

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ВРЕМЕН ЖИЗНИ  
 ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ Zn I И Zn II

А. Л. Ошерович, Я. Ф. Веролайнен и В. И. Привалов

Многоканальным методом задержанных совпадений измерены радиационные времена жизни  $n^1S$  ( $n=6-8$ ),  $n^3S$  ( $n=5-7$ ),  $n^3P$  ( $n=6-8$ ),  $n^3D$  ( $n=4-7$ ) состояний Zn I и  $n^2D_{3/2}$  ( $n=5-7$ ),  $4^2F_{5/2}$ ,  $4s^2^2D_{3/2}$  и  $4s^2^2D_{5/2}$  состояний Zn II.

Показано, что для  $n^1S$ -,  $n^3S$ -,  $n^3P$ - и  $n^3D$ -серий времена жизни подчиняются степенной зависимости типа  $\tau = Cn^{\alpha}$  приведены значения постоянных  $C$  и  $\alpha$  для этих серий. Выявлена корреляция в ходе зависимостей времен жизни  $\tau$  и эффективного орбитального параметра  $q$  для уровней исследованных спектральных серий. Предложено использовать полученные экспериментальные зависимости для  $^1S$ - и  $^3P$ -уровней для оценки времен жизни верхних неисследованных уровней.

Настоящая работа является развитием более ранней работы авторов [1], посвященной исследованию времен жизни возбужденных состояний атома цинка. Измерения велись на более совершенной установке [2] с пересекающимися атомным и электронным пучками и многоканальной записью кривой распада возбужденного состояния. При многоканальном варианте метода задержанных совпадений (МЗС) нет необходимости заботиться о стабильности источника излучения, что дает возможность увеличить время накопления информации и тем самым исследовать уровни, переходы с которых менее интенсивны. Таким образом, нам удалось увеличить число исследованных состояний по сравнению с предыдущей работой. Это в свою очередь позволило получить зависимости изменения времен жизни с изменением главного квантового числа уровня внутри спектральной серии.

Методика измерений и обработки кривых распада возбужденных состояний была аналогична той, которая применялась нами при исследовании возбужденных состояний ртути [3].

 Таблица 1  
 Радиационные времена жизни синглетных уровней Zn I (в нс)

Уровень	Эксперимент				Теория [7]	
	настоящая работа	МЗС		МР		Ханле
		[1]	[4]	[6]		[6]
$6^1S_0$	$117 \pm 12$	$157 \pm 12$	$103 \pm 3$		$78.7$	
$7^1S_0$	$242 \pm 22$				$167$	
$8^1S_0$	$475 \pm 48$				$299$	
$4^1D_2$	$21.6 \pm 0.5$	$23.6 \pm 2.0$	$21.1 \pm 0.4$	$285 \pm 14$	$21.9 \pm 0.7$	
$5^1D_2$	$84 \pm 6$	$79.1 \pm 8.0$	$89 \pm 4$	$82.9 \pm 3$		
$6^1D_2$	$196 \pm 15$			$129 \pm 3$		

В табл. 1 представлены результаты наших измерений радиационных времен жизни синглетных состояний атома цинка. Доверительные интер-

валы данных настоящей работы, приведенных в табл. 1—3, даются с надежностью 95%.

Для сравнения приведены результаты других авторов. Следует отметить, что результаты настоящей работы для уровней  $4^1D_2$  и  $5^1D_2$  хорошо совпадают с данными нашей предыдущей работы [1], а также с данными работы [4] (выполненной методом электрон-фотонных совпадений) и работы [6] (выполненной методом Ханле). Для уровня  $6^1S_0$  наблюдается хорошее совпадение результата настоящей работы с результатом работы [4] и заметное расхождение с результатом нашей предыдущей работы, выполненной одноканальным методом задержанных совпадений. Обращает на себя внимание результат работы [5], выполненной методом магнитного резонанса (МР), для  $4^1D_2$ -уровня. Сравнение всех результатов экспериментального измерения времени жизни уровня  $4^1D_2$  приводит к выводу, что значение в 285 нс в [5] явно ошибочно. Сравнение с теоретическими значениями времен жизни  $n^1S_0$ -уровней, полученными из рассчитанных в работе [7] сил осцилляторов, показывает значительное расхождение с экспериментальными и это расхождение увеличивается с увеличением главного квантового числа.

Таблица 2  
Радиационные времена жизни триплетных состояний Zn I (в нс)

Уровень	Эксперимент					Теория		
	МЗС		Ханле			ПФ	[12]	[7]
	настоящая работа	[1]	[8]	[9]	[10]			
$5^3S_1$	$9.2 \pm 1.1$	$11.8 \pm 1.0$	$8.1 \pm 0.4$			$7.6 \pm 0.8$	8.7	9.7
$6^3S_1$	$30 \pm 4$				$23.4 \pm 2$	$13.0 \pm 2.0$		24.5
$7^3S_1$	$61 \pm 7$							54.8
$4^3D_j$	$7.5 \pm 1.2$	$8.8 \pm 0.6$		$6.2 \pm 0.2$		$6.7 \pm 0.5$		
$5^3D_j$	$18.4 \pm 2.1$				$14 \pm 1.5 (D_1)$	$11.2 \pm 1.5$		
					$17.1 \pm 2 (D_2)$			
$6^3D_j$	$33 \pm 4$				$16.4 \pm 2 (D_3)$			
					$14.7 \pm 4 (D_1)$			
					$18.9 \pm 4 (D_2)$			
$7^3D_j$	$58.5 \pm 3.1$							
$6^3P_j$	$188 \pm 20$							
$7^3P_j$	$384 \pm 40$							
$8^3P_j$	$600 \pm 70$							

Таблица 3  
Радиационные времена жизни уровней Zn II (в нс)

Уровень	Эксперимент			Теория
	МЗС	МР	П-Ф	[16]
	настоящая работа	[15]	[14]	
$5^2D_{3/2}$	$5.3 \pm 0.5$			3.3
$5^2D_{5/2}$	$5.4 \pm 0.5$			3.2
$6^2D_{5/2}$	$8.9 \pm 0.9$		$9.1 \pm 0.8$	
$7^2D_{3/2}$	$17.0 \pm 1.8$		$12 \pm 1.5$	
$4^2F_{5/2}$	$6.2 \pm 0.7$		$6.6 \pm 0.6$	4.8
$4S^2 \ ^2D_{3/2}$	$1870 \pm 230$	$1610 \pm 110$		
$4S^2 \ ^2D_{5/2}$	$2430 \pm 300$	$2220 \pm 110$		

В табл. 2 представлены данные по временам жизни триплетных состояний Zn I. Всего нами исследовано десять состояний  $^3S$ ,  $^3D$  и  $^3P$ ; мультип-

летность  ${}^3D$ - и  ${}^3P$ -состояний нами не разделялась, за исключением  $6{}^3P_2$ - и  $7{}^3P_2$ -уровней. Как показали наши исследования, времена жизни  $6{}^3P_2$ - и  $6{}^3P_{0,1}$ -уровней оказались одинаковыми и равными  $188 \pm 20$  нс. Также одинаковыми оказались и времена жизни  $7{}^3P_2$ - и  $7{}^3P_{0,1}$ -уровней.

Как видно из табл. 2, данные настоящей работы хорошо совпадают с данными более ранних работ для уровней  $5{}^3S_1$  и  $4{}^3D_j$ . Для уровней  $6{}^3S_1$ ,  $5{}^3D_j$  и  $6{}^3D_j$  наблюдаются значительные расхождения, особенно с данными работы [11], выполненной методом «пучок—фольга» (ПФ), причем последние не согласуются ни с данными работы [10], выполненной методом Ханле, ни с данными теоретического расчета [7], которые практически совпадают с данными настоящей работы. Обращает на себя внимание совпадение времен жизни для уровней  $5{}^3D_j$  и  $6{}^3D_j$ , полученные в ра-

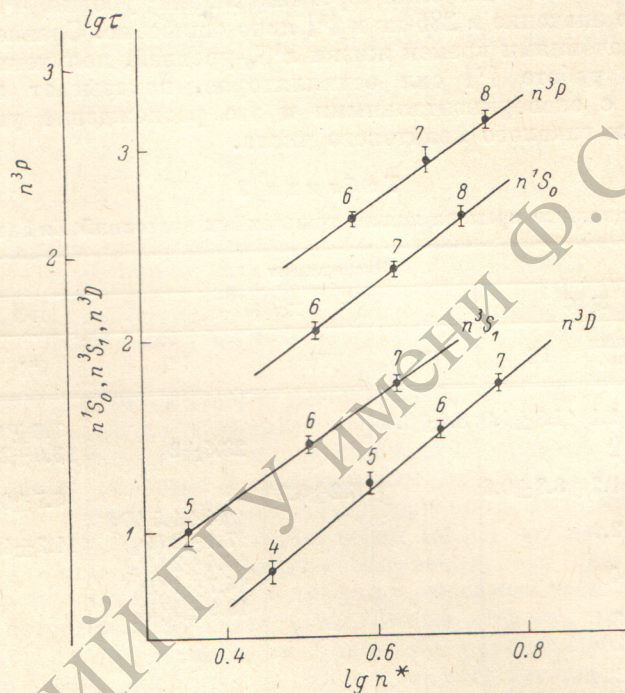


Рис. 1. Зависимости радиационного времени жизни  $\tau$  от эффективного главного квантового числа  $n^*$  для состояний атома цинка  $n^3S$  ( $n=6-8$ ),  $n^3S$  ( $n=5-7$ ),  $n^3P$  ( $n=6-8$ ) и  $n^3D$  ( $n=4-7$ ).

боте [10], в отличие от наших результатов, которые показывают возрастание времен жизни с увеличением главного квантового числа в серии  $n^3D_j$ -уровней. Для  $4{}^3D_j$ - и  $5{}^3D_j$ -уровней значения времен жизни, полученные методом Ханле в одной и той же лаборатории, хотя и в разное время [9, 10], заметно отличаются друг от друга. Как видно из рис. 1, времена жизни  $n^3D_j$ -уровней ( $n=4-7$ ) хорошо описываются зависимостью вида

$$\tau = C n^{*\alpha}, \quad (1)$$

где  $n^*$  — эффективное главное квантовое число,  $C_{3p} = 0.049$  нс,  $\alpha_{3p} = 2.85 \pm 0.12$ .

На рис. 2 построены зависимости эффективного орбитального параметра  $q$  [13] от энергии уровня  $E$  [14] для исследованных нами спектральных серий. Известно [13], что изучение поведения параметра  $q$  вдоль серии уровней с одним и тем же орбитальным квантовым числом  $l$ , но различными  $n$ , позволяет судить о наличии конфигурационного возмущения серии. В отсутствие конфигурационного возмущения серии зависимость

параметра  $q$  от энергии уровня будет линейной, что и наблюдается для исследованных нами уровней  $n^3D$  серии.

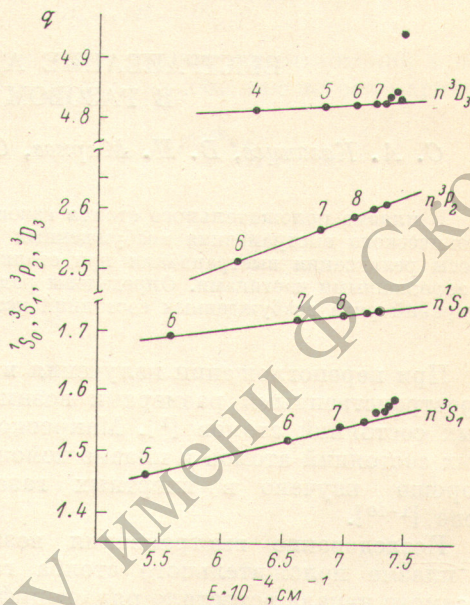
В отсутствие конфигурационного возмущения серии зависимость времен жизни уровней данной серии должна аппроксимироваться степенной зависимостью (1) с показателем степени  $\alpha$  около 3 [17], что выполняется для уровней  $n^3D$  ( $n=4-7$ ) (рис. 1). Исходя из этого, нам представляется более соответствующим действительности наше значение для времени жизни  $6^3D$ -уровня, чем то, которое приведено в работе [10].

Из рис. 1 и 2 видно, что наблюдается полная корреляция в поведении зависимостей радиационных времен жизни ( $\tau$ ) и эффективного орбитального параметра ( $q$ ) для всех исследованных нами серий.

В табл. 3 представлены данные по временам жизни исследованных нами возбужденных состояний иона цинка (ZnII).

Как видно из табл. 3, наши данные хорошо согласуются с данными более ранних работ, за исключением результата работы [11] для  $7^2D_{3/2}$ -уровня. Теоретические оценки времен жизни, полученные в работе [16], показывают заниженные значения по сравнению с экспериментальными.

Рис. 2. Зависимости эффективного орбитального параметра  $q$  от энергии уровня  $E$  для  $n^1S_0$ -,  $n^3S_1$ -,  $n^3P_1$ - и  $n^3D$ -уровней атома цинка.



В заключение следует отметить, что зависимости типа (1) для  $1^1S_0$ - и  $3^1P_1$ -уровней, по нашему мнению, можно использовать для оценки времен жизни вышележащих уровней. Постоянные  $C$  и  $\alpha$  для этих серий:  $C_{1S_0} = 0.019$  нс,  $\alpha_{1S_0} = 3.03 \pm 0.15$ ,  $C_{3P} = 0.132$  нс,  $\alpha_{3P} = 2.73 \pm 0.14$ .

#### Литература

- [1] А. Л. Ошерович, Г. П. Анисимова, М. Л. Бурштейн, Я. Ф. Веролайнен, Я. Сигети, Е. А. Ледовская. Опт. и спектр., 30, 793, 1971.
- [2] А. Л. Ошерович, М. Л. Бурштейн, Я. Ф. Веролайнен, А. Я. Николаич. Приборы и техн. экспер., № 6, 210, 1975.
- [3] А. Л. Ошерович, Е. Н. Борисов, М. Л. Бурштейн, Я. Ф. Веролайнен. Опт. и спектр., 39, 820, 1975.
- [4] D. A. Shaso, G. C. King, A. Adams. J. Phys. B., 11, 239, 1978.
- [5] A. D. May. Compt. rend., 250, 3616, 1960.
- [6] B. Lanierse, M. Chantepie, J. Landais, D. David. Opt. Comm., 23, 83, 1977.
- [7] B. Warner. Mon. Not. Roy. Astr. Soc., 140, 53, 1968.
- [8] G. Cremer, B. Lanierse. Compt. rend., 275, B 187, 1972.
- [9] J. Hamel-Garcia, G. Cremer, B. Lanierse. Opt. Comm., 16, 289, 1976.
- [10] J. Landais, M. Chantepie, B. Lanierse. Opt. Comm., 23, 80, 1977.
- [11] T. Andersen, G. Sorensen. J. Quant. Spectr., Rad. Trans., 13, 369, 1973.
- [12] П. Ф. Груздев. Опт. и спектр., 22, 89, 1967.
- [13] П. Ф. Груздев, А. И. Шерстюк. Опт. и спектр., 40, 617, 1976.
- [14] C. E. Moore. Atomic Energy Levels, NBS, Circ. 467, v. 1, 1949.
- [15] L. D. Scheerer, W. C. Holt. Phys. Rev. Lett., 24, 1214, 1970.
- [16] J. M. Green, G. J. Collins, C. E. Webb. J. Phys. B., 6, 1545, 1973.
- [17] Н. Ф. Афанасьева, П. Ф. Груздев. В сб.: Прикладная спектроскопия, 39, М., 1977.

Поступило в Редакцию 14 декабря 1978 г.