

А. С. ЗАЙЦЕВ, В. И. ТВЕРДОХЛЕБОВ

ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ЭНЕРГИЯМ В ПЛАЗМЕ АЦЕТИЛЕНО-КИСЛОРОДНОГО ПЛАМЕНИ

(Представлено академиком В. И. Кондратьевым 17 XII 1971)

Сведения о функции распределения электронов в плазме пламени необходимы для понимания протекающих в пламени физико-химических процессов. В связи с повышенным интересом к электрическим свойствам углеводородных пламен возникла потребность в знании температуры свободных электронов, которая определялась многими исследователями методом зондовых характеристик, в основе которого лежит предположение о наличии максвелловского распределения. В реальных системах часто наблюдаются случаи значительных отклонений от закона Максвелла — Больцмана ⁽¹⁾; обычно возникает обеднение системы высокоэнергетическими электронами.

Литературные данные о функции распределения в основном относятся к газоразрядной плазме и совершенно отсутствуют о плазме пламени. В нашей работе проведено экспериментальное изучение функции распределения электронов по энергиям в плазме ацетилено-кислородного пламени. Метод нахождения функции распределения $F(eU)$ основан на использовании формулы Дрювстейна ⁽²⁾

$$F(eU) = \frac{2}{e^2 S} \left(\frac{2mU}{e} \right)^{1/2} \frac{d^2 I_e}{dU^2}, \quad (1)$$

где I_e — электронный ток на зонд, U — потенциал зонда относительно плазмы, S — площадь рабочей поверхности зонда, e , m — заряд и масса электрона.

Величина $d^2 I_e / dU^2$ определялась экспериментально методом второй гармоники ⁽³⁾. За потенциал пространства брали потенциал точки, где $I_e'' = 0$.

Исследовались ацетилено-кислородные пламена, горящие при давлении $p = 2$ тор; применялась горелка плоского пламени. Зонд представлял собой платиновую проволочку диаметром $d = 0,05$ мм и длиной $l = 12$ мм.

Типичный вид экспериментальной кривой функции распределения электронов по энергиям показан на рис. 1, 1. Там же приведена кривая функции распределения Максвелла, рассчитанная для той же средней энергии (рис. 1, 2). Сравнение кривых позволяет сделать заключение, что в плазме пламени низкого давления наблюдаются значительные отступления от закона Максвелла. Следует отметить, что нарушения закона Максвелла сохраняются и в том случае, когда за потенциал пространства брали потенциал точки, в которой вторая производная достигает максимума.

Было проведено около сотни опытов и все они однозначно показали отсутствие максвелловского распределения в плазме ацетилено-кислородного пламени, горящего при давлении $p = 2$ тор. В экспериментальных кривых наблюдается более резкий спад со стороны высоких энергий, т. е. в исследуемой плазме пламени обнаруживается нехватка высокоэнергетических электронов.

Что касается причин обнаруженного отступления от закона Максвелла, то возможных причин можно назвать, по крайней мере, две. При малых

плотностях плазмы нарушения закона Максвелла возникают за счет потери высокоэнергетических электронов в процессах возбуждения и ионизации. Кроме того, можно предположить, что наблюдаемое распределение возникло в самом процессе образования электронов. Уместно вспомнить, что электроны образуются в пламени нетермическим путем и поэтому трудно ожидать быстрого установления распределения электронов по закону Максвелла при тех плотностях плазмы, которые могут быть достигнуты в пламени низкого давления без легко ионизируемых присадок.

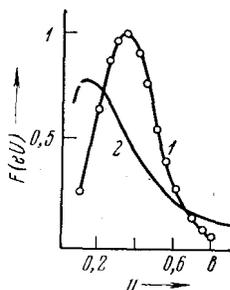


Рис. 1

Рис. 1. Распределение электронов по энергиям в ацетилено-кислородном пламени при $p = 2$ тор, эквивалентное отношение $\gamma = 0,74$, высота $h = 50$ мм. 1 — эксперимент, 2 — кривая функции распределения Максвелла

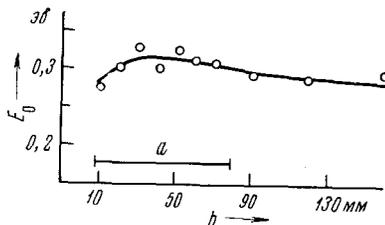


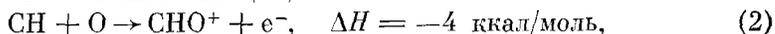
Рис. 2

Рис. 2. Зависимость энергии E_0 от расстояния h от горелки

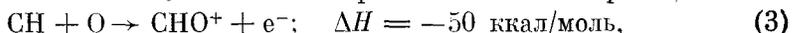
Из полученных данных о функции распределения следует важный для практики вывод: в углеводородном пламени низкого давления понятие температуры свободных электронов теряет обычный смысл.

На рис. 2 изображена кривая зависимости энергии E_0 , на которую приходится максимум функции распределения, от h — расстояния от горелки. (Отрезком a отмечен участок светящейся области пламени.) Величина E_0 незначительно изменяется по высоте пламени и равна около 0,3 эв. Каких-либо выводов из того, что наблюдается некоторая тенденция к уменьшению E_0 при больших h , очевидно, делать нельзя, так как ошибка метода составляет около 25%.

Полученные сведения об энергии электронов могут оказаться полезными при изучении механизма образования ионов в пламени. В частности, данные ⁽⁴⁾ о теплоте образования CHO^+ в реакции, которая считается главным источником химионизации,



неплохо согласуются с нашими экспериментальными данными о E_0 . Сравнение наших значений E_0 с теплотой образования CHO^+ в реакции



которую некоторые авторы ⁽⁵⁾ также выдвигали в качестве главного источника химионизации и поставщика «горячих» электронов, говорит о несостоятельности последней. Ранее ⁽⁶⁾ нами проводились доводы, основанные на экспериментальных данных об энергиях активации процесса ионообразования и образования возбужденных радикалов, подтверждающие достоверность реакции (2) и отвергающие реакцию (3).

Днепропетровский горный институт
им. Артема

Поступило
7 XII 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ S. W. Rayment, N. D. Twiddy, Proc. Roy. Soc. A, 340, 87 (1968). ² M. Druyvestein, Zs. Phys., 64, 781 (1930). ³ G. R. Branner, E. M. Friar, G. Medicus, Rev. Sci. Instrum., 34, 231 (1963). ⁴ C. S. Matthews, P. Warneck, J. Chem. Phys., 51, 854 (1969). ⁵ А. Хейхорст, Т. Сагден, Низкотемпературная плазма, Тр. Симпозиума, М., 1967, стр. 63. ⁶ В. И. Твердохлебов, Некоторые исследования плазмы углеводородного пламени, Докторская диссертация, М., 1969.