

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПЕРЕХОДОВ

И ВРЕМЕН ЖИЗНИ УРОВНЕЙ В СПЕКТРАХ ИОНОВ NeII, ArII

III. ВЕРОЯТНОСТИ ПЕРЕХОДОВ И ВРЕМЕНА ЖИЗНИ В СПЕКТРЕ ИОНА
АРГОНА Ar II

А. В. Логинов и П. Ф. Груздев

Волновые функции промежуточной связи, полученные полуэмпирически в одноконфигурационном приближении, используются для расчета вероятностей спонтанных переходов $3p^5$, $3p^4 4p - 3p^4 ns$ ($n=4, 5$) в спектре иона аргона Ar II. Радиальные интегралы переходов рассчитаны на волновых функциях Хартри-Фока.

Первая часть [1] данной работы посвящена расчету волновых функций промежуточной связи для конфигураций $np^4(n+1)p$, $np^4n's$ в спектрах ионов неона ($n=2, n'=3-5$) и аргона ($n=3, n'=4, 5$). Во второй части [2] приведены результаты расчета радиационных констант, выполненного с этими волновыми функциями для спектра иона неона. Здесь мы приводим результаты аналогичного расчета вероятностей переходов $3p^5$, $3p^4 4p - 3p^4 ns$ ($n=4, 5$) и времен жизни соответствующих уровней в спектре иона аргона.

Интегралы переходов. Для перехода к абсолютной шкале используются интегралы перехода $s(nl, n'l') = - \int r R_{nl}(r) R_{n'l'}(r) dr$, вычисленные с функциями Хартри-Фока. Функции Хартри-Фока получены по программе [3] в приближении, не зависящем от терма. Получены следующие значения интегралов (в ат. ед.): $s(4p, 4s) = 4.303$, $s(4p, 5s) = -2.813$, $s(3p, 4s) = -0.725$, $s(3p, 5s) = -0.280$.

Переходы $p^4 p - p^4 s$. В табл. 1 приводится результат расчета вероятностей переходов $3p^4 4p - 3p^4 ns$ ($n=4, 5$). Данные приводятся только для тех переходов, вероятность которых не меньше 10^5 с^{-1} . Это связано с малой достоверностью расчета вероятностей слабых переходов. Исключение сделано для тех случаев, когда имеется возможность сопоставления с экспериментальными данными. Такие данные содержатся только в работе Шумейкера и Попенэ [4] для переходов $3p^4 4p \rightarrow 3p^4 4s$. В большинстве случаев наши результаты соответствуют оценкам работы [4]. Что касается вероятностей более интенсивных переходов, то, кроме работы [4], переход $3p^4 4p \rightarrow 3p^4 4s$ исследовался в ряде экспериментальных работ [5], результаты которых подробно сравниваются в статье Нерхейма и Ольсона [6]. Мы здесь эти данные не приводим из-за экономии места. Отметим только, что результаты работ [4-6], как правило, близки друг к другу. Вычисленные нами вероятности переходов лучше всего согласуются с измерениями Шумейкера и Попенэ [4]. Вероятности нескольких переходов $3p^5 5g \rightarrow 3p^4 4p$ измерены Тидвеллом [7]. Однако позднее [8] он пересмотрел эти результаты, фактически отказавшись от своих абсолютных измерений.

Полуэмпирический расчет вероятностей переходов $3p^4 4p \rightarrow 3p^4 4s$ выполнен в работах [9-13]. При этом Кузеканани и Трасти [9] и Статц с со-

Таблица 1
Вероятность переходов $3p^4 4p - 3p^4 ns$ ($n = 4, 5$) в спектре иона аргона

Переход $p^4 p - p^4 s$	$A, 10^3 \text{ c}^{-1}$			Переход $p^4 p - p^4 s$	$A, 10^3 \text{ c}^{-1}$		
	$4p \rightarrow 4s$		$5s \rightarrow 4p$		$4p \rightarrow 4s$		$5s \rightarrow 4p$
	наш расчет	[°]	наш расчет		наш расчет	[°]	наш расчет
$^2P'_{3/2} - ^2S''_{1/2}$	1915	—	634	$^2P_{3/2} - ^2S''_{1/2}$	—	—	54
$^2P'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	11	—	—	$^2P_{1/2} - ^2P_{1/2}$	628	637	734
$^2P'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	10	—	—	$^4P_{1/2} - ^2P_{1/2}$	7	< 0.2	45
$^2P'_{3/2} - ^2D'_{3/2}$	59	—	—	$^2P_{3/2} - ^2P_{3/2}$	422	458	132
$^2S_{3/2} - ^2S''_{1/2}$	—	—	6	$^4P_{3/2} - ^2P_{3/2}$	18	~ 20	70
$^2P'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	971	904	457	$^2D'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	2	—	19
$^4P'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	0.02	< 1	13	$^4P_{3/2} - ^2P_{3/2}$	25	~ 20	4
$^2P'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	326	222	45	$^2D'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	18	—	157
$^4P'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	3	< 5	16	$^4P_{3/2} - ^2P_{1/2}$	0.001	< 0.5	20
$^2P'_{3/2} - ^2D'_{3/2}$	8	—	38	$^4P_{1/2} - ^2P_{3/2}$	269	245	604
$^2P'_{3/2} - ^2S''_{1/2}$	—	—	25	$^2P_{3/2} - ^2P_{3/2}$	0.02	< 0.3	37
$^2P'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	170	176	125	$^4P_{3/2} - ^2P_{3/2}$	163	158	127
$^4P'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	9	~ 2	—	$^4P_{1/2} - ^2P_{3/2}$	668	650	363
$^2P'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	915	890	201	$^2D_{3/2} - ^2S''_{1/2}$	—	—	9
$^4P'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	0.81	< 1	45	$^2D_{1/2} - ^2P_{1/2}$	421	385	674
$^2D'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	15	—	122	$^4P_{1/2} - ^2P_{1/2}$	25	~ 18	—
$^4P'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	0.35	~ 0.4	8	$^2P_{3/2} - ^2P_{3/2}$	637	560	324
$^4P'_{1/2} - ^4P_{1/2}$	120	107	120	$^4P_{3/2} - ^2P_{3/2}$	6	9.1	56
$^2P'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	0.36	~ 0.4	117	$^2D'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	1	—	17
$^4P'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	967	940	332	$^4P_{3/2} - ^2P_{1/2}$	8	~ 9	2
$^4D'_{1/2} - ^2S''_{1/2}$	—	—	1	$^2D_{3/2} - ^2P_{1/2}$	3	—	30
$^2P'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	1	< 0.4	15	$^4D_{3/2} - ^2S'_{1/2}$	—	—	1
$^4P'_{1/2} - ^4P_{1/2}$	1303	1150	679	$^2P_{1/2} - ^2P_{1/2}$	8	1.7	1
$^2P'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	3	< 1	5	$^4P_{1/2} - ^2P_{1/2}$	699	590	804
$^4P'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	187	133	39	$^2P_{3/2} - ^2P_{3/2}$	8	9.5	51
$^2D'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	—	—	2	$^4P_{3/2} - ^2P_{3/2}$	739	630	317
$^2P'_{1/2} - ^2S''_{1/2}$	—	—	14	$^2D'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	—	—	1
$^2P'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	446	—	7	$^4P_{3/2} - ^2P_{1/2}$	26	14	7
$^2P'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	181	—	—	$^2D'_{3/2} - ^2P_{1/2}$	—	—	1
$^4P'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	2	—	—	$^2P'_{3/2} - ^2S''_{1/2}$	—	—	38
$^2D'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	1505	—	284	$^2P_{1/2} - ^2P_{1/2}$	96	—	3
$^2P'_{3/2} - ^2S''_{1/2}$	1891	—	1282	$^2P_{3/2} - ^2P_{3/2}$	546	—	5
$^2P'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	6	—	—	$^4P_{3/2} - ^2P_{3/2}$	5	—	2
$^2P'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	14	—	—	$^2D'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	342	—	150
$^2D'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	8	—	—	$^2D'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	1065	—	305
$^2D'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	66	—	—	$^2D'_{3/2} - ^2P_{1/2}$	20	—	—
$^4S_{3/2} - ^2S''_{1/2}$	—	—	1	$^2P_{3/2} - ^2P_{3/2}$	6	—	—
$^4P'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	7	~ 5	31	$^2D'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	1443	—	469
$^4P'_{1/2} - ^4P_{1/2}$	446	330	223	$^2D'_{1/2} - ^2P_{1/2}$	418	—	90
$^4P'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	31	12	95	$^4P_{3/2} - ^2P_{3/2}$	0.01	< 0.4	77
$^4P'_{3/2} - ^4P_{3/2}$	767	530	105	$^4P_{1/2} - ^2P_{3/2}$	188	163	236
$^4P'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	971	660	125	$^4P_{3/2} - ^2P_{1/2}$	908	872	813
$^2D'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	—	—	3				

Таблица 1 (продолжение)

Переход $p'p-p's$	$A, 10^6 \text{ c}^{-1}$			Переход $p'p-p's$	$A, 10^6 \text{ c}^{-1}$		
	$4p \rightarrow 4s$		$5s \rightarrow 4p$		$4p \rightarrow 4s$		$5s \rightarrow 4p$
	наш расчет	[$^{\circ}$]	наш расчет		наш расчет	[$^{\circ}$]	наш расчет
$^2D_{3/2} - ^2P_{3/2}$	1025	870	1049	$^2D'_{3/2} - ^2P_{3/2}$	5	—	—
$^4P_{3/2}$	67	144	82	$^2D'_{3/2}$	130	—	63
$^4P_{3/2}$	19	30	7	$^2D'_{3/2}$	1735	—	567
$^2D'_{3/2}$	—	—	2	$^2F'_{3/2} - ^2D'_{3/2}$	1195	—	1221
$^4D_{3/2} - ^2P_{3/2}$	47	108	60	$^2D'_{3/2}$	89	—	61
$^4P_{3/2}$	1117	920	912	$^4D_{7/2} - ^4P_{5/2}$	1508	1370	1038
$^4P_{3/2}$	290	173	130	$^2F'_{7/2} - ^2D'_{5/2}$	1283	—	1169

авторами [10] рассмотрели только переходы $3p^4 (^3P) 4p \rightarrow 3p^4 (^3P) 4s$, а в работах Льюкена [11] и Рудько и Танга [12] приведены данные только для тех переходов, вероятности которых заметно превышают 10^6 c^{-1} . Не имея возможности подробно сравнить все расчетные результаты, отметим следующее. Для переходов $3p^4 (^3P) 4p \rightarrow 3p^4 (^3P) 4s$ данные работ [9-13] более или менее близки друг другу и нашим данным только в тех случаях, когда вероятность перехода превышает 10^7 c^{-1} . Однако даже и для таких интенсивных переходов расчетные данные разных авторов различаются в ряде случаев в несколько раз. Для более слабых переходов разброс расчетных величин еще больше. При этом наиболее резко выделяются данные Кузеканани и Трасти [9]. Полученные нами значения вероятностей переходов лучше всего коррелируют с вычислениями Льюкена [11]. Учитывая точность волновых функций промежуточной связи, полученных нами [1] и в работах [9-13], а также результаты сравнения с экспериментом, наиболее правдоподобными для вероятностей переходов $3p^4 (^3P) 4p \rightarrow 3p^4 (^3P) 4s$ представляются результаты Льюкена [11] и данной работы. Вероятности переходов $3p^4 (^1D) 4p \rightarrow 3p^4 (^3P) 4s$, полученные нами и в работах [11, 12], хорошо совпадают друг с другом. Что касается переходов $3p^4 (^1D) 4p \rightarrow 3p^4 (^1D) 4s$, то рассчитанные нами значения вероятностей близки соответствующим величинам, найденным в работе [12], и значительно отличаются от вероятностей, полученных в работе [11]. Возможной причиной этого расхождения может являться наложение конфигураций $3p^4 (4s+3d)$, принятое во внимание в работе [11] и оказавшееся особенно значительным для термина $3p^4 (^1D) 4s$. Надо, правда, отметить, что учет наложения конфигураций не обязательно ведет к уточнению расчетных значений вероятностей переходов. Это связано с увеличением погрешности расчета в промежуточной схеме связи вследствие расширения набора исходных состояний.

Косвенное подтверждение достоверности расчета вероятностей переходов $3p^4 4p \rightarrow 3p^4 4s$ можно получить, сравнивая расчетные и экспериментальные значения времен жизни уровней конфигурации $3p^4 4p$ (табл. 2).

Расчетные значения τ , представленные в табл. 2, определялись только по вероятностям переходов $3p^4 4p \rightarrow 3p^4 4s$. Неучет переходов $3p^4 4p \rightarrow 3p^4 3d$ очень мало скажется на результате расчета, поскольку уровни $3d$ и $4p$ расположены близко друг к другу. Экспериментальные данные из табл. 2 получены самыми разнообразными методами, среди которых луч-фольговая спектроскопия [17, 19, 20, 22, 24], метод задержанных совпадений [14, 23, 26-29, 31], метод сдвига фаз [16, 25], метод временного анализа [15], метод ионного пучка и газовой мишени [21], метод светового пучка и газовой мишени [30]. В работе [18] времена жизни измерялись двумя способами — верхние цифры в соответствующей графе табл. 2 получены методами луч-фольговой спектроскопии, а нижние — по эф-

Таблица 2
Радиационные времена жизни уровней $3p^4p$

Уровни	τ , нс										
	эксп. расчет	[7]	[7]	[7]	[7]	[23]	[19]	[20]	[21]	[22, 23]	[24-31]
$3p^4P^{\circ}$	5.0							4.7			
$3p^4D^{\circ}$	7.6	8.8	8.7			7.5		5.0			
$3p^4D^{\circ}_{3/2}$	9.0	8.7	8.0				7.8	5.1			
$3p^4D^{\circ}_{5/2}$	9.2				11.4			6.4	8.42		
$3p^4D^{\circ}_{7/2}$	6.7		10.3		10.6		8.4	5.8			
$3p^4D^{\circ}_{9/2}$	6.7			4.0				4.5	4.50		4.1 [25]
$3p^4D^{\circ}_{11/2}$	5.0			6.0				6.9			5.2 [26]
$3p^4D^{\circ}_{13/2}$	4.5							6.7		8.3 [22]	7.2 [31]
$3p^4D^{\circ}_{15/2}$	8.9	9.4	8.5	3.9	11.7	8.2	11.3	5.8	9.19	9.7 [22]	8.2 [25]
$3p^4D^{\circ}_{17/2}$						8.4					
$3p^4D^{\circ}_{19/2}$	9.1		9.6		11.6		9.2	7.4	8.40	7.02 [23]	
$3p^4D^{\circ}_{21/2}$	9.1	9.8	9.9		11.6		7.0	6.5		8.94 [23]	
$3p^4D^{\circ}_{23/2}$	6.8	7.4					10.9	6.6			
$3p^4D^{\circ}_{25/2}$	4.9			4.7	5.5			4.5			
$3p^4D^{\circ}_{27/2}$	5.3						5.7				
$3p^4D^{\circ}_{29/2}$	9.1		10.3		12.2			8.3	8.28	7.78 [23]	9.5 [24]
$3p^4D^{\circ}_{31/2}$						11.1				10.4 [22]	9.4 [30]
$3p^4D^{\circ}_{33/2}$	9.0	9.1			10.8			6.6	9.23	9.11 [23]	7.5 [24]
$3p^4D^{\circ}_{35/2}$						10.25					6.9 [25]
$3p^4D^{\circ}_{37/2}$	6.9	7.5		10.6			9.1	7.7			3.7 [27]
$3p^4D^{\circ}_{39/2}$											6.27 [29]
$3p^4D^{\circ}_{41/2}$	5.3				10.0			6.2	7.84		8.0 [31]
$3p^4D^{\circ}_{43/2}$											6.21 [28]
$3p^4D^{\circ}_{45/2}$	7.8				14.3	10.5	10.4	7.1			5.06 [29]
$3p^4D^{\circ}_{47/2}$			9.9	10.6	11.6			11.5	5.7		11.8 [25]
$3p^4D^{\circ}_{49/2}$	6.6										8.8 [31]
$3p^4D^{\circ}_{51/2}$						10.3					
$3p^4D^{\circ}_{53/2}$							8.1	7.1	8.47	10.0 [22]	
$3p^4D^{\circ}_{55/2}$	7.8	9.0	1.2	14.4		9.3					

фекту Ханле. При изучении всех этих данных можно заметить определенный разброс в величинах $\tau_{\text{эксп.}}$. Так, видимо, следует считать заниженными результаты измерения времен жизни уровней $2F'_{1/2}$ и $2P'_{3/2}$, выполненного в работе [16]. Напротив, значения времен жизни, измеренные в работе [17], систематически превышают соответствующие результаты других авторов. Отметим, что в работе [20] применялся тот же метод луч-фольговой спектроскопии, что и в работе [17], но времена жизни оказались в 1.5—2 раза меньше. Такие же значительные колебания наблюдаются и для величин $\tau_{\text{эксп.}}$ уровня $2D'_{5/2}$, полученного в разное время одним и тем же методом и теми же авторами [27, 29]. Наши $\tau_{\text{расч.}}$ (табл. 2) лучше всего согласуются с $\tau_{\text{эксп.}}$, полученными в последние годы [21, 23, 25, 28, 31].

Переходы p^4s-p^5 . Результаты расчета вероятностей этих переходов приведены в табл. 3. Экспериментальные данные для них отсутствуют. Для некоторых переходов $3p^44s \rightarrow 3p^5$ возможно сопоставление

с результатами полуэмпирических расчетов [10, 11]. Наши данные хорошо согласуются с этими расчетами во всех случаях, исключая переходы с уровня $3p^4(^1D)4s$. Так же как для переходов p^4s-p^4p , причиной этого расхождения, возможно, является учет наложения конфигураций $3p^4(4s+3d)$ в работе [11].

Таблица 3
Вероятность переходов (10^6 с^{-1}) $3p^4ns \rightarrow 3p^5$ ($n = 4,5$)

Переход $p^5 \leftarrow p^4s$	$n = 4$			$n = 5$
	наш расчет	[11]	[10]	наш расчет
$^2P_{1/2} \leftarrow ^2S'_{1/2}$	620			195
$\leftarrow ^2P_{1/2}$	1800	1460	1850	587
$\leftarrow ^4P_{1/2}$	9	7.9	7.0	37
$\leftarrow ^2P_{3/2}$	380	315	445	95
$\leftarrow ^4P_{3/2}$	3.5	3.0	6.0	42
$\leftarrow ^2D'_{3/2}$	1040			347
$^2P_{3/2} \leftarrow ^2S'_{1/2}$	1030			324
$\leftarrow ^2P_{1/2}$	1005	825	955	330
$\leftarrow ^4P_{1/2}$	0.7		3.5	13
$\leftarrow ^2P_{3/2}$	2370	1930	2310	545
$\leftarrow ^4P_{3/2}$	40	32	30	280
$\leftarrow ^2D'_{3/2}$	110	19		40
$\leftarrow ^4P_{3/2}$	2.2	1.5		0.9
$\leftarrow ^2D'_{1/2}$	1165	36		395

В заключение обсудим времена жизни уровней конфигураций $3p^44s$ и $3p^45s$. В табл. 4 величины $\tau_{\text{расч.}}$, полученные в настоящей работе, сравниваются с соответствующими данными из работ других авторов. Для некоторых уровней конфигурации $3p^45s$ $\tau_{\text{расч.}}$ сопоставляются с $\tau_{\text{эксп.}}$, измеренными методом луч-фольга [19, 20]. Как видно, по величине $\tau_{\text{расч.}}$ несколько меньше, чем $\tau_{\text{эксп.}}$. Для уровня $^4P_{3/2}$ наше $\tau_{\text{расч.}}$ значительно лучше согласуется с $\tau_{\text{эксп.}}$ [19], чем [20]. Для уровней конфигурации $3p^44s$ в табл. 4 наши расчетные значения времен жизни сравниваются с $\tau_{\text{расч.}}$ из упомянутых выше работ [10, 11] и только для двух состояний $^2P_{1/2}$ и $^2P_{3/2}$ с $\tau_{\text{эксп.}}$ [32-34]. Величины

Таблица 4
Радиационные времена жизни (нс) уровней $3p^4ns$ ($n = 4,5$)

Уровни	$n = 4$					$n = 5$		
	$\tau_{\text{расч.}}$		$\tau_{\text{эксп.}}$			$\tau_{\text{расч.}}$		$\tau_{\text{эксп.}}$
	наш расчет	[10, 11]	[22]	[23]	[34]	наш расчет	[19]	[20]
$^2S'_{1/2}$	0.61					< 1.4		
$^2P_{1/2}$	0.34	0.36 [10]	0.32	0.909	0.18	0.89		
$^4P_{1/2}$	102	119 [11]				3.4		
$^2P_{3/2}$	0.36	0.36 [10]	0.32		0.19	1.2		4.1
$^4P_{3/2}$	23	28.7 [11]				1.8	2.6	6.3
$^2D'_{3/2}$	0.87	53 [11]				< 1.6		2.6
$^4P_{3/2}$	455	67.1 [11]				4.0	2.4	
$^2D'_{1/2}$	0.86	27.6 [11]				< 1.6	3.1	

$\tau_{\text{расч.}}$ настоящей работы хорошо согласуются с данными работы [10] для уровней ${}^2P_{1/2,3/2}$. Согласие между результатами расчетов, проведенных в нашей работе и работе [11], имеет место и для уровней ${}^4P_{1/2,3/2}$. Относительно причины расхождения между $\tau_{\text{расч.}}$ уровней $3p^4s\ 2D'_{3/2,5/2}$ (табл. 4) уже говорилось выше. Что касается уровня $3p^4s\ 4P_{3/2}$, то, судя по вероятности перехода $3p^4s\ 4P_{3/2} \rightarrow 3p^5\ 2P_{3/2}$, приведенной в работе [11], в величине $\tau_{\text{расч.}}$ из этой же работы допущена опечатка, уменьшившая правильное значение на порядок. Нет определенности в значении $\tau_{\text{эксп.}}$ уровней $3p^4s\ 2P_{1/2,3/2}$, прижимающих активное действие в работе ионного аргонового лазера. В табл. 4 $\tau_{\text{эксп.}}$ для этих уровней взято из трех работ [32-34]; $\tau_{\text{эксп.}}$ [33], измеренное методом луч-фолига, следует считать явно завышенным. Значения $\tau_{\text{эксп.}}$ из работ [32, 34], полученные из измерений естественной ширины линии, различаются между собой приблизительно в 1.8 раза. Наше значение $\tau_{\text{расч.}}$ так же как и из работы [32], хорошо согласуется с $\tau_{\text{эксп.}}$ работы [32].

Литература

- [1] А. В. Логинков, П. Ф. Груздев. Опт. и спектр., 43, 4029, 1977.
- [2] А. В. Логинков, П. Ф. Груздев. Опт. и спектр., 44, 209, 1978.
- [3] П. О. Богданович, Р. И. Каразия. Гос. фонд алгоритмов и программ. П-000663, 1971.
- [4] J. B. Shumaker, Jr. C. H. Poreное. J. Opt. Soc. Am., 59, 980, 1969.
- [5] H. N. Olsen. JQSRT, 3, 305, 1963; R. Schnapauff. Z. Astrophys. 68, 431, 1968; H. F. Berg, W. Ervens. Z. Phys., 206, 184, 1967.
- [6] N. M. Nerheim, H. N. Olsen. JQSRT, 10, 755, 1970.
- [7] E. D. Tidwell. JQSRT, 12, 431, 1972.
- [8] B. Van der Sijde, E. D. Tidwell. JQSRT, 13, 289, 1973.
- [9] S. H. Koozekanani, G. L. Trusty. J. Opt. Soc. Am., 59, 1281, 1969.
- [10] H. Statz, F. A. Horrigan, S. H. Koozekanani, C. L. Tang, G. F. Koster. J. Appl. Phys., 36, 2278, 1965; G. F. Koster, H. Statz, C. L. Tang. J. Appl. Phys., 39, 4045, 1968.
- [11] B. F. J. Luyken. Physica, 60, 432, 1972.
- [12] R. I. Rudko, C. L. Tang. J. Appl. Phys., 38, 4731, 1967; 39, 4046, 1968.
- [13] R. H. Garstang. Month. Not. Roy. Astr. Soc., 114, 118, 1954.
- [14] W. R. Bennett Jr., P. J. Kindlmann, G. N. Mercer. Appl. Opt., Suppl. Chemical Lasers 2, 34, 1965.
- [15] J. Bakos, J. Sziget. Acta Phys. Acad. Sci. Hung., 23, 341, 1967.
- [16] T. A. Matilsky, J. E. Hesser. J. Opt. Soc. Am., 59, 579, 1969.
- [17] G. E. Assousa, L. Brown, W. K. Ford, Jr. J. Opt. Soc. Am., 60, 1311, 1970.
- [18] D. A. Church, M. Druetta, C. H. Lin. Phys. Rev. Lett., 27, 1763, 1971.
- [19] J. A. Kernahan, C. C. Lin, E. H. Pinnington. J. Opt. Soc. Am., 60, 898, 1970.
- [20] U. Fink, S. Baschkin, W. S. Bickel. JQSRT, 10, 1241, 1970.
- [21] D. B. King, C. E. Head. Phys. Rev. A, 13, 1778, 1976.
- [22] A. Denis, M. Gaillard. Phys. Lett., 31A, 9, 1970.
- [23] K. A. Mohamed, G. C. King, F. H. Read. J. Phys. B, 9, 3159, 1976.
- [24] T. Andersen, O. H. Madsen, G. Sorensen. Phys. Scr., 6, 125, 1972.
- [25] А. И. Ошерович, В. Н. Иванов, В. Н. Горшков. Вестн. ЛГУ, сер. физ. хим., 22, 7, 1974.
- [26] C. Camhy-Val, A.-M. Dumont. C. R. Acad. Sc. Paris, 267B, 689, 1968.
- [27] C. Camhy-Val, A.-M. Dumont, M. Dreaux, R. Vitry. C. R. Acad. Sc., Paris, 268B, 1017, 1969.
- [28] G. C. King, K. A. Mohamed, F. H. Read, R. E. Imhof. J. Phys. B, 9, 1247, 1976.
- [29] C. Camhy-Val, A.-M. Dumont, M. Dreaux, R. Vitry. Phys. Lett., 32A, 233, 1970.
- [30] R. Arrathoon, D. A. Sealer. Phys. Rev. A, 4, 815, 1971.
- [31] C. Camhy-Val, A.-M. Dumont, M. Dreaux, L. Perret, C. Vanderriest. JQSRT, 15, 527, 1975.
- [32] Ф. А. Королев, В. В. Лебедева, А. Е. Новик, А. И. Одинцов. Опт. и спектр., 33, 788, 1972.
- [33] A. E. Livingston, D. J. G. Irwin, E. H. Pinnington. J. Opt. Soc. Am., 62, 1303, 1972.
- [34] B. Van der Sijde, J. W. H. Dielis, W. P. M. Graff. JQSRT, 16, 1011, 1976.

Поступило в Редакцию 12 октября 1977 г.