

3B18 超流動ヘリウム液滴中の巨大水素クラスターの分光研究

(UBC¹, 京大院理², USC³) 久間晋¹, 後藤悠², A. Khramov¹, 〇百瀬孝昌¹,
M. Slipchenko³, A. Vilesov³

【序】よく知られた液体ヘリウムの超流動現象は、ヘリウム原子がボーズ・アインシュタイン凝縮(BEC)を起こした結果発現していると説明されている。水素分子は水素原子核(フェルミ粒子) 2個からなるボーズ粒子として取り扱えることから、ヘリウム同様に超流動・BEC転移が起こると予想されている[1]。分子は振動・回転運動や双極子モーメントなど原子にはない特性を持つため、分子の超流動現象およびBECの実現及びその観測は多くの研究者の注目を集めている。 $J=0, I=0$ のパラ水素の予想転移温度は6 Kであることから、もっとも超流動・BEC転移しやすい系として、これまで多くの研究がなされてきた[2]。しかしながら、水素分子は13.8Kで凝固するため、超流動転移温度まで液体状態で過冷却することができず、未だ水素分子の超流動・BEC転移は達成されていない。

我々は、系の粒子数を減らすと凝固点が降下する[3]ことに着目し、低温の巨大水素クラスターでは、水素分子の超流動・BEC状態が観測できるのではないかと考え、その分光研究を進めている。本研究では、0.4Kの超流動ヘリウム液滴中に1000個程度の水素分子のクラスターを生成し、その物性を分光学的に調べた。その結果、0.4Kの温度でも1000個程度の水素分子のクラスターが流体的に振る舞うと考えられるデータを得たので、報告する。

【実験手法】 極低温(8K)、高圧(20atm)の水素ガスを真空中にパルス的に吹き出すことで 10^6 個程度のヘリウム液滴を生成し、実験に用いた[4]。このように生成したヘリウム液滴の温度は0.4Kで、超流動状態にあることがすでに明らかになっている。ヘリウム液滴の中に、ピックアップ法で水素分子を捕捉し、その性質を調べた。ピックアップ法による捕捉確率は、Poisson分布に従うことが知られているため、ピックアップセル内の圧力を調整することで、20%程度の分散でピックアップする個数を制御できるのが特徴である。水素分子は光学的直接観測が難しいため、今回は同時にMg-Phthocyanine (Mg-Pc)を捕捉し、水素分子の個数を変えたときのMg-PcのLIFシグナルの変化を観測することで、水素分子クラスターの性質に関する情報を得た。今回の測定では、水素分子とMg-Pcの2種類の分子をヘリウム液滴にピックアップするため、水素分子を先にピックアップした場合(prior pickup)、および水素分子を後でピックアップした場合(post pickup)の、2種類のピックアップ方法を採用した(図1参照)。LIF測定にはナノ秒パルスレーザー励起の色素レーザーを励起光源に用いた。参照として同様の実験をArクラスターについても行った。

【結果と考察】 図2にヘリウム液滴中のArクラスターの数を変化させた場合のMg-PcのLIFスペクトルのバンドオリジンの変化を示

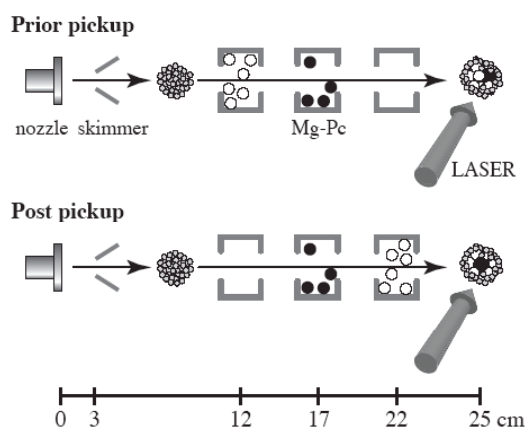


図1 H₂/ArクラスターとMg-Pcのピックアップ法。PriorではH₂/ArクラスターをMg-Pcより先にpickupする。PostではH₂/ArクラスターをMg-Pcより後にpickupする。

す。ヘリウム液滴中に単体で存在するMg-PcのLIFスペクトルは 15556.2cm^{-1} にピークを持つ。図2から明らかなようにクラスター数を増やすと、LIFスペクトルは低周波数側にシフトする。700個程度のArクラスターでは、Arクラスターを先に捕捉(Prior)した場合には単体のバンドオリジンからおよそ -200cm^{-1} シフトしているのに対して、Arクラスターを後で捕捉(Post)した場合のシフト量はおよそ -400cm^{-1} であった。このシフト量はArクラスターとMg-Pcの相互作用の強さを反映しているはずである。0.4Kの温度では、Arクラスターは完全に固体または結晶状態と考えられることから、Arクラスターを先に捕捉(Prior)した場合にはMg-PcはArクラスターの表面に付着した構造を持つと考えられる。一方、Arクラスターを後で捕捉(Post)した場合、Mg-PcはArクラスターの中心に存在しているはずである。そのためPostでできる構造の方が、ArクラスターとMg-Pcの相互作用の大きさがほぼ2倍になると期待される。図2に示したLIFスペクトル変化はこの構造の違いで説明がつく。

図3は同様の実験をパラ水素クラスター（パラ水素純度99.9%以上）で行った結果である。やはり同様に、クラスターサイズを大きくすることで、LIFスペクトルは低周波数側にシフトしている。しかしながらArクラスターの場合との大きな違いは、パラ水素クラスターではPriorとPostでシフト量がまったく同一であるという点である。このことは、PriorとPostで生成される構造が同一であることを示している。Postで生成される構造は、Mg-Pcが水素クラスターの中心に位置しているものであることから、PriorでもMg-Pcは水素クラスターの表面ではなく、水素クラスターの中心に位置する構造をとっていると考えられる。すなわち、0.4Kでも水素クラスターはMg-Pcが表面から中に入れるほど柔らかいことを示している。我々は、この結果から1000個程度の水素クラスターは0.4Kでも液体同様の状態で存在しているのではないかと考えている。実験結果の詳細およびオルト-パラ比依存性などについて当日報告する。

【参照】

- [1] V. L. Ginzburg and A. A. Sobayanin, JETP Lett. **15**, 242 (1972).
- [2] 例えばH. J. Maris他, J. Low Temp. Phys. **51**, 471 (1983).
- [3] R. S. Berry, Adv. Chem. Phys. **70**, 74 (1988).
- [4] M. Slipchenko他, Rev. Sci. Inst. **73**, 3600 (2002).

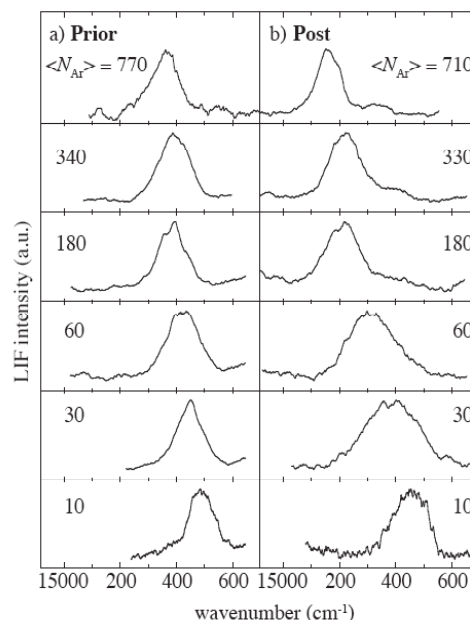


図2 Arクラスター中のMg-PcのLIFスペクトル。各パネルの数字はヘリウム液滴内のArクラスターの平均個数。

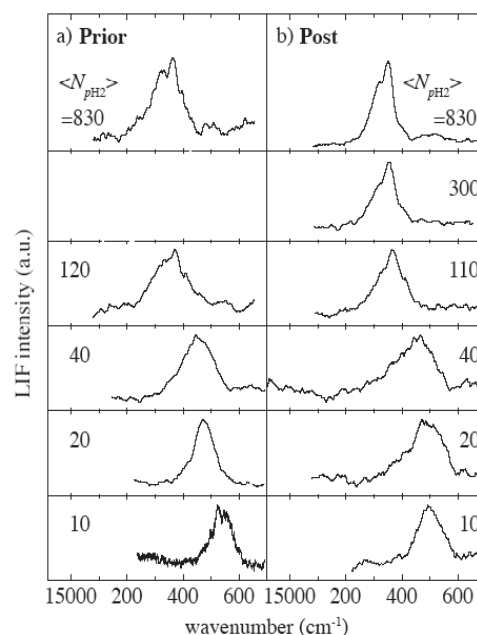


図3 パラ H_2 クラスター中のMg-PcのLIFスペクトル。各パネルの数字はヘリウム液滴内のパラ H_2 クラスターの平均個数。