

# КИНЕТИКА ЗАСЕЛЕНИЯ ТРИПЛЕТНЫХ СОСТОЯНИЙ МОЛЕКУЛЫ ВОДОРОДА В ЭЦР РАЗРЯДЕ

## THE KINETICS OF HYDROGEN TRIPLET STATES Population in ECR DISCHARGE

Шахатов В.А., Лебедев Ю.А., \*Lacoste A., \*Bechu S.

ИНХС РАН, Россия, Москва, Ленинский пр. 29, e-mail: [shakhatov@ips.ac.ru](mailto:shakhatov@ips.ac.ru),  
[lebedev@ips.ac.ru](mailto:lebedev@ips.ac.ru)

\*LPSC, Universite Joseph Fourier Grenoble 1, CNRS/IN2P3, Grenoble INP, 53,  
Avenue des Martyrs, 38026 Grenoble, France, e-mail: [bechu@ips.in2p3.fr](mailto:bechu@ips.in2p3.fr),  
[ana.lacoste@ujf-grenoble.france](mailto:ana.lacoste@ujf-grenoble.france)

The applicability of plasma diagnostics of ECR-discharges by emission of triplet electron-excited states of hydrogen molecules was analyzed on the base of the level-to-level semi-empirical collisional-radiative model. One of the main results is that often used emission of  $d^3\Pi_u$ -state can not be applied for diagnostic of these discharges in the frame of simple coronal model.

На основе уровневой столкновительно-излучательной модели исследована возможность использования излучения триплетных состояний водорода в ЭЦР-разряде для диагностики плазмы.

Уровневая столкновительно-излучательная модель плазмы использована для анализа применимости спектральных методов диагностики ЭЦР-разрядов по излучению триплетных состояний молекулы водорода ( $N^3\Lambda_\sigma = a^3\Sigma_g^+, c^3\Pi_u, d^3\Pi_u, e^3\Sigma_u^+, f^3\Sigma_u^+, g^3\Sigma_g^+, h^3\Sigma_g^+, i^3\Pi_g, k^3\Pi_u$  и  $r^3\Pi_g$ ). В расчетах использовались экспериментальные двухтемпературные ФРЭЭ с группами «холодных» ( $T_e^c, n_e^c$ ) и «горячих» ( $T_e^h, n_e^h$ ) электронов. Исходными параметрами в модели являлись температура газа 400-600 К, давление газа  $(0.25-0.96)\times 10^{-2}$  Тор, концентрации электронов  $n_e^c = (0.13-2.3)\times 10^{10}$  см<sup>-3</sup>,  $n_e^h = (0.3-0.8)\times 10^{10}$  см<sup>-3</sup> и температуры электронов  $T_e^c = 0.6-2.0$  эВ,  $T_e^h = 2.0-6.0$  эВ при процентном содержании атомарного водорода 4.0%. Показано, что механизм заселения триплетных состояний зависит от времени пребывания газа в разряде. Время релаксации заселенностей состояний  $N^3\Lambda_\sigma$  изменяется от  $10^{-6}$  до 0.2 с. Концентрации  $H_2(N^3\Lambda_\sigma)$  принимают значения  $1.7\times 10^4-8.2\times 10^7$  см<sup>-3</sup>. Распределение заселенностей состояний  $N^3\Lambda_\sigma$  отличается от больцмановского. Показано, что вторичные процессы дают наибольший вклад в рождение и гибель состояний  $a^3\Sigma_g^+, c^3\Pi_u, d^3\Pi_u, e^3\Sigma_u^+, g^3\Sigma_g^+, h^3\Sigma_g^+, i^3\Pi_g$  и  $r^3\Pi_g$ . Состояние  $d^3\Pi_u$  нельзя использовать для диагностики разряда. Наименьший вклад вторичные процессы дают в образование и гибель состояний  $f^3\Sigma_u^+$  и  $k^3\Pi_u$ . Дипольные переходы  $f^3\Sigma_u^+ \rightarrow a^3\Sigma_g^+, g^3\Sigma_g^+$  и  $k^3\Pi_u \rightarrow a^3\Sigma_g^+$  могут применяться для диагностики плазмы. Процессы с участием  $H_2(X^1\Sigma_g^+, v=1-4)$  могут давать вклад в кинетику возбуждения триплетных состояний  $c^3\Pi_u, d^3\Pi_u, e^3\Sigma_u^+, h^3\Sigma_g^+, i^3\Pi_g$  и  $r^3\Pi_g$  при колебательных температурах основного состояния  $\sim 3000$  К.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №15-08-00070.