

3P092

mK分子プロジェクト ～冷たい分子の生成と超高分解能分光～

(東工大院理工) ○辻秀伸、田地和喜、金森英人

【序】冷たい分子は極低温化学反応や超高分解能分光、分子BECなど物理や化学の幅広い研究分野に、大きな影響を与えると期待されている。しかし気相分子の冷却手法はいまだ確立されておらず、現在様々な冷却手法が模索されている。そこで我々はHeバッファーガス冷却^{1,2}と四重極シュタルク速度フィルター^{3,4}を組み合わせた多段冷却の手法で冷たい分子を生成し、超高分解能分光に応用することを目標にして研究を行っている(図1)。Heバッファーガス冷却とは、低温のHe原子との衝突を利用して分子を直接冷却する手法である。この冷却手法では⁴Heを用いてT=数Kまで冷却可能である。また、四重極シュタルクフィルターとは、電気双極子を持つ分子のシュタルク効果を用いて速度がボルツマン分布した分子集団から低速の分子のみを選択するという手法である。この2つを組み合わせることにより、さらに低温の分子の生成が可能となる。バッファーガス冷却によって予備冷却された分子集団の中から、四重極シュタルク速度フィルターによってmK領域の冷却分子を生成することを目標としている(図2)。この多段冷却は電気双極子ントモーメントを持つ分子に広く適用可能な汎用的な冷却手法となっている。また、シュタルク速度フィルターは電気双極子を持たないHeバッファーガスを取り除く役割も果たし、さらなる冷却手段に引き継ぐための重要な役割も担っている。本発表ではバッファーガス冷却と四重極シュタルク速度フィルターの現状、および超高分解能分光の可能性について報告を行う。

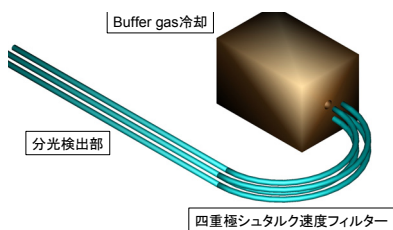


図1 mK分子生成装置の概要図

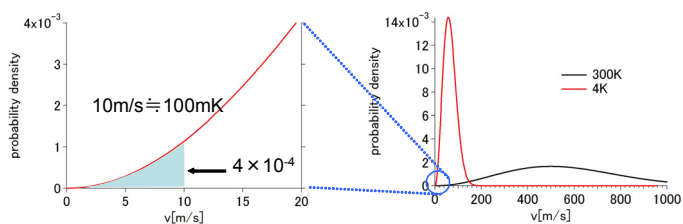


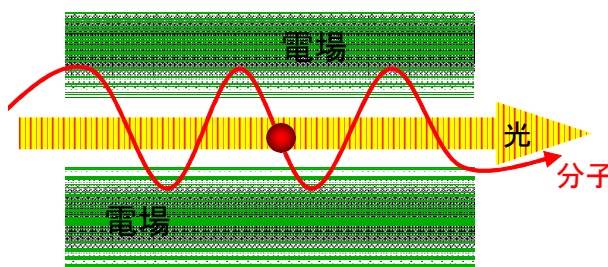
図2. 速度分布における多段冷却の概要図

【実験・結果】バッファーガス冷却では準備段階として窒素温度(77K)での冷却の実験を行っている。実験方法は、窒素温度に冷却されたCuセルの内壁に、D₂Oを噴きつけて数mm厚の結晶を作成し、その後バッファーガスとして⁴Heを充填する。さらにパルスYAGレーザーのSHG光によるレーザー蒸発によって気相のD₂Oを瞬間的に発生させ、冷却セルと熱平衡状態にあるバッファーガスとの衝突で十分冷却されたものをピンホールから分子線として取り出した。速度分布は飛行距離を変えたTOF測定によって、冷却セル内での拡散時間と自由飛行時間を分離することで決定した。その結果、分子線がバッファーガスにより冷却セルの壁面温度まで冷却できることを確認した。

四重極シュタルク速度フィルターの実験では差動排気を従来より1段増やして、計4段の差動排気系にすることにより、以前よりバックグラウンドを1桁以上低減させることができた。SN比が向上した結果、観測結果の定量的な解析が可能になり、例えばND₃の場合、150m/sで18K相当の最確速度を持った分子集団を選択できていることがわかった。また、検出できた最低速の分子は50m/sでT=2Kに相当する。ND₃以外の分子ではNH₃、CH₃I、H₂CO、C₆H₅Cl、C₆H₅CNについて低速分子の選択・検出に成功している。

【考察】今回の室温(300K)の分子集団から最低温度2K相当の分子の選択・検出に成功した結果をもとに、Heバッファーガス冷却を使って4Kに予備冷却した分子集団を用いて速度選択をおこなった場合を想定すると、最低温度27mK相当の分子を選択・検出できると期待される。現在、Heバッファーガス冷却の装置を10Kまで冷却できるように改良中である。

【超高分解能分光】図1において四重極ガイドが180度曲がった後の直線部が分光検出部である。この四重極の直線部の内側にプローブレーザーを通して低速分子の分光測定を行う。ここで問題になるのは、四重極内の不均一電場によるスペクトル線の広がりである。ガイドの内径と同程度の2mmφのレーザーを使って分光測定を行った場合を想定すると、スペクトル線は1cm⁻¹の不均一幅で観測されることになる。レーザーの通るガイド中心領域の電場を十分小さくするためにはN=4より大きいN重極のガイドを用いることが有効である。例えば12重極を用いれば、同じレーザーを使ったとしても、ガイド内電場によるスペクトル線の不均一広がりkHz程度に押さえることができる。一方、ガイドポテンシャル内を進行する分子は図3に示す



ように進行方向に垂直な振動運動を伴っているため、この運動の影響を考慮する必要がある。上に述べたように、レーザー光の直径を電場が存在しない中心領域に制限する必要があるため、分子と相互作用できる時間は分子がレーザーの領域を横断する時間に限られて

図3 ガイド中の分子の運動とレーザーとの相互作用

しまうように思われる。しかしながら、垂直方向の運動に伴うシュタルクシフトは断熱的に起こるので、分子がレーザー領域を横断した時とポテンシャル障壁に反射されて再びレーザー領域に戻ってきた時とは分子状態の位相には影響を与えることはなく、ラムゼー共鳴のように再びレーザーとコヒーレントに相互作用できると考えている。したがって、分子との相互作用時間はガイド長を通過する時間ということになり、低速分子を用いることで、相互作用時間幅を低減した超高分解能分光が期待できる。

【参考文献】

1. Dima Egorov et al., Phys. Rev. A 66, 043401
2. 田地和喜、関口貴郎、金森英人、分子構造総合討論会 (2005) 3P123
3. S.A. Rangwala, T. Jnglen, T. Rieger, P.W.H. Pinkse, G. Rempe, Phys. Rev. A. 67 (2003) 043406
4. 辻秀伸、奥田泰壮、関口貴郎、金森英人 分子構造総合討論会 (2005) 3P124