

# メタノール分子のマイクロ波ゼーマン効果

(富山大理<sup>a</sup>, 国立天文台<sup>b</sup>) ○高木光司郎<sup>a</sup>・常川省三<sup>a</sup>・小林かおり<sup>a</sup>・廣田朋也<sup>b</sup>・  
松島房和<sup>a</sup>

## Microwave Zeeman Effect of Methanol

(Univ.of Toyama<sup>a</sup>,NAOJ/SOKENDAI<sup>b</sup>) K. Takagi<sup>a</sup>, S. Tsunekawa<sup>a</sup>, K. Kobayashi<sup>a</sup>,  
T. Hirota<sup>b</sup> and F. Matsushima<sup>a</sup>

To date, Zeeman effects of interstellar methanol masers have been observed in star forming regions and magnetic fields there have been estimated. In this connection, reliable laboratory measurements of Zeeman splitting factors are absolutely necessary.

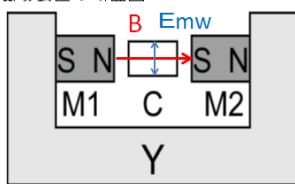
We have observed Zeeman effects on about 30 low- $J$  lines (including 4 torsional excited lines) of methanol in a magnetic field of 0.7 T produced by rectangular bar magnets of neodim, We have determined components of the diagonal elements of the rotational  $g$  tensor including contribution from the internal rotation of the methyl group with an uncertainty of about 5 %. Using this  $g$  tensor we can calculate rotational  $g$  factors for low- $J$  ( $J \leq 10$ ), low- $K$  ( $K \leq 2$ ) lines of methanol with an uncertainty of about 5%.

**[序]** 現在までにメタノールの星間メーザーのゼーマン効果はいくつかの遷移で観測されていて[1,2]、星間雲中での磁場の値が、実験室でのゼーマン効果の結果に基づき、推定されている。ところが実験室での測定は古い“preliminary”な測定値があるだけで[3]、しかもこれはメーザー遷移とは異なる遷移に対するもので、新しい実験室でのゼーマン効果 ( $g$  因子) の測定が要望されている[2,4]。

本研究の目的は、メタノール分子の基本的マイクロ波遷移に対して実験室でゼーマン効果を測定することにより、回転  $g$  因子の成分を決定し、任意の遷移に対して数%の精度で正しい  $g$  因子を与えることである。現在までに得られた結果を発表する。

**[実験方法]** 測定は、高感度・高分解能で強い磁場のもとでメタノールのスペクトルを観測する

磁場装置の断面図



Y:ヨーク,  
M1,M2: 長さ30cmの磁石,ギャップ7.8mm,  
C: 50 GHz WG 吸収セル

ことである。分光計は富山大学にある光源変調方式のものを用いる、磁場は図1に示した様に1対の長さ150 mm の市販のネオジウム磁石 (図1のM1, M2 :ネオマグ社、角型150x10x30) を間隔7.6 mm で向い合せとし、それをさらに長さ方向にもう1対加えて長さを300 mmとし、吸収セル (図1のC) は320 mm の導波管 (WRJ 500 等) である。磁場の強さは約0.70 T で一様性は長さ方向で $\pm 2.5$  %である。測定時の磁場は $H_2CO$  分子のゼーマン分裂により求めた。測定はドライアイス温度で行った。

**[理論]** Z方向の磁場  $B$  のもとで、ある回転順位のゼーマン分裂は  $\Delta W = -g_J \mu_n P_z B$  (1) で与えられる。ここで  $\mu_n$  は核磁子で  $\mu_n / h = 0.76226$  MHz / kG である。ある遷移  $2 \leftarrow 1$  の Zeeman 効果は、 $P_z = M$  として  $\Delta \nu = -(g_{J_2} M_2 - g_{J_1} M_1) (\mu_n / h) B$  (2) であり、 $g_J$  は、Internal Axis Method (IAM) の座標系をとり

$$g_J = \frac{1}{J(J+1)} [g_{aa} \langle P_a \rangle^2 + g_{bb} \langle P_b \rangle^2 + g_{cc} \langle P_c \rangle^2 + g_\alpha \langle P_\alpha p_\alpha \rangle] \quad (3)$$

$a, b, c$ : 回転軸,  $p_\alpha$ : 内部回転角運動量

で与えられるとした。右辺第 4 項が内部回転からの寄与を表している。

[ゼーマン効果の観測] 約 30 個の low- $J, K$  遷移のゼーマン効果を観測した (磁場 0.70 T)。

図 2 と図 3 にそれぞれ  $\Delta M = \pm 1$  と 0 の観測されたゼーマン分裂を示した。

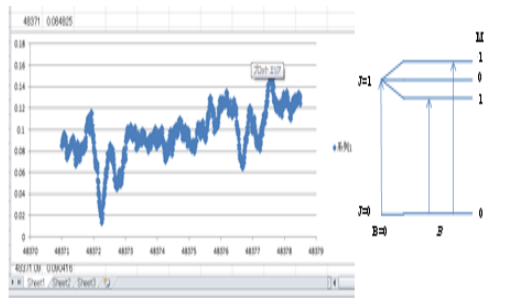


Fig.4 A1 and E1 at B=6.9 kG ( $T_p$ )  
splitting:  $0.54 \pm 0.04$  and  $0.54 \pm 0.04$  MHz ( $\Delta M = \pm 1$ )

図 2 A 101-000 と E 10-00 のゼーマン分裂

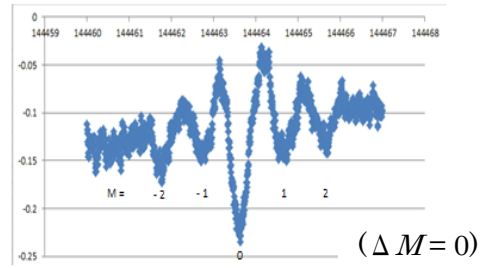


Fig.1(B1102) . The  $\Delta M = 0$  transitions of Line #1 (A 322 - 221, 321 - 220\*, vt=2) at B = 7.0 kG (R-band  $\Delta M=0$  wg cell). Each components are separated by about 0.95 MHz.

図 3  $vt=2, A 3_2 - 2_2$  のゼーマン分裂

また表 1 に、特に  $J=1-0, \Delta K = \pm 1$  及び 0 遷移のゼーマン分裂 ( $\Delta M = \pm 1$ ) を示した。

表 1  $J=1-0$  遷移の磁場 0.70 T でのゼーマン分裂 s(MHz)

A/E	vt	transition	$\nu_0$ (GHz)	s(MHz)
A	0	101-000	48.372	0.517(0.03)
E	0	10-00	48.376	0.526(0.03)
E	0	00-1-1	108.893	1.52(0.05)
E	0	11-00	213.427	1.21(0.05)
E	1	00-1-1	141.441	3.21(0.05)

これ等の分裂の大きさは、順位 A/E  $J=1, K=0, \pm 1$  の分裂を示し、a 軸の周りの全回転と内部回転の効果を直接に示している。

[解析 1 とその結果] 観測されたゼーマン分裂を Eq.(3) に従い解析し、g 因子の成分の暫定値 ( $g_{aa}, g_{bb}, g_{cc}, g_{\alpha}$ ) を決定した。この値は次に導入するシュタルク効果を、一部とり入れているが、十分に考慮していない点で暫定的であるので、本稿では数値の記述は控えた。しかしこの暫定値を用いてほとんどのゼーマン分裂の測定値を 5% の誤差で計算できる。これらの測定値には 44 GHz の星間メーザー[2]の遷移も含まれている。

[解析 2 シュタルク効果の導入] 以上は Eq.(1) によりゼーマン効果のみ考えたが、この他に以下に示す様なシュタルク効果の導入の必要性が文献[5]で示された。即ち、磁場 B の中で並進速度  $V_0$  で動く分子は、磁場 B の他に  $E = V_0 \times B$  の電場を感じるので、この電場によるシュタルク効果もうける。  $V_0$  としてドライアイス温度での most probable velocity をとり、  $B=0.7$  T とすると  $E = 1.8$  V/cm となる。電場の方向を X 方向とすると、このシュタルクを導入すると、Eq.(1) は(4)に変更される；

$$\Delta W = -g_J \mu_n P_z B - \mu_a P_x E K / J(J+1) \quad (4)$$

この式は、  $P_a$  に対して、diagonal な項のみを考えた近似式で、  $P_a = K$  とした。 [解析 1] でも一部この項の影響を取り入れて解析しているが、観測されるスペクトルの分裂のパターンに理解できないところがあり、現在それを検討中である。

References [1] W. H. T. Vlemmings, A&A.484, 773 (2008) [2] A.P. Sarma, Proc. IAU. Symp. No. 287, 31(2012) [3] C. K. Jen, Phys.Rev. 81, 197(1951) [4] W. H. T. Vlemmings et al. , A&A. 529, A95(2011) [5] D. H. Sutter & W. H. Flygare, Topics in Curr. Chem. (Springer Verlag) 1976. p89