной a. Полная энергия системы (сумма кинетических энергий всех частиц) равна E. В процессе движения частицы могут сталкиваться между собой и со стенками ящика. Столкновения считать упругими.

Условия столкновения:

1) Частица сталкивается со стенкой ящика, если расстояние от ее центра до стенки меньше либо равно r, а скорость направлена навстречу стенки.
2) Две частицы сталкиваются между собой, если $|\vec{r}_i - \vec{r}_j| \le 2 \cdot r$ и они движутся навстречу друг другу. Считать, что скорость относительного движения 2-ух частиц в системе центра масс после столкновения имеет любое направление с равной вероятностью.

Единицы измерения:

Моделирование удобно проводить, используя следующие единицы измерения физических величин: длина – ангстрем, масса – 10^{-23} г (масса атома аргона $6.64 \cdot 10^{-23}$ г); энергия/$k_Б$ = 100 К, где $k_Б$ – постоянная Больцмана.



Задание:

1) Предусмотреть на форме поля для ввода параметров N, m, r, a, E.
2) Предусмотреть возможность автоматического подбора параметров модели (полной энергии и размеров емкости), соответствующих нормальным условиям.
3) В начальный момент времени расположить частицы в объеме ящика случайным образом. Все частицы, кроме одной, считать покоящимися. Начальная скорость движущейся частицы находится исходя из значения полной энергии системы E.
4) По нажатию кнопки начала движения отображать на форме эволюцию системы, через равные промежутки времени. Показать, что полная энергия системы сохраняется.
5) Отображать изменение во времени распределения частиц по модулю скорости. Убедиться в том, что это распределение асимптотически приближается к максвелловскому.
6) Изучить процесс релаксации распределения к термодинамически равновесному. Для этого построить величину среднеквадратичного отклонения получаемого в расчетах распределения от равновесного. Определить время релаксации. Построить распределение при нескольких значениях времени моделирования, иллюстрирующие процесс установления термодинамического равновесия в системе.

Литература:

[1] Л.Д. Ландау, М.И. Лифшиц, Курс теоретической физики, Т.1, Механика, М.: Наука, 1988
[2] Х. Гулд, Я. Тобочник, Компьютерное моделирование в физике, Т. 1, М.: Мир, 1990
[3] Д.В. Сивухин, Общий курс физики, Т. 2, Термодинамика и Молекулярная Физика, М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2005
[4] Б. Страуструп, Язык программирования С++

Изучение равновесного распределения молекул реального газа по скоростям

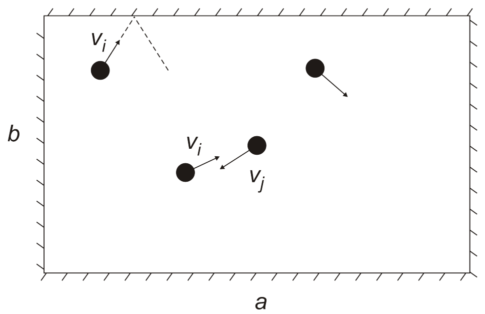
Система состоит из N одинаковых атомов газа аргон массой m и радиуса r, заключенных в трехмерный кубический «ящик» со стороной a. Полная энергия системы (сумма кинетических энергий всех частиц) равна E. В процессе движения частицы могут сталкиваться между собой и со стенками ящика. Столкновения считать упругими.

Условия столкновения:

1) Частица сталкивается со стенкой ящика, если расстояние от ее центра до стенки меньше либо равно r, а скорость направлена навстречу стенки.
2) Две частицы сталкиваются между собой, если $|\vec{r}_i - \vec{r}_j| \le 2 \cdot r$ и они движутся навстречу друг другу. Считать, что скорость относительного движения 2-ух частиц в системе центра масс после столкновения имеет любое направление с равной вероятностью.

Единицы измерения:

Моделирование удобно проводить, используя следующие единицы измерения физических величин: длина – ангстрем, масса – 10^{-23} г (масса атома аргона $6.64 \cdot 10^{-23}$ г); энергия/$k_Б$ = 100 К, где $k_Б$ – постоянная Больцмана.



Задание:

1) Предусмотреть на форме поля для ввода параметров N, m, r, a, E.
2) Предусмотреть возможность автоматического подбора параметров модели (полной энергии и размеров емкости), соответствующих нормальным условиям.
3) В начальный момент времени расположить частицы в объеме ящика случайным образом. Все частицы, кроме одной, считать покоящимися. Начальная скорость движущейся частицы находится исходя из значения полной энергии системы E.
4) По нажатию кнопки начала движения отображать на форме эволюцию системы, через равные промежутки времени. Показать, что полная энергия системы сохраняется.
5) Отображать изменение во времени распределения частиц по модулю скорости и проекции скорости на ось X. Убедиться в том, что эти распределения асимптотически приближаются к соответствующим максвелловским распределениям.
6) Изучить зависимость равновесного распределения от температуры газа. Сравнить с теорией.
7) Определить среднюю и наиболее вероятную скорости. Сравнить с известными значениями.

Литература:

[1] Л.Д. Ландау, М.И. Лифшиц, Курс теоретической физики, Т.1, Механика, М.: Наука, 1988

[2] Х. Гулд, Я. Тобочник, Компьютерное моделирование в физике, Т. 1, М.: Мир, 1990

[3] Д.В. Сивухин, Общий курс физики, Т. 2, Термодинамика и Молекулярная Физика, М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2005

[4] Б. Страуструп, Язык программирования С++

Определение параметров уравнения состояния реального газа

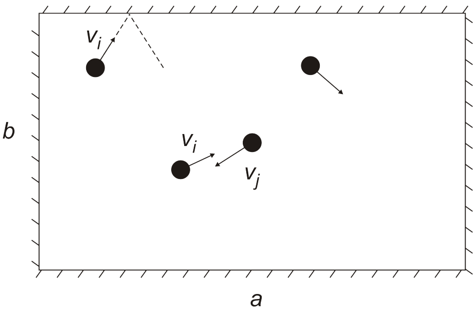
Система состоит из N одинаковых атомов газа аргон массой m и радиуса r, заключенных в трехмерный кубический «ящик» со стороной a. Полная энергия системы (сумма кинетических энергий всех частиц) равна E. В процессе движения частицы могут сталкиваться между собой и со стенками ящика. Столкновения считать упругими.

Условия столкновения:

1) Частица сталкивается со стенкой ящика, если расстояние от ее центра до стенки меньше либо равно r, а скорость направлена навстречу стенки.
2) Две частицы сталкиваются между собой, если $|\vec{r}_i - \vec{r}_j| \le 2 \cdot r$ и они движутся навстречу друг другу. Считать, что скорость относительного движения 2-ух частиц в системе центра масс после столкновения имеет любое направление с равной вероятностью.

Единицы измерения:

Моделирование удобно проводить, используя следующие единицы измерения физических величин: длина – ангстрем, масса – 10^{-23} г (масса атома аргона $6.64 \cdot 10^{-23}$ г); энергия/$k_Б$ = 100 К, где $k_Б$ – постоянная Больцмана.



Задание:

1) Предусмотреть на форме поля для ввода параметров N, m, r, a, E.
2) Предусмотреть возможность автоматического подбора параметров модели (полной энергии и размеров емкости), соответствующих нормальным условиям.
3) В начальный момент времени расположить частицы в объеме ящика случайным образом. Все частицы, кроме одной, считать покоящимися. Начальная скорость движущейся частицы находится исходя из значения полной энергии системы E.
4) По нажатию кнопки начала движения отображать на форме эволюцию системы, через равные промежутки времени. Показать, что полная энергия системы сохраняется.
5) Определить давление газа на стенки сосуда. Вывести на форму график изменения давления на стенки ящика от времени и сравнить его с давлением, получаемым из уравнения состояния Менделеева-Клапейрона.
6) Используя уравнение состояния газа Ван-дер-Ваальса $\left(P + \frac{\alpha \nu^2}{V^2}\right)(V - \nu\beta) = \nu RT = Nk_A T$,

   где ν – количество моль вещества, и, зная экспериментальное значение коэффициента β=32.191 см^3/моль для аргона:

   а) определить эффективный радиус атома.

   б) строя зависимость давления газа от температуры, в области, близкой к нормальным условиям, найти значение коэффициента α и сравнить его с экспериментальным значением 0.1361 Н·м^4/моль^2.
7) Сделать выводы о реалистичности использованной модели газа.

Литература:

[1] Л.Д. Ландау, М.И. Лифшиц, Курс теоретической физики, Т.1, Механика, М.: Наука, 1988
[2] Х. Гулд, Я. Тобочник, Компьютерное моделирование в физике, Т. 1, М.: Мир, 1990
[3] Д.В. Сивухин, Общий курс физики, Т. 2, Термодинамика и Молекулярная Физика, М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2005
[4] Б. Страуструп, Язык программирования С++

10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Методические рекомендации преподавателю

В ходе данного курса студент должен освоить основные методы компьютерного моделирования простейших физических систем с использованием наиболее распространенных численных методов и алгоритмов. При изучении данного курса студенты должны уже в полной мере владеть языками программирования (главным образом, С++) и основами численных методов, уметь использовать графические и анимационные возможности современных компьютеров для решения разнообразных прикладных задач и создания простейших Windows приложений (курс «Компьютерная графика и анимация»).

Методические указания студентам

При самостоятельной работе допускается использование любой литературы и Интернет-ресурсов: материалов сайтов рекомендованных преподавателем и результатов поиска в различных системах. Одобряется обращаться к преподавателю за консультациями. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из основных и дополнительных литературных источников и из Интернет.