

УДК 539.184

ВРЕМЕНА ЖИЗНИ УРОВНЕЙ $^3P_1^0$ Yb I И $^2P_{3/2}^0, ^1/2$ Yb II

М. Л. Бурштейн, Я. Ф. Веролайнен,
В. А. Комаровский, А. Л. Ошерович и Н. П. Пенкин

Методом задержанных совпадений измерены времена жизни уровней $6s6p\ ^3P_1^0$ Yb I ($\tau_{^3P_1^0} = 850 \pm 80$ нсек.), $6p\ ^2P_{1/2}^0$ Yb II ($\tau_{^2P_{1/2}^0} = 8.9 \pm 0.5$ нсек.) и $6p\ ^2P_{3/2}^0$ Yb II ($\tau_{^2P_{3/2}^0} = 7.3 \pm 0.6$ нсек.). Из наблюдений каскадного заселения уровня $6p\ ^2P_{3/2}^0$ Yb II сделана оценка времени жизни уровня $7s\ ^2S_{1/2}$ Yb II ($\tau_{^2S_{1/2}} = 30$ нсек.).

В настоящей работе методом задержанных совпадений [1] измерены времена жизни уровней $6s6p\ ^3P_1^0$ Yb I и $6p\ ^2P_{3/2}^0, ^1/2}$ Yb II. На рис. 1 представлена схема нижних энергетических уровней Yb I и Yb II.

Работа была поставлена с целью проверки независимым методом результатов измерений сил осцилляторов спектральных линий Yb I, выпол-

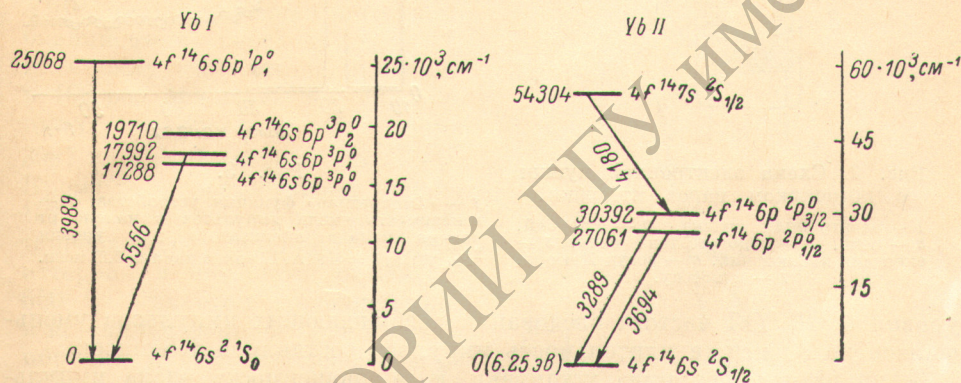


Рис. 1. Схема нижних энергетических уровней Yb I и Yb II.

ненных комбинированным методом аномальной дисперсии и полного поглощения [2] и времени жизни уровня $^3P_1^0$ Yb I, полученного методом пересечения уровней различными авторами [3-5], так как имелись расхождения в этих данных. Кроме того, предполагалось получить новые данные по временам жизни некоторых уровней Yb II.

В измерительной установке использовался эффузионный источник атомов иттербия, которые возбуждались электронным пучком. Расположение камеры возбуждения, источника паров иттербия и электронной пушки представлено на рис. 2. Максимальная температура внутри эффузионного источника достигала 650°C , что соответствует давлению пара 10^{-1} тор [6]. При измерениях камера возбуждения непрерывно откачивалась диффузионным насосом.

Для исключения влияния на точность измерений нестабильности источника атомов нами был использован многоканальный метод задержанных совпадений.

Спектральные линии Yb I и Yb II выделялись с помощью монохроматора ЗМР-3 и регистрировались временным фотоумножителем ФЭУ-77.

Сигнал с выхода ФЭУ через усилитель и формирователь поступал на вход преобразователя «время—амплитуда», собранного по схеме, описанной в [7]. Преобразователь «время—амплитуда» имел диапазоны 150, 400, 800 нсек. и 1.5, 6 мсек. Накопление и запись информации производились на амплитудных анализаторах АИ-100 и АИ-256.

Нами исследовались параметры измерительной установки. Было определено, что разрешающее время установки не хуже 2 нсек., дифференциальная нелинейность $\pm 2\%$, интегральная нелинейность на диапазонах до 1.5 мсек. составляла 1%, на диапазоне 6 мсек. — 4%.

При измерении времени жизни ионных уровней иттербия частота следования возбуждающих импульсов не превышала 500 кГц при длительности импульса от 10 до 60 нсек. При измерении времени жизни

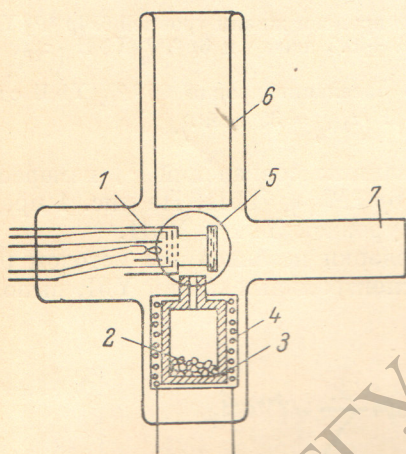


Рис. 2. Схема электронной пушки с источником паров иттербия.

1 — электронная пушка, 2 — иттербий, 3 — печь, 4 — подогреватель печи, 5 — окно для наблюдений, 6 — сосуд Дьюара, 7 — к насосу.

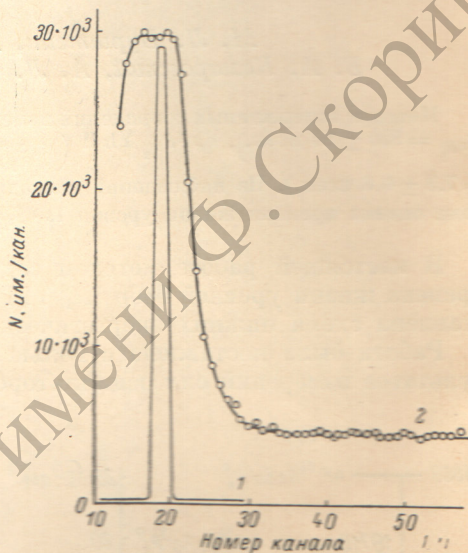


Рис. 3.

1 — «Аппаратная» функция устройства, 2 — зависимость числа импульсов в канале от номера канала анализатора для уровня $2P_{3/2} Yb II$, $\lambda = 3289 \text{ \AA}$. Ширина канала 3.27 нсек.

уровня $6^3P_{3/2} Yb I$ частота следования возбуждающих импульсов уменьшалась до 30 кГц, а длительность импульса составляла 1.5 мсек.

«Аппаратная функция» установки, т. е. зависимость числа импульсов в канале анализатора от номера канала при регистрации коротких импульсов света (длительностью 4 нсек.) от светодиода, представлена на рис. 3. Для сравнения на этом же рисунке изображена экспериментальная кривая распада уровня $2P_{3/2} Yb II$. Сопоставление двух кривых рис. 3 показывает, что при обработке результатов измерений нет необходимости вводить поправки на «аппаратную функцию» устройства. До начала измерений в режиме постоянного возбуждения фотоэлектрически регистрировался спектр свечения иттербия. Это позволило выбрать режим работы электронной пушки, при котором получается наибольшее отношение сигнала к шуму. Регистрация спектра свечения иттербия показала отсутствие примесей в исследуемом образце.

На рис. 4 и 5 представлены типичные кривые распада двух исследуемых уровней $Yb I$ и $Yb II$. Каждая кривая изображает зависимость логарифма числа импульсов в канале от номера канала амплитудного анализатора. При наших измерениях энергия возбуждающих электронов изменялась в пределах от 27 до 65 эв. В этом случае исследуемые уровни $Yb I$ и $Yb II$, кроме прямого электронного возбуждения, могут заселяться каскадными переходами с верхних уровней. Если искажающими процессами в рабочем объеме камеры возбуждения, такими как пленение

излучения и удары второго рода, можно пренебречь, то, используя методику, описанную в работе [8], мы получаем информацию о радиационных

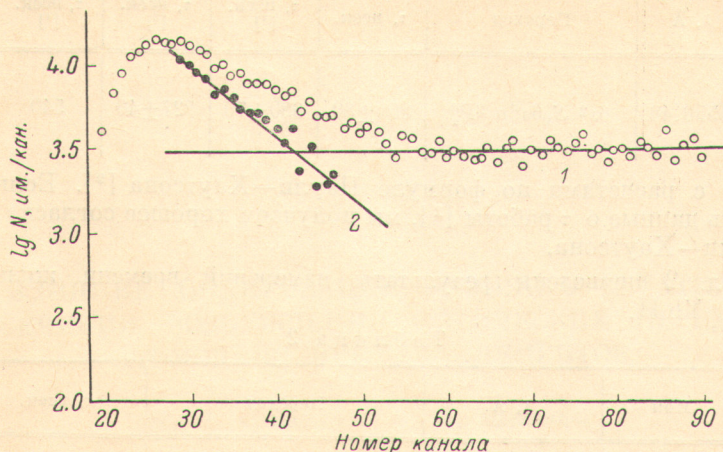


Рис. 4.

1 — зависимость логарифма числа импульсов в канале от номера канала анализатора для уровня $6^3P_1^0 \text{ Yb I}$, $\lambda = 5556 \text{ \AA}$; 2 — то же, после вычета долгоживущей компоненты. Ширина канала 62.3 нсек.

времена жизни исследуемых уровней. Наше предположение, что пленение излучения в условиях данного эксперимента не искажает результаты измерений, основано на том, что спектральная линия $5556 \text{ \AA}$ Yb I , соответствующая интеркомбинационному переходу $^1S_0 - ^3P_1^0$, имеет силу осциллятора, примерно в 100 раз меньшую, чем сила осциллятора резонансной линии $3987.98 \text{ \AA}$ Yb I (переход $^1S_0 - ^1P_1^0$). Кроме того, время жизни уровня $^3P_1^0$ измерялось при различных температурах источника паров иттербия в интервале от 500 до 650° C . При этом давление паров в источнике менялось на полтора порядка. В этом интервале мы не обнаружили зависимости $\tau_{3P_1^0} \text{ Yb I}$ от температуры источника паров иттербия.

Результат наших измерений $\tau_{3P_1^0} \text{ Yb I}$ представлен в табл. 1. Там же для сравнения приведены данные о времени жизни уровня $^3P_1^0$, полученные другими методами [2-5].

Из табл. 1 следует, что наш результат измерения $\tau_{3P_1^0} \text{ Yb I}$ хорошо совпадает с данными работы [2]. Данные работ [3, 5], авторы которых для определения $\tau_{3P_1^0} \text{ Yb I}$ использовали метод пересечения уровней, также согласуются с нашим результатом. Единственным исключением является расхождение наших данных с ранними результатами Будика и Стира [4]. Данные последних мы считаем несколько заниженными. Справедливость этого утверждения следует из наших оценок отношения $\tau_{1P_1^0}/\tau_{3P_1^0} \text{ Yb I}$. Это отношение при использовании данных работы [4] не со-

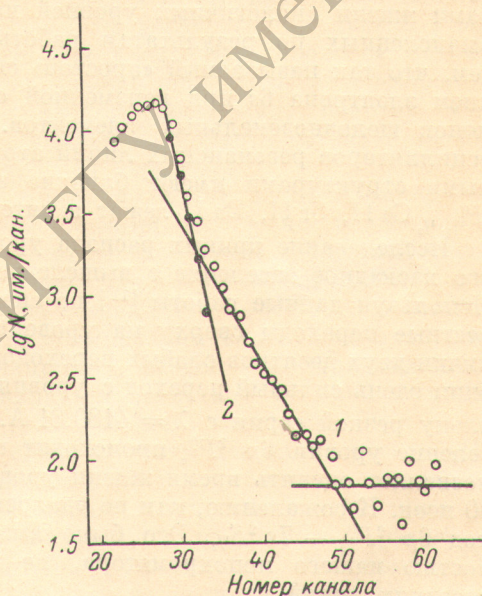


Рис. 5.

1 — зависимость логарифма числа импульсов в канале от номера канала анализатора для распада уровня $6^2P_{3/2}^0 \text{ Yb II}$, $\lambda = 3289 \text{ \AA}$; 2 — то же после учета каскадного заселения. Ширина канала 4.1 нсек.

Таблица 1

Атом	λ , Å	Переход	τ , нсек.	τ , нсек. [⁹]	τ , нсек. [⁹]	τ , нсек. [⁹]	τ , нсек. [⁹]
YbI	5556.48	$6s^2 S_0 6s6p \ ^3P_1^0$	850 ± 80	980 ± 70	827 ± 40	540	760 ± 80

гласуется с расчетами по формуле Паули—Хаутсона [⁹]. Если же использовать данные о τ работы [²], мы получаем хорошее согласие с формулой Паули—Хаутсона.

В табл. 2 приведены результаты измерений времени жизни уровней $^2P_{3/2, 1/2}^0$ Yb II.

Таблица 2

Ион	λ , Å	Переход	τ , нсек.
YbII	3289.37	$6s \ ^2S_{1/2} - 6p \ ^2P_{3/2}^0$	7.3 ± 0.6
	3694.19	$6s \ ^2S_{1/2} - 6p \ ^2P_{1/2}^0$	8.9 ± 0.5

Так как в литературе отсутствуют данные о временах жизни этих уровней, мы провели качественное сравнение наших результатов с временами жизни аналогичных уровней ионов щелочноземельных элементов, вычисленных по результатам работы [¹⁰]. Такое сравнение оправдано тем, что так называемый «простой» спектр YbII, связанный с возбуждением электрона $6s$ при неизменной оболочке $4f^{14}$, аналогичен спектрам ионов щелочноземельных элементов. Кроме того, известно, что силы осцилляторов резонансных линий атомов и ионов с подобными электронными структурами имеют близкие значения. Времена жизни уровней $^2P_{3/2, 1/2}^0$ Ca II, Sr II, Ba II лежат в интервале от 5 до 11 нсек.

Исследование кривых распада уровня $^2P_{3/2}^0$ YbII позволило выделить его каскадное заселение с вышележащих более долгоживущих уровней. Используя данные работы [¹¹] по спектру YbII, мы рассмотрели все известные переходы сверху на уровень $6p \ ^2P_{3/2}^0$. Оказалось, что при наличии двух десятков слабых переходов на уровень $6p \ ^2P_{3/2}^0$, имеется лишь один очень сильный переход с уровня $7s \ ^2S_{1/2}$, соответствующий первому члену резкой серии с $\lambda = 4180.81$ Å. Поэтому, очевидно, каскадное заселение уровня $6p \ ^2P_{3/2}^0$ происходит в основном с уровня $7s \ ^2S_{1/2}$, что позволяет оценить время жизни уровня $7s \ ^2S_{1/2}$; оно оказалось равным 30 нсек. К сожалению, нам не удалось непосредственно исследовать переход $6p \ ^2P_{3/2}^0 - 7s \ ^2S_{1/2}$. Это было вызвано малой разрешающей способностью нашего монохроматора, не позволяющей исключить влияние соседних линий.

Литература

- [1] А. Л. Ошерович. Автореф. докт. дисс., ЛГУ, 1967.
- [2] В. А. Комаровский, Н. П. Пенкин. Опт. и спектр., 26, 882, 1969.
- [3] M. Baumann, G. Wandel. Phys. Lett., 22, 283, 1966.
- [4] B. Budick, J. Snig. Bull. Am. Phys. Soc. 11, 186, 1967.
- [5] B. Budick, J. Snig. Phys. Rev., 1, 545, 1970.
- [6] Ан. Н. Несмеянов. Давление пара химических элементов. М., 1961.
- [7] Ю. Г. Будяшев, В. Г. Зинов. ПТЭ, в. 4, 102, 1968.
- [8] А. Л. Ошерович, Г. П. Анисимова, М. Л. Бурштейн, Я. Ф. Веролайнен, Я. Сигети, Е. А. Ледовская. Опт. и спектр., 30, 793, 1971.
- [9] А. Митчел, М. Земанский. Резонансное излучение и возбужденные атомы. ОНТИ, М.—Л., 1937.
- [10] Н. П. Пенкин. Спектроскопия газоразрядной плазмы. Л., 1970.
- [11] W. F. Meggers. J. Research Nat. Bur. Std., 71A, 396, 1967.

Поступило в Редакцию 8 января 1973 г.