

双电荷离子 He^{2+} 与 Ne, Ar 原子 碰撞中的激发态*

雷子明 杨 锋 刘家瑞 潘广炎 于德洪 孙 湘

(中国科学院物理研究所)

1987年10月15日收到

实验用光学多道分析系统(OMA)测量了 He^{2+} 和 Ne, Ar 碰撞过程中的发射光谱,结果表明,这些碰撞体系存在着三种激发过程:双电子俘获激发过程、单电子俘获激发过程和直接激发过程. 给出了 HeI, HeII, NeI, NeII 和 ArI, ArII 谱线的发射截面,并对 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 和 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 两个碰撞体系的发射截面作了一些比较,发现在入射离子速度相同的情况下,后者的发射截面要比前者大得多,并对此进行了定性讨论. OMA 的光谱波长范围为 200—800nm. 入射离子 He^{2+} 的能量范围为 140—340keV.

一、引 言

近年来多电荷离子(MCI)物理已经成为一个极其活跃的研究领域^[1-3]. 特别是多电荷离子和原子碰撞中电子俘获或者称之为电荷交换过程尤为重要. 此外,离子和靶原子的激发态的产生使多电荷离子和原子碰撞体系颇具特色. 1986年我们对单电荷离子 He^+ 和 Ne, Ar 原子碰撞过程中的激发态进行了研究^[6-8]. 最近我们又对双电荷离子 He^{2+} 和 Ne, Ar 原子碰撞过程中的电子俘获和产生的激发态进行了研究. 本文将给出详细的实验结果,并对其结果进行讨论. 实验装置可参阅文献[8]. 本实验误差估计为 10—15%.

二、实 验 结 果

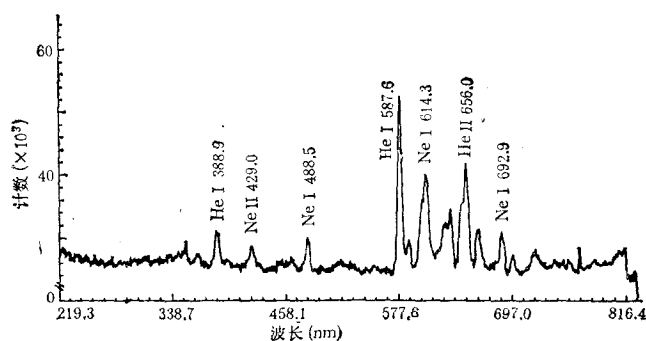
1. 激发过程

用 TN-1710 光学多道分析系统(OMA)测量了 He^{2+} 离子和 Ne, Ar 原子碰撞过程中的发射光谱, OMA 的光谱波长范围为 200—800nm, 入射离子能量范围为 140—340 keV, 每间隔 20keV 测量一个谱. 图 1 给出了 He^{2+} 和 Ne 碰撞过程中所产生的 HeI, HeII 和 NeI, NeII 线谱, 入射离子能量为 320keV.

从图 1 得到的 HeI, HeII, NeI, NeII 谱线分别列在表 1—4 中.

图 2 给出了 He^{2+} 和 Ar 碰撞过程中所产生的 HeI, HeII 和 ArI, ArII 线谱, 入射离子能量为 240keV.

* 国家自然科学基金资助的课题.

图1 He^{2+} 和 Ne 碰撞过程中的发射光谱(入射离子能量为 320 keV)表1 HeI 单态和三重态谱线表

单 态		三 重 态	
跃 迁	波长 (nm)	跃 迁	波长 (nm)
$3^1\text{S} \rightarrow 2^1\text{P}$	728.1	$3^3\text{S} \rightarrow 2^3\text{P}$	706.5
		$3^3\text{P} \rightarrow 2^3\text{S}$	388.9
$3^1\text{D} \rightarrow 2^1\text{P}$	667.8	$3^3\text{D} \rightarrow 2^3\text{P}$	587.6

表2 HeII 双重态谱线表

跃 迁	波 长 (nm)
$6g^2\text{G}_{7/2,5/2} \rightarrow 4f^2\text{F}_{9/2,7/2}$	656.0

表3 NeI $3p \rightarrow 3s'$, $3p \rightarrow 3s$, $5d \rightarrow 3p$ 谱线表

跃 迁	波长 (nm)	跃 迁	波长 (nm)
$5d[2\frac{1}{2}]_2^0 \rightarrow 3p[2\frac{1}{2}]_2$	488.5	$3p[2\frac{1}{2}]_2 \rightarrow 3s[1\frac{1}{2}]_2^0$	640.2
$3p[1\frac{1}{2}]_2 \rightarrow 3s[1\frac{1}{2}]_2^0$	614.3	$3p[1\frac{1}{2}]_2 \rightarrow 3s'[1\frac{1}{2}]_2^0$	692.9

表4 NeII 双重态、四重态谱线表

双 重 态		四 重 态	
跃 迁	波长 (nm)	跃 迁	波长 (nm)
$3p^2\text{F}_{7/2}^0 \rightarrow 3s^2\text{D}_{5/2}$	356.9	$4f^4\text{G}_{11/2} \rightarrow 3d^4\text{F}_{9/2}$	429.0
$3p^2\text{D}_{5/2}^0 \rightarrow 3s^2\text{P}_{3/2}$	371.3		

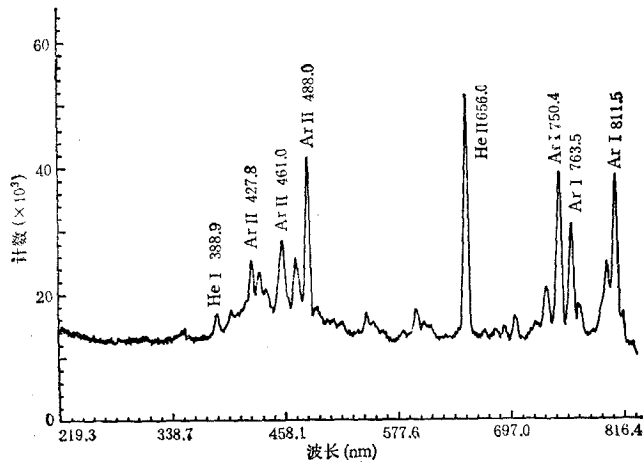


图2 He^{2+} 和 Ar 碰撞中的发射光谱 入射离子能量为 240keV

同样,从图 2 测得的 HeI, HeII, ArI, ArII 谱线分别列在表 5—8 中。

表 5 HeI 三重态谱线表

跃 迁	波 长 (nm)
$3^3\text{S} \rightarrow 2^3\text{P}$	706.5
$3^3\text{P} \rightarrow 2^3\text{S}$	388.9

表 6 HeII 双重态谱线表

跃 迁	波长 (nm)
$6g^2\text{G}_{7/2,5/2} \rightarrow 4f^2\text{F}_{5/2,3/2}$	656.0

表 7 ArI $4p' \rightarrow 4s$, $4p' \rightarrow 4s'$, $4p \rightarrow 4s$ 谱线表

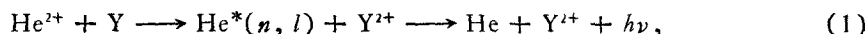
$4p' \rightarrow 4s$, $4p' \rightarrow 4s'$		$4p \rightarrow 4s$	
跃 迁	波长 (nm)	跃 迁	波长 (nm)
$4p'[1\frac{1}{2}]_2 \rightarrow 4s[1\frac{1}{2}]_1^0$	738.4	$4p[1\frac{1}{2}]_2 \rightarrow 4s[1\frac{1}{2}]_1^0$	763.5
$4p'[1\frac{1}{2}]_0 \rightarrow 4s'[1\frac{1}{2}]_1^0$	750.4	$4p[2\frac{1}{2}]_2 \rightarrow 4s[1\frac{1}{2}]_1^0$	811.5

表 8 ArII 双重态、四重态谱线表

双 重 态		四 重 态	
跃 迁	波长 (nm)	跃 迁	波长 (nm)
$4p^2\text{F}_{9/2}^0 \rightarrow 4s^2\text{D}_{3/2}$	461.0	$4p^4\text{D}_{7/2}^0 \rightarrow 4s^4\text{P}_{3/2}$	434.8
$4p^2\text{P}_{3/2}^0 \rightarrow 4s^2\text{P}_{1/2}$	476.5		
$4p^2\text{D}_{5/2}^0 \rightarrow 4s^2\text{P}_{3/2}$	488.0		

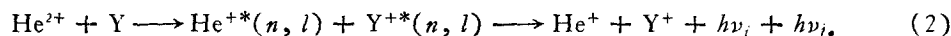
上述发射光谱表明,这两个碰撞体系都存在着三种碰撞激发过程:

1) 双电子俘获激发过程

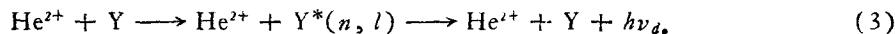


这里 $Y = \text{Ne}, \text{Ar}$,

2) 单电子俘获激发过程



3) 直接激发过程



2. 发射截面

根据发射截面公式^[8],以及 He^{2+} 和 Ne 碰撞过程中发射的光谱数据,可以获得 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 碰撞体系中 HeI , HeII 和 NeI , NeII 的发射截面,分别列入表 9—11 内.

表 9 HeI 的发射截面 σ_{em} (单位: 10^{-19}cm^2)

E(keV)	单 态		三 重 态		
	$3^1\text{S} \rightarrow 2^1\text{P}$ ($\lambda = 728.1\text{nm}$)	$3^1\text{D} \rightarrow 2^1\text{P}$ ($\lambda = 667.8\text{nm}$)	$3^3\text{S} \rightarrow 2^3\text{P}$ ($\lambda = 706.5\text{nm}$)	$3^3\text{P} \rightarrow 2^3\text{S}$ ($\lambda = 388.9\text{nm}$)	$3^3\text{D} \rightarrow 2^3\text{P}$ ($\lambda = 587.6\text{nm}$)
140	13.47	24.05	10.36	9.48	47.13
160	14.85	24.93	9.87	9.11	48.08
180	10.33	18.39	7.44	7.44	38.43
200	8.42	16.82	6.36	6.68	36.37
220	13.21	16.05	8.42	7.04	39.09
240	13.01	13.14	7.54	6.11	33.44
260	9.61	17.74	6.93	6.99	42.34
280	9.88	15.06	7.16	5.90	36.78
300	8.58	14.61	6.26	5.85	36.52
320	7.68	14.29	5.84	5.67	35.09
340	8.27	13.30	5.80	5.44	34.23

表 10 HeII , NeII 的发射截面 σ_{em} (单位: 10^{-19}cm^2)

E(keV)	HeII 双 重 态	NeII 四 重 态
	$6g^2\text{G}_{7/2,9/2} \rightarrow 4f^2\text{F}_{5/2,7/1}$ ($\lambda = 656.0\text{nm}$)	$4f^4\text{G}_{11/2} \rightarrow 3d^4\text{F}_{9/2}$ ($\lambda = 429.0\text{nm}$)
140	104.02	5.34
160	94.52	5.55
180	72.15	4.14
200	64.00	3.68
220	62.64	4.31
240	50.59	3.63
260	58.93	3.71
280	49.27	3.55
300	48.37	3.65
320	46.18	3.18
340	43.81	3.32

表 11 NeI 的发射截面 σ_{em} (单位: 10^{-19}cm^2)

E(keV)	3p $\rightarrow$ 3s		5d $\rightarrow$ 3p	3p $\rightarrow$ 3s'
	3p[$1\frac{1}{2}$] $_2 \rightarrow$ 3s[$1\frac{1}{2}$] $_1^0$ ($\lambda = 614.3\text{nm}$)	3p[$2\frac{1}{2}$] $_3 \rightarrow$ 3s[$1\frac{1}{2}$] $_2^0$ ($\lambda = 640.2\text{nm}$)	5d[$2\frac{1}{2}$] $_3^0 \rightarrow$ 3p[$2\frac{1}{2}$] $_2$ ($\lambda = 488.5\text{nm}$)	3p[$1\frac{1}{2}$] $_2 \rightarrow$ 3s'[$\frac{1}{2}$] $_1^0$ ($\lambda = 692.9\text{nm}$)
140	62.79	19.50	12.70	21.99
160	61.58	17.57	10.93	20.67
180	47.59	13.06	8.62	16.72
200	44.18	11.57	7.52	15.29
220	46.94	10.58	8.01	16.47
240	39.97	8.68	6.66	13.87
260	46.73	10.59	6.59	16.17
280	40.66	8.78	6.14	14.02
300	40.12	8.11	5.70	13.03
320	37.54	7.74	5.22	12.71
340	37.30	7.11	5.05	12.15

表 12 HeI, HeII 的发射截面 σ_{em} (单位: 10^{-19}cm^2)

E(keV)	HeI 三重态		HeII 双重态
	3 3 S $\rightarrow$ 2 3 P ($\lambda = 706.5\text{nm}$)	3 3 P $\rightarrow$ 2 3 S ($\lambda = 388.9\text{nm}$)	6g 2 G $_{7/2,5/2} \rightarrow$ 4f 2 F $_{3/2,5/2}$ ($\lambda = 656.0\text{nm}$)
140	45.42	16.03	209.49
160	35.30	12.42	192.70
180	31.93	11.39	171.27
200	29.97	10.91	177.39
220	32.46	11.75	167.96
240	30.59	9.18	190.96
260	28.77	8.82	172.50
280	29.25	9.15	145.24
300	24.87	7.93	127.54
340	25.26	8.71	120.64

表 13 ArI 的发射截面 σ_{em} (单位: 10^{-19}cm^2)

E(keV)	4p' $\rightarrow$ 4s, 4p' $\rightarrow$ 4s'		4p $\rightarrow$ 4s	
	4p'[$1\frac{1}{2}$] $_2 \rightarrow$ 4s[$1\frac{1}{2}$] $_1^0$ ($\lambda = 738.4\text{nm}$)	4p'[$\frac{1}{2}$] $_0 \rightarrow$ 4s'[$\frac{1}{2}$] $_1^0$ ($\lambda = 750.4\text{nm}$)	4p[$1\frac{1}{2}$] $_2 \rightarrow$ 4s[$1\frac{1}{2}$] $_2$ ($\lambda = 763.5\text{nm}$)	4p[$2\frac{1}{2}$] $_3 \rightarrow$ 4s[$1\frac{1}{2}$] $_2^0$ ($\lambda = 811.5\text{nm}$)
140	76.61	202.77	215.52	224.94
160	62.10	174.40	169.59	177.55
180	54.18	166.98	154.26	153.43
200	55.13	193.85	153.70	154.43
220	51.15	188.72	146.89	137.17
240	59.30	237.93	159.31	161.81
260	50.26	221.86	141.28	142.12
280	43.81	210.51	126.21	126.37
300	36.57	188.41	109.09	110.99
340	34.32	203.02	105.28	103.95

同样, 可以获得 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 碰撞体系中 HeI , HeII 和 ArI , ArII 的发射截面, 分别列在表 12、13、14 中。

表 14 ArII 的发射截面 σ_{em} (单位: 10^{-19}cm^2)

$E(\text{keV})$	双 重 态				四 重 态
	$4p^2P_{3/2}^0 \rightarrow 4s^2D_{5/2}$ ($\lambda = 427.8 \text{nm}$)	$4p^2F_{5/2}^0 \rightarrow 4s^2D_{5/2}$ ($\lambda = 461.0 \text{nm}$)	$4p^2P_{3/2}^0 \rightarrow 4s^2P_{1/2}$ ($\lambda = 476.5 \text{nm}$)	$4p^2D_{3/2}^0 \rightarrow 4s^2P_{3/2}$ ($\lambda = 488.0 \text{nm}$)	$4p^4D_{5/2}^0 \rightarrow 4s^4P_{3/2}$ ($\lambda = 434.8 \text{nm}$)
140	18.58	45.64	15.99	61.37	12.81
160	11.70	41.15	17.30	52.56	10.28
180	14.69	33.93	13.75	46.40	9.18
200	15.50	34.70	16.19	46.43	8.96
220	16.57	29.99	13.01	41.92	7.75
240	15.49	34.40	17.93	49.04	7.83
260	14.29	29.13	14.81	42.84	6.58
280	14.80	25.00	12.41	35.53	5.71
300	13.82	20.85	11.36	31.14	5.35
340	16.22	20.08	9.79	27.38	4.94

三、讨 论

1. HeI 发射截面

图 3, 4 分别给出了 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 和 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 碰撞体系 HeI 三重态的发射截面随 He^{2+} 离子速度变化的曲线。 HeI 的发射截面表明在 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 和 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 碰撞中存在着双电子俘获激发过程, 也就是说, He^{2+} 离子在碰撞中从 Ne 原子或 Ar 原子俘获两个电子使自己处于激发态, 然后在退激发过程中发射 HeI 谱线。

如果把 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 碰撞体系的 HeI 三重态的发射截面同 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 碰撞体系的

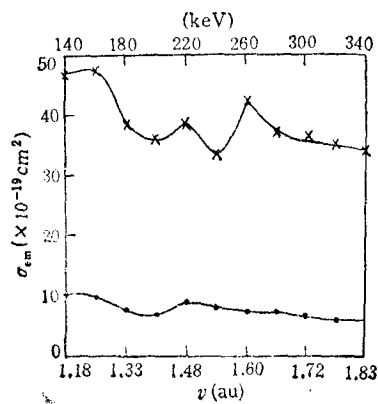


图 3 在 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 碰撞体系中 HeI 发射截面随 He^{2+} 离子速度变化的曲线

× 为 $3^3D \rightarrow 2^3P$, $\lambda = 587.6 \text{nm}$;
● 为 $3^3S \rightarrow 2^3P$, $\lambda = 706.5 \text{nm}$

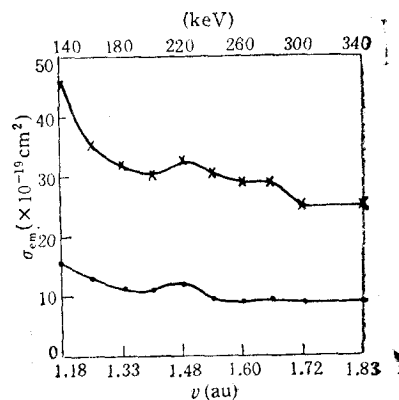


图 4 在 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 碰撞体系中 HeI 发射截面随 He^{2+} 离子速度变化的曲线

× 为 $3^3S \rightarrow 2^3P$, $\lambda = 706.5 \text{nm}$;
● 为 $3^3P \rightarrow 2^3S$, $\lambda = 388.9 \text{nm}$

做一比较,表 15 中的数据表明: 前者的 HeI 三重态 $3^3S \rightarrow 2^3P(\lambda = 706.5 \text{ nm})$, $3^3P \rightarrow 2^3S(\lambda = 388.9 \text{ nm})$ 发射截面比后者的大得多。在入射离子速度相同的条件下,可以从势能亏损找到定性解释。

表 15 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 和 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 碰撞体系 HeI 三重态发射截面比较 ($\sigma_{em}(\times 10^{-19} \text{ cm}^2)$)

E(keV)	$3^3S \rightarrow 2^3P (\lambda = 706.5 \text{ nm})$		$3^3P \rightarrow 2^3S (\lambda = 388.9 \text{ nm})$	
	$\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ ($\Delta E = -11.69 \text{ eV}$)	$\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ ($\Delta E = -30.95 \text{ eV}$)	$\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ ($\Delta E = -11.98 \text{ eV}$)	$\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ ($\Delta E = -31.24 \text{ eV}$)
140	45.42	10.36	16.03	9.48
160	35.30	9.87	12.42	9.11
180	31.93	7.44	11.39	7.44
200	29.97	6.36	10.91	6.68
220	32.46	8.42	11.75	7.04
240	30.59	7.54	9.18	6.11
260	28.77	6.93	8.82	6.99
280	29.25	7.16	9.15	5.90
300	24.87	6.26	7.93	5.85
320		5.84		5.67
340	25.26	5.80	8.71	5.44

2. HeII 发射截面

图 5 给出了 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 和 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 碰撞体系中 HeII $6g^2G_{7/2,9/2} \rightarrow 4f^2F_{5/2,7/2}$ ($\lambda = 656.0 \text{ nm}$) 的发射截面随 He^{2+} 离子速度变化的曲线。HeII 的发射截面表明在 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 和 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 碰撞中也存在着单电子俘获激发过程,也就是说, He^{2+} 离子在碰撞中从 Ar 原子或者 Ne 原子俘获一个电子使自己处于激发态,然后在退激发过程中发射 HeII 谱线。

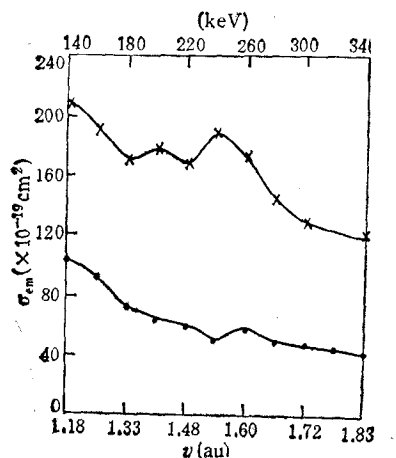


图 5 在 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$, Ne 碰撞体系中 HeII 发射截面随 He^{2+} 离子速度变化的曲线

× 为 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 碰撞体系 $6g^2G_{7/2,9/2} \rightarrow 4f^2F_{5/2,7/2}$, $\lambda = 656.0 \text{ nm}$;

● 为 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 碰撞体系 $6g^2G_{7/2,9/2} \rightarrow 4f^2F_{5/2,7/2}$, $\lambda = 656.0 \text{ nm}$

如果把 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 碰撞体系的 HeII 的发射截面同 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 碰撞体系的做一比较, 表 16 中的数据也表明: 前者的 $\text{HeII} 6g^2G_{7/2,9/2} \rightarrow 4f^2F_{5/2,7/2} (\lambda = 656.0\text{nm})$ 的发射截面比后者的大得多. 这同样可以从势能亏损找到定性解释.

表 16 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 和 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 碰撞体系 HeII 双重态发射截面比较 ($\sigma_{\text{em}} (\times 10^{-19} \text{cm}^2)$)

$E(\text{keV})$	$\text{HeII } 6g^2G_{7/2,9/2} \rightarrow 4f^2F_{5/2,7/2} (\lambda = 656.0\text{nm})$	
	$\text{He}^{2+} + \text{Ar} (\Delta E = -14.25\text{eV})$	$\text{He}^{2+} + \text{Ne} (\Delta E = -20.05\text{eV})$
140	209.49	104.02
160	192.70	94.52
180	171.27	72.15
200	177.39	64.00
220	167.96	62.64
240	190.96	50.59
260	172.50	58.93
280	145.24	49.27
300	127.54	48.37
320		46.18
340	120.64	43.81

3. NeI 和 ArI 发射截面

图 6, 7 分别给出了 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 和 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 碰撞体系 NeI 和 ArI 的发射截面随 He^{2+} 离子速度变化的曲线. NeI 和 ArI 的发射截面表明在 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 和 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 碰撞中存在着直接激发过程, 也就是说, 在碰撞中使靶原子的电子组态重排而处于激发

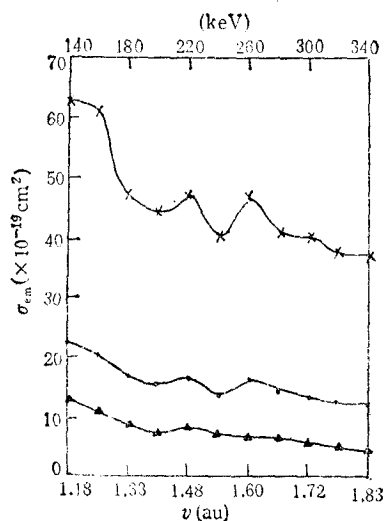


图 6 在 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 碰撞体系中 NeI 发射截面随 He^{2+} 离子速度变化的曲线

- × 为 $3p[1\frac{1}{2}]_2 \rightarrow 3s[1\frac{1}{2}]_2$, $\lambda = 614.3\text{nm}$;
- 为 $3p[1\frac{1}{2}]_2 \rightarrow 3s'[1\frac{1}{2}]_2$, $\lambda = 692.9\text{nm}$;
- ▲ 为 $5d'[2\frac{1}{2}]_2 \rightarrow 3p[2\frac{1}{2}]_2$, $\lambda = 488.5\text{nm}$

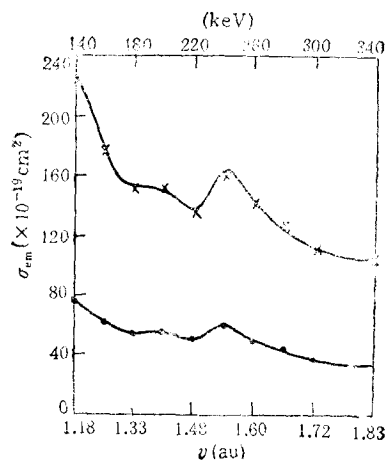


图 7 在 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 碰撞体系中 ArI 发射截面随 He^{2+} 离子速度变化的曲线

- × 为 $4p[1\frac{1}{2}]_2 \rightarrow 4s[1\frac{1}{2}]_2$; $\lambda = 811.5\text{nm}$;
- 为 $4p'[1\frac{1}{2}]_2 \rightarrow 4s'[1\frac{1}{2}]_2$, $\lambda = 738.4\text{nm}$

态,然后在退激发过程中发射 NeI 和 ArI 谱线。

如果把 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 和 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 碰撞体系的 ArI 和 NeI 的发射截面在入射离子速度相同的条件下,分别同对应的 $\text{He}^+ + \text{Ar}^{[7]}$ 和 $\text{He}^+ + \text{Ne}^{[8]}$ 碰撞体系的做一比较,表 17 中的数据表明, $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 碰撞体系的 ArI 发射截面要比 $\text{He}^+ + \text{Ar}$ 的大得多, $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 碰撞体系的 NeI 发射截面要比 $\text{He}^+ + \text{Ne}$ 的大得多,这可以从库仑势找到定性解释,因为 He^{2+} 离子的库仑势为 54.41eV, He^+ 离子的库仑势为 24.59eV,因此前者的发射截面比后者的大得多。

表 17 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 和 $\text{He}^+ + \text{Ar}$ 碰撞体系的 ArI 发射截面以及 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 和 $\text{He}^+ + \text{Ne}$ 碰撞体系的 NeI 发射截面比较 ($\sigma_{\text{em}}(\times 10^{-19} \text{cm}^2)$)

$E(\text{keV})$	$4p[1\frac{1}{2}]_0 \rightarrow 4s[1\frac{1}{2}]_0^o$ ($\lambda = 750.4 \text{nm}$)		$4p[2\frac{1}{2}]_3 \rightarrow 4s[1\frac{1}{2}]_0^o$ ($\lambda = 811.5 \text{nm}$)		$3p[1\frac{1}{2}]_2 \rightarrow 3s[1\frac{1}{2}]_0^o$ ($\lambda = 614.3 \text{nm}$)	
	$\text{He}^{2+} + \text{Ar}$	$\text{He}^+ + \text{Ar}$	$\text{He}^{2+} + \text{Ar}$	$\text{He}^+ + \text{Ar}$	$\text{He}^{2+} + \text{Ne}$	$\text{He}^+ + \text{Ne}$
130		22.53		27.60		14.00
140	202.77		224.94		62.79	
150		20.76		21.60		14.00
160	174.40		177.55		61.58	

4. NeII 和 ArII 发射截面

图 8, 9 分别给出了 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 和 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 碰撞体系 NeII 和 ArII 的发射截面随 He^{2+} 离子速度变化的曲线。NeII 和 ArII 的发射截面也从靶原子方面表明在

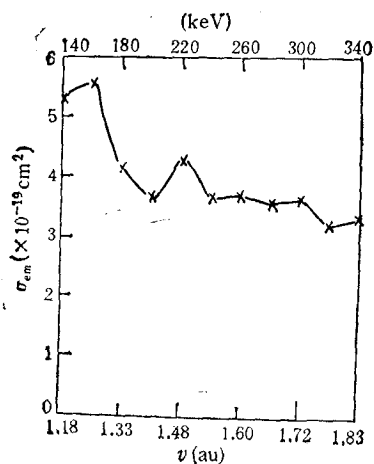


图 8 在 $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 碰撞中 NeII 发射截面随 He^{2+} 离子速度变化的曲线

× 为 $4f^4G_{11/2} \rightarrow 3d^4F_{9/2}$, $\lambda = 429.0 \text{nm}$

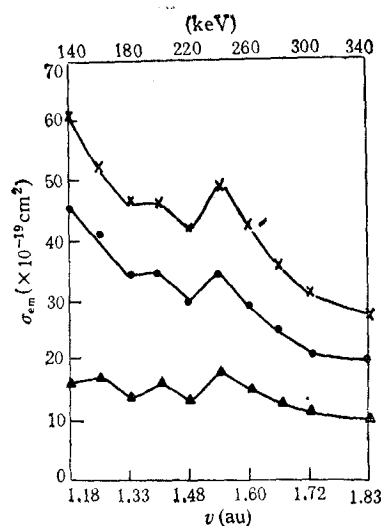


图 9 在 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 碰撞中 ArII 发射截面随 He^{2+} 离子速度变化的曲线

× 为 $4p^2D_{5/2}^o \rightarrow 4s^2P_{3/2}$, $\lambda = 488.0 \text{nm}$;
● 为 $4p^2F_{9/2}^o \rightarrow 4s^2D_{5/2}$, $\lambda = 461.0 \text{nm}$;
▲ 为 $4p^2P_{3/2}^o \rightarrow 4s^2P_{1/2}$, $\lambda = 476.5 \text{nm}$

$\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ 和 $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ 碰撞中存在着单电子俘获激发的过程, 也就是说, 在碰撞中靶原子 Ne 或 Ar 丢掉一个电子以后使靶原子处于激发态, 然后在退激发过程中发射 NeII 或 ArII 谱线。

- 1 R. K. Janev and H. Winter, *Phys. Reports*, **117**(1985), 265.
- 2 The Physics of Highly Ionised Atoms Proseedings of the International Conference on the Physics of Highly Ionised Atoms. Oxford, England, 2-5 July, (1984).
Nuclear Instruments and Methods, (1985), B9, No. 4.
- 3 D. Dijkkamp *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **54**(1985), 1004.
- 4 Atsushi Matsumoto *et al.*, *J. Phys. Soc (Japan)*, **48**(1980), 567; 575.
- 5 Pan Guang Yan *et al.*, *Phys Scripta*, **T3**(1983), 120.
- 6 Liu Jiarui *et al.*, *Chinese Phys. Lett.*, **3**(1986), 457.
- 7 潘广炎等, 物理学报, **36**(1987), 301.
- 8 雷子明等, 物理学报, **36**(1987), 533.

EXCITED STATES IN COLLISION PROCESS OF DOUBLE CHARGED ION He^{2+} WITH Ne, Ar ATOM

LEI ZI-MING YANG FENG LIU JIA-RUI PAN GUANG-YAN

YU DE-HONG SUN XIANG

(Institute of Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

The emission spectra in collision process between He^{2+} and Ne, Ar have been measured using optical methods, by Optical Multichannel Analysis. System. The experimental results demonstrate that there are three channels of excitation in these collision systems: double-electron capture into excited states, single-electron capture into excited states and direct excitation of projectile and target by incident ion impact. Emission cross sections of HeI, HeII, NeI, NeII and ArI, ArII have been obtained from calculations. Some comparisons of emission cross sections between $\text{He}^{2+} + \text{Ne}$ and $\text{He}^{2+} + \text{Ar}$ have been made.