

2A21

星間分子イオンのサブミリ波分光：CH⁺のゼーマン効果とスピン回転相互作用、CH₂D⁺の検出と星間分子雲での同定

(Dept. Chemistry and Dept. Physics and Astronomy, U. of Waterloo) 天竺 堯義

[CH⁺]

CH⁺ は最初に星間空間で同定されたイオンである。1937年のことである^{1,2}。それ以降電子スペクトルは詳しく研究されてきたが、振動回転赤外スペクトルは知られていない。回転スペクトルに関しては、Pearson とDrouin³が2006年に¹²CH⁺のJ=1-0遷移を実験室で検出したことを報告し、その周波数と電子スペクトルから得られた分子定数を組み合わせて¹³CH⁺、CD⁺の回転遷移周波数を計算した。この¹³CH⁺の予想周波数に基づき、星間分子雲中に¹³CH⁺を検出したことが報告された⁴。

本報告では、Pearson, Drouin³のCH⁺の同定、およびそれに基づく¹³CH⁺の星間での検出は誤りであることを示す。さらに、CH⁺は閉核分子であるにもかかわらず、予想外に大きなゼーマン効果が観測されたこと、¹³CH⁺ではスピン回転相互作用による分裂が観測されたことを報告する。

Waterloo のサブミリ波装置は4本の後進行波管 (BW0) を用い260–890 GHz の範囲で測定が可能である。イオンの測定には、通常の周波数変調に加えて、低周波数の磁場あるいは放電変調をかける。CH⁺はCH₄ (～0.5 mTorr) をヘリウムバッファーガス (35～120 mTorr) に混ぜてExtended Negative Glow 放電中で生成した。放電電流は5～10 mAである。放電管外壁は液体窒素で冷却した。ヘリウムをバッファーとして用いることが重要である。図1に観測されたゼーマン分裂の例を示す。

¹³CH⁺のJ=1-0 遷移はスピン回転分裂を示す。対応する¹²CH⁺はスピン回転分裂は観測されない。閉核分子の磁氣的相互作用の一番大きな寄与は、ℓ-uncoupling による¹Π状態との相互作用による。CH⁺は比較的低い¹Π状態を持つ。更に、回転エネルギーが大きいため、¹Σ 状態の分子としては異常に大きな磁氣的相互作用を持つことになる。CD⁺の回転定数はCH⁺の半分ほどなので、160G程度の磁場ではゼーマン分裂は見えない。またスピン回転相互作用分裂も観測されない。表1に測定された遷移周波数をまとめる。スピン回転相互作用定数、回転g-因子も始めてもとめられ、あわせ

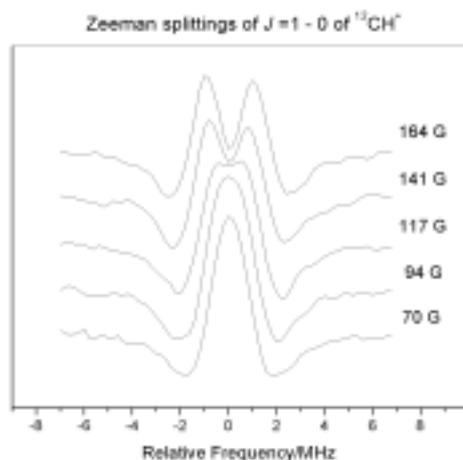


図 1. ¹²CH⁺ の J=1-0 遷移 (835137.504 MHz) のゼーマン効果。

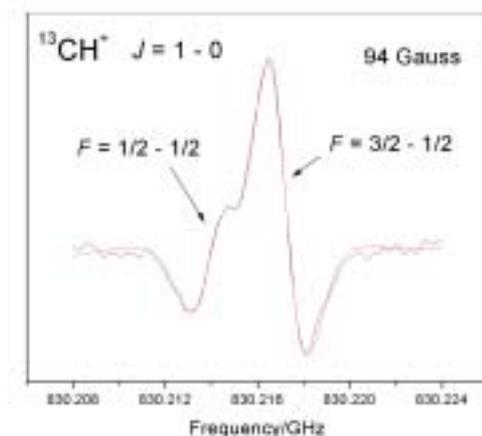


図 2. ¹³CH⁺ の J=1-0 遷移のスピン回転分裂。

て表 1 に示す。

Sauer, Paidarova⁵は既に1995年に詳細な理論計算の結果、CH⁺のスピンの回転相互作用が大きいことを予言している。彼らの結果は今回求められた実験値と非常に良くあっている。また、極めて最近、Sauerは回転 g -因子を計算で求めた⁶。表1に値を示すが、実験値と良く合っている。種々の実験結果と計算結果から、今回のCH⁺の同定は疑いようが無い。新しい周波数に基づいて星間分子雲中で続々とCH⁺が同定されつつある。

[CH₂D⁺]

CH₃⁺は星間化学において非常に重要なイオンであるが、対称的な平面分子であるため、純回転スペクトルの観測はほとんど不可能である。CH₂D⁺は電気双極子モーメントをもつので、回転スペクトルによる星間分子雲中での観測が可能である。そのみならず、このイオンはより暖かい分子雲中での重水素濃縮過程において重要な役割を果たすと考えられている。最近、Ori IRc2 でCH₂D⁺と思われるラインが検出されたが実験室での測定値が無いため、その同定は確定的ではない⁷。同定を確実にするために、急遽、実験室での測定を行った。

軽い非対称こま分子であるため280-880 GHzの周波数領域で4本の遷移しか観測されていない。測定にはExtended Negative Glow 放電を用い、CH₄, CD₄, H₂をヘリウム(~40mTorr)バッファーガス中に混ぜて放電し、放電は液体窒素温度まで冷却した。図3に観測された信号の一例を示す。

測定された遷移周波数は、Rosslein⁸らの赤外スペクトルから計算された周波数と非常に良く合っている。4本のサブミリ波ラインの周波数と赤外スペクトルから得られたCombination differenceからより精密な分子定数と、より正確な回転遷移周波数を求めた⁹。これらの結果は、Ori IRc2 での同定を強く支持するが、同定を確定するために、新たな観測が実施される予定である。

| 表 1. CH ⁺ の $J=1-0$ 遷移の遷移周波数 (MHz except for g_J) | | |
|---|----------------------------|------------------------------|
| | This work | Pearson, Drouin ³ |
| ¹² CH ⁺ | 835137.504.(27) | 835079.043(1.0) |
| ¹³ CH ⁺ | $F=3/2-1/2$ 830216.632(20) | 830131.7(1.0) |
| | $F=1/2-1/2$ 830215.001(40) | |
| ¹² CD ⁺ | 453521.851(20) | 453189.5(18.9) |
| Spin-rotation coupling constant | | |
| C_I | 1.087(50) | 1.092545 ⁵ |
| Rotational g-factor | | |
| g_J | 7.65(29) | 7.796 ⁶ |

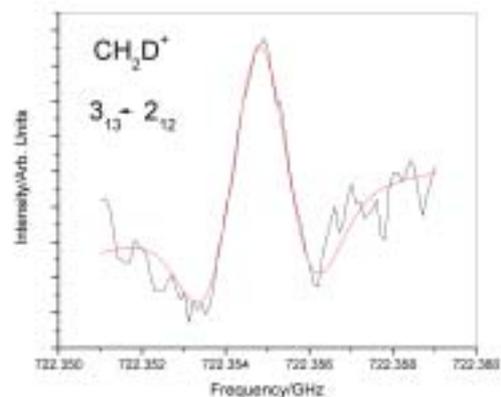


図 3. CH₂D⁺のサブミリ波遷移。

¹T. Dunham, *Pub. Astron. Soc. Pac.* **49**, 26 (1937)

²A. E. Douglas and G. Herzberg, *Astrophys. J.* **94**, 381 (1941)

³J. C. Pearson and B. J. Drouin, *Astrophys. J.* **647**, L83 (2006)

⁴E. Falgarone, T. G. Phillips, and J. C. Pearson, *Astrophys. J.* **634**, L149 (2005)

⁵S. P. A. Sauer and I. Paidarova, *Chem. Phys.* **201**, 405 (1995)

⁶S. P. A. Sauer, *Private communication* (2010)

⁷E. Roueff, *Private communication* (2009)

⁸M. R. Rosslein, M. F. Jagod, C. M. Gabrys, and T. Oka, *Astrophys. J.* **382**, L51 (1991)

⁹T. Amano, *Astron. Astrophys.* **516**, L4 (2010)