

Результаты работ по научно-исследовательским программам, проектам Президиума РАН, ОМН РАН и Сибирского отделения РАН

Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 47.

Координатор в институте – чл.-корр. РАН Михайлов Г.А.

Реализован «метод подобных траекторий» (МПТ) путем численно-статистического моделирования траекторий частиц - «квантов» излучения - соответственно вспомогательной радиационной модели и построения весовых оценок функционалов одновременно для различных значений «физических» параметров. Решена задача выбора вспомогательной модели с целью минимизации параметрического максимума среднеквадратической погрешности весовых оценок. Уточнены ранее известные и получены новые утверждения о минимаксных алгоритмах МПТ. С помощью МПТ численно исследована параметрическая зависимость погрешности «транспортного приближения» для вероятностей прохождения, поглощения и альбедо частицы.

Рассмотрены различные модели экспоненциально коррелированных случайных сред, связанных с пуассоновскими точечными ансамблями. Построены асимптотические оценки средней вероятности прохождения частицы (кванта излучения) через среды такого типа на основе пуассоновости потока пересечений траекторий с областями постоянства случайной плотности и с помощью центральной предельной теоремы для соответствующей «оптической» длины. Изучена возможность восстановления параметров радиационной модели по значению осредненной вероятности прохождения.

Рассмотрены различные аспекты использования и обоснования стандартного векторного алгоритма статистического моделирования переноса поляризованного излучения. В связи с тем, что соответствующие оценки могут иметь бесконечную дисперсию, построен алгоритм частично учитывающий поляризацию и свободный от этого недостатка. Рассмотрены также модификации локальной оценки интенсивности поляризованного излучения и двойственное представление среднего квадрата оценки функционала, которое расширяет возможности исследования условий конечности дисперсии.

Разработан ряд модификаций, а также уточнений формулировок и обоснований практически эффективных алгоритмов статистического моделирования.

Разработан трехмерный параллельный алгоритм метода Монте-Карло для моделирования развития электронных лавин в газе (ELSHOW). Параллельная реализация осуществляется с помощью хорошо зарекомендовавшей себя библиотеки PARMONC, что ускоряет получение таких интегральных характеристик, как число частиц в лавине, коэффициент ударной ионизации, скорость дрейфа и других, а также способов выбора подходящей величины шага по времени с использованием техники зависимых статистических испытаний. Составными частями алгоритма являются специальные методы моделирования распределений, лексикографическая схема реализации «ветвления» траекторий, «русская рулетка», обоснованное построение гистограммы и полигона частот и вычисление вероятностной погрешности оценок функционалов. Приводится сравнение полученных результатов для азота с опубликованными ранее теоретическими и экспериментальными данными.

Получены формулы для выбора временного шага в алгоритме численного статистического моделирования переноса заряженных частиц под влиянием взаимодействий (столкновений) с частицами среды и внешнего силового поля. Критерием выбора является подходящая детерминированная погрешность (смещение) статистических оценок изучаемых интегральных характеристик. Полученные теоретические результаты относятся к общей постановке такой задачи, но для физической иллюстративности они

формулируются для процесса развития электронных лавин в газах под влиянием взаимодействия со средой и внешнего электрического поля.

Рассмотрен весовой алгоритм для приближенного решения нелинейного кинетического уравнения Больцмана, в котором после каждого элементарного перехода вспомогательный вес домножается на величину, учитывающую номер реализовавшей взаимодействие пары частиц. Известно, что величину дисперсии используемых оценок можно уменьшить, используя ветвление траекторий. С этой целью предложена весовая модификация с ветвлением и рандомизацией. Эффективность данной модификации подтверждена на примере численно-статистического решения задачи о релаксации смеси двух газов с сильно различающимися концентрациями. При использовании построенной модификации существенно улучшаются оценки частот молекул малой примеси.

Построены весовые алгоритмы для оценки линейных функционалов от решения уравнения Смолуховского с линейными коэффициентами коагуляции, зависящими от двух параметров. Предложены алгоритмы, позволяющие одновременно оценивать как функционалы для различных наборов параметров, так и параметрические производные. Разработаны ценностные алгоритмы и показана их эффективность для вычисления функционалов: концентрации мономеров в ансамбле в заданный момент времени и концентрации мономеров и димеров. Разработан ценностный алгоритм, являющийся обобщением предложенных ранее алгоритмов для случая постоянных и аддитивных коэффициентов коагуляции.

Для гибридных суперкомпьютеров с графическими сопроцессорами (NVidia GPU) разработана эффективная методика распределения независимых псевдослучайных чисел по отдельным CUDA-потокам на основе предложенного ранее параллельного 128-битного генератора.

Для решения пространственно неоднородных кинетических уравнений Больцмана с учетом химических реакций рассмотрен и апробирован на гибридных суперкомпьютерах с графическими сопроцессорами параллельный алгоритм статистического моделирования, в котором эффективно реализуется геометрия задачи.