

文章编号: 1007-4627(2002)02-0169-03

Li⁻ 和 Na⁻ 单电子解离过程的研究*

陈熙萌^{1,2}, 吴翠娥¹, 刘兆远¹, 于得洋², 祁 中¹, 王 强¹, 杨治虎², 刘惠萍²

(1 兰州大学物理科学与技术学院现代物理系, 甘肃 兰州 730000;

2 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 采用交叉束方法, 利用负离子源产生的 3—19 keV 的 Li⁻ 和 Na⁻ 轰击惰性气体靶 He, Ne 和 Ar, 通过静电偏转和位置灵敏探测器区分碰撞后中性粒子束和负离子束, 测量了不同碰撞系统的中性粒子计数与相应入射负离子计数的比值 $R(E)$, 并得到 $R(E)$ 与入射负离子能量、负离子种类和靶原子种类的关系.

关键词: 交叉束; 负离子解离; 负离子-原子碰撞

中图分类号: O562.5 **文献标识码:** A

1 引言

在原子系统中, 负离子是一种弱束缚系统, 由于其在结构、电子亲和力、亚稳态特性等方面与原子系统明显不同, 近年来对负离子的研究成为原子物理研究领域中的一个重要方向. 研究负离子-原子碰撞过程中负离子的单电子解离截面与负离子种类、碰撞能量、靶原子密度之间的关系是研究负离子特性的主要手段之一. 通过对负离子-原子碰撞过程的研究, 可以了解负离子的结构特性, 提供原子激发态结构的物理信息; 而且, 负离子-原子碰撞过程是一个多体相互作用过程, 它涉及入射离子的原子核、核外电子和靶原子的原子核及核外电子, 并与原子内部及碰撞过程中电子-电子的关联机制有关, 所以研究负离子-原子碰撞过程对研究原子结构、探索原子中电子-电子之间的关联机制、发展多体相互作用动力学具有重要的学术意义^[1].

近年来由于激光光谱技术、碰撞和电子束及能谱技术、测量技术、计算方法等方面的发展, 对负离子的研究在理论和实验方面都取得了较大发展. 主要的工作可分为两个部分:

(1) 利用激光和高分辨谱学技术, 通过测量光致负离子解离截面, 对负离子激发态结构及电子亲和力等的研究, 在计算和测定电子亲和力方面积累了许多理论和实验数据^[2, 3].

(2) 通过与电子、正、负离子及中性原子、分子相互作用, 对负离子单电子及双电子解离过程的研究, 其中大部分工作集中在由电子碰撞导致负离子解离的实验及相应理论研究方面. Dance 等^[4]和 Peart 等^[5]分别测量了中高能区(电子能量 $E_e = 10-1000$ eV)电子与 H⁻, C⁻, O⁻ 和 F⁻ 碰撞的电子解离截面与入射电子能量的关系. Anderson 等^[6]研究了在低能区(电子能量 $E_e = 0-200$ eV)电子与 B⁻ 碰撞的电子解离截面与入射电子能量的关系及阈附近(电子能量 $E_e = 0-30$ eV)电子与 D⁻ 和 O⁻ 碰撞中负离子的近阈行为^[7].

目前负离子-原子碰撞的研究工作无论在理论方面还是实验方面都相对比较缺乏. 主要的工作是研究 H⁻ 离子等与惰性气体原子 He, Ne, Ar 碰撞的负离子解离截面与相对碰撞能量和靶原子密度的关系^[8]. 其中对最简单的负离子系统及 H⁻ 和 D⁻ 与惰性气体靶原子碰撞的实验研究工作比较多.

2 实验装置

本工作是在兰州大学 2×1.7 MV 串列加速器上完成的, 实验装置如图 1 所示. 负离子束由串列加速器的溅射源 1 产生, 分析磁铁 2 对负离子的种类进行选择, 只允许单一种类的负离子参与碰撞过

收稿日期: 2002-04-01; 修改日期: 2002-04-10

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19704006); 教育部高等学校骨干教师基金资助项目

作者简介: 陈熙萌(1966-), 男(汉族), 陕西礼泉人, 副教授, 从事离子原子碰撞研究工作.

程. 两个相距 50 cm 且同心的双维精密光栏 3 和 4 起准直和限束作用, 实验中光栏孔径一般小于 $0.5 \times 0.5 \text{ mm}^2$, 同时利用第二级光栏 4 监测束流. 偏转电场 6 (V_1) 将束流在传输过程中形成的中性部分去除, 只允许纯负离子束进入碰撞靶室 8, 减少了由非碰撞引起的中性粒子计数误差. 靶气体原子经气体流量计 10 进入靶室, 同时用气体流量计控制和监测碰撞区的气体密度. 负离子束与靶气体原子在靶室的中心位置发生碰撞. 碰撞后, 改变电荷态的散射离子经平行板偏转电场 11 (V_2) 偏转后打在探测器 13——位置灵敏微通道板 (PSMCP) 的不同位置, PSMCP 的信号经后续电子学系统分析后给出不同价态散射离子的计数.

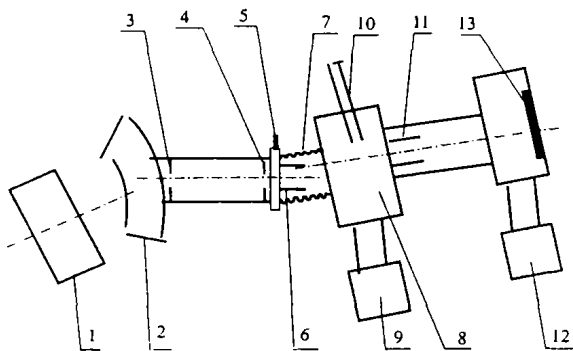


图 1 实验装置图

1 溅射源, 2 分析磁铁, 3 和 4 准直光栏, 5 阀门, 6 偏转电场 V_1 , 7 波纹管, 8 碰撞靶室, 9 和 12 真空系统, 10 气体流量计, 11 偏转电场 V_2 , 13 位置灵敏探测器.

3 数据处理及结果

负离子的单电子解离截面为

$$\sigma_{-10} = \frac{1}{N_i} \cdot \frac{\epsilon^- N^0}{\epsilon^0 N^-}, \quad (1)$$

其中 σ_{-10} 为负离子的单电子解离截面; N^0 和 N^- 分别为测得的中性粒子和入射负离子计数; ϵ^0 和 ϵ^- 分别为 PSMCP 探测器对中性粒子和负离子的探测效率. N^0 和 N^- 可以由实验测得数据谱上相应的峰计数经扣除本底和束流归一后得到; N_i 的测量需要知道碰撞区的几何尺寸的绝对值及绝对气压值的分布, 绝对标定比较困难, 实验只能测量到中性粒子计数与相应入射负离子计数的比值, $R(E) = N^0 / N^-$, 其中 E 为入射负离子能量. 实验过程中同一碰撞体系的不同实验能量点由气体流量计所控制的

靶室气压为恒定值, 即 N_i 为恒定值; 同时, PSMCP 工作在饱和区, 因此下式成立:

$$\sigma_{-10}(E) = CR(E), \quad (2)$$

其中 C 为常数.

由(2)式可以看出: 实验所测得的不同碰撞体系的中性粒子计数与相应入射负离子计数的比值 $R(E)$ 随入射负离子的能量变化关系在本质上反映了负离子单电子解离截面 $\sigma_{-10}(E)$ 随入射负离子的能量变化关系.

本实验测量了能量范围在 3—19 keV (0.1—3 keV/u) 的入射负离子 Li^- 和 Na^- 分别与惰性气体靶原子 (He, He 和 Ar) 碰撞产生的中性粒子计数与相应入射负离子计数的比值 $R(E)$, 实验测得 $R(E)$ 与入射负离子能量、负离子种类和靶原子种类的关系如结果图 2 和图 3 所示.

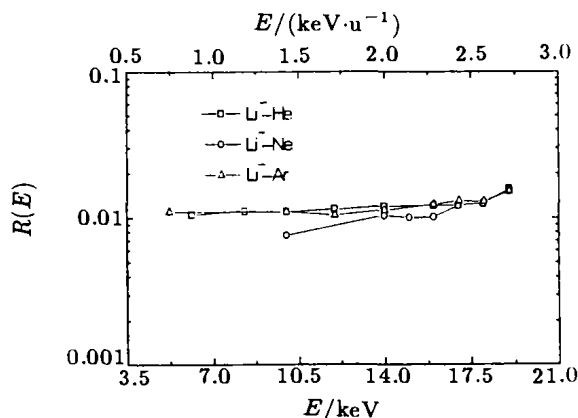


图 2 Li^- 与惰性气体靶原子碰撞 $R(E)$ 随入射负离子能量的变化关系

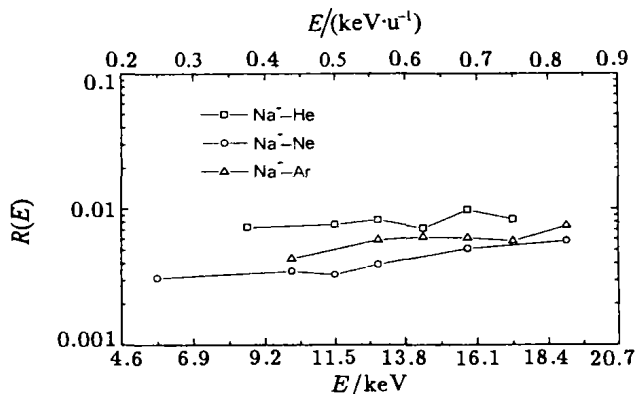


图 3 Na^- 与惰性气体靶原子碰撞 $R(E)$ 随入射负离子能量的变化关系

由图 2 和图 3 可见: 中性粒子计数与相应入射

负离子计数的比值 $R(E)$ 随相对能量的增加缓慢上升; 在本实验能区内, 对 $\text{Li}^- \rightarrow \text{He}$, Ne 和 Ar 系统, 与 He 原子和 Ar 原子碰撞的中性粒子计数与相应入射负离子计数的比值 $R(E)$ 近似相同, 且大于与

Ne 原子碰撞的 $R(E)$ 值, 即 $R(\text{He}) \approx R(\text{Ar}) > R(\text{Ne})$; 对 $\text{Na}^- \rightarrow \text{He}$, Ne 和 Ar 系统, $R(E)$ 值与靶原子种类关系为: $R(\text{He}) > R(\text{Ar}) > R(\text{Ne})$.

参 考 文 献:

- [1] 陈熙明, 离子-原子碰撞中直接多重电离的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 1998.
- [2] Crothers D S F, Lemm D J. Semiclassical ($\gamma, 2e$): Absolute cross sections for $\text{He}^- (P_{3/2})$ at threshold[J]. J Phys, 1998, **B21**: L409.
- [3] Donahue J B, Gram P A M, Hynes M V, *et al.* Observation of Two-electron Photoionization of H^- Ion near Threshold[J]. Phys Rev Lett, 1984, **48**: 1 538.
- [4] Dance D F, Harrison M F A, Rundel R D. A Measurement of the Cross Section for Detachment of Electron from H^- by Electron Impact[J]. Proc R Soc, 1967, **A299**: 525.
- [5] Peart B, Forrest R, Dolder K T. Measurements of Cross Section for Detachment of Electrons from C^- and O^- Ions by Electron Impact[J]. J Phys, 1979, **B12**: 847.
- [6] Anderson L H, Jesen M J, *et al.* Electron-impact Detachment from B^- [J]. Phys Rev, 1998, **A58**: 2 819.
- [7] Vejby-Christensen L, Kella D, *et al.* Electron-impact Detachment from Negative Ions[J]. Phys Rev, 1996, **A53**: 2 371.
- [8] Kvale T J, Allen J S, *et al.* Curvature in the Scattered-beam Growth Curves in $\text{H}^- + (\text{He}, \text{Ne}, \text{Ar})$ Collisions[J]. Phys Rev, 1995, **A51**: 1 360.

Single Electron Detachment of Li^- and Na^- in Collision with He, Ne and Ar*

CHEN Xi-meng^{1,2}, WU Cui-e¹, LIU Zhao-yuan¹, YU De-yang², QI Zhong¹,
WANG Qiang¹, YANG Zhi-hu², LIU Hui-ping²

(1 Department of Modern Physics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2 Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The count ratios R of the neutralized atoms of final state to projectiles Li^- and Na^- in collision with He, Ne and Ar are measured in the energy range of 3—19 keV. It is found that the count ratios R increase slowly with the collision energy in whole experimental energy range for He, Ne and Ar. For $\text{Li}^- \rightarrow \text{He}, \text{Ne}, \text{Ar}$ Collisions, $R(\text{He}) \approx R(\text{Ar}) > R(\text{Ne})$, and for $\text{Na}^- \rightarrow \text{He}, \text{Ne}, \text{Ar}$ Collisions, $R(\text{He}) > R(\text{Ar}) > R(\text{Ne})$.

Key words: cross-beam; detachment of negative ion; negative ion-atom collision

* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(19704006); Foundation for University Key Teacher by the Ministry of Education