

РАДИАЦИОННЫЕ ВРЕМЕНА ЖИЗНИ
ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ИОНА ЦЕЗИЯ

А. Л. Ошерович и А. Я. Николаич

В пересекающихся атомном и электронном пучках многоканальным методом задержанных совпадений впервые выполнены измерения радиационных времен жизни $6r [^{1/2}]_1$, $6r [^{5/2}]_3$ и $6r [^{3/2}]_2$ состояний иона цезия.

В настоящее время цезий является объектом всестороннего изучения, так как он находит широкое применение во многих перспективных направлениях науки и техники, таких как физика плазмы, квантовая электроника, энергетика и др. Однако в литературе отсутствуют данные о радиационных временах жизни возбужденных состояний (τ) иона цезия, нет также данных как экспериментальных, так и расчетных о силах осцилляторов или связанных с ними вероятностях спонтанных переходов, которые позволили бы произвести оценки τ Cs II. Все это побудило нас к проведению исследований иона цезия.

Измерения радиационных времен жизни иона цезия проводились многоканальным методом задержанных совпадений в пересекающихся атомном и электронном пучках на цельнометаллической прогреваемой установке, принципиальная блок-схема которой описана в наших ранних работах [1, 2].

В электронной части установки для преобразования сигналов ФЭУ использовались: широкополосный усилитель 2ЛУ-100, формирователь импульсов 2Ф-100 и преобразователь «время—амплитуда» ВАК-100 [3], а также многоканальный амплитудный анализатор АН-256-6.

Линейность системы временного анализа определялась путем набора статистически независимых во времени импульсов. Дифференциальная нелинейность составляла 2%, а интегральная на рабочих диапазонах была менее 1%. Путем регистрации световых вспышек ртутного реле длительностью ~ 0.7 нс производилось определение временного разрешения системы. Оно равнялось 2 нс.

Камера, в которой происходило возбуждение ионов цезия, схематически изображенная на рис. 1, имела толщину стенки корпуса 1 12 мм. Она содержала источник нейтральных атомов, источник электронов, азотную ловушку, датчики измерения давления и окно наблюдения, которые монтировались на отдельных фланцах, крепившихся с помощью медных уплотнителей 2. Источник атомов состоял из остова 3 с первой и второй горячими щелями 4, 5, конусообразного притертого тигля 6, вольфрамовых нагревателей с бифилярной обмоткой тигля 7 и горячих щелей 8, тепловых экранов 9, 10, охлаждаемого теплового экрана 11 с холодной щелью 12, системы охлаждения 13 и ампулы с исследуемым веществом 14. Положение источника на несущем фланце 15 фиксировалось крепежными винтами 16, на этом же фланце находилось устройство дистанционного вскрытия ампул 17. Атомный пучок 18 конденсировался на ловушке 19 с улавливателями 20. Формирование электронного пучка 21 осуществлялось электронной пушкой 22, расположенной на сильфонном

фланце 23. С помощью винтов настройки 24 могла производиться дополнительная юстировка пучков. На фланце 23 помещался коаксиальный ввод 25, служащий для подачи импульсов с генератора. Питание источников и регистрация показаний дифференциальных термопар 26 осуществлялись через вводы с керамической изоляцией 27. Излучение возбужденных ионов выходило через сапфировое окно 28. Камера возбуждения откачивалась через подтрубки 29, 30.

Типичные размеры щелей источника и расстояния между ними составляли: $s_1 = (0.1 \div 0.2) \cdot 6.0$, $s_2 = (1.5 \div 2.0) \cdot 7.0$, $s_3 = 4.0 \cdot 7.6$ мм²; $l_{s_1, s_2} = 15$ и $l_{s_2, s_3} = 10$ мм.

При такой конструкции источника прямоугольное сечение атомного пучка в области взаимодействия с электронами определялось по ширине

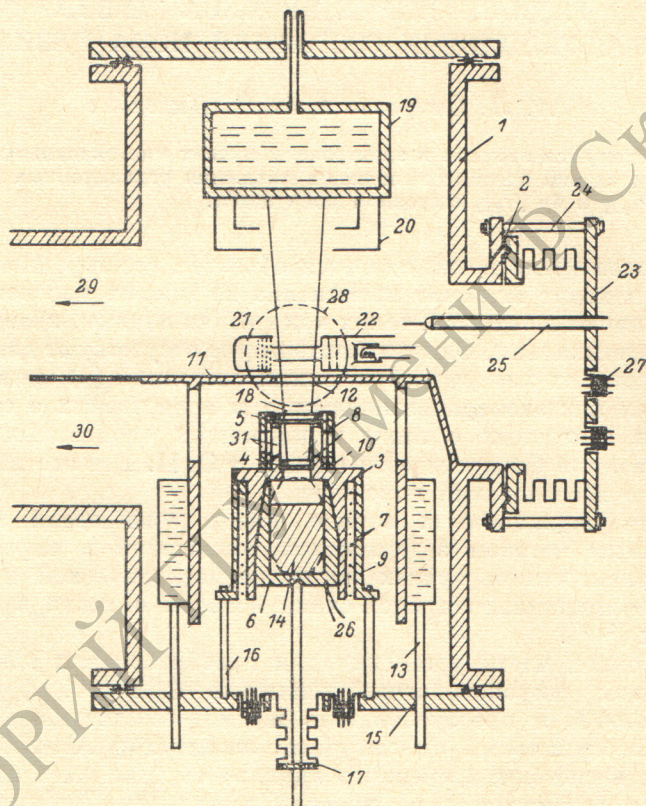


Рис. 1.

первой и второй коллимирующими щелями, а по длине — первой и третьей.

Схема электронной пушки, ее типичные геометрические размеры и блок-схема питания представлены на рис. 2. В качестве источника электронов использовался импрегнированный катод диаметром 6.2 мм, отличающийся большой эмиссией и долговечностью работы. Рабочая температура катода выбиралась ниже номинальной (для уменьшения засветки ФЭУ) и составляла $900 \div 950^\circ$ С. Электронная пушка имела фокусирующий электрод, потенциал которого был равен потенциалу катода. Вместе с первым ускоряющим электродом C_1 катодный узел образовывал область начального формирования электронного потока. Подача на C_1 вытягивающего потенциала до 200 В обеспечивала эффективный сбор электронов. Потенциал второй сетки C_2 являлся замедляющим, его величина подбиралась по максимуму тока на коллектор электронов А. На диафрагму C_3 , покрытую сеткой, прикладывалось постоянное запирающее напряжение. Сюда же через коаксиальный ввод поступали положительные импульсы с генератора, открывающие систему. Напряжение,

определяющее энергию возбуждающих электронов, подавалось на сетку C_4 , образующую с коллектором эквипотенциальное пространство, в котором происходило возбуждение атомного пучка.

Оптическая система установки из-за малой интенсивности исследуемых переходов должна была обеспечить эффективный сбор излучения из области взаимодействия пучков и иметь малый уровень посторонней засветки. Область возбуждения проектировалась конденсорной системой на входную щель монохроматора МДР-2 с относительным отверстием $1 \div 2.5$. Излучение регистрировалось фотоэлектронным умножителем (ФЭУ-106), работающим в режиме счета фотонов.

Были исследованы времена жизни $6p [^{1/2}]_1$, $6p [^{5/2}]_3$ и $6p [^{3/2}]_2$ состояний иона цезия с энергиями возбуждения соответственно 15.68, 16.01 и 16.21 эВ.

В экспериментах использовался спектрально чистый цезий. Рабочее вещество помещалось в тигль в запаянных стеклянных ампулах, которые вскрывались лишь после того, как высоковакуумная часть установки и сам источник тщательно обезгаживались. Отсутствие примесей проверялось снятием спектрограмм при постоянном возбуждении.

Все измерения выполнялись в условиях однократности столкновений. Контроль линейной зависимости интенсивности изучаемых переходов от плотности атомов и силы тока электронного пучка производился для всех уровней.

Концентрация атомов в области пересечения пучков изменялась от 10^{10} до $4 \cdot 10^{11}$ ат/см³, что не влияло на получаемые времена жизни. Это позволяло утверждать, что при данных условиях влиянием тушащих столкновений пренебрежимо мало.

Плотность тока электронного пучка достигала $1.6 \div 2.1 \cdot 10^{-2}$ А/см², при токе на коллектор источника электронов ~ 1.5 мА. Энергия возбуждающих электронов составляла $18 \div 24$ эВ. Длительность импульсов возбуждения менялась от 10 до 20 нс, а частота следования от 1.4 до 20 МГц.

В рабочих условиях давление остаточных газов в камере возбуждения откачиваемой магнеторазрядным насосом сохранялось в пределах $2 \div 4 \cdot 10^{-8}$ тор.

Времена жизни $6p [^{1/2}]_1$ и $6p [^{3/2}]_2$ состояний иона цезия определялись соответственно по переходам $6s [^{3/2}]_2^0 - 6p [^{1/2}]_1$ (λ 5227.00 Å) и $5d [^{5/2}]_2^0 - 6p [^{3/2}]_2$ (λ 5563.02 Å). Измерение τ уровня $6p [^{5/2}]_3$ производилось путем регистрации двух переходов с этого уровня: $6s [^{3/2}]_2^0 - 6p [^{5/2}]_3$ (λ 4603.76 Å) и $5d [^{7/2}]_4^0 - 6p [^{5/2}]_3$ (λ 5925.65 Å).

Среднее значение времени жизни находилось из серии измерений по формуле для средневзвешенного

$$\tau_{\text{ср.}} = \frac{\sum_i^n g_i \tau_i}{\sum_i^n g_i}, \quad (1)$$

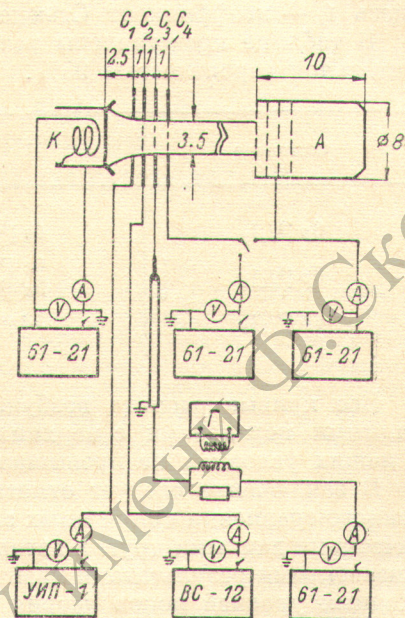


Рис. 2.

где $g_i = \sigma_0^2 / \sigma_i^2$ — вес i -го измерения (σ_0 — произвольное положительное число, σ_i^2 — дисперсия времени жизни при i -м измерении). Среднеквадратичная ошибка определялась как

$$\sigma_\tau = t_s \sqrt{\frac{\sum_i^n g_i (\bar{\tau} - \tau_i)^2}{(n-1) \sum_i^n g_i}}, \quad (2)$$

здесь t_s — коэффициент Стьюдента.

В таблице представлены результаты проделанных измерений с доверительной вероятностью 95%.

Состояние	Переход	Наши данные, нс
$6p [^1/2]_1$	$6s [^3/2]_2 - 6p [^1/2]_1$	9.2 ± 0.3
$6p [^5/2]_3$	$6s [^3/2]_2 - 6p [^5/2]_3$	8.9 ± 0.5
$6p [^3/2]_2$	$5d [^7/2]_4 - 6p [^5/2]_3$	8.5 ± 0.2
	$5d [^5/2]_2 - 6p [^3/2]_2$	

Все кривые распада возбужденных переходов были отягощены каскадными переходами с верхних состояний. Доля каскадного заселения в наших условиях не превышала 8%.

В заключение следует отметить, что несмотря на то что непосредственного сравнения полученных значений τ с экспериментальными и теоретическими данными других авторов мы провести не можем, сопоставление с известными результатами квантовомеханических расчетов времен жизни сходных уровней ионов натрия [4] и калия [5] дает хорошее согласие.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность П. Ф. Груздеву за обсуждение результатов.

Литература

- [1] А. Л. Ошерович, М. Л. Бурштейн, Я. Ф. Веролайн, А. Я. Николаич. ПТЭ, № 6, 240, 1975.
- [2] А. Я. Николаич, А. Л. Ошерович. Вестн. ЛГУ, № 10, 44, 1976.
- [3] В. А. Арефьев, С. Г. Василадзе. Препринт ОИЯИ, 13-5447, Дубна, 1970.
- [4] П. Ф. Груздев, А. В. Логинов. Опт. и спектр., 34, 612, 1973.
- [5] А. В. Логинов, П. Ф. Груздев. Опт. и спектр., 35, 994, 1973.

Поступило в Редакцию 4 июля 1978 г.