

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В СРЕДЕ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ МЕТОДОМ ЛВЕ

Д. А. Медведев^{1,2}, И. И. Грибанов², А. Л. Куперштох^{1,2}

¹Институт гидродинамики СО РАН, Новосибирск

²Новосибирский государственный университет

Метод решеточных уравнений Больцмана (ЛВЕ) широко используется для моделирования течений флюида. Уравнения эволюции для функций распределения частиц N_k по конечному набору скоростей \mathbf{c}_k имеют вид

$$N_k(\mathbf{x}, t) = N_k(\mathbf{x} - \mathbf{c}_k \Delta t, t - \Delta t) + \Omega_k(N) + \Delta N_k, \quad k = 1, \dots, b$$

где $\Omega_k = (N_k^{eq}(\rho, \mathbf{u}) - N_k(\mathbf{x}, t))/\tau$ – оператор столкновений, а $\Delta N_k(\mathbf{x}, t) = N_k^{eq}(\rho, \mathbf{u} + \Delta \mathbf{u}) - N_k^{eq}(\rho, \mathbf{u})$ – изменение функций распределения при действии объемных сил по методу точной разности (EDM) [1]. Гидродинамические переменные вычисляются как $\rho = \sum_{k=0}^b N_k$ и $\rho \mathbf{u} = \sum_{k=0}^b N_k \mathbf{c}_k$.

В методе ЛВЕ для моделирования теплопереноса обычно используется метод пассивного скаляра (ПС), который имеет гораздо меньшую схемную диффузию по сравнению с конечно-разностными методами. Для ПС вводится дополнительный комплект функций распределения $g_k(\mathbf{x}, t)$. Ранее метод ЛВЕ с теплопереносом был реализован только для течений жидкости почти постоянной плотности, в качестве ПС использовалась температура T . Однако при фазовых переходах жидкость-пар изменения плотности не малы, и необходимо рассматривать перенос не температуры, а внутренней энергии $E = \rho c_V T$ (пассивный скаляр $E = \sum_{k=0}^b g_k$)

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \mathbf{u} \nabla E = \frac{p}{\rho^2} \frac{d\rho}{dt} + \nabla(\lambda \nabla T).$$

В данной работе впервые удалось применить метод ПС для описания переноса энергии. Идея метода заключается в том, что вводятся специальные “псевдосилы” для скаляра энергии, удерживающие энергию от разлета на границах раздела фаз. Реализован вариант метода для случая, когда удельная теплоемкость флюида c_V и теплопроводность постоянны. Для учета действия “псевдосил” в уравнениях эволюции функций распределения, описывающих энергию, тоже используется EDM. Работа сил давления и теплопроводность включаются в метод ЛВЕ в конечно-разностном виде. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 13-08-00763 и 13-01-00526).

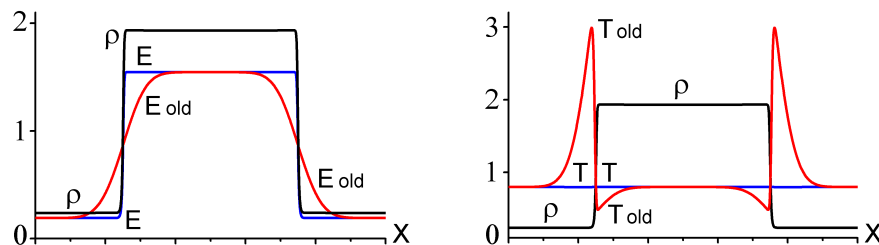


Рис. Одномерная капля в насыщенном паре. Разлет энергии (ПС) без “псевдосил” (E_{old}).

ЛИТЕРАТУРА

1. Куперштох А. Л. Учет действия объемных сил в решеточных уравнениях Больцмана. Вестник НГУ: Серия "Математика, механика и информатика". 2004. Т. 4. № 2. С. 75–96.