

*Письма в ЖЭТФ, том 9, стр. 683 – 685*

*20 июня 1969г.*

## ОБЛАСТЬ ВОЗМОЖНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ 2S ПОЗИТРОНИЯ В СРЕДЕ

*С.И.Урбанович*

Уже отмечалось в работе [1], что поиски возбужденных состояний позитрония (прежде всего  $2^3S_1$  с временем жизни по отношению к самоаннигиляции  $\tau_{3\gamma} = 1,1 \cdot 10^{-6}$  сек) представляют сейчас одну из наиболее актуальных проблем позитрония (Ps). Было так же указано [2], что вероятность образования возбужденных состояний позитрония  $\sim 0,5$ .

Возможность существования  $2S$  позитрония в вакууме рассматривалась в [3]. В работе [4] допускалось, что примерно  $1/30$  часть общего количества атомов Ps, находящихся в среде, пребывают в  $2S$  состояниях. Существование  $2S$  позитрония в воде предполагалось в [5]. Возможность существования  $2S$  позитрония упоминалось также в работах [6,7].

Однако область возможного существования  $2^3S_1$  и  $2^1S_0$  состояний позитрония и условия их устойчивости по отношению к конкурирующим с самоаннигиляцией процессом остаются неясными. В этой работе предпринята попытка нахождения верхней границы некоторых параметров указанной области.

С учетом внутренних полей среды рассмотрим  $2S$  позитроний. Считаем, что электрическое поле среды  $\mathcal{E}$  направлено параллельно оси  $z$  и достаточно мало по сравнению с внутренним полем самого позитрония.

Энергия взаимодействия позитрония с таким возмущающим полем  $E$  равна

$$H = e\mathcal{E}z, \quad (1)$$

где  $e$  — заряд электрона. Учитывая волновые функции  $\psi_{2s}$  и  $\psi_{2p}$  атома Ps находим матричный элемент

$$\langle 2s|z|2p \rangle = -6a, \quad (2)$$

где  $2a$  — радиус первой борновской орбиты позитрония.

В таком случае поправка первого приближения теории возмущений к невозмущенным уровням энергии будет

$$\delta E = 6e\mathcal{E}a. \quad (3)$$

При наличии поля зависящая от времени волновая функция позитрония  $\psi(t)$  представляется в виде линейной комбинации волновых функций стационарных состояний [8]. На основе теории возмущений и с учетом начальных условий  $\psi(t)$  представляется в форме

$$\psi(t) = \left\{ \psi_{2s} \cos \frac{\delta E t}{\hbar} + i\psi_{2p} \sin \frac{\delta E t}{\hbar} \right\} \exp \left\{ -\frac{i}{\hbar} E t \right\}. \quad (4)$$

Состояние позитрония, описываемое волновой функцией  $\psi(t)$  с периодом по времени  $\hbar/\delta E$  возвращается в состояние, описываемое функцией  $\psi_{2s}$ . Оценим величину поля  $\mathcal{E}$  при условии, что  $\hbar/\delta E = t_{3\gamma}$ . Используя (3), находим

$$\mathcal{E} = \frac{\hbar}{6ea\tau_{3\gamma}} \approx 0,1 / \frac{e}{\text{см}} \quad (5)$$

При  $\hbar/\delta E = \tau_{2^1S_0} \approx 1,6 \cdot 10^{-9}$  сек ( $\tau_{2^1S_0}$  — время жизни  $2^1S_0$  состояния позитрония по отношению к самоаннигиляции)  $\mathcal{E} \gg 130$  в/см.

Обычно считают, что самоаннигиляция преобладает только для  $n^1S_0$  синглетных состояний, в то время как для синглетных состояний с  $\mathcal{L} \neq 0$  преобладают радиационные переходы в основное состояние. Поскольку время жизни уровня  $2^1P_1$  по отношению к радиационным процессам (дипольным электрическим) составляет  $3,2 \cdot 10^{-9}$  сек [9],

то даже при слабых полях среды  $\xi > 130$  в/см преобладающим процессом является  $2^1S_0$  распад позитрония, находящегося в  $2^1P_1$  состоянии.

Влияние соударений на переходы из  $2S$  состояний позитрония в молекулярных кристаллах рассмотрено в [10]. Время жизни  $2S$  позитрония относительно соударений согласно [10] составляет  $\sim 10^{-14}$  сек. Непосредственной оценкой вероятности уменьшения заселенности  $2S$  состояний позитрония из-за столкновений с нейтральными молекулами газа согласно [9] можно убедиться, что при давлениях  $p < 10^{-3}$  тор вероятность самоаннигиляции  $2^3S_1$  состояния позитрония будет превосходить вероятность девозбуждения при  $p < 1$  тор; тоже будет иметь место для  $2^1S_0$ .

Следовательно, при  $p < 10^{-3}$  тор и  $\xi < 0,1$  в/см в принципе возможно существование "чистого"  $2^3S_1$  состояния позитрония. Проведение экспериментальных исследований по смещению энергетических уровней атомарного позитрония в газах (сейчас имеются экспериментальные данные только для аргона при давлениях несколько выше атмосферного и температуре  $300^\circ\text{K}$  [11]) может дать ответ на вопрос о конкретных веществах, в которых реализуется указанная величина  $\xi$ .

Благодарю В.И.Гольданского, Ф.И.Федорова, В.П.Шантаровича за плодотворные дискуссии.

Институт физики  
Академии наук Белорусской ССР

Поступило в редакцию  
21 апреля 1969 г.

### Литература

- [1] В.И.Гольданский, Физическая химия позитрона и позитрония, М., 1968.
- [2] Н.А.Власов, Антивещество, М., 1966.
- [3] A.Ore. Univ. i Bergen Arbok. Natur. rekke, № 12, 1949.
- [4] V.Hughes, S.Marder, C. Wu. Phys. Rev. 98, 1840, 1955.
- [5] H.Puillakka, Ann. Acad. Sci. Fenn. AVI, 218, 1966.
- [6] W.Dixon, L.Trainor. Phys. Rev., 97, 733, 1955.
- [7] R.Ferrell. Rev. Mod. Phys., 28, 308, 1956.
- [8] И.И.Собельман, Введение в теорию атомных спектров, М., 1963.
- [9] Г.Бете, Э.Солпитер, Квантовая механика атомов с одним и двумя электронами, М., 1960.
- [10] P. Wallace. Phys. Rev., 100, 738, 1955.
- [11] E.Theriot, R.Beers, V.Hughes. Phys. Rev. Lett., 18, 767, 1967.