

e-Ar($3p^5 4s, J=2$) 的微分散射截面

金石琦 徐至展

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

(1998 年 2 月 9 日收到; 1998 年 4 月 6 日收到修改稿)

电子与氩原子激发态的碰撞是个很重要的过程, 对研究发射的光谱、激光物理和等离子体过程都很有意义. 分析 $3p^5 4s$ 的 $3p^5 4p, J=3$ 能级截面提供了很有价值的原子物理过程, 也为在强激光场作用下氩原子发射高次谐波的单原子行为提供依据.

PACC: 3480B; 3480D

1 引 言

原子的结构和行为是人们认识微观世界重要的基本层次之一. 电子与原子碰撞规律的研究由缺乏选择性, 开始转向研究“态-态”、“完全”碰撞过程^[1-3]. 电子与氩原子的碰撞由于其长寿命, 大截面和大能量间隔等特点^[2], 倍受原子与分子物理学家的关注^[4-6]. 本文讨论电子与中性氩原子从 $3p^5 4s$ 亚稳态碰撞激发到 $3p^5 4p$ 态的散射截面. 比较了分立波函数和连续波函数两种处理方法的特色, 为激光核聚变, 等离子体物理, 强激光场与原子相互间作用的研究提供了很有价值的原子物理参数和原子物理过程.

2 物理模型

非相对论中性靶原子的哈密顿量写成

$$H_T = \sum_{i=1}^{18} H_i - \sum_{i<j}^{18} V_{ij}, \quad (1)$$

其中

$$H_i = \frac{1}{2} \nabla_i^2 - \frac{Z}{r_i} \quad (Z = 18) \quad (2)$$

为单电子哈密顿量.

$$V_{ij} = \frac{1}{|r_i - r_j|} \quad (3)$$

为电子与电子间的相互作用势.

中性靶原子的单电子轨道波函数为 $\phi_a(x)$. 靶原子波函数为

$$\Phi_n(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_j, \dots, x_{18}) \equiv \sum_{a_1 a_2 \dots} C_{a_1 a_2 \dots}^{(n)} |\phi_{a_1}(x_1) \phi_{a_2}(x_2) \dots \phi_{a_{18}}(x_{18}); \pi_n L_n m s_n \nu\rangle, \quad (4)$$

组态间相互作用系数(CI)满足对称性^[7]

$$C_{a_1 \dots a_i \dots a_j \dots a_{18}}^{(n)} = (-1)^{l_{a_i} + l_{a_j} - l_n - s_n} C_{a_1 \dots a_j \dots a_i \dots a_{18}}^{(n)} \quad (5)$$

入射电子和中性靶原子体系波函数为

$$\begin{aligned} \Psi^N(x_0, x_1, x_2, \dots, x_{18}) &= (1 - P_{01} - P_{02} \dots - P_{0i} \dots - P_{0j} \dots - P_{018}) \\ &\times \Psi^N(x_0, x_1, x_2, \dots, x_{18}) \\ &= (1 - P \dots) \sum_{n=1}^N \Phi_n(x_1, \dots, x_i, \dots, x_j, \dots, x_{18}) f_n^N(x_0) \end{aligned} \quad (6)$$

P_{0i} 是空间和自旋交换算符. $f_n^N(x_0)$ 是入射电子波函数. N 取值很大时,得

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \Psi^N(x_0, x_1, \dots, x_i, \dots, x_j, \dots, x_{18}) = \Psi(x_0, x_1, \dots, x_i, \dots, x_j, \dots, x_{18}), \quad (7)$$

则整个碰撞体系的运动方程为

$$(E - H) |\Psi\rangle = 0, \quad (8)$$

即

$$(E - H_T - H_0 - \sum_{i=1}^{18} V_{0i}) |\Psi\rangle = 0. \quad (9)$$

H_0 为入射电子哈密顿量, V_{0i} 是入射电子与中性靶原子第 i 个电子的相互作用势.

3 结果和讨论

严格求解方程(9)是不可能的,用 Hartree-Fock 自洽方法处理相互作用势 V_{0i} ,对体系波函数也作切断无穷项近似处理.

图 1 为电子能量分别为 10, 20 和 30 eV 时的电子与中性氩原子碰撞微分散射截面. 低能量小角度的微分散射截面当电子能量不同时具有相同的变化趋势. 随着散射角的增加,

不同电子能量的碰撞微分散射截面变化有很大的差别,能量小微分散射截面反而大,完全弹性散射占主要地位;电子能量大,微分散射截面变小,电子能量有一部分被吸收,发生了非弹性散射,非弹性散射伴随着其他微观过程发生较多,在单一处理激发碰撞的过程中,伴随着的微观过程及其对应的物理量观测都没有提取和处理.

图 2 为采取两种近似方法处理的结果,一种是连续式(DA)另一种是脉冲式(IA).连续式把各角度的散射截面反应的更细致些.脉冲除了在特殊角度上起伏大之外,其余各角度

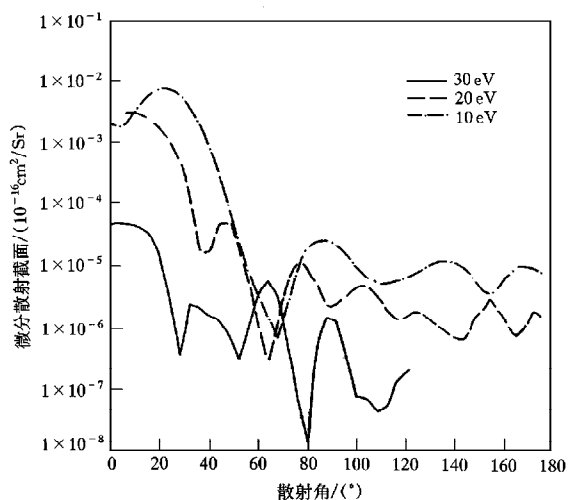


图 1 电子与氩原子的碰撞散射截面

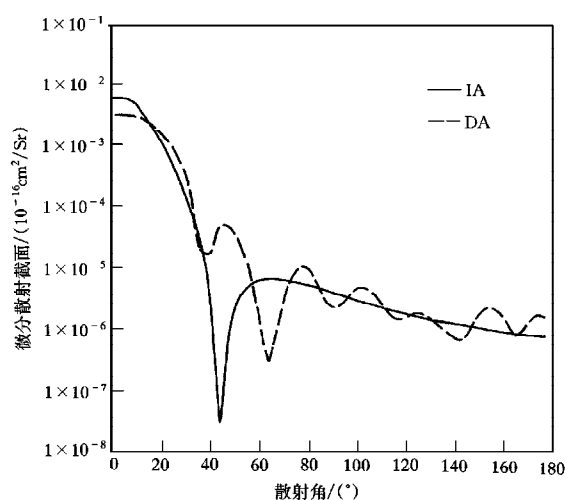


图2 电子与氩原子的碰撞散射截面

的微扰波动则被淹没了. 两种方法处理得到的结果定性是一致的.

4 存在的问题

虽然在处理方法上做了各种近似, 但在解决电子与多电子靶原子和离子碰撞问题上, 计算量还是相当大的. 原因之一是在于处理相互作用势时, 采用的是实原子势, 目的是为看清微观过程, 但增大了工作量. 若对微观细节要求不是很高的情况下, 为减少计算量可以试采取文献[8]中的模型势来代替真实原子势.

- [1] Igor Bray and Dmitry V. Fursa, *Phys. Rev.*, **A54**(1996), 2991.
- [2] John B. Boffard, Garrett A. Peich, Mark F. Gehrke *et al.*, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, **29**(1996), 795.
- [3] Jin Shi-qi, Xu Zhi-zhan, *Acta Physica Sinica*, **47**(1998), 577(in Chinese).
- [4] Igor Bray and Dmitry V. Fursa, *Phys. Rev. Lett.*, **76**(1996), 2674.
- [5] S. Bliman, M. Cornille, **68**(1997), 1080.
- [6] K. J. Reed and M. H. Chen, *Phys. Rev.*, **A54**(1996), 2967.
- [7] Dmitry V. Fursa and Igor Bray, *Phys. Rev.*, **A54**(1995), 1279.
- [8] J. E. Sionkiewicz, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, **30**(1997), 1261.

ELECTRON IMPACT WITH ARGON EXCITATION OUT OF THE $e\text{-Ar}(3p^5 4s, J=2)$

JIN SHI-QI XU ZHI-ZHAN

(*Laboratory for High Intensity Optics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, CAS, Shanghai 201800*)

(Received 9 February 1998; revised manuscript received 6 April 1998)

ABSTRACT

It is shown that the electron impact with argon excitation out of the metastable to the $3p^5 4p$ levels is very important for spectrum, laser physics and plasma processing. Analysis of the cross sections of $3p^5 4p, J=3$ level in mainfolds of $3p^5 4p$ is valuable. It also provides the atomic character of emission harmonics in intense laser field.

PACC: 3480B; 3480D