

## ПЛАЗМЕННОЕ ОКИСЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.А. Хан, В.Ф. Мышкин, И.А. Ушаков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: gos100@tpu.ru

Известно, что все физико-химические процессы селективны по изотопам, а магнитное поле может значительно изменить относительную химическую активность изотопов в зависимости от спина ядра. При этом, при столкновении радикалов в магнитном поле возможны 4 комбинации ориентации спинов валентных электронов. Принято считать, что доля синглетного (реакционноспособного) состояния составляет 25% [1]. Это связано с неразличимостью энергий спинов направлений  $+1/2$  или  $-1/2$  с разными фазами прецессии, например в опытах Герлаха и Штерна. Принцип неопределенности для проекций спина  $S_x$  и  $S_y$  записывается в виде  $\Delta S_x \Delta S_y \geq \hbar / 2 |\langle S_z \rangle|$ . При  $\langle S_z \rangle = \hbar / 2$  с дисперсией  $\Delta S_z = 0$  получаем  $\Delta S_x \Delta S_y \geq (\hbar / 2)^2$ . При одинаковой дисперсии проекций спина (на оси OX и OY)  $\Delta S_y \approx \Delta S_x = \hbar / 2$ , что с учетом величины спина  $|S| = \sqrt{3} / 2 \hbar$  (а поэтому  $S_x = \sqrt{2} / 2 \hbar$ ) вызывает ошибку в определении фазы прецессии спина  $\Delta \varphi \approx 30^\circ$  в магнитном поле. Поэтому можно выделить  $n = 2\pi / \Delta \varphi \approx 12$  дискретных значений фазы прецессии спина валентного электрона радикала, реализующихся при различных физико-химических процессах как «дискретные» состояния.

С учетом дискретности фазы прецессии спина одного из радикалов, можно регистрировать  $n$  синглетных состояний  $S$  при их столкновении со вторым радикалом с осесимметричным направлением спина. Триплетные состояния могут быть реализованы:  $T_0 - n(n-1)$ ;  $T_1$  и  $T_{+1} - n^2$  способами. Доля синглетных состояний, из всего возможного набора, составляет  $1/3n = 2,7\%$  а не 25%. С учетом частоты столкновений частиц в единице объема газа выражение для частоты формирования синглетного состояния при столкновении радикалов во внешнем постоянном магнитном поле

$$v_s = \frac{1}{36} \frac{\sqrt{2}}{2} \bar{v} \sigma [R1][R2], \text{ синглет/см}^3 \quad (1)$$

где  $R1, R2$  – концентрации радикалов двух типов,  $\bar{v}$  – средняя относительная скорость теплового движения,  $\sigma$  – эффективное сечение столкновения радикалов двух типов.

Уравнение химической реакции также пропорционально произведению реагентов

$$\frac{d[R1]}{dt} = v_s = k [R1][R2]. \quad (2)$$

Из сопоставления выражений (1) и (2) видно, что const химической реакции можно записать в виде  $k = (\sqrt{2} : 72) \bar{v} \sigma$ . Полученная формула для const не учитывает релаксацию избыточной энергии продуктов реакции, и соответственно вероятности их развала. Для оценки константы скорости окисления углерода в низкотемпературной плазме примем относительную скорость при 1500С  $\bar{v} \approx 3 \cdot 10^5$  см/с, а эффективное сечение столкновения  $\sigma \approx 5 \cdot 10^{-15}$  см<sup>2</sup>. В результате получаем оценку  $k \approx 3 \cdot 10^{-11}$  см<sup>6</sup>/с. Эта величина близка к экспериментальному значению ( $5 \cdot 10^{-11}$  см<sup>6</sup>/с), приведенному в базе NIST для окисления углерода.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мышкин В. Ф., Ижойкин Д. А., Ушаков И. А., Хан В. А. Моделирование изотопных эффектов в плазменных процессах, протекающих в магнитном поле // Известия вузов. Физика. - 2012 - Т. 55 - №. 11/2 - С. 348-352.