

He⁺ 和 He²⁺ 离子与碱金属原子 Li 碰撞中的靶激发*

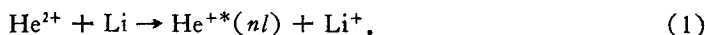
于德洪¹⁾ 刘家瑞 雷子明 杨 锋
潘广炎 汪端伟²⁾ 孙 湘

中国科学院物理研究所
1988年12月24日收到

本文在 $q \times (20-150)$ keV 的能量范围内, 通过光学测量, 对 He⁺ 和 He²⁺ 离子与碱金属原子 Li 碰撞过程中的靶激发过程进行了研究. 由光学多道分析系统 (OMA), 测得 LiI 670.8nm (2p→2s), LiI 610.4nm (3d→2p), LiI 460.3nm (4d→2p) 和 LiI 812.6nm (3s→2p) 谱线. 给出所观察到的谱线的发射截面和相应的 Li(2p) 激发截面. 对 He⁺ 与 Li 碰撞过程, LiI 670.8nm 谱线发射截面与 Aumayr 等人相应的低能结果能够比较好地衔接. 对 He²⁺ 与 Li 碰撞过程, LiI 670.8nm 谱线发射截面与 Ermolaev 等人的理论结果及 Kadota 等人的实验结果在实验误差范围内符合得很好.

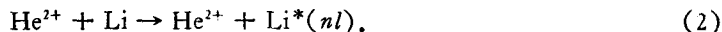
一、引 言

He²⁺ 与 Li 碰撞过程无论是理论还是实验的研究都已经达到相当的程度. 几乎所有的理论研究都是把 He²⁺ 与 Li 碰撞过程按准单电子体系处理. 对下述过程 (1) 的理论研究主要是应用分子轨道 (MO) 展开^[1] 和原子轨道 (AO) 展开^[2-4] 的方法.



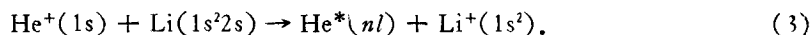
Kadota 等人通过光学方法对 He²⁺ 与 Li 碰撞过程进行了系统的实验研究^[5,6].

对电荷交换过程, 上述理论和实验结果之间得到了满意的符合. 对靶激发过程

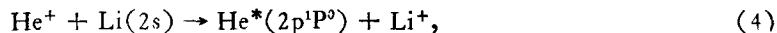


只有 Kadota 等人^[6] 的实验研究和 Ermolaev 等人^[3] 的理论研究.

Bransden 等人^[7] 应用两电子 AO 理论模型对下述过程进行了研究:



结果表明, 电子主要被俘获到 He 原子 $n=2$ 的单态和三重态. 为了验证理论结果, Aumayr 等人^[8] 通过光学方法在 2—20keV 能量范围内对下述过程进行了实验研究:



* 国家自然科学基金资助的课题.

1) 现在地址: 曲阜师范大学激光研究所.

2) 现在地址: 北京师范大学物理系.



对俘获过程(4)和(5)式,理论与实验符合得很好.对靶激发过程(6)式,还没有理论结果可以比较.

本文在 $q \times (20-150)\text{keV}$ 能量范围内对 He^+ , He^{2+} 与 Li 碰撞过程中的靶激发过程进行了实验研究.给出 LiI 谱线的发射截面和 $\text{Li}(2p)$ 激发截面,并与现有的理论和其它实验结果进行了比较.文献[10-12]即为我们最近发表的文章.

二、实验结果

实验装置的详细描述见文献[9]. He^+ 与 Li 碰撞过程中所发射的 LiI 谱线列于表1.对 He^{2+} 与 Li 碰撞过程,除了 $\text{LiI}812.6\text{nm}$ 谱线由于束流小和光波段仪器量子效率低没有观察到外,其余观察到的谱线同 He^+ 与 Li 碰撞过程.

表1 He^+ 与 Li 碰撞过程中的 LiI 发射谱线

跃 迁	$2p^2P^0 \rightarrow 2s^2S$	$3d^2D \rightarrow 2p^2P^0$	$4d^2D \rightarrow 2p^2P^0$	$3s^2S \rightarrow 2p^2P^0$
$\lambda(\text{nm})$	670.8	610.4	460.3	812.6

绝对发射截面用文献[9]相同的方法确定. $\text{Li}(2p)$ 激发截面由下两式得到:

$$\begin{aligned} \sigma_{ex}(2p) = & \sigma_{em}(2p \rightarrow 2s) - \sigma_{em}(3d \rightarrow 2p) \\ & - \sigma_{em}(4d \rightarrow 2p) - \sigma_{em}(3s \rightarrow 2p) \end{aligned} \quad (7)$$

和

$$\sigma'_{ex}(2p) = \sigma_{em}(2p \rightarrow 2s) - 2.66\sigma_{em}(3d \rightarrow 2p). \quad (8)$$

表2 He^+ 与 Li 碰撞过程中 LiI 谱线的发射截面和 $\text{Li}(2p)$ 激发截面
(单位为 10^{-16}cm^2)

$E(\text{keV})$	670.8 (nm)	610.4 (nm)	812.6 (nm)	460.3 (nm)	$\sigma_{ex}(2p)$	$\sigma'_{ex}(2p)$
20	35.3	1.07	1.78	0.59	31.9	32.5
30	46.9	1.22	1.67	0.50	43.5	43.6
40	50.5	1.87	1.50	0.47	46.7	45.5
50	37.3	1.88	1.12	0.53	33.8	32.3
60	38.9	1.99	1.16	0.61	35.1	33.6
70	40.5	2.01	1.08	0.46	37.0	35.2
80	49.9	2.47	1.29	0.57	45.5	43.3
90	52.3	2.54	1.32	0.58	47.9	45.6
100	50.3	2.45	1.16	0.51	46.2	43.8
110	48.2	2.38	1.15	0.52	44.2	41.9
120	45.9	2.16	1.11	0.51	42.1	40.2
130	47.6	2.20	1.13	0.56	43.7	41.7
140	47.3	2.19	1.13	0.49	43.5	41.4
150	42.7	1.86	0.97	0.44	39.4	37.7

(8)式引自文献[6],其中考虑了级联效应的上限。对 He^{2+} 与 Li 碰撞过程,不包括(7)式等号右端最后一项。

He^+ 与 Li 碰撞过程和 He^{2+} 与 Li 碰撞过程的 LiI 谱线发射截面和 Li(2p) 激发截面分别列于表 2 和表 3。

表3 He^{2+} 与 Li 碰撞过程中 LiI 谱线发射截面和 Li(2p) 激发截面
(单位为: 10^{-16}cm^2)

$E(\text{keV})$	670.8 (nm)	610.4 (nm)	460.3 (nm)	$\sigma_{\text{ex}}(2\text{p})$	$\sigma'_{\text{ex}}(2\text{p})$
120	76.9	5.36	4.24	67.1	62.0
140	81.8	4.72	2.50	74.6	69.2
160	81.7	4.71	1.85	75.1	69.2
180	77.0	4.15	1.63	71.2	66.0
200	72.4	3.83	1.70	66.9	62.2
220	61.1	3.21	1.33	56.5	52.5
240	56.8	3.19	1.45	52.1	48.3
260	56.9	3.00	1.56	52.3	48.9
280	58.0	2.95	1.60	53.4	50.1
300	48.1	2.69	1.46	44.0	41.0
320	47.0	2.50	1.47	43.1	40.4

三、讨 论

发射截面总误差约为 $\pm 15\%$, 激发截面总误差约为 $\pm 20\%$ 。详细误差讨论见文献[9]。

对 He^+ 与 Li 碰撞过程, LiI670.8nm 发射截面和由(8)式算得的 Li(2p) 激发截面随能量的变化关系见图 1。低于 20keV 的结果是 Aumayr 等人^[8]的 LiI670.8nm 谱线发射截面。图 1 表明, 本文结果与 Aumayr 等人的结果在总的变化趋势上能较好地衔接。

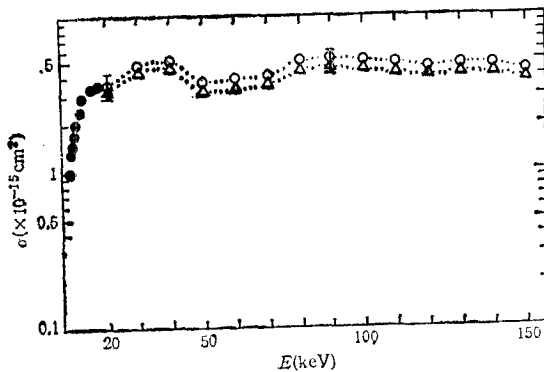


图1 He^+ 与 Li 碰撞过程中截面的能量依赖关系
○ 为本实验 LiI670.8nm 谱线发射截面;
△ 为本实验 Li(2p) 激发截面;
● 为 Aumayr 等人的 LiI670.8nm 谱线发射截面

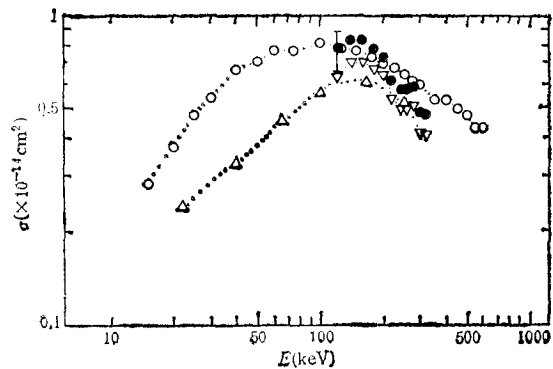


图2 He^{2+} 与 Li 碰撞过程中截面的能量依赖关系
● 为本实验 LiI670.8nm 谱线发射截面;
▽ 为本实验 Li(2p) 激发截面;
○ 为 Kadota 等人的 Li(2p) 激发截面实验值;
△ 为 Ermolaev 等人的 Li(2p) 激发截面理论值

接。

图 2 给出 He^{2+} 与 Li 碰撞过程中的 LiI 谱线发射截面和由 (8) 式算得的 Li(2p) 激发截面随能量变化曲线。图 2 中也给出 Ermolaev 等人^[3]的理论结果和 Kadota 等人^[6]的实验结果。在能量重合的区域, 这些结果符合很好。截面最大处的能量值, 本文与 Ermolaev 的理论值基本相同, 约为 160keV。而 Kadota 等人的相应值约为 100keV^[6]。

由(7)和(8)式算得的 Li(2p) 激发截面相差小于 8%。因此, (8)式还是一个比较好的近似。并且说明, 其它 $n > 4$ 的能级对 2p 能级的级联影响比较小。

比较表 2 和表 3, 看到对 LiI670.8nm 发射截面, 在相同的碰撞速度上, He^+ 与 Li 碰撞过程的结果比 He^{2+} 与 Li 碰撞过程的相应值小得多。这种差别来自 He^+ 与 He^{2+} 碰撞离子的库仑势的明显差别。因此, 在本文所研究的能量范围内, 碰撞离子的库仑势对靶激发过程具有明显的作用。

- [1] H. Sato *et al.*, *Phys. Lett.*, **96A**(1983), 286.
- [2] B.H. Bransden *et al.*, *Phys. Lett.*, **84A**(1981), 316.
- [3] A.M. Ermolaev *et al.*, *J. Phys. B*, **17**(1984), 1083.
- [4] W. Fittsch *et al.*, *J. Phys., B*, **16**(1983), 1595.
- [5] K. Kadota *et al.*, *J. Phys. B*, **15**(1982), 3275.
- [6] K. Kadota *et al.*, *J. Phys. B*, **15**(1982), 3297.
- [7] B. H. Bransden *et al.*, *J. Phys. B*, **17**(1984), 4515.
- [8] F. Aumayr *et al.*, *Phys. Rev.*, **A31**(1985), 67.
- [9] 雷子明等, 物理学报, **38**(1989), 第 9 期.
- [10] 刘家瑞等, 物理学报, **37**(1988), 1254.
- [11] 雷子明等, 物理学报, **37**(1988), 1244.
- [12] Yu Dehong *et al.*, *Phys. Rev.*, **A39** (1989), 2931.

TARGET ATOM EXCITATIONS IN COLLISIONS OF He^+ AND He^{2+} WITH Li AT $q \times (20-150)$ keV

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

WANG DUAN-WEI SUN XIANG

Institute of Physics, Academia Sinica

(Received 24 December 1988)

ABSTRACT

Target atom excitations in collisions of He^+ and He^{2+} with Li have been studied by optical measurement in the energy range $q \times (20-150)$ keV. We have measured LiI 670.8 nm ($2p \rightarrow 2s$), LiI 610.4 nm ($3d \rightarrow 2p$), LiI 460.3 nm ($4d \rightarrow 2p$) and LiI 812.6 nm ($3s \rightarrow 2p$) emission lines by using an OMA system. The emission cross sections of the observed lines and corresponding Li(2p) excitation cross sections have been calculated. For $\text{He}^+ + \text{Li}$ collision system, LiI 670.8 nm emission cross sections linked well with the results of Aumayr *et al.* at the low energy points. Our LiI 670.8 nm emission cross sections of $\text{He}^{2+} + \text{Li}$ collision system agrees well with both the theory of Ermolaev *et al.* and the experimental results of Kadota *et al.* within the experimental errors.