

第二章 觀測

2-1 望遠鏡及光譜儀

來自太空中天體的電波訊號相當微弱，然而地球大氣層中的分子如氧分子、水蒸氣、氮分子、二氧化碳(Rohlfs & Wilson 1999)會將其中某些波段的電磁輻射吸收，所以我們必須在某些大氣透明窗口內選擇觀測特定的波段(圖 2-1)。大氣窗口在 1.3 mm 是透明的，在本研究中我們針對對應到 1.3 mm 波長，頻率在 200 ~ 270 GHz 的波段作為本次分子譜線普查範圍。

我們使用前美國國家電波天文台(National Radio Astronomy Observatory)在基特峰(Kitt Peak)上的十二米電波望遠鏡做觀測(圖 2-2)；現今該望遠鏡為亞利桑那電波天文台(Arizona Radio Observatory)所擁有。十二米望遠鏡裝置了 SIS 接收器(Superconductor-Insulator-Superconductor junctions)，以降低噪訊。採用的光譜儀為 MAC (Millimeter AutoCorrelator)，其有效頻寬設定為 600 MHz。在少數情況下，有時我們也採用 300 MHz 與 150 MHz 的頻寬。在吾人的觀測中，MAC 被設定成三種不同模式，分別為頻道(channel)數目 768、1536 與 3072 個三種。大部分情況採用 1536 個頻道，少部分情況以 768 和 3072 個頻道模式。這些模式對應到使用不同的頻寬則產生每個頻道的光譜解析力為 780 kHz 與 390 kHz 兩種情形。天線主波束效率(main-beam efficiency)在 200 GHz、230 GHz 及 250 GHz 分別對應為 60 %、50 % 和 46 %，半功率波束寬度(half-power beamwidths)則約為 30 角秒。MAC 的設定為平行配置(parallel configuration)，這樣配置的優點可以同時獲得兩組不同極化的光譜，疊加後的積分時間可增加兩倍，類似以兩個望遠鏡同時觀測，有助於改善訊噪比。

2-2 重要觀測參數

我們的研究是搜尋星際有機大分子計劃之一部份，針對諸多大分子(如

甘胺酸等)的預測譜線進行長期的觀測。觀測日期從 1997 年 11 月至 2000 年 4 月分多次進行，觀測日期與當時設定頻寬之內容記錄於表 2-1。我們觀測了 Orion KL、Sgr B2(N)與 W51 e1/e2 三個熱分子雲核，它們的座標 (B1950.0)分別為：

Orion KL : RA = 5^h32^m47^s.00 , DEC = -5°24'30".0 ;

Sgr B2(N) : RA = 17^h44^m10^s.20 , DEC = -28°21'15".0 ;

W51 e1/e2 : RA = 19^h21^m26^s.30 , DEC = +14°24'39".0。

我們採取的 LSR 速度分別為 8 km s⁻¹ (Orion KL)、64 km s⁻¹ (Sgr B2(N)) 及 60 km s⁻¹ (W51 e1/e2)。由於是對大分子進行選擇性波段及長時間積分之觀測，所以在有限的觀測時段中，無法進行整體波段的完全普查。我們共觀測了 45 個不同的頻帶(frequency bands)，不過並非所有的目標源在各個不同的頻帶均被觀測到。這是由於 W51 e1/e2 與 Sgr B2(N)兩個目標源因赤經接近，各分配到的觀測時間相對減半；而 Orion KL 在地平面上可觀測之時間(約 10 小時)較前二者為長，因此觀測到的頻帶也較多。表 2-2 詳列出觀測之頻道解析度、積分時間與系統噪訊溫度(T_{sys})，全部普查頻率範圍合計涵蓋約 21.3 GHz。圖 2-3 顯示三個熱分子雲核之涵蓋頻率，有些頻帶僅在一個或兩個目標源被觀測；黃色代表只觀測了一個熱分子雲核(此種單一目標大部分是 Orion KL)，綠色代表兩個熱分子雲核，而藍色代表三個熱分子雲核均有觀測。

2-3 數據處理與分析

我們使用 UniPOPS(UNIX People-Oriented Parsing Service)天文軟體來作資料處理與分析，此資料分析軟體是 (National Radio Astronomy Observatory NRAO)所開發出來專門在 UNIX 環境下作業。我們分析 45 個頻帶圖，其基本處理程序如下：

第一、檢視每張光譜：將同一頻帶中心與相同設定頻寬之同一目標源的觀測光譜全部疊加起來再平均(即使在不同觀測日期也一樣)。在疊加前須檢視每張光譜是否可以使用，如整個光譜有顯示似正弦波型或其他不尋常起伏之波型者均予以刪除，並注意兩側高雜訊區之範圍。

第二、設定光譜基線(baseline)：移除連續輻射並決定光譜強度(T_R^*)之零點位置，亦即基線之所在。決定基線是以整體光譜波型為判定，作多項式($n = 8$)之擬合；通常採用 $n=0, 1$ 或 2 。

在取定光譜基線時，我們必須參考光譜的噪訊(rms)強度。 T_{rms} 可以下式導得(Mangum 2000)：

$$T_{rms} = \frac{2 \cdot T_{sys}}{\eta_{spec} \cdot \sqrt{\Delta \nu \cdot t}}$$

其中 T_{rms} 是光譜之方均根噪訊， T_{sys} 為系統溫度，單位均為 K； η_{spec} 為 MAC 光譜儀的效能，其值為 0.81； $\Delta \nu$ 是頻道解析度，單位為 Hz； t 為積分時間，以秒(sec)為單位。經化簡而成，

$$T_{rms} = (3.188 \times 10^{-4}) \frac{T_{sys}}{\sqrt{(\Delta \nu / \text{MHz}) \cdot (t / \text{min})}} \text{ } ^\circ$$

在細部放大的光譜中，噪訊會讓微弱的譜線訊號不易辨識，因此將這些光譜多經一道『hanning』平滑處理。所謂 hanning 平滑處理是將光譜中任三個相鄰的頻道讀值給予 0.25, 0.5, 0.25 的權重，重新計算中間頻道讀值後而得出的光譜。經平滑處理後，頻道解析力降低 8/3 倍，所得到 T_{rms} 值則變小 0.61 倍($= \frac{1}{\sqrt{8/3}}$)倍。hanning 處理能降低原來光譜的 rms，有助於微弱譜線的辨認。舉例來說，以目標源為 Orion KL 之中心頻率為 202472.34 MHz 的光譜圖為例。該光譜之頻道解析度是 0.78 MHz，積分時間為 325 分鐘，系統溫度是 961 K，那麼計算得出噪訊(T_{rms})值為 19 mK。經 hanning 平滑處理後，其噪訊降低 0.61 倍而成 $T_{rms} = 12$ mK。

第三、刪除頻帶兩側高雜訊區域：一般而言，設定為 600 MHz 之頻寬其兩側有較高之雜訊。所以在步驟一中檢視出之兩側高雜訊區域，在基線設定完成後予以去除。

第四、鑑定分子譜線：譜線鑑定以至少三倍於 T_{rms} 為譜線確認標準。超過三倍 T_{rms} 的光譜線標示其觀測頻率值後，再從以下列三個分子光譜資料庫查詢：美國國家標準暨科技研究局(National Institute of Standards and Technology, 簡稱為 NIST)的已觀測確認之星際分子微波躍遷資料庫；美國噴射推進實驗室加州理工學院(Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 簡稱為 JPL)的分子光譜資料庫；Cologne 分子光譜資料庫(Cologne Database for Molecular Spectroscopy, 簡稱為 CDMS)。有關此三個資料庫的簡介，請參閱附錄二。

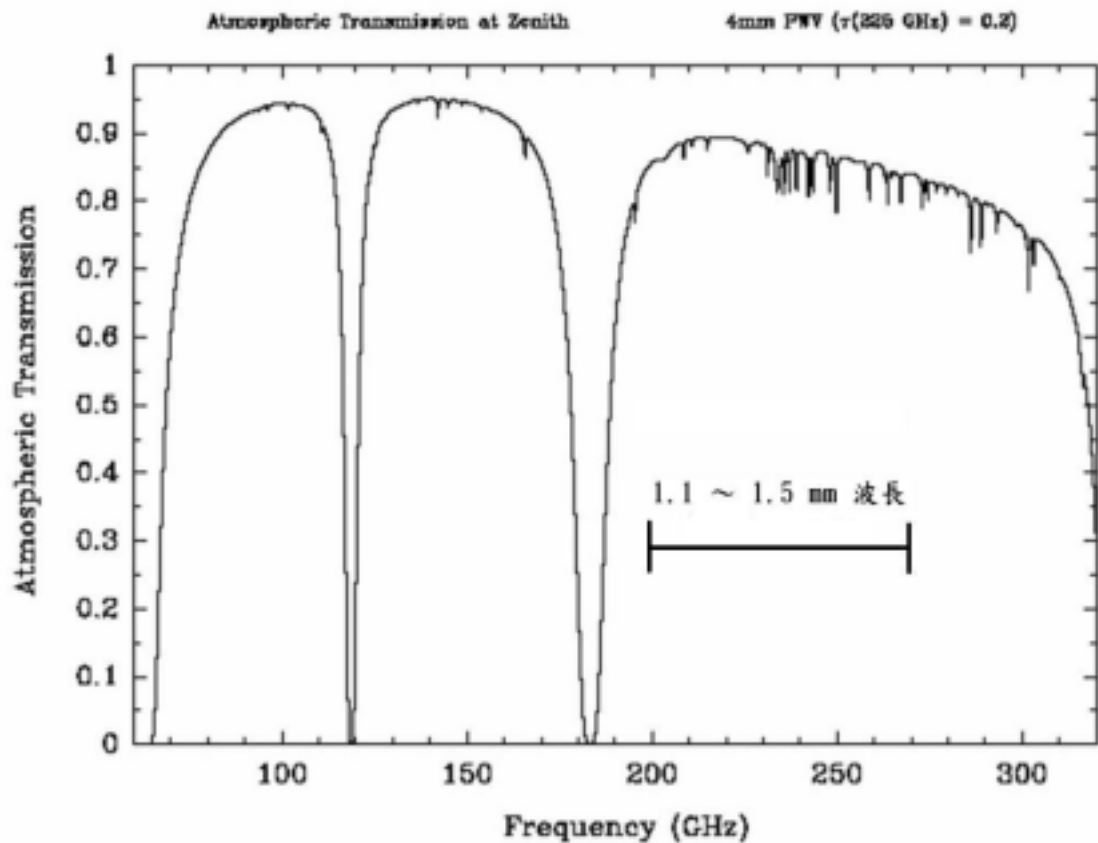


圖 2-1. 在基特峰所觀測得到的天頂處大氣透明度 (atmospheric transmission at zenith)。橫軸為電波波長($\text{GHz} = 10^9 \text{ Hz}$)，縱軸為大氣透光率。100 % 的透光率代表該頻率之電波完全穿透地球大氣層。圖中吸收線 22.2 GHz 與 183 GHz 為水蒸氣造成的，119 GHz 吸收線是氧氣造成的。此大氣透明度圖示乃是以大氣在 225 GHz 之不透明度 (opacity) 為 0.2 (或水蒸氣降水量為 4 mm) 時為例。本次分子譜線普查的範圍約在 1.1 至 1.5 mm 波段。

(資料來源：<http://kp12m.as.arizona.edu/index.htm>)



圖 2-2. 座落在基特峰上的亞利桑那電波天文台的十二米電波望遠鏡，是本次觀測所使用的望遠鏡。

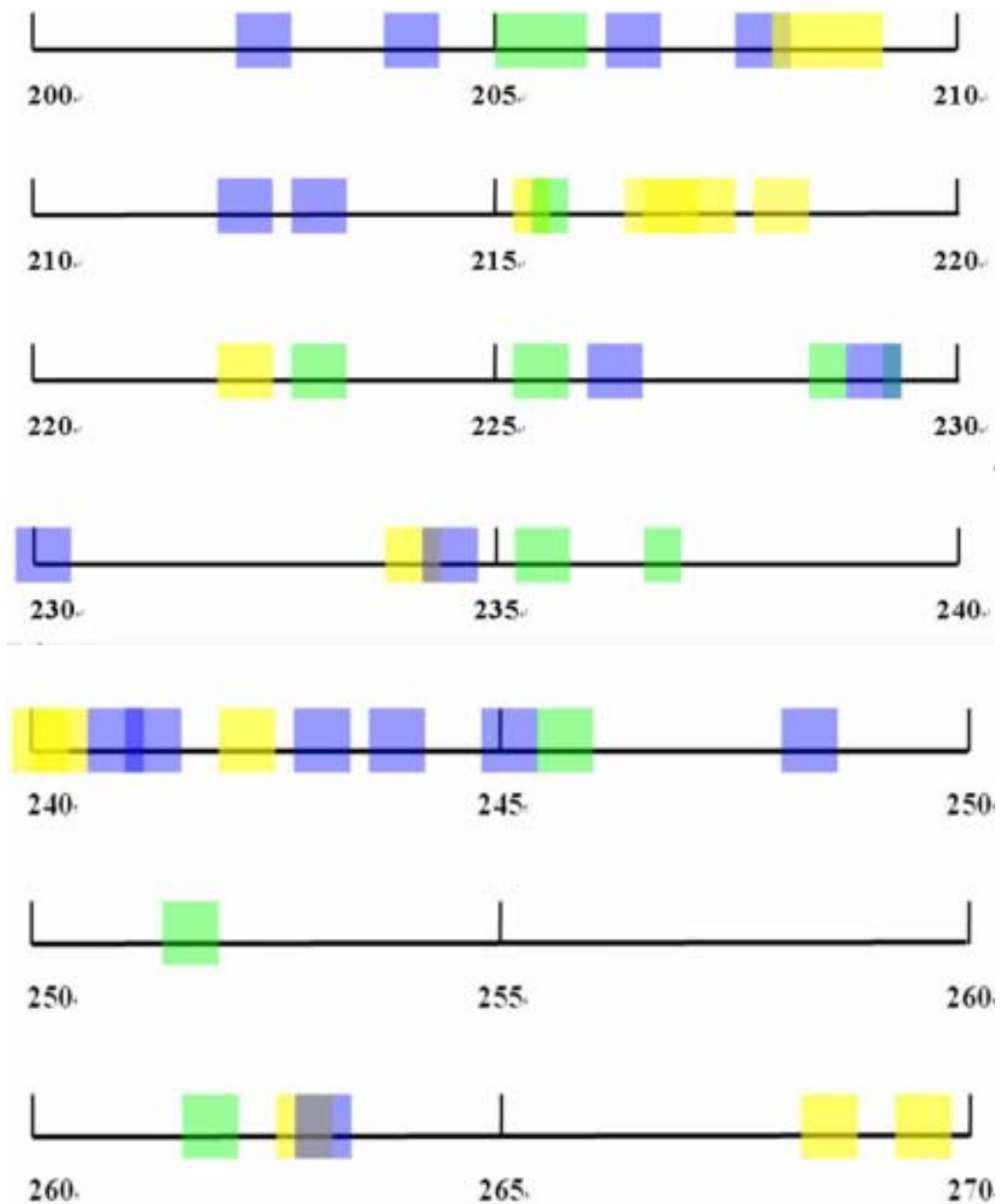


圖 2-3. 熱分子雲核之頻率涵蓋圖。共計涵蓋 45 個不同之頻帶。黃色代表只觀測一個分子雲核，綠色代表兩個分子雲核，而藍色代表三個分子雲核均觀測。圖中數字為頻率(GHz)。大部分頻帶之頻寬為 600 MHz，總涵蓋範圍共計約為 21.3 GHz。

表2-1. 觀測頻帶之中心頻率，頻寬及觀測日期

中心頻率 (MHz)	Orion KL		Sgr B2(N)		W51 e1/e2	
	有效頻寬 (MHz) ^(a)	日期 Y / M / D	有效頻寬 (MHz) ^(a)	日期 Y / M / D	有效頻寬 (MHz) ^(a)	日期 Y / M / D
202472.34	582	99 / 11 / 12 99 / 11 / 13	574	99 / 11 / 13 99 / 11 / 15	574	99 / 11 / 13
204036.83	560	00 / 03 / 13	560	00 / 03 / 12	556	00 / 03 / 12
205124.80	300	98 / 04 / 16	— ^(b)	—	300	98 / 04 / 17 98 / 04 / 23
205559.71	—	—	536	99 / 03 / 31	536	99 / 03 / 30
206468.12	582	98 / 11 / 16	583	98 / 11 / 13	583	98 / 11 / 14
208019.97	580	99 / 11 / 12	576	99 / 11 / 11	580	99 / 11 / 12
208382.90	562	00 / 03 / 13	—	—	—	—
208782.12	578	99 / 11 / 13	—	—	—	—
212286.47	555	98 / 11 / 14	486	98 / 11 / 14	555	98 / 11 / 16
212994.24	580	00 / 03 / 12	558	00 / 03 / 13	558	00 / 03 / 13
215262.55	300	97 / 11 / 08	—	—	—	—
215471.70	300	97 / 11 / 08	—	—	300	97 / 11 / 09
216863.02	580	00 / 03 / 14	—	—	—	—
217010.91	592	99 / 11 / 13	—	—	—	—
217074.46	586	00 / 03 / 13	—	—	—	—
217188.72	540	99 / 03 / 30	—	—	—	—
217917.34	548	99 / 11 / 16	—	—	—	—
222360.78	—	—	536	99 / 03 / 29	—	—
223003.12	568	99 / 03 / 28	502	98 / 11 / 13	—	—
225764.67	570	00 / 03 / 11	—	—	562	00 / 03 / 11
226225.11	575	99 / 11 / 11	576	99 / 11 / 10 99 / 11 / 15	574	99 / 11 / 11
228419.02	—	—	536	99 / 03 / 31	536	99 / 03 / 31
228690.21	578	99 / 11 / 11	578	99 / 11 / 11	578	99 / 11 / 11 99 / 11 / 12
228879.55	150	98 / 04 / 23	—	—	150	98 / 04 / 23
230262.12	600	99 / 11 / 16	600	99 / 11 / 16	587	99 / 11 / 16 99 / 11 / 17
233961.26	556	98 / 11 / 19	—	—	—	—
234452.67	558	00 / 03 / 11	558	00 / 03 / 13	558	00 / 03 / 13
235602.89	—	—	568	00 / 03 / 11	568	00 / 03 / 11 00 / 03 / 12
236710.59	300	98 / 04 / 19	300	98 / 04 / 18	300	98 / 04 / 18
240035.45	564	98 / 11 / 16	—	—	—	—
240212.82	578	99 / 11 / 12	—	—	—	—
240899.49	548	99 / 03 / 28	544	99 / 03 / 28	548	99 / 03 / 28
241372.83	554	99 / 03 / 29	554	99 / 03 / 29	554	99 / 03 / 29

表2-1. (繼續)

中心頻率 (MHz)	Orion KL		Sgr B2(N)		W51 e1/e2	
	有效頻寬 (MHz) ^(a)	日期 Y / M / D	有效頻寬 (MHz) ^(a)	日期 Y / M / D	有效頻寬 (MHz) ^(a)	日期 Y / M / D
242130.26	578	99 / 11 / 16	—	—	—	—
243137.38	556	00 / 03 / 12	564	00 / 03 / 12	564	00 / 03 / 12 00 / 03 / 13
243734.86	581	99 / 11 / 13	581	99 / 11 / 10	581	99 / 11 / 10
245238.37	583	99 / 11 / 16	579	99 / 11 / 16	579	99 / 11 / 17
245844.19	—	—	560	99 / 03 / 28	565	99 / 03 / 28
248256.06	580	99 / 11 / 12	576	99 / 11 / 12 99 / 11 / 13	576	99 / 11 / 12 99 / 11 / 13
251311.54	—	—	497	98 / 11 / 16	497	98 / 11 / 16 98 / 11 / 17
261928.91	—	—	560	00 / 03 / 11	560	00 / 03 / 11
262857.97	554	00 / 03 / 14	—	—	—	—
263031.68	546	00 / 03 / 12	546	00 / 03 / 14	546	00 / 03 / 14
268544.48	555	00 / 04 / 19	—	—	—	—
269402.51	555	00 / 04 / 21	—	—	—	—

^(a) : 觀測頻帶圖大部分設定為 600 MHz，若光譜之edge channels兩旁雜訊過大，則此所列頻寬為刪除後所剩下之實際頻寬。在少數情況，有時也採用 300 MHz與150 MHz的頻寬。

^(b) : 沒有觀測，以"—"表示。

表2-2. 重要之觀測參數

中心頻率 (MHz)	Orion KL				Sgr B2(N)				W51 e1/e2			
	光譜解析度 (kHz/ch)	積分時間 (min)	T _{sys} (K)	T _{rms} (mK)	光譜解析度 (kHz/ch)	積分時間 (min)	T _{sys} (K)	T _{rms} (mK)	光譜解析度 (kHz/ch)	積分時間 (min)	T _{sys} (K)	T _{rms} (mK)
202472.34	780	325	961	19	780	252	1811	41	780	236	902	21
204036.83	780	373	908	17	780	227	640	15	780	227	584	14
205124.00	780	764	652	9	—	—	—	—	780	195	642	17
205559.71	— ^(a)	—	—	—	390	110	642	31	390	167	480	19
206468.12	390	202	581	21	780	173	834	23	780	148	546	16
208019.97	780	232	563	13	780	142	1337	40	780	258	806	18
208382.90	780	128	419	13	—	—	—	—	—	—	—	—
208782.32	780	78	511	21	—	—	—	—	—	—	—	—
212286.47	390	434	597	15	390	185	956	36	390	162	473	19
212994.24 ^(b)	780	187	430	11	780	210	504	13	780	233	385	9
215262.55	780	71	966	41	—	—	—	—	—	—	—	—
215471.70	780	734	715	10	—	—	—	—	780	219	814	20
216863.02	780	233	502	12	—	—	—	—	—	—	—	—
217010.91	780	64	497	22	—	—	—	—	—	—	—	—
217074.46	780	23	388	29	—	—	—	—	—	—	—	—
217188.72	390	231	503	17	—	—	—	—	—	—	—	—
217917.34 ^(b)	780	26	873	62	—	—	—	—	—	—	—	—
222360.78	—	—	—	—	390	115	321	15	—	—	—	—
223003.12	390	254	409	13	780	121	885	29	—	—	—	—
225764.67	780	210	379	9	—	—	—	—	780	163	379	11
226225.11	780	280	882	19	780	240	1012	24	780	418	711	13
228419.02	—	—	—	—	390	150	676	28	390	138	386	17
228690.21	780	311	593	12	780	247	1233	28	780	240	1209	28
228879.55	390	225	531	18	—	—	—	—	390	296	521	15

表2-2. (繼續)

中心頻率 (MHz)	Orion KL				Sgr B2(N)				W51 e1/e2			
	光譜解析度 (kHz/ch)	積分時間 (min)	T _{sys} (K)	T _{rms} (mK)	光譜解析度 (kHz/ch)	積分時間 (min)	T _{sys} (K)	T _{rms} (mK)	光譜解析度 (kHz/ch)	積分時間 (min)	T _{sys} (K)	T _{rms} (mK)
230262.12	780	292	679	14	780	208	1126	28	780	245	989	23
233961.26	390	277	793	15	—	—	—	—	—	—	—	—
234452.67	780	233	333	8	780	210	563	14	780	222	595	14
235602.89	—	—	—	—	780	198	445	11	780	175	535	15
236710.59	780	237	591	14	780	29	743	49	780	47	564	30
240035.45	390	202	520	19	—	—	—	—	—	—	—	—
240212.82	780	197	986	25	—	—	—	—	—	—	—	—
240899.49	390	173	706	27	390	190	615	23	390	214	622	22
241372.83	390	335	413	12	390	173	363	14	390	92	395	21
242130.26	780	146	869	26	—	—	—	—	—	—	—	—
243137.38	780	233	429	10	780	234	463	11	780	117	494	16
243734.86	780	90	559	21	780	397	1219	22	780	26	1279	90
245238.37	780	289	1156	25	780	200	1488	38	780	270	858	19
245844.19	—	—	—	—	390	266	715	22	390	280	533	18
248256.06	780	271	834	18	780	239	1330	31	780	302	1252	26
251311.54	—	—	—	—	390	196	702	26	390	138	509	22
261928.91	—	—	—	—	780	233	604	14	780	198	486	12
262857.97	780	210	1312	33	—	—	—	—	—	—	—	—
263031.68	780	116	795	27	780	227	1088	26	780	222	1030	25
268544.48	780	152	712	21	—	—	—	—	—	—	—	—
269402.51	780	199	698	18	—	—	—	—	—	—	—	—

^(a) : 沒有觀測資料者, 以 " — "表示。

^(b) : 中心頻率為212994 MHz與217917 MHz兩個光譜, 因邊頻帶棄絕(sideband rejection) < 2dB, 在第三章不做顯示, 詳見§ 4.3討論。

