

極低温静電型イオン蓄積リング RICE における N₂O⁺の輻射振動冷却の観測

(埼玉大理^a, 理研^b, 立教大理^c) O廣田彩音^a・伊五澤涼^a・木村直樹^b・久間晋^b・
P. M. Mishra^b・K. Chartkunchand^b・中野祐司^c・山口貴之^a・東俊行^b

Radiative vibrational cooling of N₂O⁺ in the cryogenic ion storage ring RICE
(Saitama Univ.^a, RIKEN^b, Rikkyo Univ.^c) A. Hirota^a, R. Igosawa^a, N. Kimura^b, S. Kuma^b,
P. M. Mishra^b, K. Chartkunchand^b, Y. Nakano^c, T. Yamaguchi^a, T. Azuma^c

The radiative vibrational cooling process of the triatomic ion N₂O⁺ was studied in a cryogenic ion storage ring operating at 4 K. The storage time dependence in the vibrational peak intensity of the symmetric stretching mode was measured in the predissociation spectra of the stored ion. The results manifested the vibrational cooling time scale in the range of seconds for the ion. The observed behavior in the excited states shows a reasonable agreement with a numerical simulation based on the rate equations of radiative cooling process. It is found that, however, to explain the time dependence in the ground state, more rigorous treatment is necessary for the excitation (ion production) and de-excitation (radiative cooling) processes.

【序】 2011 年から理化学研究所・東原子分子物理研究室で開発が進められた RIKEN Cryogenic Electrostatic Ring (RICE) イオン蓄積リング[1]は、内部を極低温かつ超高真空に保つことで様々な原子分子イオンを 1000 秒以上蓄積できる装置である。RICE は静電場でイオンビームを制御しているため、質量に依らず大きいクラスターイオンや小型分子の蓄積が可能である。蓄積された分子イオンは孤立状態で赤外輻射の放出によってその内部温度が冷却されていき、蓄積時間に応じて振動回転状態が制御された分子イオンビームを用意することが出来る。我々は RICE の極低温環境を用いて星間化学で重要なイオン-分子反応を再現することを計画している。

【実験】 本研究は、RICE 内で蓄積した直線 3 原子分子イオン N₂O⁺ の振動冷却観測を目的として行ったものである。N₂O⁺ は対称伸縮モード、変角モード、非対称伸縮モードの 3 つの振動自由度を持つイオンであり、特に縮重している変角モードは Fermi 共鳴及び Renner-Teller 効果により複雑な挙動を示すことが知られている。実験は、まず ECR イオン源からの N₂O⁺ ビームを任意の時間蓄積し、そこへ紫外レーザーを照射することで前期解離によって生成される中性フラグメントを検出する。異なる蓄積時間でこれを繰り返すことで、分子イオンの冷却が進む様子を観測するというものである。N₂O⁺ の電子状態遷移 A²Σ⁺ ← X²Π に伴う振動遷移について、振動基底状態と対称伸縮モードのみが励起した 3 つの状態に着目して観測を行い、それぞれに対して蓄積時間ごとの分布を直接的に求めた。また、振動遷移強度とレート方程式に基づく理論計算により冷却ダイナミクスを追った。

【結果と考察】 測定の結果、蓄積時間 10 秒以内で振動状態分布が基底状態に落ちていく様子、つまり振動冷却を観測することに成功した。これは他のイオン蓄積装置では実現していない、3 原子分子イオンとしては初めての観測例である。理論計算では、励起状態分布においては実験と一致する結果が得られたが、基底状態分布においては相違が確認された。励起状態は対称伸縮モード間の冷却が主であるが、基底状態は複雑なエネルギー構造を持つ変角モードから脱励起が加わるためであると考えられる。本研究により、3 原子分子特有の複数モードが関与する振動冷却過程を解明できた。

【References】 [1] Y. Nakano *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **88**, 33110 (2017).