

文章编号: 1007-4627(2002)02-0085-06

Mo XIV 离子精细结构能级和辐射寿命*

王晓东¹, 姜仁滨², 裴东¹, 王宛珏²

(1 西北师范大学物理与电子工程学院, 甘肃 兰州 730070;

2 新疆大学物理系, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要: 用全相对论多组态自洽场方法, 计算了类铜离子 Mo XIV 的 $1s, 2s, 2p_-, 2p, 3s, 3p_-, 3p, 3d_-, 3d, 4s, 4p_-, 4p, 4d_-, 4d, 4f_-, 4f, 5s, 5p_-, 5p, 5d_-, 5d, 5f_-, 5f, 5g_-, 5g, 6s, 6p_-, 6p, 6d_-, 6d, 6f_-, 6f, 6g_-, 6g, 6h_-, 6h, 7s, 7p_-, 7p, 7d_-, 7d, 7f_-, 7f, 7g_-$ 和 $7g$ 轨道的 1 508 个精细结构能级和辐射寿命以及其它各种跃迁参数, 能级的计算值和实验值符合得很好. 另外还发现了一些寿命较长的能级.

关键词: 类铜离子; 精细结构能级; 辐射寿命

中图分类号: O562.3 **文献标识码:** A

1 引言

高离化原子各种性质的研究对等离子体的诊断、束箔光谱的识别和高能激光材料的选取有着重要的意义. 随着激光器功率和加速器能量的提高, 高离化原子结构的实验研究和相应的理论研究逐渐向重离子、多电子和高激发态的方向发展.

对于高离化离子也从实验和理论上进行了不少的研究. 1979 年, Readeer 等^[1]测量了 Mo XIV 离子 $3d^{10}4l$ 组态能级和有关的跃迁谱线波长. 1983 年, Readeer 等^[2]测量了 Ru X VI—Sn X X II 离子的能级和跃迁谱线波长值, 但部分结果与实验值误差较大. 1988 年, Suger J 等^[3]对类铜钼离子光谱进行了分析, 同时还用 MCHF (multiconfiguration Hartree-Fock) 方法识别出了 47 个能级. 1996 年, Safronova 等^[4]用含二阶扰动理论的 MBPT 方法对 $Z=4-100$ 的类铍离子的 $n=2$ 状态进行了计算. 1997 年, Chen 等^[5]用大规模相对论组态相互作用 (RCI) 方法对 $Z=10-92$ 中的 12 个类铍离子的基态和 $2s2p^1P_1$ 的激发态的能级进行了计算. 2000 年, 盛勇等^[6]用 GRASP2 (General-purpose Relativistic Atomic Structure Program 2)^[7]计算了类钷钒离子的 35 个精细结构能级和部分跃迁光谱. 2001 年, 易有根等^[8]用 GRASP2 计算了类铍离子

的 $2s^2^1S_0-2s2p^1P_1$ 电偶极跃迁光谱. 同年, 牟致栋等^[9]用 HXR (Hartree-plus-statistical-exchange and Relativistic corrections)^[10]方法计算了 Mo XIV—Pd XVIII 离子的 $3d^{10}4l$ 组态的能级和这些能级间跃迁的波长和振子强度. 2002 年, 王晓东等^[11]用全相对论多组态自洽场方法对类铍铬、铜、铈离子的 170 个精细结构能级和辐射寿命以及各能级间的 E1, E2, M1 和 M2 跃迁的跃迁几率和振子强度进行了计算. 由于目前对类铜离子理论计算和实验研究主要集中在少数低能级的结构参数和跃迁参数上, 对在高温等离子体中和高能重离子加速器上普遍存在的高激发态的研究却较少. 本文对 Mo XIV 离子的 1 508 个精细结构能级和这些能级的辐射寿命, 以及各能级间的 E1, E2, M1 和 M2 跃迁的跃迁几率和振子强度进行了全面的计算. 能级的计算值和已知实验值^[3]符合得很好. 另外, 本文绝大部分计算值是我们预言的.

2 计算方法

本文是根据全相对论多组态自洽场方法, 使用经我们改进和扩展的“多功能相对论原子结构程序” (GRASP)^[12], 选用两参数 Fermi 球对称核电荷分

收稿日期: 2002-03-06; 修改日期: 2002-05-07

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69968001)

作者简介: 王晓东(1969—), 男(汉族), 重庆人, 讲师, 从事原子结构与原子光谱研究.

布和平均能级模型计算的。

在相对论中一个电子的 Dirac 轨道 $|nkm\rangle$ 在坐标表象中的表示是：

$$\langle r | nkm \rangle = \frac{1}{r} \begin{pmatrix} P_{nk}(r) & X_{kn} \left(\frac{r}{r} \right) \\ iQ_{nk}(r) & X_{-kn} \left(\frac{r}{r} \right) \end{pmatrix}. \quad (1)$$

N 个电子系统的组态波函数 $|\gamma PJM\rangle$ 是 Dirac 轨道的 N 阶 Slater 行列式的线性组合，原子态波函数 $|\Gamma PJM\rangle$ 是 P ， J 和 M 相同的组态波函数的线性叠加：

$$|\Gamma PJM\rangle = \sum_{r=1}^{n_c} C_{r\gamma} |\gamma_r PJM\rangle. \quad (2)$$

N 电子离子的主要相互作用包含在 Dirac-Coulomb 哈密顿中：

$$H^{DC} = \sum_{i=1}^N H_i + \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N |r_i - r_j|^{-1}, \quad (3)$$

其中， $H_i = c \sum_{r=1}^3 \alpha_r P_{ri} + (\beta - 1)c^2 + V_{nuc}(r_i)$ ， α_r 和 β 是 Dirac 矩阵。

束缚态径向波函数的大、小分量 $P_{nk}(r)$ 和 $Q_{nk}(r)$ 可以用自洽场方法从径向 Dirac 方程解出，然后用 Briet 修正和包括电子自能、真空极化在内的量子电动力学(QED)修正作微扰，可得波函数和能量的高阶近似值。

单位时间内 $\beta\alpha$ 跃迁的自发辐射几率是

$$A_{\beta-\alpha} = 2\alpha\omega \begin{bmatrix} j_\alpha \\ L \end{bmatrix} \begin{pmatrix} j_\beta & L & j_\beta \\ \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \cdot |\bar{M}_{\alpha\beta}|^2, \quad (4)$$

其中

$$\bar{M}_{\beta-\alpha} = \begin{cases} \bar{M}_{\alpha\beta}^c + G\bar{M}_{\alpha\beta}^1 & \text{对于电多极跃迁,} \\ \bar{M}_{\alpha\beta}^m & \text{对于磁多极跃迁,} \end{cases}$$

这里的 G 是规范参量，在 Coulomb 规范中 $G = 0$ ，在 Babushkin 规范中 $G = [(L+1)/L]^{1/2}$ 。在非相对论极限下， $G = 0$ 给出辐射矩阵元的速度形式，而 $G = [(L+1)/L]^{1/2}$ 给出辐射矩阵元的长度形式。 $\bar{M}_{\alpha\beta}^c$ ， $\bar{M}_{\alpha\beta}^m$ 和 $\bar{M}_{\alpha\beta}^1$ 决定于 Dirac 轨道的大、小分量和能量。由自发辐射几率可以算出 $\beta-\alpha$ 跃迁的振子强度：

$$f_{\beta-\alpha} = \frac{[j_\beta]}{[j_\alpha]} \frac{A_{\beta-\alpha}}{2\alpha\omega}. \quad (5)$$

由自发辐射几率还可以算出 β 原子态的辐射寿命：

$$T_\beta = \frac{1}{\sum_\alpha A_{\beta-\alpha}}. \quad (6)$$

3 结果和分析

本文用上述方法对类铜离子包含 $1s, 2s, 2p_-, 2p, 3s, 3p_-, 3p, 3d_-, 3d, 4s, 4p_-, 4p, 4d_-, 4d, 4f_-, 4f, 5s, 5p_-, 5p, 5d_-, 5d, 5f_-, 5f, 5g_-, 5g, 6s, 6p_-, 6p, 6d_-, 6d, 6f_-, 6f, 6g_-, 6g, 6h_-, 6h, 7s, 7p_-, 7p, 7d_-, 7d, 7f_-, 7f, 7g_-$ 和 $7g$ 轨道的 1508 个原子组态的结构参数和各种跃迁参数进行了计算。由于篇幅所限，表 1 中只列出了 Mo XIV 离子的 88 个精细结构能级 E_c 和辐射寿命 T ，表中还列出了 Sugar 等^[3] 的能级实验值 E_0 以及 E_0 和 E_c 的相对误差 e 。

表 1 类铜离子 MO XIV 精细结构能级的实验值 E_0 ，计算值 E_c 、辐射寿命 T 和 E_c 与 E_0 之间的相对误差 e

序号	组态	J	E_c/cm^{-1}	E_0/cm^{-1}	e	T^*/s
1	$3d^1 3d^6 4s$	1/2	0	0		
2	$3d^1 3d^6 4p_-$	1/2	235 542	236 085	0.23%	1.25×10^{-10}
3	$3d^1 3d^6 4p$	3/2	266 487	267 632	0.43%	8.59×10^{-11}
4	$3d^1 3d^6 4d_-$	3/2	650 328	649 976	0.05%	1.71×10^{-11}
5	$3d^1 3d^6 4d$	5/2	655 500	655 242	0.04%	1.95×10^{-11}
6	$3d^1 3d^6 4f_-$	5/2	1 029 197	1 033 850	0.45%	2.07×10^{-11}
7	$3d^1 3d^6 4f$	7/2	1 029 266	1 033 968	0.45%	2.14×10^{-11}

8	$3d^4-3d^65s$	1/2	1 098 138	1 089 691	0.78%	5.93×10^{-12}
9	$3d^4-3d^65p-$	1/2	1 200 389	1 192 036	0.70%	9.94×10^{-12}
10	$3d^4-3d^65p$	3/2	1 213 350	1 205 254	0.67%	1.09×10^{-11}
11	$3d^4-3d^65d-$	3/2	1 382 168	1 372 413	0.71%	2.04×10^{-11}
12	$3d^4-3d^65d$	5/2	1 384 500	1 374 830	0.70%	1.97×10^{-11}
13	$3d^4-3d^65f-$	5/2	1 546 823	1 540 440	0.41%	2.07×10^{-11}
14	$3d^4-3d^65f$	7/2	1 546 903	1 540 575	0.41%	2.04×10^{-11}
15	$3d^4-3d^65g-$	7/2	1 579 865	1 577 546	0.15%	5.17×10^{-12}
16	$3d^4-3d^65g$	9/2	1 579 942	1 577 546	0.15%	5.17×10^{-12}
17	$3d^4-3d^66s$	1/2	1 585 686	1 579 705	0.38%	7.29×10^{-12}
18	$3d^4-3d^64s^2$	5/2	1 626 173			2.88×10^{-9}
19	$3d^4-3d^66p-$	1/2	1 635 500	1 633 270	0.14%	1.14×10^{-11}
20	$3d^4-3d^66p$	3/2	1 642 212	1 640 046	0.13%	1.26×10^{-11}
21	$3d^3-3d^64s^2$	3/2	1 652 454			2.05×10^{-9}
22	$3d^4-3d^66d-$	3/2	1 735 558			2.28×10^{-11}
23	$3d^4-3d^66d$	5/2	1 736 809			2.16×10^{-11}
24	$3d^4-3d^54s4p$	5/2	1 820 919			2.23×10^{-8}
25	$3d^4-3d^66f-$	5/2	1 824 788	1 818 244	0.36%	1.92×10^{-11}
26	$3d^4-3d^66f$	7/2	1 824 850	1 818 317	0.36%	1.88×10^{-11}
27	$3d^4-3d^54s4p-$	5/2	1 832 554			3.18×10^{-9}
28	$3d^4-3d^54s4p-$	7/2	1 834 617			4.01×10^{-9}
29	$3d^4-3d^54s4p$	3/2	1 837 198			1.01×10^{-10}
30	$3d^4-3d^66h-$	9/2	1 843 764	1 841 006	0.15%	1.63×10^{-11}
31	$3d^4-3d^66h$	11/2	1 843 798			1.63×10^{-11}
32	$3d^4-3d^66g-$	7/2	1 844 156			8.02×10^{-12}
33	$3d^4-3d^66g$	9/2	1 844 194			8.02×10^{-12}
34	$3d^4-3d^67s$	1/2	1 846 381			1.17×10^{-11}
35	$3d^4-3d^54s4p-$	3/2	1 849 893			2.94×10^{-10}
36	$3d^4-3d^54s4p$	9/2	1 852 492			8.77×10^{-10}
37	$3d^3-3d^64s4p-$	1/2	1 858 452			7.98×10^{-11}
38	$3d^3-3d^64s4p$	5/2	1 861 196	1 861 190	0.00%	2.94×10^{-9}
39	$3d^3-3d^64s4p$	3/2	1 861 221			2.52×10^{-11}
40	$3d^4-3d^54s4p$	7/2	1 868 035			1.70×10^{-8}
41	$3d^3-3d^64s4p$	5/2	1 869 901			4.68×10^{-9}
42	$3d^3-3d^64s4p$	3/2	1 871 695			7.28×10^{-12}
43	$3d^3-3d^64s4p$	1/2	1 873 741	1 874 730	0.05%	4.57×10^{-12}
44	$3d^4-3d^67p-$	1/2	1 877 841	1 878 710	0.05%	1.54×10^{-11}
45	$3d^4-3d^67p$	1/2	1 881 182	1 883 240	0.11%	7.56×10^{-11}
46	$3d^4-3d^54s4p$	3/2	1 881 784	1 885 090	0.18%	1.94×10^{-11}
47	$3d^3-3d^64s4p$	7/2	1 887 717	1 895 630	0.42%	6.48×10^{-9}
48	$3d^4-3d^54s4p$	3/2	1 890 459	1 897 890	0.39%	7.46×10^{-11}

49	$3d^4-3d^5 4s4p$	5/2	1 895 074	1 905 630	0.55%	5.46×10^{-9}
50	$3d^4-3d^5 4s4p$	7/2	1 930 209	1 914 680	0.81%	3.32×10^{-11}
51	$3d^3-3d^6 4s4p-$	3/2	1 930 315			5.79×10^{-12}
52	$3d^4-3d^6 7d-$	3/2	1 934 512			3.67×10^{-11}
53	$3d^4-3d^6 7d$	5/2	1 935 279			3.47×10^{-11}
54	$3d^3-3d^6 4s4p-$	5/2	1 940 781	1 945 600	0.25%	3.09×10^{-11}
55	$3d^3-3d^6 4s4p$	1/2	1 953 472			8.08×10^{-12}
56	$3d^4-3d^5 4s4p$	5/2	1 958 060			3.27×10^{-11}
57	$3d^3-3d^6 4s4p-$	3/2	1 967 287	1 968 970	0.09%	2.99×10^{-11}
58	$3d^4-3d^6 7f-$	5/2	1 988 006			3.05×10^{-11}
59	$3d^4-3d^6 7f$	7/2	1 988 048			3.01×10^{-11}
60	$3d^4-3d^6 7g-$	7/2	2 001 401	2 000 101	0.06%	1.41×10^{-11}
61	$3d^4-3d^6 7g$	9/2	2 001 425	2 000 101	0.07%	1.41×10^{-11}
62	$3d^4-3d^5 4p- 4p$	5/2	2 098 912			4.42×10^{-11}
63	$3d^4-3d^5 4p- 4p$	7/2	2 114 052			4.10×10^{-11}
64	$3d^4-3d^5 4p- 4p$	3/2	2 117 118			3.75×10^{-11}
65	$3d^4-3d^5 4p^2$	9/2	2 119 853			1.05×10^{-10}
66	$3d^4-3d^5 4p^2$	1/2	2 120 355			7.03×10^{-12}
67	$3d^3-3d^6 4p^2$	3/2	2 121 562			2.20×10^{-11}
68	$3d^4-3d^5 4p^2$	5/2	2 126 159			5.12×10^{-11}
69	$3d^3-3d^6 4p- 4p$	5/2	2 129 900			4.80×10^{-11}
70	$3d^4-3d^5 4p- 4p$	7/2	2 131 976			5.31×10^{-11}
71	$3d^4-3d^5 4p- 4p$	1/2	2 134 976			2.40×10^{-11}
72	$3d^3-3d^6 4p-^2$	3/2	2 137 807			5.16×10^{-12}
73	$3d^4-3d^5 4p- 4p$	7/2	2 145 567	2 143 750	0.08%	8.94×10^{-11}
74	$3d^4-3d^5 4p- 4p$	1/2	2 147 683			1.46×10^{-11}
75	$3d^4-3d^5 4p- 4p$	3/2	2 150 144			8.11×10^{-12}
76	$3d^4-3d^5 4p- 4p$	5/2	2 151 889			2.70×10^{-11}
77	$3d^4-3d^5 4p- 4p$	9/2	2 153 561			4.10×10^{-11}
78	$3d^4-3d^5 4p- 4p$	5/2	2 155 544			4.60×10^{-11}
79	$3d^3-3d^6 4p^2$	3/2	2 157 836			2.49×10^{-11}
80	$3d^3-3d^6 4p- 4p$	7/2	2 157 969	2 158 460	0.02%	7.08×10^{-11}
82	$3d^3-3d^6 4p- 4p$	1/2	2 169 581			5.04×10^{-12}
83	$3d^3-3d^6 4p- 4p$	3/2	2 172 857	2 171 600	0.06%	3.85×10^{-12}
84	$3d^4-3d^5 4p^2$	3/2	2 180 228	2 180 320	0.00%	3.61×10^{-11}
85	$3d^4-3d^5 4p^2$	7/2	2 184 200	2 190 210	0.27%	4.15×10^{-11}
86	$3d^4-3d^5 4p^2$	1/2	2 184 800	2 190 700	0.27%	2.81×10^{-11}
87	$3d^3-3d^6 4p- 4p$	5/2	2 185 055	2 194 630	0.44%	2.75×10^{-11}
88	$3d^3-3d^6 4p^2$	5/2	2 213 413	2 208 270	0.23%	1.45×10^{-11}
89	$3d^3-3d^6 4p^2$	3/2	2 238 094	2 230 110	0.36%	2.36×10^{-11}

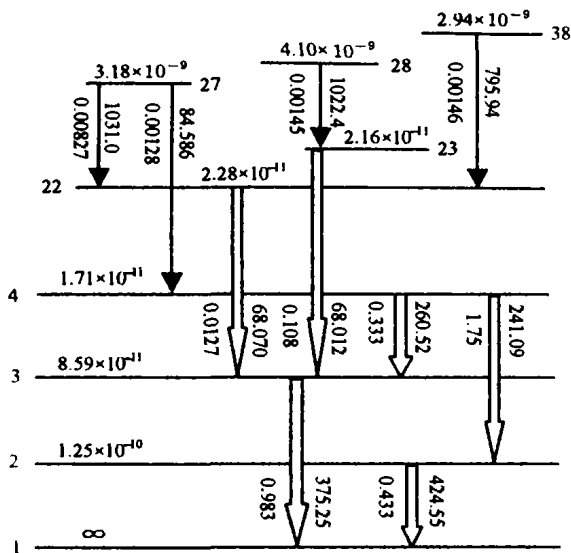


图 1 Mo XIV 离子能级电偶极跃迁的辐射寿命(s), 跃迁波长(Å)和振子强度

每条横线表示能级, 横线侧面的数字为能级序号, 上面的数字为该能级的辐射寿命; 每条竖线表示跃迁, 竖线右面的数字是该跃迁的波长(单位: Å), 左面的数字是该跃迁的振子强度。

从表中可以看到: Mo XIV 离子能级的相对误差全都在 0.81% 之下, 最小相对误差为 0.00%。从表中还可看到: Mo XIV 离子第 27, 28 和 38 的辐射寿命较长, 其中, $T_{27} = 3.18 \times 10^{-9}$ s, $T_{28} = 4.10 \times 10^{-9}$ s, $T_{38} = 2.94 \times 10^{-9}$ s, 它们可通过电偶极跃迁到低能态。从第 27, 28 和 38 能级到第 4, 22 和 23 等能级的跃迁中, 其上能级的辐射寿命比下能级的辐射寿命大两个数量级以上, 这些跃迁都是很可能辐射激光的跃迁。图 1 给出了这些能级间的部分电偶极跃迁的相关参数, 从图 1 中可以看出: 这些长寿命亚稳态向低能态的跃迁都是双电子跃迁: 当 4s 轨道上的一个 4s 电子向内层 3d 轨道跃迁的同时, 一个 4p 电子向其外层 4d 轨道跃迁。这是一个类似于“自电离”的过程, 我们称这个过程为“自激发”过程。图 2 简单地给出了这种“自激发”过程的一种可能的机制: 当 Mo XIII 离子受到外界光激发、电子激发或离子碰撞激发使 1 个 3d 电子激

发到 4p 后, 这个激发态的 1 个 4s 或 4p 电子向 3d 轨道单独跃迁是被禁戒的, 但这个 4s 电子与 4p 电子由于辐射场的影响和电子间的关联作用, 使 4s 电子向 4p 电子传递了一定的能量向 3d 轨道跃迁的同时, 这个 4p 电子获得此能量被激发到 4d 或更高轨道并放出一个光子, 这个过程却是允许跃迁。因为这种能量的传递过程有一定的偶然性, 所以这个激发态的寿命较长。

根据我们的计算得知: 像这样的“自激发”过程普遍存在于多电子原子和离子的激发态之中。

此外, 本文计算出的 Mo XIV 离子的第 45 能级的相对论组态名是 $3d^4 3d^6 7p \mid_{1/2}$, 而文献[3]所列相应能级的非相对论组态名是 $3d^9 4s 4p \ ^1P^0$; 本文计算出的第 38, 43, 44, 47, 48, 49, 50, 54, 57, 73, 80, 85, 87 和 89 能级的总角动量分别为 5/2, 1/2, 1/2, 7/2, 3/2, 5/2, 7/2, 5/2, 3/2, 7/2, 7/2, 5/2 和 3/2, 而文献[3]所列相应能级的总角动量分别为 3/2, 3/2, 3/2, 3/2, 1/2, 1/2, 3/2, 3/2, 1/2, 3/2, 3/2, 5/2, 3/2 和 5/2, 其余能级的名称均与文献[3]所列相应能级的名称相同。

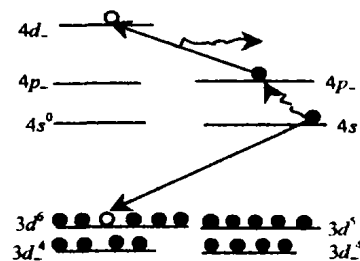


图 2 (27) $3d^4 3d^6 4s 4p \mid_{5/2} \rightarrow (4)3d^4 3d^6 4d \mid_{3/2}$ 跃迁

我们还对其它类铜离子进行了全面的计算, 但由于篇幅所限未能给出。希望我们计算的高离化类铜离子的高激发态精细结构能级和辐射寿命及各种跃迁参数的数据对高温等离子体的诊断、束箔光谱的识别和高能激光材料的选取有一定的帮助, 同时推动原子结构的实验研究和相应的理论研究向高离化态、高激发态和多电子的重离子方向发展。

参 考 文 献:

[1] Reader J, Luther G, Aguista N. Spectrum and Energy Levels of Thirteen-times Ionized Molybdenum[J]. J Opt Soc Am, 1979, 69: 144.

[2] Reader J, Aquista N, Copper D. Spectra Energy Levels of Ions in Copper Isoelectronic Sequence from Ru¹⁵⁺ — Sn²¹⁺ [J]. J Opt Soc Am, 1983, 73: 1 765.

- [3] Sugar J, Musgrove A. Energy Levels of Molybdenum Mo I—Mo XLII [J]. *Phys Chem Ref Data*, 1988, **17**: 157.
- [4] Sofronova M S, Johnson W R, Safronova U I. Relativistic Many-body Calculations of the Energies of $n=2$ States for the Beryllium-like Isoelectronic Sequence [J]. *Phys Rev*, 1996, **A53**: 4 036.
- [5] Chen M H, Cheng K T. Energy Levels of the Ground State and the $2s2p$ ($J=1$) Excited States of Beryllium-like Ions: A large-scale relativistic configuration calculation [J]. *Phys Rev*, 1997, **A55**: 166.
- [6] 盛 勇. 类氦离子 V^{21+} 精细能级结构及跃迁光谱相对论计算 [J]. *原子与分子物理学报*, 2000, **17**: 659.
- [7] Grant I P, Fisher C F. GRASP2[M]. Version, Private Communication, 1992.
- [8] 易有根, 朱正和. 高离化类铍离子 $2s^2 1S_0 - 2s2p^1 P_1$ ($Z=10-103$) 光谱跃迁 [J]. *原子与分子物理学报*, 2001, **18**: 109.
- [9] 牟致栋, 魏琦瑛, 蔡灵仓. Mo XIV -Pd XVIII 离子 $n=4$ Complex 谱线和振子强度 [J]. *原子与分子物理学报*, 2001, **18**: 340.
- [10] Cowan R D. *The Theory of Atomic Structure and Spectra*. [M]. Berkley: University of California Press, 1981.
- [11] 王晓东, 姜仁滨, 王宛珏. Cr^{20+} , Cu^{25+} 和 Lr^{99+} 离子精细结构能级和辐射寿命的计算 [J]. *原子与分子物理学报*, 2002, **19**:
- [12] Dylla K G, Grant I P, Johnson C T, *et al.* GRASP: A general purpose relativistic atomic structure program [J]. *Comput Phys Commun*, 1989, **55**: 425.

Fine-structure Energy Levels and Radiative Lifetime in Mo XIV*

WANG Xiao-dong¹, JIANG Ren-bin², PEI Dong¹, WANG Wan-jue²

(¹ College of Physics and Electronic Engineering of Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

² Department of Physics of Xinjiang University, Wulumuqi 830046, China)

Abstract: Energy levels, radiative lifetime and various transition parameters for allowed transitions among the 1 508 fine-structure levels belong to the $(1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6) 3d^{10} 4l, 3d^9 4l^2, 3d^{10} 5l, 3d^9 4l4m, 3d^{10} 6l, 3d^{10} 7l$ and so on configurations of the Cu-like ions Mo XIV have been calculated by using the expanded fully relativistic GRASP code. The results are compared with those available in the literature, and the accuracy of the present data is assessed. Energy levels are expected to be accurate to within 0.81%. We have found some long lifetime levels.

Key words: Cu-like ion; fine-structure; radiative lifetime

* Foundation item : National Natural Science Foundation of China (69968001)