

ОБРАЗОВАНИЕ ПОЗИТРОНИЯ В 1S-и 2S-СОСТОЯНИЯХ В ОКИСЛАХ

В.И.Гольданский, Б.М.Левин, А.Д.Чокрушин

Исследование аннигиляции позитронов в окислах щелочноземельных металлов показало наличие интенсивных долгоживущих компонент r_2 и r_3 во временных спектрах аннигиляции и ярко выраженной узкой компоненты в угловом распределении аннигиляционных квантов в порошкообразных BeO , MgO [1,2]. Отсюда можно заключить, что в этих окислах значительная часть позитронов образует атомы позитрония. Характеристики аннигиляции позитронов в SrO и BaO резко отличаются в этом ряду. Другие окислы ведут себя аналогично: в некоторых окислах, судя по виду временных спектров, образуется позитроний (SiO_2 , Al_2O_3 [2-4]), тогда как о большой группе окислов, исследованных методом угловой корреляции в работе [5], такого вывода сделать нельзя.

Эти интересные факты нуждаются в объяснении. В этой связи надо отметить определенную корреляцию между возможностью образования позитрония и шириной запрещенной зоны окислов. Действительно, как видно из таблицы, в тех окислах, для которых уже обнаружено интенсивное образование позитрония, ширина запрещенной зоны E_g превышает величину 6,8 эв (энергия связи основного состояния атома Ps в вакуме).

Ширина запрещенной зоны E_g и доля образования
позитрония P_{Ps} для некоторых окислов

Оксид	E_g , эв [6]	P_{Ps} , %	Оксид	E_g , эв [6]	P_{Ps} , %
BeO	10,4	16,5	PbO	2,3	*
MgO	8,7	16,0	Y_2O_5	2,1	*
CaO	7,5	4,4	La_2O_3	2,6	*
SrO	5,7	*	NiO	2,0	*
BaO	4,4	0,9 [7]	ZnO	3,3	*
SiO_2	8-11	35	CuO	1,4	*
Al_2O_3	7,0	25			

* -- интенсивное образование Ps не обнаруживается (по данным временных или корреляционных измерений).

Судя по данным, приведенным в [6], к числу окислов с $E_g > 6,8$ эв, сверх перечисленных в таблице относится B_2O_3 ($E_g = 9,0$ эв). Поэтому представлялось весьма интересным измерение характеристик анни-

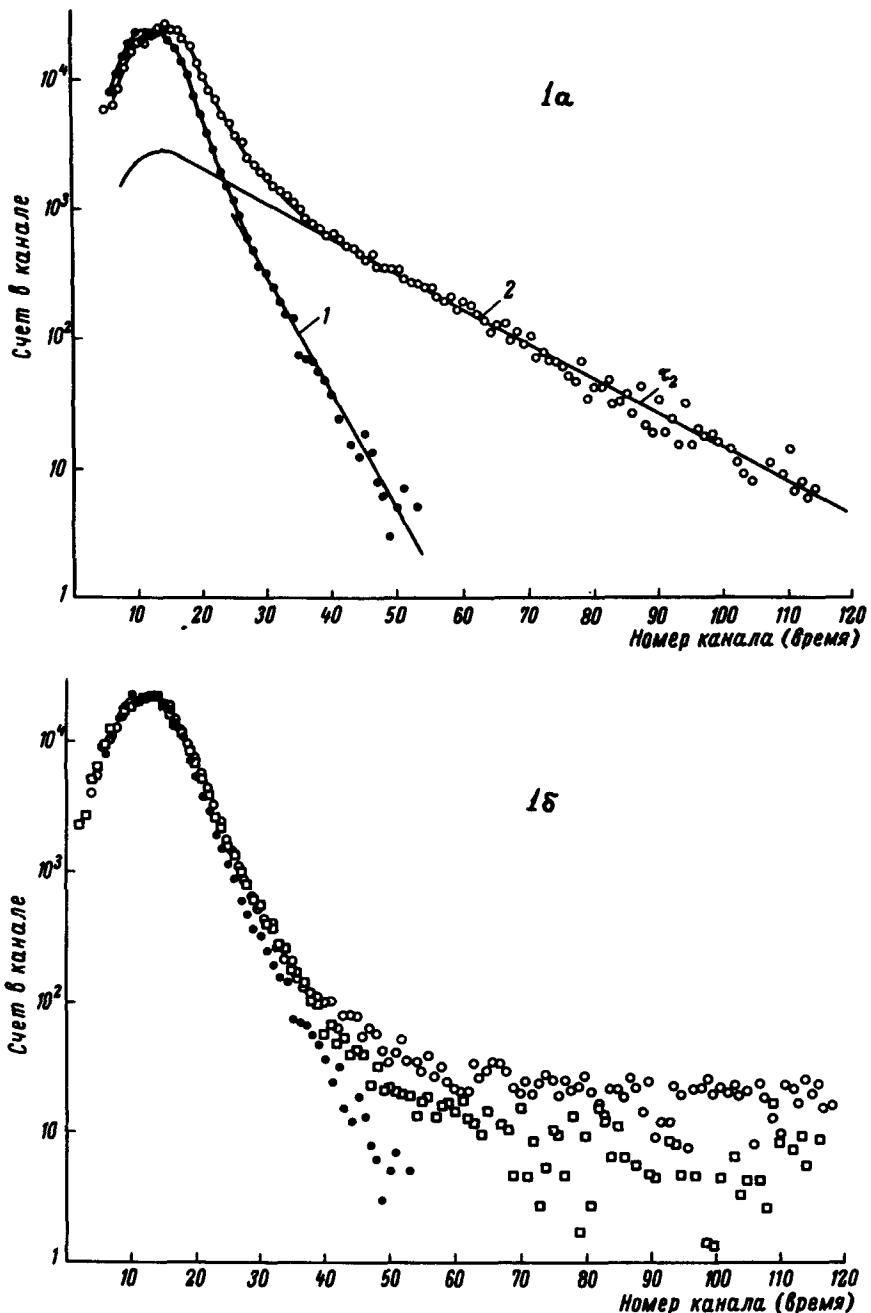


Рис. 1. Временные спектры аннигиляции позитронов в окислах (фон случайных совпадений исключен; цена канала $h = 1,04 \times 10^{-10}$ сек): а — 1 — HgO (ч), 2 — B_2O_3 (осч); $\tau_2 = 1,7 \pm 0,1 \times 10^{-9}$ сек, $\tau_2 = 1.8 \pm 2\%$; б — ● — HgO (ч), □ — La_2O_3 (ч), ○ — Sb_2O_3 (ч)

гиляции позитронов в этом окисле. Нами был измерен спектр времени жизни позитронов в измельченном порошке B_2O_3 (квалификации "особой чистоты") на установке с временным разрешением 1,0 мсек и в диапазоне до 10 мсек. Полученный временной спектр показал наличие интенсивной долгоживущей компоненты со значением $\tau_2 = 1,7 \cdot 10^{-9}$ сек (см. рис. 1, а). Отсюда следует, что в B_2O_3 в соответствии с отмеченной выше корреляцией образуется позитроний. С другой стороны, в исследованной нами окиси ртути, имеющей узкую запрещенную зону ($E_g = 1,0 + 1,2$ эв), долгоживущая компонента τ_2 не обнаружена (рис. 1). Таким образом, все исследованные до сих пор окислы не противоречат указанной корреляции. По-видимому, эта корреляция не случайна. С точки зрения зонной теории существование термализованного атома позитрония возможно лишь в тех окислах, для которых энергетический уровень позитрония попадает в пределы запрещенной зоны (рис. 2), поскольку позитроний следует рассматривать как примесный

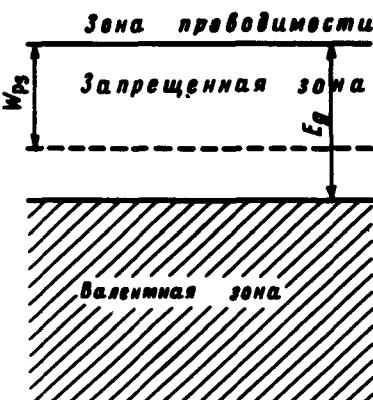


Рис. 2 Энергетическая схема образования термализованного позитрония в окислах

атом, а его энергетический уровень находится в запрещенной зоне на глубине W_{ps} от дна зоны проводимости. Энергия связи W_{ps} электрона и позитрона в атоме Ps в 1S-состоянии в окислах может и отличаться от 6,8 эв за счет поляризующего действия среды. Кинетическая энергия атома Ps в окисле не может превышать величину $W_{ps} = (6,8 - \Delta)$ эв (Δ – поправка за счет поляризующего действия среды), так как в противном случае он будет диссоциировать на электрон и позитрон при столкновениях с атомами решетки. Следовательно, критерий образования позитрония может быть записан так:

$$W_{ps} \geq E_{e^+} + 2W_{ps} - E_g \geq 0 , \quad (1)$$

где E_{e^+} – кинетическая энергия позитрона.

В первом приближении будем считать $\Delta = 0$. Тогда критерий (1) для термализованных позитронов будет иметь вид

$$6,8 \text{ эв} \leq E_g \leq 13,6 \text{ эв} \quad (2)$$

для образования позитрония в $1S$ -состоянии. Аналогично

$$1,7 \text{ эв} \leq E_g \leq 3,4 \text{ эв} \quad (3)$$

для образования позитрония в $2S$ -состоянии.

Отсюда следует, что окислы с шириной запрещенной зоны больше $1,7 \text{ эв}$ могут служить объектом для поиска атомов Ps в $2S$ -состоянии. При этом необходимо иметь в виду, что если даже возбужденные атомы Ps образуются в конденсированной фазе, их экспериментальное наблюдение затруднено, так как в результате столкновений с атомами среды происходит дезактивация $(2S)\text{Ps}$ за время порядка 10^{-14} сек [8]. Лишь в газах при давлении менее $10^{-3} \text{ мм рт.ст.}$, как показано в [9], время дезактивации $(2S)\text{Ps}$ становится больше собственного времени жизни $\tau_{2^3S_1}$. В этом смысле исключительно удобным объектом для поисков возбужденных атомов Ps являются мелкодисперсные порошкообразные окислы, поскольку образующиеся на поверхности или в приповерхностном слое (толщиной $\sim 10\text{\AA}$) атомы $(2^3S_1)\text{Ps}$ имеют возможность выйти в свободный объем между частицами окисла. Не исключено, что вышедшие в свободный объем атомы $(2^3S_1)\text{Ps}$ будут аннигилировать с большим временем жизни, возможным верхним пределом которого является собственное время жизни $\tau_{2^3S_1} = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$. В пользу такого предположения свидетельствуют недавние наблюдения распада $(1^3S_1)\text{Ps}$ в порошкообразных окислах (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO) с собственным временем жизни $\tau_{1^3S_1} = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ сек}$ [3, 4]. Можно ожидать обнаружения атомов $2S$ -позитрония при измерениях временных спектров аннигиляции позитронов (в диапазоне времен до 10 миксек) в обезгаженных образцах порошкообразных окислов, имеющих ширину запрещенной зоны более $1,7 \text{ эв}$.

Полученные нами данные о временных спектрах аннигиляции позитронов в некоторых окислах косвенно свидетельствуют об образовании $(2S)\text{Ps}$. На рис. 1, б сравниваются спектры аннигиляции позитронов в порошкообразных HgO , La_2O_3 и Sb_2O_5 . Видно, что в HgO , La_2O_3 , Sb_2O_5 отсутствует интенсивная τ_2 — компонента. Это находится в соответствии с вышеизложенным положением о том, что $(1S)\text{Ps}$ не образуется в окислах с шириной запрещенной зоны $E_g < 6,8 \text{ эв}$ (для HgO , La_2O_3 и Sb_2O_5 E_g составляет соответственно $1,0 - 1,2$, $2,6$ и $4,2 \text{ эв}$ [6]). При-

мечательной особенностью рис. 1, б является превышение скорости счета задержанных совпадений в области больших времен для La_2O_3 и Sb_2O_3 , по сравнению с HgO . Не исключено, что это превышение обусловлено наличием весьма долгоживущей компоненты (воспринимаемой в нашем случае как постоянное плато), связанной с образованием 25 позитрония ($E_g > 1,7 \text{ эв}$), тогда как в HgO $E_g \leq 1,2 \text{ эв}$ и позитроний, по-видимому, вообще не образуется.

Предварительный анализ показывает, что изложенные здесь соображения относительно возможности образования позитрония могут быть применены и к другим веществам (полупроводники, полимеры, молекулярные кристаллы).

Институт химической физики

Академии наук СССР

Поступила в редакцию

28 ноября 1969 г.

Литература

- [1] R.Paulin, G.Ambrosino. *Compt. Rend.*, 260, 6591, 1965.
- [2] Г.М.Бертенев, А.З.Варисов, В.И.Гольданский, Б.М.Левин, А.Д.Мокрушин, А.Д.Цыганов. ФТТ, 11, вып. 11, 1969.
- [3] R.Paulin, G.Ambrosino. *J. de Physique*, 29, 263, 1968.
- [4] P.Sen, A.P.Patro. *Phys. Lett.*, 28A, 414, 1968.
- [5] А.Д.Цыганов, А.З.Варисов, А.Д.Мокрушин, Е.П.Прокопьев. ФТТ, 11, 2079, 1969.
- [6] О.В.Крылов. Катализ неметаллами. Л., Изд. Химия, 1967. стр. 32.
- [7] C.Bussolati, L.Zappa. *Phys. Rev.*, 136, A657, 1964.
- [8] P.R.Wallace. *Phys. Rev.*, 100, 738, 1955.
- [9] С.И.Урбанович. Письма в ЖЭТФ, 9, 699, 1969.