

03;12

Влияние конденсации на параметры импульсных сверхзвуковых потоков

© А.Е. Зарвин, Н.Г. Коробейщиков, В.Ж. Мадирбаев,
Р.Г. Шарафутдинов

Новосибирский государственный университет
E-mail: zarvin@phys.nsu.ru

Поступило в Редакцию 1 мая 2000 г.

Приведены результаты масс-спектрометрического исследования сверхзвуковых струй аргона, азота и гелия. Выполнено сравнение зависимостей временных параметров потока от давления торможения P_0 с данными для интенсивностей мономеров и кластеров. Обнаружено, что переход течения в режим конденсации приводит к изменениям времени пролета и полуширины сигнала мономеров в молекулярном пучке, сформированном из сверхзвуковой струи. Показано, что регистрация временных параметров импульсного потока позволяет выделять отдельные стадии конденсации.

При истечении газа в вакуум в потоке могут образовываться кластеры. Их свойства зависят от параметров торможения, состава газа и процессов, протекающих в струе. При этом кластеры, активно участвуя в энергообмене, сами способны влиять на газофазные, химические и плазмохимические процессы в струях. Поэтому изучение конденсации в газовых потоках, ее влияния на газодинамику является актуальной задачей.

В настоящей работе изучено влияние конденсации на временные характеристики импульсных потоков аргона, азота и гелия. Исследования выполнены на комплексе газодинамических стендов "ЛЭМПУС" Новосибирского государственного университета при импульсном истечении газовой струи [1]. Для формирования струй в широком интервале давлений торможения использовался электромагнитный клапан со звуковым соплом с диаметром среза $d_* = 1$ mm. Из сверхзвукового потока с помощью скиммера диаметром 0.53 mm вырезался молекулярный пучок, который вводился в датчик квадрупольного масс-спектрометра MS-7303, адаптированного к импульсным измерениям. Используемая аппаратура позволила выполнить регистрацию изменений во времени

формы каждого импульса для любых массовых пиков. Отсчет времени производился от момента подачи на электромагнитный клапан запускающего импульса длительностью 0.5 ms. Частота следования импульсов составляла 5 Hz, что обеспечило оптимальные условия для вакуумной откачки системы. Данные получены на расстояниях сопло–скиммер $x/d_* = 175$ и 80 при температуре торможения $T_0 = 295$ K.

Ранее [2] было показано, что поведение интенсивностей пиков мономеров и кластеров Ar в импульсном потоке согласуется с результатами в стационарных струях. Регистрация временных разверток сигналов на масс-спектрометре позволила определять время прихода переднего фронта импульса T и полуширину импульса D . На рис. 1 представлены зависимости T , D от давления P_0 для мономеров и малых кластеров аргона и азота. При малых P_0 отличия в полуширине и форме импульсов мономеров незначительны, а различие времен прихода переднего фронта импульса обусловлено только разницей скоростей истечения Ar и N₂. При появлении малых кластеров (в аргоне при $P_0 > 40$ kPa, а в азоте — выше 200 kPa) полуширина сигналов мономеров резко возрастает, тогда как изменений времени прихода импульсов, обусловленных дополнительным разгоном потока за счет выделения тепла конденсации [3], не обнаруживается.

Затем при давлениях, соответствующих переходу течения в режим образования крупноразмерных кластеров [3] (выше 90 kPa для Ar и 500 kPa для N₂), наблюдается торможение переднего фронта мономеров при незначительных его изменениях у кластерных компонентов. Эти эффекты для выбранного газа зависят от давления торможения и практически не зависят от числа Кнудсена по скиммеру [4] в точке отбора молекулярного пучка, что подтверждается сравнением данных в Ar для разных расстояний сопло–скиммер ($x/d = 80$ — черные и 175 — серые кружки). Для гелия (светлые кружки) во всем диапазоне P_0 резкого изменения параметров T и D не обнаружено, поскольку в этом интервале параметров гелий не конденсируется. Причины незначительного синхронного уменьшения T до начала конденсации для Ar, N₂ и He при одновременном плавном увеличении D с ростом P_0 не ясны, но, по-видимому, они связаны с газодинамикой формирования импульсных потоков, а слабый последующий рост T для гелия — с торможением потока на газовой подушке перед скиммером при высоких P_0 .

Изменение временных параметров газовых импульсов, в первую очередь его полуширины, хорошо коррелирует с изменением интенсив-

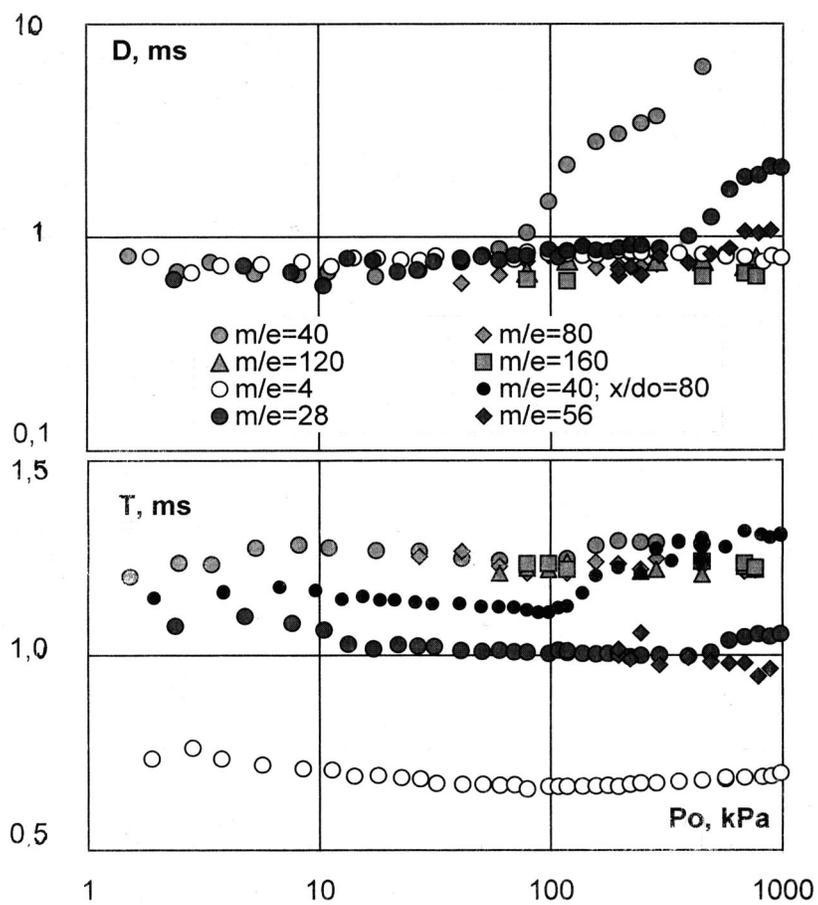


Рис. 1.

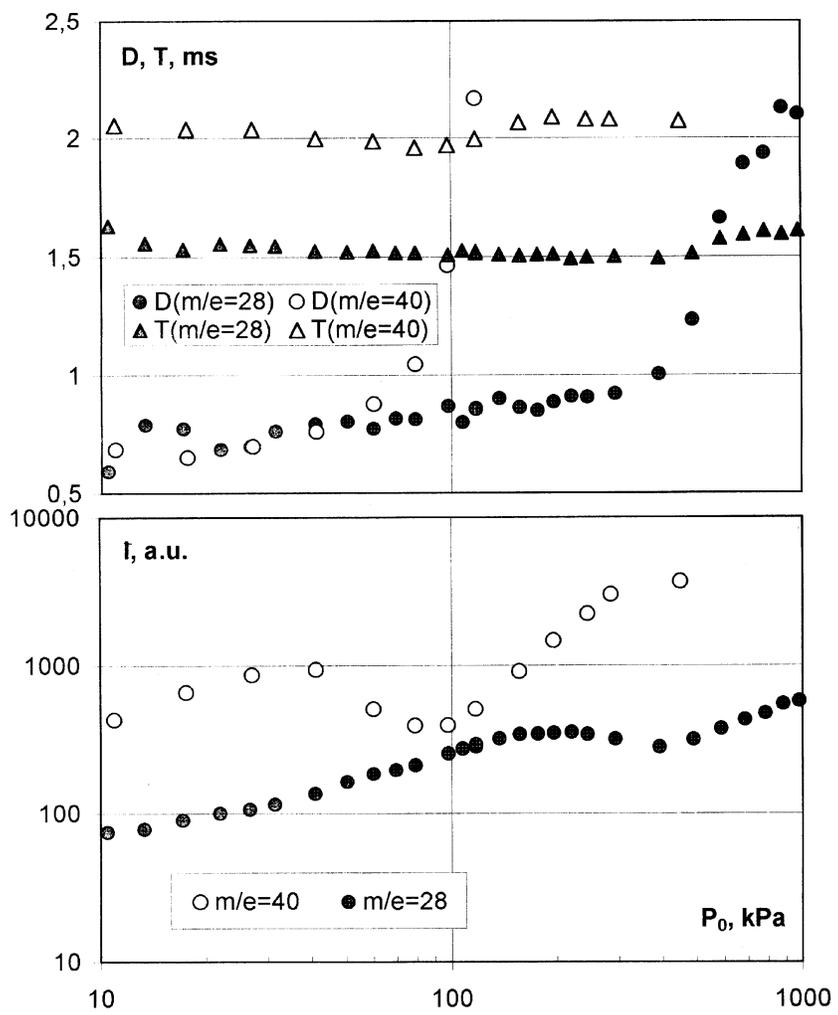


Рис. 2.

ности мономеров и малых кластеров на оси молекулярного пучка, что иллюстрируют данные для Ar и N_2 на рис. 2. Резкий рост полуширины мономеров (кружки) начинается при тех же значениях P_0 , что и падение их интенсивности, связываемое с началом процесса кластерообразования в потоке. Существенная задержка времени прихода переднего фронта импульса мономеров (треугольники) отмечается при значениях P_0 , соответствующих вторичному росту интенсивности, связываемому с образованием крупных кластеров в потоке и их фрагментацией при бомбардировке диагностическими электронами детектора масс-спектрометра.

Таким образом, измерение временных параметров, полуширины импульса и времени прихода переднего фронта методами импульсной молекулярно-пучковой масс-спектрометрии обеспечивает получение дополнительной информации о процессах кластерообразования в потоках газов и газовых смесей.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 00-03-33021а), Программой Министерства науки и технической политики РФ по поддержке уникальных научно-исследовательских и экспериментальных установок национальной значимости (код проекта 06-05) и грантом по фундаментальному естествознанию Министерства образования РФ (код проекта ЗН-217-98).

Список литературы

- [1] Зарвин А.Е., Коробейщиков Н.Г., Мадирбаев В.Ж. и др. // ПТЭ. 2000. № 4.
- [2] Шарафутдинов Р.Г., Зарвин А.Е., Коробейщиков Н.Г. и др. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 21. С. 48–51.
- [3] Golomb D., Good R.E., Bailey A.E. et al. // J. Chem. Phys. 1972. V. 57. N 9. P. 3844–3852.
- [4] Зарвин А.Е., Шарафутдинов Р.Г. // ЖПМТФ. 1979. № 6. С. 107–115.