

ОБНАРУЖЕНИЕ КВАЗИЧАСТИЦ В ТУРБУЛЕНТНОМ СЛОЕ СМЕШЕНИЯ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУИ

С.А.Новопашин, А.Л.Перепелкин, В.Н.Ярыгин

Экспериментально показано, что процесс переноса в турбулентном слое смешения сверхзвуковой струи осуществляется обменом квазичастиц. Определен их характерный размер.

Исследуется течение в слое смешения сверхзвуковой струи N_2 , истекающей из звукового сопла с диаметром критического сечения $d_* = 3$ мм. Температура торможения и окружающего газа – комнатная. Давление торможения $3 \cdot 10^5$ Па. Отношение давлений в форкамере сопла к давлению окружающего газа 200. Для этих условий течение в слое смешения носит турбулентный характер¹.

Для диагностики применен метод рэлеевского рассеяния, позволяющий измерить концентрацию молекул за время $2 \cdot 10^{-8}$ с. Пространственная локализация определяется оптической схемой и в условиях настоящих экспериментов варьируется в пределах $(0,5 \div 7) \cdot 10^{-6}$ см³.

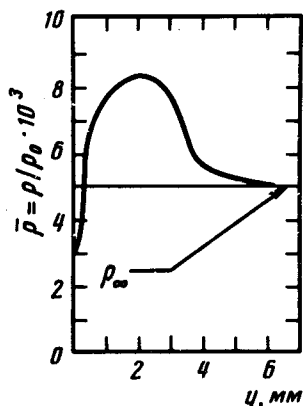


Рис. 1.

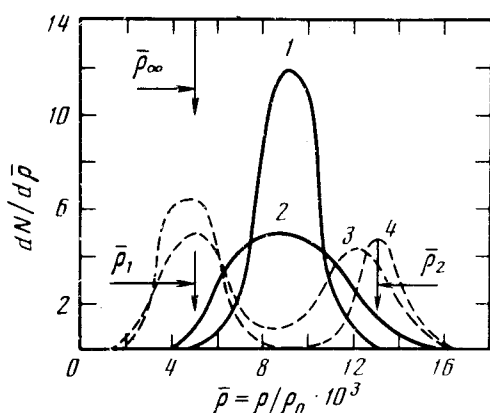


Рис. 2.

Рис. 1. Поперечный профиль среднего значения плотности

Рис. 2. Функция распределения показаний: 1 – в покоящемся газе при $\bar{\rho} = 9$; 2 – в струе при локализации $7 \cdot 10^{-6}$ см³; 3 – в струе при локализации $2 \cdot 10^{-6}$ см³; 4 – в струе при локализации $0,5 \cdot 10^{-6}$ см³

На рис. 1 приведен поперечный профиль среднего значения плотности на расстоянии $x/d_* = 7,6$. Плотность отнесена к соответствующей величине для форкамеры сопла. Значение $\rho/\rho_0 = 5 \cdot 10^{-3}$ отвечает плотности окружающего газа $\bar{\rho}_\infty$. Координата y отсчитывается от положения висячего скачка уплотнения. Измерения характеристик турбулентного потока проведены для максимального значения плотности в сжатом слое $y = 2$ мм. На рис. 2 приведены функции распределения показаний при проведении серий измерений: на покоящемся газе (кривая 1); в потоке при различных локализациях измерений: $7 \cdot 10^{-6}$ см³ (кривая 2), $2 \cdot 10^{-6}$ см³ (кривая 3), $5 \cdot 10^{-7}$ см³ (кривая 4). Дисперсия показаний для кривой 1 характеризует погрешность однократного измерения ($\sim 10\%$). В потоке газа турбулентные пульсации плотности дают вклад в дисперсию, что приводит к уширению функции распределения (кривая 2). При изменении пространственной локализации от $7 \cdot 10^{-6}$ см³ до $2 \cdot 10^{-6}$ см³ функция распределения показаний трансформируется в кривую с двумя максимумами. При дальнейшем уменьшении локализации (кривая 4) эффект становится еще более выраженным. Такой вид функции распределения свидетельствует о том, что в области исследования присутствуют локализованные скопления молекул газа (моли) с характерными плотностями $\bar{\rho}_1 = 5$, $\bar{\rho}_2 = 13$. Величина $\bar{\rho}_1$, что наиболее важно, соответствует плотности окружающего

газа $\bar{\rho}_\infty$. Таким образом, массообмен с окружающей средой осуществляется захватом некоторых объемов газа, которые при своем движении переносят свойство среды — ее плотность. В этом смысле такие скопления молекул обладают свойствами частиц. Размер этих квазичастиц может быть определен по характеру трансформации функции распределения показаний при изменении объема локализации. Учитывая, что локализация изменяется за счет длины объема, из которого наблюдается рассеяние при неизменном диаметре пятна фокусирования (100 мкм), получаем характерный размер квазичастиц $L \cong 1000$ мкм. Число Кнудсена $Kn_L = \lambda/L \cong 5 \cdot 10^{-3}$, т.е. размер частиц составляет около 200 длин свободного пробега. Оценим диффузионное время жизни таких частиц $t = L^2 / (\lambda v) = \tau Kn^{-2} \cong 10^{-3}$ с (v — тепловая скорость, τ — время между столкновениями — λ/v). При сносе в слое смещения сверхзвуковой струи за время жизни частицы она переместится на расстояние порядка 10 см.

Литература

1. Авдеевский В.С., Иванов А.В., Карпман И.М. и др. ДАН СССР, 1971, 197, 46.

Институт теплофизики Академии наук СССР
Сибирское отделение

Поступила в редакцию
20 июля 1986 г.