
UNIVERSIDAD DE GRANADA

Trabajo de investigación tutelado
MASTER FISYMAT. CURSO ACADÉMICO 2007-2008

**Técnicas de calibración para
ALMA: fast-switching
Estudio del gas molecular en
Grupos Compactos de Hickson**

Vicent Martínez Badenes
(Instituto de Astrofísica de Andalucía - CSIC)

Tutores:

Prof. Ute Lisenfeld

Dr. Daniel Espada Fernández

Dra. Lourdes Verdes-Montenegro Atalaya

Junio de 2008

.

Cuántas veces me acuerdo
de vosotras, lejanas
noches del mes de junio, cuántas veces
me saltaron las lágrimas, las lágrimas
por ser más que un hombre, cuánto quise
morir
o soñé con venderme al diablo,
que nunca me escuchó.
Pero también
la vida nos sujeta porque precisamente
no es como la esperábamos

- Jaime Gil de Biedma -

AGRADECIMIENTOS

Puedo empezar

Tengo ya preparadas las respuestas para las entrevistas periodísticas que me hagan en la prensa, radio y tele. Querrán saber qué opino y cómo soy, me mostraré ingenioso y espontáneo.

Tengo ya preparadas unas listas de personalidades muy importantes e incluso redactados ya los textos, muy agudos, de las dedicatorias.

Tengo ya preparadas las metáforas que servirán como brillante ejemplo o síntesis que aclare lo que exponga.

Y tengo preparada mi postura, al sentarme o de pie, tono de voz, expresión de los ojos y la boca.

Todo está preparado. Todo a punto, puedo empezar pues a escribir mi libro.

Josep Maria Fonollosa

A Lourdes y Ute. Por haber confiado en mí. Por aquel notición camino de Pamplona. Por confiar, not least, pese a todo. Por hacer realidad un sueño de niño

A Dani. Por las horas. Por la sabiduría. Por la paciencia.

A Satoki-San. Por tener parte de la culpa de todo esto. Y por el buen humor.

A la gente de AMIGA. Porque, en la vida como en la interferometría, uno más uno pueden sumar tres.

A Juande. Por ser imprescindible. Por las horas, y las horas, y por tener siempre un consejo y una sonrisa.

A Yoli. Por la ayuda a última hora. Pero sobre todo por soportarme y sonreír por la mañana como nadie más lo sabe hacer.

A los acérrimos, a los incondicionales. Vosotros lo sabéis, no me hagáis quedar mal.

A la Orquesta Piticli, Recu, Juanfer y Floriano, por ser la singularidad más felizmente divertida de estos dos años. Y a quien condujo.

I per damunt de tot, als pares. Vicent i Roser, el pare i la mare. Perqué caldria un altre TIT per a explicar-ho tot.

Al Tio Javier, l'últim i més bo dels estels
Allá on estigues, una Estrella a la teua salut

Index

I	UNA TÉCNICA DE CALIBRACIÓN PARA ALMA: FAST-SWITCHING	
	1	
1	Introducción	3
1.1	La interferometría como técnica radioastronómica	3
1.2	La atmósfera y su influencia en las observaciones	9
1.3	La calibración en ganancia en mm y submm	12
2	El fast-switching. Fundamentos técnicos	14
2.1	La técnica del fast-switching	14
2.2	ALMA	15
2.3	Fast-switching en el SubMillimeter Array	16
3	Observaciones y reducción de los datos	18
3.1	Metodología de las observaciones	18
3.2	Calibración y reducción de los datos	19
3.3	Descripción de las observaciones	21
3.4	Conjunto de datos 040902-104551	21
3.5	Conjunto de datos 040902-044603	24
3.6	Conjunto de datos 040904-195454	27
3.7	Conjunto de datos 040905-215041	29
3.8	Conjunto de datos 040906-013535	31
4	Conclusiones y trabajo futuro	34

**II ESTUDIO DEL GAS MOLECULAR EN GRUPOS COMPACTOS
DE HICKSON 37**

5 Introducción 39

- 5.1 Grupos Compactos de Hickson 39
- 5.2 Las observaciones de CO 40
- 5.3 El gas molecular y la formación estelar en los HCG 41

6 Observaciones 43

- 6.1 Selección de la muestra 43
- 6.2 Nuestras observaciones 44
- 6.3 La reducción de los datos 45

7 Resultados 47

- 7.1 Espectros obtenidos 47
- 7.2 Resultados numéricos 49
- 7.3 Propiedades del gas molecular 55
- 7.4 Comparación con L_B 55
- 7.5 Comparación con una muestra de galaxias aisladas 56
- 7.6 Trabajo futuro 57

III APÉNDICES 59

8 Apéndice 1: Gráficas de visibilidades 61

- 8.1 Saveset 040902-104551 61
- 8.2 040902-044603 64
- 8.3 040904-195454 65
- 8.4 040905-215041 66
- 8.5 040906-013535 67

**9 Apéndice 2: Espectros de las emisiones de CO de las galaxias
en HCGs 68**

Parte I

Una técnica de calibración para ALMA: Fast-switching

1

Introducción

El rango de las longitudes de onda milimétricas y submilimétricas, entre las ondas de radio centimétricas y la parte infrarroja del espectro electromagnético, es una de las últimas ventanas espectrales del universo que todavía no han sido exploradas en detalle. Debido principalmente a la dificultad técnica que conlleva el diseño de receptores para estas frecuencias o a los problemas asociados a la transmisión de estas ondas en la atmósfera terrestre. Sin embargo, es en este rango donde se halla gran parte de la información sobre toda la riqueza molecular del medio interestelar, la cual es esencial para entender muchos campos de la Astrofísica, tales como patrones climáticos en atmósferas planetarias dentro de nuestro sistema solar, formación de sistemas planetarios o formación estelar a partir de nubes moleculares, así como las propiedades del gas alrededor de los núcleos activos de galaxias y la formación de las galaxias a alto redshift ($z \sim 10$).

1.1 La interferometría como técnica radioastronómica

Las observaciones en estas longitudes de onda se llevan a cabo con radiotelescopios, tanto de una sola antena (IRAM 30m, JCMT) como con interferómetros (PdB, SMA), con su instrumentación y técnicas específicas. El descubrimiento y desarrollo de la interferometría permite llegar a una mayor resolución angular. Aunque fue con radiotelescopios de una sola antena como se ha descubierto gran parte de la riqueza molecular del ISM, así como las propiedades del polvo frío, la resolución angular es insuficiente para muchos problemas de la Astrofísica.

Un interferómetro elemental consta de dos antenas, separadas por distancias

que van desde decenas de metros hasta miles de kilómetros. Las dos antenas están unidas por una línea de transmisión a un único receptor. Las antenas apuntan a un mismo punto del cielo, denominado centro de fase o posición de referencia. La respuesta del interferómetro en esta dirección viene determinada por el haz de cada antena que lo compone (Figura 1.1), denominado haz primario del interferómetro.

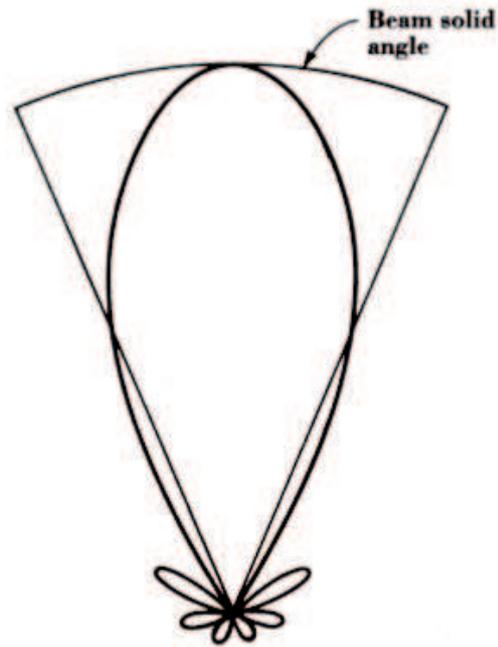


Figura 1.1: Diagrama de radiación de una antena

La mitad del ancho del lóbulo principal del haz primario a media potencia (θ_{HP}) da una referencia de la distancia angular al centro de fase para la cual la sensibilidad del interferómetro decae a la mitad. El valor del ancho del lóbulo principal es

$$\theta_{HP} = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (1.1)$$

donde λ es la longitud de onda a la que observamos y D el diámetro de cada antena.

Un interferómetro puede considerarse como una antena con un diámetro igual a la distancia entre dos antenas, llamada línea de base. La resolución angular de un interferómetro será pues

$$\theta_{HP} = 1.22 \frac{\lambda}{b} \quad (1.2)$$

donde b es la línea de base entre las antenas.

La técnica de síntesis de apertura consiste en generalizar este principio a un número mayor de antenas, consiguiéndose así, con un conjunto de N antenas, un número de $N(N-1)/2$ líneas de base. Mostramos en la figura 1.2 un esquema del funcionamiento de un interferómetro compuesto por dos antenas apuntando en la dirección indicada por el vector unitario \vec{s} .

El frente de onda llegará a una antena con un tiempo de retraso τ_g respecto a otra, denominado retraso geométrico, que viene dado por

$$\tau_g = \frac{\vec{b} \cdot \vec{s}}{c} \quad (1.3)$$

donde \vec{b} es la línea de base del interferómetro y c es la velocidad de la luz.

Tras mezclar la señal procedente de cada antena con un oscilador local y amplificarla se multiplican en un correlador las señales procedentes de las dos antenas y se promedian en el tiempo. La señal de salida del correlador será proporcional al promedio temporal de las dos señales de entrada. El intervalo temporal sobre el que se promedia se denomina tiempo de integración. Las señales recibidas por cada antena pueden expresarse como $V_1 = v_1 \cos 2\pi\nu(t - \tau_g)$ y $V_2 = v_2 \cos 2\pi\nu t$, donde v_1 y v_2 representan la amplitud del voltaje recibido. La señal de salida resultante del correlador será

$$r(\tau_g) = v_1 v_2 \cos 2\pi\nu\tau_g \quad (1.4)$$

Definimos ahora el área efectiva de la antena en la dirección \vec{s} como $A(\vec{s})$. La posición del centro de fase al que apunta la antena se representa con el vector \vec{s}_0 de forma que, para una dirección cualquiera, $\vec{s} = \vec{s}_0 + \vec{\sigma}$, tal como muestra la Figura 1.3.

Llegados a este punto podemos definir la visibilidad, una magnitud compleja de amplitud $|V|$ y fase ϕ , definida como la transformada de Fourier de la intensidad de la fuente pesada con la respuesta de la antena:

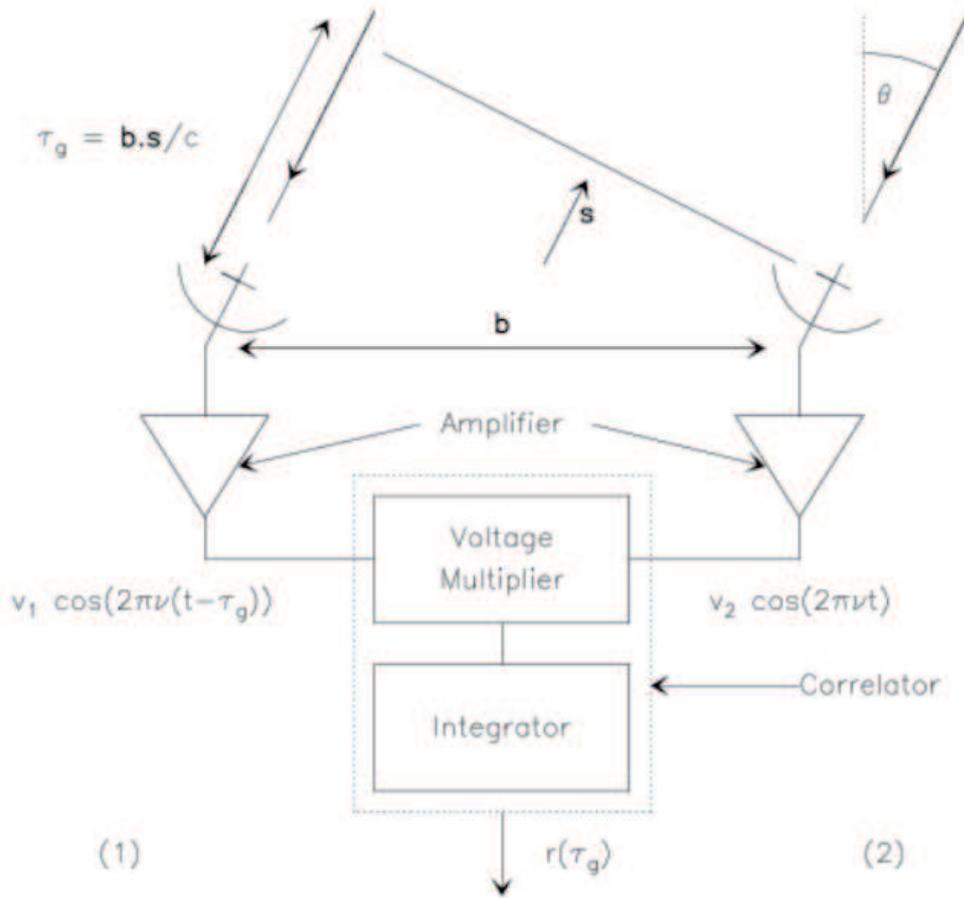


Figura 1.2: Esquema de un interferómetro de dos antenas

$$V = |V|e^{i\phi} = \int_S P(\vec{\sigma}) I(\vec{\sigma}) e^{2\pi i \nu \vec{b} \cdot \vec{\sigma} / c} d\Omega \quad (1.5)$$

donde $P(\vec{\sigma}) = A(\vec{\sigma})/A_0$ es el patrón de radiación de la antena. A_0 es el área efectiva de la antena en la dirección del vector \vec{s}_0 , tal como se muestra en la Figura 1.3. $I(\vec{\sigma})$ es la intensidad de la fuente.

La amplitud y la fase de la ecuación anterior vienen dadas por las medidas del interferómetro. El sistema de coordenadas utilizado se toma sobre el plano tangente a la esfera celeste en el centro de fase y se denomina plano (u,v) .

En el sistema de coordenadas descrito en la Figura 1.3 el vector de posición

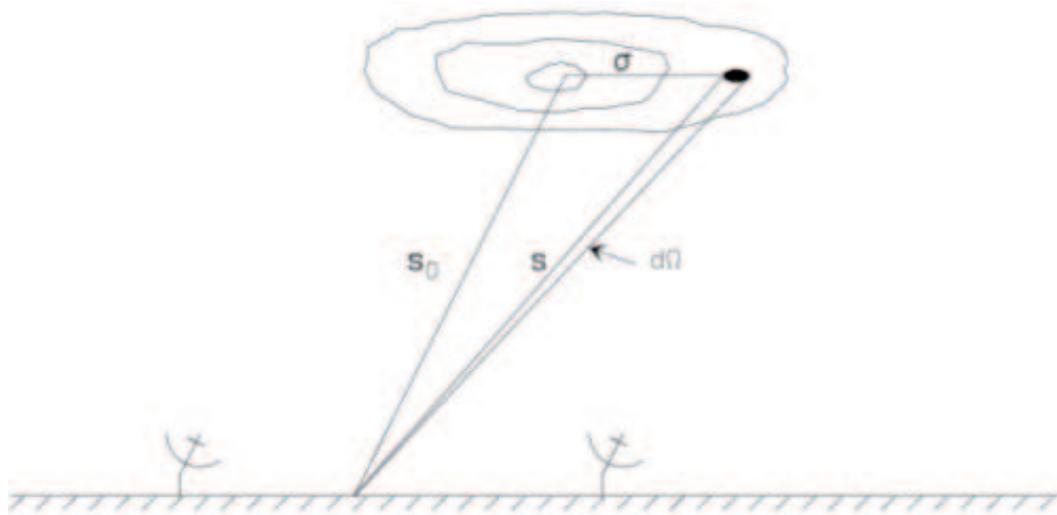


Figura 1.3: Vectores de posición de la fuente respecto al interferómetro

de un punto de la fuente observada tiene como coordenadas $\vec{\sigma} = (x, y)$ (en radianes). La posición de la fuente en el cielo está descrita por los ángulos θ y ϕ , de tal modo que $x = a \cos \theta$, $y = b \cos \theta$, donde (a, b) es la separación de las antenas. De esta forma (x, y) es la línea de base efectiva. La medida que arroja el interferómetro es la visibilidad compleja en el plano de Fourier de la distribución de brillo del cielo usando los conjugados u y v , $(u, v) = (x, y) / \lambda$. En este sistema de coordenadas podemos expresar la visibilidad como

$$V(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(x, y) I(x, y) e^{i2\pi(ux+vy)} dx dy \quad (1.6)$$

Cada vez que un par de antenas realiza una observación se obtiene una medida de visibilidad para un punto del plano (u, v) . Conforme la tierra va rotando, moviéndose la fuente en el cielo respecto al interferómetro, la proyección (u, v) de la línea de base del par de antenas va cambiando y se obtienen visibilidades en distintos puntos (u, v) , denominándose este proceso recubrimiento del plano (u, v) . El recubrimiento del plano (u, v) dependerá del número de antenas, de su localización en la superficie terrestre, de su disposición geométrica y del tiempo de integración. Idealmente, si pudiéramos cubrir por completo el plano (u, v) podríamos recuperar exactamente la intensidad de la fuente a partir de una transformada de Fourier inversa, puesto que $P(x, y)$ se conoce de antemano,

$$P(x, y)I(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} V(u, v) e^{-i2\pi(ux+vy)} dudv \quad (1.7)$$

En la práctica, al no cubrirse nunca totalmente el plano (u, v) , se recurre a la transformación inversa de Fourier por métodos numéricos. La determinación de la intensidad será más exacta cuanto mejor sea el recubrimiento del plano (u, v) .

Para cada línea de base de un interferómetro podemos particularizar la anterior ecuación. Para un par de antenas (i, j) en cada intervalo de tiempo la visibilidad teórica vendría dada por

$$V_{ij}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(x, y)I(x, y) e^{i2\pi(u_{ij}(t)x+v_{ij}(t)y)} dx dy \quad (1.8)$$

Sin embargo, las visibilidades resultantes de la observación interferométrica no coinciden con la visibilidad real debido a la variación en la señal que se ha producido. En primer lugar cabe tener en cuenta la variación en la señal debida a las antenas como receptores. En base a la independencia que muestra la respuesta de un par de antenas respecto a la respuesta de cualquier otro par podemos definir las visibilidades resultantes de la observación como

$$\bar{V}_{ij}(t) = G_{ij}(t)V_{ij}(t) \quad (1.9)$$

donde \bar{V}_{ij} es la visibilidad observada, G_{ij} es la ganancia compleja asociada a la línea de base (i, j) y $V_{ij}(t)$ la visibilidad compleja de la fuente. Para conocer la visibilidad real de la fuente debemos pues conocer las ganancias de las antenas. La mayor corrupción de los datos se produce antes de mezclar las señales de las dos antenas, por lo que podemos aproximar la ganancia compleja de la línea de base por el producto de las ganancias asociadas a cada antena.

Por otra parte, más allá de los efectos asociados a las antenas, cabe tener en cuenta las variaciones que sobre la señal se producen antes y después de la recepción de las mismas. Así, la fórmula quedaría finalmente como

$$\bar{V}_{ij} = G_i(t)e^{i\phi_i(t)}G_j(t)e^{-i\phi_j(t)}V_{ij}(t) + \epsilon_{ij} + \delta_{ij} \quad (1.10)$$

donde, para cada antena, G es la amplitud y ϕ la fase de la ganancia compleja. ϵ_{ij} es el error introducido por el correlador y δ_{ij} el término que determina las correcciones necesarias para eliminar los efectos nocivos que sobre la señal tiene

la atmósfera. Será precisamente en estos efectos en los que se va a centrar el trabajo que presentamos.

1.2 La atmósfera y su influencia en las observaciones

En cualquier longitud de onda en la que un astrónomo pretenda llevar a cabo sus observaciones, la atmósfera presenta siempre restricciones de distinto tipo y severidad. Los problemas relacionados con ella abarcan desde las turbulencias en capas bajas de la atmósfera que pueden afectar a las observaciones radioastronómicas hasta el caso de la radiación de muy alta frecuencia que, por fortuna para la vida tal y como la entendemos en la Tierra, queda bloqueada totalmente por la atmósfera.

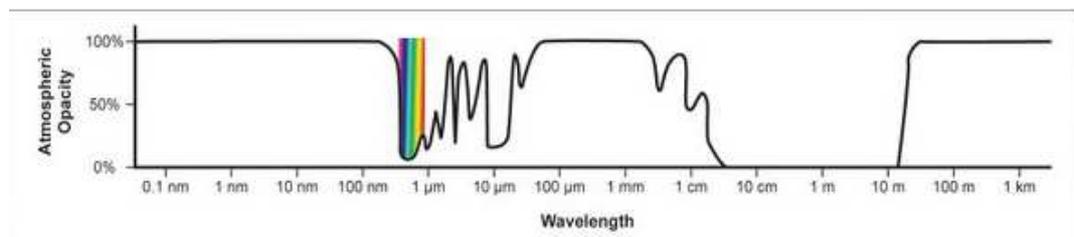


Figura 1.4: Opacidad de la atmósfera en función de la longitud de onda

En la Figura 1.4 podemos apreciar la principal diferencia entre las observaciones radioastronómicas centimétricas y las que se llevan a cabo en frecuencias más elevadas: en las primeras la atmósfera presenta lo que se llama "radioventana", una amplia zona para la cual la atmósfera deja pasar la práctica totalidad de la radiación, mientras que en longitudes de onda mm y submm existen regiones del espectro donde la opacidad atmosférica permite observar dependiendo de las condiciones atmosféricas. En la figura 1.5 se muestra en mayor detalle la dependencia que presenta la transmitancia de la atmósfera en función de la longitud de onda para diferentes valores del contenido de vapor de agua.

Más allá de la opacidad que pueda presentar la atmósfera, en estas longitudes de onda, los efectos más importantes están producidos por la atmósfera baja neutra o troposfera y la ionosfera. Encontraremos dentro de ellas fenómenos que pueden agruparse en tres grandes tipos:

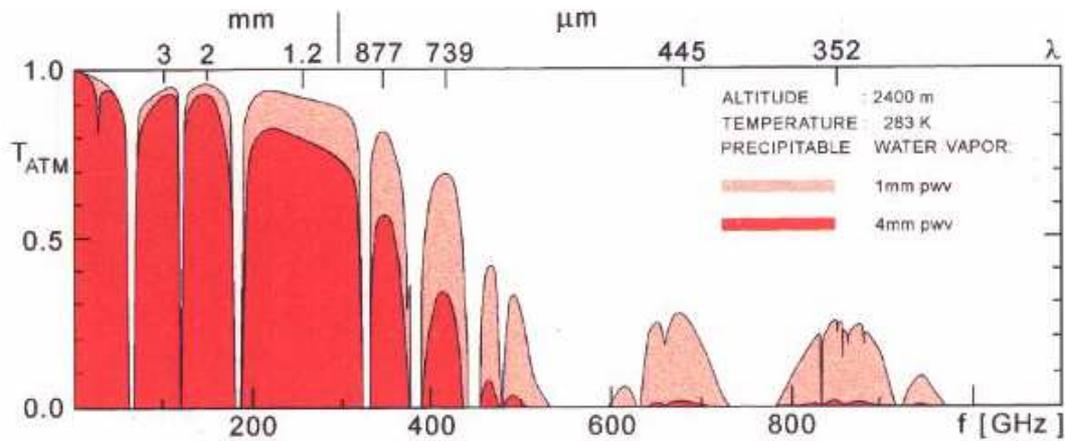


Figura 1.5: Transmitancia de la atmósfera para mm y submm en el sitio de PdB, a 2400 metros, para 1 mm y 4 mm de contenido de vapor de agua

- Efectos refractivos producidos por estructuras de gran escala, como la desviación de las ondas, cambios en la velocidad de propagación y/o rotación del plano de polarización.
- Absorción de la radiación por las moléculas contenidas en la atmósfera.
- Fenómenos de scattering producidos por la estructura turbulenta del medio, resultantes en degradación de la resolución angular.

En el caso de las longitudes de onda mm y submm, el vapor de agua contenido en la troposfera juega un papel esencial, toda vez que la refractividad del vapor de agua en el rango de las ondas de radio es 20 veces mayor que en el régimen óptico. De ahí la necesidad de buscar emplazamientos con un índice de humedad relativa lo más bajo posible para la localización de radiotelescopios que operen en este rango. Las fluctuaciones en la distribución de vapor de agua, difíciles de medir con precisión a partir de medidas atmosféricas en la superficie terrestre, son la causa principal de las fluctuaciones de fase en las visibilidades en interferómetros mm y submm, limitando la resolución angular de éstos y jugando un papel similar al que jugarían las turbulencias debidas a cambios de temperatura de la atmósfera en las observaciones llevadas a cabo en el óptico (seeing). La influencia del vapor de agua en las mediciones se pone de manifiesto mediante la ecuación de Smith-Weintraub. Se trata de una ecuación

empírica que da la refractividad (N) del aire húmedo:

$$N = 77.6 \frac{P_D}{T} + 64.8 \frac{P_V}{T} + 3.776 \times 10^5 \frac{P_V}{T^2} \quad (1.11)$$

donde T es la temperatura del aire en grados Kelvin, P_D es la presión parcial del aire seco y P_V es la presión parcial del vapor de agua en milibares. Cabe resaltar la linealidad de la refractividad respecto a la presión parcial de vapor de agua. De ella, además, se infiere que la lógica dependencia temporal de la presión de vapor de agua debido a las turbulencias en la troposfera genera asimismo una dependencia temporal de la refractividad del aire, produciendo un exceso de camino en el trayecto de la onda.

Cabe reseñar el problema relacionado con las turbulencias en el contenido de vapor de agua en la troposfera. Debido a ellas, la refractividad del aire puede definirse tan sólo de forma local. Las variaciones en ésta conllevan una diferencia de camino óptico en las ondas electromagnéticas que generan fluctuaciones en el frente de onda. Dichas fluctuaciones en un frente de onda inicialmente plano que ha atravesado la atmósfera se pueden caracterizar mediante una función de estructura de fase definida como:

$$D(\phi)(d) = \langle [\phi(x) - \phi(x-d)]^2 \rangle \quad (1.12)$$

Siendo $\phi(x)$ la fase en el punto (x,y) $\phi(x-d)$ la fase en el punto (x-d). Se asume generalmente que $D(\phi)$ depende sólo de la separación entre antenas, esto es, de la longitud de la línea de base del interferómetro. Definido este parámetro, la desviación rms, $\sigma(\phi)$ en la fase del interferómetro viene definida como

$$\sigma(\phi) = (D_\phi(d))^{1/2} \quad (1.13)$$

En los modelos vigentes, se considera que $\sigma(\phi)$ presenta una dependencia lineal con una potencia de la distancia entre antenas, cuyo exponente depende a su vez del modelo que se elija (gaussiano, lorentziano, de Kolmogorov). Esta dependencia, sin embargo, se presenta tan sólo por debajo de una distancia d_m del orden de unos pocos kilómetros, “outer scale length” del interferómetro, por encima de la cual las fluctuaciones en el camino óptico recorrido por las ondas dejan de estar correladas, con lo cual la desviación rms pasa a ser constante. Este fenómeno es el que permite las observaciones con interferometría de muy larga base (VLBI)

Considerando pues un interferómetro que opera en el dominio de líneas de base menores que d_m , hallamos que la visibilidad medida V_m está relacionada con la visibilidad real mediante la ecuación

$$V_m = V e^{i\phi} \quad (1.14)$$

Asumiendo ϕ como una variable aleatoria gaussiana con valor medio cero, la visibilidad esperada es

$$\langle V_m \rangle = V \langle e^{i\phi} \rangle = V e^{-\frac{\sigma_\phi^2}{2}} \quad (1.15)$$

Se hace evidente, pues, que las fluctuaciones de fase causadas por las turbulencias troposféricas están relacionadas con un empeoramiento de la imagen resultante de las observaciones interferométricas.

1.3 La calibración en ganancia en mm y submm

En las longitudes de onda de las que se ocupa este trabajo encontramos varias técnicas de calibración que buscan minimizar los efectos que sobre la señal producen tanto el medio por el que viaja la señal hasta la electrónica del interferómetro. La calibración de las observaciones incluye:

1. Las calibraciones de pasa banda, para calibrar la distinta sensibilidad de los canales espectrales
2. Las calibraciones en ganancia, para calibrar la amplitud y la fase en función del tiempo
3. Las calibraciones de flujo (para pasar a una escala absoluta de flujo)

El objetivo de la calibración en ganancia es corregir la dependencia temporal de la ganancia compleja, que lleva a variaciones tanto en amplitud como en fase. Las distintas técnicas de calibración en ganancia son

- La técnica de autocalibración.
- La técnica de radiometría de vapor de agua (*Water Vapour Radiometry*, WVR).

- La técnica de fast-switching

La técnica de autocalibración parte de un modelo previo de la distribución de la fuente problema. Las ganancias complejas correspondientes a cada antena se hallan aplicando un ajuste por mínimos cuadrados que minimice la diferencia entre el modelo y las visibilidades observadas. La autocalibración es un proceso iterativo, por lo que, tras obtener un valor corregido de las visibilidades a partir del ajuste mencionado, se crea un nuevo modelo a partir de estas visibilidades y se vuelve a iniciar el proceso. La ventaja que ofrece esta técnica de calibración es que las ganancias están derivadas a partir de la dirección correcta (no en un calibrador), así como del tiempo correcto, y no por interpolación. La solución será más robusta a medida que aumentamos el número de líneas de base del interferómetro. La mayor desventaja de la técnica, por otra parte, es su dependencia del modelo inicial elegido. Un modelo erróneo llevará a visibilidades e imágenes incorrectas.

La radiometría de vapor de agua, a grandes rasgos, es una técnica que busca determinar el exceso en el camino óptico recorrido en una dirección en particular debido al contenido total de vapor de agua en la línea de visión de una antena. Éste puede ser determinado con precisión mediante medidas de la temperatura de brillo de una línea de emisión del vapor de agua. Las líneas elegidas son normalmente la de 22 GHz y la de 183 GHz, dependiendo de las condiciones atmosféricas promedio del sitio donde se encuentre el interferómetro. En altitudes intermedias (como el caso de PdB) la línea de 183 GHz se encuentra saturada, por lo que se utiliza la de 22 GHz, mientras que en sitios con una atmósfera muy seca (como Chajnantor, el sitio de ALMA) se prefiere la utilización de la línea de 183 GHz.

Un inconveniente de esta técnica es que hay que aproximar la dependencia entre la medida del vapor de agua con el exceso de camino producido por el vapor de agua, que depende de modelos atmosféricos. Al no poder modelizar con total precisión el comportamiento de la atmósfera, la WVR podría corregir las escalas de fluctuación de fase del orden de los segundos. Es a escalas de tiempo más largas donde es necesaria la utilización de otra técnica. Es por tanto necesaria una técnica más general que nos permita corregir las fluctuaciones de fase en mm/submm y que sea complementaria a la WVR. Este es el objetivo de la técnica de fast-switching, explicada en detalle en el capítulo siguiente.

2

El fast-switching. Fundamentos técnicos

2.1 La técnica del fast-switching

Como hemos reseñado antes, la problemática que queremos tratar reside en las variaciones rápidas del contenido de vapor de agua en la troposfera o, más concretamente, del vapor de agua que se encuentra en la línea de visión de las antenas. La concentración local de vapor de agua en la atmósfera cambia rápidamente, y de forma aleatoria y turbulenta, con el tiempo, de tal modo que los cambios que genera en la fase de la señal recibida son también altamente variables con el tiempo.

Fast-switching es una técnica eficiente para minimizar las fluctuaciones en la fase mediante apuntados sucesivos entre la fuente problema y el calibrador. En VLA y a longitudes de onda centimétricas, por ejemplo, viene aplicándose esta técnica satisfactoriamente pudiéndose llegar a separaciones entre fuente problema y calibrador del orden de 5 a 10 grados. No entramos profusamente a hablar de estos antecedentes básicamente porque responde a una casuística diferente: la aportación de la ionosfera al desfase en una línea de base crece con el cuadrado de la longitud de onda. Así, se suele fijar en 3.6 o 1.3 cm la longitud de onda mínima para la cual la ionosfera es la principal responsable de variaciones en la fase. A partir de dicha longitud de onda, es la troposfera la que pasa a tener un papel preponderante.

Nuestro trabajo se inscribe pues, debido a las frecuencias en las que lo queremos aplicar, a la troposfera, y más concretamente a la componente húmeda de distorsión de fase de la troposfera, denominada así en contraposición a la

componente seca, que sería la asociada a los efectos del aire seco.

La solución que se propone para reducir estos los efectos que en la imagen provoca la variabilidad de la componente húmeda atmosférica pasa por elegir una fuente puntual y potente en mm o submm (típicamente un cuásar) cercana angularmente a la fuente problema que queremos estudiar. Lo que se persigue al realizar los cambios de apuntado con una frecuencia mucho mayor que la que se viene usando es tener una información casi en tiempo real de las turbulencias del vapor de agua en la troposfera en la línea de visión de la fuente problema, de ahí la necesidad de elegir un calibrador cercano. Al conocer mejor los cambios que se producen en la troposfera, podemos asimismo determinar con mayor precisión el retardo en el camino óptico que generan y, consecuentemente, conocer de forma más detallada las correcciones que se deben introducir en la fase y el retraso temporal entre antenas del interferómetro.

2.2 ALMA

El desarrollo del fast-switching es de principal importancia para, junto con WVR, llevar a cabo la calibración de ALMA. El Atacama Large Millimeter Array (ALMA) es un interferómetro que operará en longitudes de onda milimétricas y sub-milimétricas (desde 0.3 hasta 9.6 mm) situado en el llano de Chajnantor, a 5000 metros de altura en el desierto de Atacama (Chile). Tras varios cambios desde su diseño inicial, constará de 50 antenas de 12 metros y un sub-array compacto (Atacama Compact Array, ACA) compuesto por 4 antenas de 12 metros y 12 antenas de 8 metros. La construcción de las diferentes antenas, así como de los componentes electrónicos imprescindibles para su correcto funcionamiento está ya muy avanzada, de tal modo que las primeras unidades se encuentran ya en el sitio de ALMA en Chajnantor. Sin embargo la calibración del instrumento, en particular en ganancia, no se puede efectuar en detalle hasta que haya varias antenas construidas. Se trata de un proyecto conjunto entre Europa (Observatorio Europeo Austral, ESO), Estados Unidos (National Radio Astronomy Observatory, NRAO) y Japón (Observatorio Astronómico Nacional, NAOJ).

ALMA traerá nuevas oportunidades a la comunidad astronómica mundial para abrir una nueva ventana a la observación y el estudio de un enorme abanico de fenómenos cósmicos que se pueden observar en el rango mm/submm. Paralelamente a las funcionalidades que aportará corren las complicaciones de

todo tipo que comporta la puesta en marcha y explotación científica adecuada de un instrumento de este calibre.

2.3 Fast-switching en el SubMillimeter Array

El trabajo que aquí se presenta trata de ayudar a entender esta técnica, utilizando un interferómetro operado en el rango mm/submm, el SubMillimeter Array (SMA). La técnica de fast-switching se ha probado en SMA por un grupo formado por miembros de Academia Sinica-Institute for Astronomy and Astrophysics de Taiwan (Satoki Matsushita) y del Instituto de Astrofísica de Andalucía (Daniel Espada y Vicent Martínez) mediante la reducción y el análisis de observaciones llevadas a cabo en SMA en Mauna Kea (Hawaii). Propiedad del Center for Astrophysics (Smithsonian Institution-Harvard University) y de ASIAA, SMA es actualmente el único instrumento en el mundo en el cual se pueden llevar a cabo estas pruebas, ya que el espectro de frecuencias en el que trabaja coincide en parte con aquel en el que lo hará ALMA, como muestra la figura 2.1

Más allá del solapamiento en las ventanas de observación que se encuentran en el rango milimétrico corto y submilimétrico, las antenas de SMA están diseñadas y construidas de tal forma que pueden realizar cambios rápidos de apuntado entre fuentes. Tal capacidad de movimiento rápido es imprescindible para una aplicación satisfactoria de fast-switching, siendo de hecho ésta la razón por la cual se dotó a SMA de las especificaciones técnicas necesarias para los cambios rápidos de apuntado. Las antenas de ALMA vienen asimismo preparadas para la aplicación de una técnica como el fast-switching.

Nuestras pruebas de fast-switching en SMA tienen un precedente en (1). Se trata de unas pruebas que siguen el mismo esquema que posteriormente han seguido las nuestras, y que pasamos a detallar a continuación.

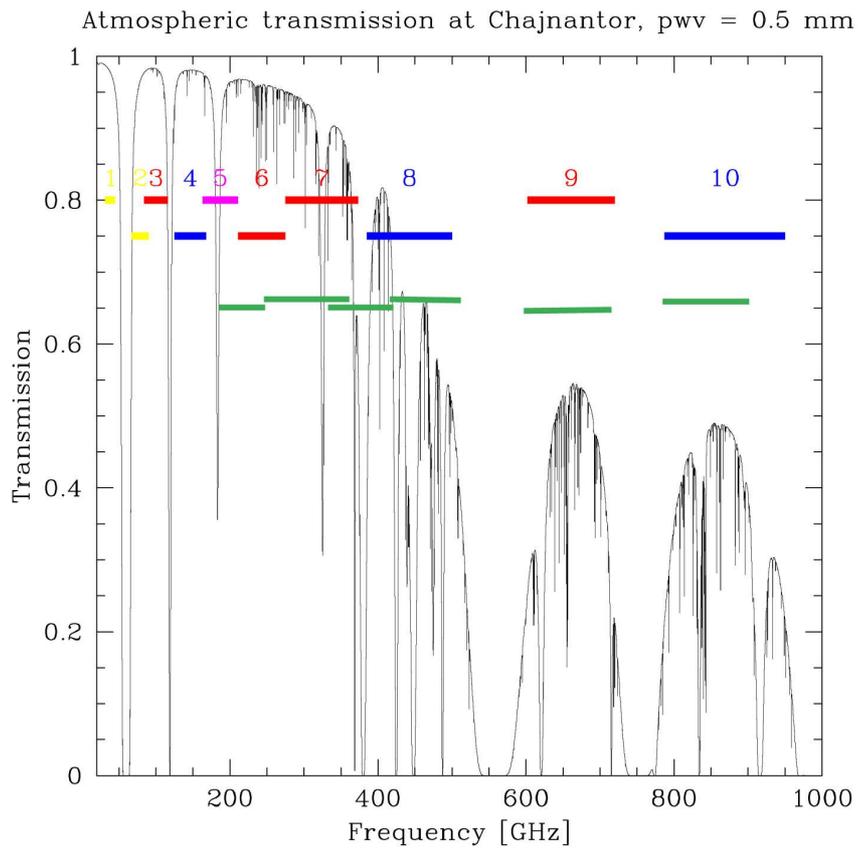


Figura 2.1: Bandas de observación de ALMA. En verde, frecuencias en las que observa SMA

3

Observaciones y reducción de los datos

3.1 Metodología de las observaciones

Lo que buscamos con este trabajo es averiguar qué tiempo de calibración es el más eficiente para obtener una imagen lo más fiel posible al objeto observado. Para ello hacemos pruebas con distintos tiempos entre sucesivos apuntados al calibrador, de los 20 o 30 minutos que se acostumbran a tomar hasta 1 o 2 minutos. Así, por poner un ejemplo, una secuencia tipo sería

1. Apuntado al calibrador durante 20 segundos.
2. Cambio del interferómetro a la fuente problema. Apuntado de 1min 30seg.
3. Cambio al calibrador y reinicio de la secuencia.

Presentamos aquí el análisis de las observaciones de prueba de grupos de 3 cuásares cercanos tomadas bajo distintas condiciones atmosféricas y con distintas frecuencias, 230 y 345 GHz, que nos ayudará a comprender bajo qué circunstancias la técnica de fast-switching es una técnica de calibración de ganancia que mejora la fidelidad de las observaciones.

Las observaciones en las que se basan nuestras pruebas fueron llevadas a cabo por personal del SMA durante el 2, 4, 5, y 6 de Septiembre de 2004 en SMA. Las antenas utilizadas, opacidad zenital a 225 GHz observada con el vecino Caltech Submillimeter Observatory (CSO), las frecuencias de observacion y las fuentes observadas se detallan en la tabla 3.1.

Tras sintonizar los receptores a la frecuencia deseada (230 o 345 GHz) y comprobar el correcto apuntado de las distintas antenas, se comenzaron las observaciones de una secuencia de 3 cuásares. Como se indica en la tabla 3.1 estos son distintos dependiendo de la noche. Cada uno de ellos se observaba en secuencias de 4 integraciones de 5 segundos cada una de ellas, para llegar a un total de 20 segundos por apuntado, tras lo cual se pasaba al siguiente cuásar, en el que se repetía la operación. Tras una observación idéntica del tercero, se volvía a iniciar la secuencia, alcanzando al final de la noche un tiempo de observación de aproximadamente una hora para cada fuente. Hay que tener en cuenta que el tiempo empleado por las antenas para moverse entre fuente y fuente es de unos 5 segundos si su separación es de 10 grados aproximadamente.

DATOS	FECHA	ANTENAS	τ	FRECUENCIA (GHz)	FUENTES
040902-104551	2/9/04	1,2,3,4,7,8	0.08-0.10	230 and 345	3c454.3, 2145+067, 2230+114
040902-044603	2/9/04	1,2,3,4,7,8	0.13	345	1921-293, 1908-201, nrao530
040904-195452	4/9/04	1,2,3,4,5,6,7,8	0.1	230	3c279, 1334-127, 1244-255
040905-215041	5/9/04	1,2,3,4,5,6,7,8	0.1-0.14	230	3c279, 1334-127, 1244-255
040906-013535	6/9/04	1,2,3,4,5,6,7,8	0.17	230	3C279, 1334-127, 1921-293

Tabla 3.1: Datos técnicos de nuestras observaciones

3.2 Calibración y reducción de los datos

De entre los cuásares observados seleccionamos el más potente como calibrador, cuya función es la de trazar las fluctuaciones en la fase. Usando como referencia esta fuente, se calibran en fase y amplitud las otras dos teniendo en cuenta la totalidad de las integraciones. Resulta de este modo una calibración con un tiempo transcurrido entre sucesivos apuntados al calibrador (en lo sucesivo “tiempo de calibración”), de alrededor de 1min 40seg. Este tiempo variará dependiendo del conjunto de datos en concreto, ya que el tiempo de movimiento requerido para cambiar de fuente variará de uno a otro en función de la distancia angular a la que se encuentren los cuásares, que implicará un desplazamiento mayor o menor de las antenas.

Tras esta primera calibración, desechamos uno de cada dos apuntados al calibrador para que no sea tenido en cuenta en la calibración. Lo que resultará a efectos de calibración será pues un apuntado al calibrador, uno a la fuente problema A, uno a la fuente problema B, uno a la fuente problema A, otro a la

fuelle problema B y uno al calibrador con el que empezaría una nueva secuencia idéntica. Lo que hemos conseguido con este procedimiento es duplicar el tiempo de calibración. Si anteriormente teníamos un tiempo de 1min 40seg, pasamos a tenerlo ahora de 3min 20seg. El procedimiento a seguir en lo sucesivo es similar. Para una tercera calibración tendremos en cuenta sólo 1 de cada 3 apuntados al calibrador, para una cuarta 1 de cada 5, y así sucesivamente del modo que indica la tabla 3.2. A modo ilustrativo se incluye también el tiempo de calibración resultante en el caso concreto de los conjuntos de datos 040902-104551, que sera similar al resto.

La calibracion en ganancia en fase y amplitud para los distintos esquemas de calibracion se ha efectuado con el paquete de reduccion de datos MIR/IDL para SMA.

Número de la calibración	Apuntados al calibrador tenidos en cuenta	Tiempo de Calibración
1	Todos	1min43seg
2	1 de cada 2	3min 26seg
3	1 de cada 3	5min 10seg
4	1 de cada 5	8min 36seg
5	1 de cada 6	10min 20seg
6	1 de cada 7	12min 3seg
7	1 de cada 10	17min 12seg
8	1 de cada 12	20min 40seg

Tabla 3.2: Esquema de los tiempos de calibración del dataset 040902-104551

Posteriormente se lleva a cabo para los datos resultantes de cada uno de los esquemas de calibración un proceso de generado de imagen para cada una de las fuentes problema, que consta de INVERT para hacer la imagen "sucia" de los datos UV, CLEAN para limpiar la imagen con el haz sintetizado "sucio" y RESTOR para restaurar el haz sintetizado "limpio". Finalizado este, se calcula el cociente entre el máximo de flujo y el RMS, que nos dará una medida de la relación señal/ruido de la fuente y, consecuentemente, de la calidad de la misma.

Extraemos del mapa resultante valores estadísticos sobre el ruido, el máximo y el desplazamiento de éste utilizando el comando IMSTAT en MIRIAD.

Por último obtenemos las razones de señal a ruido (en adelante S/N) para los distintos esquemas de calibración, y hacemos una gráfica de éste en función del tiempo de calibración para los distintos conjuntos de datos.

3.3 Descripción de las observaciones

Para cada una de las cinco observaciones incluimos información sobre:

1. El conjunto de tres cuásares observados en 230 GHz o 345 GHz, su rango de elevación (así como la temperatura del sistema) y el flujo de dichos cuásares en un tiempo cercano a la fecha de las observaciones (notar que el flujo en los cuásares es variable con el tiempo) proveniente de observaciones previas.
2. La apariencia cualitativa del continuo de las visibilidades para distintas líneas de base, tanto en fase como en amplitud para observar las fluctuaciones, así como la forma del continuo de las visibilidades después de la calibración (con distintos tiempos de calibración).
3. Gráficas con la relación S/N de los mapas finales de los dos cuásares problema en función de los 7 tiempos de calibración diferentes.

3.4 Conjunto de datos 040902-104551

Las observaciones se han realizado a una frecuencia de 345 GHz con una opacidad de $\tau_{225GHz} = 0.08 - 0.10$, lo cual supone unas condiciones atmosféricas bastante buenas. Sin embargo las condiciones atmosféricas fueron más inestables previamente como se puede ver en el siguiente conjunto de datos que presentamos, cuyos datos fueron tomados inmediatamente antes. Las fuentes observadas y sus respectivos flujos son los siguientes:

Fuente	Elevación (deg)	Densidad de Flujo (Jy/beam)
2230+114	70	7.37 ± 0.39
3c454.3	50-75	3.44 ± 0.18
2145+067	30-50	3.81 ± 0.20

Tabla 3.3: Datos correspondientes al conjunto de datos 040902-104551

2230+114 es el calibrador primario.

Mostramos en las figuras 3.1 3.2 y 3.3 los plots de las visibilidades para tres líneas de base (1-2, 1-3 y 1-4) a título ilustrativo. Las gráficas que se presentan muestran los datos de continuo de amplitud y fase para 3 casos diferentes: los datos sin calibrar, tras la primera calibración (1min 43seg) y tras la cuarta (8min 36seg)

El continuo de las visibilidades del calibrador primario para la mayoría de las líneas de base muestran una baja dispersión de fase, alrededor de $\pm 50^\circ$ de desviación con respecto al valor medio, pero con una variación de $\sim 150^\circ$ de pico a pico para algunas líneas de base. 3c454.3 muestra una dispersión ligeramente mayor. 2145+067, por su parte, muestra una dispersión mayor que, aun no siendo muy alta, es considerablemente superior a las dos anteriores. La diferencia puede verse fácilmente una vez hemos calibrado las fuentes problema, ya que la dispersión de fase de 3c454.3 pasa a ser bastante baja, alrededor de $\pm 50^\circ$, mientras 2145+067, sin ser muy alta, continúa mostrando una dispersión mayor que de 3c454.3, pudiendo atribuirse su causa a su baja elevación, que por momentos se sitúa por debajo de 40° . Comparando las visibilidades de los datos con un tiempo de calibración de 1min 43seg con las correspondientes a un tiempo de 8min 36seg se observa que, mientras en la primera la variación de pico a pico es correcta, la segunda muestra una variación sistemática de pico a pico mucho más alta, cercana a la que muestran los datos sin calibrar.

En la figura 3.4 mostramos los valores del cociente S/N, obtenido de la generación de imágenes a partir de las visibilidades, en función del tiempo de calibración .

A partir del análisis y la reducción de los datos podemos extraer una serie de conclusiones para cada fuente:

- 3c454.3: Los valores de los picos de flujo se encuentran entre los mayores

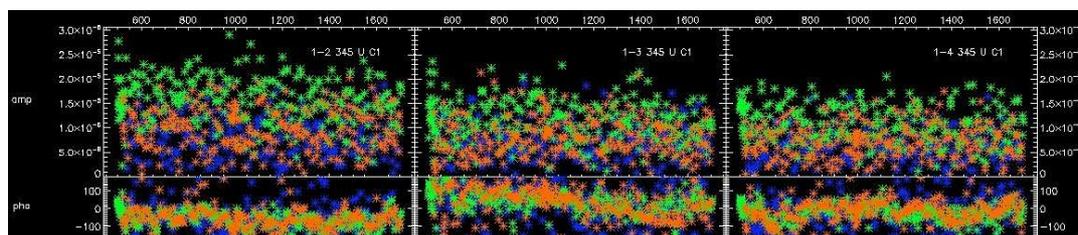


Figura 3.1: Visibilidades correspondientes a los datos sin calibrar

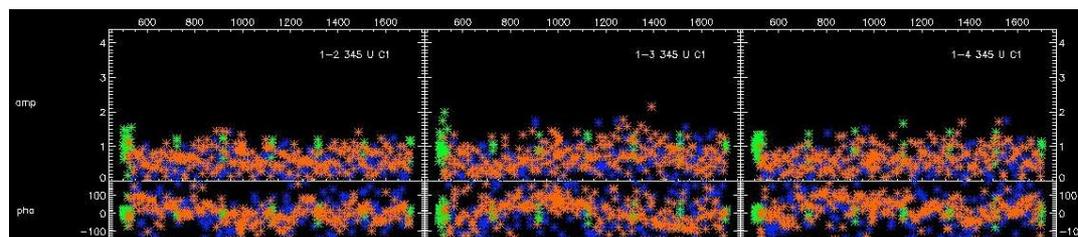


Figura 3.2: Visibilidades correspondientes a un tiempo de calibración de 8/36//

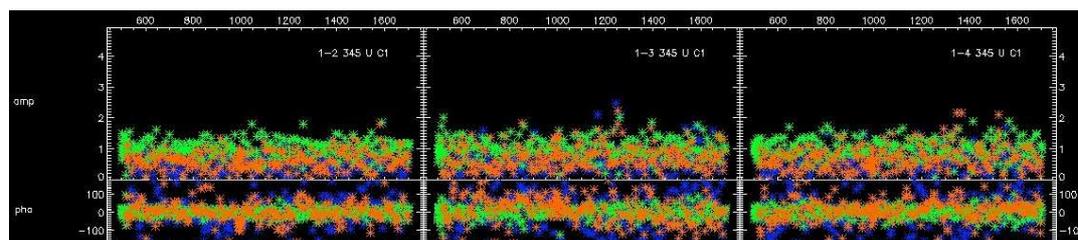


Figura 3.3: Visibilidades correspondientes a un tiempo de calibración de 1/43//

de todos los conjuntos de datos, $S = 0.25$ Jy/beam (siempre para un flujo normalizado del calibrador primario de 1 Jy/beam). Los valores de la relación S/N están entre 38 y 41. La relación S/N disminuye a medida que incrementamos el tiempo de calibración, con una mejora de S/N en torno a 4 para la calibración más frecuente (≈ 1.5 min) con respecto a la que menos (~ 20 min).

- 2145+067: Se obtienen valores de los máximos en torno a $S \approx 0.15$ Jy/beam y cocientes $S/N \approx 28$. La tendencia de los datos es la misma que en la anterior fuente, decreciendo el cociente S/N al aumentar el tiempo

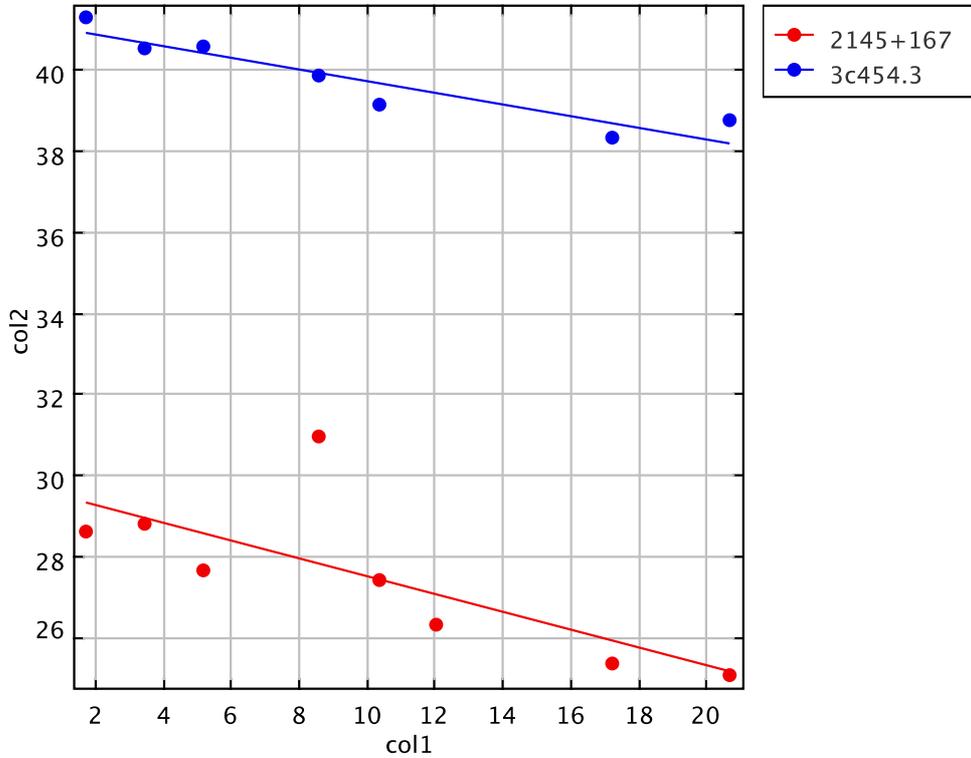


Figura 3.4: S/N en función del tiempo de calibración para 040902-104551

de calibración. Dado que el flujo es similar en esta fuente y 3c454.3 (~ 3.5 Jy), la diferencia en los máximos y S/N, los menores entre las dos fuentes, pueden ser debidos a su baja elevación.

3.5 Conjunto de datos 040902-044603

Las observaciones se han realizado a 345 GHz, bajo una opacidad de $\tau_{225GHz} = 0.13$, cerca de lo que se viene considerando el límite recomendado para esta frecuencia. Por tanto en principio la calidad de los datos no puede considerarse óptima.

Fuente	Elevación (deg)	Densidad de Flujo (Jy/beam)
1921-293	30-40	5.57 ± 0.36
1908-201	35-50	1.72 ± 0.11
nrao530	20-60	1.49 ± 0.14

Tabla 3.4: Datos correspondientes al conjunto de datos 040902-044603

1921-293 es el calibrador primario.

El continuo de las visibilidades para algunas líneas de base de adjunta en las figuras 8.4, 8.5, 8.6 en el Apéndice 1. Debido a las condiciones atmosféricas, las visibilidades muestran una alta dispersión de fase. Las fuentes, con flujos alrededor de 1 Jy, son además demasiado débiles para las condiciones atmosféricas reseñadas.

En el caso de nrao530, la dispersión de fase disminuye ligeramente una vez los datos están calibrados. Esto puede verse comparando las visibilidades de los datos antes ($\sim 150^\circ$) y después de las sucesivas calibraciones ($\sim 100^\circ$). La mejora viene del hecho que, en los datos ya calibrados, la media final de la dispersión de fase se aproxima bastante a 0, mientras en los datos no calibrados podemos observar un patrón que arrojaría una media diferente. En el caso de 1908-201, la dispersión parece ser bastante similar a la que muestra nrao530. De todos modos, hay líneas de base para las que no resulta fácil apreciar diferencias entre los datos no calibrados, la primera y la cuarta calibración.

De las imágenes generadas, los datos numéricos que arrojan y el estudio de la figura 3.5 podemos extraer las siguientes conclusiones:

- 1908-201: En las imágenes el pico puede verse claramente, pero hay picos de ruido de menor intensidad distribuidos por toda la imagen. El cociente S/N fluctúa alrededor de 12 para todos los tiempos de calibración. El gráfico S/N vs tiempo de calibración muestra una alta dispersión para dos puntos, y la correlación lineal es prácticamente constante, aunque la dispersión en S/N es grande como resultado de los picos externos al centro.
- nrao530: Hay un cociente constante $S/N \sim 7$ para los distintos tiempos de calibración. Una inspección más cuidadosa de las distintas imágenes nos

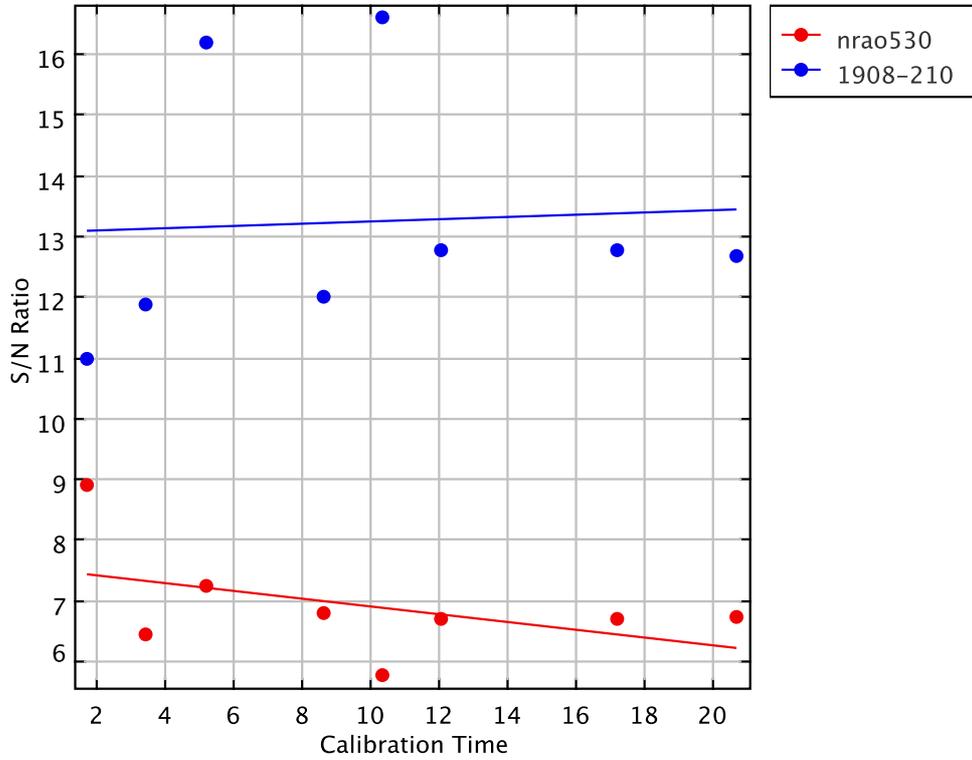


Figura 3.5: S/N en función del tiempo de calibración para 040902-044603

muestra que los picos no provienen del centro sino de picos del ruido. Hay que tener en cuenta además que la fuente es un poco más débil que las del conjunto de datos anterior, 040902-104551, $S = 1.49$ Jy, y que en algunos momentos es observada a baja elevación en algunos momentos (20°).

La conclusión principal en este caso es que no podemos corregir bien las variaciones de fase debido a las condiciones atmosféricas adversas unido al hecho de que las fuentes son débiles.

3.6 Conjunto de datos 040904-195454

Observada a 230 GHz, la opacidad es de ~ 0.1

Fuente	Elevación (deg)	Densidad de Flujo (Jy/beam)
3c279	45-65	7.33 ± 0.42
1334-127	30-50	4.24 ± 0.24
1244-255	30-45	0.69 ± 0.06

Tabla 3.5: Datos correspondientes al conjunto de datos 040904-195454

3c279 es el calibrador primario.

Las condiciones atmosféricas en las que están tomadas los datos en principio son buenas, y la calidad en general de los datos es también buena, lo cual queda confirmado mediante al visualizar los gráficos de la visibilidad. El calibrador principal tiene una dispersión de fase baja, menor de 50° una vez los datos están calibrados, aunque en algunas líneas de base la variación de pico a pico es mayor que 200° con variaciones rápidas de 1 minuto o menos (por ejemplo la línea de base 1-3). Este valor es explicable, además de por las buenas condiciones atmosféricas, por el alto flujo de la fuente. Tanto en el calibrador principal como en las dos fuentes problema se puede ver claramente que las calibraciones mejoran, reduciéndola, el comportamiento de la dispersión de fase de los datos sin calibrar. En el caso de 1334-127, la dispersión de fase es también baja y se reduce con las calibraciones, alcanzando un valor de 50° partiendo del valor original, que se encuentra sobre 100° . En 1244-127 se puede apreciar el mismo comportamiento, pero con una mayor dispersión. Esto es debido a la intensidad de la fuente, menor en un factor 6 y 10, respectivamente, que la de los otros dos cuásares. Un problema que surge es que la estabilidad de la fase de las fuentes problema no está correlada respecto al calibrador principal, probablemente debido a su línea de visión diferente debido a la baja elevación, y una consiguiente aumento del camino óptico a través de la atmósfera. Para las líneas de base más cortas, las fases son bastante planas. Para líneas de base mayores las sucesivas calibraciones mejorar ligeramente la dispersión de pico a pico (especialmente para 1334-127).

Se presenta a continuación una discusión de los resultados numéricos extraídos a partir de las imágenes, así como su representación gráfica:

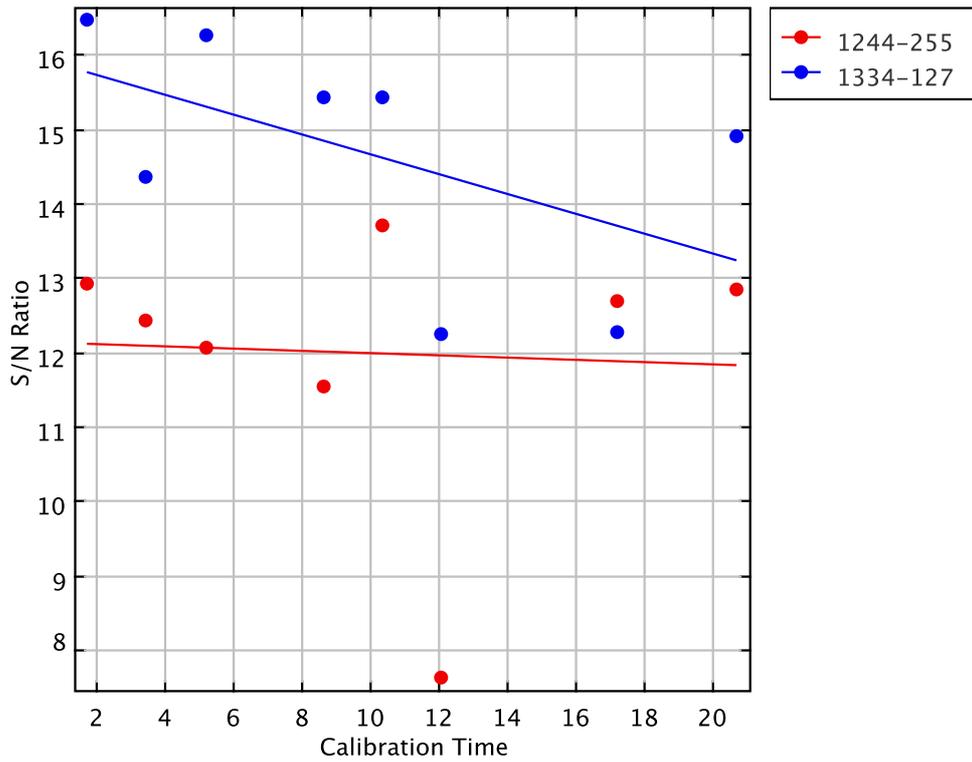


Figura 3.6: S/N en función del tiempo de calibración para 040904-195454

- 1244-255: Como se puede ver en los resultados numéricos, los picos de intensidad máxima y los cocientes S/N se pueden considerar altos, con un valor de ~ 0.015 para los máximos y ~ 12 para el cociente S/N. Estos valores se pueden considerar bastante buenos para una fuente no demasiado intensa. Por otra parte, el RMS (como medida del ruido) no cambia demasiado a medida que incrementamos el tiempo de calibración. Como consecuencia de esto, en la gráfica S/N vs tiempo de calibración se aprecia

que el ajuste lineal es prácticamente plano, con una ligera pendiente negativa. Uno de los puntos, el correspondiente a un tiempo de calibración de 12min 3seg, muestra una alta dispersión, tanto en esta fuente como en el otro cuásar problema. En la imagen generada con los datos de la calibración correspondiente a este tiempo se aprecian picos de ruido mucho mayores que en el resto de calibraciones, lo cual podría explicar el bajo valor (7.62) del cociente S/N. El error de S/N está estimado en ~ 5 .

- 1334-127: Las imágenes obtenidas con las distintas calibraciones están entre las mejores de todos los datasets. Los máximos están cerca de 0.1 Jy, y los cocientes S/N tienen un valor alrededor de 15. Esto implica que en las imágenes se puede ver claramente el pico con un ruido bastante bajo alrededor. El comportamiento de la relación S/N en función del tiempo de calibración puede apreciarse en el gráfico: el S/N decrece claramente a medida que el tiempo de calibración aumenta. Como se ha comentado en la fuente anterior, la calibración de 12min 3seg muestra un extrañamente (en comparación con el resto) bajo valor de S/N. El ajuste lineal muestra una pendiente claramente negativa. Con valores típicos de los mínimos, el error en la estimación de S/N está alrededor de 4.

En las gráficas, el comportamiento de S/N se muestra bastante inestable. La tendencia para la fuente problema más fuerte, 1334-127, es que S/N decrece a medida que incrementamos el tiempo de calibración. Para la otra fuente, la tendencia es prácticamente plana. La diferencia principal con el primer dataset que hemos presentado es que la dispersión de fase es bastante grande para muchas líneas de base, debido probablemente a la mayor elevación del calibrador primario respecto a las fuentes problema

3.7 Conjunto de datos 040905-215041

Observado a 230 GHz, la opacidad durante la toma de datos osciló entre 0.10 y 0.14. La opacidad es similar a la del dataset previo.

Fuente	Elevación (deg)	Densidad de Flujo (Jy/beam)
3c279	45-65	7.33 ± 0.42
1334-127	35-55	4.24 ± 0.24
1244-255	35-45	0.69 ± 0.06

Tabla 3.6: Datos correspondientes al conjunto de datos 040905-215041

3c279 es el calibrador principal.

En las gráficas que muestran el continuo (se muestran, como en todos los casos, las correspondientes a los datos sin calibrar, los de la primera y los de la cuarta calibración) se puede observar que la dispersión en fase es mínima respecto al conjunto de datos previo para elevaciones similares. Aunque las opacidades son similares, la estabilidad de la fase es claramente peor. El calibrador principal presenta en la gráfica un resalte que no es tan fuerte en los otros dos cuásares. La calibración se podría intentar mejorar cambiando algunos parámetros en los procesos de calibración y reducción, pero incluso la primera calibración, con un tiempo de calibración de 1min 43seg muestra una emisión muy débil, dentro del nivel de ruido en muchos casos.

Se adjuntan, como en los otros conjuntos de datos, las gráficas de dispersión de fase para los datos sin calibrar, la primera calibración y la cuarta. De las imágenes generadas y los resultados numéricos que arrojan se puede hacer el siguiente análisis:

- 1244-255: Los resultados de los cocientes S/N son bastante bajos, por debajo de 8, llegando uno de ellos (el correspondiente a la calibración de 17min) a estar por debajo de 5. Debido a ello llega a ser complicado reconocer la fuente en la imagen. Con un RMS no demasiado alto ($\sim 7 \times 10^{-4}$), los máximos no llegan a ser 10 veces superiores, con lo cual los cocientes S/N muestran una alta dispersión y no siguen ninguna tendencia en función del tiempo de calibración.
- 1334-127: Los máximos de esta fuente son mayores que los del otro cuásar problema. Sin embargo, el ruido es también mayor, con valores alrededor

de 2×10^{-3} . Debido a ello, el cociente S/N toma valores menores de 5 para algunas calibraciones. Los máximos de intensidad en la imagen no están tomados en el centro de ésta, por lo que no tenemos la seguridad de estar teniendo en cuenta el máximo real y no uno de los picos de ruido. Tomando como cierto que los máximos están medidos realmente en el pico real, y no en uno de ruido, el cociente S/N no muestra ninguna tendencia clara al cambiar el tiempo de calibración, siendo difícil extraer conclusión alguna debido a la alta dispersión que presentan.

La conclusión es que, incluso con las mismas fuentes que en el conjunto de datos previo, la técnica de fast-switching no modifica los resultados debido a una estabilidad de fase tan pobre que presentan, con fluctuaciones del orden de unos pocos segundos aun no siendo malos los valores de la opacidad. No se detecta un pico central correspondiente a la fuente en ninguna de las imágenes ni tan sólo para la fuente más fuerte. La escasa fiabilidad que ofrecen los resultados nos lleva a no presentar la gráfica de resultados aquí.

3.8 Conjunto de datos 040906-013535

Observado a 230 GHz, con una opacidad de 0.17.

Fuente	Elevación (deg)	Densidad de Flujo (Jy/beam)
3c279	38-46	7.33 ± 0.42
1334-127	32-42	4.24 ± 0.24
1244-255	20-30	0.69 ± 0.06

Tabla 3.7: Datos correspondientes al conjunto de datos 040906-135353

3c279 es el calibrador primario.

Viendo los gráficos de dispersión de fase observamos que, para el calibrador principal, ésta es bastante baja, alcanzando valores por debajo de 50° , y viéndose en el gráfico prácticamente como una línea plana. 1334-127 muestra también una baja dispersión, alrededor de 50° una vez los datos están calibrados. El

caso de 1244-255 es totalmente opuesto: la dispersión de fase es alta antes y después de la calibración, con valores cercanos a 180° . La dispersión de fase para esta fuente no muestra ninguna tendencia clara, como puede verse en los gráficos de visibilidad (como en los casos anteriores, de datos no calibrados y de las calibraciones primera y cuarta) que se adjuntan. La fuente es muy débil y ello, junto a la alta dispersión de fase que presenta, nos ha llevado a no tenerla en cuenta para el análisis, con lo cual los datos que arroja no aparecen en el gráfico S/N vs tiempo de calibración para este dataset.

De las imágenes generadas y sus resultados numéricos podemos hacer el análisis que presentamos tras la gráfica.

- 1244-255: Como ya ha quedado patente en los comentarios sobre las visibilidades, la calidad de las imágenes es muy baja. Los picos son muy débiles (~ 0.004) y no aparecen en el centro de la imagen. El ruido, en comparación, es bastante alto (~ 0.001). Como consecuencia de ello, la relación S/N es, para la mitad de las calibraciones, inferior a 5, y su comportamiento en función del tiempo de calibración no muestra ninguna tendencia visible. Como resultado de ello, es difícil extraer conclusión alguna de esta fuente, con lo que no hemos representado sus datos en el gráfico de S/N.
- 1334-127: Los máximos de intensidad de las distintas calibraciones son bastante altos, cerca de 0.1, y el RMS bastante bajo, alrededor de 0.006. Así, los S/N muestran valores sobre 10, excepto para una calibración en concreto. En el gráfico S/N puede verse que, aunque los puntos presentan una alta dispersión, la tendencia es clara: el cociente S/N disminuye a medida que incrementamos el tiempo de calibración, como confirma un ajuste lineal a los datos.

La situación es bastante similar a la del dataset 040904-195454. Las mismas fuentes, la misma elevación y unas condiciones atmosféricas similares. Parece apreciarse una leve mejora en la S/N de la fuente más fuerte al calibrar más frecuentemente en el calibrador principal. La otra fuente problema se muestra demasiado débil. En algunas líneas de base, por otro lado, la fase del calibrador primario no presenta correlación con la fuente problema.

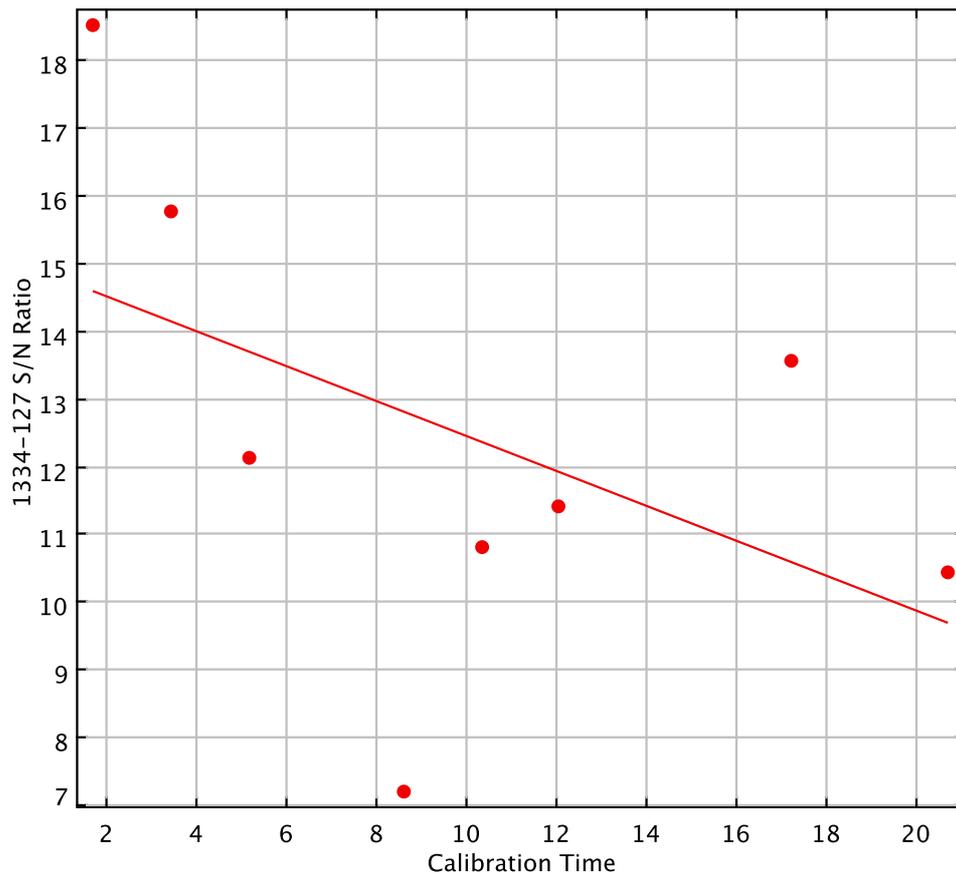


Figura 3.7: S/N en función del tiempo de calibración para 040906-013535

4

Conclusiones y trabajo futuro

Del análisis detallado de los resultados que presentamos se pueden extraer tres grandes rasgos:

1. No existe conexión entre la opacidad y la estabilidad de la fase.

La escala temporal de las fluctuaciones de fase oscila desde unas decenas de segundos hasta los minutos. Incluso las mismas fuentes con elevación similar arrojan resultados distintos en días diferentes. En algunos casos la estabilidad de la fase puede considerarse buena para todas las líneas de base, mientras en otros casos las líneas de base más largas muestran una gran inestabilidad. Una posible explicación de este fenómeno sería una diferencia en el contenido de vapor de agua en la línea de visión de las distintas antenas.

En nuestras observaciones no hay una medida de la opacidad suficientemente rápida como para entrar a discutir si existe una relación entre la variación temporal de la opacidad ($\Delta\tau$) y el seeing.

2. El calibrador principal debe estar lo más cercano angularmente posible a la fuente problema, ya que de este modo se minimiza la diferencia en el contenido de vapor de agua que debe atravesar la señal procedente del calibrador y la fuente problema. En caso de encontrarse a una gran distancia angular, la calibración en fase hecha sobre el calibrador no sería válida para la fuente problema.

La elevación, asimismo, juega un papel fundamental (véase la diferencia entre 040902-104551 y 040906-013535). Una menor elevación de la fuente problema y/o del calibrador implicará una mayor masa de aire atravesada por la onda, estando así expuesta a mayores distorsiones (que redundarán en distorsión de la fase) por parte de la atmósfera. Para algunos conjuntos de datos, la fase del calibrador primario no presenta correlación con la de la fuente problema.

3. Para fuentes brillantes con condiciones atmosféricas con buena estabilidad de fase (entendiendo como tal fluctuaciones de la escala de unos pocos minutos), la conclusión principal es que la relación S/N decrece a medida que incrementamos el tiempo de calibración (datasets 040902-104551, 040906-013535). Encontramos un incremento negativo de S/N alrededor de 4 al pasar de un tiempo de calibración de 2 a 20 minutos en típicamente 3 horas. Los resultados son consistentes con lo establecido por (1), esto es:
 - Con condiciones meteorológicas especialmente buenas, la mejora en S/N no es especialmente significativa al reducir el tiempo de calibración.
 - Con malas condiciones meteorológicas, el fast-switching no aporta ninguna mejora.
 - Para condiciones meteorológicas regulares es cuando el fast-switching ayuda claramente a mejorar la calidad de las imágenes resultantes.

A priori, el fast-switching es una técnica a tener en cuenta en ALMA sólo para determinadas condiciones meteorológicas (como ya se ha descrito, condiciones no especialmente buenas ni malas). En este caso, sin duda, fast-switching es una herramienta que, como queda demostrado a falta de más tests, mejora los resultados obtenidos. Sin embargo, como parte del trabajo futuro se hace imprescindible comparar en profundidad de forma cuantitativa las condiciones atmosféricas de Mauna Kea, donde se han llevado a cabo las pruebas, con las de Chajnantor, donde se implementaría la técnica.

Llegados a este punto, el siguiente paso a dar será la publicación de estos resultados en alguna circular interna dentro de los progresos técnicos que se están llevando a cabo dentro de ALMA. Asimismo, se solicitarán nuevas observaciones para pruebas similares a las que presentamos aquí en SMA, intentando cubrir toda clase de situaciones meteorológicas.

Como se ha comentado en la discusión de algunos de los resultados, puede tenerse en cuenta también de cara al futuro el cambio de algunos de los parámetros de calibración y reducción, a fin de intentar afinar más nuestros resultados.

Por otra parte, la implementación del fast-switching en ALMA presentará tres grandes diferencias con el trabajo que hemos llevado a cabo en SMA:

- Sensibilidad. SMA consta de 8 antenas de 6 metros, mientras que ALMA constará, una vez finalizado, de 50 antenas de 12 m, con un aumento drástico de la sensibilidad. Ello permitirá utilizar cuásares más débiles que los usados en nuestros tests. De hecho, una de las mayores limitaciones con las que se han encontrado nuestras pruebas ha sido la necesidad de contar con un cuásar potente angularmente cercano a la fuente problema, problema que minimizará ALMA, pudiéndose aplicar así el fast-switching a la totalidad de las fuentes que se pretenda estudiar.
- Condiciones atmosféricas. Las condiciones atmosféricas en el sitio de ALMA, en el llano de Chajnantor, son mejores para las observaciones milimétricas y submilimétricas que las que ofrece Mauna Kea, donde está instalado SMA. El menor contenido de vapor de agua de Chajnantor reducirá (sin anularlas) las fluctuaciones de fase generadas por la atmósfera, con lo cual se espera que la mayoría de las horas de observación se den condiciones óptimas para una aplicación exitosa del fast-switching.
- Líneas de base. Éste es el punto que plantea mayores retos de cara al futuro. La mayor línea de base para SMA usada en nuestras pruebas es de menos de 200 metros, frente a los casi 10 km que podrá alcanzar en SMA. Como se ha puesto de manifiesto en la sección 1.2, el RMS asociado a la fase crece a medida que incrementamos la longitud de la línea de base, con lo cual las líneas de mayor longitud tendrán una fluctuación de fase grande incluso bajo buenas condiciones atmosféricas. Será en estos casos donde el fast-switching cobre una importancia capital.

Parte II

Estudio del gas molecular en Grupos Compactos de Hickson

5

Introducción

5.1 Grupos Compactos de Hickson

En 1982 se publica en *The Astrophysical Journal* el artículo de Paul Hickson "Systematic Properties of Compact Groups of Galaxies"(2). Se trata del trabajo seminal que sentará las bases del estudio de lo que más tarde se convino en llamar Grupos Compactos de Hickson (a los que nos referiremos en adelante por sus siglas en inglés, HCG). Es en este trabajo donde se establece el criterio para catalogar un grupo de galaxias como HCG, basado en el cumplimiento de tres condiciones:

1. Población. El número de galaxias con una diferencia máxima de 3 magnitudes con la más brillante en el grupo debe ser mayor o igual a 4. Quedan fuera, pues, los pares y tríos de galaxias, que requieren un estudio diferenciado.
2. Aislamiento. $\theta_N \geq 3\theta_G$, donde θ_G es el diámetro angular del menor círculo que contiene los centros geométricos de todas las galaxias del grupo, y θ_N es el diámetro angular del mayor círculo concéntrico al anterior que no contiene ninguna otra galaxia externa en el rango de brillo de las que forman parte del HCG. Este es el criterio que excluye los cúmulos de galaxias de la muestra, puesto que un conjunto suficientemente compacto de galaxias dentro de un cúmulo puede estar rara vez tan aislado.
3. Compactibilidad. $\overline{\mu_G} < 26$. $\overline{\mu_G}$ es la magnitud total de las galaxias del

grupo por arcsec^2 promediada sobre el círculo de diámetro angular θ_G .

Una vez fijados estos criterios, Hickson catalogó 100 grupos de galaxias, con un número que oscila entre 4 y 8 miembros, mediante el análisis visual de placas fotográficas del *survey* del observatorio de Monte Palomar, estudiando sus propiedades sistemáticas y rasgos morfológicos.

En la discusión de sus resultados, Hickson ya muestra la importancia del estudio de los HCG en base a dos razones. La primera es que asume que los procesos dinámicos responsables de las características particulares de los cúmulos brillantes de galaxias operan también en los grupos compactos. El estudio de los grupos permite de ese modo recabar información sobre los procesos físicos que se dan entre galaxias en los cúmulos, con la ventaja de ceñir el estudio a un número pequeño de galaxias. Por otra parte, el trabajo de Hickson deja patente que en los HCG se dan una serie de características que no permiten tratar a las galaxias presentes en ellos (y, para alguna de estas características, a las galaxias que se encuentran dentro de un cúmulo) del mismo modo que las galaxias de campo. Las conclusiones más importantes del trabajo en este aspecto serían:

1. La fracción de galaxias espirales en los HCG es menor que la que aparece entre las galaxias de campo.
2. Los grupos que contienen una galaxia espiral brillante son, en promedio, significativamente menos compactos que aquellos que no contienen ninguna.
3. Los HCG contienen menos galaxias débiles en proporción a las que aparecen en una muestra de galaxias de campo o en un cúmulo.
4. Los grupos que contienen una galaxia elíptica brillante parecen contener menos galaxias débiles que los grupos que contienen una espiral brillante.

5.2 Las observaciones de CO

La importancia científica de las observaciones de CO radica en que es un indicador del contenido de gas molecular, constituido principalmente por H_2 , estando ligadas las emisiones de CO y el contenido de H_2 por un factor de conversión empírico $X=N_{H_2}/I_{CO}$, cuyo valor se ha determinado entre 2×10^{20} y

$3 \times 10^{20} \text{ mol cm}^{-2} (\text{K km s}^{-1})^{-1}$. El valor que hemos tomado para este trabajo es $X = 2 \times 10^{20} \text{ mol cm}^{-2} (\text{K km s}^{-1})^{-1}$, (véase (3)).

El contenido de gas molecular nos da una medida del total de gas frío contenido en la región que observamos, una galaxia en nuestro caso. Conocido el contenido total de gas molecular, podemos sumarlo al contenido observado en longitudes de onda de radio de gas atómico, obteniendo así la totalidad de gas neutro contenido en nuestra galaxia, el cual representa el combustible para una potencial formación estelar.

5.3 El gas molecular y la formación estelar en los HCG

Uno de los aspectos más relevantes de los grupos de Hickson que han sido señalados por sucesivos estudios es la tendencia a ser deficitarios en su contenido de HI. Es ya un hecho comprobado que las galaxias en interacción y los pares cercanos muestran colores en el óptico más azules (4), un fuerte incremento en la región del espectro del infrarrojo lejano (5),(6) y una potencia superior a la esperada en radio respecto a las galaxias aisladas (7),(8). Ello apunta a un incremento en la tasa de formación estelar, y se esperaba encontrar este rasgo entre los HCG. Sorprendentemente, las altas tasas de formación estelar no han sido observadas. Los trabajos (9) y (10), basados en datos ópticos, concluyen que, aun hallándose una tasa de formación estelar similar a las de los pares de galaxias (y por lo tanto superior a la que muestran las galaxias aisladas), sigue siendo menor a la mostrada por los pares que interactúan violentamente. (11) y (12) no encontraron incremento en la emisión FIR de las galaxias presentes en los HCG respecto a objetos aislados, indicando que la tasa de formación estelar no está significativamente alterada, conclusión similar a la alcanzada mediante el estudio del contenido de H_α de (13).

La teoría más convincente para explicar este fenómeno sugiere una secuencia evolutiva en la cual las sucesivas etapas de los HCG estarían regidas por una continua pérdida de gas atómico, primero desde las galaxias individuales (de las cuales el gas sería expulsado y/o arrancado por fuerzas de marea) y posteriormente de los grupos. Como posible explicación a este fenómeno se propone el calentamiento del gas, que haría que los grupos tuvieran una emisión significativa en rayos X. No obstante, un estudio reciente (14) encuentra que este mecanismo no parece explicar la deficiencia en todos los grupos, por lo que la interpretación sigue abierta. En (15) se apunta, basándose en datos de (16) y

en mapas de VLA para 8 grupos, a un contenido de H_2 y FIR más bajo de lo esperado en galaxias pertenecientes a grupos con deficiencia en HI. La muestra, sin embargo, no puede considerarse estadísticamente significativa debido al bajo número de galaxias observadas. Nuestro objetivo, pues, es ampliar la base de datos de gas molecular en galaxias de HCG existente, en base al criterio de selección que se detalla en el siguiente capítulo, hasta completar una muestra significativa. Completar el censo de CO en estas galaxias nos permitirá comparar, en un trabajo futuro, de modo estadísticamente significativo el contenido de CO (y por tanto de H_2) y de HI, aclarando así si existe una correlación entre sus respectivas deficiencias. De ser sí, se confirmaría la tendencia a la que apunta (15), por la cual la emisión FIR y el contenido en gas molecular es menor en las galaxias con deficiencia de gas atómico, pudiéndose explicar de este modo las bajas tasas de formación estelar en HCG como una consecuencia directa de la falta de gas frío disponible como combustible para la formación estelar.

6

Observaciones

6.1 Selección de la muestra

En el apartado anterior ha quedado ya expuesto que la finalidad de nuestro trabajo consiste en ampliar la base de datos de gas molecular en grupos compactos que ya existía en la bibliografía (11), (12). Para ello se diseñó una campaña de observación en el radiotelescopio de 30 metros de IRAM en el Pico Veleta, con el objetivo de completar las observaciones de gas molecular de una serie de 22 HCG, de los que ya se tenían observaciones de HI hechas con el VLA, mediante la observación individualizada de cada una de sus galaxias. La selección de las galaxias, el tamaño de la muestra y la cantidad y calidad de los datos complementarios en otras longitudes de onda disponibles nos permiten llevar a cabo un estudio detallado del gas frío y la formación estelar en HCG.

Los grupos fueron seleccionados en base a los siguientes criterios:

1. Tener cuatro o más miembros reales (esto es, los tripletes y los falsos grupos fueron excluidos)
2. Contener al menos una galaxia espiral (por lo que la deficiencia de HI y CO puede ser determinada en sentido)
3. Estar localizadas a distancias ≤ 100 Mpc (para $H_0=75 \text{ km s}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$)

Podemos agrupar nuestra muestra en 3 bloques, en función del contenido de HI que presentaran los distintos HCG:

- HCGs con un contenido normal de HI: HCG 16, 23 y 31
- HCGs con un contenido ligeramente deficiente de HI (de 2/3 a 1/3 del valor esperado): HCG 10, 25, 67, 68, 79, 88 y 91.
- HCGs con un contenido claramente deficiente de HI (por debajo de 1/3 de lo esperado): HCG 7, 15, 30, 37, 40, 44, 48, 58, 92, 93 y 97)

Las galaxias que hemos seleccionado para su observación buscan completar el censo de estos 22 HCG, para los que ya existen datos de gas molecular de 53 galaxias sobre un total de 122 presentes en ellos.

6.2 Nuestras observaciones

Las datos que presentamos en nuestro trabajo proceden de observaciones en el rango milimétrico de las líneas de emisión a 115 y 230 GHz de las transiciones rotacionales de la molécula de monóxido de carbono, correspondientes a las transiciones $J(1 \rightarrow 0)$ y $J(2 \rightarrow 1)$ respectivamente. Como hemos explicado en la sección 5.2, hemos adoptado un factor de conversión $X=2 \times 10^{20} \text{ mol cm}^{-2} (\text{K km s}^{-1})^{-1}$. Con este valor, la masa de H_2 se derivó posteriormente a partir de la siguiente ecuación:

$$M_{\text{H}_2} = 75 \times D^2 I_{\text{CO}} \Omega \quad (6.1)$$

donde D es la distancia a la que se encuentra la galaxia medida en Mpc y Ω es el área cubierta por las observaciones en arcsec^2 , que viene dada en el caso de un único apuntado por la relación

$$\Omega = 1.13 \times \theta^2 \quad (6.2)$$

θ , a su vez, es la anchura del haz a media altura. Para nuestras observaciones, θ tiene un valor de 22 arcsec para CO (1-0).

Se propusieron 56 galaxias para su observación, de las cuales finalmente se obtuvieron datos de 51 entre diciembre de 2006 y abril de 2007, en los cuales tuve la oportunidad de observar por primera vez en un gran radiotelescopio, completando en cierto modo una formación básica en este campo y cubriendo así la totalidad del proceso de obtención, reducción y análisis de datos, desde la redacción de la propuesta hasta plasmar los resultados finales.

Las observaciones se llevaron a cabo con la técnica de *wobbler switch* moviendo el espejo secundario con una frecuencia de 0.5 Hz, realizando apuntados sucesivos a la fuente problema y a una posición sin emisión, para sustraer de esta

forma la emisión del cielo. La distancia angular entre los dos apuntados es la máxima que puede alcanzar el telescopio, 200 arcsec. Se llevaron a cabo apuntados regulares a un cuásar cercano a la fuente aproximadamente cada hora.

Las observaciones de CO(1-0) y de CO(2-1) se llevaron a cabo con dos receptores heterodinos para cada frecuencia simultáneamente. El funcionamiento de este tipo de receptores se basa en la multiplicación de la señal entrante por una señal armónica generada por un oscilador local. Cuando las condiciones meteorológicas lo permitieron, se observaron a la vez las líneas de emisión de CO(2-1) para estudiar la excitación del gas, aun no siendo estas observaciones cruciales para nuestro proyecto.

La señal captada por cada uno de los receptores pasa a su vez por un banco de filtros que separa la señal en frecuencias sucesivas. En el caso de las observaciones de CO(1-0), el ancho de banda del banco de filtros es de 512 MHz, con una resolución en frecuencia de 1 MHz, equivalente a aproximadamente 2.6 km/s en velocidad. Para CO(2-1) el ancho de banda es de 1 GHz, con una resolución de 4 MHz, o alrededor de 5.3 km/s en velocidad. Los valores de la resolución en velocidad cambian ligeramente en función de la frecuencia exacta en la que nos encontremos.

Las condiciones atmosféricas a lo largo de las observaciones fueron muy variables. Aun así, la temperatura de sistema media para el caso de CO(1-0) es de 231 K. Para CO (2-1) la temperatura media, una vez excluidos los casos que mostraban errores en la calibración (y que por tanto se han desechado para el análisis posterior) es de 400 K.

6.3 La reducción de los datos

La reducción de los datos se ha llevado a cabo con el paquete CLASS, y el análisis posterior con GREG, ambos desarrollados por IRAM. El proceso de análisis que hemos realizado ha seguido los siguientes pasos:

1. Sustracción de la línea de base. Para ello, a cada uno de los espectros, le hemos sustraído una línea de base, siendo constante para el caso de las observaciones a 115 GHz y lineal para el caso de las llevadas a cabo en 230 GHz.
2. Revisión visual de los espectros uno a uno para desechar aquellos con una

línea de base con mala calidad, generalmente por problemas instrumentales.

3. Eliminación de aquellos canales considerados malos. Consideramos como tales aquellos para los cuales la señal esté por encima de 5σ , donde σ es la dispersión de la intensidad de todos los canales sin línea.
4. Suma de todos los espectros correspondientes a una galaxia y frecuencia dadas. Tras este paso tenemos ya un único espectro por frecuencia para cada galaxia. Será en estos espectros donde determinaremos si existe o no detección de CO en la galaxia a estudiar.
5. Integración a lo largo del intervalo de frecuencias donde se detecta emisión. Esta intensidad integrada será la que posteriormente utilizaremos en la ecuación que nos dará la masa total de H_2 para cada una de las galaxias a estudiar. Para los casos en los que no se observó detección en ninguna de las dos bandas hemos calculado un límite superior del flujo a partir de un valor igual a 3σ y un ancho de banda de 300 Km/s. Para los casos en los que se encontró detección sólo para una de las bandas, el ancho de línea de esta frecuencia se aplicó a la otra para calcular el límite superior.

7

Resultados

7.1 Espectros obtenidos

Presentamos a continuación algunos de los espectros de las 51 galaxias de las que se compone nuestra muestra en las 2 frecuencias en las que se observaron, 115 y 230 GHz. En cada espectro viene indicada la ventana de detección, caso de haberla. Para los casos en los que no se aprecia detección en ninguna de las dos frecuencias, se ha tomado un ancho de línea de 0 a 300 km/s. En los casos en los que se encontró detección sólo para una de las bandas, el ancho de línea de esta frecuencia se aplicó a la otra para calcular el límite superior. Generalmente la calidad de los espectros es mejor y la tasa de detección más alta en 115 GHz. Ello se debe principalmente a dos razones:

- La transparencia atmosférica es mayor a 115 GHz que a 230, con la mejora en la calidad final de la imagen que ello conlleva.
- La eficiencia del telescopio es mayor para 115 GHz.

Se muestran en las figuras 7.1 a 7.3 los espectros de 3 galaxias a modo de ejemplo. En la primera de ellas, 58b, se observa claramente la detección tanto en 115 como en 230 GHz. La siguiente galaxia, 37e, muestra detección tentativa en 115 GHz, no apreciándose en 230 GHz. Por último, presentamos los espectros de 91b, para la que no se ha encontrado detección en ninguna de las dos bandas.

El resto de espectros se presenta en el Apéndice 2.

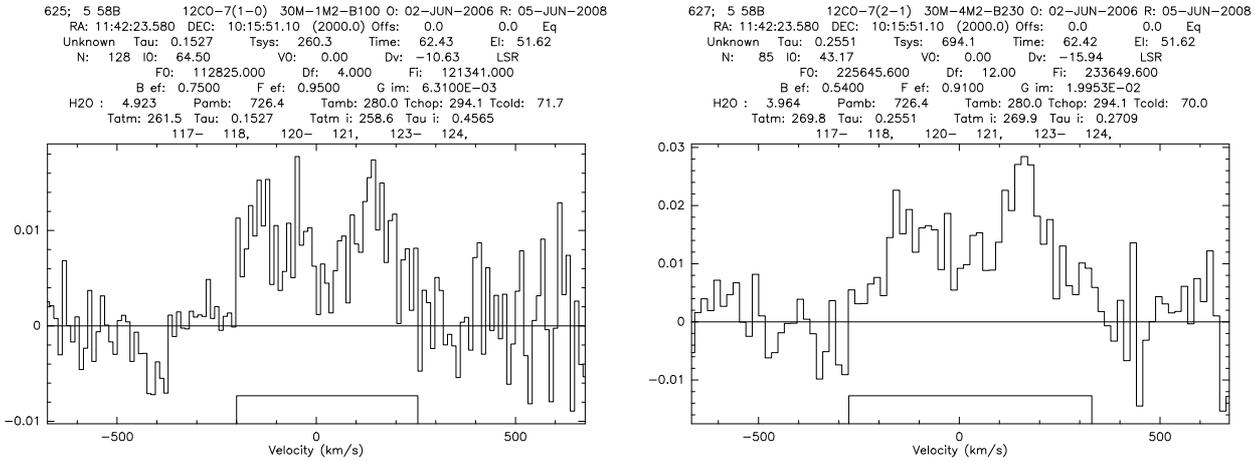


Figura 7.1: HCG 58b, con detección en las dos bandas

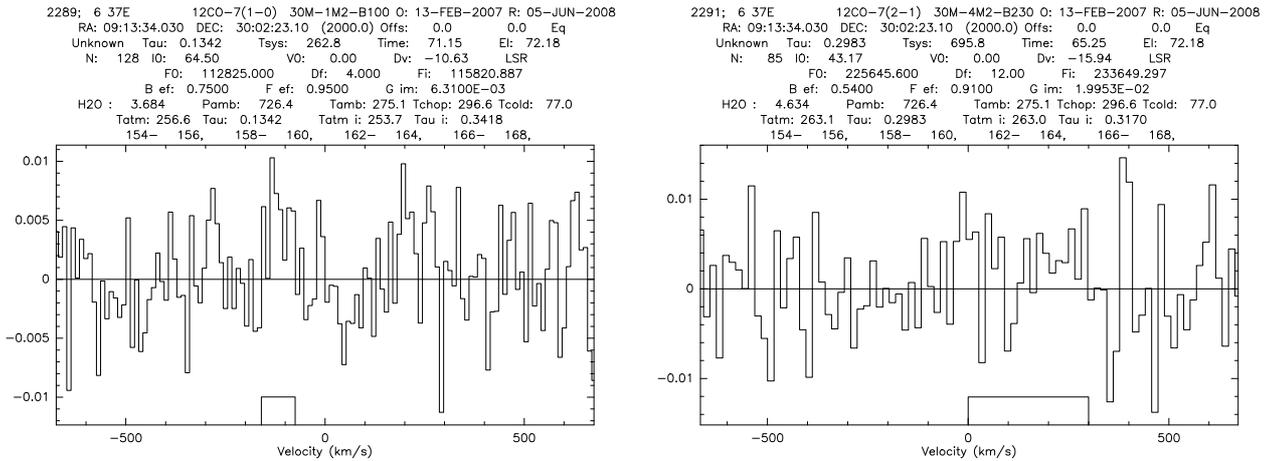


Figura 7.2: HCG 37e, con detección tentativa a 115 GHz y no detección a 230 GHz

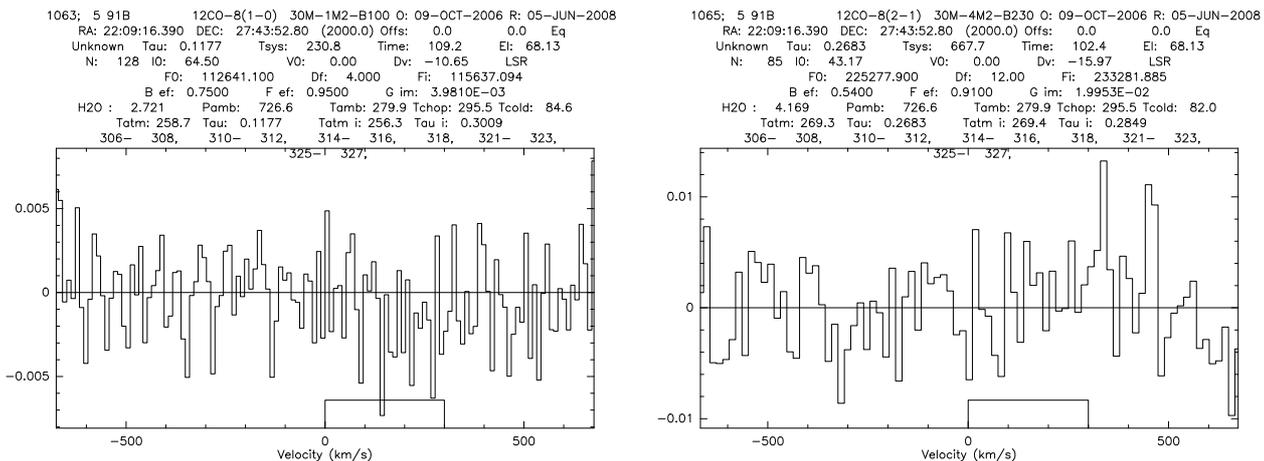


Figura 7.3: HCG 91b, sin detección en ninguna de las dos bandas

7.2 Resultados numéricos

Como se ha comentado en la introducción teórica, a partir de los espectros de la sección anterior se ha calculado la intensidad de la emisión de CO. Presentamos en primer lugar la tabla 7.1 con la velocidad de la galaxias, el ancho de banda de la detección, la intensidad de la emisión de CO calculada y su error.

Tabla 7.1: Intensidades de CO detectadas

Gal	I_{CO10} K km s ⁻¹	ΔV_{10} Km s ⁻¹	Vmed ₁₀ Km s ⁻¹	I_{CO21} K km s ⁻¹	ΔV_{21} Km s ⁻¹	Vmed ₂₁ Km s ⁻¹
15a	0.27 ± 0.14*	135	6707	< 1.45	300	-
15b	< 0.75	300	-	1.23 ± 0.59*	165	7107
15c	< 0.54	300	-	< 0.65	300	-
15d	0.55 ± 0.15	160	6230	< 1.43	160	-
15e	< 0.95	300	7210	< 1.66	300	-
15f	< 0.74	230	-	1.36 ± 0.46*	230	6285
23a	0.88 ± 0.20	360	4780	< 1.06	360	-
25b	2.61 ± 0.25	510	6395	0.81 ± 0.17	225	6527
25d	< 0.40	300	-	< 0.59	300	-
25f	< 0.89	300	-	< 1.35	300	-
37a	0.38 ± 0.13*	185	6662	< 0.79	185	-
37d	0.50 ± 0.10	125	6117	1.22 ± 0.16	170	6095
37e	0.46 ± 0.13*	85	6382	< 1.21	85	-
40b	1.04 ± 0.13	110	295	0.96 ± 0.22	130	295
44b	< 0.70	300	-	< 0.63	300	-
44d	2.33 ± 0.16	155	1592	2.11 ± 0.11	125	1572
58a	29.36 ± 0.19	550	6150	39.65 ± 0.26	545	6147
58b	3.97 ± 0.29	455	6527	7.92 ± 0.61	605	6527
58c	< 0.49	300	-	< 1.03	300	-
58d	< 0.48	300	-	< 0.88	300	-
58e	2.98 ± 0.12	195	6087	3.30 ± 0.15	180	6110
67a	< 0.73	300	-	< 0.62	300	-
68a	< 0.73	105	-	0.87 ± 0.26*	105	2282
68b	0.61 ± 0.26*	85	2867	0.84 ± 0.37*	85	2877
68d	0.61 ± 0.24*	215	2407	1.23 ± 0.15	270	2365
68e	< 1.11	230	-	1.34 ± 0.33	230*	2365
79b	0.91 ± 0.13	320	4430	1.51 ± 0.20	400	4420
79c	0.42 ± 0.12	105	4032	< 1.55	105	-
79d	< 0.66	300	-	< 1.18	300	-
88a	6.39 ± 0.23	550	5960	7.28 ± 0.35	575	5947
88b	3.17 ± 0.13	355	6137	2.97 ± 0.18	480	6110
88c	3.83 ± 0.29	135	6002	4.78 ± 0.58	150	6020
88d	1.01 ± 0.11	225	6102	1.76 ± 0.33	315	6062
91a	0.60 ± 0.16*	235	7082	< 1.06	235	-
91b	< 0.44	300	-	< 0.92	300	-

91c	$0.29 \pm 0.11^*$	80	7190	< 114	300	7180
91d	< 0.76	300	-	< 2.50	300	-
92e	< 0.49	300	-	< 1.04	300	-
93a	1.64 ± 0.10	255	5072	3.02 ± 0.17	295	5072
93b	11.26 ± 0.35	325	4702	13.11 ± 0.48	270	4695
93c	3.83 ± 0.25	520	5090	3.76 ± 0.23	465	5137
93d	< 0.75	300	-	< 1.23	300	5085
97a	< 1.35	300	-	< 2.82	300	-
97b	3.20 ± 0.38	340	6800	< 2.28	300	6935
97c	< 0.49	300	-	$0.55 \pm 0.14^*$	110	6075
97d	< 0.77	300	-	< 3.03	300	-
97e	$0.26 \pm 0.09^*$	65	6562	< 1.31	65	-
100a	2.67 ± 0.30	295	5372	3.35 ± 0.29	275	5362
100b	0.83 ± 0.13	185	5277	1.60 ± 0.23	180	5240
100c	0.87 ± 0.20	105	5487	1.20 ± 0.43	105	5460
100d	< 0.72	140	-	$0.46 \pm 0.18^*$	140	5730

Marcadas con un asterisco (*) las galaxias que presentan detección tentativa

A partir de las intensidades de CO hemos calculado la masa total de H_2 de cada galaxia. Se muestran en la tabla 7.2 junto con el tipo de Hubble y la luminosidad en la banda B, que se discutirá en la sección 7.4. Las distancias se han calculado a partir de las medidas de corrimiento al rojo de las galaxias existentes en la literatura aplicando la ley de Hubble y suponiendo una constante de Hubble $H_0=75$ (km/s)/Mpc

Tabla 7.2: Luminosidades en b y masas de H_2

Galaxia	Tipo de Hubble	Código de Hubble	$\log(M_{H_2})$	$\log(L_B)$	M_{H_2}/L_B	Distancia (Mpc)
15a	Sa	1	8.16	10.03	1.33D-02	92.9
15b	E	-5	< 8.62	9.95	$< 4.67D-02$	94.9
15c	E	-5	< 8.49	10.12	$< 2.36D-02$	96.3
15d	E	-5	8.37	9.74	4.29D-02	83.3
15e	Sa	1	< 8.62	9.63	$< 9.63D-02$	96.0
15f	Sbc	4	< 8.50	9.51	$< 9.69D-02$	83.2
23a	Sab	2	8.35	9.72	4.22D-02	64.0
25b	Sa	1	9.07	9.99	1.20D-01	85.4
25d	S0	-2	< 8.25	9.44	$< 6.47D-02$	85.3
25f	S0	-2	< 8.58	9.25	$< 2.14D-01$	83.7
37a	E	-5	8.28	10.48	6.29D-03	89.9
37d	Sd	7	8.32	9.42	8.10D-02	82.8
37e	E0	-3	8.31	9.32	9.68D-02	84.8
40b	S0	-2	8.73	9.97	5.76D-02	91.2
44b	E	-5	< 7.16	9.69	$< 3.00D-03$	18.4
44d	Sd	7	7.80	9.39	2.59D-02	21.1
58a	Sb	3	10.08	10.22	7.33D-01	81.8
58b	Sa	1	9.26	10.39	7.42D-02	86.7
58c	S0	-2	< 8.30	10.15	$< 1.42D-02$	81.4

58d	E	-5	<8.31	9.95	<2.31D-02	83.6
58e	Sbc	4	9.08	9.73	2.22D-01	80.7
67a	E	-5	<8.62	10.73	< 7.81D-03	96.8
68a	S0	-2	<7.57	10.05	< 3.29D-03	28.8
68b	E	-5	7.67	10.08	3.84D-03	35.1
68d	E	-5	7.59	9.32	1.83D-02	32.1
68e	S0	-2	7.85	9.15	4.96D-02	32.0
79b	S0	-2	8.29	9.81	3.08D-02	59.3
79c	S0	-2	7.90	9.39	3.21D-02	55.3
79d	Sdm	8	< 8.17	9.29	< 7.50D-02	60.0
88a	Sb	3	9.41	10.45	8.93D-02	80.4
88b	Sb	3	9.10	10.27	6.70D-02	80.1
88c	Sc	3	9.19	9.98	1.63D-01	81.1
88d	Sc	3	8.60	9.92	4.78D-02	80.4
91a	Sc	3	8.49	10.68	6.34D-03	91.1
91b	Sc	3	< 8.40	10.12	< 1.90D-02	95.9
91c	Sc	3	8.23	9.88	2.22D-02	97.6
91d	S0	-2	< 8.63	9.82	< 6.54D-02	95.9
92e	E	-5	< 8.37	10.11	< 1.81D-02	88.0
93a	E	-5	8.68	10.58	1.25D-02	68.5
93b	Sd	7	9.43	10.44	9.86D-02	62.3
93c	Sa	1	9.04	10.07	9.36D-02	68.4
93d	S0	-2	< 8.34	9.59	< 5.67D-02	69.0
97a	E	-5	< 8.85	10.31	< 3.44D-02	92.1
97b	Sc	5	9.23	10.05	1.51D-01	92.5
97c	Sa	1	< 8.28	9.84	< 2.79D-02	79.9
97d	E	-5	< 8.52	9.97	< 3.49D-02	83.2
97e	S0a	0	8.09	9.21	7.50D-02	87.7
100a	Sb	3	8.91	10.17	5.54D-02	70.7
100b	Sm	9	8.40	9.72	4.72D-02	70.0
100c	Sc	5	8.45	9.68	5.98D-02	72.8
100d	Scd	6	< 8.39	9.38	< 1.04D-01	74.5

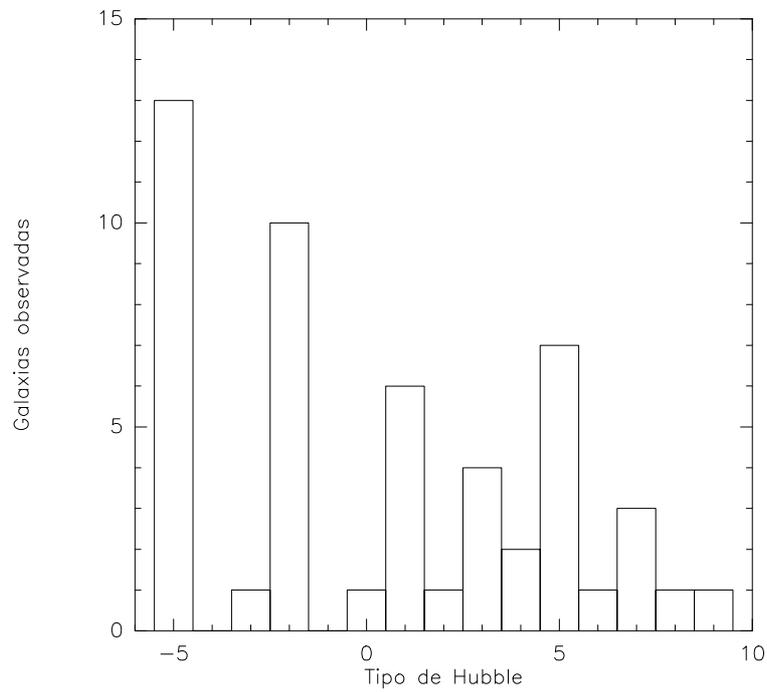


Figura 7.4: Número de galaxias observadas en función del tipo de Hubble

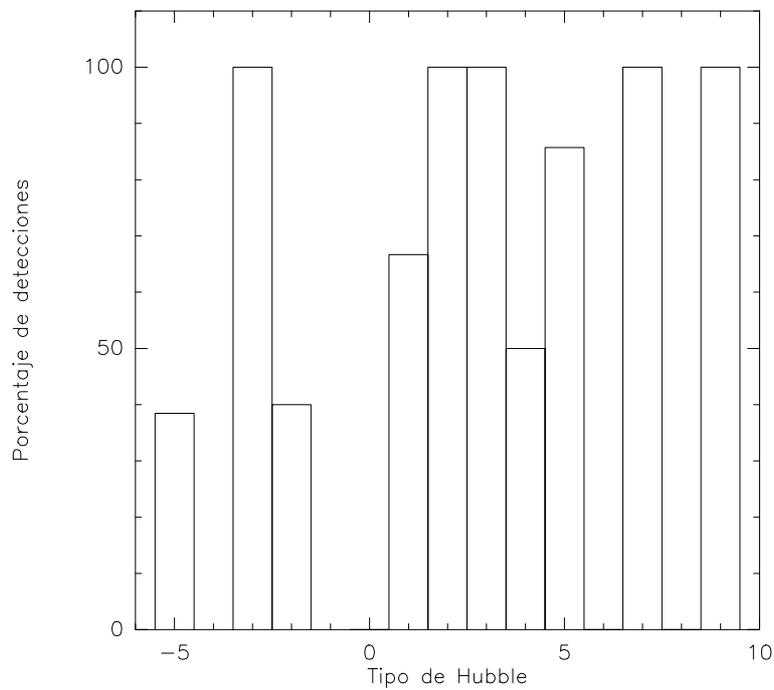


Figura 7.5: Tasa de detección de CO en galaxias en función del tipo de Hubble

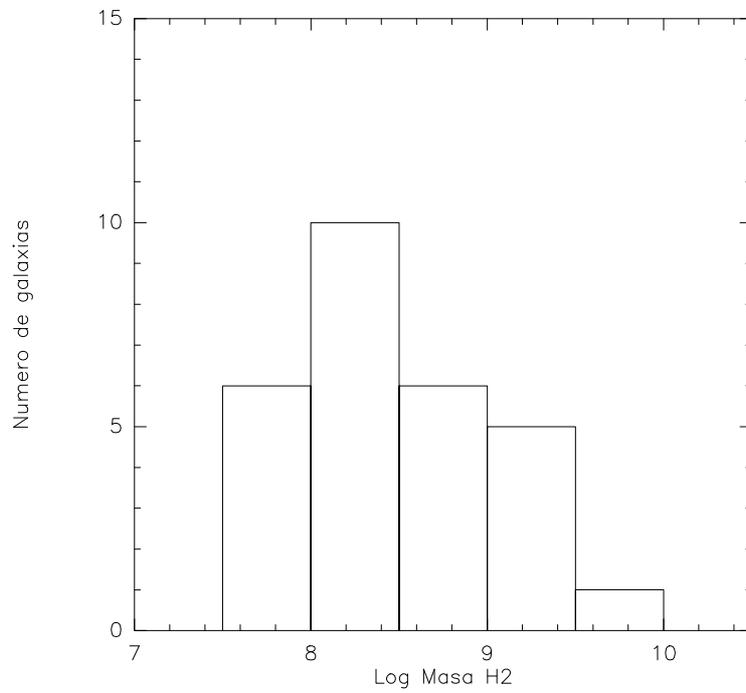


Figura 7.6: Número de galaxias en función de su masa de H_2 (datos en masas solares) se incluyen solamente los datos de las galaxias en las que ha habido detección de CO

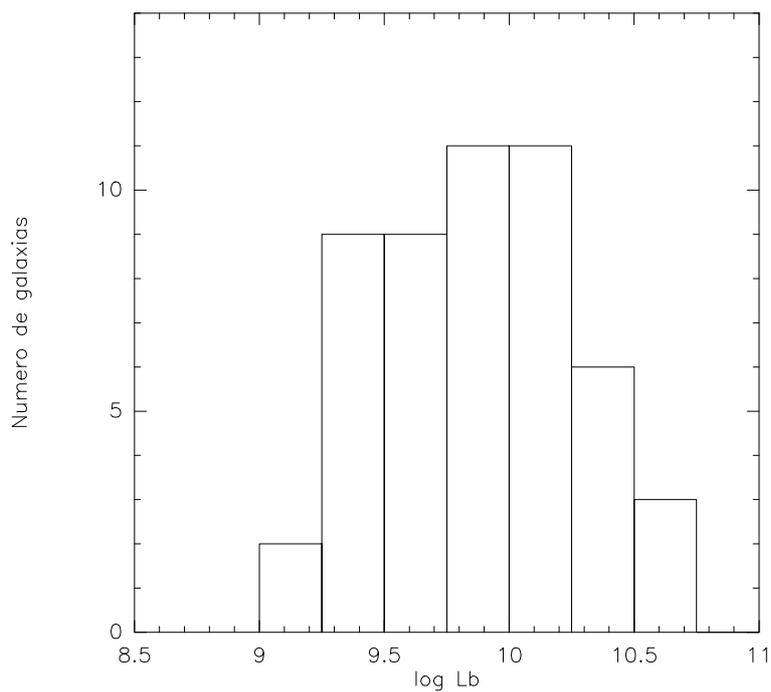


Figura 7.7: Número de galaxias en función de su luminosidad en la banda B

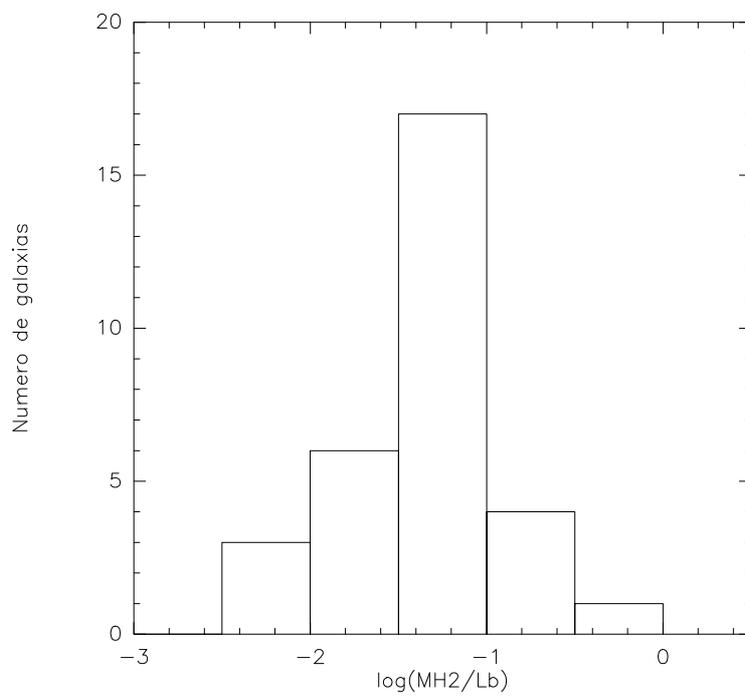


Figura 7.8: Número de galaxias en función de su cociente M_{H2}/L_B . Se incluyen solamente los datos de las galaxias en las que ha habido detección de CO

7.3 Propiedades del gas molecular

En la figura 7.4, vemos el número de galaxias observadas en función del tipo de Hubble. Podemos observar que el número de galaxias espirales e irregulares (tipo 1 a 9) y elípticas/S0 (tipos de -5 a 0) es bastante parecido (27 por 24 galaxias, respectivamente).

Al observar la figura 7.5 podemos constatar que el porcentaje de detecciones en las galaxias espirales/irregulares es mayor que en las elípticas/lenticulares (80% frente a un 40%).

En la figura 7.6 se presenta el número de galaxias en función de su masa de H_2 , expresado en masas solares. El histograma muestra un máximo alrededor en el intervalo de 10^8 - 3×10^8 masas solares. El logaritmo de las masas de H_2 para los casos en que ha habido detección se encuentra en el rango 7.4-8.9.

7.4 Comparación con L_B

Los datos de la luminosidad en la franja azul del espectro óptico se han calculado a partir de los datos de las magnitudes aparentes en el azul, B_{T0} obtenidos de la base de datos LEDA. Estos datos incluyen correcciones para tres efectos distintos: la extinción interna, la extinción Galáctica y la *k-correction*, que corrige los efectos derivados del cambio de banda por corrimiento al rojo. A partir de las magnitudes aparentes corregidas calculamos la magnitud aparente de Zwicky corregida, tal como se deduce en (17)

$$B_{zw-corr} = B_{t0} + 0.136 \quad (7.1)$$

Utilizamos la magnitud corregida de Zwicky porque nos facilitará la comparación posterior con los datos pertenecientes a galaxias aisladas en la sección 7.5, cuya luminosidad se presenta también en términos de la magnitud absoluta de Zwicky.

Una vez calculada la magnitud absoluta de Zwicky, $m_{B-corr-zw}$, a partir de la aparente sólo resta calcular la luminosidad en el azul (o, como es nuestro caso, su logaritmo) en términos de luminosidad solar

$$\log \frac{L_B}{L_{\odot}} = 1.95 - 0.4m_{B-corr-zw} \quad (7.2)$$

En la figura 7.7 representamos la distribución en luminosidad. Los valores que toma el logaritmo de la luminosidad se encuentran en el rango 9.15-10.73, con el máximo entre 9.7 y 10.25.

En la figura 7.9 representamos el cociente $\log(M_{H_2})/\log(L_B)$, que presenta su pico alrededor de -1.25, con un rango de valores que abarca 2.5 órdenes de magnitud (entre -2.5 y 0).

En la figura 7.9 representamos el logaritmo de la masa de H_2 frente al logaritmo de L_B para cada galaxia. Se representan en rojo los límites superiores obtenidos a partir del error para las galaxias en las que no se ha detectado gas molecular. Notamos que existe una correlación entre ambos parámetros, aunque con una alta dispersión.

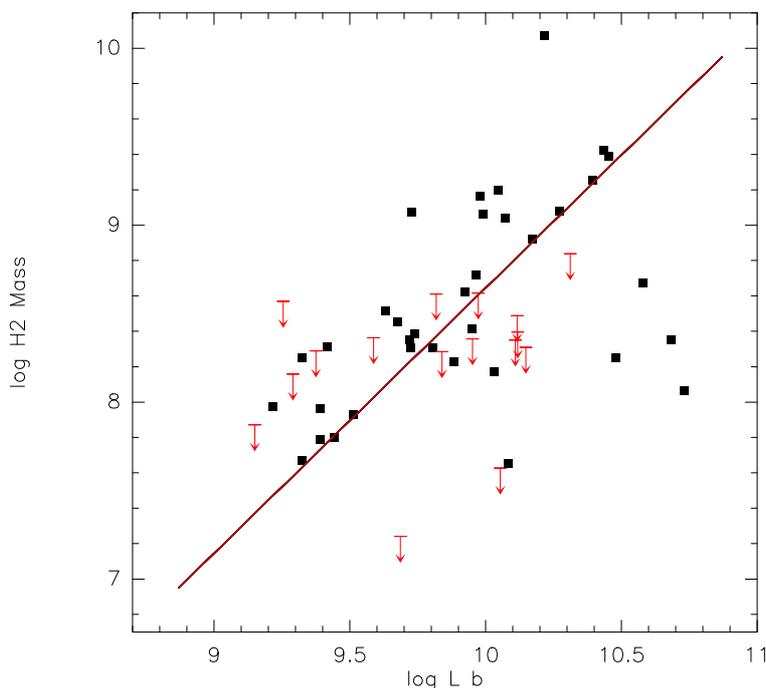


Figura 7.9: Masa de H_2 en función de L_B . En rojo, los límites superiores para los casos en los que no ha habido detección. La recta corresponde a un ajuste sobre datos de galaxias aisladas de la literatura (18)

7.5 Comparación con una muestra de galaxias aisladas

En (18) se ha hecho un análisis similar de una muestra de galaxias aisladas con la que podemos comparar los resultados de nuestra muestra.

Encontramos en primer lugar una diferencia en la tasa de detección: el porcentaje de galaxias elípticas en nuestra muestra es mayor. Sin embargo la tasa de detección de CO en función de la morfología es bastante similar a la que muestran nuestros datos.

En (18) encontramos asimismo histogramas de la distribución de L_B y M_{H_2} . Tanto la forma que presentan los histogramas como los valores de masa y luminosidad para los que existe un mayor número de detecciones coinciden razonablemente.

En la figura 7.9 hemos representado superpuesto a los puntos el ajuste deducido para la muestra de galaxias aisladas en (18) para los datos de la masa de M_{H_2} y L_B . Se observa que nuestros datos se ajustan razonablemente al ajuste de la literatura, indicando que el valor de M_{H_2} es el que se esperaba de su L_B .

En (18) encontramos asimismo histogramas de la distribución de L_B y M_{H_2} . Tanto la forma que presentan los histogramas como los valores de masa y luminosidad para los que existe un mayor número de detecciones coinciden razonablemente. Podemos comparar las figuras 7.4 y 7.5 con las equivalentes para galaxias aisladas. Aquí encontramos una diferencia. Por una parte, el porcentaje de galaxias elípticas respecto al total de galaxias detectadas es mucho mayor en nuestra muestra. Las tasas de detección de CO en función de la morfología, por su parte, son bastante similares a las que muestran nuestros datos.

7.6 Trabajo futuro

El trabajo que aquí hemos presentado supone el comienzo de un estudio más amplio de la relación entre la formación estelar y el contenido de gas neutro en los HCG. A partir de los resultados a los que hemos llegado, se abren nuevas líneas de trabajo a llevar a cabo en un futuro próximo:

- Completar nuestra muestra con datos de gas molecular en HCG procedentes de la literatura (11), (12). Con estos datos completamos la muestra descrita en la sección 6.1.
- Estudiar la relación entre la intensidad de la emisión de CO en las líneas de emisión (1-0) y (2-1).
- Hacer un estudio conjunto del gas molecular y el gas atómico. Comparar los resultados con la formación estelar trazada por la emisión FIR. Estudiar si existe relación entre la deficiencia del contenido total de gas y la deficiencia de formación estelar, como parece apuntar (16).

Parte III
Apéndices

8

Apéndice 1: Gráficas de visibilidades

Presentamos en este apéndice las gráficas de visibilidades de los distintos savesets descritos en el capítulo 4.

8.1 Saveset 040902-104551

Para el caso del saveset 040902-104551 presentamos las gráficas correspondientes a los datos sin calibrar, la calibración de $1/43''$ y la de $(8/36'')$ para 9 líneas de base diferentes, a fin de tener un ejemplo de los datos que arroja el interferómetro no sólo para las 3 líneas de base que se muestran en los otros savesets. El código de colores para las fuentes es el siguiente:

- Verde: 2230+114, calibrador primario
- Azul: 2145+067
- Naranja: 3c454.3

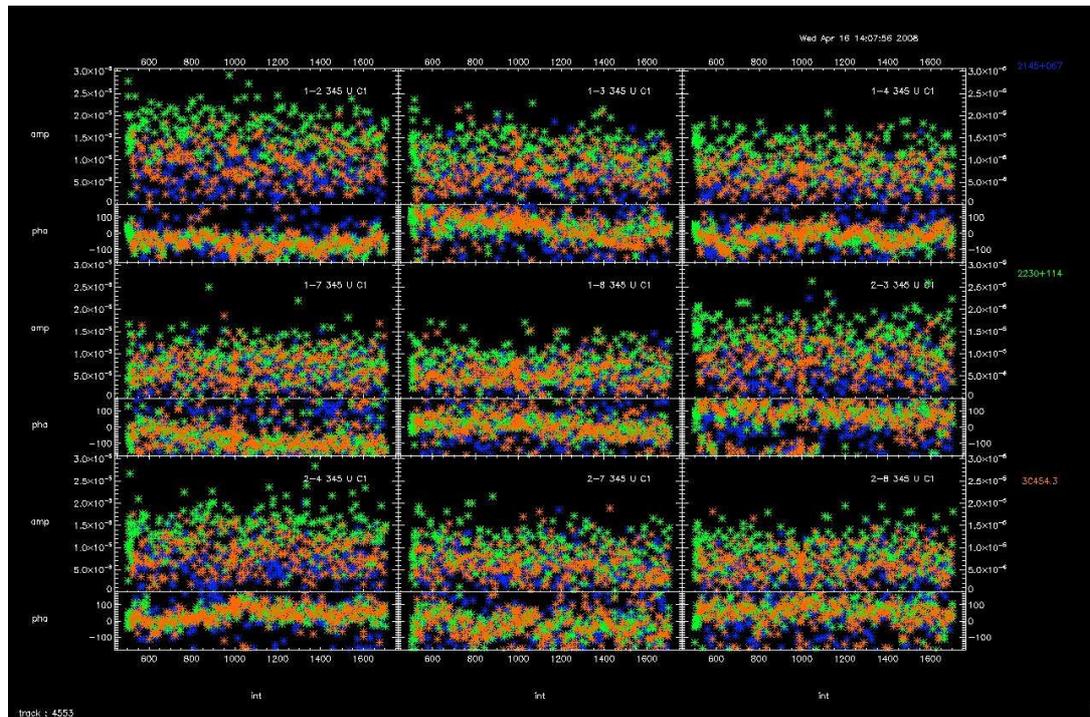


Figura 8.1: Visibilidades correspondientes a los datos sin calibrar

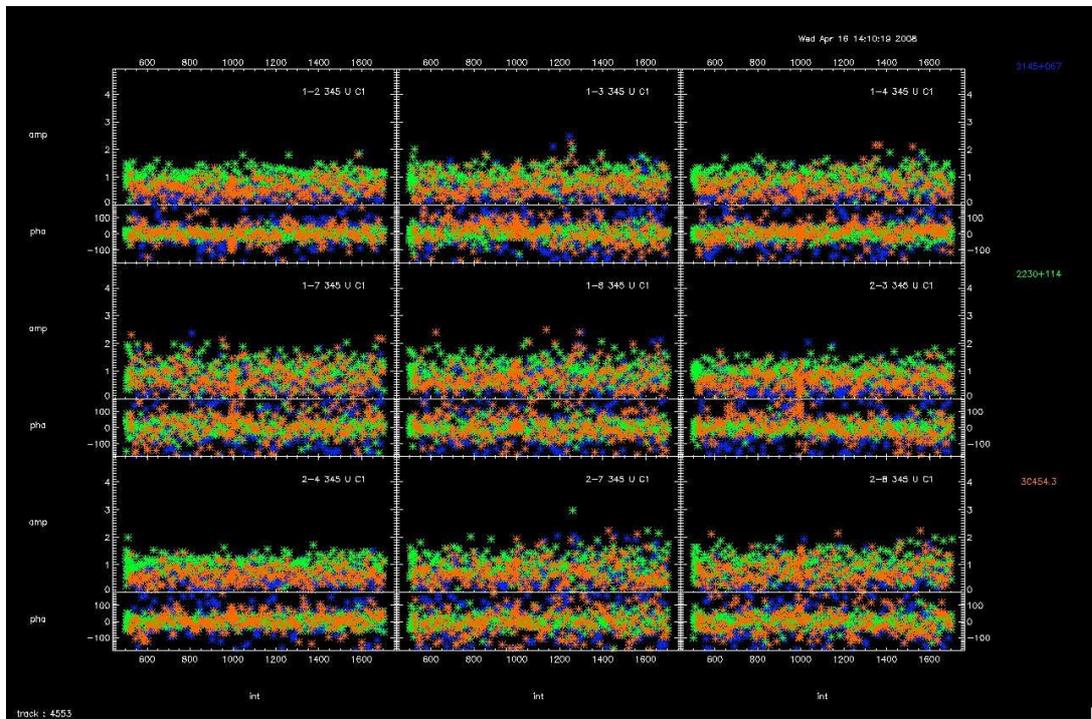


Figura 8.2: Visibilidades correspondientes a un tiempo de calibración de 1/43//

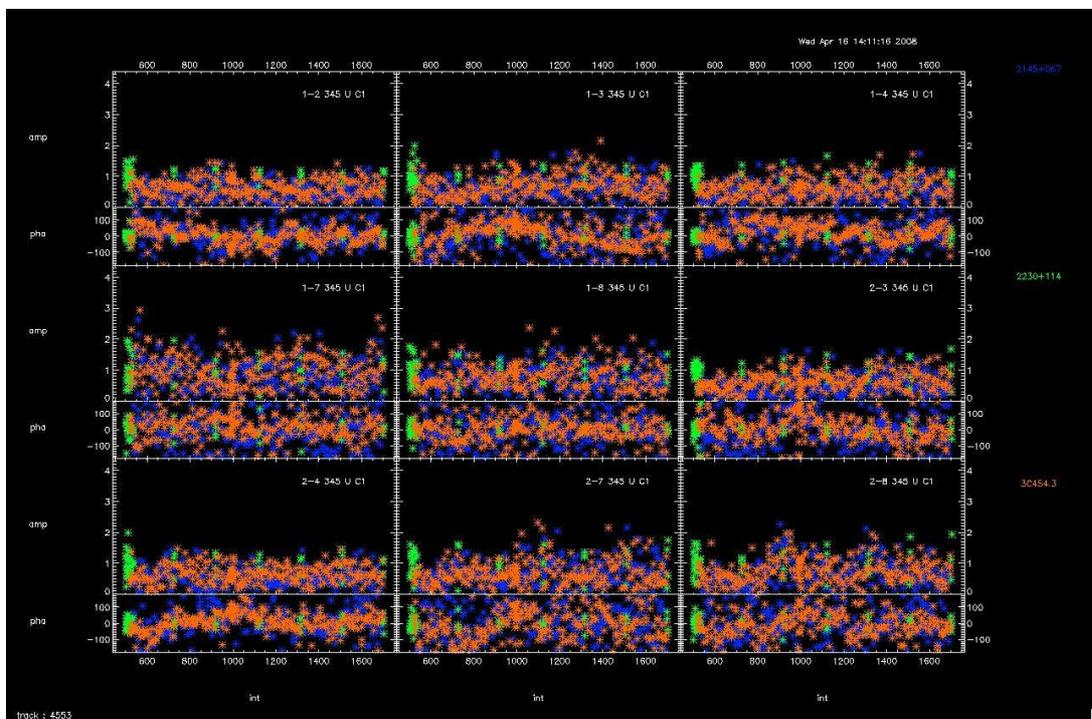


Figura 8.3: Visibilidades correspondientes a un tiempo de calibración de 8/36//

8.2 040902-044603

Tanto en este saveset como en los sucesivos presentamos los datos correspondientes a 3 líneas de base del interferómetro (1-2, 1-3 y 1-4). El código de colores para los gráficos es el siguiente:

- Verde: 1921-293, calibrador primario
- Azul: 1908-201
- Naranja: nrao530

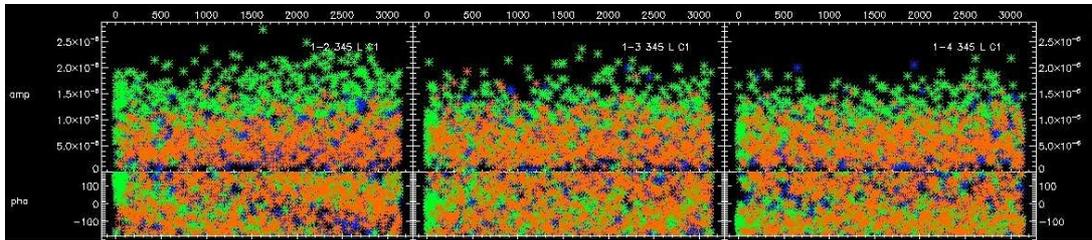


Figura 8.4: Visibilidades correspondientes a los datos sin calibrar

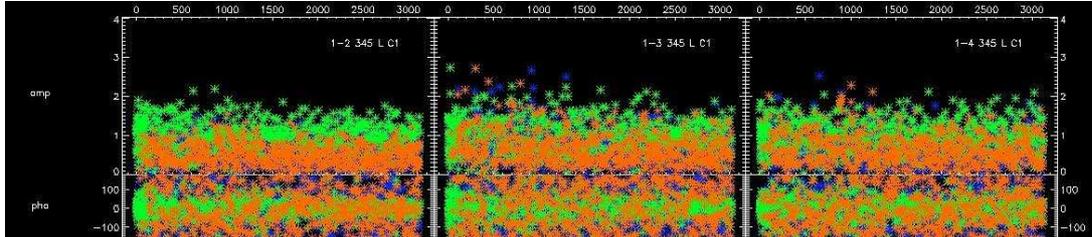


Figura 8.5: Visibilidades correspondientes a un tiempo de calibración de 1/43//

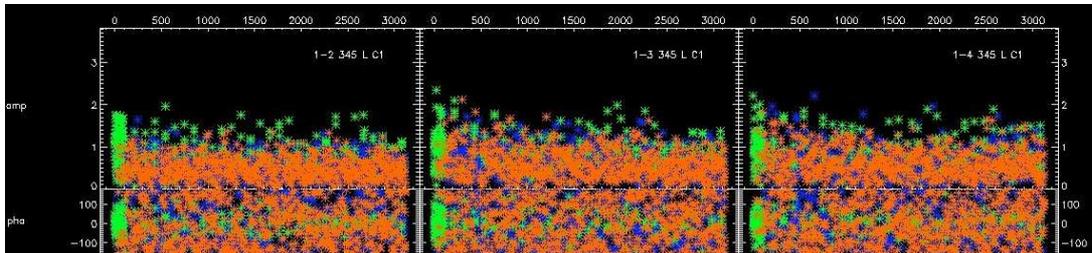


Figura 8.6: Visibilidades correspondientes a un tiempo de calibración de 8/36//

8.3 040904-195454

Código de colores:

- Naranja: 3c279, calibrador primario
- Azul: 1244-255
- Verd: 1334-127

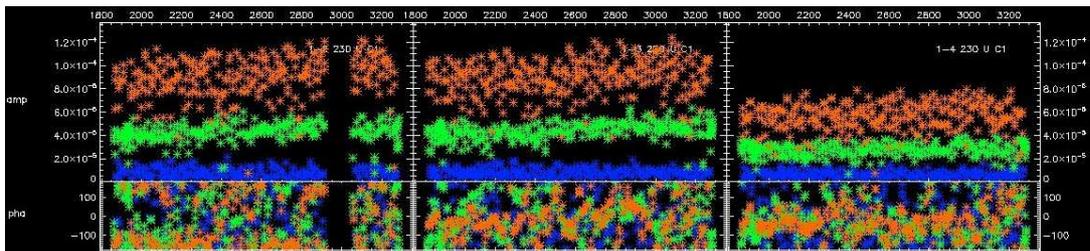


Figura 8.7: Visibilidades correspondientes a los datos sin calibrar

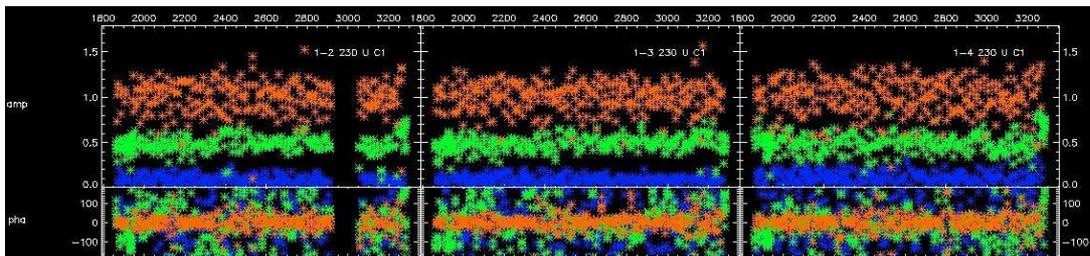


Figura 8.8: Visibilidades correspondientes a un tiempo de calibración de 1/43//

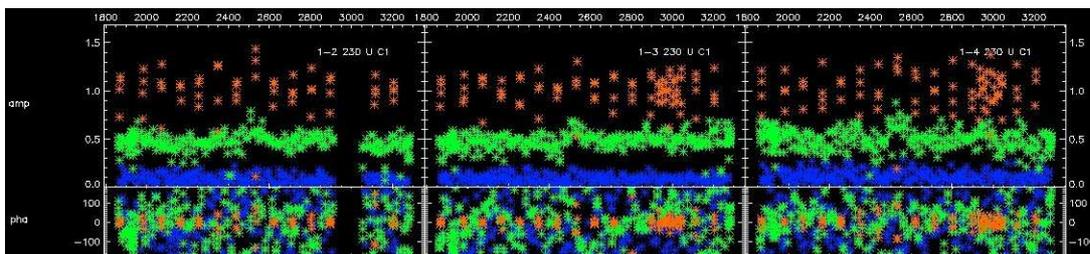


Figura 8.9: Visibilidades correspondientes a un tiempo de calibración de 8/36//

8.4 040905-215041

Código de colores:

- Naranja: 3c279, calibrador primario
- Azul: 1244-255
- Verd: 1334-127

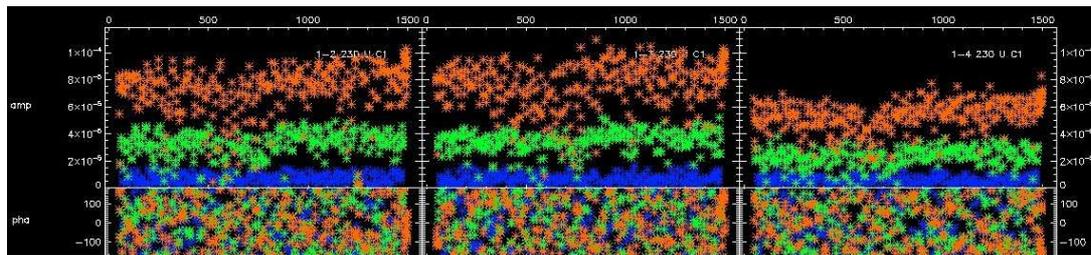


Figura 8.10: Visibilidades correspondientes a los datos sin calibrar

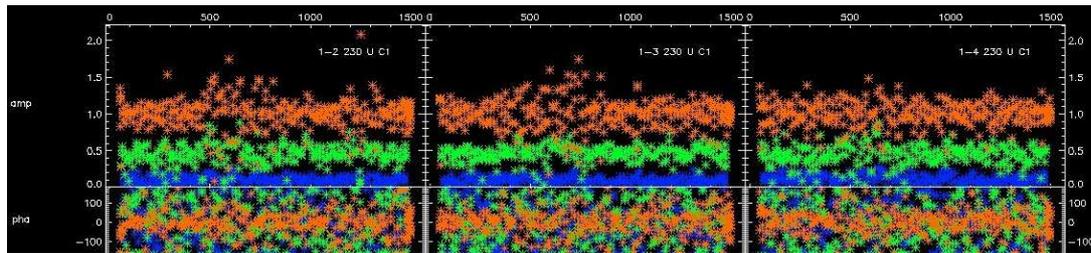


Figura 8.11: Visibilidades correspondientes a un tiempo de calibración de 1/43//

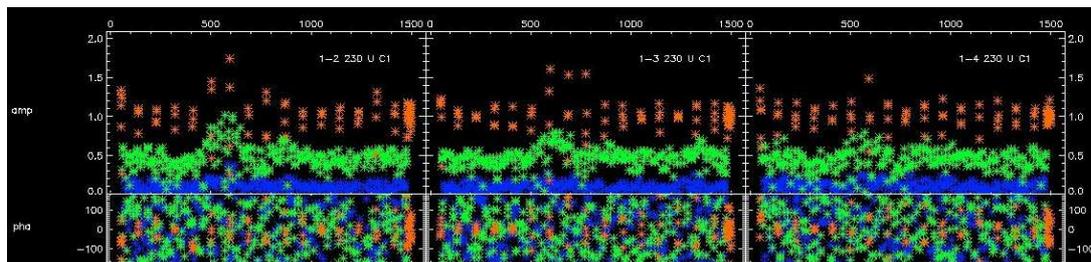


Figura 8.12: Visibilidades correspondientes a un tiempo de calibración de 8/36//

8.5 040906-013535

Para este saveset, presentamos tan sólo las gráficas de visibilidad para las líneas de base 1-0 y 2-1. Su código de colores es el siguiente:

- Naranja: 3c279, calibrador primario
- Azul: 1244-255
- Verd: 1334-127

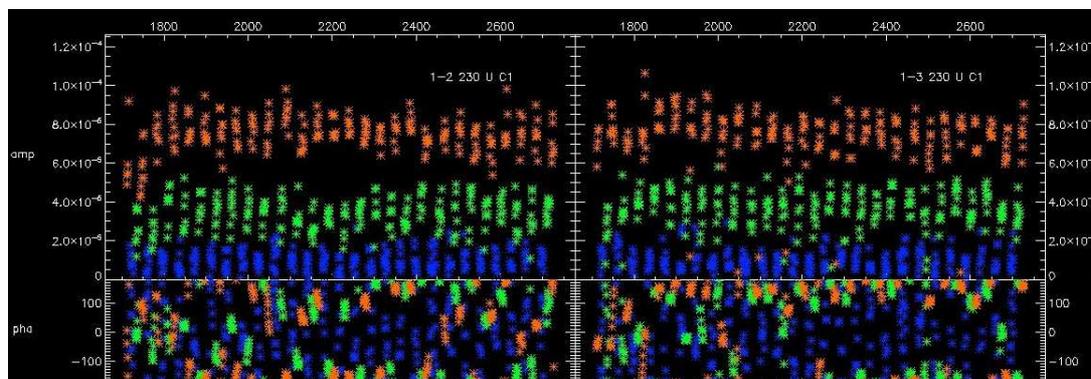


Figura 8.13: Visibilidades correspondientes a los datos sin calibrar

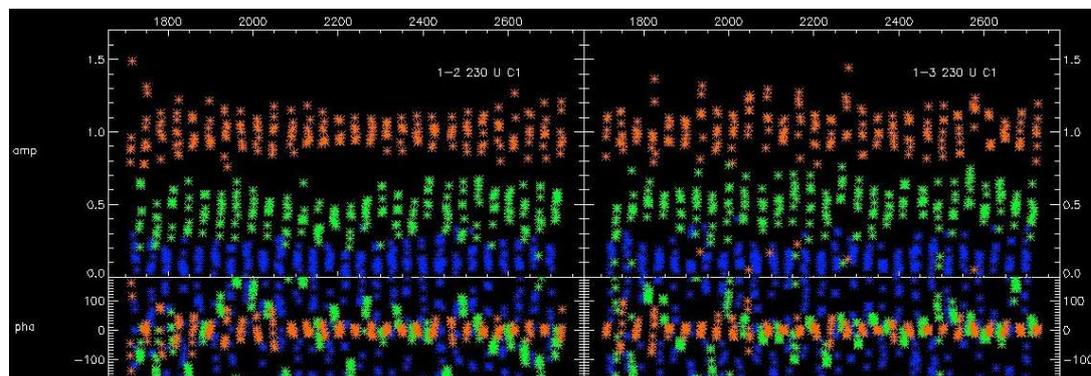


Figura 8.14: Visibilidades correspondientes a un tiempo de calibración de 1/43//

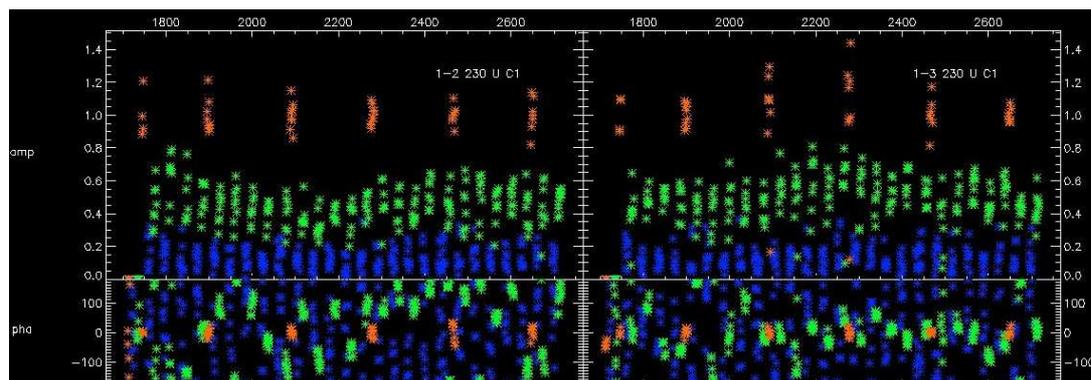
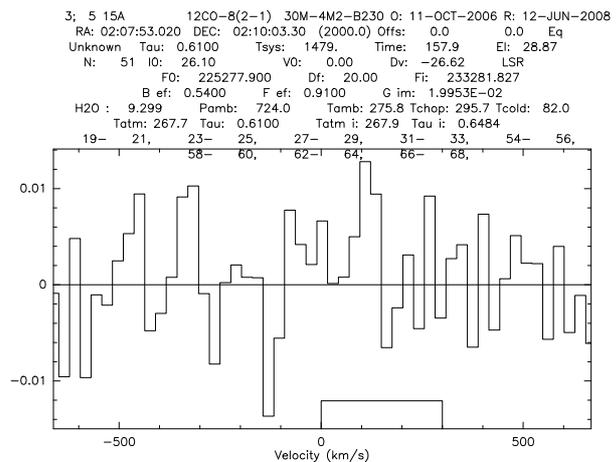
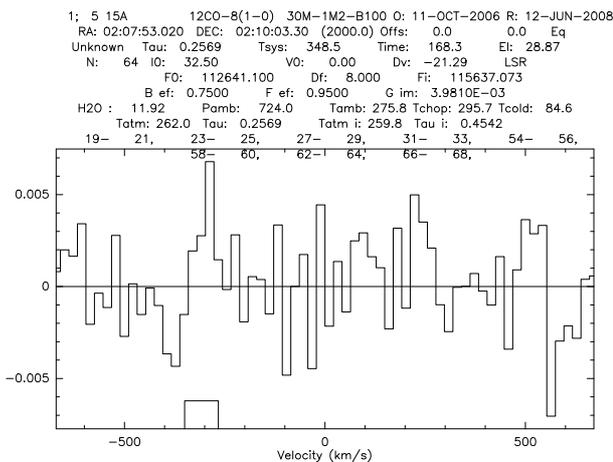


Figura 8.15: Visibilidades correspondientes a un tiempo de calibración de 8/36//

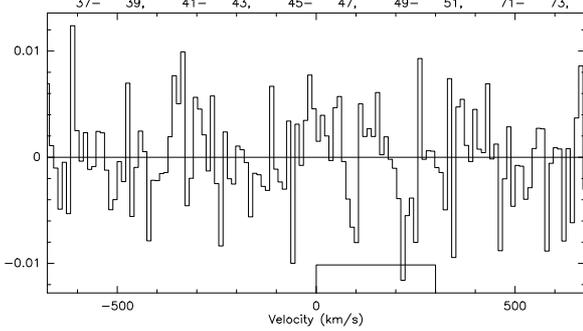
9

Apéndice 2: Espectros de las emisiones de CO de las galaxias en HCGs

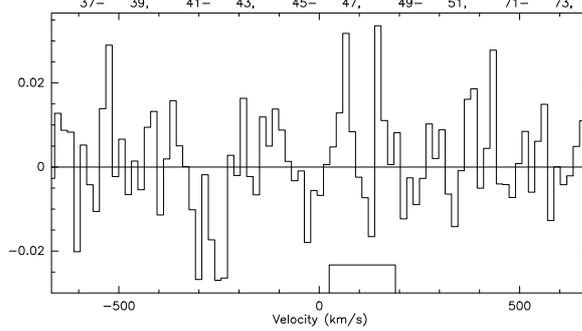
Presentamos a continuación los espectros de emisión de CO correspondientes a las 48 galaxias que no aparecen en el cuerpo del capítulo correspondiente. La resolución en velocidad para la mayoría de las galaxias es de 10.65 km/s para CO(1-0) y 15.92 km/s para CO(2-1), excepto para algunos casos en los que la resolución se ha fijado en un valor más bajo para poder juzgar mejor la presencia o no de una línea de emisión.



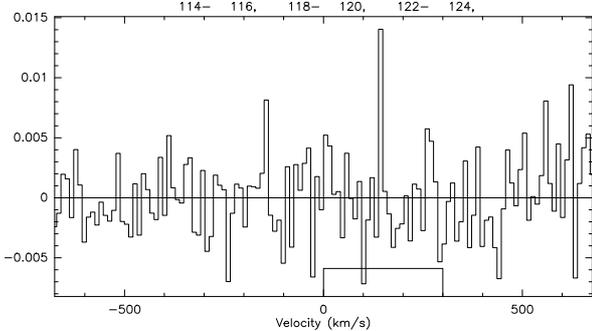
145; 5 15B 12CO-8(1-0) 30M-1M2-B100 O: 11-OCT-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 02:07:34.120 DEC: 02:06:54.70 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2341 Tsys: 377.3 Time: 106.2 El: 24.63
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.65 LSR
 F0: 112641.100 Df: 4.000 Fi: 115637.072
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 10.39 Pamb: 724.1 Tamb: 275.6 Tchop: 295.4 Tcold: 84.6
 Tadm: 261.7 Tau: 0.2341 Tadm i: 259.6 Tau i: 0.4300



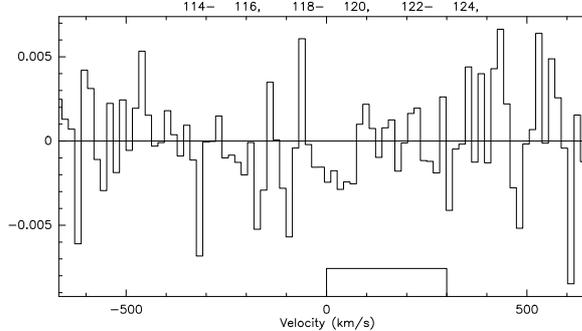
147; 5 15B 12CO-8(2-1) 30M-4M2-B230 O: 11-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 02:07:34.120 DEC: 02:06:54.70 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.5248 Tsys: 1820. Time: 84.93 El: 24.63
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.97 LSR
 F0: 225277.900 Df: 12.00 Fi: 233281.825
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 7.994 Pamb: 724.1 Tamb: 275.6 Tchop: 295.4 Tcold: 82.0
 Tadm: 267.6 Tau: 0.5248 Tadm i: 267.8 Tau i: 0.5577



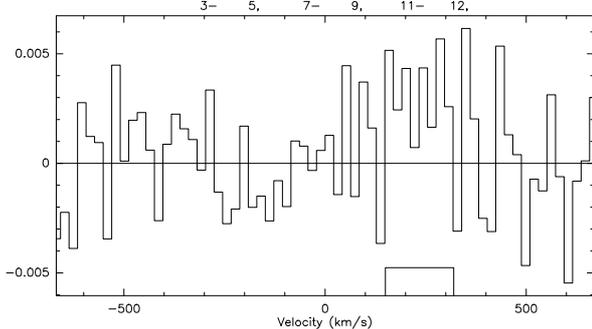
1825; 6 15C 12CO-8(1-0) 30M-1M2-B100 O: 08-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 02:07:39.770 DEC: 02:08:59.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 8.2568E-02 Tsys: 209.1 Time: 61.55 El: 55.11
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.65 LSR
 F0: 112641.100 Df: 4.000 Fi: 115636.799
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 1.0000E-10 Pamb: 717.9 Tamb: 261.9 Tchop: 294.9 Tcold: 79.6
 Tadm: 242.3 Tau: 8.2568E-02 Tadm i: 242.9 Tau i: 0.2747



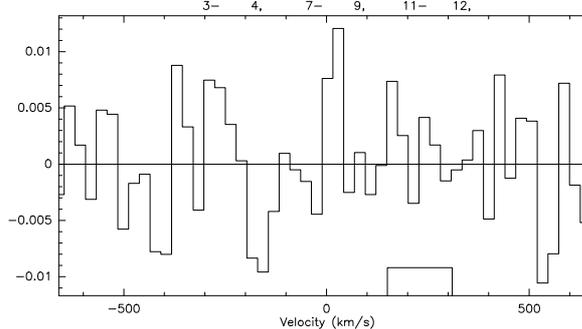
1827; 6 15C 12CO-8(2-1) 30M-4M2-B230 O: 08-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 02:07:39.770 DEC: 02:08:59.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 4.1982E-02 Tsys: 413.5 Time: 58.02 El: 55.11
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.97 LSR
 F0: 225277.900 Df: 12.00 Fi: 233281.097
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 0.5230 Pamb: 717.9 Tamb: 261.9 Tchop: 294.9 Tcold: 77.2
 Tadm: 249.8 Tau: 4.1982E-02 Tadm i: 249.7 Tau i: 4.4100E-02



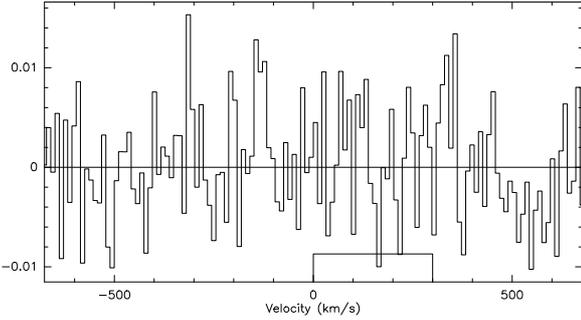
235; 5 15D 12CO-6(1-0) 30M-1M2-B100 O: 07-OCT-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 02:07:37.520 DEC: 02:10:50.80 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1403 Tsys: 250.0 Time: 55.90 El: 54.35
 N: 64 I0: 32.50 V0: 0.00 Dv: -21.22 LSR
 F0: 113009.500 Df: 8.000 Fi: 116005.496
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 3.632 Pamb: 727.7 Tamb: 280.4 Tchop: 296.5 Tcold: 84.6
 Tadm: 259.7 Tau: 0.1403 Tadm i: 257.2 Tau i: 0.3841



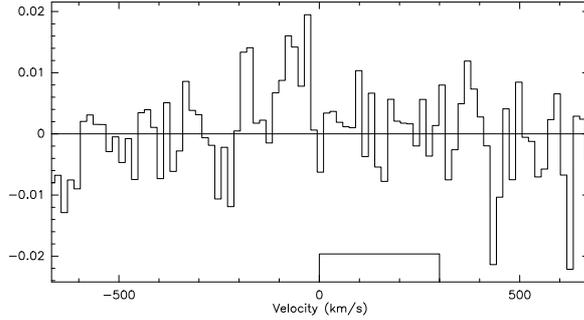
237; 5 15D 12CO-6(2-1) 30M-4M2-B230 O: 07-OCT-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 02:07:37.520 DEC: 02:10:50.80 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2972 Tsys: 724.4 Time: 45.51 El: 54.35
 N: 51 I0: 26.10 V0: 0.00 Dv: -26.53 LSR
 F0: 226014.600 Df: 20.00 Fi: 234018.590
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 4.597 Pamb: 727.7 Tamb: 280.4 Tchop: 296.5 Tcold: 83.2
 Tadm: 269.7 Tau: 0.2972 Tadm i: 269.8 Tau i: 0.3159



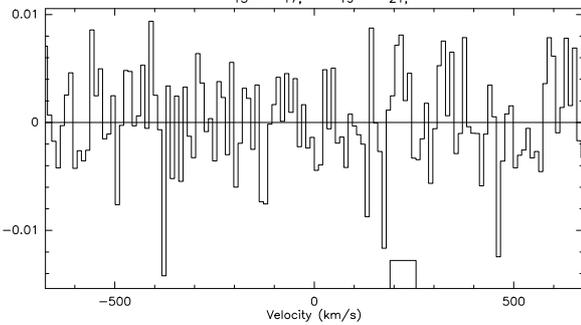
1879; 6 15E 12CO-8(1-0) 30M-1M2-B100 O: 03-FEB-2007 R: 12-JUN-2008
 RA: 02:07:25.360 DEC: 02:06:58.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1972 Tsys: 399.4 Time: 81.13 El: 22.19
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.65 LSR
 F0: 112641.100 Df: 4.000 Ff: 115636.723
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 7.928 Pamb: 721.2 Tamb: 269.2 Tchop: 296.3 Tcold: 71.7
 Tatm: 255.9 Tau: 0.1972 Ttm i: 254.1 Tau i: 0.3903
 119- 121, 123- 125, 127- 129, 131- 133,



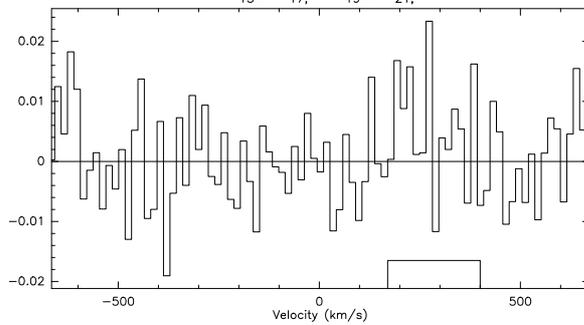
1881; 6 15E 12CO-8(2-1) 30M-4M2-B230 O: 03-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 02:07:25.360 DEC: 02:06:58.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.3425 Tsys: 1158. Time: 81.13 El: 22.19
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.97 LSR
 F0: 225277.900 Df: 12.00 Ff: 233280.892
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 5.150 Pamb: 721.2 Tamb: 269.2 Tchop: 296.3 Tcold: 69.5
 Tatm: 258.7 Tau: 0.3425 Ttm i: 258.6 Tau i: 0.3639
 119- 121, 123- 125, 127- 129, 131- 133,



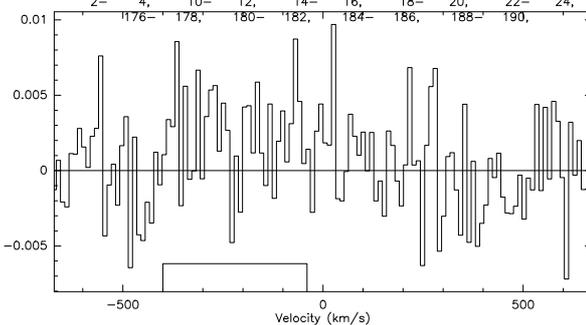
283; 5 15F 12CO-6(1-0) 30M-1M2-B100 O: 07-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 02:07:37.860 DEC: 02:11:25.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1414 Tsys: 250.1 Time: 42.18 El: 55.22
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.61 LSR
 F0: 1133009.500 Df: 4.000 Ff: 116005.496
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 3.730 Pamb: 727.5 Tamb: 280.2 Tchop: 296.4 Tcold: 84.6
 Tatm: 260.0 Tau: 0.1414 Ttm i: 257.4 Tau i: 0.3847
 15- 17, 19- 21,



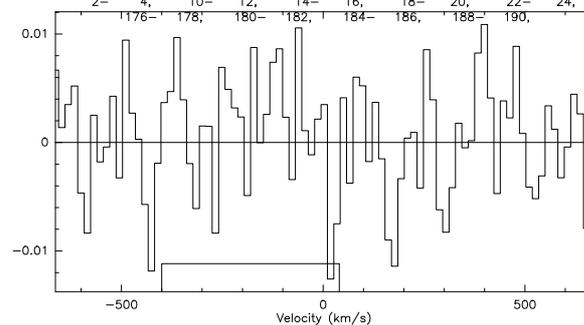
285; 5 15F 12CO-6(2-1) 30M-4M2-B230 O: 07-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 02:07:37.860 DEC: 02:11:25.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.3071 Tsys: 750.4 Time: 28.08 El: 55.22
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.92 LSR
 F0: 226014.600 Df: 12.00 Ff: 234018.588
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 4.761 Pamb: 727.5 Tamb: 280.2 Tchop: 296.4 Tcold: 83.2
 Tatm: 269.9 Tau: 0.3071 Ttm i: 270.0 Tau i: 0.3264
 15- 17, 19- 21,



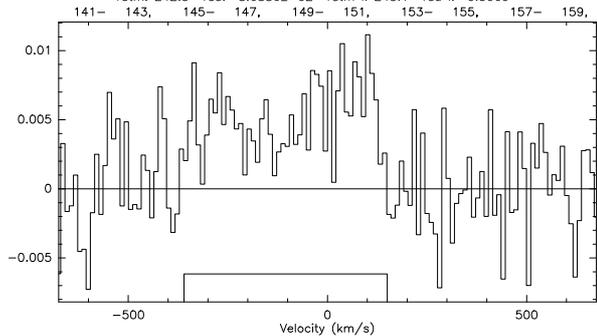
319; 5 23A 12CO-4(1-0) 30M-1M2-B100 O: 08-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 03:06:55.880 DEC: -09:32:38.60 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.4690 Tsys: 374.1 Time: 189.1 El: 35.82
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.58 LSR
 F0: 113380.200 Df: 4.000 Ff: 116375.904
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 25.10 Pamb: 721.4 Tamb: 275.0 Tchop: 296.7 Tcold: 79.7
 Tatm: 262.3 Tau: 0.4690 Ttm i: 260.3 Tau i: 0.8207
 2- 4, 10- 12, 14- 16, 18- 20, 22- 24,
 176- 178, 180- 182, 184- 186, 188- 190,



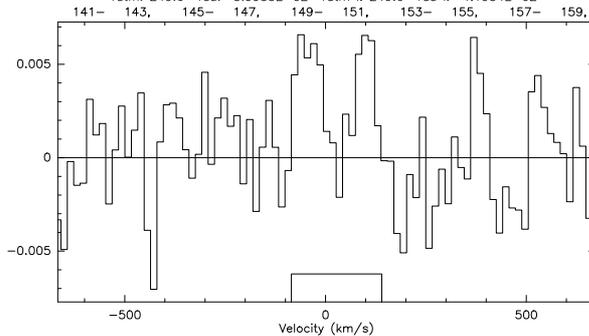
321; 5 23A 12CO-4(2-1) 30M-4M2-B230 O: 08-DEC-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 03:06:55.880 DEC: -09:32:38.60 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.5723 Tsys: 1121. Time: 182.2 El: 35.82
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.87 LSR
 F0: 226756.100 Df: 12.00 Ff: 234759.310
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 8.756 Pamb: 721.4 Tamb: 275.0 Tchop: 296.7 Tcold: 77.3
 Tatm: 262.3 Tau: 0.5723 Ttm i: 262.3 Tau i: 0.6094
 2- 4, 10- 12, 14- 16, 18- 20, 22- 24,
 176- 178, 180- 182, 184- 186, 188- 190,



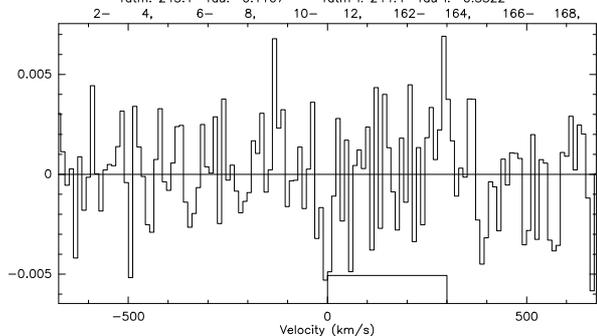
2039: 6 25B 12CO-7(1-0) 30M-1M2-B100 O: 08-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 03:20:45.590 DEC: -01:02:41.50 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 8.6886E-02 Tsys: 217.3 Time: 98.54 El: 49.71
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.63 LSR
 F0: 112825.000 Df: 4.000 Fi: 115820.725
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 6.3100E-03
 H2O : 1.0000E-10 Pamb: 718.2 Tamb: 261.9 Tchop: 295.0 Tcold: 79.6
 Tstm: 242.3 Tau: 8.6886E-02 Tstm i: 243.1 Tau i: 0.3069



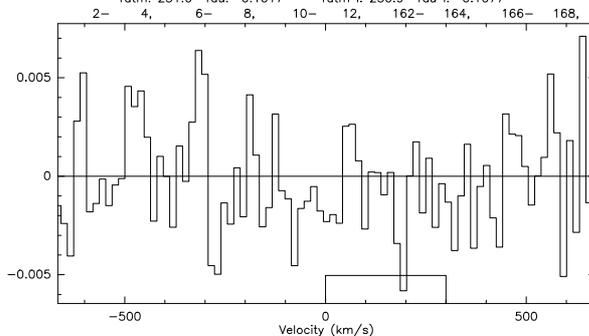
2042: 6 25B 12CO-7(2-1) 30M-4M2-B230 O: 08-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 03:20:45.590 DEC: -01:02:41.50 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 3.9953E-02 Tsys: 411.1 Time: 81.61 El: 49.71
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.94 LSR
 F0: 225645.600 Df: 12.00 Fi: 233648.865
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 0.4916 Pamb: 718.2 Tamb: 261.9 Tchop: 295.0 Tcold: 77.7
 Tstm: 249.6 Tau: 3.9953E-02 Tstm i: 249.6 Tau i: 4.1954E-02



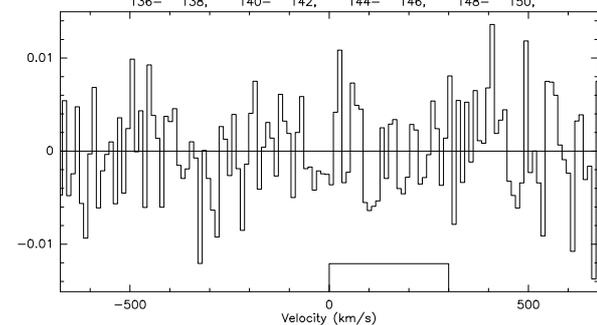
2129: 6 25D 12CO-7(1-0) 30M-1M2-B100 O: 09-DEC-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 03:20:38.810 DEC: -01:02:07.40 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1107 Tsys: 228.0 Time: 103.2 El: 40.60
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.63 LSR
 F0: 112825.000 Df: 4.000 Fi: 115820.724
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 6.3100E-03
 H2O : 1.543 Pamb: 717.8 Tamb: 261.9 Tchop: 295.2 Tcold: 79.6
 Tstm: 245.1 Tau: 0.1107 Tstm i: 244.4 Tau i: 0.3322



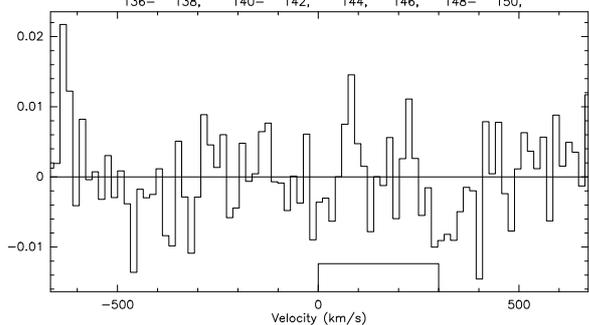
2131: 6 25D 12CO-7(2-1) 30M-4M2-B230 O: 09-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 03:20:38.810 DEC: -01:02:07.40 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1017 Tsys: 441.8 Time: 103.1 El: 40.60
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.94 LSR
 F0: 225645.600 Df: 12.00 Fi: 233648.861
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 1.402 Pamb: 717.8 Tamb: 261.9 Tchop: 295.2 Tcold: 77.7
 Tstm: 251.0 Tau: 0.1017 Tstm i: 250.9 Tau i: 0.1077



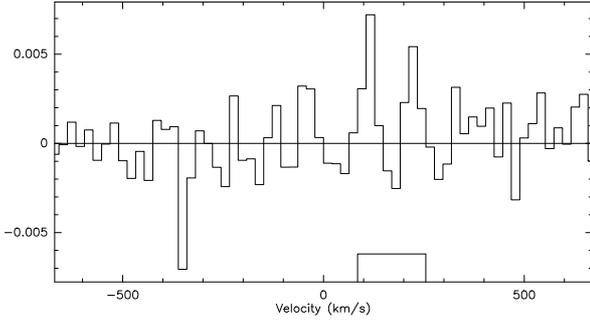
2219: 6 25F 12CO-7(1-0) 30M-1M2-B100 O: 13-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 03:20:45.540 DEC: -01:03:15.30 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1589 Tsys: 341.4 Time: 76.52 El: 30.24
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.63 LSR
 F0: 112825.000 Df: 4.000 Fi: 115820.581
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 6.3100E-03
 H2O : 5.425 Pamb: 726.6 Tamb: 275.1 Tchop: 297.5 Tcold: 77.0
 Tstm: 258.6 Tau: 0.1589 Tstm i: 256.3 Tau i: 0.3705



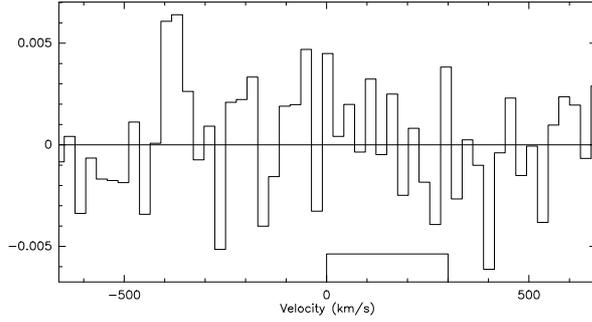
2221: 6 25F 12CO-7(2-1) 30M-4M1-A230 O: 13-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 03:20:45.540 DEC: -01:03:15.30 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.3001 Tsys: 934.4 Time: 63.64 El: 30.24
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.94 LSR
 F0: 225645.600 Df: 12.00 Fi: 233648.480
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 4.659 Pamb: 726.6 Tamb: 275.1 Tchop: 297.5 Tcold: 77.0
 Tstm: 263.6 Tau: 0.3001 Tstm i: 263.5 Tau i: 0.3190



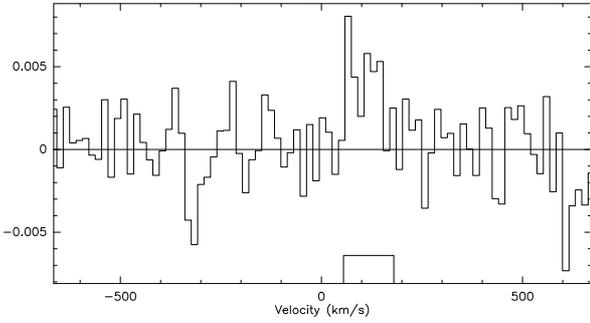
391; 5 37A 12CO-7(1-0) 30M-1M2-B100 O: 02-JUN-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 09:13:39.450 DEC: 29:59:32.70 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1500 Tsys: 230.5 Time: 80.66 El: 81.19
 N: 64 IO: 32.50 VO: 0.00 Dv: -21.26 LSR
 F0: 112825.000 Df: 8.000 Fi: 121341.000
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 6.3100E-03
 H2O : 4.789 Pamb: 726.6 Tamb: 281.0 Tchop: 293.8 Tcold: 71.7
 Tatm: 261.7 Tau: 0.1500 Tatm i: 258.3 Tau i: 0.4516
 103- 104, 106- 107, 109- 110, 112- 113,



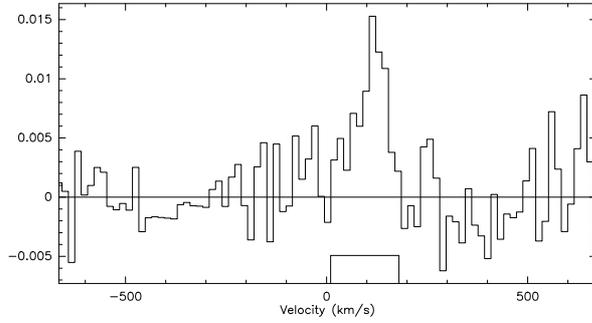
393; 5 37A 12CO-7(2-1) 30M-4M2-B230 O: 02-JUN-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 09:13:39.450 DEC: 29:59:32.70 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2777 Tsys: 611.4 Time: 80.53 El: 81.19
 N: 51 IO: 26.10 VO: 0.00 Dv: -26.57 LSR
 F0: 225645.600 Df: 20.00 Fi: 233649.600
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 4.345 Pamb: 726.6 Tamb: 281.0 Tchop: 293.8 Tcold: 70.0
 Tatm: 270.3 Tau: 0.2777 Tatm i: 270.4 Tau i: 0.2950
 103- 104, 106- 107, 109- 110, 112- 113,



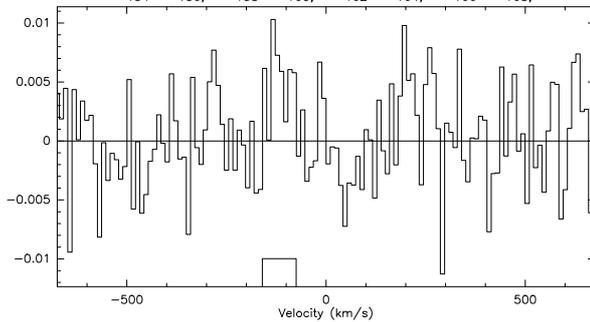
439; 5 37D 12CO-6(1-0) 30M-1M2-B100 O: 05-JUN-2006 R: 09-JUN-2008
 RA: 09:13:33.850 DEC: 30:00:51.90 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1275 Tsys: 221.4 Time: 84.75 El: 53.09
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.92 LSR
 F0: 1133009.500 Df: 6.000 Fi: 116005.500
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 3.002 Pamb: 726.1 Tamb: 281.6 Tchop: 295.2 Tcold: 71.7
 Tatm: 260.6 Tau: 0.1275 Tatm i: 258.2 Tau i: 0.3628
 180- 182, 184- 186, 188- 190, 192- 194,



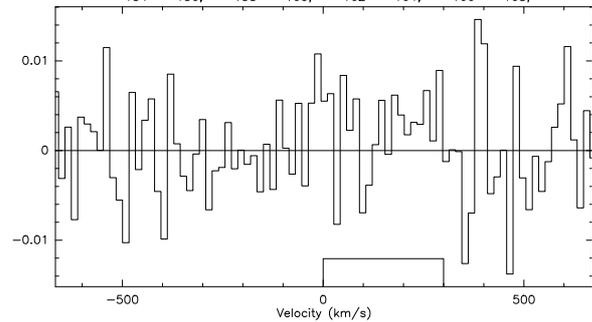
441; 5 37D 12CO-6(2-1) 30M-4M2-B230 O: 05-JUN-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 09:13:33.850 DEC: 30:00:51.90 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1291 Tsys: 471.2 Time: 74.10 El: 53.09
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.92 LSR
 F0: 226014.600 Df: 12.00 Fi: 234018.600
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 1.983 Pamb: 726.1 Tamb: 281.6 Tchop: 295.2 Tcold: 70.5
 Tatm: 270.5 Tau: 0.1291 Tatm i: 270.6 Tau i: 0.1369
 180- 182, 184- 186, 188- 190, 192- 194,



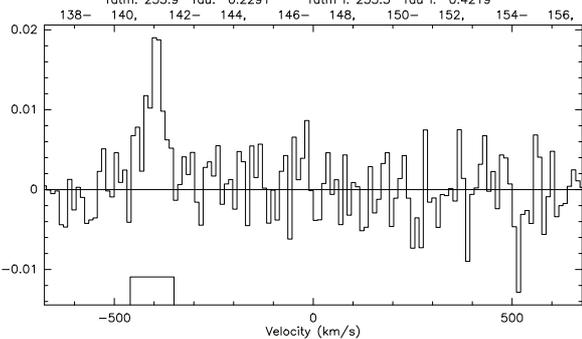
2289; 6 37E 12CO-7(1-0) 30M-1M2-B100 O: 13-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 09:13:34.030 DEC: 30:02:23.10 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1342 Tsys: 262.8 Time: 71.15 El: 72.18
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.63 LSR
 F0: 112825.000 Df: 4.000 Fi: 115820.887
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 6.3100E-03
 H2O : 3.684 Pamb: 726.4 Tamb: 275.1 Tchop: 296.6 Tcold: 77.0
 Tatm: 256.6 Tau: 0.1342 Tatm i: 253.7 Tau i: 0.3418
 154- 156, 158- 160, 162- 164, 166- 168,



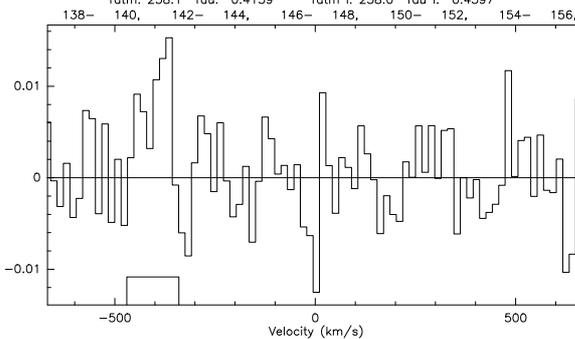
2291; 6 37E 12CO-7(2-1) 30M-4M2-B230 O: 13-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 09:13:34.030 DEC: 30:02:23.10 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2983 Tsys: 695.8 Time: 65.25 El: 72.18
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.94 LSR
 F0: 225645.600 Df: 12.00 Fi: 233649.297
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 4.634 Pamb: 726.4 Tamb: 275.1 Tchop: 296.6 Tcold: 77.0
 Tatm: 263.1 Tau: 0.2983 Tatm i: 263.0 Tau i: 0.3170
 154- 156, 158- 160, 162- 164, 166- 168,



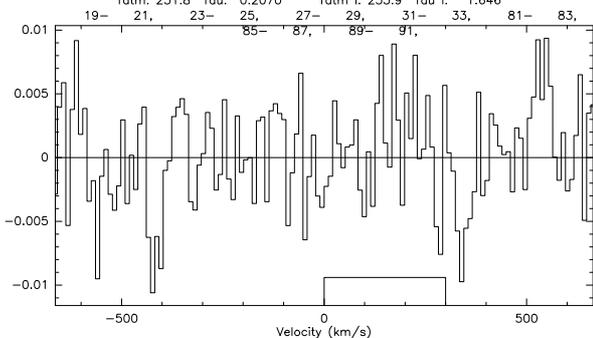
2361; 6 40B 12CO-8(1-0) 30M-1M2-B100 O: 03-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 09:38:55.060 DEC: -04:51:57.80 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2291 Tsys: 334.6 Time: 101.0 El: 42.52
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.65 LSR
 F0: 112641.100 Df: 4.000 Fi: 115637.063
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 10.04 Pamb: 721.1 Tamb: 269.0 Tchop: 296.5 Tcold: 71.7
 Tadm: 255.9 Tau: 0.2291 Tadm i: 253.3 Tau i: 0.4219



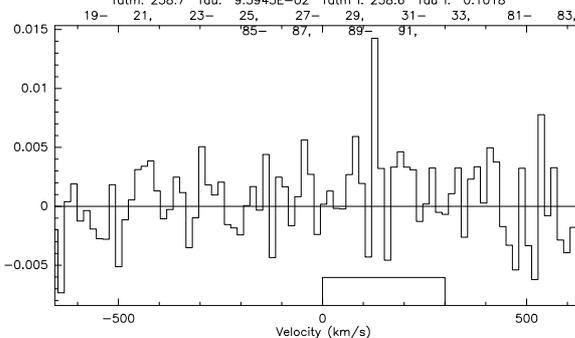
2363; 6 40B 12CO-8(2-1) 30M-4M2-B230 O: 03-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 09:38:55.060 DEC: -04:51:57.80 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.4139 Tsys: 952.6 Time: 94.35 El: 42.52
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.97 LSR
 F0: 225277.900 Df: 12.00 Fi: 233281.802
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 6.232 Pamb: 721.1 Tamb: 269.0 Tchop: 296.5 Tcold: 69.5
 Tadm: 258.1 Tau: 0.4139 Tadm i: 258.0 Tau i: 0.4397



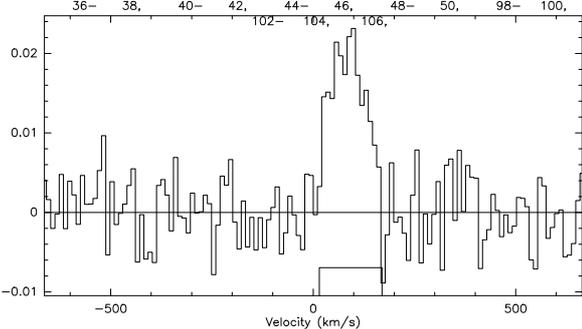
511; 5 44B 12CO-1(1-0) 30M-1M2-B100 O: 18-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 10:18:25.030 DEC: 21:53:34.10 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2070 Tsys: 364.6 Time: 146.1 El: 59.39
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.46 LSR
 F0: 114697.300 Df: 4.000 Fi: 117693.531
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 2.996 Pamb: 725.1 Tamb: 270.5 Tchop: 296.4 Tcold: 79.9
 Tadm: 251.8 Tau: 0.2070 Tadm i: 253.9 Tau i: 1.646



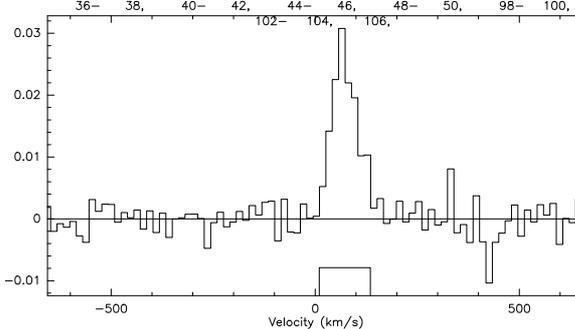
513; 5 44B 12CO-1(2-1) 30M-4M2-B230 O: 18-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 10:18:25.030 DEC: 21:53:34.10 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 9.5943E-02 Tsys: 646.5 Time: 131.8 El: 59.39
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.68 LSR
 F0: 229390.200 Df: 12.00 Fi: 237394.817
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 1.355 Pamb: 725.1 Tamb: 270.5 Tchop: 296.4 Tcold: 77.8
 Tadm: 258.7 Tau: 9.5943E-02 Tadm i: 258.6 Tau i: 0.1018



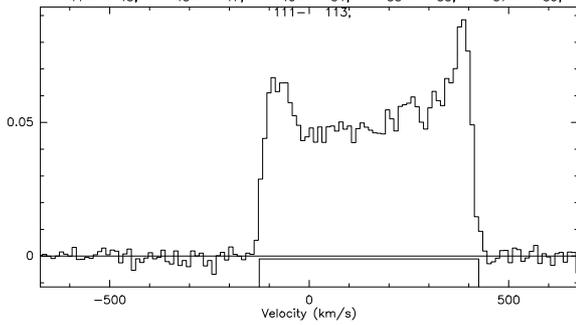
565; 5 44D 12CO-1(1-0) 30M-1M2-B100 O: 18-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 10:17:48.000 DEC: 21:52:23.90 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1938 Tsys: 344.1 Time: 127.1 El: 70.76
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.46 LSR
 F0: 114697.300 Df: 4.000 Fi: 117693.529
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 2.134 Pamb: 724.4 Tamb: 271.6 Tchop: 296.4 Tcold: 79.9
 Tadm: 250.9 Tau: 0.1938 Tadm i: 253.0 Tau i: 1.631



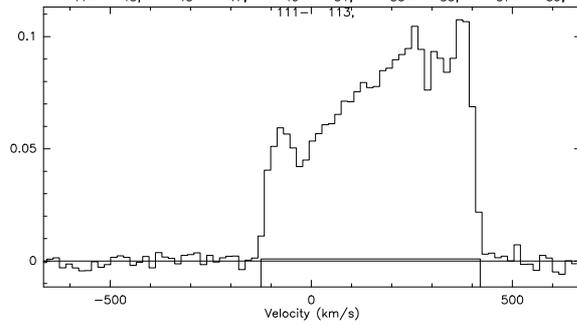
567; 5 44D 12CO-1(2-1) 30M-4M2-B230 O: 18-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 10:17:48.000 DEC: 21:52:23.90 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 4.5284E-02 Tsys: 525.2 Time: 123.7 El: 70.76
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.68 LSR
 F0: 229390.200 Df: 12.00 Fi: 237394.813
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 0.5892 Pamb: 724.4 Tamb: 271.6 Tchop: 296.4 Tcold: 77.8
 Tadm: 257.6 Tau: 4.5284E-02 Tadm i: 257.5 Tau i: 4.7771E-02



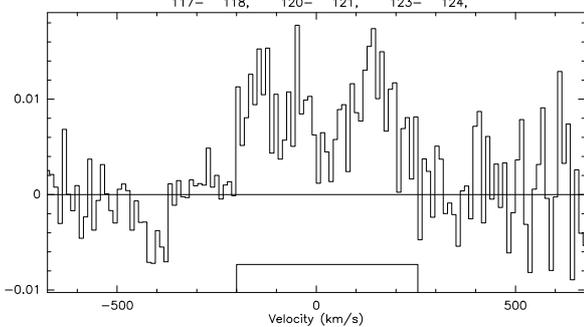
607; 5 58A 12CO-6(1-0) 30M-1M2-B100 O: 15-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 11:42:11.080 DEC: 10:16:39.70 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1159 Tsys: 225.8 Time: 124.5 El: 61.78
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.61 LSR
 F0: 113009.500 Df: 4.000 Fi: 116005.802
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 1.797 Pamb: 722.4 Tamb: 268.9 Tchop: 296.3 Tcold: 79.6
 Tstm: 249.6 Tau: 0.1159 Tstm i: 248.3 Tau i: 0.3576



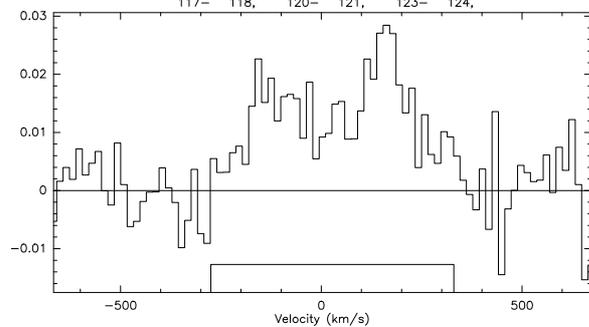
609; 5 58A 12CO-6(2-1) 30M-4M2-B230 O: 15-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 11:42:11.080 DEC: 10:16:39.70 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1847 Tsys: 558.1 Time: 117.6 El: 61.78
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.92 LSR
 F0: 226014.600 Df: 12.00 Fi: 234019.407
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 2.721 Pamb: 722.4 Tamb: 268.9 Tchop: 296.3 Tcold: 78.3
 Tstm: 257.0 Tau: 0.1847 Tstm i: 256.9 Tau i: 0.1960



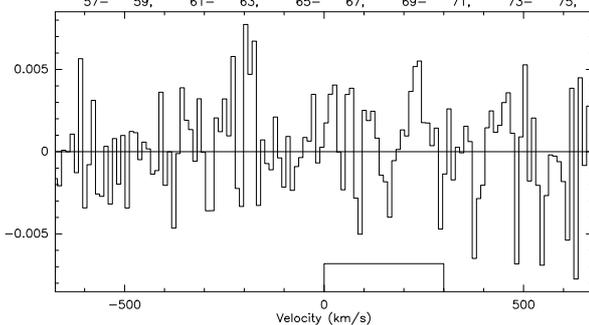
625; 5 58B 12CO-7(1-0) 30M-1M2-B100 O: 02-JUN-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 11:42:23.580 DEC: 10:15:51.10 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1527 Tsys: 260.3 Time: 62.43 El: 51.62
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.63 LSR
 F0: 112825.000 Df: 4.000 Fi: 121341.000
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 6.3100E-03
 H2O : 4.923 Pamb: 726.4 Tamb: 280.0 Tchop: 294.1 Tcold: 71.7
 Tstm: 261.5 Tau: 0.1527 Tstm i: 258.6 Tau i: 0.4565



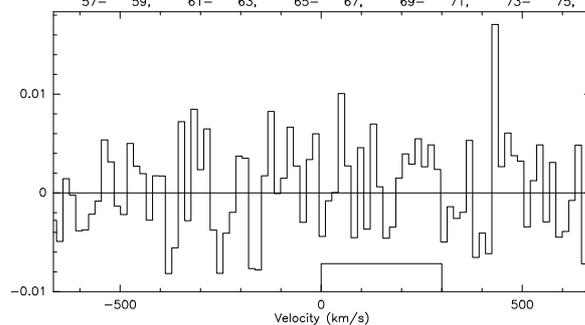
627; 5 58B 12CO-7(2-1) 30M-4M2-B230 O: 02-JUN-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 11:42:23.580 DEC: 10:15:51.10 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2551 Tsys: 694.1 Time: 62.42 El: 51.62
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.94 LSR
 F0: 225645.600 Df: 12.00 Fi: 233649.600
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 3.964 Pamb: 726.4 Tamb: 280.0 Tchop: 294.1 Tcold: 70.0
 Tstm: 269.8 Tau: 0.2551 Tstm i: 269.9 Tau i: 0.2709



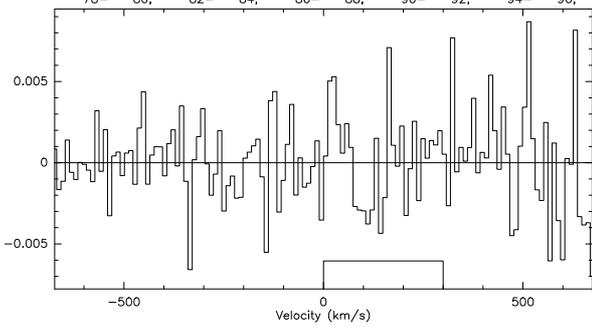
2685; 6 58C 12CO-6(1-0) 30M-1M2-B100 O: 05-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 11:41:53.170 DEC: 10:18:14.70 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1261 Tsys: 246.7 Time: 101.4 El: 58.28
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.61 LSR
 F0: 113009.500 Df: 4.000 Fi: 116005.799
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 2.767 Pamb: 725.9 Tamb: 275.4 Tchop: 295.3 Tcold: 79.6
 Tstm: 255.3 Tau: 0.1261 Tstm i: 253.2 Tau i: 0.3610



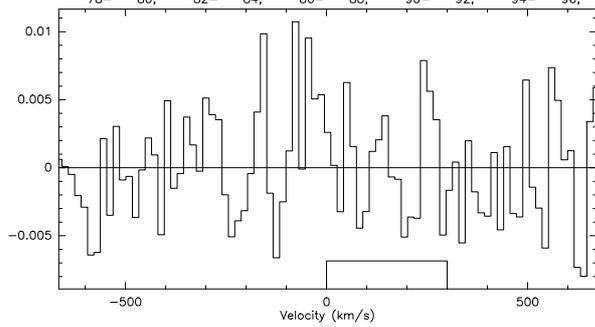
2687; 6 58C 12CO-6(2-1) 30M-4M2-B230 O: 05-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 11:41:53.170 DEC: 10:18:14.70 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2629 Tsys: 715.0 Time: 97.92 El: 58.28
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.92 LSR
 F0: 226014.600 Df: 12.00 Fi: 234019.398
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 4.058 Pamb: 725.9 Tamb: 275.4 Tchop: 295.3 Tcold: 78.3
 Tstm: 262.9 Tau: 0.2629 Tstm i: 262.8 Tau i: 0.2792



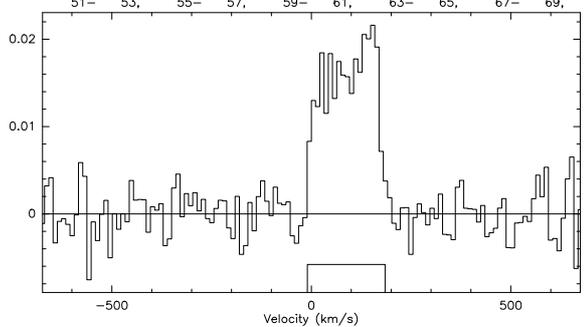
2775; 6 58D 12CO-6(1-0) 30M-1M2-B100 O: 05-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 11:42:05.910 DEC: 10:21:03.10 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1103 Tsys: 228.6 Time: 91.52 El: 63.29
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.61 LSR
 F0: 113009.500 Df: 4.000 Ff: 116005.798
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 1.668 Pamb: 725.5 Tamb: 275.5 Tchop: 295.7 Tcold: 79.6
 Tadm: 253.6 Tau: 0.1103 Tadm i: 252.2 Tau i: 0.3444



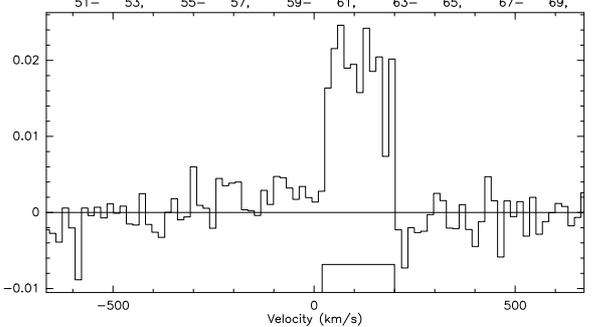
2777; 6 58D 12CO-6(2-1) 30M-4M2-B230 O: 05-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 11:42:05.910 DEC: 10:21:03.10 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2141 Tsys: 612.9 Time: 91.51 El: 63.29
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.92 LSR
 F0: 226014.600 Df: 12.000 Ff: 234019.396
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 3.288 Pamb: 725.5 Tamb: 275.5 Tchop: 295.7 Tcold: 78.3
 Tadm: 262.6 Tau: 0.2141 Tadm i: 262.5 Tau i: 0.2274



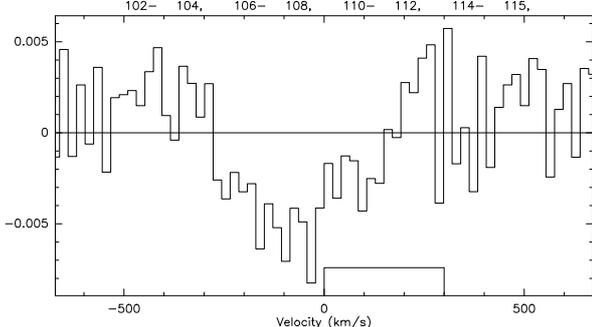
2865; 6 58E 12CO-6(1-0) 30M-1M2-B100 O: 26-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 11:42:04.850 DEC: 10:23:01.90 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1272 Tsys: 235.5 Time: 197.9 El: 36.83
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.61 LSR
 F0: 113009.500 Df: 4.000 Ff: 116005.792
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 2.626 Pamb: 725.0 Tamb: 268.9 Tchop: 296.3 Tcold: 79.6
 Tadm: 252.2 Tau: 0.1272 Tadm i: 250.8 Tau i: 0.3677



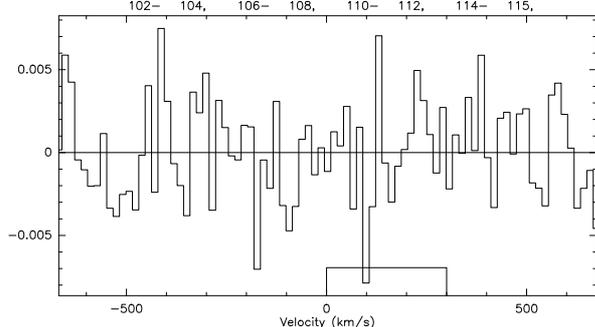
2869; 6 58E 12CO-6(2-1) 30M-4M2-B230 O: 26-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 11:42:04.850 DEC: 10:23:01.90 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1101 Tsys: 464.8 Time: 205.2 El: 36.83
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.92 LSR
 F0: 226014.600 Df: 12.000 Ff: 234019.379
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 1.595 Pamb: 725.0 Tamb: 268.9 Tchop: 296.3 Tcold: 78.3
 Tadm: 258.0 Tau: 0.1101 Tadm i: 257.9 Tau i: 0.1166



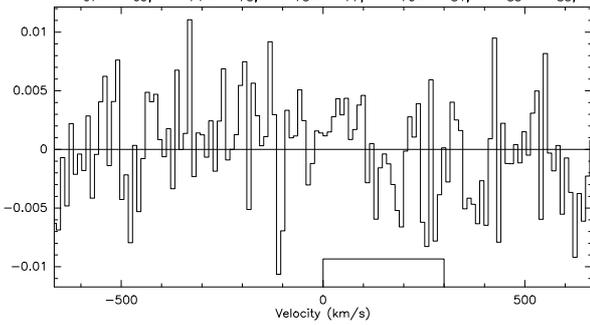
3039; 6 67A 12CO-9(1-0) 30M-1M2-B100 O: 18-DEC-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 13:49:11.320 DEC: -07:13:27.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1007 Tsys: 258.0 Time: 76.91 El: 27.49
 N: 64 I0: 32.50 V0: 0.00 Dv: -21.33 LSR
 F0: 112457.800 Df: 8.000 Ff: 115454.119
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 1.693 Pamb: 723.0 Tamb: 269.9 Tchop: 296.5 Tcold: 79.5
 Tadm: 251.2 Tau: 0.1007 Tadm i: 250.5 Tau i: 0.2605



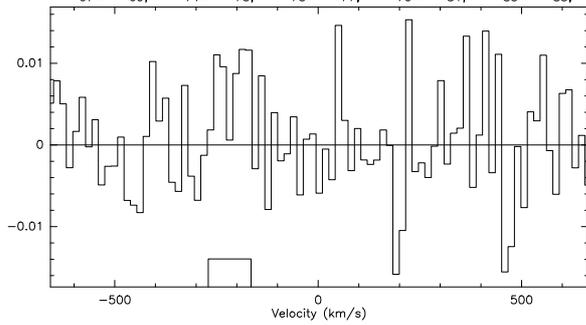
3041; 6 67A 12CO-9(2-1) 30M-4M2-B230 O: 18-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 13:49:11.320 DEC: -07:13:27.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 6.9081E-02 Tsys: 478.9 Time: 77.03 El: 27.49
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -16.00 LSR
 F0: 224911.300 Df: 12.000 Ff: 232916.151
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 0.9717 Pamb: 723.0 Tamb: 269.9 Tchop: 296.5 Tcold: 76.6
 Tadm: 257.3 Tau: 6.9081E-02 Tadm i: 257.2 Tau i: 7.2882E-02



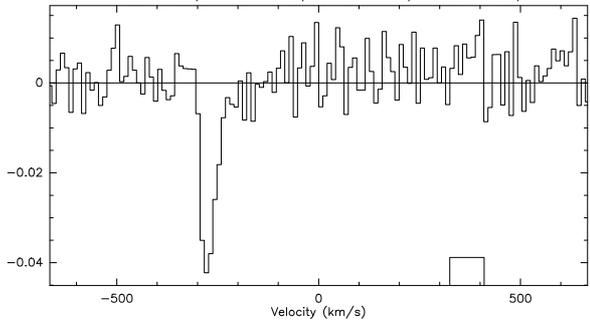
3111; 6 68A 12CO-2(1-0) 30M-1M2-B100 O: 07-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 13:53:26.570 DEC: 40:16:58.50 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2392 Tsys: 346.1 Time: 102.0 El: 49.20
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.49 LSR
 F0: 114317.900 Df: 4.000 Fi: 117314.214
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 6.905 Pamb: 723.6 Tamb: 274.9 Tchop: 296.5 Tcold: 79.8
 Tatm: 256.4 Tau: 0.2392 Tadm i: 255.2 Tau i: 1.097
 67- 69, 71- 73, 75- 77, 79- 81, 83- 85,



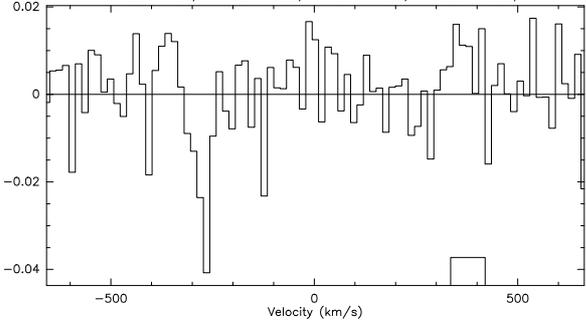
3114; 6 68A 12CO-2(2-1) 30M-4M2-B230 O: 07-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 13:53:26.570 DEC: 40:16:58.50 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.4511 Tsys: 1034. Time: 98.64 El: 49.20
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.73 LSR
 F0: 228631.400 Df: 12.00 Fi: 236636.239
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 6.826 Pamb: 723.6 Tamb: 274.9 Tchop: 296.5 Tcold: 76.7
 Tadm i: 262.2 Tau: 0.4511 Tadm i: 262.1 Tau i: 0.4806
 67- 69, 71- 73, 75- 77, 79- 81, 83- 85,



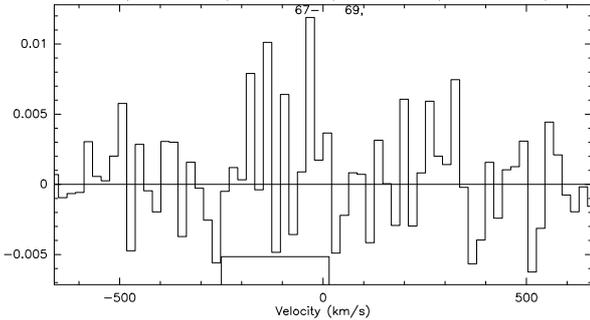
3201; 6 68B 12CO-2(1-0) 30M-1M2-B100 O: 07-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 13:53:26.660 DEC: 40:18:08.80 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2374 Tsys: 396.1 Time: 76.79 El: 37.73
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.49 LSR
 F0: 114317.900 Df: 4.000 Fi: 117314.214
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 6.748 Pamb: 723.2 Tamb: 274.4 Tchop: 296.1 Tcold: 79.8
 Tadm i: 256.3 Tau: 0.2374 Tadm i: 256.4 Tau i: 1.096
 89- 91, 93- 95, 97- 99, 101- 102,



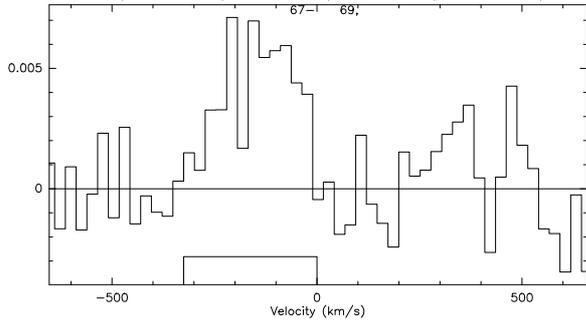
3203; 6 68B 12CO-2(2-1) 30M-4M2-B230 O: 07-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 13:53:26.660 DEC: 40:18:08.80 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.4154 Tsys: 1242. Time: 73.32 El: 37.73
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.73 LSR
 F0: 228631.400 Df: 12.00 Fi: 236636.238
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 6.265 Pamb: 723.2 Tamb: 274.4 Tchop: 296.1 Tcold: 76.7
 Tadm i: 262.0 Tau: 0.4154 Tadm i: 261.9 Tau i: 0.4426
 89- 91, 93- 95, 97- 99, 101- 102,



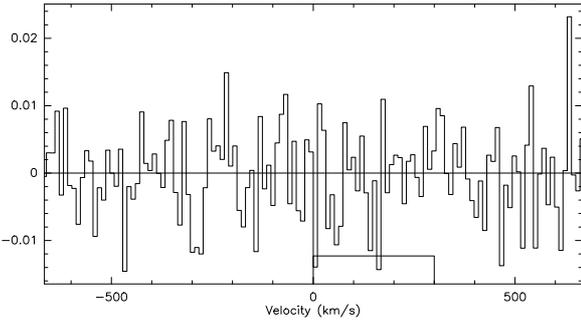
3267; 6 68D 12CO-2(1-0) 30M-1M2-B100 O: 08-DEC-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 13:53:45.650 DEC: 40:20:17.20 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.7115 Tsys: 448.6 Time: 108.3 El: 39.36
 N: 64 IO: 32.50 VO: 0.00 Dv: -20.98 LSR
 F0: 114317.900 Df: 8.000 Fi: 117314.215
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 36.23 Pamb: 717.2 Tamb: 268.5 Tchop: 294.9 Tcold: 79.8
 Tadm i: 258.0 Tau: 0.7115 Tadm i: 257.1 Tau i: 1.624
 49, 51- 53, 55- 57, 59- 61, 63- 65,



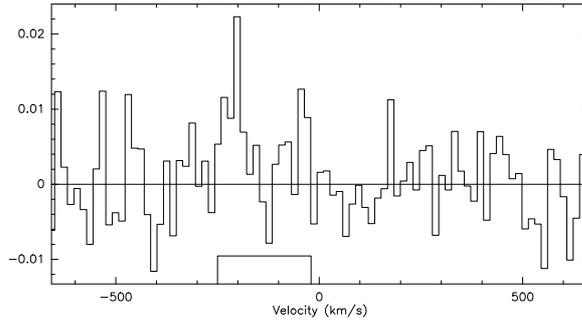
3269; 6 68D 12CO-2(2-1) 30M-4M2-B230 O: 08-DEC-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 13:53:45.650 DEC: 40:20:17.20 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 3.2166E-02 Tsys: 430.7 Time: 108.3 El: 39.36
 N: 51 IO: 26.10 VO: 0.00 Dv: -26.22 LSR
 F0: 228631.400 Df: 20.00 Fi: 236636.241
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 0.3788 Pamb: 717.2 Tamb: 268.5 Tchop: 294.9 Tcold: 76.7
 Tadm i: 252.1 Tau: 3.2166E-02 Tadm i: 252.1 Tau i: 3.3737E-02
 49, 51- 53, 55- 57, 59- 61, 63- 65,



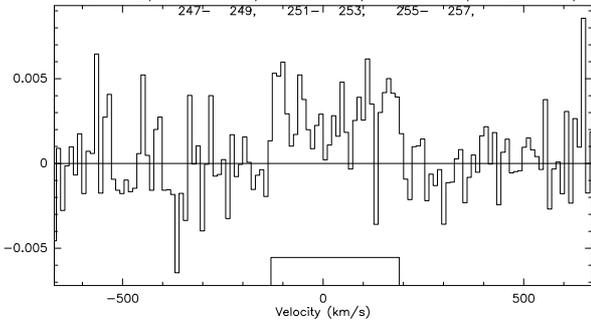
3363; 6 68E 12CO-2(1-0) 30M-1M2-B100 O: 14-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 13:53:59.740 DEC: 40:16:24.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2270 Tsys: 432.5 Time: 76.53 El: 40.98
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.49 LSR
 F0: 114317.900 Df: 4.000 Fi: 117314.165
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 6.160 Pamb: 725.7 Tamb: 274.5 Tchop: 297.1 Tcold: 77.0
 Tstm: 256.9 Tau: 0.2270 Tstm i: 257.0 Tau i: 1.083
 1, 3- 5, 173- 175, 177- 179, 181- 182,



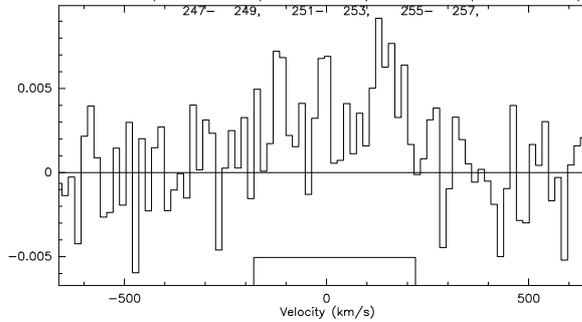
3365; 6 68E 12CO-2(2-1) 30M-4M2-B230 O: 14-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 13:53:59.740 DEC: 40:16:24.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2689 Tsys: 942.5 Time: 76.52 El: 40.98
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.73 LSR
 F0: 228631.400 Df: 12.00 Fi: 236636.109
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 4.055 Pamb: 725.7 Tamb: 274.5 Tchop: 297.1 Tcold: 77.0
 Tstm: 262.4 Tau: 0.2689 Tstm i: 262.3 Tau i: 0.2863
 1, 3- 5, 173- 175, 177- 179, 181- 182,



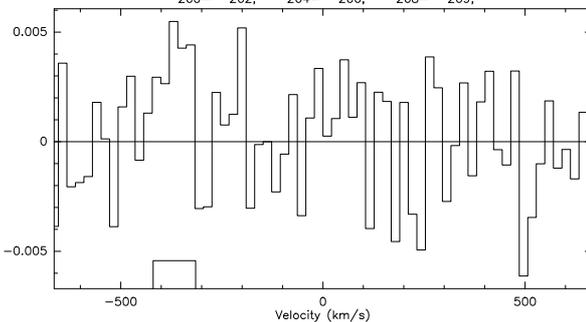
661; 5 79B 12CO-3(1-0) 30M-1M2-B100 O: 16-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 15:59:12.660 DEC: 20:45:47.20 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1328 Tsys: 241.3 Time: 165.0 El: 40.63
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.56 LSR
 F0: 113603.900 Df: 4.000 Fi: 116600.196
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 1.806 Pamb: 724.4 Tamb: 271.4 Tchop: 296.0 Tcold: 79.7
 Tstm: 251.3 Tau: 0.1328 Tstm i: 251.2 Tau i: 0.5313
 66- 68, 70- 72, 74- 76, 79- 81, 83- 85,
 247- 249, 251- 253, 255- 257,



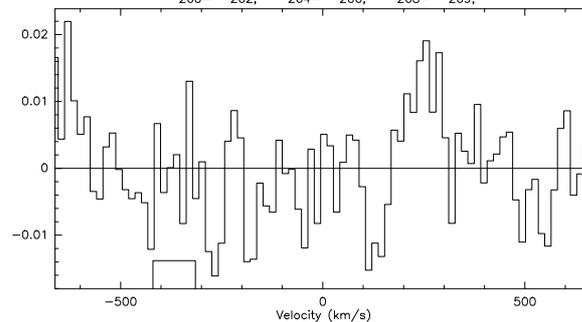
663; 5 79B 12CO-3(2-1) 30M-4M2-B230 O: 16-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 15:59:12.660 DEC: 20:45:47.20 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1001 Tsys: 524.1 Time: 141.3 El: 40.63
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.83 LSR
 F0: 227203.400 Df: 12.00 Fi: 235208.191
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 1.439 Pamb: 724.4 Tamb: 271.4 Tchop: 296.0 Tcold: 76.7
 Tstm: 258.7 Tau: 0.1001 Tstm i: 258.6 Tau i: 0.1061
 66- 68, 70- 72, 74- 76, 79- 81, 83- 85,
 247- 249, 251- 253, 255- 257,



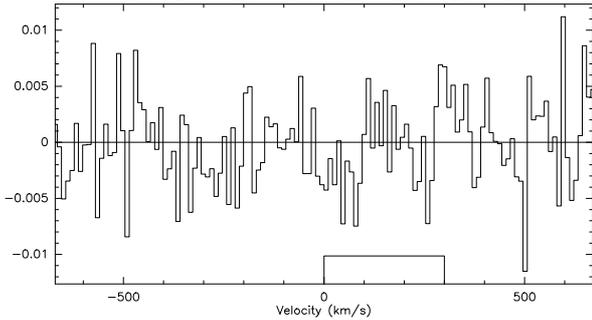
715; 5 79C 12CO-3(1-0) 30M-1M2-B100 O: 05-OCT-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 15:59:11.000 DEC: 20:45:41.50 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1592 Tsys: 255.5 Time: 55.51 El: 47.57
 N: 64 I0: 32.50 V0: 0.00 Dv: -21.11 LSR
 F0: 113603.900 Df: 8.000 Fi: 116599.930
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 3.267 Pamb: 728.1 Tamb: 277.4 Tchop: 296.2 Tcold: 84.7
 Tstm: 256.3 Tau: 0.1592 Tstm i: 255.0 Tau i: 0.5811
 260- 262, 264- 266, 268- 269,



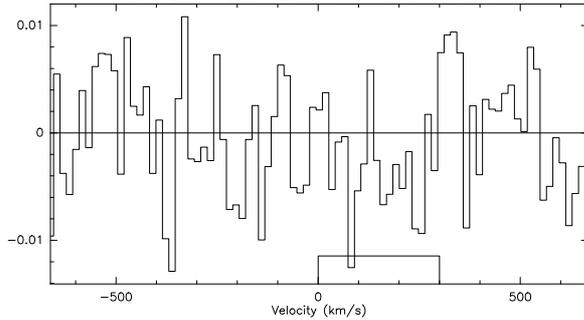
718; 5 79C 12CO-3(2-1) 30M-4M2-B230 O: 05-OCT-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 15:59:11.000 DEC: 20:45:41.50 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2409 Tsys: 687.0 Time: 45.00 El: 47.57
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.83 LSR
 F0: 227203.400 Df: 12.00 Fi: 235207.479
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 3.576 Pamb: 728.1 Tamb: 277.4 Tchop: 296.2 Tcold: 81.6
 Tstm: 266.5 Tau: 0.2409 Tstm i: 266.6 Tau i: 0.2562
 260- 262, 264- 266, 268- 269,



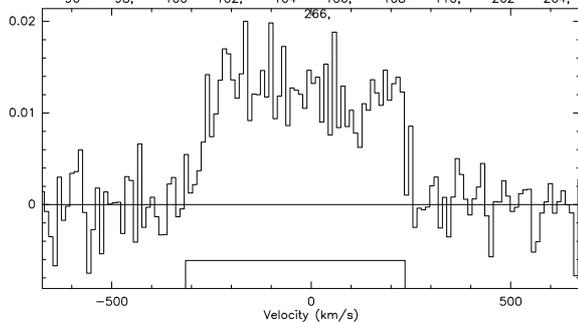
763; 5 79D 12CO-3(1-0) 30M-1M2-B100 O: 05-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 15:59:12.060 DEC: 20:44:47.30 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1668 Tsys: 289.0 Time: 82.94 El: 32.45
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.56 LSR
 F0: 113603.900 Df: 4.000 Fi: 116599.929
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 3.890 Pamb: 728.8 Tamb: 277.9 Tchop: 295.7 Tcold: 84.7
 Tadm: 258.2 Tau: 0.1668 Tadm i: 257.4 Tau i: 0.5850
 275- 277, 279- 281, 283- 285, 287- 289,



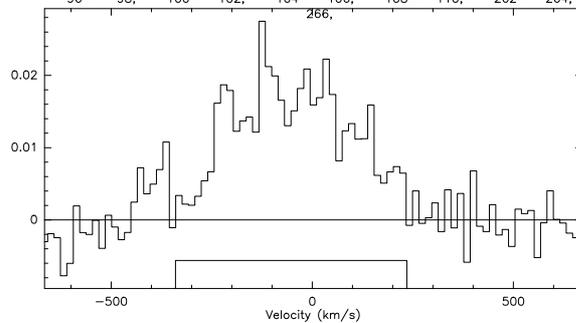
766; 5 79D 12CO-3(2-1) 30M-4M2-B230 O: 05-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 15:59:12.060 DEC: 20:44:47.30 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2499 Tsys: 763.5 Time: 58.58 El: 32.45
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.83 LSR
 F0: 227203.400 Df: 12.00 Fi: 235207.478
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 3.746 Pamb: 728.8 Tamb: 277.9 Tchop: 295.7 Tcold: 81.6
 Tadm: 267.9 Tau: 0.2499 Tadm i: 268.0 Tau i: 0.2658
 275- 277, 279- 281, 283- 285, 287- 289,



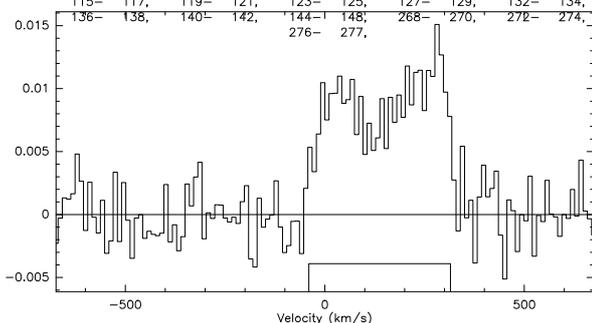
835; 5 88A 12CO-6(1-0) 30M-1M1-A100 O: 17-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 20:52:35.310 DEC: -05:42:38.40 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1025 Tsys: 245.7 Time: 109.2 El: 41.71
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.61 LSR
 F0: 113009.500 Df: 4.000 Fi: 116005.395
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 1.132 Pamb: 726.9 Tamb: 273.8 Tchop: 296.5 Tcold: 85.5
 Tadm: 252.7 Tau: 0.1025 Tadm i: 252.3 Tau i: 0.3402
 96- 98, 100- 102, 104- 106, 108- 110, 262- 264,



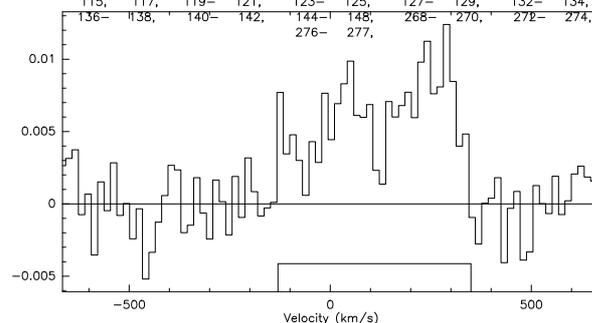
837; 5 88A 12CO-6(2-1) 30M-4M2-B230 O: 17-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 20:52:35.310 DEC: -05:42:38.40 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1291 Tsys: 557.0 Time: 102.4 El: 41.71
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.92 LSR
 F0: 226014.600 Df: 12.00 Fi: 234018.320
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 1.938 Pamb: 726.9 Tamb: 273.8 Tchop: 296.5 Tcold: 78.3
 Tadm: 261.8 Tau: 0.1291 Tadm i: 261.7 Tau i: 0.1369
 96- 98, 100- 102, 104- 106, 108- 110, 262- 264,



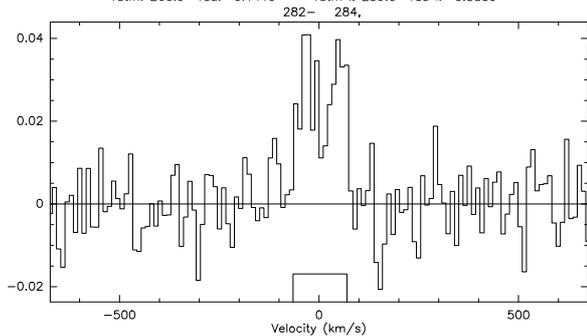
859; 5 88B 12CO-6(1-0) 30M-1M2-B100 O: 18-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 20:52:29.740 DEC: -05:44:47.50 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1089 Tsys: 252.9 Time: 240.1 El: 44.88
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.61 LSR
 F0: 113009.500 Df: 4.000 Fi: 116005.401
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 1.367 Pamb: 721.1 Tamb: 269.8 Tchop: 297.2 Tcold: 79.6
 Tadm: 249.3 Tau: 0.1089 Tadm i: 248.8 Tau i: 0.3534
 115- 117, 119- 121, 123- 125, 127- 129, 132- 134,
 136- 138, 140- 142, 144- 148, 268- 270, 272- 274,
 276- 277,



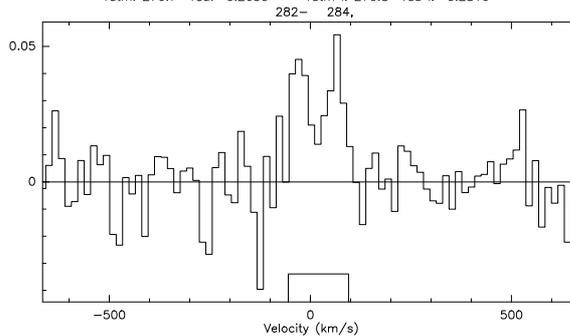
861; 5 88B 12CO-6(2-1) 30M-4M1-A230 O: 18-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 20:52:29.740 DEC: -05:44:47.50 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 2.1549E-02 Tsys: 506.4 Time: 212.0 El: 44.88
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.92 LSR
 F0: 226014.600 Df: 12.00 Fi: 234018.335
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 0.2301 Pamb: 721.1 Tamb: 269.8 Tchop: 297.2 Tcold: 89.3
 Tadm: 253.1 Tau: 2.1549E-02 Tadm i: 253.2 Tau i: 2.2375E-02
 115- 117, 119- 121, 123- 125, 127- 129, 132- 134,
 136- 138, 140- 142, 144- 148, 268- 270, 272- 274,
 276- 277,



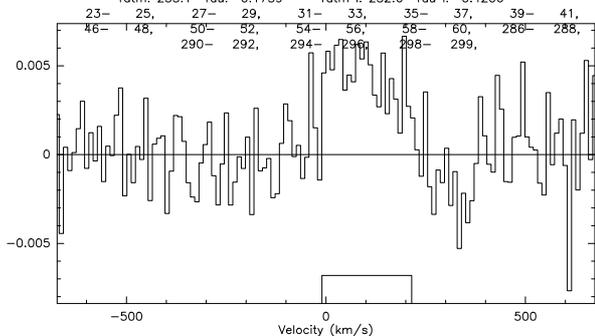
907; 5 88C 12CO-6(1-0) 30M-1M2-B100 O: 06-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 20:52:26.000 DEC: -05:46:20.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1419 Tsys: 298.6 Time: 21.02 El: 32.54
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.61 LSR
 F0: 113009.500 Df: 4.000 Fi: 116005.361
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 3.806 Pamb: 728.3 Tamb: 280.8 Tchop: 296.4 Tcold: 84.6
 Tatm: 260.9 Tau: 0.1419 Tatm i: 259.0 Tau i: 0.3859



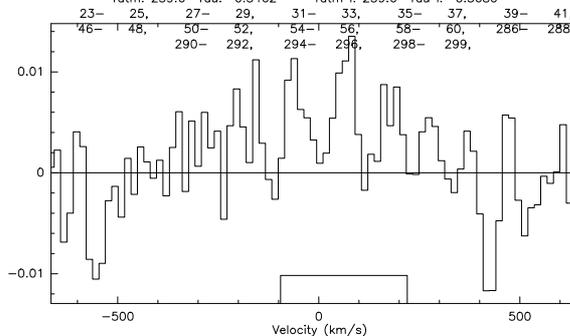
909; 5 88C 12CO-6(2-1) 30M-4M2-B230 O: 06-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 20:52:26.000 DEC: -05:46:20.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2650 Tsys: 872.2 Time: 17.50 El: 32.54
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.92 LSR
 F0: 226014.600 Df: 12.000 Fi: 234018.229
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 4.110 Pamb: 728.3 Tamb: 280.8 Tchop: 296.4 Tcold: 83.2
 Tatm: 270.7 Tau: 0.2650 Tatm i: 270.8 Tau i: 0.2816



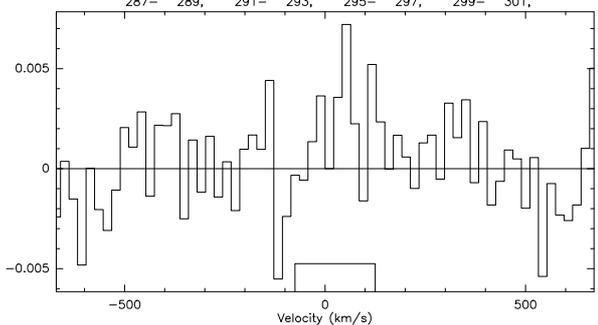
925; 5 88D 12CO-6(1-0) 30M-1M2-B100 O: 03-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 20:52:12.770 DEC: -05:47:52.60 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1759 Tsys: 320.8 Time: 259.8 El: 38.64
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.61 LSR
 F0: 113009.500 Df: 4.000 Fi: 116005.615
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 5.958 Pamb: 719.9 Tamb: 272.9 Tchop: 296.5 Tcold: 71.7
 Tatm: 255.1 Tau: 0.1759 Tatm i: 252.6 Tau i: 0.4206



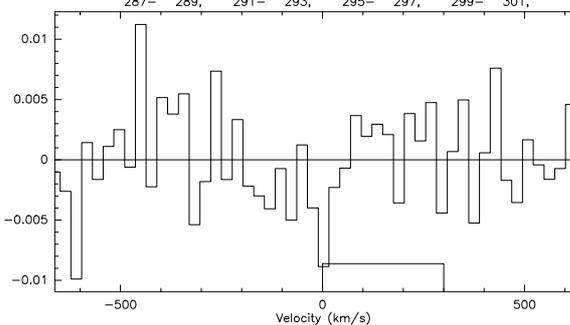
927; 5 88D 12CO-6(2-1) 30M-4M2-B230 O: 03-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 20:52:12.770 DEC: -05:47:52.60 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.3462 Tsys: 979.2 Time: 217.1 El: 38.64
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.92 LSR
 F0: 226014.600 Df: 12.000 Fi: 234018.908
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 5.240 Pamb: 719.9 Tamb: 272.9 Tchop: 296.5 Tcold: 70.5
 Tatm: 259.6 Tau: 0.3462 Tatm i: 259.6 Tau i: 0.3680



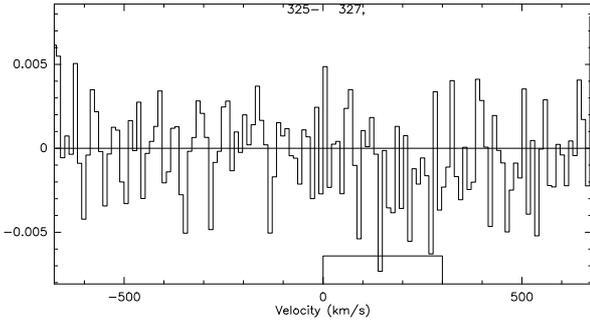
991; 5 91A 12CO-8(1-0) 30M-1M2-B100 O: 09-OCT-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 22:09:07.610 DEC: 27:48:35.40 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1350 Tsys: 238.3 Time: 83.20 El: 79.99
 N: 64 I0: 32.50 V0: 0.00 Dv: -21.29 LSR
 F0: 112641.100 Df: 8.000 Fi: 115637.097
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 3.927 Pamb: 727.2 Tamb: 280.2 Tchop: 295.7 Tcold: 84.6
 Tatm: 260.3 Tau: 0.1350 Tatm i: 257.3 Tau i: 0.3194



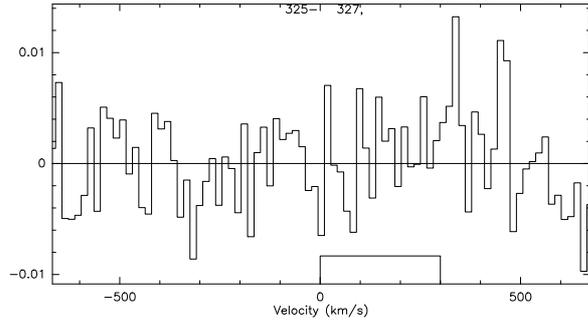
993; 5 91A 12CO-8(2-1) 30M-4M2-B230 O: 09-OCT-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 22:09:07.610 DEC: 27:48:35.40 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.3549 Tsys: 736.3 Time: 83.07 El: 79.99
 N: 51 I0: 26.10 V0: 0.00 Dv: -26.62 LSR
 F0: 225277.900 Df: 20.000 Fi: 233281.891
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 5.546 Pamb: 727.2 Tamb: 280.2 Tchop: 295.7 Tcold: 82.0
 Tatm: 269.8 Tau: 0.3549 Tatm i: 269.9 Tau i: 0.3770



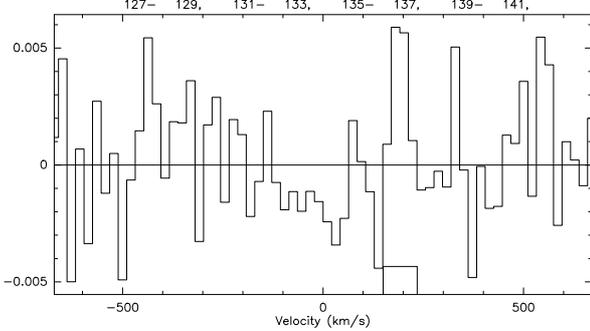
1063; 5 91B 12CO-8(1-0) 30M-1M2-B100 O: 09-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 22:09:16.390 DEC: 27:43:52.80 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1177 Tsys: 230.8 Time: 109.2 El: 68.13
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.65 LSR
 F0: 112641.100 Df: 4.000 Fi: 115637.094
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 2.721 Pamb: 726.6 Tamb: 279.9 Tchop: 295.5 Tcold: 84.6
 Tadm: 258.7 Tau: 0.1177 Tadm i: 256.3 Tau i: 0.3009
 306- 308, 310- 312, 314- 316, 318, 321- 323,



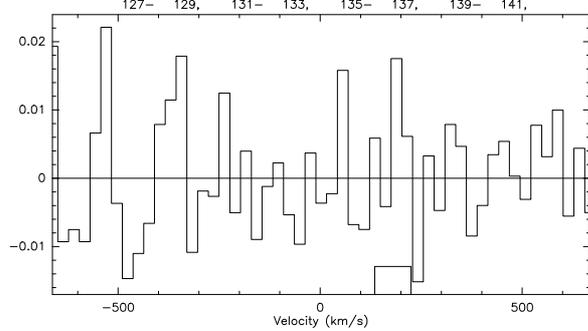
1065; 5 91B 12CO-8(2-1) 30M-4M2-B230 O: 09-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 22:09:16.390 DEC: 27:43:52.80 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2683 Tsys: 667.7 Time: 102.4 El: 68.13
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.97 LSR
 F0: 225277.900 Df: 12.000 Fi: 233281.885
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 4.169 Pamb: 726.6 Tamb: 279.9 Tchop: 295.5 Tcold: 82.0
 Tadm: 269.3 Tau: 0.2683 Tadm i: 269.4 Tau i: 0.2849
 306- 308, 310- 312, 314- 316, 318, 321- 323,



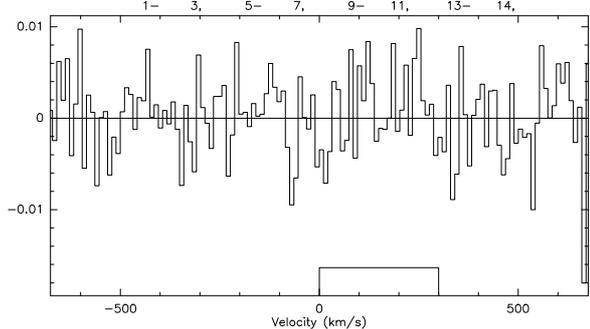
1159; 5 91C 12CO-8(1-0) 30M-1M2-B100 O: 10-OCT-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 22:09:14.110 DEC: 27:46:56.60 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2023 Tsys: 294.2 Time: 83.46 El: 54.93
 N: 64 IO: 32.50 VO: 0.00 Dv: -21.29 LSR
 F0: 112641.100 Df: 8.000 Fi: 115637.090
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 8.413 Pamb: 725.3 Tamb: 277.9 Tchop: 295.7 Tcold: 84.6
 Tadm: 261.6 Tau: 0.2023 Tadm i: 258.4 Tau i: 0.3936
 127- 129, 131- 133, 135- 137, 139- 141,



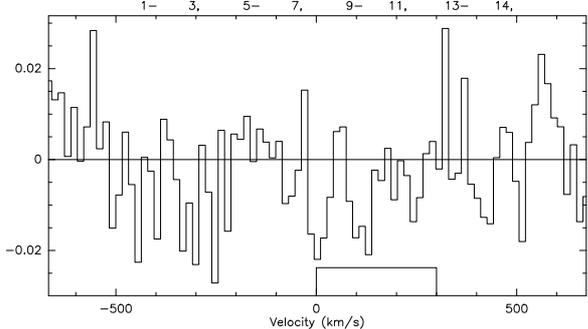
1161; 5 91C 12CO-8(2-1) 30M-4M2-B230 O: 10-OCT-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 22:09:14.110 DEC: 27:46:56.60 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.6314 Tsys: 1254. Time: 83.33 El: 54.93
 N: 51 IO: 26.10 VO: 0.00 Dv: -26.62 LSR
 F0: 225277.900 Df: 20.000 Fi: 233281.873
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 9.758 Pamb: 725.3 Tamb: 277.9 Tchop: 295.7 Tcold: 82.0
 Tadm: 268.6 Tau: 0.6314 Tadm i: 268.7 Tau i: 0.6711
 127- 129, 131- 133, 135- 137, 139- 141,



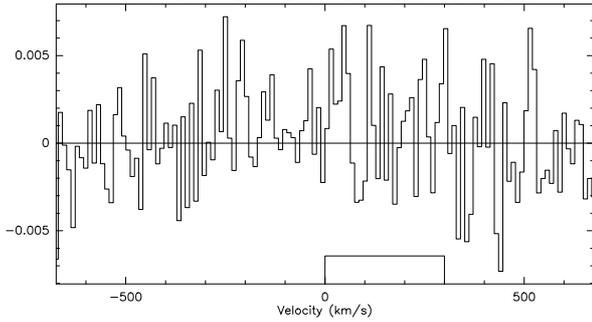
1231; 5 91D 12CO-8(1-0) 30M-1M2-B100 O: 11-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 22:09:08.560 DEC: 27:48:03.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1989 Tsys: 313.4 Time: 77.69 El: 41.90
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.65 LSR
 F0: 112641.100 Df: 4.000 Fi: 115637.089
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 8.132 Pamb: 724.9 Tamb: 277.1 Tchop: 295.3 Tcold: 84.6
 Tadm: 261.3 Tau: 0.1989 Tadm i: 258.3 Tau i: 0.3905
 1- 3, 5- 7, 9- 11, 13- 14,



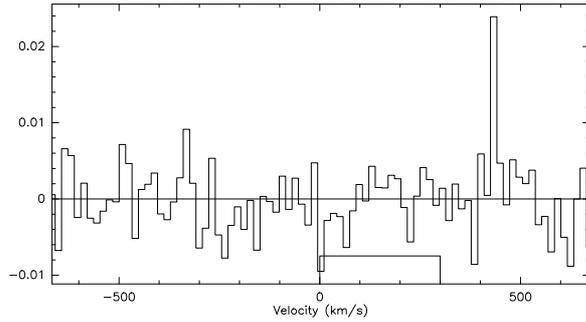
1233; 5 91D 12CO-8(2-1) 30M-4M1-A230 O: 11-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 22:09:08.560 DEC: 27:48:03.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.5735 Tsys: 1334. Time: 74.22 El: 41.90
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.97 LSR
 F0: 225277.900 Df: 12.000 Fi: 233281.871
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 8.830 Pamb: 724.9 Tamb: 277.1 Tchop: 295.3 Tcold: 94.2
 Tadm: 268.3 Tau: 0.5735 Tadm i: 268.4 Tau i: 0.6095
 1- 3, 5- 7, 9- 11, 13- 14,



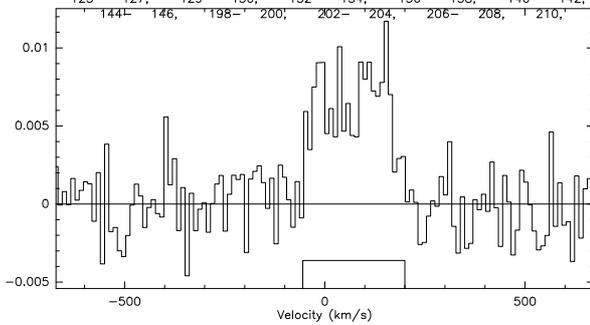
1297; 5 92E 12CO-7(1-0) 30M-1M2-B100 O: 11-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 22:35:52.210 DEC: 33:56:40.50 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1338 Tsys: 231.2 Time: 80.90 El: 72.99
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.63 LSR
 F0: 112825.000 Df: 4.000 Fi: 115821.020
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 6.3100E-03
 H2O : 3.371 Pamb: 724.8 Tamb: 277.2 Tchop: 296.4 Tcold: 84.6
 Tadm: 257.2 Tau: 0.1338 Tadm i: 254.7 Tau i: 0.3479
 241- 243, 245- 247, 249- 251, 253- 255,



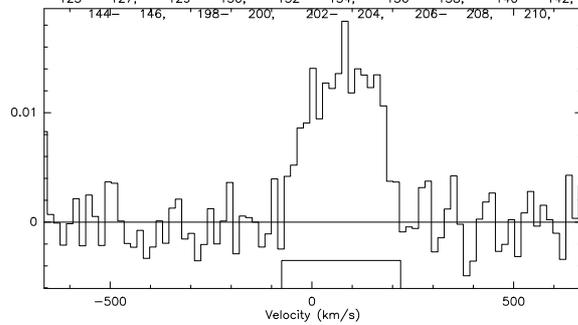
1299; 5 92E 12CO-7(2-1) 30M-4M2-B230 O: 11-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 22:35:52.210 DEC: 33:56:40.50 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2951 Tsys: 658.1 Time: 80.89 El: 72.99
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.94 LSR
 F0: 225645.600 Df: 12.00 Fi: 233649.654
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 4.497 Pamb: 724.8 Tamb: 277.2 Tchop: 296.4 Tcold: 82.6
 Tadm: 266.8 Tau: 0.2951 Tadm i: 266.9 Tau i: 0.3135
 241- 243, 245- 247, 249- 251, 253- 255,



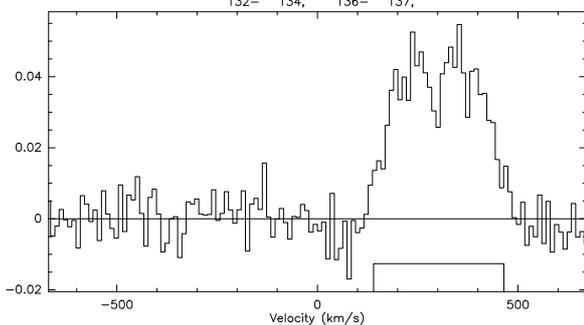
1369; 5 93A 12CO-4(1-0) 30M-1M2-B100 O: 15-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:15:16.030 DEC: 18:57:41.20 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1158 Tsys: 227.7 Time: 178.7 El: 71.97
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.58 LSR
 F0: 113380.200 Df: 4.000 Fi: 116375.987
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 1.112 Pamb: 722.5 Tamb: 268.5 Tchop: 296.7 Tcold: 79.7
 Tadm: 248.5 Tau: 0.1158 Tadm i: 248.0 Tau i: 0.4510
 125- 127, 129- 130, 132- 134, 136- 138, 140- 142,



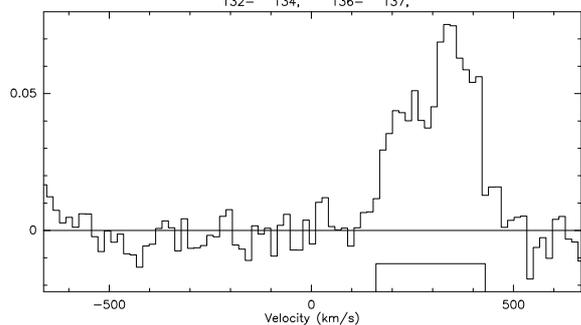
1371; 5 93A 12CO-4(2-1) 30M-4M2-B230 O: 15-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:15:16.030 DEC: 18:57:41.20 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1426 Tsys: 554.3 Time: 178.7 El: 71.97
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.87 LSR
 F0: 226756.100 Df: 12.00 Fi: 234759.530
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 2.070 Pamb: 722.5 Tamb: 268.5 Tchop: 296.7 Tcold: 77.3
 Tadm: 256.9 Tau: 0.1426 Tadm i: 256.8 Tau i: 0.1514
 125- 127, 129- 130, 132- 134, 136- 138, 140- 142,



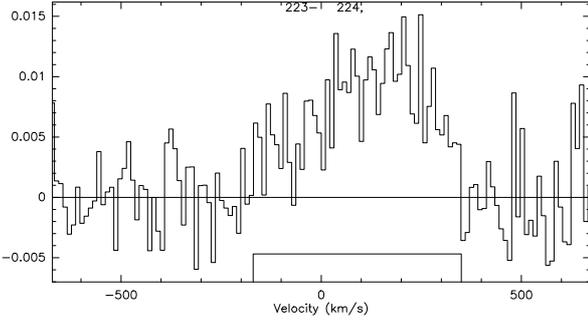
4015; 6 93B 12CO-3(1-0) 30M-1M2-B100 O: 08-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:15:17.210 DEC: 19:02:29.70 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.3021 Tsys: 307.7 Time: 34.87 El: 39.76
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.56 LSR
 F0: 113603.900 Df: 4.000 Fi: 116599.689
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 12.26 Pamb: 717.6 Tamb: 262.9 Tchop: 295.0 Tcold: 79.7
 Tadm: 251.4 Tau: 0.3021 Tadm i: 249.3 Tau i: 0.7375
 132- 134, 136- 137,



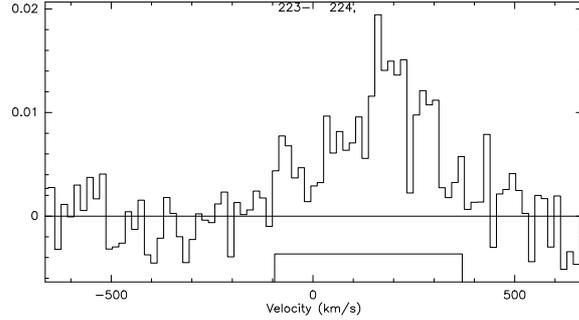
4018; 6 93B 12CO-3(2-1) 30M-4M2-B230 O: 08-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:15:17.210 DEC: 19:02:29.70 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.3617 Tsys: 613.6 Time: 31.41 El: 39.76
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.83 LSR
 F0: 227203.400 Df: 12.00 Fi: 235206.835
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 5.177 Pamb: 717.6 Tamb: 262.9 Tchop: 295.0 Tcold: 76.7
 Tadm: 252.7 Tau: 0.3617 Tadm i: 252.6 Tau i: 0.3850
 132- 134, 136- 137,



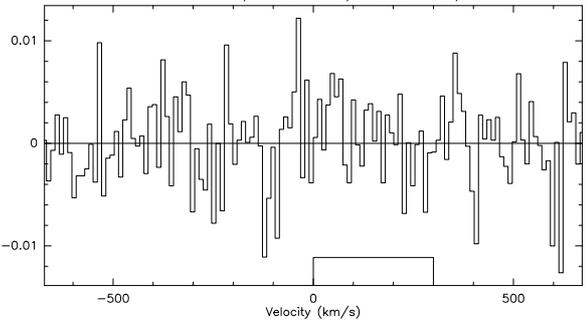
1429; 5 93C 12CO-4(1-0) 30M-1M2-B100 O: 18-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:15:03.630 DEC: 18:58:23.20 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1197 Tsys: 230.7 Time: 100.8 El: 58.43
 N: 128 I0: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.58 LSR
 F0: 113380.200 Df: 4.000 Fi: 116375.988
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 1.369 Pamb: 721.1 Tamb: 269.9 Tchop: 297.6 Tcold: 79.7
 Tadm: 248.8 Tau: 0.1197 Tadm i: 248.2 Tau i: 0.4555
 159- 161, 163- 165, 167, 215- 217, 219- 221,



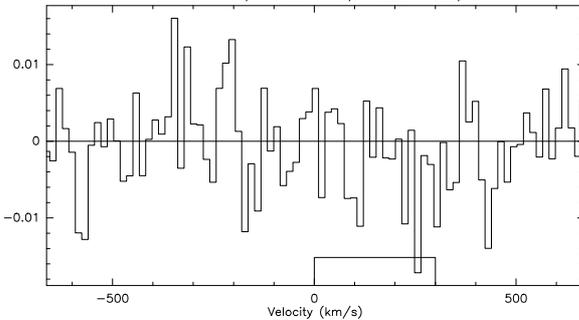
1431; 5 93C 12CO-4(2-1) 30M-4M2-B230 O: 18-DEC-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:15:03.630 DEC: 18:58:23.20 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 8.2656E-02 Tsys: 504.9 Time: 100.8 El: 58.43
 N: 85 I0: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.87 LSR
 F0: 226756.100 Df: 12.00 Fi: 234759.533
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 1.158 Pamb: 721.1 Tamb: 269.9 Tchop: 297.6 Tcold: 77.3
 Tadm: 256.1 Tau: 8.2656E-02 Tadm i: 256.1 Tau i: 8.7517E-02
 159- 161, 163- 165, 167, 215- 217, 219- 221,



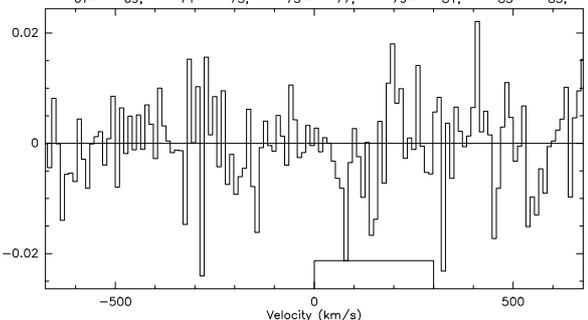
1477; 5 93D 12CO-4(1-0) 30M-1M2-B100 O: 09-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:15:33.140 DEC: 19:02:52.40 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1470 Tsys: 244.4 Time: 53.59 El: 57.09
 N: 128 I0: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.58 LSR
 F0: 113380.200 Df: 4.000 Fi: 116376.176
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 3.267 Pamb: 726.6 Tamb: 278.8 Tchop: 295.6 Tcold: 84.7
 Tadm: 257.9 Tau: 0.1470 Tadm i: 255.9 Tau i: 0.4813
 2- 4, 6- 7, 226- 228,



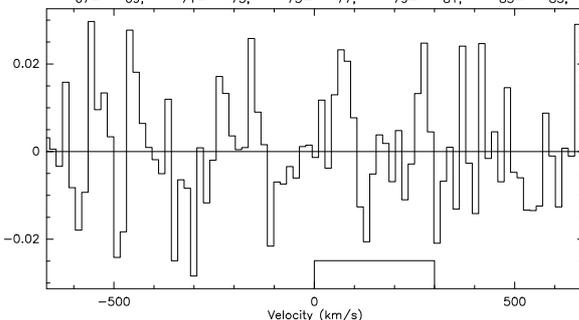
1479; 5 93D 12CO-4(2-1) 30M-4M2-B230 O: 09-OCT-2006 R: 12-JUN-2008
 RA: 23:15:33.140 DEC: 19:02:52.40 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2774 Tsys: 656.7 Time: 50.25 El: 57.09
 N: 85 I0: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.87 LSR
 F0: 226756.100 Df: 12.00 Fi: 234760.036
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 4.226 Pamb: 726.6 Tamb: 278.8 Tchop: 295.6 Tcold: 82.2
 Tadm: 268.3 Tau: 0.2774 Tadm i: 268.4 Tau i: 0.2950
 2- 4, 6- 7, 226- 228,



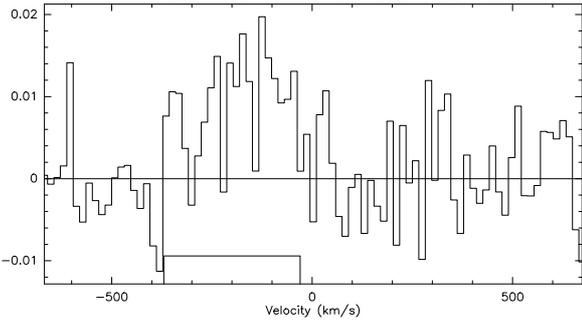
4087; 6 97A 12CO-8(1-0) 30M-1M2-B100 O: 03-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:47:23.010 DEC: -02:18:03.40 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.8576 Tsys: 556.0 Time: 100.5 El: 49.60
 N: 128 I0: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.65 LSR
 F0: 112641.100 Df: 4.000 Fi: 115636.904
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 51.54 Pamb: 720.1 Tamb: 271.4 Tchop: 296.7 Tcold: 71.7
 Tadm: 261.8 Tau: 0.8576 Tadm i: 261.0 Tau i: 1.088
 67- 69, 71- 73, 75- 77, 79- 81, 83- 85,



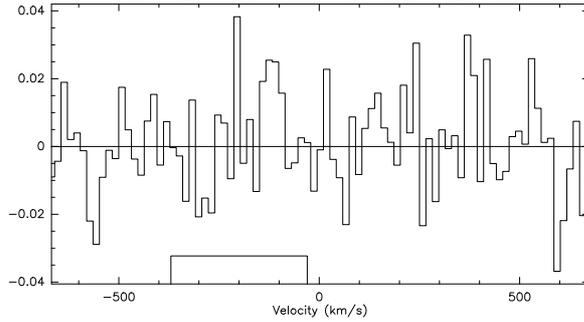
4089; 6 97A 12CO-8(2-1) 30M-4M1-A230 O: 03-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:47:23.010 DEC: -02:18:03.40 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 1.692 Tsys: 1970. Time: 87.24 El: 49.60
 N: 85 I0: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.97 LSR
 F0: 225277.900 Df: 12.00 Fi: 233281.377
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 25.57 Pamb: 720.1 Tamb: 271.4 Tchop: 296.7 Tcold: 79.8
 Tadm: 261.9 Tau: 1.692 Tadm i: 261.9 Tau i: 1.799
 67- 69, 71- 73, 75- 77, 79- 81, 83- 85,



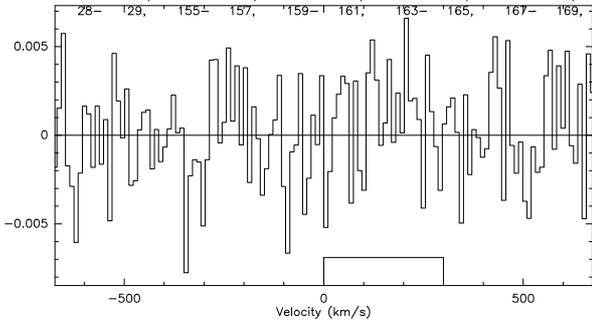
4177; 6 97B 12CO-8(1-0) 30M-1M2-B100 O: 03-FEB-2007 R: 09-JUN-2008
 RA: 23:47:37.800 DEC: -02:19:01.70 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2376 Tsys: 508.5 Time: 80.62 El: 26.26
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 DV: -15.97 LSR
 F0: 112641.100 Df: 6.000 Fi: 115636.902
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 10.67 Pamb: 720.7 Tamb: 270.4 Tchop: 296.3 Tcold: 71.7
 Tadm: 257.1 Tau: 0.2376 Tadm i: 255.0 Tau i: 0.4316
 90- 92, 94- 96, 98- 100, 102- 104,



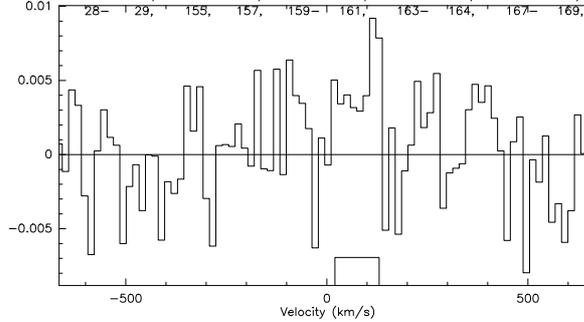
4179; 6 97B 12CO-8(2-1) 30M-4M2-B230 O: 03-FEB-2007 R: 12-JUN-2008
 RA: 23:47:37.800 DEC: -02:19:01.70 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.4379 Tsys: 1738. Time: 70.62 El: 26.26
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 DV: -15.97 LSR
 F0: 225277.900 Df: 12.00 Fi: 233281.371
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 6.622 Pamb: 720.7 Tamb: 270.4 Tchop: 296.3 Tcold: 69.5
 Tadm: 259.3 Tau: 0.4379 Tadm i: 259.2 Tau i: 0.4654
 90- 92, 94- 96, 98- 100, 102- 104,



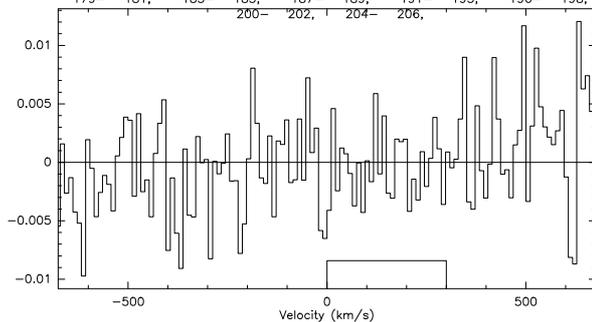
1525; 5 97C 12CO-6(1-0) 30M-1M2-B100 O: 11-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:47:23.720 DEC: -02:21:05.10 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2222 Tsys: 323.0 Time: 177.0 El: 41.31
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 DV: -10.61 LSR
 F0: 113009.500 Df: 4.000 Fi: 116005.339
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 9.497 Pamb: 727.5 Tamb: 274.9 Tchop: 296.7 Tcold: 77.0
 Tadm: 260.9 Tau: 0.2222 Tadm i: 257.9 Tau i: 0.4664
 7- 9, 11- 13, 15- 17, 19- 20, 24- 26,
 28- 129, 155- 157, 159- 161, 163- 165, 167- 169,



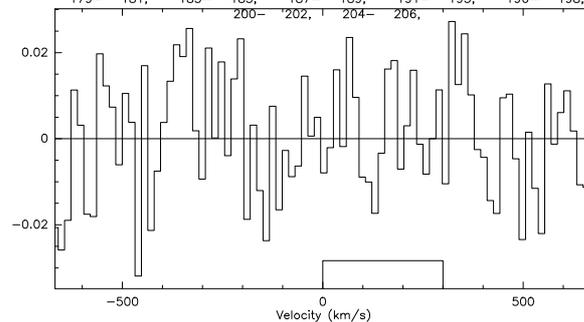
1527; 5 97C 12CO-6(2-1) 30M-4M1-A230 O: 11-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:47:23.720 DEC: -02:21:05.10 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.5699 Tsys: 628.7 Time: 121.6 El: 41.31
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 DV: -15.92 LSR
 F0: 226014.600 Df: 12.00 Fi: 234018.171
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 8.908 Pamb: 727.5 Tamb: 274.9 Tchop: 296.7 Tcold: 77.0
 Tadm: 264.7 Tau: 0.5699 Tadm i: 264.7 Tau i: 0.8063
 7- 9, 11- 13, 15- 17, 19- 21, 24- 25,
 28- 129, 155- 157, 159- 161, 163- 164, 167- 169,



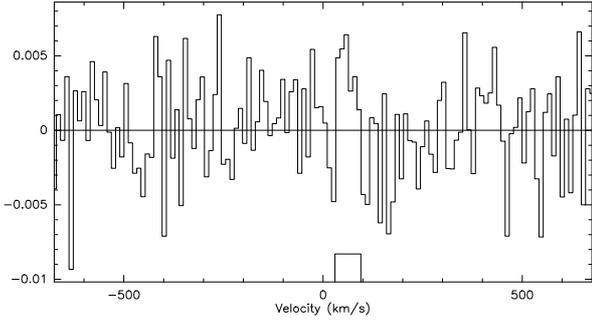
4429; 6 97D 12CO-8(1-0) 30M-1M2-B100 O: 11-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:47:18.880 DEC: -02:18:47.80 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2100 Tsys: 338.7 Time: 130.2 El: 50.15
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 DV: -10.65 LSR
 F0: 112641.100 Df: 4.000 Fi: 115636.938
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 9.245 Pamb: 726.8 Tamb: 274.4 Tchop: 297.1 Tcold: 77.0
 Tadm: 260.3 Tau: 0.2100 Tadm i: 257.1 Tau i: 0.3969
 179- 181, 183- 185, 187- 189, 191- 193, 196- 198,



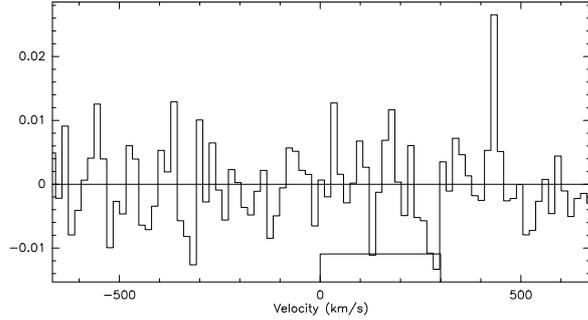
4431; 6 97D 12CO-8(2-1) 30M-4M2-B230 O: 11-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:47:18.880 DEC: -02:18:47.80 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.6264 Tsys: 1928. Time: 110.9 El: 50.15
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 DV: -15.97 LSR
 F0: 225277.900 Df: 12.00 Fi: 233281.466
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 9.805 Pamb: 726.8 Tamb: 274.4 Tchop: 297.1 Tcold: 77.0
 Tadm: 264.0 Tau: 0.6264 Tadm i: 263.9 Tau i: 0.6659
 179- 181, 183- 185, 187- 189, 191- 193, 196- 198,



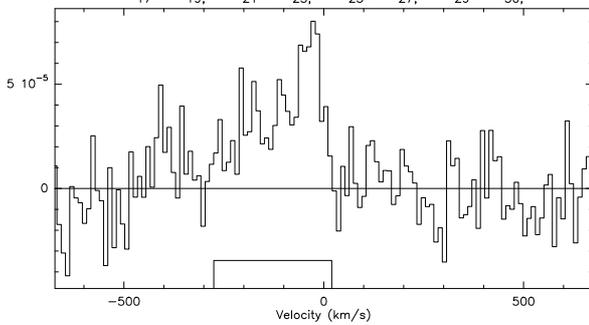
1555; 5 97E 12CO-7(1-0) 30M-1M2-B100 O: 11-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:47:19.800 DEC: -02:16:51.60 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1520 Tsys: 276.1 Time: 85.13 El: 46.45
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.63 LSR
 F0: 112825.000 Df: 4.000 Fi: 115820.893
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 6.3100E-03
 H2O : 4.618 Pamb: 725.1 Tamb: 277.2 Tchop: 296.2 Tcold: 84.6
 Tatm: 258.7 Tau: 0.1520 Tatm i: 256.1 Tau i: 0.3687
 259- 261, 263- 265, 267- 269, 271- 273,



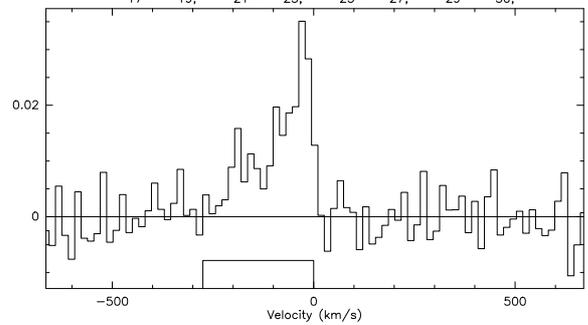
1557; 5 97E 12CO-7(2-1) 30M-4M2-B230 O: 11-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 23:47:19.800 DEC: -02:16:51.60 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.3483 Tsys: 871.8 Time: 81.60 El: 46.45
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.94 LSR
 F0: 225645.600 Df: 12.000 Fi: 233649.314
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 5.319 Pamb: 725.1 Tamb: 277.2 Tchop: 296.2 Tcold: 82.6
 Tatm: 267.3 Tau: 0.3483 Tatm i: 267.4 Tau i: 0.3701
 259- 261, 263- 265, 267- 269, 271- 273,



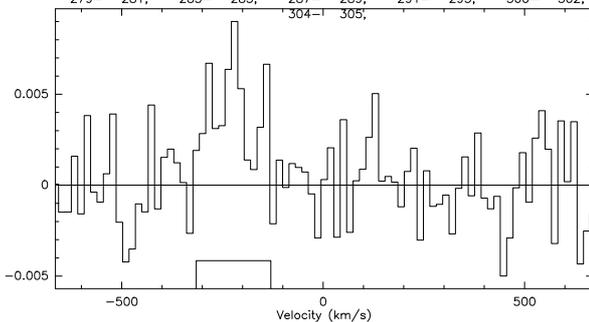
1627; 5 100A 12CO-5(1-0) 30M-1M2-B100 O: 05-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 00:01:20.090 DEC: 13:06:39.40 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1063 Tsys: 2.098 Time: 77.05 El: 46.98
 N: 128 IO: 64.50 VO: 0.00 Dv: -10.59 LSR
 F0: 113194.500 Df: 4.000 Fi: 116190.487
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 0.6081 Pamb: 725.2 Tamb: 275.1 Tchop: 296.4 Tcold: 84.7
 Tatm: 251.1 Tau: 0.1063 Tatm i: 251.6 Tau i: 0.3993
 17- 19, 21- 23, 25- 27, 29- 30,



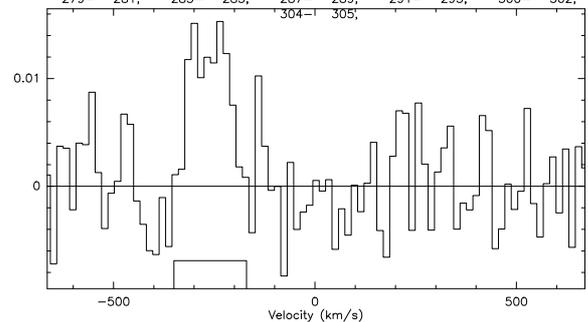
1629; 5 100A 12CO-5(2-1) 30M-4M2-B230 O: 05-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 00:01:20.090 DEC: 13:06:39.40 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1035 Tsys: 552.5 Time: 66.47 El: 46.98
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.89 LSR
 F0: 226384.700 Df: 12.000 Fi: 234388.665
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 1.473 Pamb: 725.2 Tamb: 275.1 Tchop: 296.4 Tcold: 82.7
 Tatm: 263.5 Tau: 0.1035 Tatm i: 263.6 Tau i: 0.1096
 17- 19, 21- 23, 25- 27, 29- 30,



1693; 5 100B 12CO-5(1-0) 30M-1M2-B100 O: 11-OCT-2006 R: 09-JUN-2008
 RA: 00:01:26.120 DEC: 13:06:46.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1943 Tsys: 260.0 Time: 115.8 El: 62.22
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.89 LSR
 F0: 113194.500 Df: 6.000 Fi: 116190.454
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 6.795 Pamb: 724.7 Tamb: 276.9 Tchop: 296.5 Tcold: 84.7
 Tatm: 259.6 Tau: 0.1943 Tatm i: 256.3 Tau i: 0.4850
 279- 281, 283- 285, 287- 289, 291- 293, 300- 302,

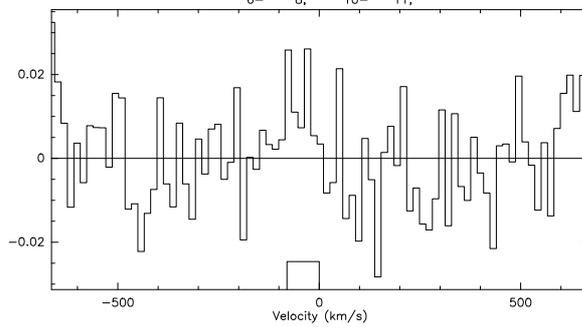
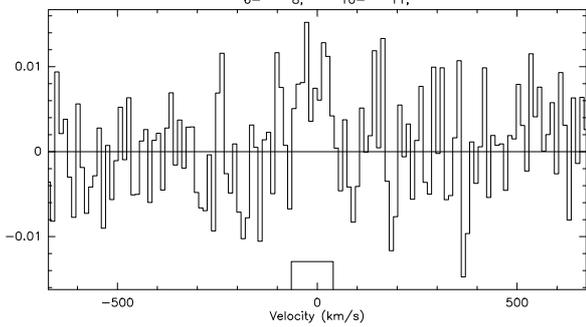


1695; 5 100B 12CO-5(2-1) 30M-4M2-B230 O: 11-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 00:01:26.120 DEC: 13:06:46.00 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.4619 Tsys: 833.1 Time: 109.1 El: 62.22
 N: 85 IO: 43.17 VO: 0.00 Dv: -15.89 LSR
 F0: 226384.700 Df: 12.000 Fi: 234388.577
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 7.038 Pamb: 724.7 Tamb: 276.9 Tchop: 296.5 Tcold: 82.7
 Tatm: 267.3 Tau: 0.4619 Tatm i: 267.4 Tau i: 0.4914
 279- 281, 283- 285, 287- 289, 291- 293, 300- 302,



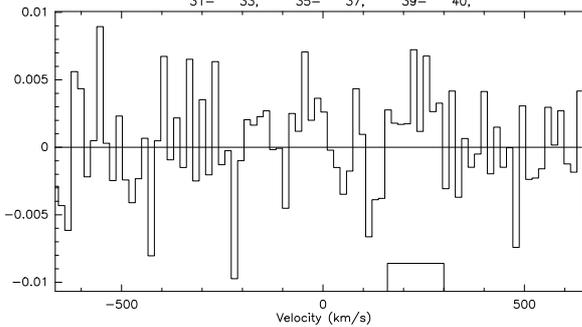
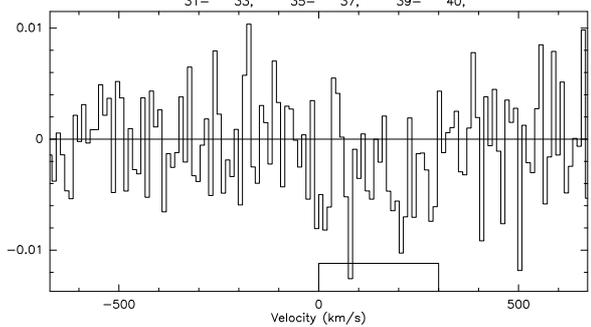
1795; 5 100C 12CO-5(1-0) 30M-1M2-B100 O: 12-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 00:01:13.510 DEC: 13:08:38.30 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.2124 Tsys: 290.1 Time: 35.26 El: 54.36
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.59 LSR
 F0: 113194.500 Df: 4.000 Ff: 116190.453
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 8.013 Pamb: 724.6 Tamb: 277.0 Tchop: 296.1 Tcold: 84.7
 Tatm: 260.3 Tau: 0.2124 Ttm i: 257.0 Tau i: 0.5043

1797; 5 100C 12CO-5(2-1) 30M-4M2-B230 O: 12-OCT-2006 R: 05-JUN-2008
 RA: 00:01:13.510 DEC: 13:08:38.30 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.4740 Tsys: 979.7 Time: 35.26 El: 54.36
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.89 LSR
 F0: 226384.700 Df: 12.00 Ff: 234388.575
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 7.220 Pamb: 724.6 Tamb: 277.0 Tchop: 296.1 Tcold: 82.7
 Tatm: 267.3 Tau: 0.4740 Ttm i: 267.4 Tau i: 0.5043



4555; 6 100D 12CO-5(1-0) 30M-1M2-B100 O: 10-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 00:01:14.760 DEC: 13:06:45.50 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 0.1042 Tsys: 254.5 Time: 47.81 El: 65.15
 N: 128 I0: 64.50 V0: 0.00 Dv: -10.59 LSR
 F0: 113194.500 Df: 4.000 Ff: 116190.317
 B ef: 0.7500 F ef: 0.9500 G im: 3.9810E-03
 H2O : 0.7989 Pamb: 726.0 Tamb: 269.6 Tchop: 296.0 Tcold: 77.0
 Tatm: 249.7 Tau: 0.1042 Ttm i: 249.4 Tau i: 0.3858

4557; 6 100D 12CO-5(2-1) 30M-4M2-B230 O: 10-FEB-2007 R: 05-JUN-2008
 RA: 00:01:14.760 DEC: 13:06:45.50 (2000.0) Offs: 0.0 0.0 Eq
 Unknown Tau: 8.8692E-02 Tsys: 458.4 Time: 47.81 El: 65.15
 N: 85 I0: 43.17 V0: 0.00 Dv: -15.89 LSR
 F0: 226384.700 Df: 12.00 Ff: 234388.211
 B ef: 0.5400 F ef: 0.9100 G im: 1.9953E-02
 H2O : 1.271 Pamb: 726.0 Tamb: 269.6 Tchop: 296.0 Tcold: 77.0
 Tatm: 258.4 Tau: 8.8692E-02 Ttm i: 258.3 Tau i: 9.3919E-02



Bibliography

- [1] D. Vir Lal, S. Matsushita, and J. Lim, “Using Fast-Switching Data to Characterize Atmospheric Phase Fluctuations at the Submillimeter Array,” *ArXiv e-prints*, vol. 706, June 2007.
- [2] P. Hickson, “Systematic properties of compact groups of galaxies,” *ApJ*, vol. 255, pp. 382–391, Apr. 1982.
- [3] J. S. Young and N. Z. Scoville, “Molecular gas in galaxies,” *ARA&A*, vol. 29, pp. 581–625, 1991.
- [4] R. B. Larson and B. M. Tinsley, “Star formation rates in normal and peculiar galaxies,” *ApJ*, vol. 219, pp. 46–59, Jan. 1978.
- [5] C. Xu and J. W. Sulentic, “Infrared emission in paired galaxies. II - Luminosity functions and far-infrared properties,” *ApJ*, vol. 374, pp. 407–430, June 1991.
- [6] J. A. Surace, J. Mazzarella, B. T. Soifer, and A. E. Wehrle, “High resolution IRAS observations of interacting systems in the IRAS bright galaxy sample,” *AJ*, vol. 105, pp. 864–876, Mar. 1993.
- [7] E. Hummel, “The radio continuum radiation of spiral galaxies in multiple systems,” *A&A*, vol. 96, pp. 111–119, Mar. 1981.
- [8] E. Hummel, J. M. van der Hulst, R. C. Kennicutt, and W. C. Keel, “Environmental impact on the nuclear radio activity in spiral galaxies,” *A&A*, vol. 236, pp. 333–345, Sept. 1990.
- [9] M. Moles, A. del Olmo, J. Perea, J. Masegosa, I. Marquez, and V. Costa, “Star formation and merging in compact groups of galaxies,” *A&A*, vol. 285, pp. 404–414, May 1994.
- [10] J. W. Sulentic and C. R. Rabaca, “Optical luminosity functions for compact groups of galaxies,” *ApJ*, vol. 429, pp. 531–539, July 1994.
- [11] S. Leon, F. Combes, and T. K. Menon, “Molecular gas in galaxies of Hickson compact groups,” *A&A*, vol. 330, pp. 37–56, Feb. 1998.
- [12] L. Verdes-Montenegro, M. S. Yun, J. Perea, A. del Olmo, and P. T. P. Ho, “Effects of Interaction-induced Activities in Hickson Compact Groups: CO and Far-Infrared Study,” *ApJ*, vol. 497, pp. 89–+, Apr. 1998.
- [13] J. Iglesias-Páramo and J. M. Vílchez, “On the Influence of the Environment on the Star Formation Rates of a Sample of Galaxies in Nearby Compact Groups,” *ApJ*, vol. 518, pp. 94–102, June 1999.

-
- [14] J. Rasmussen, T. J. Ponman, L. Verdes-Montenegro, M. S. Yun, and S. Borthakur, “Galaxy evolution in Hickson compact groups: the role of ram-pressure stripping and strangulation,” *MNRAS*, pp. 734–+, June 2008.
 - [15] L. Verdes-Montenegro, “Ism of galaxies in extremely different environments: isolated vs compact groups,” in *Proceedings of the ESO workshop Groups of Galaxies in the Local Universe*, 2006.
 - [16] L. Verdes-Montenegro, M. S. Yun, B. A. Williams, W. K. Huchtmeier, A. Del Olmo, and J. Perea, “Where is the neutral atomic gas in Hickson groups?,” *A&A*, vol. 377, pp. 812–826, Oct. 2001.
 - [17] L. Verdes-Montenegro, J. Sulentic, U. Lisenfeld, S. Leon, D. Espada, E. Garcia, J. Sabater, and S. Verley, “The AMIGA project. I. Optical characterization of the CIG catalog,” *A&A*, vol. 436, pp. 443–455, June 2005.
 - [18] D. E. Fernandez, *Propiedades del gas neutro en galaxias aisladas*. PhD thesis, Instituto de Astrofísica de Andalucía-CSIC, 2006.