

メタノール分子のマイクロ波ゼーマン効果 IV

(富山大理^a, 国立天文台/ 総研大^b) ○高木光司郎^a・常川省三^a・小林かおり^a・
廣田朋也^b・

Microwave Zeeman Effect of Methanol IV

(Univ.of Toyama^a,NAOJ/SOKENDAI^b) K. Takagi^a, S. Tsunekawa^a, K. Kobayashi^a,
T. Hirota^b

We have already observed microwave Zeeman effect of CH₃OH with uncertainties of about 5% and determined four diagonal elements of rotational g tensor including the effect of internal rotation of the methyl group [1,2,3]. Now we have started the study of Zeeman effect of CH₃OD and observed σ - and π - component patterns of several low J,K transitions at a magnetic field of 7.5 kG.

CH₃OH から CH₃OD へ 今までに本タイトル I, II, III [1,2,3] として CH₃OH 分のマイクロ波ゼーマン効果を扱ってきたが、これで一区切りをつける。今回からは、CH₃OD を扱う。この分子の星間メーザーは観測されていないが、回転スペクトルに大きな内部回転効果のある分子として CH₃OH との比較で興味のある分子である。

まず、今までのことを簡単にまとめると、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る[4,5,6,7]。星間雲中での磁場の値を決定するためにはこの分子の回転遷移に対する g 因子が必要であるが、今までは preliminary なものしかなかった[8]。我々は、主としてミリ波帯でのゼーマン効果の測定に基き、回転 g 因子テンソルの対角成分を決定した。これにより CH₃OH 分子の種々の回転遷移に対して 5% の精度で g 因子を決定できるようになった。

今までの理論的な部分をまとめると、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その順位の g 因子を $g_{J\tau}$ として $\Delta W = -g_{J\tau}\mu_n P_z B$ (1) で与えられる。ここで μ_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 $\Delta\nu = -(g_{J2}M_2 - g_{J1}M_1)(\mu_n/h)B$ (2) であり、 $g_{J\tau}$ は、Internal Axis Method (IAM) の座標系をとり

$$g_{J\tau} = \frac{1}{J(J+1)} [g_{aa}\langle P_a^2 \rangle + g_{bb}\langle P_b^2 \rangle + g_{cc}\langle P_c^2 \rangle + g_x\langle P_a p' \rangle + g_{ab}\langle P_a P_b \rangle + g_{ba}\langle P_b P_a \rangle] \quad (3)$$

a, b, c : 回転軸, p' : 内部回転角運動量

で与えられるとした[2]。右辺第 4 項が内部回転からの寄与を表している。ここで

$$p' = p_a - \rho P_a \quad (4)$$

で、 p_a はメチル基の角運動量の a 軸成分で、これは“internal rotation axes”座標系[9]では p' となり、相対運動としての内部回転の角運動量を表す (定数 ρ は $\rho = I_\alpha / I_{aa}$)。メタノールのゼーマン効果 I, II までは、内部回転座標の a 軸とメチル基の対称軸が一致しているという近似的取り扱いを行い、 g テンソルの非対角成分 g_{ab} (および g_{ba}) は無視し、この近似の妥当性は III で検討し確認した。しかし CH₃OD ではこの近似が成り立たないことが予想されるので、以後の解析では $g_{J\tau}$ として Eq.(3) を用いる。

実験的な面では、磁場装置に改良を加えた。基本的には I で述べたものと類似したものであるが一対の長さ 150mm の磁石 (ネオジム社製) を 7.4mm の間隔で向かい合わせ、長さ方向にもう一対加えて長さ 300mm としたもので、この間の磁場の強さは約 7.5 kG である。一様性は約 1.7% である。磁場の強さは毎回の実験時に H₂CO の $1_{01} - 0_{00}$ または $2_{12} - 1_{11}$ 線のゼーマン効果を測定し校正する。以前 (I, II) より磁場が強くなり一様性も増した。

CH₃OD のゼーマン効果の測定 磁場：約 7.5 kG、温度：ドライアイス温度で、low J, K 遷移(振れ振動の $v = 0$ のみ) [10,11] を選び、そのゼーマン効果の σ -パターン($\Delta M = \pm 1$) 及び π -パターン($\Delta M = 0$) を観測し、ゼーマン分裂を測定した (Table 1)。分裂 s は最も外側のゼーマン成分間の間隔で磁場 7.0 kG に換算した値を示した (CH₃OH の s と比較 [1, 2] のため)。

Table 1. Observed Zeeman pattern and splitting s at 7.0 kG

| | A/E | Transition | Freq (MHz) | $ \Delta M $ | pattern | s (MHz) ^a |
|-----|-----|-----------------|------------|--------------|---------|------------------------|
| L1 | A | $1_{01}-0_{00}$ | 45359.07 | 1 | doublet | 0.486 (0.04) |
| L2 | E | 1_0-0_0 | 45344.23 | 1 | doublet | 0.482 (0.04) |
| L3 | A | $1_{11}-0_{00}$ | 177924.44 | 1 | doublet | 1.16 (0.04) |
| L4 | E | $1_{-1}-0_0$ | 64302.09 | 1 | doublet | 1.33 (0.03) |
| L5 | E | 1_1-0_0 | 155533.09 | 1 | doublet | 1.40 (0.03) |
| L6 | A | $1_{10}-1_{01}$ | 133924.44 | 0 | doublet | 1.48 (0.04) |
| L7 | A | $2_{12}-1_{11}$ | 89355.12 | 0 | triplet | 1.14 (0.05) |
| L8 | A | $2_{11}-1_{10}$ | 92075.59 | 0 | triplet | 1.09 (0.05) |
| L9 | A | $3_{22}-2_{21}$ | 136055.26 | 0 | quintet | 2.09 (0.02) |
| L10 | A | $3_{21}-2_{20}$ | 136102.22 | 0 | quintet | 2.10 (0.02) |

Table1 の遷移 L3 と L9 の磁場 7.5 kG で観測したゼーマン効果のシグナルを示す。

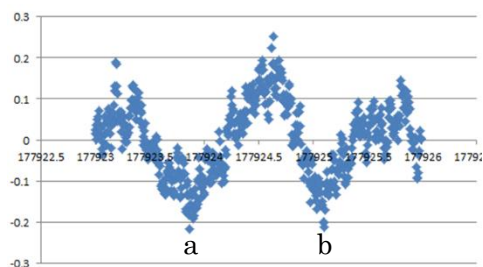


Fig.1. The σ -component pattern of $A_{111}-0_{00}$ (L3 in Table 1) at 7.5 kG.

The components a and b are for $M = \pm 1$ of $A_{111}-M = 0$ of 0_{00} .

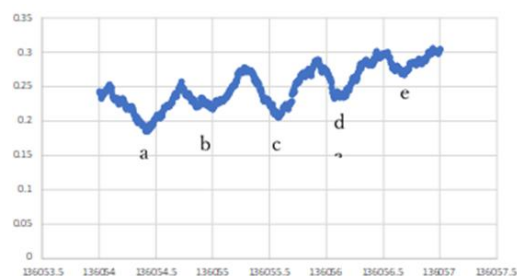


Fig.2. The π -component pattern of $A_{322}-2_{21}$ (L9 in Table 1) at 7.5 kG.

The components a,b,c,d and e are for $M = -2, -1, 0, 1$ and 2 , respectively.

Table 1 のゼーマン分裂 s を Eq.(3) に従って解析したが、良い精度で g_x と g_{ab} (および g_{ba}) を決められなかった。これらの定数を決めるためには、ねじれ振動の励起状態 ($v \geq 1$) の遷移のゼーマン効果を観測することが必要であり、今後の課題である。

References [1] 高木,常川,小林,廣田,松島, 分子分光研究会(2017). [2] 同著者、同研究会 (2018) [3] 同著者、同研究会 (2019) [4] W. H. T. Vlemmings, A&A. **484**, 773 (2008). [5] A.P. Sarma & E.Momjian, ApJ, **730**, L5 (2011). [6] W. H. T. Vlemmings et al. , A&A. **529**, A95(2011). [7] E.Momjian & A.P.Sarma, ApJL, **834**,168(2017). [8] C. K. Jen, Phys. Rev. **81**, 197(1951). [9] C.C.Lin & J.D.Swalen, Rev. Mod. Phys, 31,841 (1959) . [10] K. Kaushick, K.Takagi.& C. Matsumura, J. Mol. Spectrosc.82,4142(1980). [11] T.Anderson et al. ApJS. 67, 135 (1988)