

高电荷态 N^{4+} 与 Na 原子碰撞过程中 靶原子激发截面的测量^{*}

王友德 杨治虎 马新文 刘惠萍 赵孟春
周嗣信 刘占稳 张 文 张雪珍 郭晓虹

(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

潘广炎 杨 锋 李大万[†]

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

(1995 年 6 月 28 日收到)

测量了高电荷态 N^{4+} 与 Na 原子碰撞中靶原子的发射截面和激发截面, 发现 $NaI(3p \rightarrow 3s)$ 谱线的激发截面很大, 约为 10^{-15}cm^2 . 实验给出了发射截面和激发截面数据, 并进行了定性的讨论.

PACC: 3450

1 引 言

在可见光范围内, 高电荷态离子与碱金属 Li 原子碰撞激发态实验研究, 已经发表了不少文章, 例如: 奥地利的 Wien 技术大学 Allgemeine 物理研究所, 进行的实验有 $C^{6+} + Li$, $N^{6+} + Li$, $O^{6+} + Li$, $Ne^{6+ \rightarrow 9+} + Li$ 碰撞体系^[1], 荷兰 KVI Groningen 大学进行的实验有: $B^{5+} + Li$, $N^{5+} + Li$, $Be^{4+} + Li$ 碰撞体系^[2]. 但是, 高电荷态离子同碱金属原子 Na 碰撞激发的实验研究比较少. 最近, 我们研究了 $N^{4+} + Na$ 碰撞激发, 测量了靶原子 Na 的激发截面.

2 实 验 装 置

实验装置见图 1, 本实验装置由四部分组成: 第一部分是 ECR 高电荷态离子源. 它主要由简单约束等离子体的磁镜和微波发生器组成. 利用微波放电加热等离子体, 微波的频率与等离子体的频率相同. 通过共振吸收微波的能量, 使等离子体进一步电离, 以致 C, N, O 原子和 Ne 原子达到全剥离. N^{4+} 离子束强度约为 $13 \mu A$, 实验室能量范围为 3.7—4.9 keV/amu. 电荷态选择是通过 90° 磁场分析器来实现的. 第二部分是真空靶室. 真空度

^{*} 国家自然科学基金及中国原子分子物理数据研究联合体资助的课题.

[†] 现通讯地址: 中央民族大学物理系.

达到 $2.7 \times 10^{-4} \text{ Pa}$. 第三部分是钠原子束源. 钠原子束是由微型热管炉加热产生的. 热管炉的炉盖由不锈钢材料制成, 上边开有 8 个小孔, 对 Na 体系炉温控制在 300°C . 原子束中心密度约为 10^{12} cm^{-3} . 炉子加温过程中, 真空度约 $1.1 \times 10^{-3} \text{ Pa}$. 第四部分是光学测量系统. 探测器是 TN-1710-OMA 光学多道分析器. 系统由 TN6048-3 光谱仪、512 个硅光二极管阵列和多道分析器组成. 测量系统的量子效率用的是钨带灯, 波长在 200—800 nm, 经中国计量科学研究院标定.

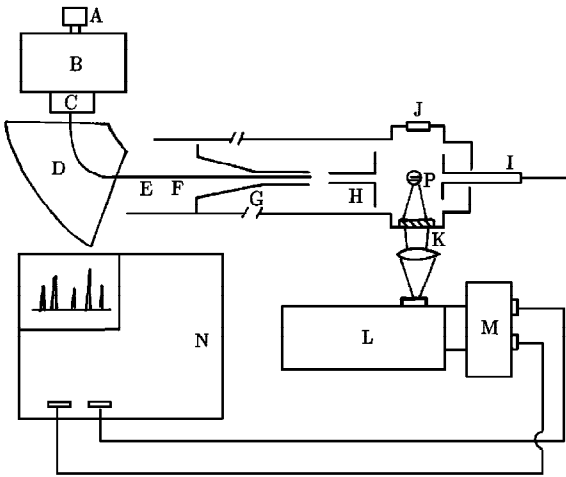


图 1 实验装置示意图 A 为微波接收器, B 为 ECR 高电荷态离子源, C 为引出极, D 为分析磁铁, E 为偏转空间, F 为离子束, G 为气阻, H 为准直孔, P 为靶中心, I 为法拉第筒, J 为观察窗口, K 为光学透镜, L 为光谱仪, M 为二极管阵列, N 为多道分析器, L + M + N 为 TN-1710 光学多道分析器系统(OMA)

3 实验结果

3.1 发射光谱

图 2 为 N^{4+} 与 Na 原子碰撞中产生的 NaI 发射光谱线. 入射离子的能量为 60 keV, 离子束强度为 $13 \mu\text{A}$ 左右.

观测到的 NaI 谱线见表 1.

表 1 NaI 谱线表

跃 迁	波 长/nm
$3p \ ^2P_{3/2,1/2}^0 \rightarrow 3s \ ^2S_{1/2}$	589.0—589.6
$3d \ ^2D_{1/2} \rightarrow 3p \ ^2P_{1/2}^0$	818.3
$4d \ ^2D_{5/2} \rightarrow 3p \ ^2P_{3/2}^0$	568.8

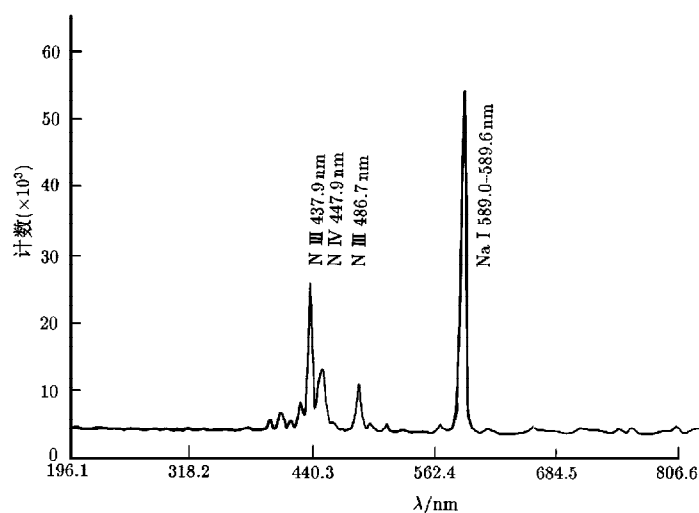
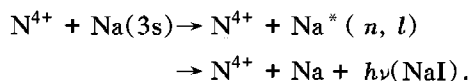


图2 N^{4+} 与 Na 原子碰撞中发射光谱 入射离子 N^{4+} 的能量为 60 keV

3.2 激发通道

图 2 的发射光谱表明, 在 N^{4+} 与 Na 原子碰撞过程中, 存在着靶原子激发通道, 即



3.3 发射截面和激发截面

发射截面的定义为^[3]

$$\sigma_{em} = \frac{4\pi}{\omega} \frac{S(\lambda)}{Q/q_e K(\lambda) NL},$$

式中, Q/q_e 为入射离子数, N 为靶原子密度, $S(\lambda)/K(\lambda)$ 为发射光子数, $S(\lambda)$ 为光信号计数, $K(\lambda)$ 为量子效率, L 为观测长度, ω 为观测的立体角.

根据测量到的实验数据, 通过上述公式计算, 可以得到的发射截面列于表 2.

激发截面定义^[3]为

$$\sigma_{n,l} = \frac{\sigma_{em}(nl \rightarrow mk)}{A_{nl, mk} \cdot \tau_{nl}} - \sum_{i>n} \sigma_{em}(ik \rightarrow nl),$$

这里, $\tau_n = (\sum_{i>n} A_{nl, ik})^{-1} \equiv nl$ 态的寿命.

因此, Na(3p) 的激发截面为

$$\sigma_{n,l}(3p) = \sigma_{em}(3p \rightarrow 3s) - \sigma_{em}(3d \rightarrow 3p) - \sigma_{em}(4d \rightarrow 3p).$$

得到的激发截面数据见表 2.

本实验还对发射截面与激发截面的速度依赖关系进行了研究, 详见图 3 及讨论.

表 2 $N^{4+} + Na$ 碰撞中 NaI 的发射截面和激发截面 $\sigma(\times 10^{-16} \text{ cm}^2)$

E/keV	σ_{em}			$\sigma_{n,l}(3p)$
	$\lambda = 589.0 - 589.6 \text{ nm}$	$\lambda = 818.3 \text{ nm}$	$\lambda = 568.8 \text{ nm}$	
52	42.86	0.92	0.56	41.38
56	34.22	0.78	0.45	32.99
60	25.75	0.69	0.35	24.71
64	16.25	0.62	0.22	15.41
68	6.34	0.41	0.15	5.78

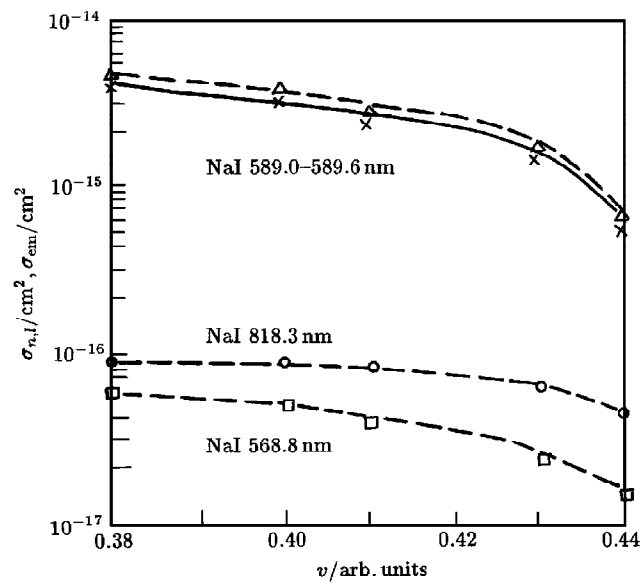


图 3 在 N^{4+} 与 Na 碰撞中 NaI 谱线的发射截面和激发截面的速度依赖关系 $\times$ 为 $\sigma_{n,l}(3p)$ 激发截面, Δ 为 NaI 589.0—589.6 nm 发射截面, $\circ$ 为 NaI 818.3 nm 发射截面, $\square$ 为 NaI 568.8 nm 发射截面

4 讨 论

- 1) 从表 2 所列的数据分析可知,在 N^{4+} 与 Na 碰撞中,NaI 谱线 $\lambda = 589.0\text{—}589.6 \text{ nm}$ 之间的发射截面是相当大的,入射离子能量为 52 keV 时, σ_{em} 为 $42.86 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$.我们认为主要原因是:碱金属 Na 原子的外壳层结构比较松散,束缚 3s 电子的电离能只有 5.139 eV.当入射离子 N^{4+} 与原子 Na 碰撞的一瞬间,靶原子 Na 容易被激发,使靶原子处于激发态,然后退激发而发射光子,因此发射截面相当大.
- 2) 从表 1 可知,NaI 谱线 $\lambda = 589.0\text{—}589.6 \text{ nm}$ 之间的跃迁能级为 $3p\ ^2P_{3/2,1/2}^0 \rightarrow 3s\ ^2S_{1/2}$,这里存在着精细结构.由于光学多道分析器的分辨率所限,我们仅观测到一条很强的谱线,见图 2.因此,发射截面就更大了.
- 3) 图 3 给出了发射截面和激发截面随入射离子的速度变化的曲线.曲线表明:在

0.38—0.44(a. u.)速度范围内,所有谱线的发射截面与速度的依赖关系相似,总趋势都是随速度的增加而减少.激发截面随速度的变化也类似.

4) 误差分析.本实验光子积分计数大于 10^4 个,因而统计误差小于 1%.光学测量、电荷测量及量子效率标定误差都在 3% 左右.因此,激发截面和发射截面总误差约为 10%—15%.

[1] E. Wolfrum, R. Hoekstra, F.J. de Heer *et al.*, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, **25**(1992),2597.

[2] R. Hoekstra, R.E. Olson, H.O. Folkerts *et al.*, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, **26**(1993),2029.

[3] K. Kadota, D. Dijkkamp, R.L. Van der Woude *et al.*, *J. Phys. B: At. Mol. Phys.*, **15**(1982)3275.

MEASUREMENT OF EXCITATION CROSS SECTIONS OF TARGET ATOM Na BY HIGHLY CHARGED ION N^{4+} IMPACT

WANG YOU-DE YANG ZHI-HU MA XIN-WEN LIU HUI-PING ZHAO MENG-CHUN
ZHOU SI-XIN LIU ZHAN-WEN ZHANG WEN ZHANG XUE-ZHEN GUO XIAO-HONG

(*Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000*)

PAN GUANG-YAN YANG FENG LI DA-WAN

(*Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing 100080*)

(Received 28 June 1995)

ABSTRACT

The emission cross sections and excitation cross sections have been measured in collisions between N^{4+} ion and Na atoms. The experimental results show that the excitation cross sections of $NaI(3p-3s)$ are very large, about 10^{-15} cm^2 . The data of cross sections have been given in this paper and reasons for the large excitation cross sections of $NaI(3p-3s)$ have been discussed qualitatively.

PACC: 3450