

NeI $2p_1$ 态弛豫速率常数的测定

任兴碧 杨维东 赵鹏骥

(中国工程物理研究院物化所, 成都 610003)

提要 采用 α 源激励单光子计数技术, 测定了 He, Ne, Ar, H₂ 等气体压力对 NeI $2p_1 \rightarrow 1s_2$ 跃迁谱线的影响, 获得了 NeI $2p_1$ 态与 He, Ne, Ar, H₂ 发生碰撞及 Penning 反应的速率常数, 并与理论值作了比较。

关键词 速率常数, Penning 反应, 单光子计数技术

1 引言

自六十年代后期以来, 以美国的 Miley 为代表的一批科学家, 利用单光子计数技术研究了惰性气体在 α 源激励下的光谱特性, 给出了惰性气体某些激发态的产生及弛豫过程的理论模型。九十年代初哈萨克斯坦核物理实验室发现, 在一定 Ne 压力范围内, Ne 在 α 源激励下的光谱强度与压力成正比关系, 并得到了 He, Ne 与 NeI $2p_1$ 态的碰撞速率常数。本实验从研究 He-Ne-Ar(H₂) 激光体系的机理出发, 利用自制的 α 源激励单光子计数装置, 测定了 He, Ne, Ar, H₂ 四种核素对 NeI $2p_1$ 态的碰撞速率常数。

2 实验描述

使用的单光子计数装置见文献[1], 仅将源盒改变为球冠形圆台式超硬铝激发盒, 盒内表面为镜面抛光。源强约为 10^8 Bq。使用高真空系统将源盒抽至 10^{-3} Pa, 然后分别充入高纯 Ne, Ne+He, Ne+Ar, Ne+H₂。

3 结果与分析

3.1 变化不同气压, 获得各体系的光谱强度与压力的关系示于图 1 和图 2。

3.2 从图 1 看出, 在 $P_{Ne} > 1.3 \times 10^4$ Pa 时, P_{Ne} 与 I_1 有如下关系

$$P_{Ne}/I_1 = A + B \times P_{Ne} \quad (1)$$

如果 Ne I $2p_1$ 的弛豫只与 Ne-Ne 碰撞及自发辐射有关, 即

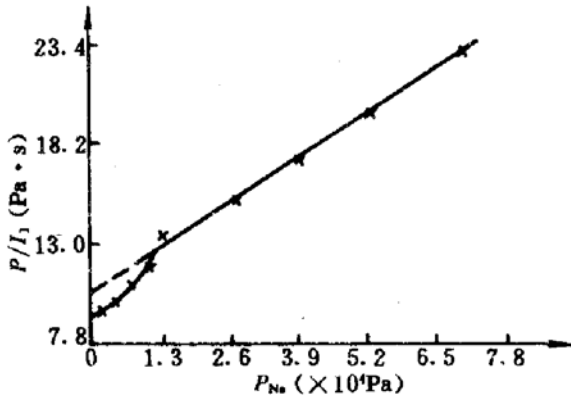


Fig. 1 Relationship between P_{Ne} and transition intensity of NeI $2p_1$.

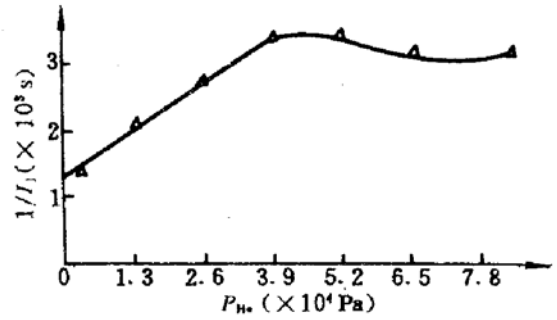


Fig. 2 Relationship between P_{He} and transition intensity of NeI $2p_1$.



由动态平衡时 $dN_1/dt = 0$, 可得

$$P_{Ne}/I_1 = 1/\delta_1 + (\tau_1/\delta_1)k_2 P_{Ne} \quad (4)$$

(1)~(4)式中, N_1 为 NeI $2p_1$ 的布居数, A, B 为常数, δ_1 为 $2p_1$ 的填充效率, τ_1 为 $2p_1$ 的寿命, k_2 为 $2p_1$ 发生过程(2)的反应速率常数。根据实验数据计算可得 $k_2 = 2.2 \times 10^{-12} \text{ cm}^3/\text{s}$, 与文献值 $3 \times 10^{-12} \text{ cm}^3/\text{s}$ 在同一数量级。

从图 2 可以看出, 当 $P_{Ne} = 2.7 \times 10^3 \text{ Pa}$ 时, P_{He} 在 $2.78 \times 10^3 \text{ Pa} \sim 4.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ 之间时, $1/I_1$ 与 P_{He} 成直线关系, 即

$$1/I_1 = A + B \times P_{He} \quad (5)$$

A, B 为常数。

在这一范围内 NeI $2p_1$ 的弛豫只与自发辐射、Ne-Ne 碰撞及 He-Ne 碰撞有关, 据动态平衡时 $dN_1/dt = 0$ 有

$$1/I_1 = C + (k_7/D)P_{He} \quad (6)$$

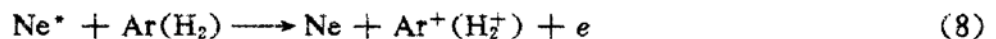
式中 I_1 为 NeI $2p_1$ 的跃迁强度, C 为常数, $D = C \times P_{Ne}$, k_7 为 Ne I $2p_1$ 态与 He 发生碰撞的弛豫速率常数。并且



计算结果: $k_7 = 7.6 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{s}$ 。与文献值 $10^{-13} \text{ cm}^3/\text{s}$ 在同一数量级。

3.3 Ar, H₂ 对 NeI $2p_1$, NeI $1s_2$ 态的影响

据理论计算, Ar, H₂ 与 NeI $2p_1, 1s_2$ 态会发生不同程度的 Penning 反应, 即



且能态势能与 Ar, H₂ 的电离能愈接近时 Penning 反应愈强烈, 实验测得 Ne, Ne-Ar, Ne-H₂ 体系中 NeI $2p_1$ 态的跃迁强度, 分析可得加 Ar, H₂ 使得 NeI $2p_1$ 的绝对粒子数密度下降, 即 Ar, H₂ 对 NeI $2p_1$ 态有倒空作用, 且 H₂ 比 Ar 的效果更明显, 根据与(2)式相同的推导原理, 可得

$$1/I_1 = C' + (k_8/D')P_{Ar(H_2)} \quad (9)$$

式中 C', D' 与前面 C, D 的意义相同, k_8 为 NeI $2p_1$ 态发生反应(8)的速率常数, 根据实验数据, 我

们求得 k_{Ar} 和 k_{H_2} 分别为 $1.37 \times 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$, $1.92 \times 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$, 与理论计算值 $1 \times 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$ 接近。理论计算出 NeI $2p_1$ 与 Ar, H₂ 发生 Penning 反应的速率常数分别为 $3 \times 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$, $8.66 \times 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$ 。由此可见 Ar, H₂ 可能获得 $2p_1 \rightarrow 1s_2$ 态之间的粒子数密度反转。

参 考 文 献

- 1 黄 整, 傅依备等. 原子与分子物理学报, 1990, 7(3): 496

Measurement of Relaxation Rate Constants of NeI $2p_1$

Ren Xingbi, Yang Weidong, Zhao Pengji

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, Chinese Academy of Engineering Physics, Chengdu 610003)

Abstract The influence of He, Ne, Ar, H₂ on the intensity of $2p_1 \rightarrow 1s_2$ transition was studied by a single photon counting system. The relaxation rate constants of the NeI $2p_1$ by collision with He, Ne atoms and Penning reaction with Ar, H₂ were obtained.

Key words relaxation rate constant, Penning reaction, single photon counter

掺铬氟化锂锶铝激光器

掺铬氟化锂锶铝(Cr:LiSAF)晶体是一种性质优良的近红外可调谐激光晶体,其最空出的特点是增益高、激发态吸收小、利于储存能量。该晶体调谐范围在 $0.78 \sim 1.00 \mu\text{m}$ 。这种可调谐激光在激光测距、激光雷达、激光光谱学等领域中具有极其广泛的应用价值。

我们以脉冲红宝石激光作泵浦源,实现了激光振荡输出。泵浦光束由焦距为 180 mm 的透镜耦合入块状晶体,晶体以 90° 方向加工切割,长度 4.64 mm,晶体对红宝石激光能量的吸收为 60%,两端面镀有在激光波段的增透膜。适当放置晶体方位,使其吸收 π 偏振光,因为该晶体对 π 方向偏振光的吸收截面和发射截面均大于 σ 方向。当晶体的有效吸收能量为 500 mJ 时,在 820 nm 附近,自由振荡能量约 50 mJ。

这项工作受到国家自然科学基金委的支持。

(中国科学院安徽光机所 韦 丽 王爱华 吴路生 朱桂霞 张尚安)