

A. T. САРСЕМБАЕВА, Н. Ж. ТАКИБАЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИОНОВ H_2^+ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ H^- ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ 5000-15000 К

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы

В работе была определена концентрация положительных молекулярных ионов H_2^+ и концентрации отрицательных ионов H^- при температурах 5000-15000 К.

Введение. Вещество на Солнце находится в состоянии значительной ионизации. Процесс ионизации состоит в том, что при возрастающей энергии движения атомов и энергии световых квантов столкновения атомов между собой и поглощение фотонов могут привести к такому возбуждению атома, когда электрон вовсе покидает его. В результате этого из одного нейтрального атома получаются две заряженные частицы - положительный ион и отрицательный электрон. В этом отношении ионизацию можно рассматривать как своеобразную диссоциацию [1].

Исследование связанных-свободных радиационных переходов в водородной плазме в условиях локального термодинамического равновесия позволяет получать важную информацию о наиболее эффективных источниках непрерывного фотопоглощения в звездных атмосферах. Известно, что в квазиравновесной водородной плазме с эффективной температурой $T_{eff} \approx 6000K$ (характерной для фотосферы Солнца) основной вклад в поглощение света в видимой области спектра вносит процесс фотоотрыва электрона от отрицательного иона H^- , концентрация которого мала и составляет $N_{H^-}/N_H \sim 10^{-8}$ от концентрации нейтрального атома водорода H [2].

КОНЦЕНТРАЦИЯ ИОНОВ H^- И H_2^+

Концентрация ионов H^- вычисляется по этой формуле [2]

$$N_{H^-} = \frac{g_{H^-}}{g_e g_H} \left(\frac{2\pi\hbar^2}{m_e kT} \right)^{3/2} \exp\left(\frac{\epsilon_{H^-}}{kT}\right) N_H N_e, \quad (1)$$

где $\epsilon_{H^-} = 0.754 \text{ эВ}$ – энергия связи электрона в отрицательном ионе H^- ; $g_{H^-} = 1$ – статистический вес состояния, $g_e = 2$, а $g_H = 2$ – статистический вес атома водорода в основном состоянии [2].

Полная концентрация $N_{H_2^+} = \sum_{vJ} N_{vJ}$ положительных молекулярных ионов H_2^+ может быть найдена с помощью закона действующих масс

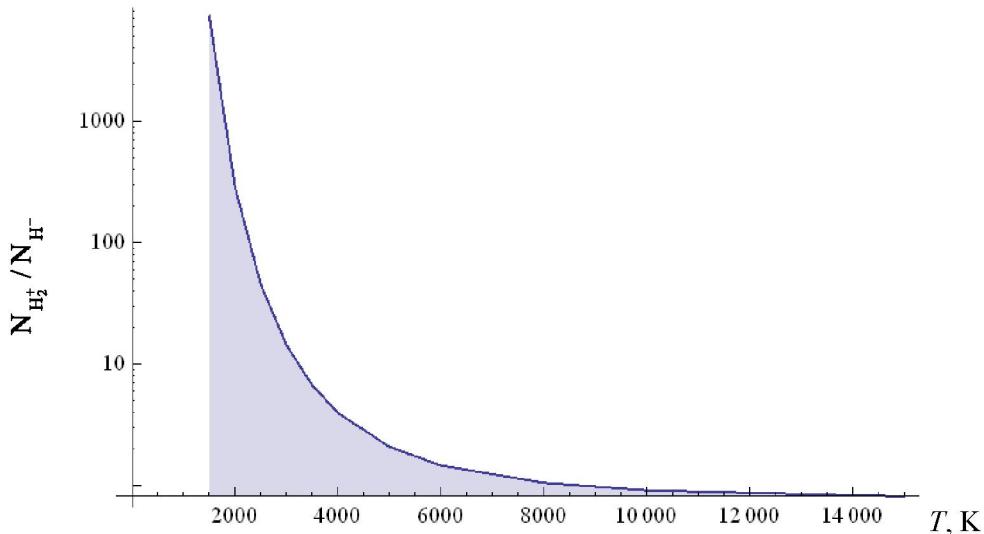
$$N_{H_2^+} = \frac{Z_{v,r} g_{H_2^+}}{\chi g_H g_{H^+}} \left(\frac{2\pi\hbar^2}{\mu kT} \right)^{3/2} \exp\left(\frac{D_0}{kT}\right) N_H N_{H^+}. \quad (2)$$

Здесь $g_H = 2$, $g_{H^+} = 1$, $g_{H_2^+} = 2$, $\chi = 2$ и $D_0 = 2.651 \text{ эВ}$. Для внутренней статистической суммы $Z = (g_{H_2^+}/\chi) Z_{v,r}$ здесь используем квантовый результат [4],

полученный с помощью имеющихся значений всех колебательно-вращательных уровней энергии иона H_2^+ . В таблице представлены результаты расчетов концентраций ионов H_2^+ и H^- . Как видно из таблицы, при достаточно высоких температурах $T \sim 6500-15000 \text{ К}$ полная концентрация $N_{H_2^+}$ молекулярного иона H_2^+ и концентрация ионов H^- оказывается одного и того же порядка величины. При понижении температуры концентрация ионов $N_{H_2^+}$ ионов H_2^+ возрастает и значительно превышает величину N_{H^-} [3].

Зависимости относительных концентраций положительных молекулярных ионов H_2^+ и отрицательных ионов H^- от температуры равновесной водородной плазмы

T, K	$N_{H_2^+}, cm^3$	N_{H^-}, cm^3	$N_{H_2^+}/N_{H^-}$
5000	$3.51818 \cdot 10^{-21}$	$1.68767 \cdot 10^{-21}$	2.08464
5500	$2.12707 \cdot 10^{-21}$	$1.2476 \cdot 10^{-21}$	1.70493
6000	$1.40478 \cdot 10^{-21}$	$9.58935 \cdot 10^{-22}$	1.46494
6500	$9.91281 \cdot 10^{-22}$	$7.6016 \cdot 10^{-22}$	1.30404
7000	$7.35903 \cdot 10^{-22}$	$6.17804 \cdot 10^{-22}$	1.19116
7500	$5.68402 \cdot 10^{-22}$	$5.12505 \cdot 10^{-22}$	1.10907
8000	$4.53073 \cdot 10^{-22}$	$4.32488 \cdot 10^{-22}$	1.0476
8500	$3.70447 \cdot 10^{-22}$	$3.70276 \cdot 10^{-22}$	1.00046
9000	$3.09269 \cdot 10^{-22}$	$3.20954 \cdot 10^{-22}$	0.963593
9500	$2.62698 \cdot 10^{-22}$	$2.81182 \cdot 10^{-22}$	0.934263
10000	$2.26406 \cdot 10^{-22}$	$2.48636 \cdot 10^{-22}$	0.910592
11000	$1.74206 \cdot 10^{-22}$	$1.99028 \cdot 10^{-22}$	0.875284
12000	$1.39074 \cdot 10^{-22}$	$1.63467 \cdot 10^{-22}$	0.850777
13000	$1.14202 \cdot 10^{-22}$	$1.37062 \cdot 10^{-22}$	0.833214
14000	$9.58806 \cdot 10^{-23}$	$1.16883 \cdot 10^{-22}$	0.820313
15000	$8.19463 \cdot 10^{-23}$	$1.01088 \cdot 10^{-22}$	0.810643



Отношение полной концентрации $N_{H_2^+} = \sum_{vJ} N_{vJ}$ положительных молекулярных ионов H_2^+ к концентрации отрицательных ионов H^- в зависимости от температуры равновесной водородной плазмы. Принято, что концентрация электронов и протонов равны $N_e = N_{H^+}$.

Заключение. В статье определена концентрация положительных молекулярных ионов H_2^+ и концентрация отрицательных ионов H^- в зависимости от температуры равновесной водородной плазмы. Было показано, что при достаточно высоких температурах $T \sim 6500\text{--}15000$ К полная концентрация $N_{H_2^+}$ молекулярного иона H_2^+ и концентрация ионов H^- оказывается одного и того же порядка величины. При понижении температуры концентрация ионов $N_{H_2^+}$ ионов H_2^+ возрастает и значительно превышает величину N_{H^-} .

ЛИТЕРАТУРА

1 Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики. – М.: Наука, 1977; Лебедев В.С., Пресняков Л.П., Собельман И.И. Радиационные переходы молекулярного иона H_2^+ // УФН. 2003. – Т. 173, № 5.

2 Лебедев В.С. Связанно-свободные и свободно-свободные фотопереходы в квазиравновесной водородной плазме // Энциклопедия низкотемпературной плазмы / Под ред. В. Е. Фортова. – Москва: Янус-К, 2007. – Сер. Б. – Т. V-1, ч. II, раздел IV, гл. 6. Сс. 75-105. –

3 Термодинамические свойства индивидуальных веществ / Под ред. Л. В. Гурвича и др. – М.: Наука, 1978. – Т. I.

A. T. Сәрсембаева, Н. Ж. Такібайев

**H_2^+ ОҢ МОЛЕКУЛАЛЫҚ ИОННЫҢ ЖӘНЕ H^- ТЕРІС ИОННЫҢ 5000-15000 К
ТЕМПЕРАТУРА АРАЛЫҒЫНДАҒЫ КОНЦЕНТРАЦИЯСЫН АНЫҚТАУ**

Бұл жұмыста H_2^+ оң молекулалық ионның және H^- теріс ионның 5000-15000 К температура аралығындағы концентрациясы анықталды.

A. T. Sarsembayeva, N. Zh. Takibayev

**DEFINITION OF POSITIVE H_2^+ AND NEGATIVE H^- MOLECULAR IONS
AT TEMPERATURES 5000-15000 K**

In this paper has been certain concentration of positive molecular ions H_2^+ and concentration of negative ions H^- at temperatures 5000-15000 K.