

Научный семинар: «Развитие полного лагранжева подхода в механике сред, лишенных собственного давления»



25 апреля в Высшей школе теоретической механики и математической физики состоялся научный семинар А.М. Кривцова, на котором с докладом выступил Осипцов Александр Николаевич, д.ф.-м.н., профессор НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва.

Доклад посвящён исследованию континуальных моделей разреженных сред, лишённых собственного давления, которые находят применение в различных разделах физики и механики. В таких моделях описываются процессы, связанные с движением инерционных частиц в газовых и других средах, где возможны сложные явления, такие как пересечение траекторий и образование зон с высокой концентрацией вещества. Основное внимание уделяется полному лагранжеву подходу — эффективному методу описания динамики подобных систем, позволяющему получать количественные характеристики даже в условиях, где традиционные методы теряют применимость. В докладе рассматриваются примеры использования этого подхода в прикладных задачах и обсуждаются современные направления его развития.

В различных разделах физики и механики используются континуальные модели сред, лишенных собственного давления. Такие модели применялись для описания динамики самогравитирующих дискретных масс (крупномасштабное распределение вещества во Вселенной, «блины Зельдовича», формирование планетных систем, спиральная структура галактик), холодной компоненты в плазме, коллективного движения микроорганизмов, транспортных потоков и др.

Течения разреженных двухфазных сред типа «газ – инерционные частицы», как правило, описываются в рамках двухконтинуального подхода, при этом среда частиц также моделируется континуумом, лишенным собственных напряжений. Такой континуум является чрезвычайно «сжимаемым»; более того, в разреженной «холодной» среде возможно возникновение зон пересекающихся траекторий частиц, на границах которых возникают «каустики» - огибающие траекторий. Вблизи каустик, а также точек «сборки» континуума частиц происходит резкое возрастание числовой концентрации (осредненной плотности) среды частиц. Данные особенности делают невозможным использование стандартных эйлеровых подходов для количественного описания распределения плотности «холодной» среды, состоящей из инерционных несталкивающихся частиц. Альтернативой является полный лагранжев метод, предложенный автором в 80-х годах прошлого столетия. Этот метод использует лагранжево описание динамики и распределения плотности дисперсной фазы с привлечением уравнений для компонент якобиана перехода от эйлеровых к лагранжевым переменным, записанным вдоль выбранных траекторий дисперсной фазы. Такой подход позволяет свести задачу определения всех континуальных параметров дисперсной фазы (включая плотность среды частиц) к решению систем обыкновенных дифференциальных уравнений в лагранжевых переменных на выбранных траекториях частиц, в том числе – в областях пересекающихся траекторий и вблизи каустик.

Данный метод использовался многими авторами для расчета распределения концентрации инерционной дисперсной примеси в

течениях с ударными волнами, в задачах обтекания тел запыленным газом, в расчетах двухфазных пограничных слоев, при исследовании структуры кометных атмосфер, распределения космической пыли в гелиосфере и в других течениях. В последние годы полный лагранжев подход и его модификации применяются для создания эффективных численных алгоритмов для расчета структуры зон накопления инерционной примеси в вихревых, существенно нестационарных и турбулентных потоках, а также в течениях с фазовыми переходами. Некоторые значительные результаты, полученные в этих направлениях, представлены в настоящем докладе. Более подробный обзор развития полного лагранжева подхода можно найти в [1].

1. Осипцов А.Н. Развитие полного лагранжева подхода для моделирования разреженных дисперсных сред (обзор)// Изв. РАН. Механика жидкости и газа. 2024. №1. С. 3-52.