

Stark デフレクターによる実空間でのアンモニアの量子状態分離

(東工大理) ○上野一樹・水瀬賢太・大島康裕

Quantum state separation of ammonia in real space with the Stark deflector

(Tokyo Institute of Technology) Kazuki Ueno, Kenta Mizuse, Yasuhiro Ohshima

【Abstract】

The inversion motion of ammonia is one of the most recognized large-amplitude molecular vibrations. We are developing a new experimental setup to track the spacio-temporal propagation of the ammonia inversion. Here, a Stark deflector has been implemented to select one of the inversion doubling components by applying an inhomogeneous electric field. We examined spatial distribution of deflected ammonia in each quantum state by adopting REMPI measurements via the $\tilde{C}^1A_1' \leftarrow \tilde{X}^1A_1'$ transition.

【序論】

アンモニアの傘反転運動は、MASER にも利用されている重要な運動であり [1]、物理化学の標準的な教科書にも紹介されている [2]。我々は、この反転振動を実験的に実空間観測することに取り組んでいる [3]。その実現には、アンモニアの反転振動のトンネル分裂ペア 0^+ , 0^- を空間的に分離する必要がある。本研究では、Stark デフレクターを新たに制作し、これを実装してアンモニアについて量子状態選別能の評価を行ったので報告する。

【実験】

図 1 に実験の模式図と、Stark デフレクターの中心部分の形状を示す。デフレクターは、下に向かって電場の絶対値が小さくなる、空間的に不均一な電場を生成する [4]。これに伴い、強い電場へ集まる量子状態 (High Field Seeker: HFS) と弱い電場へ集まる量子状態 (Low Field Seeker: LFS) は上下に分離する。各量子準位に対して、デフレクター中のトラジェクトリーについてシミュレーションを行い、十分に分離可能な電圧を探索した。この結果より、一方の電極は接地し、もう一方の電極に +5 kV 印加して利用した。空間的な量子状態の分離を検証するために、多光子共鳴イオン化 (REMPI) スペクトルを観測した。アンモニアの反転振動を考慮したスペクトルの帰属が報告されている 2 光子遷移 ($\tilde{C}^1A_1' \leftarrow X^1A_1'$) を利用した [5]。

サンプルは、アンモニア水 (28%) を 0.25 MPa の Ar でバブリングして用いた。これをパルスバルブから放出し、振動・回転温度を冷却した分子線として導入した。分子線は、スキマーとスリットを通過した後、Stark デフレクターを経て検出領域へいたる。光源には、Nd:YAG レーザー (Surelite II-10, 532 nm) で励起した色素レーザー (ND6000, dye DCM, ~620 nm) の出力を KDP 結晶で倍波に変換し利用した。空間分布測定では、ミラーとレンズを同時に動かす

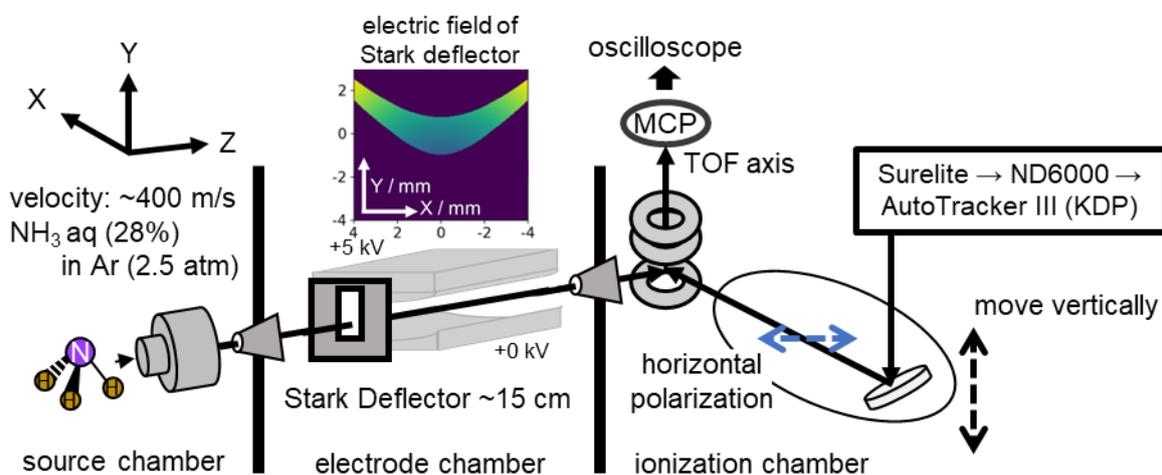


図 1. 実験の模式図。

ことで、レーザー光の水平を保ちつつ上下方向の平行移動を行った。

【Stark デフレクターによる空間分布の変化】

図2に、Stark デフレクターの電圧を0 kV, 5 kVとして空間掃引した結果を示す。横軸はレーザーと分子線の交点を原点としたレーザーの高さ、縦軸はピークトップで規格化した相対強度を示す。

測定に用いた波数のうち、64710.2 cm⁻¹は $|v_2, J, |K\rangle = |0^-, 1, 1\rangle$ からの遷移に、63865.2 cm⁻¹は $|0^+, 1, 1\rangle$ からの遷移に対応する。デフレクターに電圧を印加すると、空間分布のシフトが観測された。シフトの様子から、0⁺はHFS、0⁻はLFSと確認できる。理想的には対称な空間分布が得られると期待されたが、実際は非対称となった。真空装置全体の組み立て精度の問題と考えている。

【偏向した分子線の REMPI スペクトル】

図3に、Y = 0 mm, ±3 mm に設定した REMPI スペクトルを示す。縦軸は、0 kV, 0 mm のピークトップで規格化した相対強度を、横軸は2光子のエネルギー合計値を示す。

0 kV, Y = 0 mm のスペクトルには、 $|J, |K\rangle = |1, 1\rangle, |1, 0\rangle$ からの遷移が測定された。63868 cm⁻¹付近の5 kV, Y = +3 mm でのスペクトルでは、 $|J, |K\rangle = |1, 1\rangle$ のピークのみが観測された。HFS由来のスペクトルなので、Stark 効果を受ける $|M| = 1$ の状態が選択されたことを意味する。LFSである0⁻由来のピークが現れる64711 cm⁻¹付近には信号がない。一方、5 kV, Y = -3 mm では、LFS由来の $|J, |K\rangle = |1, 1\rangle$ のピークのみが現れ、 $|M| = 1$ と帰属される。5 kV, Y = 0 mm で観測されたピークは、Stark 効果を受けない $|J, K\rangle = |1, 0\rangle$ または、 $|J, |K, M\rangle = |1, 1, 0\rangle$ に帰属される。

【まとめ】

今回、量子状態選別用の Stark デフレクター電極を作成した。5 kV 印加することで、0⁺と0⁻を空間的に分離可能であることを確認した。

【参考文献】

- [1] Gordon, J. P., Zeiger, H. J. & Townes, C. H. *Phys. Rev.* **99**, 1264 (1955).
- [2] R. P. Feynman, R. B. Leighton, & M. Sands, *Lectures on Physics. Volume 3, Quantum Mechanics*, Addison-Wesley Publishing (1965).
- [3] 上野 一樹、水瀬 賢太、大島 康裕：「アンモニア反転振動の実空間観測に向けて」第19回分子分光研究会 L11 (2020).
- [4] Hendrick L B. *et al* 2006 *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **39** R263.
- [5] Moana N. *et al.* *Phys. Chem. Chem. Phys.* **7**, 1527, (2005).

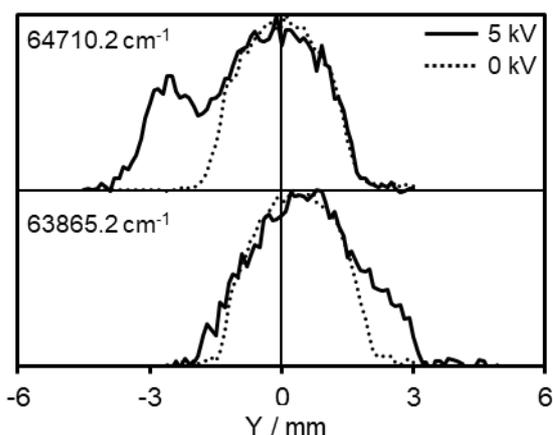


図2. 電場による空間分布の変化。Y 軸原点はレーザーと分子線の交点とした。

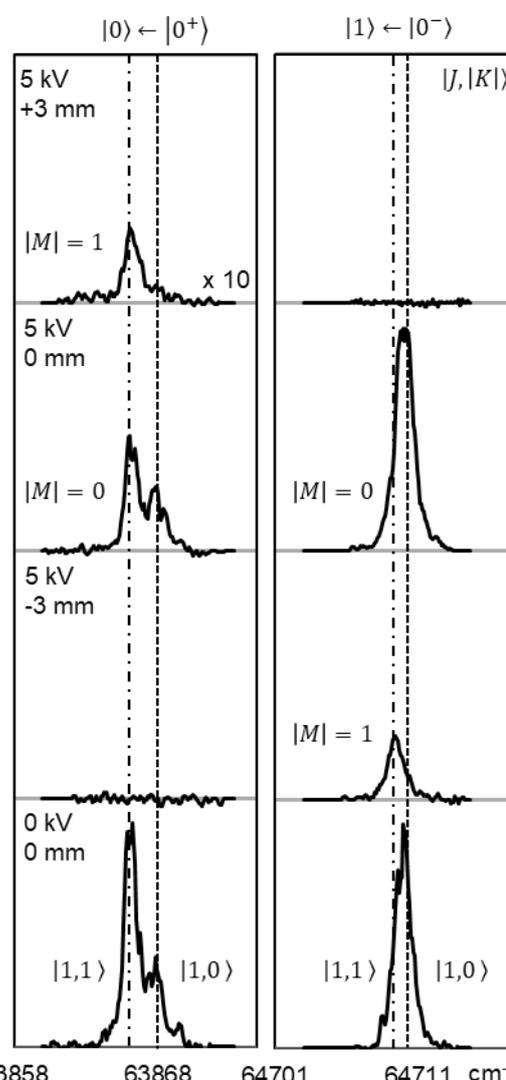


図3. Stark デフレクターによる量子状態選別を受けたアンモニアに対する REMPI スペクトル。