

УДК 539.134 : 546.45

## НЕКОТОРЫЕ $E1$ , $M1$ , $E2$ , $M2$ ПЕРЕХОДЫ В ИЗОЭЛЕКТРОННОМ РЯДУ БЕРИЛЛИЯ

Э. К. Андерсон и Э. М. Андерсон

Приводятся результаты вычислений методом Дирака—Хартри—Фока значений энергии переходов, сил осцилляторов и вероятностей  $^1S_0 - ^3P_0$ ,  $^3P_0 - ^3P_1$ ,  $^3P_0 - ^1P_1$ ,  $^3P_0 - ^1D_1$ ,  $^3P_1 - ^3D_1$  и  $^3P_1 - ^3P_2$  переходов разных мультипольностей между низколежащими уровнями в изоэлектронном ряду бериллия для ряда значений  $Z$ .

Вычислению значений энергий, сил осцилляторов и вероятностей переходов в изоэлектронном ряду бериллия посвящен ряд работ [1-8], что вызвано использованием этих ионов в диагностике высокотемпературной плазмы. В настоящей работе приводится ряд новых данных, а также сравнение полученных нами результатов с результатами других авторов.

Методика вычислений, применяемая в настоящей работе, подробно изложена в работе [9], поэтому здесь приводятся только основные формулы.

Волновые функции, необходимые для вычисления матричных элементов, определяются релятивистским методом самосогласованного поля, в котором используется детерминированный базис. Варьируется выражение энергии, усредненное по термам и конфигурациям как начальных, так и конечных состояний. Для нахождения значений энергий диагонализуются матрица энергии.

Значения вероятностей переходов вычисляются по формуле

$$A_{B \rightarrow A} = \frac{2\alpha\Delta E}{(2J_B + 1)(2L + 1)} \left| \sum_{\lambda_a \lambda_b} \langle \lambda_a \| \hat{\delta}_L \| \lambda_b \rangle \langle \gamma_A J_A \| \hat{T}(L | \lambda_a \lambda_b) \| \gamma_B J_B \rangle \right|^2, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — постоянная тонкой структуры,  $\Delta E$  — энергия перехода,  $J_B$  — квантовое число полного момента состояния  $B$ ,  $\lambda_i$  — совокупность одноэлектронных квантовых чисел  $n, l, j$  или  $n, x$  подоболочки  $i$ ,  $\gamma$  — дополнительные квантовые числа системы,  $\hat{\delta}_L$  — одноэлектронный оператор перехода,  $L$  — мультипольность,  $\langle \gamma_A J_A \| \hat{T}(L | \lambda_a \lambda_b) \| \gamma_B J_B \rangle$  — субматричный элемент обобщенного единичного тензорного оператора  $\hat{T}(L | \lambda_a \lambda_b)$  содержит всю угловую зависимость системы как целого [10].

Одноэлектронный матричный элемент перехода выражается в следующем виде:

$$\langle \lambda_a \| \hat{\delta}_L \| \lambda_b \rangle = (-1)^{j_a - j_b} ([j_a] [j_b])^{1/2} \begin{pmatrix} j_a & L & j_b \\ 1/2 & 0 & -1/2 \end{pmatrix} M(ab | \tau L), \quad (2)$$

где  $[x] = 2x + 1$ ,  $\begin{pmatrix} j_a & L & j_b \\ 1/2 & 0 & -1/2 \end{pmatrix}$  —  $3j$  коэффициент Вигнера, а  $M(ab | \tau L)$  — радиальная часть одноэлектронного матричного элемента, которая зависит только от радиальных волновых функций, мультипольности  $L$  и типа перехода;  $\tau = e$  — электрического и  $\tau = m$  — магнитного типа.

В случае переходов электрического типа выражение для радиальной части матричного элемента зависит также от выбора калибровочной постоянной  $G$ .

$$\bar{M}(ab | eLG) = \bar{M}(ab | tL) + G\bar{M}(ab | lL), \quad (3)$$

где  $\bar{M}(ab | tL)$  поперечная и  $\bar{M}(ab | lL)$  продольная части.

Выражения для радиальных частей субматричных элементов в разных приближениях даны в работах [9, 11].

В настоящей работе нами применялся набор базисных функций, содержащий в незаполненных подоболочках следующие конфигурации:  $2s^2$ ,  $2s2p_-$ ,  $2s2p_+$ ,  $2p_+2p_-$ ,  $2p_-^2$ ,  $2p_+^2$ .

Вычисления характеристик проводились с учетом запаздывания (коротковолновое приближение). Использовались два значения калибровочной постоянной  $G=0$ , что соответствует формуле скорости для сил осцилляторов  $f_V$  и  $G=\sqrt{L/(L+1)}$ , что соответствует формуле длины  $f_L$  в нерелятивистском приближении. Сравнение значений  $f_V$  и  $f_L$  для данного перехода указывает на качество применяемых функций.

Таблица 1

Значения энергий и сил осцилляторов  $E1$ -перехода  $2s2p (^3P_J^0) \rightarrow 2p^2 (^3P_{J'})$

Ион		$J \rightarrow J'$						
		0-1	1-0	1-1	1-2	2-1	2-2	
Ca <sup>16+</sup>	$\Delta E$ , а. е. {	[ <sup>4</sup> ](E)	2.0579	1.9252	2.0065	2.103	1.8808	1.9711
			2.0588	1.9207	2.0030	2.1034	1.8729	1.973
	$f_L$ {	[ <sup>4</sup> ](E)	0.074	0.023	0.018	0.032	0.017	0.050
		[ <sup>3</sup> ]	0.077	0.024	0.019	0.033	0.018	0.052
			0.076	0.024	0.018	0.032	0.017	0.051
Fe <sup>22+</sup>	$\Delta E$ , а. е. {	[ <sup>4</sup> ](E)	3.1353	2.6585	2.9926	3.1981	2.5639	2.7694
			3.1199	2.6375	2.9692	3.1962	2.5336	2.7606
	$f_L$ {	[ <sup>4</sup> ](E)	0.063	0.018	0.015	0.027	0.013	0.031
		[ <sup>6</sup> ]	0.065	0.019	0.015	0.028	0.013	0.033
			0.064	0.018	0.015	0.028	0.013	0.031

Таблица 2

Значения энергий вероятностей  $M2$  переходов  $2s2p (^3P_2) \rightarrow 2s^2 (^1S_0)$  в изоэлектронном ряду бериллия

Z	Ион	$\Delta E$ , а. е.	$\Delta E$ [ <sup>12</sup> ]	$\Delta E$ [ <sup>1</sup> ]	A, с <sup>-1</sup>	A [ <sup>1</sup> ]	A [ <sup>3</sup> ]
4	Be	0.1002	0.1002	0.1054	0.283 (-3)	0.273 (-3)	
7	N <sup>3+</sup>	0.3122	0.3068	0.3147	0.126 (-1)	0.113 (-1)	
10	Ne <sup>6+</sup>	0.5188	0.5135	0.5221	0.608 (-1)	0.572 (-1)	
26	Fe <sup>22+</sup>	2.172	—	2.172	0.810 (1)	0.807 (1)	0.751 (1)
36	Kr <sup>32+</sup>	4.688	—	4.672	0.177 (3)	0.175 (3)	0.146 (3)
42	Mo <sup>38+</sup>	7.400	—	7.366	0.121 (4)	0.118 (4)	0.903 (3)
54	Xe <sup>50+</sup>	17.58	—	17.48	0.507 (5)	0.491 (5)	
64	Cd <sup>60+</sup>	33.97	—	33.70	0.911 (6)	0.874 (6)	
74	W <sup>70+</sup>	62.16	—	61.53	0.431 (8)	0.425 (8)	
82	Pb <sup>78+</sup>	97.67	—	96.40	0.976 (8)	0.911 (8)	
92	U <sup>88+</sup>	167.1	—	163.9	0.106 (10)	0.957 (9)	

В табл. 1 наряду с результатами наших вычислений  $E1$  переходов  $2s2p (^3P_J^0) \rightarrow 2p^2 (^3P_{J'})$  тех же ионов приводятся результаты из работ [3, 4].

Табл. 2 содержит значения вероятностей  $M2$  переходов  $2s2p (^3P_2) \rightarrow 2s^2 (^1S_0)$  для ряда значений, полученных нами и в работах [1, 3].

Таблица 3

Значения длин волн и вероятностей  $E2$  и  $M1$  переходов  $2s2p (^3P_0^o) - 2s2p (^3P_2^o)$ 

Переход		Ca <sup>16+</sup>		Fe <sup>22+</sup>		Kr <sup>32+</sup>		Mo <sup>38+</sup>	
		$\lambda, \text{Å}$	$A, \text{c}^{-1}$	$\lambda, \text{Å}$	$A, \text{c}^{-1}$	$\lambda, \text{Å}$	$A, \text{c}^{-1}$	$\lambda, \text{Å}$	$A, \text{c}^{-1}$
$E2$	{ [3]	2629.5	0.663 (-2)	828.9	0.659	205.2	0.173 (3)	107.0	0.232 (4)
		2451	0.879 (-2)	777.1	0.848	215.5	0.139 (3)	98.51	0.312 (4)
$M1$	{ [3]	3711	0.262 (3)	1109.6	0.963 (4)	247.3	0.802 (6)	122.6	0.618 (7)
		3493	0.313 (3)	1046.0	0.114 (5)	230.3	0.979 (6)	112.6	0.780 (7)

Таблица 4

Значения энергий, сил осцилляторов  $E1$  переходов  $2s^2 (^1S_0) - 2s2p (^1P_1^o)$ 

Ион	$\Delta E, \text{a. e.}$	$f_V$	$f_L$	Ион	$\Delta E, \text{a. e.}$	$f_V$	$f_L$
N <sup>3+</sup>	0.6529	0.527	0.636	J <sup>36+</sup>	7.689	0.142	0.139
Ne <sup>6+</sup>	1.041	0.357	0.404	Mo <sup>38+</sup>	9.294	0.145	0.441
Ca <sup>16+</sup>	2.432	0.184	0.192	Rl <sup>40+</sup>	11.25	0.149	0.146
Ti <sup>18+</sup>	2.758	0.172	0.177	Cd <sup>44+</sup>	13.63	0.156	0.152
Cr <sup>20+</sup>	3.114	0.162	0.166	Xe <sup>50+</sup>	19.93	0.173	0.169
Fe <sup>22+</sup>	3.506	0.155	0.157	Gd <sup>60+</sup>	36.74	0.214	0.211
Zn <sup>26+</sup>	4.441	0.146	0.145	W <sup>70+</sup>	65.41	0.269	0.269
Ge <sup>28+</sup>	5.001	0.143	0.142	Pb <sup>78+</sup>	101.33	0.322	0.324
Br <sup>31+</sup>	5.998	0.141	0.139	U <sup>88+</sup>	171.31	0.400	0.413
Kr <sup>32+</sup>	6.379	0.141	0.138				

Таблица 5

Значения энергий, вероятностей  $M2$  переходов  $2s^2 (^1S_0) \leftarrow 2s2p (^3P_2^o)$ 

Ион	$\Delta E, \text{a. e.}$	$A, \text{c}^{-1}$	Ион	$\Delta E, \text{a. e.}$	$A, \text{c}^{-1}$
Be	0.1002	0.283 (-3)	Kr <sup>32+</sup>	4.688	0.178 (3)
N <sup>3+</sup>	0.3122	0.126 (-1)	J <sup>36+</sup>	5.897	0.464 (3)
Ne <sup>6+</sup>	0.5188	0.609 (-1)	Mo <sup>38+</sup>	7.400	0.121 (4)
Ca <sup>16+</sup>	1.364	0.145 (1)	Rl <sup>40+</sup>	9.253	0.314 (4)
Ti <sup>18+</sup>	1.596	0.255 (1)	Cd <sup>44+</sup>	11.51	0.808 (4)
Cr <sup>20+</sup>	1.863	0.452 (1)	Xe <sup>50+</sup>	17.58	0.507 (5)
Fe <sup>22+</sup>	2.172	0.811 (1)	Gd <sup>60+</sup>	33.97	0.911 (6)
Zn <sup>26+</sup>	2.955	0.270 (2)	W <sup>70+</sup>	62.16	0.131 (8)
Ge <sup>28+</sup>	3.446	0.503 (2)	Pb <sup>78+</sup>	97.67	0.976 (8)
Br <sup>31+</sup>	4.341	0.129 (3)	U <sup>88+</sup>	167.0	0.103 (10)

В табл. 3 приведены значения длин волн и вероятностей  $M2$  и  $E1$  переходов, полученные нами и в работе [3].

Сравнение полученных нами результатов с результатами других авторов показывает вполне удовлетворительное совпадение для всех рассмотренных типов переходов.

Надо отметить, что выбранный нами в этой работе базис невелик и расширение базиса могло бы улучшить результаты. Кроме того, усреднение выражения для энергии как по начальным, так и по конечным состояниям, приводит к некоторому ухудшению волновых функций, что влечет за собой расхождение значений  $f_V$  и  $f_L$  (см. табл. 4). Как показывают многочисленные сравнения, во всех случаях получаемые нашим методом значения  $f_L$  близко к значениям  $f_V$ , полученным корректным многоконфигурационным релятивистским методом самосогласованного поля с учетом интегралов перекрытия [8]. В ниже приведенных таблицах мы приводим значения  $f_L$  и соответствующие значения вероятностей переходов.

Таблица 6

Значения энергий, сил осцилляторов  $E1$  переходов  $2s2p(^3P^o) \rightarrow 2p^2(^3P_J)$ 

Ион	0-1		1-0		1-1		1-2		2-1		2-2	
	$\Delta E$ , а. е.	$f_L$	$\Delta E$ , а. е.	$f_L$	$\Delta E$ , а. е.	$f_L$	$\Delta E$ , а. е.	$f_L$	$\Delta E$ , а. е.	$f_L$	$\Delta E$ , а. е.	$f_L$
Be	0.1748	0.561	0.1748	0.187	0.1748	0.140	0.1749	0.233	0.1748	0.140	0.1748	0.420
N <sup>3+</sup>	0.5001	0.249	0.4993	0.828 (-1)	0.4997	0.621 (-1)	0.5004	0.104	0.4989	0.620 (-1)	0.4996	0.186
Ne <sup>6+</sup>	0.8218	0.157	0.8169	0.521 (-1)	0.8194	0.392 (-1)	0.8241	0.658 (-1)	0.8144	0.389 (-1)	0.8191	0.117
K <sup>15+</sup>	1.913	0.798 (-1)	1.804	0.250 (-1)	1.868	0.193 (-1)	1.950	0.341 (-1)	1.765	0.182 (-1)	1.847	0.550 (-1)
Ca <sup>16+</sup>	2.058	0.765 (-1)	1.920	0.237 (-1)	2.003	0.184 (-1)	2.103	0.328 (-1)	1.872	0.172 (-1)	1.973	0.513 (-1)
Ti <sup>18+</sup>	2.373	0.712 (-1)	2.155	0.216 (-1)	2.292	0.169 (-1)	2.431	0.308 (-1)	2.090	0.155 (-1)	2.229	0.443 (-1)
Cr <sup>20+</sup>	2.724	0.674 (-1)	2.395	0.199 (-1)	2.611	0.158 (-1)	2.794	0.293 (-1)	2.310	0.141 (-1)	2.493	0.377 (-1)
Fe <sup>22+</sup>	3.119	0.647 (-1)	2.637	0.185 (-1)	2.969	0.149 (-1)	3.196	0.285 (-1)	2.533	0.129 (-1)	2.760	0.317 (-1)
Zn <sup>26+</sup>	4.081	0.618 (-1)	3.129	0.163 (-1)	3.838	0.137 (-1)	4.149	0.287 (-1)	—	—	—	—
Br <sup>31+</sup>	5.700	0.618 (-1)	3.751	0.145 (-1)	5.321	0.129 (-1)	5.727	0.321 (-1)	3.586	0.943 (-2)	3.992	0.157 (-1)
Kr <sup>32+</sup>	6.095	0.621 (-1)	3.878	0.142 (-1)	5.688	0.129 (-1)	6.111	0.331 (-1)	3.709	0.916 (-2)	4.132	0.148 (-1)
Y <sup>36+</sup>	7.450	0.638 (-1)	4.263	0.133 (-1)	6.957	0.128 (-1)	7.431	0.364 (-1)	4.087	0.843 (-2)	4.561	0.126 (-1)
Mo <sup>38+</sup>	9.103	0.664 (-1)	4.661	0.126 (-1)	8.522	0.129 (-1)	9.045	0.403 (-1)	—	—	—	—
Ru <sup>40+</sup>	11.10	0.697 (-1)	5.073	0.119 (-1)	10.44	0.132 (-1)	11.01	0.445 (-1)	4.886	0.729 (-2)	5.457	0.988 (-2)
Cd <sup>44+</sup>	13.53	0.738 (-1)	5.503	0.113 (-1)	12.78	0.137 (-1)	13.39	0.492 (-1)	5.313	0.683 (-2)	5.930	0.894 (-2)
Xe <sup>50+</sup>	19.91	0.839 (-1)	6.431	0.102 (-1)	19.00	0.151 (-1)	19.71	0.597 (-1)	6.233	0.609 (-2)	6.940	0.756 (-2)
Gd <sup>60+</sup>	36.85	0.106	8.525	0.874 (-2)	35.67	0.185 (-1)	36.53	0.807 (-1)	8.033	0.519 (-2)	8.884	0.612 (-2)
W <sup>70+</sup>	65.63	0.135	10.61	0.768 (-2)	64.19	0.232 (-1)	65.18	0.106	10.36	0.460 (-2)	11.34	0.525 (-2)
Pb <sup>78+</sup>	101.63	0.164	13.16	0.707 (-2)	99.98	0.279 (-1)	101.0	0.131	12.85	0.430 (-2)	13.95	0.480 (-2)
U <sup>88+</sup>	171.16	0.208	17.93	0.663 (-2)	169.7	0.350 (-1)	170.9	0.168	17.49	0.413 (-2)	18.72	0.451 (-2)

Таблица 7

Значения энергий и вероятностей  $M1$  и  $E2$  переходов

Ион	$\Delta E$ , а. е.	$2p^2 (^3P^2) \leftarrow$		$M1$	$E2$	$\frac{M1}{E2}$
		$M1$	$E2$			
$N^{3+}$	0.9884 (-1)	0.116 (-1)	0.343 (-4)	0.33 (3)		
$K^{15+}$	0.3352	0.682 (3)	0.142	0.48 (4)		
$Ca^{16+}$	0.3588	0.115 (4)	0.218	0.52 (4)		
$Sc^{17+}$	0.3861	0.191 (4)	0.336	0.57 (4)		
$Ti^{18+}$	0.4483	0.311 (4)	0.522	0.60 (4)		
$Ni^{19+}$	0.4572	0.503 (4)	0.825	0.61 (4)		
$Cr^{20+}$	0.5042	0.805 (4)	0.132 (1)	0.61 (4)		
$Mn^{21+}$	0.5610	0.128 (5)	0.218 (1)	0.59 (4)		
$Ge^{28+}$	1.3560	0.261 (6)	0.876 (2)	0.30 (4)		
$Se^{30+}$	1.7503	0.569 (6)	0.243 (3)	0.23 (4)		
$Br^{31+}$	1.982	0.827 (6)	0.399 (3)	0.21 (4)		
$Kr^{32+}$	2.2387	0.118 (7)	0.647 (3)	0.18 (4)		
$Ru^{40+}$	5.9595	0.214 (8)	0.311 (5)	0.69 (3)		
$Cd^{44+}$	7.9212	0.497 (8)	0.957 (5)	0.52 (3)		
$Xe^{50+}$	13.326	0.230 (9)	0.745 (6)	0.31 (3)		
$Gd^{60+}$	28.369	0.215 (10)	0.146 (8)	0.14 (3)		
$W^{70+}$	54.750	0.150 (11)	0.193 (9)	0.78 (2)		
$U^{88+}$	153.66	0.311 (12)	0.107 (11)	0.29 (2)		

Таблица 8

Значения энергий, вероятностей  $M1$  и  $E2$  переходов

Ион	$\Delta E$ , а. е.	$2s2p (^3P_1^0) - 2s2p (^3P_2^0)$		$\frac{M1}{E2}$	$\Delta E$ , а. е.	$2s2p (^3P_1^0) - 2s2p (^1P_1^0)$		$\frac{M1}{E2}$
		$N1$	$E2$			$M1$	$E2$	
$Ne^{6+}$	0.4996 (-2)	0.177 (-1)	0.771 (-8)	0.23 (7)	0.5275	0.975	0.214 (-1)	0.45 (2)
$K^{15+}$	0.1031	0.155 (3)	0.131 (-2)	0.12 (6)	0.1122 (1)	0.798 (3)	0.381 (1)	0.21 (3)
$Ca^{16+}$	0.1304	0.313 (3)	0.336 (-2)	0.93 (5)	0.1199 (1)	0.134 (4)	0.581 (1)	0.23 (3)
$Sc^{17+}$	0.1631	0.612 (3)	0.823 (-2)	0.74 (5)	0.1279 (1)	0.220 (4)	0.873 (1)	0.25 (3)
$Ti^{18+}$	0.2019	0.115 (4)	0.193 (-1)	0.59 (5)	0.1364 (1)	0.353 (4)	0.129 (2)	0.27 (3)
$Vi^{19+}$	0.2476	0.213 (4)	0.439 (-1)	0.48 (5)	0.1455 (1)	0.555 (4)	0.190 (2)	0.29 (3)
$Cr^{20+}$	0.3011	0.381 (4)	0.962 (-1)	0.39 (5)	0.1552 (1)	0.858 (4)	0.276 (2)	0.31 (3)
$Mn^{21+}$	0.3634	0.668 (4)	0.204	0.32 (5)	0.1657 (1)	0.130 (5)	0.400 (2)	0.32 (3)
$Fe^{22+}$	0.4356	0.114 (5)	0.423	0.27 (5)	0.1769 (1)	0.195 (5)	0.575 (2)	0.34 (3)
$Zn^{26+}$	0.8463	0.814 (5)	0.605 (1)	0.13 (5)	0.2332 (1)	0.886 (5)	0.242 (3)	0.36 (3)
$Ga^{27+}$	0.9859	0.127 (6)	0.111 (2)	0.11 (5)	0.2507 (1)	0.126 (6)	0.345 (3)	0.36 (3)
$Ge^{28+}$	0.1143 (1)	0.196 (6)	0.201 (2)	0.97 (4)	0.2698 (1)	0.178 (6)	0.493 (3)	0.36 (3)
$As^{29+}$	0.1319 (1)	0.299 (6)	0.356 (2)	0.84 (4)	0.2909 (1)	0.250 (6)	0.703 (3)	0.35 (3)
$Sc^{30+}$	0.1516 (1)	0.450 (6)	0.621 (2)	0.72 (4)	0.3139 (1)	0.349 (6)	0.100 (4)	0.35 (3)
$Br^{31+}$	0.1735 (1)	0.668 (6)	0.106 (3)	0.63 (4)	0.3393 (1)	0.483 (6)	0.142 (4)	0.34 (3)
$Kr^{32+}$	0.1979 (1)	0.979 (6)	0.179 (3)	0.55 (4)	0.3669 (1)	0.665 (6)	0.203 (4)	0.33 (3)
$Y^{34+}$	0.2870 (1)	0.288 (7)	0.783 (3)	0.36 (4)	0.4662 (1)	0.167 (7)	0.583 (4)	0.28 (3)
$Mo^{38+}$	0.4044 (1)	0.780 (7)	0.303 (4)	0.26 (4)	0.5939 (1)	0.402 (7)	0.164 (5)	0.24 (3)
$Ru^{40+}$	0.5556 (1)	0.196 (8)	0.106 (5)	0.18 (4)	0.7556 (1)	0.924 (7)	0.452 (5)	0.20 (3)
$Cd^{44+}$	0.7467 (1)	0.426 (8)	0.340 (5)	0.14 (4)	0.9577 (2)	0.203 (8)	0.120 (6)	0.17 (3)
$Xe^{50+}$	0.1277 (2)	0.220 (9)	0.281 (6)	0.78 (3)	0.1511 (2)	0.885 (8)	0.774 (6)	0.11 (3)
$Gd^{60+}$	0.2765 (2)	0.210 (10)	0.583 (7)	0.36 (3)	0.3042 (2)	0.779 (9)	0.128 (8)	0.62 (2)
$W^{70+}$	0.5884 (2)	0.148 (11)	0.792 (8)	0.11 (3)	0.5709 (2)	0.527 (10)	0.155 (9)	0.34 (2)
$Pb^{78+}$	0.8712 (2)	0.606 (11)	0.516 (9)	0.12 (3)	0.9079 (2)	0.211 (11)	0.965 (9)	0.22 (2)
$U^{88+}$	0.1523 (3)	0.308 (12)	0.448 (10)	0.68 (2)	0.1565 (3)	0.106 (12)	0.802 (10)	0.13 (2)

В табл. 4—8 даются результаты вычисленных нами значений энергий, сил осцилляторов или вероятностей переходов. В табл. 4 для сравнения приводятся как значения  $f_V$ , так и значения  $f_L$ . В табл. 7 и 8 даются значения вероятностей  $M1$  и  $E2$  переходов между одними и теми же состояниями. В этих таблицах приводятся также отношения  $M1/E2$ .

Авторы выражают благодарность А. С. Корхонен за существенную помощь в работе.

## Литература

- [1] D. L. Lin, W. Fielder, Jr., L. Armstrong. *Astroph. J.*, 219, 1093, 1978.
- [2] R. Glass. *J. Phys. B*, 12, 1633, 1979.
- [3] H. Nussbaumer, P. J. Storrer. *J. Phys. B*, 12, 1647, 1979.
- [4] R. Glass. *J. Phys. B*, 12, 689, 1979.
- [5] R. Glass. *J. Phys. B*, 12, 697, 1979.
- [6] H. P. Mühlethaler, H. Nussbaumer. *Astron. Astrophys.*, 48, 109, 1976.
- [7] C. D. Lin, W. R. Johnson. *Phys. Rev. A*, 15, 1046, 1977.
- [8] K. J. Cheng, W. R. Johnson. *Phys. Rev. A*, 15, 1326, 1977.
- [9] Э. К. Андерсон, Э. М. Андерсон. *Опт. и спектр.*, 51, 398, 1981.
- [10] M. O. Eglajs. VI Internat. Conf. on Atomic Physics, Abstracts of Contributed Papers, Riga, 187, 1978.
- [11] J. P. Grant. *J. Phys. B*, 7, 1468, 1974.
- [12] C. E. Moore. *Atomic Energy Levels*. Nat. Bur. Stand., Washington, 1949.

Поступило в Редакцию 17 ноября 1980 г.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ