

03;12

Электронно-стимулированная конденсация углекислого газа на электроотрицательной примеси

© Е.М. Аборнев, В.П. Жуковская, О.А. Нерушев,
С.А. Новопашин, А.Л. Перепелкин, В.В. Радченко

Институт теплофизики СО РАН, Новосибирск

Поступило в Редакцию 31 июля 1997 г.

Описано экспериментальное исследование влияния электронов и электроотрицательной примеси на процесс конденсации при расширении в вакуум CO_2 , молекулы которого не имеют сродства к электрону.

Адиабатическое охлаждение при свободном расширении газа в вакуум приводит к его охлаждению ниже температуры насыщения. Но появление конденсированной фазы (кластеров) в потоке может не наблюдаться, если число столкновений после достижения условий насыщения будет недостаточно для образования кластеров критического размера. При гомогенной конденсации лимитирующей стадией является образование кластеров малого размера [1]. Искусственное введение зародышей в поток может привести к протеканию процесса конденсации в условиях, когда гомогенная конденсация отсутствует. Ядрами конденсации могут являться заряженные частицы (впервые конденсацию на зарядах наблюдал Вильсон [2]). С точки зрения термодинамики [3] это явление связано с тем, что свободная энергия заряженного кластера имеет минимум при некотором его размере. Для условий насыщения радиус равновесного кластера с зарядом e составляет:

$$r = \{(e/16\pi\alpha)(\epsilon - 1)/\epsilon\}^{1/3}, \quad (1)$$

где ϵ — диэлектрическая проницаемость конденсированной фазы, α — коэффициент поверхностного натяжения. Ранее конденсация при струйном расширении при введении свободных зарядов в поток наблюдалась на ионах, которые образуются вследствие положительной энергии сродства нейтралов к заряженным частицам: молекул воды к протону [4,5],

атома хлора к электрону [6]. Оценка равновесного кластера CO_2 по формуле (1) дает величину порядка 10^2 молекул.

В настоящей работе изучается влияние электронов и электроотрицательной примеси на процесс конденсации при расширении в вакуум CO_2 , молекулы которого не имеют сродства к электрону [7]. Эксперименты проведены в газодинамической установке низкого давления. Внутри вакуумной камеры на трехкомпонентном координатном механизме размещен источник газа — звуковое сопло (диаметр 2 mm) с термостабилизированной форкамерой. Параметры течения определяются по измерениям давления и температуры в форкамере. Температура газа в форкамере сопла контролировалась термпарой и во всех представленных ниже экспериментах составляла 295 К. Для генерации заряженных кластеров в форкамере сопла размещен источник электронов на основе термоэмиссии. Эмиттер электронов — таблетка из гексаборида лантана. Эмиттер в рабочих режимах нагревается пропусканием тока через прижатую к нему вольфрамовую спираль. Температура таблетки изменялась от комнатной до 800 К. Для обеспечения теплового режима газа использовалась тепловая развязка из молибденового тонкостенного держателя, керамической втулки и дополнительное охлаждение газа в форкамере жидким азотом. Для диагностики применен метод, основанный на рэлеевском рассеянии света [8,9]. Интенсивность рассеянного излучения J , при потоке конденсированной фазы, определяется следующим выражением:

$$J = AI_0 \sum N_i i^2, \quad (2)$$

где I_0 — интенсивность опорного излучения, N_i — концентрация кластеров, содержащих i молекул, A — геометрический фактор, который определяется в тарировочных экспериментах в газе известной концентрации. Отметим, что в отсутствии конденсированной компоненты интенсивность рассеянного сигнала пропорциональна концентрации молекул.

На рис. 1 приведена зависимость интенсивности рассеяния света от давления торможения. Измерения проведены на оси струи на расстоянии 6 mm от выходного сечения. Интенсивность нормирована на величину интенсивности рассеяния, соответствующую концентрации газа в форкамере сопла J_0 . Горизонтальный участок соответствует расширению газа без конденсации, а возрастание сигнала — появлению в потоке кластеров. Введение свободных электронов при нагревании таблетки гексаборида лантана вплоть до максимальной температуры эмиттера не привело

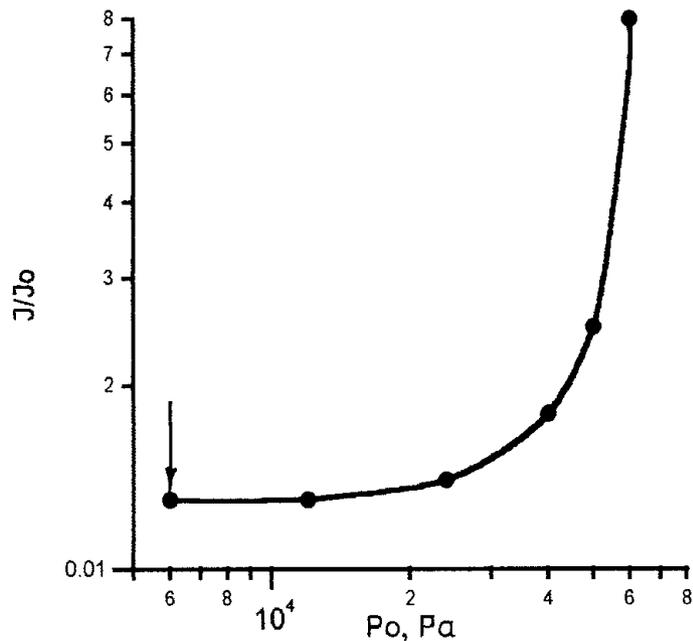


Рис. 1. Зависимость интенсивности рассеянного света от давления торможения.

к заметному изменению зависимости, представленной на рисунке. Полученный результат свидетельствует о том, что отрицательные кластерные ионы CO_2 в условиях настоящих экспериментов не образуются. Это, видимо, связано с тем, что у молекулы CO_2 нет сродства к электрону. Для наблюдения эффекта зарядостимулированной конденсации CO_2 в форкамеру сопла вводилась примесь электроотрицательного газа. Для этого вблизи нагревательного элемента устанавливался фторопласт Ф-4, что приводило к появлению в газовой фазе электроотрицательных радикалов фтора и фторуглеродов. На рис. 2 приведена экспериментальная зависимость светорассеяния в потоке от температуры таблетки. Измерения проведены на том же расстоянии от среза сопла, что и данные, представленные на рис. 1. Давление в форкамере составляет $6 \cdot 10^3$ Pa. В этих условиях гомогенная конденсация не наблюдается (это давление отмечено стрелкой на рис. 1). При повышении температуры выше

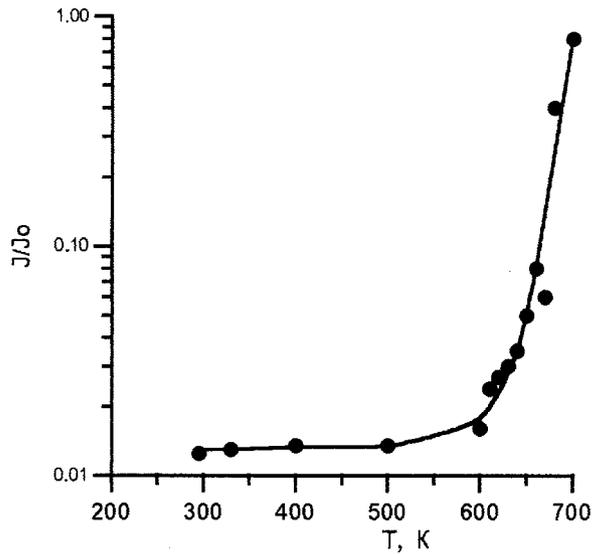


Рис. 2. Зависимость интенсивности рассеянного света от температуры эмиттера электронов.

600 К наблюдается возрастание интенсивности рассеянного сигнала на 2 порядка. Контрольные эксперименты, проведенные с заменой таблетки гексаборида лантана на медную, показали, что наблюдаемый эффект стимулированной конденсации связан с одновременным присутствием как электронов, так и электроотрицательной примеси.

Таким образом, в работе получено два основных результата.

1. Введение свободных электронов в форкамеру не оказывает влияния на конденсацию CO_2 при расширении в сверхзвуковой струе.

2. Обнаружено явление электронно-стимулированной конденсации CO_2 на электроотрицательной примеси.

В заключение заметим, что использование зарядостимулированных процессов может позволить получать кластерные потоки с узкой функцией распределения по размерам, что является важным как для изучения свойств кластеров определенного размера, так и для ряда технологических приложений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 96-02-19045.

Список литературы

- [1] *Colomb D., Good R.E., Balley A.B.* et al. // J. Chem Phys. 1972. V. 57. N 9. P. 3844–3852.
- [2] *Wilson C.T.R.* // Philos. Trans. R. Soc. Lond A. 1897. V. 189. 265 p.
- [3] *Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш.* Термодинамика, статистическая физика и кинетика. М.: Наука, 1977. 552 с.
- [4] *Searcy J.Q., Fenn J.B.* // J. Chem. Phys. 1974. V. 61. N 12. P. 5282–5288.
- [5] *Benhler R.J., Friedman L.* // J. Chem. Phys. 1982. V. 77. N 6. P. 2549–2557.
- [6] *Haberland H., Langosch H., Schindler H.-G., Worsnop D.R.* // Book of abstract of 6th Int. Symp. on Molecular Beams. Freiburg, 1983. P. 123–125.
- [7] *Смирнов Б.М.* Комплексные ионы. М.: Наука, 1983. 152 с.
- [8] *Новопашин С.А., Перепелкин А.Л., Ярыгин В.Н.* // ПТЭ. 1986. В. 5. С. 158–159.
- [9] *Аборнев Е.М., Нерушев О.А., Новопашин С.А.* и др. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 21. С. 84–87.