

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 12-01-00034-а "Разработка "многочастичных", векторных и рандомизированных весовых алгоритмов суперкомпьютерного моделирования течений химически реагирующих газов и переноса поляризованного излучения в дисперсных средах".

Руководитель проекта – чл.- корр. РАН Михайлов Г. А.

Разработан алгоритм моделирования обобщенного экспоненциального распределения, сравнительно эффективный в случае, когда интенсивность соответствующего пуассоновского точечного потока равна сумме трудно вычисляемых «разномасштабных» элементов. Алгоритм строится на основе поэлементного мажорирования этой интенсивности путем рандомизированного «прореживания» мажорантного потока.

Построен новый специальный двухпараметрический весовой метод Монте-Карло для решения нелинейного кинетического уравнения Больцмана, который, с одной стороны, обладает повышенным быстродействием, как и известный метод мажорантной частоты, с другой, применим для случая неограниченной частоты парного столкновения. Доказана ограниченность дисперсий оценок «по столкновениям» и «по поглощениям» при использовании данного метода.

Предложена весовая модификация с ветвлением и рандомизацией для приближенного решения кинетического уравнения Больцмана. 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. В предположении «пуассоновости» ансамбля частиц построена эффективная функциональная оценка решения уравнения Больцмана. Соответствующая оценка трудоемкости статистического алгоритма подтверждает высокую эффективность «метода мажорантной частоты».

Построены новые весовые алгоритмы для оценки линейных функционалов и их параметрических производных от решения уравнения Смолуховского с линейными коэффициентами коагуляции, зависящими от двух параметров. Разработан ценностный алгоритм, являющийся обобщением предложенных ранее алгоритмов для случая постоянных и аддитивных коэффициентов коагуляции.

Рассмотрена статистическая модель автотранспортного потока (АТП) с выделенным ускорением. Для этой модели построено интегральное уравнение второго рода, описывающей эволюцию системы автомобилей. Предложены алгоритмы метода Монте-Карло для оценки функционалов от решения полученного уравнения. Для решения пространственно неоднородных кинетических уравнений Больцмана с учетом химических реакций рассмотрен и апробирован на гибридных суперкомпьютерах с графическими сопроцессорами параллельно реализуемый алгоритм статистического моделирования, в котором эффективно реализуется геометрия задачи.

Рассмотрены три подхода к построению верхней границы статистической погрешности метода ПСМ для решения нелинейного уравнения Больцмана: 1) приближенные формулы для дисперсий оценок метода ПСМ, полученные на основе теории равновесной статистической физики; 2) асимптотические формулы для дисперсий оценок метода ПСМ

с уменьшением размера ячеек при фиксированном полном числе частиц в области; 3) формулы для асимптотических доверительных интервалов для оценок метода ПСМ на основе центральной предельной теоремы для Марковских процессов. Проведено их сравнение на примере ряда характерных задач динамики разреженного газа с различной степенью неравновесности.

Получены формулы для выбора временного шага Δt в алгоритме численного статистического моделирования переноса заряженных частиц в газе под влиянием взаимодействий (столкновений) с частицами среды и внешнего силового поля. Критерием выбора является подходящая детерминированная погрешность (смещение) статистических оценок изучаемых интегральных характеристик.

Разработан трехмерный параллельно реализуемый алгоритм метода Монте-Карло для моделирования развития электронных лавин в газах. В этом алгоритме реализуется возможность учета влияния «маловероятных процессов», что затруднительно для других вычислительных моделей (например, при использовании диффузионного приближения).

На основе двойственных представлений средних квадратов векторных оценок интенсивности поляризованного излучения исследован вопрос о конечности их дисперсий.

Построен алгоритм "L-кратной поляризации", имеющий заведомо конечную дисперсию. Построены алгоритмы восстановления элементов матрицы аэрозольного рассеяния по наземным наблюдениям характеристик рассеянного поляризованного излучения.

Получены численные оценки временного распределения интенсивности сигнала терагерцового лидара и отраженного нижней кромкой облаков для конкретных начальных и граничных оптико-геометрических условий с учетом типа облачности и ослабления парами воды на трассе зондирования. Проанализирована структура поляризованного локационного сигнала в зависимости от фона многократного рассеяния, длины волны излучения, концентрации паров воды в атмосфере.

Построены новые алгоритмы статистического моделирования переноса излучения через стохастические экспоненциально коррелированные среды. Для этого разработана специальная геометрическая реализация «метода максимального сечения», позволяющая учитывать поглощение излучения весовым экспоненциальным множителем. Построены асимптотические по размеру среды, оценки параметров осредненной радиационной модели. Специальный «распределительный» способ реализации псевдослучайных чисел позволил провести сравнительный анализ результатов моделирования на основе соответствующего коррелирования статистических оценок.

Реализованы различные варианты «метода 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. Это дает возможность эффективной оценки изменения изучаемых функционалов при вариации параметров радиационной модели. На этой основе численно исследована параметрическая зависимость погрешности «транспортного приближения» для вероятностей прохождения, поглощения и альbedo частицы.