

Моделирование кнудсеновской мембраны для смеси разреженных газов путем призматической дискретизации пространства

Хмелевс А.¹, Гришина В.Г.², Калинин М.В.¹, Федотов В.Ю.², Бабайлов А.А.²

¹ *Московский физико-технический институт, Долгопрудный, МО*

² *Национальный исследовательский центр Курчатовский институт, Москва*

Работа посвящена численному исследованию кнудсеновской мембраны путем призматической дискретизации пространства. Расчёт ведется для смеси разреженных газов на основе решения уравнения Больцмана.

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{p}{m} \frac{\partial f}{\partial x} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{2\pi} \int_0^{b_m} (f'f'_1 - ff_1) g b d e d b d p$$

Интеграл столкновений Больцмана вычисляется консервативным проекционным методом^[1].

Для описания сложной геометрии проблемно-моделирующие среды^[2] использовали призматические неравномерные сетки, которые позволили, не теряя точности вычисления, уменьшить время счёта^[3].

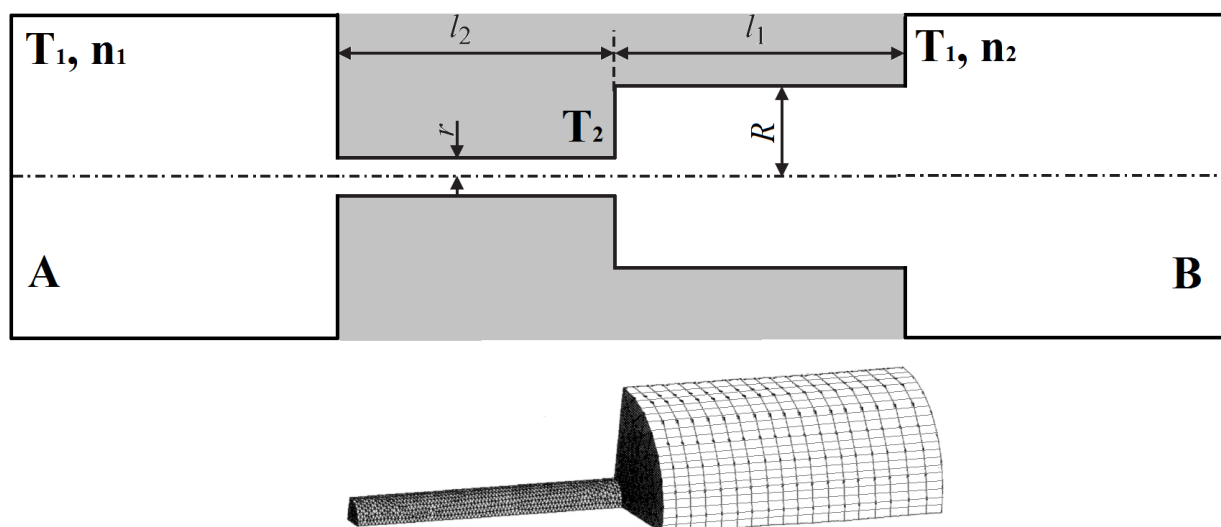


Рис.1. Геометрия простейшей кнудсеновской мембраны.

На Рис.1. показана схема простой кнудсеновской мембраны, которая состоит из периодической системы кнудсеновских насосов. Она может быть создана из двух склеенных слоев изолятора (диэлектрика) между которыми вставлена металлическая пластина. В одном из слоев проделаны узкие отверстия диаметром порядка длины свободного пробега молекул в газе, а в другом слое, напротив этих отверстий, проделаны

отверстия значительно большего диаметра, такие, что для них $Kn \ll 1$. Металлическая пластина нагревается до температуры $T_2 > T_1$, и начинается откачка из полупространства A в полупространство B , или фильтрация газа между этими сосудами. На рисунке показаны пунктиром плоскости симметрии для сведения задачи к расчёту одного элемента, и затем к его четверти. Температура на всех стенках резервуаров одинакова и равна T_1 . Концентрации газов в левом и правом резервуаре в начальный момент времени равны n_1 и n_2 соответственно. Отношение концентраций равно $\frac{n_1}{n_2} = 1,1$. Отношение температур равно $\frac{T_2}{T_1} = 1,3$. Диаметр узкой трубки был взят равный длине свободного пробега молекул в газе $d = 2r = \lambda$. Диаметр широкой трубки равен $D = 2R = 10\lambda$.

Применение призм позволяет значительно уменьшить количество узлов сетки, что, в свою очередь, уменьшает время необходимое на счёт задачи.

В данной работе ведутся расчёты для трубок длиной:

$$l_1 = l_2 = 5 * r, \text{ где } r \text{ – это радиус узкой трубки.}$$

Основное внимание в работе уделено получению результатов откачки одного газа и разделения смеси газов, получению результатов для простейшей мембраны и для многослойного фильтра.

Литература

1. Черемисин Ф. Г.. Решение кинетического уравнения Больцмана для высокоскоростных течений // ЖВМ и МФ – 2006 -Т. 46 - С. 329–343.
2. Dodulad O. I., Tcheremissine F. G.. Multipoint conservative projection method for computing the Boltzmann collision integral for gas mixtures // 28th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics - 2012.
3. Дербаква Е.П., Клосс Ю.Ю., Хохлов Н.И., Федотов В.Ю., Шурыгин Б.А. Параллельные алгоритмы численных схем решения уравнения Больцмана на основе технологии MPI - ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ- 2007 - стр. 581-588.