

电荷剥离截面的计算

刘之景

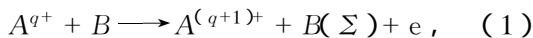
(中国科学技术大学天文与应用物理系, 合肥 230026)

(1999 年 5 月 28 日收到)

采用二体碰撞近似(BEA)和托马斯-费密近似(TFA),计算了多电荷离子(${}_3\text{Li}^{2+}$, ${}_6\text{C}^{5+}$, ${}_{10}\text{Ne}^+$, ${}_{18}\text{Ar}^+$, ${}_{36}\text{Kr}^+$, ${}_{54}\text{Xe}^+$)的势函数分布和电子动量分布,以及它与中性原子 H 和 He 碰撞的电荷剥离截面.

PACC: 3450H

在很多实际应用中需要考虑多电荷离子的电荷损失过程:



式中 q 为多电荷离子的正电荷数, $B(\Sigma)$ 表示中性原子除 1 S 态以外的各种电子状态.

在计算 A^{q+} 的电荷剥离截面时采用了经典二体碰撞近似^[1,2] (binary encounter approximation 缩写为 BEA). 它假设入射粒子同时只与一个靶粒子(电子或核)作用,在碰撞期间原子的电子与其核的相互作用可以忽略,计算电子的动量分布采用托马斯-费密近似(Thomas-Fermi approximation 缩写为 TFA)^[3].

A^{q+} 的电子分别与靶原子核和它的电子作用的散射截面为 $\sigma_n(v)$ 和 $\sigma_e(v)$, A^{q+} 的总截面为

$$\sigma(v) = \sigma_n(v) + \sigma_e(v). \quad (2)$$

截面 $\sigma_n(v)$ 和 $\sigma_e(v)$ 分别定义如下:

$$\sigma_n(v) = \int_0^\infty \sigma^i(v, w) f(w) dw, \quad (3)$$

$$\sigma_e(v) = \int_0^\infty \int_0^\infty \sigma^e(v, v_e, w) f(v_e) g(w) dv_e dw. \quad (4)$$

式中 v, v_e, w 为实验室坐标系下粒子入射速度值、原子的电子速度值和离子上的电子速度值, $f(w), f(v_e), g(w)$ 均为电子速度分布函数, $\sigma^i(v, w)$ 表示速度为 v 的原子核与速度为 w 的一个电子相碰撞的电离截面. 由于电子具有速度分布,故求截面时需对速度 w 积分. 而 $\sigma^e(v, v_e, w)$ 为速度为 w 的离子上的电子与速度为 v_e 的原子上的电子相碰撞的散射截面. 在原子单位制下,长度以 $(q+1)a_0$ 为单位,速度以 $(q+1)v_0$ 为单位,截面以 $\pi a_0^2 (q+1)^{-4}$ 为单位,能量以 $M_i (q+1)^2 v_0^2$ 为单位. a_0 为 H

原子的玻尔半径 ($a_0 = \hbar/m_e e^2$), $v_0 = e^2/\hbar$, $\hbar = h/2\pi$, h 为普朗克常量; e 为基本电荷, m_e 为电子质量, M_i 为 H 原子质量.

考虑到 v 与 v_e 的矢量关系 (4) 式可转变为

$$\sigma_e(v) = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{\xi, \mu} \sigma^e(v', \mu, w) f(v_e) \cdot f(w) dv_e dw d\frac{\mu}{2}, \quad (5)$$

式中

$$v' = |v + v_e| = \{v^2 - v_e^2 + \mu^2 v_e^2\}^{1/2} + \mu v_e, \quad (6)$$

$$\mu = (v_e \cdot v') / |v_e| \cdot |v'|. \quad (7)$$

$\sigma^i(v, w), \sigma^e(v', \mu, w), f(v_e)$ 的表达式和 μ 的积分限在文献 [4] 中给出.

TF 方程及其边界条件为

$$\frac{d^2 \varphi}{dx^2} = \frac{1}{\sqrt{x}} \varphi^{3/2}; \varphi(0) = 1, \varphi(X) = 0, \varphi'(X) = -\frac{q}{2X}. \quad (8)$$

这里 $\varphi(x)$ 为离子的势函数, x 为电子距原子核中心的距离(无量纲化), X 为边界值, Z 为离子的原子序数, q 为离子的正电荷数. 采用数值方法求解 (8) 式可得到 $\varphi(x)$, 进而求得 w 和 $f(w)$,

$$w = \frac{C}{q+1} Z^{2/3} \left(\frac{\varphi(x)}{x} \right)^{1/2}, \quad (9)$$

$$f(w) dw = \frac{BZ}{Z-q} x^2 (\varphi/x)^{1/2} (\varphi'(x) - \varphi_x/x) dx, \quad (10)$$

式中 C, B 为确定的常数.

本程序计算了 A^{q+} 与 H 和 He 碰撞的电荷剥离截面及电子动量分布和离子势函数分布. 已经计算了 ${}_3\text{Li}^{q+}$, ${}_6\text{C}^{q+}$, ${}_{10}\text{Ne}^{q+}$, ${}_{18}\text{Ar}^{q+}$, ${}_{36}\text{Kr}^{q+}$, ${}_{54}\text{Xe}^{q+}$ 的电

荷剥离截面(见图 1—图 6),并与其他结果进行了比较.例如 ${}_6\text{C}^{5+}$ 与 H 碰撞的电荷剥离截面与文献 [5]

中图 8 符合得较好.低能部分几乎完全一致,高能部分误差(10—20)%.

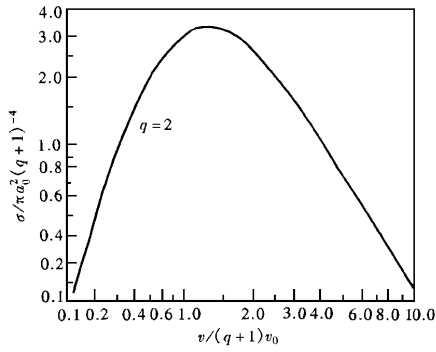


图 1 ${}_3\text{Li}^{2+}$ 与 H 碰撞的 σ - v 曲线
 ${}_3\text{Li}^{2+} + \text{H} \rightarrow \text{Li}^{3+} + \text{H}(\Sigma) + e$

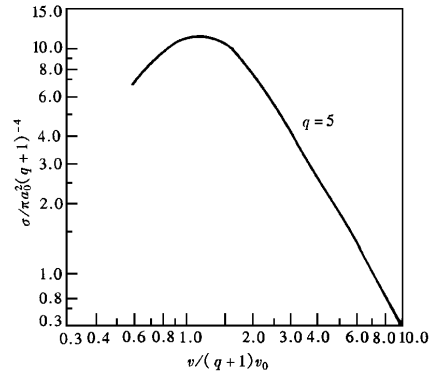


图 2 ${}_6\text{C}^{5+}$ 与 He 碰撞的 σ - v 曲线
 ${}_6\text{C}^{5+} + \text{He} \rightarrow \text{C}^{6+} + \text{He}(\Sigma) + e$

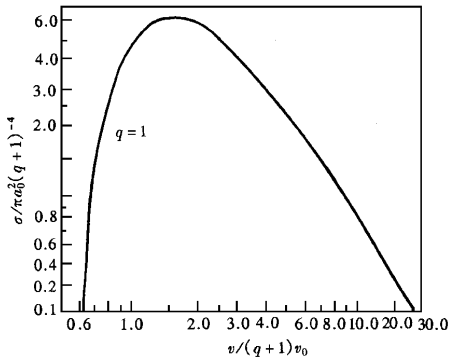


图 3 ${}_{10}\text{Ne}^+$ 与 H 碰撞的 σ - v 曲线
 ${}_{10}\text{Ne}^+ + \text{H} \rightarrow \text{Ne}^{2+} + \text{H}(\Sigma) + e$

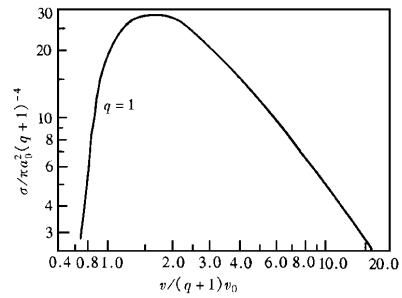


图 4 ${}_{18}\text{Ar}^+$ 与 He 碰撞的 σ - v 曲线
 ${}_{18}\text{Ar}^+ + \text{He} \rightarrow \text{Ar}^{2+} + \text{He}(\Sigma) + e$

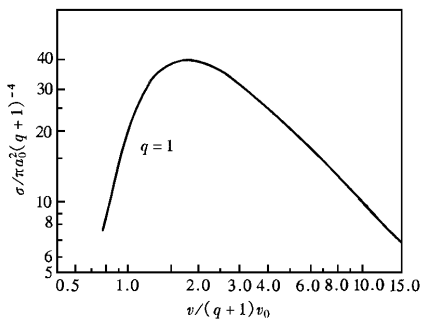


图 5 ${}_{36}\text{Kr}^+$ 与 He 碰撞的 σ - v 曲线
 ${}_{36}\text{Kr}^+ + \text{He} \rightarrow \text{Kr}^{2+} + \text{He}(\Sigma) + e$

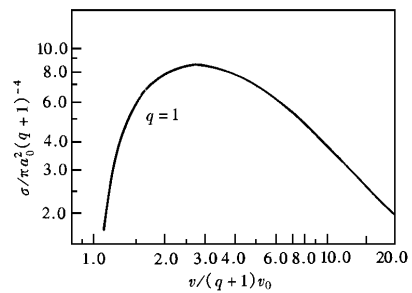


图 6 ${}_{54}\text{Xe}^+$ 与 H 碰撞的 σ - v 曲线
 ${}_{54}\text{Xe}^{2+} + \text{H} \rightarrow \text{Xe}^{2+} + \text{H}(\Sigma) + e$

- [1] J. D. Garcia ,*Phys. Rev.* ,**A1**(1970) 280.
- [2] L. Vriens ,*Proc. Phys. Soc.* ,**90**(1967) 935.
- [3] J. Y. Zeng ,*Quantum Mechanics(2)*(Science Press , Beijing , 1981) ,p. 430(in Chinese) [曾谨言 ,量子力学(下册) (科学出版社 ,北京 ,1981) ,第 430 页]
- [4] Z. J. Liu ,*Acta Physica Sinica* **A8**(1999) ,1210(in Chinese) [刘之景 ,*物理学报* **A8**(1999) ,1210]
- [5] T. Shirai , K. Iqachi , T. Watanabe ,*J. Phys. Soc. Jap.* ,**42**(1977) ,238.

CALCULATIONS OF CHARGE STRIPPING CROSS SECTIONS

LIU ZHI-JING

(*Department of Astronomy and Applied Physics ,University of Science and Technology of China ,Hefei 230026 ,China*)

(Received 28 May 1999)

ABSTRACT

The Potential function , electron momentum distributions and charge stripping cross sections for Multicharged ion by collision with H and He using binary encounter approximation and Thomas-Fermi approximation methods are calculated.

PACC : 3450H