

ПОТОК ТЕПЛА ЗА ФРОНТОМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ПОУРОВНЕВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

О.В. Кунова, Е.В. Кустова, М.А. Мехоношина, Е.А. Нагнибеда

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия
E-mail: mekhonoshinam@gmail.com

В данной работе в рамках поуровневого приближения [1] исследуется влияние колебательной и химической кинетики на перенос тепла и скорость диффузии в релаксационной зоне за фронтом ударной волны, образующейся в сверхзвуковом потоке газа. Рассматриваются бинарные смеси N_2/N и O_2/O в условиях, типичных для входа космического аппарата в атмосферу Земли. Для описания одномерного стационарного течения газа за ударной волной в работе рассматривалась замкнутая система уравнений, состоящая из уравнений для заселенностей колебательных уровней молекул n_{ci} , числовых плотностей атомов $n_{at,c}$, скорости v и температуры T . Поток тепла находится из системы уравнений в первом приближении обобщенного метода Энского-Чепмена. Алгоритм расчета коэффициентов переноса в рамках кинетической теории требует решений систем линейных уравнений для всех колебательных состояний на каждом шаге численного решения. В настоящей работе мы используем упрощенный подход. Упрощенные выражения [2, 3] для теплового потока могут быть записаны как сумма вкладов различных процессов, а именно, перенос энергии за счет теплопроводности поступательных и вращательных степеней свободы, массовой диффузии, термодиффузии и диффузии за счет колебательной энергии.

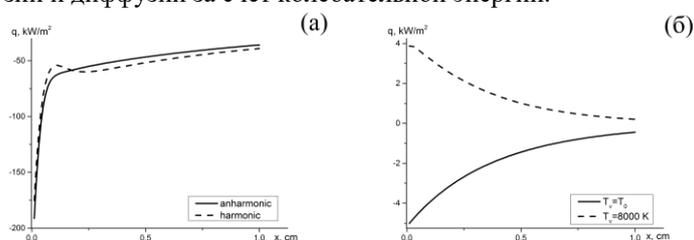


Рис. 1. Полный поток тепла N_2/N за ударной волной как функция от x . (а) – $M_0=15$, (б) – $M_0=10$.

В работе показано влияние колебательных распределений, реакций диссоциации и рекомбинации, а также различных начальных условий на поведение потока тепла за фронтом ударной волны. На рис. 1 представлено изменение общего теплового потока смеси N_2/N в релаксационной зоне за ударной волной при различных начальных условиях. Видно, что для $M_0 = 15$ абсолютная величина общего теплового потока высока вблизи фронта ударной волны и уменьшается при удалении от фронта ($x > 0,2$ см) вместе с производными макроскопических параметров. Для $M_0 = 10$ абсолютное значение теплового потока значительно ниже вследствие малых градиентов газодинамических параметров в зоне релаксации. Следует отметить, что в случае начальной колебательной неравновесности набегающего потока знак общего теплового потока становится положительным.

Работа выполнена при поддержке СПбГУ, тема НИР 6.37.163.2014 и РФФИ, грант №12-08-00826.

Л и т е р а т у р а

1. Nagnibeda E., Kustova E. Non-equilibrium Reacting Gas Flows. Kinetic Theory of Transport and Relaxation Processes. Springer, Berlin, 2009. 289 с.
2. Kustova E., Nagnibeda E. Transport properties of a reacting gas mixture with strong vibrational and chemical non-equilibrium // Chem. Phys. 1998. № 233. С. 57-75.
3. Kustova E. On the simplified state-to-state transport coefficients // Chem. Phys. 2001. № 270. С. 177-195.

Heat Flux behind a Shock Wave in the State-to-State Approximation

O.V. Kunova, E.V. Kustova, M.A. Mekhonoshina, E.A. Nagnibeda

Saint-Petersburg State University, Russia

In this work the heat transfer in the relaxation zone behind a shock wave is studied on the basis of the state-to-state kinetic theory approach. We consider binary mixtures N_2/N and O_2/O under the conditions typical for re-entry to the Earth atmosphere. The results of calculations of total energy flux is presented for different initial conditions behind the shock wave.