

ИОД. КОНФИГУРАЦИИ $5p^4ns$, $5p^4np$ ($n=6, 7$). ВЕРОЯТНОСТИ РАДИАЦИОННЫХ ПЕРЕХОДОВ, РАДИАЦИОННЫЕ ВРЕМЕНА ЖИЗНИ

А. В. Логинов и П. Ф. Груздев

В схеме промежуточной связи с учетом электростатического, спин-орбитального и эффективного взаимодействий получены значения вероятностей переходов $5p^4np-5p^4ns$, $5p^4ns-5p^5$ и радиационных времен жизни уровней $5p^4ns$, $5p^4np$ ($n=6, 7$) атома иода.

В предыдущей публикации [1] были даны расчетные значения уровней энергии и множителей Ланде, а также волновые функции промежуточной связи конфигураций $5p^4ns$, $5p^4np$ ($n=6, 7$) спектра атома иода. Здесь мы приводим вероятности радиационных переходов и радиационные времена жизни уровней, при расчете которых были использованы результаты работы [1].

Библиография работ [2], посвященных как экспериментальным, так и теоретическим исследованиям радиационных переходов в спектре атома иода, многочисленна. Почти главной темой экспериментальных работ за период, охваченный указанной библиографией, было изучение запрещенного в электродипольном приближении перехода $5p^5\ ^2P_{1/2} - 5p^5\ ^2P_{3/2}$. И лишь в последние годы проведены измерения радиационных времен жизни отдельных уровней конфигураций $5p^46s$ [3, 4], $5p^46p$ [5], $5p^47p$ [6] и сил осцилляторов линий переходов $5p^5 - 5p^46s$ [7]. В работе [8] измерены относительные вероятности переходов $5p^4\ (^3P)6p - 5p^4\ (^3P)6s$.

Расчетные данные по радиационным характеристикам изучаемых переходов более полны, хотя число работ невелико. К ним относятся полуэмпирический расчет абсолютных вероятностей переходов $5p^46s - 5p^5$ [3], а также расчеты [9] аналогичных величин для переходов с участием уровней $5p^45d$, $5p^46p$.

Энергетический спектр атома иода систематически изучен экспериментально и проклассифицирован Миннхагеном [10]. Данные Миннхагена достаточно полны для того, чтобы полуэмпирически получить надежные функции промежуточной связи, а затем расширить и уточнить результаты работ [3, 9]. Такие функции получены нами ранее [1]. Здесь мы применяем их для вычисления абсолютных значений вероятностей переходов $5p^5$, $5p^4np-5p^4ms$ ($n=6, 7$; $m=6, 7$).

Переходы p^4p-p^4s . Радиальные интегралы переходов, необходимые для приведения к абсолютной шкале, вычислены в кулоновском приближении [11] по экспериментальным значениям уровней энергии [10], причем для переходов $5p^4np-5p^4ms$ учитывалась зависимость интегралов переходов от состояния остова $5p^4$. Результаты расчета вероятностей переходов $5p^4np-5p^4ms$ ($n=6, 7$; $m=6, 7$) приведены в табл. 1, 2. При этом приводятся данные только для тех переходов, вероятности которых не менее 10^5 с^{-1} . Обозначения уровней в табл. 1, 2 и во всех последующих таблицах совпадают с обозначениями, принятыми Миннхагеном [10]. Цифрами обозначены уровни конфигураций $5p^4ms$: 1 — 1S_0 [0] $_{1/2}$, 2 — 3P_1 [1] $_{1/2}$, 3 — 3P_0 [0] $_{1/2}$, 4 — 3P_2 [2] $_{1/2}$, 5 — 3P_1 [1] $_{3/2}$, 6 — 1D_2 [2] $_{3/2}$, 7 — 3P_2 [2] $_{3/2}$, 8 — 1D_2 [2] $_{5/2}$. В табл. 3 приведены времена жизни уровней $5p^4np$ ($n=6, 7$), полученные с учетом переходов только на нижележащие уровни $5p^4ms$ ($m=6, 7$).

Таблица 1
Вероятность переходов $5p^46p - 5p^4ns$ ($n = 6, 7$)

Переход $p^4p - p^4s$	$A \cdot 10^{-6}, c^{-1}$		Переход $p^4p - p^4s$	$A \cdot 10^{-6}, c^{-1}$		Переход $p^4p - p^4s$	$A \cdot 10^{-6}, c^{-1}$	
	$n=6$	$n=7$		$n=6$	$n=7$		$n=6$	$n=7$
$^1S_0 [1]_{1/2} - 1$	29.0	4.6	$^1S_0 [1]_{3/2} - 6$	29.0	2.1	$^3P_0 [1]_{3/2} - 1$	—	0.2
$^1S_0 [1]_{1/2} - 3$	—	0.1	$^1S_0 [1]_{3/2} - 1$	30.8	8.0	$^3P_0 [1]_{3/2} - 2$	—	0.9
$^1S_0 [1]_{1/2} - 4$	0.1	—	$^1S_0 [1]_{3/2} - 2$	0.2	—	$^3P_0 [1]_{3/2} - 3$	24.6	7.9
$^1S_0 [1]_{1/2} - 5$	0.1	—	$^1S_0 [1]_{3/2} - 3$	—	0.1	$^3P_0 [1]_{3/2} - 4$	0.1	—
$^1S_0 [1]_{1/2} - 6$	0.7	—	$^1S_0 [1]_{3/2} - 6$	0.3	—	$^3P_0 [1]_{3/2} - 5$	3.5	1.1
$^3P_1 [1]_{1/2} - 1$	—	0.3	$^3P_1 [1]_{3/2} - 8$	1.9	—	$^1D_2 [1]_{3/2} - 7$	1.1	—
$^3P_1 [1]_{1/2} - 2$	21.8	4.0	$^3P_1 [1]_{3/2} - 2$	10.0	4.8	$^1D_2 [1]_{3/2} - 1$	—	2.4
$^3P_1 [1]_{1/2} - 3$	2.4	—	$^3P_1 [1]_{3/2} - 3$	3.0	—	$^1D_2 [1]_{3/2} - 2$	0.1	—
$^3P_1 [1]_{1/2} - 4$	0.8	—	$^3P_1 [1]_{3/2} - 4$	1.3	—	$^1D_2 [1]_{3/2} - 4$	0.8	—
$^3P_1 [1]_{1/2} - 5$	0.9	0.5	$^3P_1 [1]_{3/2} - 5$	15.3	2.0	$^1D_2 [1]_{3/2} - 5$	2.3	—
$^3P_1 [1]_{1/2} - 6$	—	0.3	$^3P_1 [1]_{3/2} - 7$	1.8	—	$^1D_2 [1]_{3/2} - 6$	2.4	0.8
$^3P_2 [1]_{1/2} - 1$	—	0.2	$^3P_2 [1]_{3/2} - 8$	—	0.1	$^1D_2 [1]_{3/2} - 7$	0.5	—
$^3P_2 [1]_{1/2} - 2$	—	0.3	$^3P_2 [1]_{3/2} - 1$	—	0.1	$^1D_2 [1]_{3/2} - 8$	19.7	4.1
$^3P_2 [1]_{1/2} - 3$	—	0.4	$^3P_2 [1]_{3/2} - 2$	—	0.4	$^1D_2 [2]_{3/2} - 4$	0.2	—
$^3P_2 [1]_{1/2} - 4$	21.2	2.6	$^3P_2 [1]_{3/2} - 3$	—	0.2	$^1D_2 [2]_{3/2} - 6$	29.1	3.1
$^3P_2 [1]_{1/2} - 6$	—	0.5	$^3P_2 [1]_{3/2} - 4$	23.4	2.4	$^3P_2 [2]_{3/2} - 8$	4.1	0.3
$^3P_0 [1]_{1/2} - 1$	—	0.3	$^3P_2 [1]_{3/2} - 7$	8.4	0.3	$^3P_2 [2]_{3/2} - 5$	—	0.3
$^3P_0 [1]_{1/2} - 2$	0.6	0.1	$^3P_2 [1]_{3/2} - 8$	—	0.2	$^3P_2 [2]_{3/2} - 7$	24.5	7.1
$^3P_0 [1]_{1/2} - 3$	3.1	0.8	$^3P_2 [2]_{3/2} - 1$	—	0.1	$^3P_2 [2]_{3/2} - 8$	—	0.1
$^3P_0 [1]_{1/2} - 4$	0.4	—	$^3P_2 [2]_{3/2} - 2$	—	0.2	$^3P_2 [3]_{3/2} - 4$	20.0	8.8
$^3P_0 [1]_{1/2} - 5$	18.8	0.3	$^3P_2 [2]_{3/2} - 3$	—	1.1	$^3P_1 [2]_{3/2} - 4$	0.8	—
$^3P_0 [1]_{1/2} - 6$	—	0.4	$^3P_2 [2]_{3/2} - 4$	3.3	1.6	$^3P_1 [2]_{3/2} - 5$	27.8	8.5
$^3P_1 [0]_{1/2} - 1$	—	—	$^3P_2 [2]_{3/2} - 5$	—	0.3	$^1D_2 [2]_{3/2} - 7$	0.4	—
$^3P_1 [0]_{1/2} - 2$	0.2	—	$^3P_2 [2]_{3/2} - 6$	—	0.2	$^1D_2 [2]_{3/2} - 6$	5.7	0.8
$^3P_1 [0]_{1/2} - 3$	21.2	5.2	$^3P_2 [2]_{3/2} - 7$	20.0	3.5	$^1D_2 [2]_{3/2} - 7$	0.1	—
$^3P_1 [0]_{1/2} - 4$	0.7	—	$^3P_2 [2]_{3/2} - 8$	—	0.2	$^1D_2 [3]_{3/2} - 8$	29.6	2.7
$^3P_1 [0]_{1/2} - 5$	3.1	—	$^3P_1 [2]_{3/2} - 2$	11.0	4.9	$^1D_2 [3]_{3/2} - 5$	0.1	—
$^1D_2 [1]_{1/2} - 1$	—	0.3	$^3P_1 [2]_{3/2} - 3$	2.4	1.3	$^1D_2 [3]_{3/2} - 6$	18.2	9.0
$^1D_2 [1]_{1/2} - 2$	2.7	—	$^3P_1 [2]_{3/2} - 4$	0.2	—	$^3P_2 [3]_{7/2} - 8$	3.9	1.2
$^1D_2 [1]_{1/2} - 3$	0.2	—	$^3P_1 [2]_{3/2} - 5$	10.9	1.8	$^3P_2 [3]_{7/2} - 7$	30.8	6.7
$^1D_2 [1]_{1/2} - 4$	0.5	—	$^3P_1 [2]_{3/2} - 7$	0.3	—	$^1D_2 [3]_{7/2} - 7$	0.2	—
$^1D_2 [1]_{1/2} - 5$	0.3	—	$^3P_1 [2]_{3/2} - 8$	—	0.4	$^1D_2 [3]_{7/2} - 8$	25.7	8.0

Таблица 2
Вероятности переходов $5p^47p - 5p^4ns$ ($n = 6, 7$)

Переход $p^4p - p^4s$	$A \cdot 10^{-6}, c^{-1}$		Переход $p^4p - p^4s$	$A \cdot 10^{-6}, c^{-1}$		Переход $p^4p - p^4s$	$A \cdot 10^{-6}, c^{-1}$	
	$n=6$	$n=7$		$n=6$	$n=7$		$n=6$	$n=7$
$^1S_0 [1]_{1/2} - 1$	0.8	4.0	$^1D_2 [1]_{3/2} - 2$	0.3	—	$^1D_2 [1]_{3/2} - 1$	—	0.8
$^1S_0 [1]_{1/2} - 2$	0.4	0.2	$^1D_2 [1]_{3/2} - 3$	1.8	1.3	$^1D_2 [1]_{3/2} - 4$	—	0.1
$^1S_0 [1]_{1/2} - 3$	1.8	1.6	$^1D_2 [1]_{3/2} - 6$	—	0.2	$^1D_2 [1]_{3/2} - 5$	—	0.3
$^1S_0 [1]_{1/2} - 6$	—	1.4	$^1D_2 [1]_{3/2} - 8$	—	1.7	$^1D_2 [1]_{3/2} - 6$	0.3	0.3
$^3P_2 [1]_{1/2} - 4$	2.5	3.1	$^3P_1 [2]_{3/2} - 2$	0.3	0.5	$^1D_2 [1]_{3/2} - 7$	—	0.4
$^3P_2 [1]_{1/2} - 4$	2.5	3.1	$^3P_1 [2]_{3/2} - 3$	0.2	0.2	$^1D_2 [1]_{3/2} - 8$	2.1	1.9
$^3P_1 [1]_{1/2} - 2$	2.0	3.5	$^3P_1 [2]_{3/2} - 4$	0.1	0.2	$^1D_2 [2]_{3/2} - 6$	2.4	5.3
$^3P_1 [1]_{1/2} - 3$	0.3	—	$^3P_1 [2]_{3/2} - 5$	2.6	4.0	$^1D_2 [2]_{3/2} - 8$	0.4	0.8
$^3P_1 [1]_{1/2} - 4$	—	0.5	$^3P_2 [1]_{3/2} - 7$	—	0.8	$^3P_2 [2]_{3/2} - 7$	2.8	2.5
$^3P_1 [1]_{1/2} - 5$	0.4	0.7	$^3P_2 [1]_{3/2} - 4$	1.6	2.6	$^3P_2 [3]_{3/2} - 4$	2.3	2.6
$^3P_0 [1]_{1/2} - 2$	0.3	0.2	$^3P_2 [1]_{3/2} - 7$	1.4	2.0	$^3P_2 [3]_{3/2} - 7$	0.1	0.1
$^3P_0 [1]_{1/2} - 5$	2.4	2.0	$^3P_2 [2]_{3/2} - 4$	0.8	0.8	$^3P_1 [2]_{3/2} - 4$	0.1	—
$^3P_1 [0]_{1/2} - 1$	—	0.4	$^3P_2 [2]_{3/2} - 6$	—	0.1	$^3P_1 [2]_{3/2} - 5$	2.9	3.4
$^3P_1 [0]_{1/2} - 2$	0.2	—	$^3P_1 [1]_{3/2} - 7$	1.9	2.0	$^1D_2 [2]_{3/2} - 7$	—	0.1
$^3P_1 [0]_{1/2} - 3$	2.9	3.2	$^3P_1 [1]_{3/2} - 1$	—	0.2	$^1D_2 [2]_{3/2} - 6$	0.3	0.5
$^3P_1 [0]_{1/2} - 4$	—	0.5	$^3P_1 [1]_{3/2} - 2$	1.9	2.5	$^1D_2 [2]_{3/2} - 7$	—	0.1
$^1D_2 [1]_{1/2} - 1$	—	0.2	$^3P_1 [1]_{3/2} - 3$	0.2	—	$^1D_2 [2]_{3/2} - 8$	2.6	5.7
$^1D_2 [1]_{1/2} - 2$	—	0.2	$^3P_1 [1]_{3/2} - 5$	0.4	0.5	$^1D_2 [3]_{3/2} - 6$	2.3	2.5
$^1D_2 [1]_{1/2} - 3$	—	0.3	$^3P_0 [1]_{3/2} - 1$	—	1.1	$^1D_2 [3]_{3/2} - 8$	0.2	0.3
$^1D_2 [1]_{1/2} - 4$	—	0.6	$^3P_0 [1]_{3/2} - 2$	0.2	—	$^3P_2 [3]_{7/2} - 7$	3.0	3.8
$^1D_2 [1]_{1/2} - 5$	—	0.1	$^3P_0 [1]_{3/2} - 3$	2.8	3.5	$^1D_2 [3]_{7/2} - 7$	—	0.1
$^1D_2 [1]_{1/2} - 6$	2.5	3.0	$^3P_0 [1]_{3/2} - 7$	—	0.5	$^1D_2 [3]_{7/2} - 8$	2.6	3.1
$^1S_0 [1]_{3/2} - 1$	0.8	3.9						

Таблица 3
Время жизни уровней $5p^4np$ ($n = 6, 7$)

Уровни	$n = 6$			$n = 7$	
	$\tau_{расч}, \text{нс}$		$\tau_{эксп} [^{\circ}], \text{нс}$	$\tau_{расч}, \text{нс},$ данная работа	$\tau_{эксп} [^{\circ}], \text{нс}$
	данная работа	[$^{\circ}$]			
$^1S_0 [1]_{1/2}$	35.2			101	
$^3P_1 [1]_{1/2}$	38.5	32.8		133	
$^3P_2 [1]_{1/2}$	47.1	43.1	50	181	
$^3P_0 [1]_{1/2}$	43.6	30.8		197	
$^3P_1 [0]_{1/2}$	39.8	50.4		148	
$^1D_2 [1]_{1/2}$	30.6	28.9		149	
$^1S_0 [1]_{3/2}$	29.9			101	
$^3P_1 [1]_{3/2}$	31.9	29.9		178	
$^3P_2 [1]_{3/2}$	31.4	21.6		135	110
$^3P_2 [2]_{3/2}$	43.1	53.9	39	183	
$^3P_1 [2]_{3/2}$	40.2	41.7		114	
$^3P_0 [1]_{3/2}$	34.1	29.5		139	
$^1D_2 [1]_{3/2}$	38.7	42.2		178	
$^1D_2 [2]_{3/2}$	29.8	26.5		111	
$^3P_2 [2]_{5/2}$	40.8	37.9		184	208
$^3P_2 [3]_{5/2}$	49.7	44.5		195	
$^3P_1 [2]_{5/2}$	34.5	32.7	42	152	
$^1D_2 [2]_{5/2}$	28.2	26.1		109	
$^1D_2 [3]_{5/2}$	45.1	39.6		187	
$^3P_2 [3]_{7/2}$	32.5	29.9		146	178
$^1D_2 [3]_{7/2}$	38.6	35.5		172	

Данные таблиц 1, 3, касающиеся переходов $5p^46p-5p^46s$, можно сравнить с результатами вычислений [$^{\circ}$]. В этой работе рассмотрены в основном переходы, разрешенные в JK -связи. В этом же типе связи проведен и расчет сил линий. Для переходов, запрещенных в JK -связи, применялась промежуточная схема связи. Из табл. 3 видно, что расчетные значения времен жизни уровней $5p^46p$, полученные нами и в работе [$^{\circ}$], хорошо согласуются между собой. Не приводя здесь значения вероятностей переходов из той же работы, заметим, что это согласие заметно ухудшается, если сравнивать вероятности переходов. К сожалению Ким и Марантц почти не говорят о том, как осуществлялся переход к промежуточной связи. Способ приведения к абсолютной шкале также не описан.

Если перевести данные из табл. 1 и работы [$^{\circ}$] в относительные единицы, то их можно сопоставить с соответствующими величинами, измеренными Смирновым с соавторами [8]. Оказалось, что относительные величины, рассчитанные в нашей работе, значительно ближе к результатам измерений [8] по сравнению с результатами расчета Кима и Марантца [$^{\circ}$]. Это особенно характерно для тех переходов, для которых наиболее сильно расходятся расчетные значения вероятностей из работы [$^{\circ}$] и нашей работы.

Экспериментальные данные по абсолютным вероятностям переходов p^4p-p^4s в спектре иода отсутствуют. Однако имеется несколько измерений времен жизни уровней $5p^4np$. В работе [5] методом задержанных совпадений измерены времена жизни уровней $5p^46p$ $^3P_2 [1]_{1/2}$, $^3P_2 [2]_{3/2}$, $^3P_1 [2]_{5/2}$. Тем же методом в работе [6] получены величины чисел τ уровней $5p^47p$ $^3P_2 [1]_{3/2}$, $^3P_2 [2]_{5/2}$, $^3P_2 [3]_{7/2}$.

Таблица 4

Вероятности переходов $5p^4ns - 5p^5$ и времена жизни уровней $5p^4ns$ ($n=6, 7$)

Переход $p^4s - p^5$	$n=6$				$n=7$		
	$A \cdot 10^{-6}, c^{-1}$		τ, ns		$A \cdot 10^{-6}, c^{-1}$	τ, ns	
	расчет		эксперимент [7]	расчет, данная работа	эксперимент	данная работа	
	данная работа	[3]				7	8
1	2	3	4	5	6	7	8
$^1S_0 [0]_{1/2} - ^2P_{1/2}$	174	114		4.6		38.3	14.8
$- ^2P_{3/2}$	45.5	1.38				10.1	
$^3P_1 [1]_{1/2} - ^2P_{1/2}$	188	211		2.5		50.0	9.35
$- ^2P_{3/2}$	204	207				41.2	
$^3P_0 [0]_{1/2} - ^2P_{1/2}$	0.006	2.87		53.4		2.74	22.8
$- ^2P_{3/2}$	18.7	37				14.7	
$^3P_2 [2]_{3/2} - ^2P_{1/2}$	9.58	2.96		3.5	3.6 [3]	2.87	10.6
$- ^2P_{3/2}$	278	271	245			75.6	
$^3P_1 [1]_{3/2} - ^2P_{1/2}$	9.44	6.92		8.2		2.66	28.4
$- ^2P_{3/2}$	113	134				17.9	
$^1D_2 [2]_{3/2} - ^2P_{1/2}$	167	205		5.7		44.3	15.8
$- ^2P_{3/2}$	8.82	17.7				0.68	
$^3P_2 [2]_{3/2} - ^2P_{3/2}$	8.2	16.0	11	120		90 [7] 80 [3] 58 [4]	2.80 49.0
$^1D_2 [2]_{3/2} - ^2P_{3/2}$	168	205		5.9		44.3	16.2

В табл. 3 $\tau_{\text{эксп}}$ из работ [5, 6] сравниваются с $\tau_{\text{расч}}$. Как видно, $\tau_{\text{эксп}}$ [5, 6] в пределах 15% согласуются с $\tau_{\text{расч}}$, полученными в настоящей работе.

Переходы $p^4s - p^5$. В табл. 4 приводятся вероятности переходов $5p^4ns \rightarrow 5p^5$ и времена жизни уровней конфигураций $5p^4ns$ ($n=6, 7$). Радиальные интегралы переходов были вычислены тем же методом, что и в предыдущем случае, с небольшим лишь отличием: для конфигурации $5p^5$ вводится дополнительный нормировочный множитель по [12]. В табл. 4 значения вероятностей переходов $5p^46s - 5p^5$, полученные в настоящей работе (второй столбец), сравниваются с соответствующими величинами из работы [3] (третий столбец). В [3] величины A получены полуэмпирическим методом промежуточной связи с радиальным интегралом перехода, найденным из эксперимента. Сопоставление результатов расчетов данной работы и [3] показывает, что для линий с малыми значениями A согласие плохое и значительно лучше для интенсивных линий. Известна работа [7], где измерены силы осциллятора в поглощении для двух линий $^3P_2 [2]_{3/2, 5/2} \leftarrow ^2P_{3/2}$. Полученные из этих величин f значения A приведены в четвертом столбце табл. 4. Видно, что эти числа в пределах 15–20% согласуются с нашими расчетными значениями A для этих линий.

В пятом столбце табл. 4 даны расчетные величины τ , а в шестом — имеющиеся экспериментальные (только для двух уровней $6s$ $^3P_2 [2]_{3/2, 5/2}$). Прямые измерения времен жизни уровней выполнены в работе [3] (методом сдвига фаз) и в [4] (методом Ханле). Для уровня $6s$ $^3P_2 [2]_{3/2}$ наблюдается очень хорошее согласие нашего расчета и эксперимента [3], а для уровня $6s$ $^3P_2 [2]_{5/2}$ наше $\tau_{\text{расч}}$ превышает имеющиеся числа $\tau_{\text{эксп}}$. Лучше всего согласуется с $\tau_{\text{эксп}} = 90$ нс, полученным в [7] (методом поглощения). В последних двух столбцах табл. 4 приведены значения вероятностей переходов $5p^47s - 5p^5$ и радиационные времена жизни уровней $5p^47s$ (значения $\tau_{\text{расч}}$ уровней $5p^47s$ были получены с учетом переходов $5p^47s - 5p^5$, $5p^46p$, $5p^47p$), вычисленные в настоящей работе. Экспериментальные данные отсутствуют для этого перехода.

Литература

- [1] А. В. Логинов, П. Ф. Груздев. Опт. и спектр., 52, 781, 1982.
- [2] J. R. Fuhr, B. J. Miller, G. A. Martin. Bibliography on Atomic Transition Probabilities. NBS Spec. Publ., 505, 1978.
- [3] G. M. Lawrence. Astrophys. J., 148, 261, 1967.
- [4] L. G. Williams, D. R. Crossley. Phys. Rev., A, 9, 622, 1974.
- [5] A. Kono, S. Hattori. J. Opt. Soc. Am., 69, 253, 1979.
- [6] М. Л. Бурштейн, Я. Ф. Веролайнен, А. Ф. Черный. Опт. и спектр., 50, 585, 1981.
- [7] J. Tellinghuisen, M. A. A. Clyne. J. Chem. Soc. (Faraday Trans. II), 4, 783, 1976.
- [8] В. В. Смирнов, О. Д. Цыгир, С. Л. Яковичкий. Опт. и спектр., 43, 1010, 1977.
- [9] H. H. Kim, H. Marantz. Appl. Opt., 9, 359, 1970.
- [10] L. Minnhagen. Ark. Fys., 21, 415, 1962.
- [11] R. Bates, A. Damgaard. Phil. Trans. Soc., A242, 101, 1949.
- [12] A. Burgess, M. J. Seaton. Mon. Not. R. Astron. Soc., 120, 121, 1960.

Поступило в Редакцию 23 июня 1981 г.