arXiv:2512.21052v1 [physics.atom-ph] 24 Dec 2025

乙醛：用于检验电子质子质量比变化的分子

J. S. Vorotyntseva[1,2], S. A. Levshakov[1], 和 M. G. Kozlov[2,3]1 *Ioffe Institute, Polytekhnicheskaya Str. 26, 194021 St. Petersburg, Russia*[2] *St. Petersburg Electrotechnical University "LETI", Prof. Popov Str. 5, 197376 St. Petersburg, Russia*[3] *Petersburg Nuclear Physics Institute of NRC "Kurchatov Institute", Gatchina, Leningrad District, 188300, Russia*（日期：2025年12月25日）

我们报告了对乙醛（CH_3CHO）分子若干低频（1–50 GHz）跃迁的无量纲灵敏度系数 Q 的量子力学计算，这些系数描述了基本物理常数 $\mu = m_e/m_p$ ——电子质子质量比——发生微小变化时的影响。计算结果表明， Q 的变化范围为 0.62 至 3.61。我们考察了 CH_3CHO 和 CH_3OH 谱线在三个分子云中示踪相同区域的实际应用；这三个分子云位于较大的银河中心距离处（$D_{\rm GC} \sim 8$ kpc）。由此得到了对 $\Delta\mu/\mu = (0.1 \pm 0.4) \times 10^{-7}$ 变化的限制，该限制与此前基于其他分子和方法得出的最严格上限一致。所得限制将银河盘中较大银河中心距离处爱因斯坦局域位置不变性原理可能遭到违反的程度约束在 4×10^{-8} 。

I. 引言

复杂有机分子是指由至少 6 个原子组成的含碳分子。在天体物理条件下，这些分子可在星际介质（ISM）中观测到，并存在于恒星形成的各个阶段，从致密分子云到原恒星、年轻恒星体和原行星盘。它们如此普遍，因此可以通过对这类分子的光谱观测，研究恒星与行星形成过程中的物理和化学条件。

在复杂有机分子中，可以区分出一类特殊的分子——具有受阻内部运动的分子。目前，在星际介质中已探测到较简单的 6 原子分子（CH_3OH、CH_3SH）和更复杂的、最多含 12 个原子的分子 $C_2H_5OCH_3$， [1–3]。它们列于表 I 中。

表 I. 在星际介质中观测到的具有受阻内部运动的复杂有机分子 [1–3]。

数量 原子	分子 公式		
6	CH_3OH	CH_3SH	
7	CH_3CHO	CH_3NH_2	CH_3NCO
8	$HC(O)OCH_3$	CH_3COOH	CH_3CHNH
9	CH_3OCH_3	CH_3CONH_2	CH_3NHCHO
10	CH_3COCH_3	CH_3CHCH_2O	CH_3OCH_2OH
	$HOCH_2CH_2OH$		
11	$CH_3C(O)OCH_3$		
12	$C_2H_5OCH_3$		

具有受阻内转动的分子有一项重要特性：这类分子的扭转-转动跃迁落在微波波段，对电子质子质量比的假想变化具有较高的灵敏度系数 Q ，且不同跃迁的灵敏度系数各不相同 $\mu = m_e/m_p$。因此，这类分子不仅能用于探测恒星形成区的物理和化学条件，也是检验基本物理定律的工具，例如爱因斯坦的局域位置不变性原理（LPI）。该原理指出，非引力测量与其在时空中的位置无关。有多种理论预言局域位置不变性会被破坏 [4]。

一般而言，许多分子的灵敏度系数 Q此前都已计算出来。用于此类研究的第一个分子是分子氢 H_2, ，对于其莱曼和韦尔纳电子-振动-转动跃迁， Q 值结果相当小，$Q \sim 10^{-2}$ [5]与纯转动分子跃迁相比，后者具有 $Q = 1$ [6]。研究还表明，氨分子 NH_3 的反转跃迁（J, $K = 1$, 1）具有相当高的 $Q = +4.46$[7]值。

2012—2013年，对甲硫醇分子 CH_3SH 的各种跃迁进行了计算， Q 的取值范围为 –12.2 至 $+14.8$ [8], ；对甲胺 CH_3NH_2 ，其值为 $-24 \le Q \le +19$ [9]。此外，2012—2013年还计算了若干复杂有机分子（CH_3CHO、CH_3CONH_2, CH_3OCOH、CH_3COOH）中一些跃迁的灵敏度系数。

然而，正如 2011年 两种独立方法所展示的那样，甲醇 CH_3OH 的跃迁具有最高的灵敏度系数： $-53 \le Q \le +42$ [11, 12]。与分子氢的开创性研究相比，使用甲醇跃迁估算μ变化的效率高出 1000 倍。基于这一事实，近期已计算出甲醇同位素体的 Q系数，结果表明，这些分子的灵敏度系数甚至高于普通甲醇： $-32 \le Q \le +78$ ($^{13}CH_3OH$)、 $-109 \le Q \le +33$ ($CH_3{}^{18}OH$) 以及 $-32 \le Q \le +25$, $-300 \le Q \le +73$, $-44 \le Q \le +38$, 分别对应氘代甲醇 CH_3OD、CD_3OH 和 CD_3OD [13, 14]。

μ 中的假设变化可以通过一对具有不同 Q值[11]的分子跃迁来估算：

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = \frac{V_j - V_i}{c(Q_i - Q_j)}, \quad (1)$$

其中， V_j 和 V_i 是采用局部静止标准（LSR）速度系统测得的一对分子跃迁的径向速度， $V_{\rm LSR}$；这对跃迁的灵敏度系数分别为 Q_j 和 Q_i； c 是光速； $\Delta\mu/\mu$ 是天文值 $\mu_{\rm obs}$与地球值 $\mu_{\rm lab}$之间的相对差值，所涉及的量为 μ: $\Delta\mu/\mu = (\mu_{\rm obs} - \mu_{\rm lab})/\mu_{\rm lab}$。径向速度按照射电天文约定定义如下：

$$V_{\rm LSR} = c(1 - f_{\rm obs}/f_{\rm lab}), \quad (2)$$

其中， $f_{\rm lab}$ 和 $f_{\rm obs}$ 分别是实验室跃迁频率和观测跃迁频率。

在银河盘中银河中心距离较远处（$D_{\rm GC} \gtrsim 4$ kpc），利用 NH_3 (1,1) 反转跃迁与 HC_3N 、 HC_5N 和 HC_7N 的纯转动跃迁进行联合观测，得到了对 $\Delta\mu/\mu$ 最严格的上限： $\Delta\mu/\mu < 7 \times 10^{-9}$[15]; 此外，利用甲醇谱线（$CH_3OH$ 和 $^{13}CH_3OH$）也得到了相应结果：$\Delta\mu/\mu < (1-3) \times 10^{-8}$ [14, 16–19][1]。

值得注意的是，在银河系中心附近（$D_{\rm GC} \simeq 0.1$千秒差距）——那里有一个超大质量黑洞（$M_{\rm BH} \sim 4 \times 10^6 M_\odot$）和一个巨大的分子云复合体人马座（Sgr）B2（$M_{\rm Sgr} \sim 6 \times 10^7 M_\odot$）——最近根据在热核人马座B2(N)中观测到的甲醇（CH_3OH）微波光谱，发现了μ 值减小的迹象：$\Delta\mu/\mu = (-4.2 \pm 0.7) \times 10^{-7}$ [20]——基于赫歇尔太空望远镜的观测[2], 以及 $\Delta\mu/\mu = (-2.1 \pm 0.6) \times 10^{-7}$ [21] ——基于 IRAM 30米望远镜的观测[3]。与此同时，利用赫歇尔 观测到的、与人马座B2(N)中相同的一组甲醇谱线，在指向另一个分子云复合体猎户座KL（$D_{\rm GC} \simeq 8$ 千秒差距）时，只能给出 $\Delta\mu/\mu = (-0.5 \pm 0.6) \times 10^{-7}$[20]的上限。

这表明，寻找在太空中普遍存在且可用于评估 μ的新分子仍是一项紧迫任务，有助于确认先前获得的 $\Delta\mu/\mu$ 评估结果，并减轻可能存在的系统效应。

乙醛 CH_3CHO 就是这类分子之一，它广泛存在于星际介质的不同环境中。文献 [10] 计算了其频率范围为 Δf =1.8 − 47.8 GHz 的八个选定微波跃迁的灵敏度系数。

在本文中，我们将乙醛谱线的列表扩展至低频范围 $\Delta f = 1 - 50$ GHz，并基于更简单的哈密顿量结构，采用不同的方法计算相应的 Q值。所得结果见第二节。在第三节中，我们讨论一个示例：根据在三个分子云的光谱中探测到的甲醇和乙醛谱线组合样本，对 $\Delta\mu/\mu$ 进行估算。最后，我们在第四节作出总结。

II. 乙醛 (CH_3CHO) 中所选跃迁的灵敏度系数

A. 一般说明

乙醛 (CH_3CHO) 是一种复杂有机分子，其结构与甲醇 CH_3OH 相似，甲醇也具有受阻内转动的特征。CH_3CHO 由 7 个原子组成：甲基 CH_3，中的三个氢原子 H 和碳原子 C，以及 CHO 基团中的氧原子 O 和氢原子 H。此处的内转动与量子力学隧穿效应有关。甲基 CH_3 可相对于 CHO 基团发生扭转振动，氢原子可能处于三个能量相同的位置之一。

乙醛有两种对称性质不同的类型： A 型，其甲基的总核自旋为 $I_{\rm CH_3} = 3/2$；以及 E 型，其总核自旋为 $I_{\rm CH_3} = 1/2$。

值得注意的是，并未观测到 A-型和 E-型乙醛之间的跃迁，因为这两种类型之间伴随质子自旋翻转的辐射跃迁和碰撞跃迁不太可能发生，这是由于核自旋与磁场和电场相互作用的效率极低。

图 1 展示了 CH_3CHO 分子中 A-型和 E-型能级的示意图。请注意， E-型乙醛的基态扭转态能量不为零，为 0.097 K（$v_t = 0$， $J = 0$）。 E-型甲醇也观察到类似特征。

B. 计算过程

为计算灵敏度系数 Q，采用了 [11] 中所述的程序。该程序基于一个简单且物理意义清晰的有效哈密顿量模型 [22], , 仅包含 7 个具有明确物理意义的光谱参数：三个转动参数 A， B， C，一个描述内转动与整体转动相互作用的参数 D，

[1] 本文中所有关于 $\Delta\mu/\mu$的上限均以1σ 置信水平给出。[2] *Herschel*是欧洲空间局的空间天文台，其科学仪器由由欧洲牵头的首席研究员联盟提供，并有美国国家航空航天局的重要参与。[3]毫米波段射电天文学研究所（IRAM）是一家国际研究机构，也是欧洲领先的射电天文学中心。

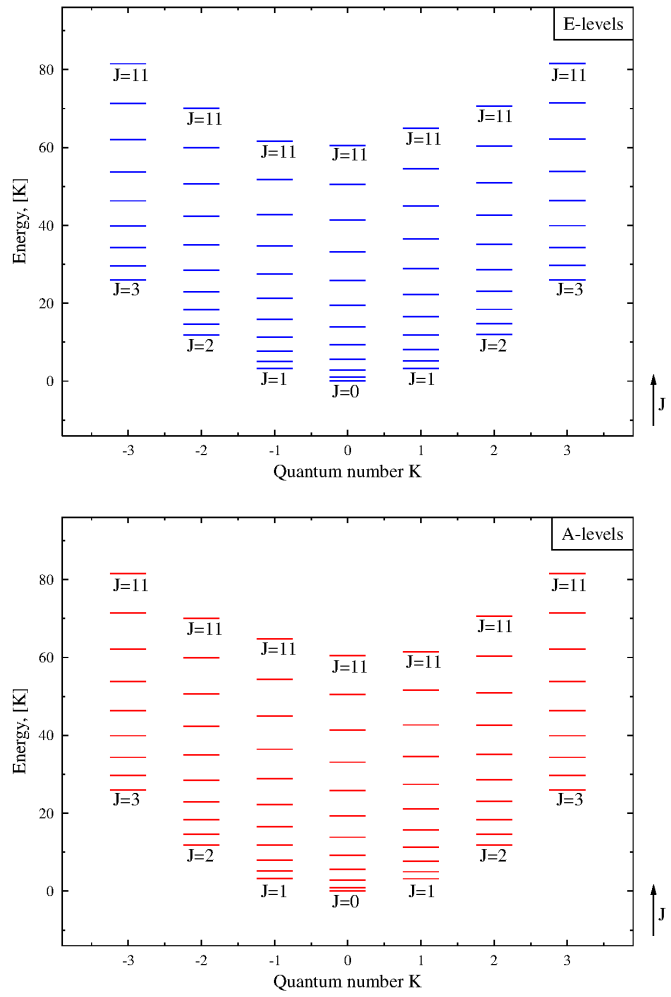

图 1. 乙醛 CH0 3 $v_t = E$ CHO 在扭转基态（）下 A-和 E-能级的部分转动能级图。-型乙醛的基态扭转态能量为 0.097 K。

动能系数 F、三重对称扭转势阱的深度 V_3，以及一个无量纲参数ρ——内转动相互作用常数。所列参数可通过以下公式计算：

$$A = \frac{1}{2}\hbar^2\left(\frac{I_a + I_b}{I_a I_b - I_{ab}^2} - \frac{I_b}{I_b^2 + I_{ab}^2}\right), \tag{3}$$

$$B = \frac{1}{2}\hbar^2\frac{I_b}{I_b^2 + I_{ab}^2}, \tag{4}$$

$$C = \frac{1}{2}\hbar^2\frac{1}{I_c}, \tag{5}$$

$$D = \frac{1}{2}\hbar^2\frac{I_{ab}}{I_b^2 + I_{ab}^2}, \tag{6}$$

$$F = \frac{1}{2}\hbar^2\frac{I_a I_b - I_{ab}^2}{I_{a2}(I_{a1} I_b - I_{ab}^2)}, \tag{7}$$

$$\rho = \frac{I_{a2}\sqrt{I_b^2 + I_{ab}^2}}{I_a I_b - I_{ab}^2}. \tag{8}$$

此处， $\hbar = h/2\pi$； I_a、 I_b、 I_c 为转动惯量。I_{ab} 是a， b， c轴系中绕 a轴和 b轴的惯性积，其中 a轴平行于内转动轴（假定为甲基陀螺的轴），c轴垂直于 CHO 平面。 I_{a2} 是甲基的轴向转动惯量， I_{a1} 是骨架（CHO 基团）的轴向转动惯量，两者之和决定了 I_a: $I_a = I_{a1} + I_{a2}$。

表 II 中列出的转动惯量假定为已知，取自 [23]。

表 II. 乙醛 CH_3CHO [23] 的转动惯量（单位为 amu· °A^2）。

I_a	I_b	I_{ab}^*	I_c
15.6230	43.0165	−15.1467	55.6095

$^*I_{ab} = I_{ba}$ in [23].

表 III 显示了根据公式 (3)-(6) 由转动惯量计算得到的光谱常数值。表 III 还包含一个不对称参数 κ ，其定义为 [24]:

$$\kappa = \frac{2B - A - C}{A - C}\ , \tag{9}$$

当分子为对称陀螺时，κ 等于 1 或 −1。表 III 还列出了来自 [14] 的甲醇参数，以供比较。

表 III. CH_3CHO 的有效哈密顿量光谱参数及不对称参数 κ ，并列出 CH_3OH 以供比较。

	CH_3CHO	CH_3OH
A (cm^{-1})	1.8846	4.2556
B (cm^{-1})	0.3487	0.8232
C (厘米$^{-1}$)	0.3031	0.7928
D (厘米$^{-1}$)	−0.1228	−0.0026
F(厘米$^{-1}$)*	7.6559	27.7518
V_3(厘米$^{-1}$)*	407.9	375.6
ρ^*	0.3291	0.8109
κ	−0.942	−0.982

*乙醛 CH_3CHO 的数值取自 [25]。

利用计算得到的光谱参数确定哈密顿量矩阵，其非零元素在 [13] 中列出，适用于特定的

转动角动量 J。对该矩阵进行对角化，可同时得到 A型和 E型乙醛的本征值（能量）和本征函数。所得本征值 E_i 对$\Delta\mu/\mu$的依赖关系通过以下关系式 [11]定义了灵敏度系数 Q ：

$$\Delta E_i = q_i \frac{\Delta\mu}{\mu}, \tag{10}$$

and

$$Q = \frac{q_u - q_\ell}{hf}. \tag{11}$$

这里， ΔE_i 是由非零 $\Delta\mu/\mu$导致的能量位移，q_i 是所谓的 q因子，对于每个能级 E_i都各不相同，表示当 $|\Delta\mu/\mu| \ll 1$时，该能级对 μ微小变化的响应； f 是给定跃迁的实验室频率， h 是普朗克常数。下标 u 和 ℓ 分别表示上能级和下能级。这种函数依赖关系通过对三组参数对应的哈密顿矩阵进行对角化来评估，这三组参数对应于 $\mu = \mu_0$和 $\mu = \mu_0(1 \pm \varepsilon)$，其中 ε 等于0.001或0.0001，且 $\mu_0 \equiv \mu_{\rm lab}$ [11]。

C. 计算得到的灵敏度系数

计算中，我们选取了满足$0 \le J \le 11$和 $|\Delta K| = 1$的分子跃迁，因为满足 $\Delta K = 0$的跃迁属于纯转动跃迁，且具有 $Q \approx 1$。不过，对于在分子云中观测到的若干条 $\Delta K = 0$，1，2谱线，我们也计算了灵敏度系数及其误差。我们的计算涵盖了 $\Delta f = 1 - 50$ GHz的低频范围，其中包含对 μ变化最为敏感的CH_3CHO跃迁。

我们的计算结果列于表 IV-VI。表 IV 第一列显示分子跃迁的量子数——上态 u和下态 ℓ 的总角动量 J 及其在分子轴上的投影 K；第二列列出实验室频率 f，[25],；第三列显示计算得到的灵敏度系数 Q及其误差；最后一列显示谱线强度（单位为 D^2）。表 V 的结构类似，但显示的不是测得的实验室频率，而是预测频率。表 VI 包含与表 IV 相同的数据，但仅针对在星际介质中观测到的跃迁，并在最后一列列出参考文献和天体名称。

Q 括号中所示数值的误差，按照与甲醇 [13, 14]相同的步骤计算。由式（3）—（7）可知，哈密顿量参数 $A - F$与转动惯量成反比，因此 μ呈线性关系（每个参数按 μ^{-1}缩放）。与此同时，势垒 V_3 与 μ 无关，其缩放方式为 μ^0。

然而，由于振动和离心畸变的影响，核间距对 μ的依赖较弱，因此与上述缩放关系的偏差可能约为 2% [11]。由此产生的 Q误差，是将各参数数值在 2% 不确定度范围内变化所导致的误差进行平方和后确定的。

值得注意的是，表 IV-VI 展示了 CH_3CHO 的跃迁，其 Q 系数的相对误差小于 50%。

还需注意， [13, 14]中描述的误差计算程序给出了对 Q不确定度的上限估计，因为它计入了每个转动常数变化所带来的影响。同时，所有常数不一定会同时发生变化，因此应将 Q的误差视为最大可能值，尽管实际值可能更小。

表 VI 中列出的一些谱线，其灵敏度系数及误差在 [10]中用另一种方法计算。两种计算结果在$\pm 1\sigma$ 置信区间内吻合良好（见表 VI 脚注）。

表IV. 实验室 [25]测得的 CH_3CHO 中低频（$\Delta f = 1 - 50$ GHz）扭转-转动跃迁（$\Delta K = \pm 1$）的计算得到的灵敏度系数 Q 。括号中给出的是末位数字的误差。

$J_{K_u} \to J_{K_\ell}$	f，兆赫	Q	$S\mu_D^2$
$1_{-1} \to 2_0 E$	7391.311	0.62(18)	0.4618
$1_1 \to 2_0 E$	9240.920	1.22(14)	0.1265
$7_2 \to 8_1 A^+$	9542.776	1.4(8)	1.1288
$3_0 \to 2_1 A^+$	12014年.990	0.88(13)	1.2070
$3_0 \to 2_{-1} E$	12635.239	1.13(12)	1.1435
$10_3 \to 11_2 E$	14456.880	1.2(6)	0.9221
$10_3 \to 11_2 A^+$	14691.111	1.3(6)	1.8549
$6_2 \to 7_1 A^+$	23364.771	1.2(3)	0.9936
$10_{-3} \to 11_{-2} E$	24859.393	0.9(3)	0.8897
$10_3 \to 11_2 A^-$	27173.880	1.2(2)	1.7823
$8_1 \to 7_2 E$	29310.400	0.92(19)	0.2753
$8_1 \to 7_2 A^-$	30941.333	0.9(2)	1.7519
$4_0 \to 3_1 A^+$	32709.185	0.96(6)	1.8589
$4_0 \to 3_{-1} E$	33236.469	1.03(6)	1.8268
$5_{-2} \to 6_{-1} E$	35472.152	0.85(14)	0.3298
$9_3 \to 10_2 A^+$	36613.186	1.1(2)	1.5908
$4_2 \to 5_1 A^-$	37516.317	1.10(12)	0.7415
$5_2 \to 6_1 A^+$	38138.436	1.09(13)	0.8226
$2_{-1} \to 2_0 E$	45078.240	0.96(3)	0.1320
$9_3 \to 10_2 A^-$	45344.590	1.10(14)	1.5489
$1_{-1} \to 1_0 E$	45897.330	0.94(2)	0.3593

分析表 IV-VI 中获得的数据可以看出，CH_3CHO 分子对 μ 可能发生的变化并不表现出很高的灵敏度：大多数跃迁具有 $Q \sim 1$，且所有跃迁的 Q 均为正值。其原因如下。以甲醇为例，内转动仅与氢的运动有关，而在这里，氢和氧都会发生转动。这种运动受到的阻碍要大得多，因此

表 V. CH_3CHO 中预测的低频（$\Delta f = 1-50$ 吉赫）扭转-转动跃迁的计算得到的灵敏度系数 Q [25] 。括号中给出的是末位数字的误差。

$J_{K_u} \to J_{K_\ell}$	f，兆赫	Q	$S\mu_D^2$
$9_{-1} \to 8_{-2}E$	8397.01 1.4(9)		0.0959
$6_{-2} \to 7_{-1}E$	20274.43 0.8(3)		0.2790
$11_{-1} \to 11_0E$	21203.544 1.0(2)		0.0005
$10_{-1} \to 9_{-2}E$	21914.175 1.12(4)		0.0465
$10_{-1} \to 10_0E$	24270.204 0.99(18)		0.0008
$4_0 \to 3_1E$	26691.022 0.99(7)		0.0255
$9_{-1} \to 9_0E$	27432.732 0.99(15)		0.0013
$8_{-1} \to 8_0E$	30609.589 0.99(12)		0.0021
$7_{-1} \to 7_0E$	33712.067 0.99(9)		0.0035
$11_{-1} \to 10_{-2}E$	34868.791 1.1(3)		0.0224
$6_{-1} \to 6_0E$	36649.808 0.99(7)		0.0060
$4_2 \to 5_1E$	37641.748 1.09(11)		0.3589
$5_{-1} \to 5_0E$	39335.472 0.99(5)		0.0110
$4_{-1} \to 4_0E$	41687.673 0.98(4)		0.0219
$9_{-3} \to 10_{-2}E$	43113.861 0.92(15)		0.8907
$5_0 \to 4_1E$	43539.148 1.00(5)		0.0128
$3_{-1} \to 3_0E$	43629.973 0.98(3)		0.0492
$2_1 \to 2_0E$	48603.477 1.02(2)		2.6797
$2_1 \to 2_0A^{-+}$	48902.831 1.03(2)		2.8232

表 VI. CH_3CHO 在星际介质中观测到的低频（$\Delta f = 1-50$ GHz）扭转-转动跃迁（$\Delta K = 0,\ 1,\ 2$）的计算得到的灵敏度系数 Q 。括号中给出的是末位数字的误差。

$J_{K_u} \to J_{K_\ell}$	f，兆赫	Q	$S\mu_D^2$	天体及参考文献
$1_1 \to 1_1A^{-+}$	1065.075	1.0(3)	9.4857	SgrB2[†] [26]
$1_1 \to 1_{-1}E$	1849.634	3.61(12)[a]	3.1329	SgrB2(N) [27]
$2_1 \to 2_1A^{-+}$	3195.167	1.0(3)	5.2690	SgrB2 [26, 28]
$3_1 \to 3_1A^{-+}$	6390.085	1.0(3)	3.6878	SgrB2 [26]
$1_1 \to 2_0A^+$	8243.476	1.17(16)[b]	0.5906	SgrB2(N) [27]
$4_1 \to 4_1A^{-+}$	10648.419	1.0(3)	2.8450	SgrB2 [26]
$1_0 \to 0_0E$	19262.140	1.000(14)[c]	6.3282	Sgr B2、TMC-1[◇], L134N[×] [29]
$1_0 \to 0_0A^+$	19265.133	1.000(14)[d]	6.3239	Sgr B2、TMC-1, L134N [29]
$2_1 \to 1_1A^+$	37464.168	1.00(2)	9.4864	PMCs[□] [30]
$2_{-1} \to 1_{-1}E$	37686.868	1.00(8)	8.8712	PMCs [30]
$2_0 \to 1_0E$	38505.999	1.000(14)[e]	12.6551	TMC-1 [31, 32]
$2_0 \to 1_0A^+$	38512.113	1.000(14)[f]	12.6465	TMC-1 [31, 32]
$2_1 \to 1_1E$	39362.504	1.00(18)	8.8688	PMCs [30]
$2_1 \to 1_1A^-$	39594.287	1.00(2)	9.4865	PMCs [30]
$1_1 \to 1_0E$	47746.980	1.04(2)[g]	1.3472	SgrB2(M) [33]
$1_1 \to 1_0A^{-+}$	47820.668*	1.03(2)[h]	1.7133	SgrB2(M) [33]

*该谱线在实验室中未被观测到。 †人马座分子云，Sgr； ◇金牛座分子云，TMC； ×L 指 Lynds暗星云目录； □英仙分子云，PMC。Q 来自 [10]: [a]3.7(2), [b]1.11(6), [c]1.00(5), [d]1.00(5), [e]1.00(5), [f]1.00(5), [g]1.03(5), [h]1.02(5)。

乙醛的光谱更接近纯转动光谱。因此，灵敏度系数 Q 更接近于 1。在哈密顿量中，这表现为具体如下：甲醇的动能系数 F 远高于乙醛中的数值（乙醛中为 ≈ 7.6，而甲醇中为 ≈ 28 ）。此外，尽管乙醛是一种相当常见的分子，在许多天体中都能观测到，但观测到的较强谱线纯粹是转动谱线，实际上也是太空中唯一观测到的谱线；表 IV-VI 中具有 $\Delta K \neq 0$ 的跃迁非常弱。因此，仅凭这种分子很难估算 μ 的变化。不过，可以像上述氨方法那样，结合甲醇谱线进行估算 [7, 15]。但这种方法需要仔细分析谱线形状，或借助其他数据确认两种分子的跃迁源自同一区域。通过直接观测这些分子相似的谱线轮廓，例如在金牛座分子云-1 [32]中的观测，证实了 CH_3CHO 与 CH_3OH 确实存在这种空间共存关系。

本节最后，我们指出，除表 VI 中上述频率范围 $\Delta f = 1-50$ GHz 内的跃迁外，在更高频率下也观测到了乙醛的纯转动谱线。在银河盘中，许多分子云的方向上都探测到了频率范围$\Delta f = 70-120$ GHz 内的谱线 [30, 34–45]。在更高频率（200–350 GHz）下的谱线则在[39, 46–48]中探测到。此外，在宇宙学红移 $z = 0.89$ [49]处也观测到了 CH_3CHO 的纯转动跃迁（50–80 GHz）。所有这些谱线的灵敏度系数都接近于 1，$Q \approx 1$。

III. 使用 CH_3CHO 和 CH_3OH 估算 $\Delta\mu/\mu$

本节中，我们举例说明如何通过比较 CH_3OH 中的扭转-转动跃迁与 CH_3CHO 中的纯转动跃迁来估算 $\Delta\mu/\mu$ ；这两类跃迁具有不同的灵敏度系数 Q。当然，在甲醇谱线中也有灵敏度系数为 $Q = 1$ 的纯转动跃迁，因此也可以依据同一种分子的谱线进行此类估算。然而，为了进行精确的 $\Delta\mu/\mu$ 测量，最好选用来自较窄光谱范围的相近谱线，因为在这些范围内，不存在灵敏度系数 Q 差异显著的甲醇谱线组。在这种情况下，可将灵敏度系数为 $Q \approx 1$ 的乙醛谱线用作参考。

如果甲醇和乙醛的谱线描绘的是同一空间区域，它们应具有大致相同的激发温度和近似相等的线宽（$FWHM$）。相关光谱发表于 [39, 50], ，其中展示了对三片分子云 L1544、Barnard-1 和 IRAS4A 方向上多种有机分子（包括 CH_3CHO 和 CH_3OH）的观测结果[4]。这些观测

[4] L1544 是来自林德斯目录的原恒星系统 表

是在 IRAM 30米望远镜上进行的，光谱分辨率为 200 kHz，涵盖了多个光谱波段：3 mm（80–116 GHz）、2 mm（130–170 GHz）和 1.3 mm（200–276 GHz）。

为了估算 $\Delta\mu/\mu$，我们选取了甲醇和乙醛谱线，并满足以下标准：(*i*) 谱线应位于观测的同一光谱范围内，以排除不同观测设置之间可能存在的系统偏移；(*ii*) 跃迁的上能级能量应大致相同（差值不超过 30 K）；(*iii*) 甲醇谱线应具有$|Q| > 1$，因为最强的乙醛谱线是纯转动谱线；(*iv*) 实验室频率应已通过测量确定。

具有符合上述标准的发射线的分子云列于表VII中。第一列为天体名称，第二列为分子，第三和第四列分别列出上 u 能级和下 ℓ能级的量子数 J 和 K；第五和第六列分别列出实验室频率 f 和上能级能量 E_u；第七和第八列则列出测得的速度 $V_{\rm LSR}$ 及其误差，以及谱线宽度 $FWHM$。最后一列（第九列）列出灵敏度系数 Q ——甲醇的系数取自 [10], ，而乙醛的系数为$Q = 1$。我们还将实验室频率的不确定度纳入速度不确定度预算，因为它是 $\Delta\mu/\mu$计算中误差的主要来源。在 [39] 中未考虑这类不确定度，因为没有必要。

由于乙醛的各个跃迁具有相同的灵敏度系数 $Q = 1$，因此可以对它们的速度取平均：表VII列出了乙醛 CH_3CHO 的加权平均速度 $\langle V_{\rm LSR}\rangle$ 及其相应误差，以及加权平均谱线宽度 $\langle FWHM\rangle$，以便与甲醇谱线的宽度进行比较。

表VII显示，甲醇谱线的宽度与乙醛谱线宽度的平均值几乎完全相同；此外，上能级能量也十分接近：在 L1544 中相差不超过 30 K，在 Barnard-1 和 IRAS4A 中相差不超过 10 K。

甲醇和乙醛谱线的相对强度也用于 [39]计算激发温度（$T_{\rm ex}$），以表征分子在不同能级上的分布。此外，对于共空间分布的分子， $T_{\rm ex}$ 应大致相同。我们在 [39] 中采用两种方法——转动图和蒙特卡罗马尔可夫链拟合——估算了 $T_{\rm ex}$ 。两种方法所得的激发温度均相近，这也可能表明，CH_3OH 和 CH_3CHO 谱线的辐射来自同一区域。

暗星云，位于金牛座分子云复合体中。Barnard-1 是一片暗星云，IRAS4A 则是一个原恒星系统，两者都嵌于英仙座分子云复合体中。IRAS 是红外天文卫星的缩写。

利用测得的径向速度 $V_{\rm LSR}$ (CH_3OH) 和 $\langle V_{\rm LSR}\rangle$ (CH_3CHO)，以及相应的 Q 值，得到以下结果： $\Delta\mu/\mu = (0.7 \pm 1.1) \times 10^{-7}$ (L1544)、 $\Delta\mu/\mu = (-0.1 \pm 1.0) \times 10^{-7}$ (Barnard-1) 和 $\Delta\mu/\mu = (-0.8 \pm 0.8) \times 10^{-7}$ (IRAS4A)。因此，在这些分子云中，未检测到达到（$0.8 - 1.1$） $\times 10^{-7}$ 水平的信号。L1544 和 Barnard-1 分子云的 $\Delta\mu/\mu$ 上限值略高，这是因为乙醛谱线的实验室频率不确定度较大（180 kHz）。若从数据集中移除此谱线，则可得到以下 $\Delta\mu/\mu$ 值： $\Delta\mu/\mu = (0.7 \pm 0.5) \times 10^{-7}$ (L1544)，以及 $\Delta\mu/\mu = (-0.1 \pm 0.4) \times 10^{-7}$ (Barnard-1)。此时两个上限均为几个$\times 10^{-8}$。

由于这三个分子云中的测量彼此独立，我们可以对所得到的 $\Delta\mu/\mu$估计值取平均。初始样本以及去除谱线 $5_0 \rightarrow 4_0 A^+$ 后的缩减样本的结果如下：前者为 $\langle\Delta\mu/\mu\rangle = (-0.2 \pm 0.5) \times 10^{-7}$ ，后者为 $\langle\Delta\mu/\mu\rangle = (0.1 \pm 0.4) \times 10^{-7}$ 。对于最终结果，我们采用第二个数值。所得约束与局域位置不变性一致，并将银河盘中其违反程度的上限限制在4×10^{-8}水平。

因此，所进行的分析表明，CH_3CHO 是一种适合与 CH_3OH 结合用于差分评估 μ的分子。结合其他方法，乙醛使我们能够获得迄今为止对银河盘大银河中心距离处 μ 空间变化的最强限制。

IV. 结论

本研究计算了基态扭转态 $v_t = 0$下 CH_3CHO 各种扭转-转动跃迁对电子与质子质量比 $\mu = m_{\rm e}/m_{\rm p}$ 的微小变化的灵敏度系数Q，这些跃迁位于 $\Delta f = 1 - 50$ GHz 的微波范围内。所得主要结果如下。

1. 带有 $\Delta K = \pm 1$ 的扭转-转动跃迁的灵敏度系数 $0.62 \leq Q \leq 1.4$ 变化范围很窄$0.62 \leq Q \leq 1.4$ ，且全部为正值。2. 在天体物理学中以 1.849 GHz 频率观测到的 $1_1 \rightarrow 1_{-1} E(\Delta K = 2)$ 跃迁，对于 CH_3CHO 具有最高的灵敏度系数 $Q = 3.61$ ，这证实了 [10]中先前得到的结果。3. 天体物理观测分析表明，乙醛通常与甲醇共空间分布，因此可以利用具有相似轮廓和激发温度的乙醛和甲醇谱线来探测 $\Delta\mu/\mu$。4. 展示了一个结合 CH_3CHO 和 CH_3OH 谱线来估计 $\Delta\mu/\mu$的示例，该示例 [39] 使用了关于三个分子

云的数据，这些分子云位于银河中心距离为 $D_{\rm GC} \sim 8$ kpc 处。推导出的关于 μ- 变化 4×10^{-8} 的最严格上限与基于其他分子和方法先前获得的约束一致。因此，目前在银河盘中距离银河中心较远的区域，尚未发现这一程度上的局域位置不变性违反。

致谢

我们感谢匿名审稿人对本文稿提出的建议，这些建议改进了本文结果的呈现方式。

参考文献

[1]I. Kleiner，《星际内转子光谱学：研究星际化学的重要工具》，《ACS地球与空间化学》**3**，1812（2019年）。[2] J. M . Hollis、F. J. Lovas、P. R. Jewell 与 L. H. Coud- ert，《星际防冻剂：乙二醇》，《天体物理学杂志》**571**，L59（2002年）。[3] M. A. Requena-Torres、J. Mart´ın-Pintado、S. Mart´ın 与 M. R. Morris，《银河系中心：最大的含氧有机分子储库》，《天体物理学杂志》**672**，352 2008（年）。[4] J.-P. Uzan，《基本常数：从测量到宇宙——引力与宇宙学的一扇窗口》，《相对论生活评论》**26**，6（2025年）。[5] S. A. Levshakov 与 D. A. Varshalovich，《朝向类星体 PKS 0528 的 z=2.811 吸收物质中的分子氢**212**》，517 250，1985 年——《皇家天文学会月刊》（）。[6] M. G. Kozlov 与 S. A. Levshakov，《微波和亚毫米分子跃迁及其对基本常数的依赖》，《物理学年鉴》**525**，452（2013年）。[7] V. V. Flambaum 与 M. G. Kozlov，《由氨的反转光谱测定宇宙学变化的限值》，《物理评论快报》**98**，240801（2007年）。[8] P. Jansen、L.-H. Xu、I. Kleiner、H. L. Bethlem 与 W. Ubachs，《甲硫醇（CH_3SH）作为质子与电子质量比变化的探针》，《物理评论A》**87**，052509（2013年）。[9] V. V. Ilyushin、P. Jansen、M. G. Kozlov、S. A. Levshakov、I. Kleiner、W. Ubachs 与 H. L. Bethlem，《甲胺 CH_3NH_2，中扭转-摇摆-转动跃迁对质子与电子质量比可能变化的敏感性》，《物理评论A》**85**，032505（2012年）。[10] P. Jansen、I. Kleiner、L.-H. Xu、W. Ubachs 与 H. L. Beth- lem，《内转子分子中的跃迁对质子与电子质量比可能变化的敏感性》，《物理评论A》**84**，062505（2011年）。[11] S. A. Levshakov、M. G. Kozlov 与 D. Reimers，《甲醇作为基本常数的示踪剂》，《天体物理学杂志》**738**，26 2011（年）。[12] P. Jansen、L.-H. Xu、I. Kleiner、W. Ubachs 与 H. L. Beth- lem，《甲醇作为质子与电子质量比空间和时间变化的灵敏探针》，《物理评论快报》**106**，100801（2011年）。[13] J. S. Vorotyntseva、M. G. Kozlov 与 S. A. Levshakov，《甲醇同位素体作为电子质子质量比空间和时间变化的探针》，《皇家天文学会月刊》。

《皇家天文学会月刊》**527**，2750（2024年）。[14] J. S. Vorotyntseva、S. A. Levshakov 和 M. G. Kozlov，m_e/m_p 变化引起的氘代甲醇光谱位移，《物理评论A》**110**，012802（2024年）。[15] S. A. Levshakov、D. Reimers、C. Henkel、B. Winkel、A. Mignano、M. Centuri´on 和 P. Molaro，银河平面中电子质子质量比空间变化的限制，《天文学与天体物理学》**559**，A91（2013年）。[16] M. Dapr`a、C. Henkel、S. A. Levshakov、K. M. Menten、S. Muller、H. L. Bethlem、S. Leurini、A. V. Lapinov 和 W. Ubachs，通过观测暗云核 L1498 中的甲醇检验质子与电子质量比的可变性，《皇家天文学会月刊》**472**，4434（2017年）。[17] S. A. Levshakov、I. I. Agafonova、C. Henkel、Kee-Tae Ki m、M. G. Kozlov、B. Lankhaar 和 W. Yang，利用 I类甲醇脉泽探测银河系中的电子质子质量比梯度，《皇家天文学会月刊》**511**，413（2022年）。[18] S. Ellingsen、M. Voronkov 和 S. Breen，利用甲醇研究质子与电子质量比变化的天体物理观测的实际限制，《物理评论快报》**107**，270801（2011年）。[19] J. S. Vorotyntseva 和 S. A. Levshakov，甲醇中的扭转-转动跃迁作为基本物理常数——电子和质子质量的探针，《实验与理论物理学快报》**119**，649（2024年）。[20] J. S. Vorotyntseva 和 S. A. Levshakov，银河系中电子质子质量比变化的迹象，《实验与理论物理学快报》**121**589（2025年）。[21] J. S. Vorotyntseva、S. A. Levshakov 和 C. Henkel，银河系中电子质子质量比变化的迹象。II. 指向人马座B2(N)和 B2(M) 分子云的3毫米甲醇谱线，《实验与理论物理学快报》**122** 待刊（2025年）。[22] D. Rabli 和 D. R. Flower，甲醇的转动结构及其受氦激发的机制，《皇家天文学会月刊》**403**，2033（2010年）。[23] H. Nadgaran 和 J. G. Baker，激发扭转态乙醛毫米波光谱的单态拟合与全局拟合比较，ASP会议系列**81**，332（1995年）。[24] C. Townes 和 A. Schawlow，《微波光谱学》（麦格劳-希尔，纽约，1955年）。[25] I. Kleiner、F .J. Lovas 和 M. Godefroid，具有天体物理学意义的分子微波光谱。XXIII. 乙醛，

《物理化学参考数据杂志》**25**，第4期（1996年）。[26] M. B. Bell、H. E. Matthews 和 P. A. Feldman，SGR B2 中 A态乙醛微波跃迁的观测，《天文学与天体物理学》**127**，420（1983年）。[27] J. M. Hollis、A. Remijan、P. R. Jewell 和 F. J. Lo- vas，环丙烯酮（c-H_2C_3O）：一种新的星际环状分子，《天体物理学杂志》**642**，933（2006年）。[28] N. Fourikis、M. W. Sinclair、B. J. Robinson、P. D. God- frey 和 R. D. Brown，星际乙醛中 $2_{11} \rightarrow 2_{12}$ 转动跃迁的微波发射，《澳大利亚物理学杂志》**27**，425（1974年）。[29] H. E. Matthews、P. Friberg 和 W. M. Irvine，冷尘埃云中乙醛的探测，《天体物理学杂志》**290**，609（1985年）。[30] S. Scibelli、Y. Shirley、A. Meg´ıas 和 I. Jim´enez-Serra，英仙分子云中无恒星核和前恒星核内复杂有机分子的巡天，《皇家天文学会月刊》**533**，4104（2024年）。[31] N. Kaifu、M. Ohishi、K. Kawaguchi、S. Saito、S. Ya- mamoto、T. Miyaji、K. Miyazawa、S.-I. Ishikawa、C. Noumaru、S. Harasawa、M. Okuda 和 H. Suzuki，指向 TMC-1 的8.8–50GHz完整谱线巡天 I. 巡天数据，《日本天文学会刊》**56**，69（2004年）。[32] T. Soma、N. Sakai、Y Watanabe 和 S. Yamamoto，金牛分子云-1中的复杂有机分子，《天体物理学杂志》**854**，116（2018年）。[33] S. Saito、S. Yamamoto、K. Kawaguchi、M. Ohishi、H. Suzuki、S.-I. Ishikawa、N. Kaifu，CP自由基的微波光谱及相关天文搜寻，《天体物理学杂志》**341**，1114（1989年）。[34] A. Bacmann、V. Taquet、A. Faure、C. Kahane 和 C. Ceccarelli，前恒星核中复杂有机分子的探测：天体化学模型面临的新挑战，《天文学与天体物理学》**541**，L12（2012年）。[35] L. A. Busch、A. Belloche、R. T. Garrot、H. S. P. M¨uller 和 K. M. Menten，其自身外流冲击 Sgr B2 (N1)。重新审视含氧与含氮分子之间的分异，《天文学与天体物理学》**681**，A104（2024年）。[36] S. Scibelli 和 Y. Shirley，金牛分子云内无恒星核和前恒星核中复杂有机分子的普遍性，《天体物理学杂志》**891**，73（2020年）。[37] C. Codella、C. Ceccarelli、E. Bianchi、N. Balucani、L. Podio、P. Caselli、S. Feng、B. Lefloch、A. L´opez-Sepulcre、R. Neri、S. Spezzano 和 M. De Simone，太空中的生命种子（SOLIS）。V. 原恒星喷流驱动的冲击 L1157-B0 和 B1 中的甲醇与乙醛，《天文学与天体物理学》**635**，A17（2020年）。[38] J. Cernicharo、N. Marcelino、E. Roueff、M. Gerin、A. Jim´enez-Escobar、G. M. Mu˜noz Caro，指向 B1 的甲氧基自由基 CH_3O 的发现：冷暗云中的尘埃颗粒与气相化学，《天体物理学杂志快报》**759**，L43（2012年）。[39] B. Bhat、R. Kar、S. K. Mondal、R. Ghosh、P. Gorai、Prasanta、T. Shimonishi、Kei E. I. Tanaka、K. Furuya & A. Das，《低质量恒星形成区若干精选复杂有机分子的化学演化》，《天体物理学杂志》**958**, 111（2023年）。[40] S. B. Charnley，《恒星形成区中的乙醛》，《空间研究进展》**33**, 23（2004年）。[41] S. Scibelli, Y. Shirley, A. Vasyunin & R. Launhardt，《在年轻无星核 L1521E 中探测到复杂有机分子》，《皇家天文学会月刊》**504**, 5754（2021年）。[42] Z. Nagy, S. Spezzano, P. Caselli, A. Vasyunin, M. Tafalla, L. Bizzocchi, D. Prudenzano & E. Redaelli，《极年轻无星核 L1521E 的化学结构》，《天文学与天体物理学》**630**, A136（2019年）。[43] C. Vastel, C. Ceccarelli, B. Lefloch & R. Bachiller，《前恒星核中复杂有机分子的起源》，《天体物理学杂志快报》**795**, L2（2014年）。[44] J. B. Bergner, K. I. ¨Oberg, R. T. Garrod & D. M. Graninger，《嵌入式低质量原恒星周围的复杂有机分子》，《天体物理学杂志》**841**, 120（2017年）。[45] K. I. ¨Oberg, T. Lauck & D. Graninger，《低质量恒星形成过程中的复杂有机分子：先导巡测结果》，《天体物理学杂志》**788**, 68（2014年）。[46] T.-H. Hsieh, J. E. Pineda, D. M. Segura-Cox, P. Caselli, M. T. Valdivia-Mena, C. Gieser, M. J. Maureira, A. Lopez-Sepulcre, L. Bouscasse, R. Neri, Th. M¨oller, A. Dutrey, A. Fuente, D. Semenov, E. Chapillon, N. Cunningham, Th. Henning, V. Pi´etu, I. Jimenez-Serra, S. Marino & Ceccarelli，《PRODIGE——利用 NOEMA 研究从包层到盘。III. SVS13A 中复杂有机分子辐射的起源》，《天文学与天体物理学》**686**, A289（2024年）。[47] E. C. Fayolle, K. I. ¨Oberg, R. T. Garrod, E. F. van Dishoeck & S. E. Bisschop，《有机物贫乏的大质量年轻恒星体中的复杂有机分子》，《天文学与天体物理学》**576**, A45（2015年）。[48] J. M. Lykke, A. Coutens, J. K. Jørgensen, M. H. D. van der Wiel, R. T. Garrod, H. S. P. M¨uller, P. Bjerkeli, T. L. Bourke, H. Calcutt, M. N. Drozdovskaya, C. Favre, E. C. Fayolle, S. K. Jacobsen, K. I. ¨Oberg, M. V. Persson, E. F. van Dishoeck & S. F. Wampfler，《ALMA-PILS 巡测：首次在低质量原恒星 IRAS 16293-2422 周围探测到环氧乙烷、丙酮和丙醛》，《天文学与天体物理学》**597**, A53（2017年）。[49] S. Muller, A. Beelen, M. Gu´elin, S. Aalto, J. H. Black, F. Combes, S. J. Curran, P. Theule & S. N. Longmore，《z $= 0.89$ 处的分子：针对 PKS 1830-211 开展的 4 毫米静止系吸收线巡测》，《天文学与天体物理学》**535**, A103（2011年）。[50]支持本文研究发现的数据可在 https://doi.org/10.3847/1538-4357/acfc4d 免费获取。[51]H. S. P. M¨uller, K. M. Menten & H. M¨ader，《甲醇脉泽和暗云谱线的精确静止频率》，《天文学与天体物理学》**428**, 1019（2004年）。

表VII。来自 [39, 50] 的 CH_3OH 和 CH_3CHO 的精选跃迁。括号中给出的是末位数字的误差。CH_3OH 和 CH_3CHO 分子的实验室频率分别取自参考文献 [51] 和 [25], 。

天体	分子	跃迁 $J_{K_u} \rightarrow J_{K_\ell}$	f, MHz	E_u, K	$V_{\rm LSR}$, km s^{-1}	$FWHM$, km s^{-1}	Q
L1544	CH_3OH	$5_{-1} \rightarrow 4_0 E$	84521.169(10)	40.4	7.24(4)	0.44	−3.6
	CH_3CHO	$5_1 \rightarrow 4_1 A^+$	93580.859(100)	15.8	7.14(30)	0.44	1.0
	CH_3CHO	$5_{-1} \rightarrow 4_{-1} E$	93595.276(100)	15.8	7.19(30)	0.34	1.0
	CH_3CHO	$5_0 \rightarrow 4_0 A^+$	95963.380(180)	13.8	7.18(60)	0.44	1.0
	CH_3CHO	$5_1 \rightarrow 4_1 E$	98863.328(40)	16.6	7.11(12)	0.53	1.0
	CH_3CHO	$5_1 \rightarrow 4_1 A^-$	98900.948(40)	16.5	7.17(12)	0.34	1.0
					weighted mean $\langle V_{\rm LSR} \rangle$: 7.14(15)		
					weighted mean $\langle FWHM \rangle$:	0.42	
Barnard-1	CH_3OH	$0_0 \rightarrow 1_{-1} E$	108893.960(7)	13.1	6.565(20)	1.37	4.6
	CH_3CHO	$5_1 \rightarrow 4_1 A^+$	93580.859(100)	15.8	6.57(30)	1.43	1.0
	CH_3CHO	$5_{-1} \rightarrow 4_{-1} E$	93595.276(100)	15.8	6.58(30)	1.57	1.0
	CH_3CHO	$5_0 \rightarrow 4_0 A^+$	95963.380(180)	13.8	6.66(60)	1.46	1.0
	CH_3CHO	$5_{-2} \rightarrow 4_{-2} E$	96425.618(40)	22.9	6.63(16)	1.66	1.0
	CH_3CHO	$5_2 \rightarrow 4_2 E$	96475.536(40)	23.0	6.52(15)	0.97	1.0
	CH_3CHO	$5_1 \rightarrow 4_1 E$	98863.328(40)	16.6	6.51(12)	1.04	1.0
	CH_3CHO	$5_1 \rightarrow 4_1 A^-$	98900.948(40)	16.5	6.55(13)	1.25	1.0
					weighted mean $\langle V_{\rm LSR} \rangle$: 6.55(11)		
					weighted mean $\langle FWHM \rangle$:	1.34	
IRAS4A	CH_3OH	$0_0 \rightarrow 1_{-1} E$	108893.960(7)	13.1	7.402(20)	2.45	4.6
	CH_3CHO	$5_1 \rightarrow 4_1 A^+$	93580.859(100)	15.8	7.32(30)	2.30	1.0
	CH_3CHO	$5_{-1} \rightarrow 4_{-1} E$	93595.276(100)	15.8	7.44(30)	2.34	1.0
	CH_3CHO	$5_{-2} \rightarrow 4_{-2} E$	96425.618(40)	22.9	7.54(16)	2.41	1.0
	CH_3CHO	$5_2 \rightarrow 4_2 E$	96475.536(40)	23.0	7.17(15)	2.36	1.0
	CH_3CHO	$5_1 \rightarrow 4_1 E$	98863.328(40)	16.6	7.36(13)	2.24	1.0
	CH_3CHO	$6_1 \rightarrow 5_1 A^+$	112248.728(40)	21.1	7.29(12)	2.56	1.0
	CH_3CHO	$6_{-1} \rightarrow 5_{-1} E$	112254.520(40)	21.2	7.27(12)	3.06	1.0
					weighted mean $\langle V_{\rm LSR} \rangle$: 7.32(8)		
					weighted mean $\langle FWHM \rangle$:	2.47	