

3P086 強磁場中での光励起分子のダイナミクス研究 のための分子線装置の製作

(物質・材料研究機構 強磁場研究センター) ○ 木村恭之、北濱康孝、高澤健

[序] 近年、冷凍機付き超伝導電磁石が開発され、10 T 程度の大きさの静磁場が実験室レベルで得られる。この大きさの磁場 (強磁場) 中における高リドベルグ分子 ($n \approx 30$) では、リドベルグ電子が核から受けるクーロン力と外部磁場から受けるローレンツ力の大きさが拮抗するため、エネルギー構造が極めて複雑になる。その結果、リドベルグ状態からの緩和過程も極めて複雑であり、これらの研究例は全くない。本研究グループでは、これまでに強磁場中に気体セルを設置して、常温気体の NO 分子をレーザー光による 2 波長 2 重共鳴法でリドベルグ準位に励起し、分子同士の衝突電離によって生じた NO⁺ イオン量を測定することで、強磁場中のリドベルグ分子の電子スペクトルの測定に初めて成功した。しかし、スペクトルの構造は複雑であり、リドベルグ準位のエネルギー構造が十分に理解できたとは言いがたい。それは (i) これらのリドベルグ準位の電離過程には、先に述べた衝突電離に加えて、イオン化極限が異なる振動準位間の自動電離 (振動自動電離) 過程が共存すること、および、(ii) NO⁺ イオンによるイオン電流と、解離により生成された原子イオン N⁺、O⁺ による電流を同時に計測していることによりスペクトルが複雑化したことが原因であった。リドベルグ状態のこれら 2 つの緩和過程 (自動電離、解離) は物理的に極めて興味深い過程であり、これらの過程をそれぞれ分離して観測できれば、強磁場中のリドベルグ分子の複雑なエネルギー構造とその緩和ダイナミクスが同時に解明される。この目的のため、強磁場中で孤立分子の質量分析ならびに分光計測を行うための装置を設計、製作した。

[装置] 図 1 に装置の概略を示す。分子同士の衝突を低減するため、ガスセルに代わって真空槽 ($\sim 10^{-7}$ Torr) を超伝導電磁石 (最大磁場 10 T) の中心穴 (ϕ 10cm) 内に挿入し、槽内に (電磁バルブは強磁場中で誤動作するため) ピエゾ素子を使用して自作したパルスバルブを設置することで、パルス分子線を生成する。槽壁の石英窓から 1 種あるいは 2 種類の波長可変レーザー光を槽内に導入し分子線に直交させ、分子をリドベルグ準位に励起、あるいは直接電離する。生成された親分子イオン、および解離片分子 (原子) イオンを電場により加速し、64cm 下流側に設置された MCP (Multi channel plate) で TOF (Time of flight) 法によりイオン種を分離して計測する。磁場中を走行するイオンはローレンツ力を受けて散逸するが、本装置ではイオンの走行方向と磁石の磁場中心軸を一致させることにより、イオンをローレンツ力をほとんど受けずに MCP まで誘導することができる。

[結果] 図 2 に、波長可変の紫外レーザー光を使用し、NO 分子を基底状態の振動回転準位 $X^2\Pi_{1/2}(v=0, J+1)$ から、 $A^2\Sigma(v=0, J)$ 準位を中間状態として共鳴 2 光子過程により直接電離し、TOF 装置により選別された NO⁺ のイオン量をレーザー光の波長の関数として測定したスペクトルを示す。この波長範囲では $X^2\Pi-A^2\Sigma$ 間の P 枝の回転遷移線が見られる。図中に、縦棒と $A^2\Sigma$ 状態の回転量子数 J の値により、零磁場中 ($B=0$ T) の遷移線の帰属を示す。磁場を印加すると、それぞれの回転線が 2 成分に分裂することがわかる。これは主として中間状態 $A^2\Sigma$ のゼーマン分裂による構造である。以上より、本装置により、約 2 T の磁場中において、TOF 装置により質量選別されたイオン量を計測して分子線中の孤立分子の電子スペクトルが測定できることが確認できた。イオンの受ける強いローレンツ力のため強磁場中における TOF 法による質量分析は困難であり、これまで

成功例がなく、これが世界初の成功例である。現在、10 T の磁場中での動作のため装置の改良を進め、リドベルグ分子のエネルギー構造および光電離、光解離ダイナミクスの実験研究の準備を行っている。

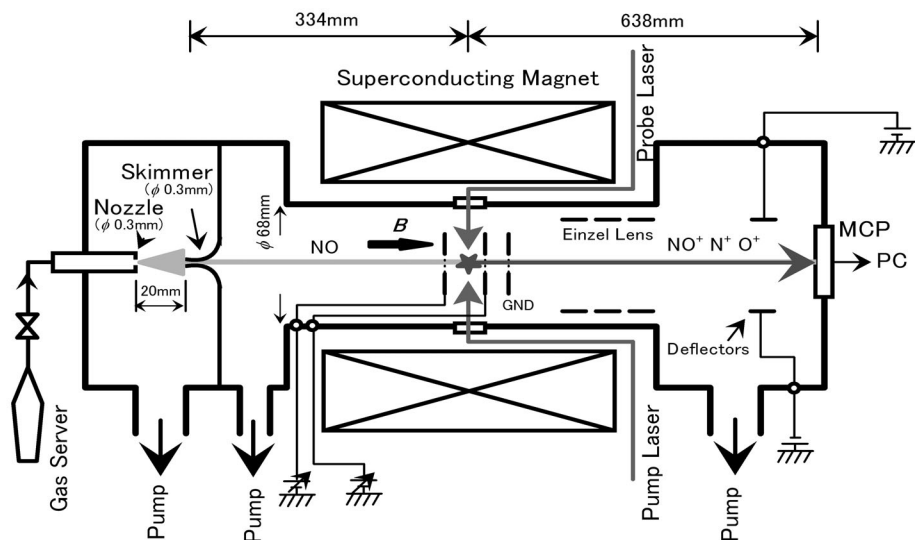


図 1: 分子線装置の概略

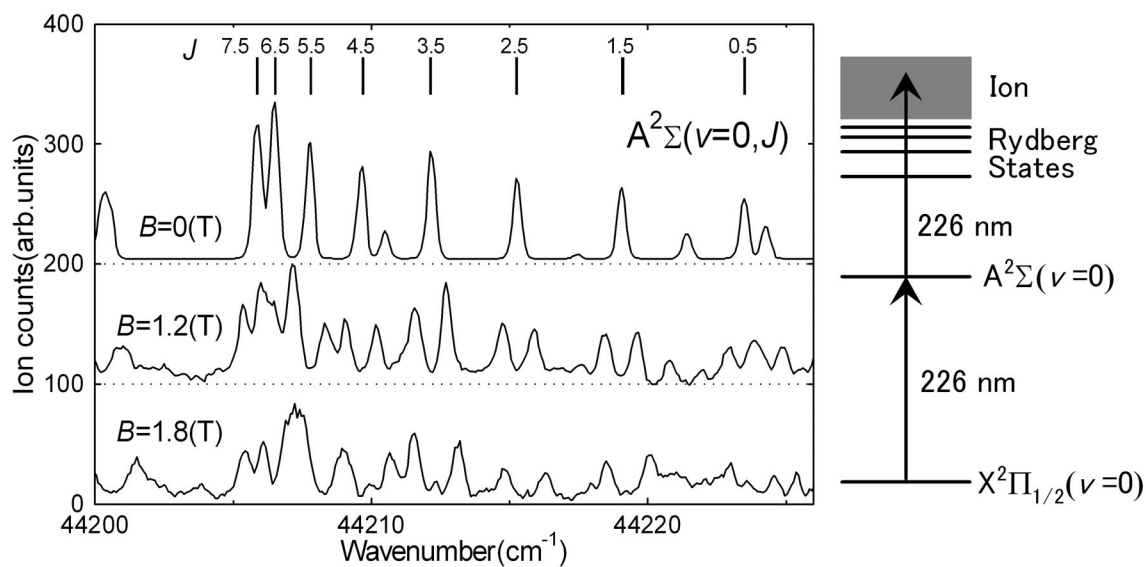


図 2: $A^2\Sigma(v=0, J)$ 準位を経由した 2 光子共鳴電離スペクトル