

Тепловое и мазерное свечение межзвездного газа в темных молекулярных облаках

М.А. Щуров

Тёмные молекулярные облака и формирование звёзд

- Звезды образуются в результате фрагментации молекулярных облаков и гравитационного коллапса.
- Эволюционное состояние среды, в которой формируются протозвезды, можно оценить, **исследуя её излучение**, что позволяет получить информацию о макроскопических параметрах системы, например, о **температуре и плотности**.

Общая информация

ЗВЕЗДЫ МАЛОЙ МАССЫ ($<1-2 M_{\odot}$):

- ИХ МНОГО;
- расположены в близких окрестностях солнечной системы;
- время существования в стадии «до главной последовательности» длительное (для звезд T Tauri от $\sim 1-3 \times 10^6$ до $\sim 10^8$ лет).

МАССИВНЫЕ ОВ-ЗВЕЗДЫ ($>8 M_{\odot}$):

- Формирование изучено хуже;
- реже встречаются;
- глубоко погружены в турбулентные непрозрачные слои родительского облака;
- протозвезды большой массы быстро проходят стадию «до главной последовательности» (PMS) (за $< \sim 10^4$ лет), иногда даже без оптической фазы;
- попадают на начальную часть главной последовательности нулевого возраста, будучи еще погруженными в пыль и находясь в стадии аккреции.

Цель исследования

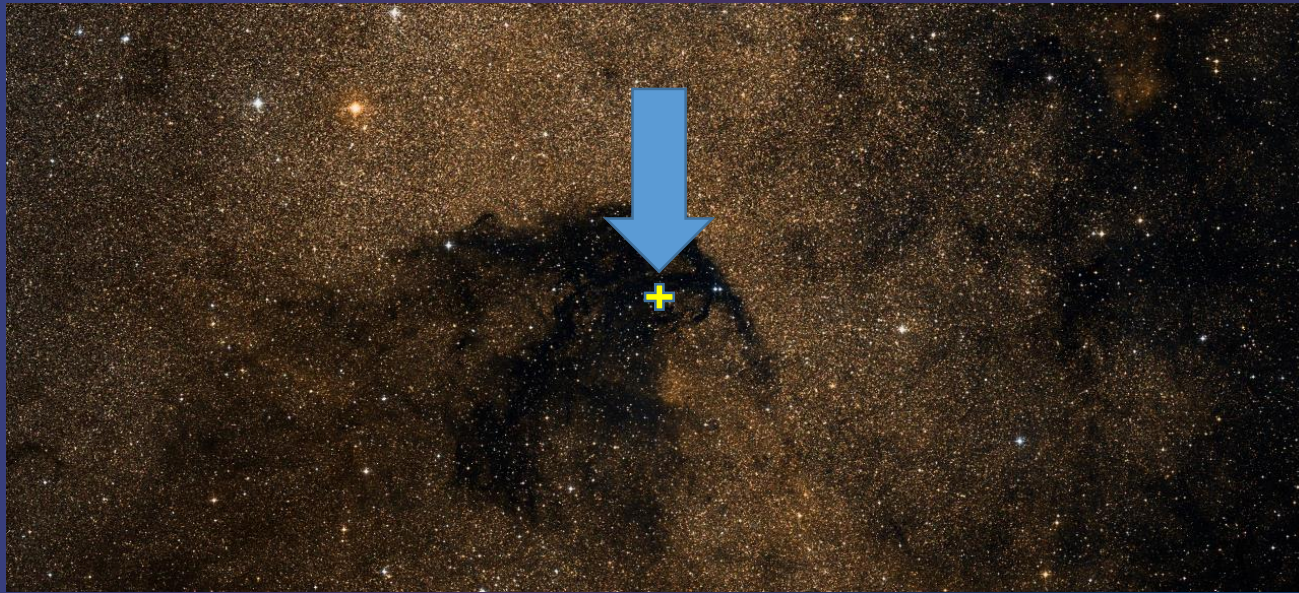
Целью данной работы является исследование двух темных молекулярных облаков:

- L379 - для более полного определения **молекулярного состава и физических параметров газа** в области L379 IRS1, основываясь на особенностях излучения молекул в **тепловых линиях** в этом источнике;
- Темного плотного облака в отражательной туманности NGC 2071 – для изучения **тонкой пространственной структуры** распределения мазерных сгустков и более глубокого понимания модели области NGC 2071 IRS1, используя возможности сверхвысокого пространственного разрешения, полученного с помощью КРТ “РадиоАстрон”.

Часть 1

Исследование области звёздообразования L379 по радиолиниям метанола и других молекул

Изображение молекулярного облака L379 в оптическом диапазоне



Масштаб: величина крестика ~ 2 x 2 мин. дуги

- L379 – тёмное молекулярное облако, расстояние от Солнца 2 кпк.
- В нём зафиксировано 17 источников IRAS, исследовался самый яркий из них – IRS1
- Координаты **L379 IRS1 (J2000)**:
RA = 18^h29^m24.8^s (±25 arcsec)
Dec = -15°15'49.0" (±6 arcsec)

Изучение структуры и химического состава L379 IRS1

необходимо как для понимания процессов формирования звёзд, так и для поиска «**пребиотиков**» – органических веществ, предшествующих появлению жизни.

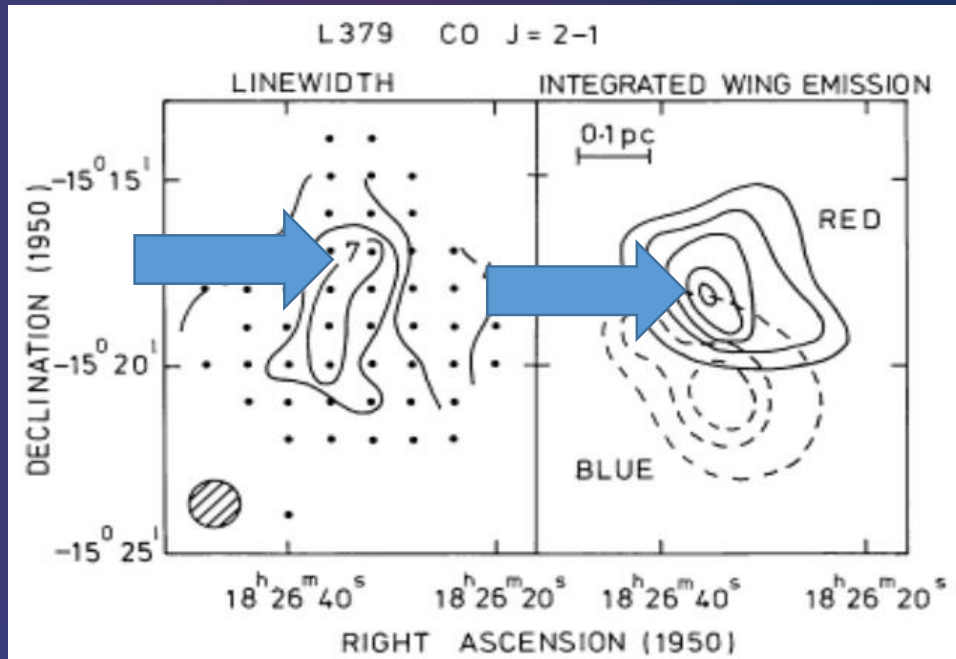
Наблюдения L379 IRS1



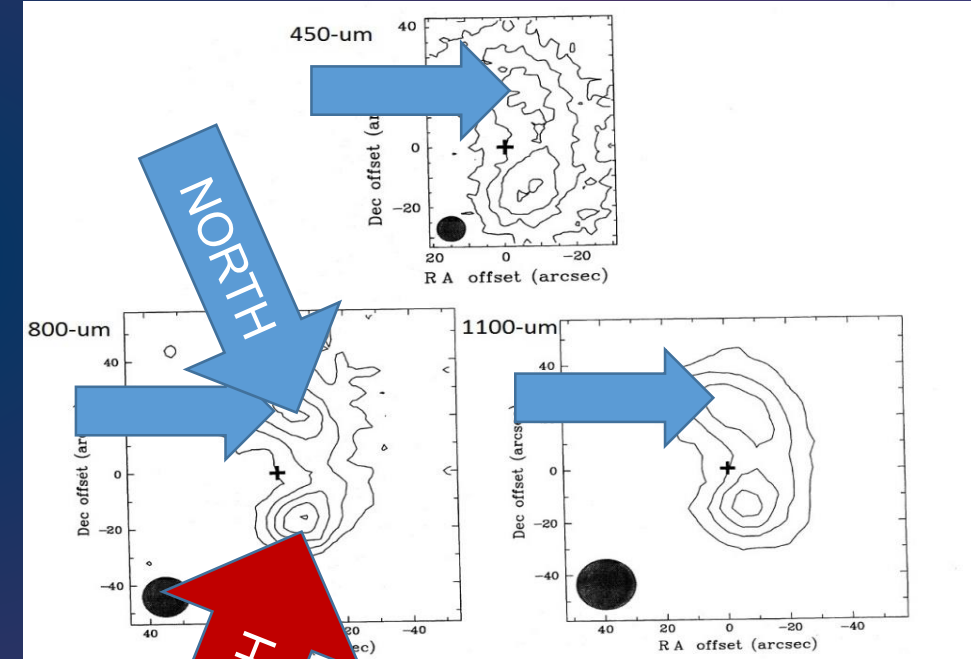
UKIRT, Mauna Kea,
Hawaii, 3.8 m, 1-30 μm
(submm, $\sim <1000$ ГГц,
 ^{12}CO)



JCMT, Mauna Kea,
Hawaii, 15 m, 0.3-2 mm
(~ 100 ГГц,
континуум 450, 800,
1100 μm)



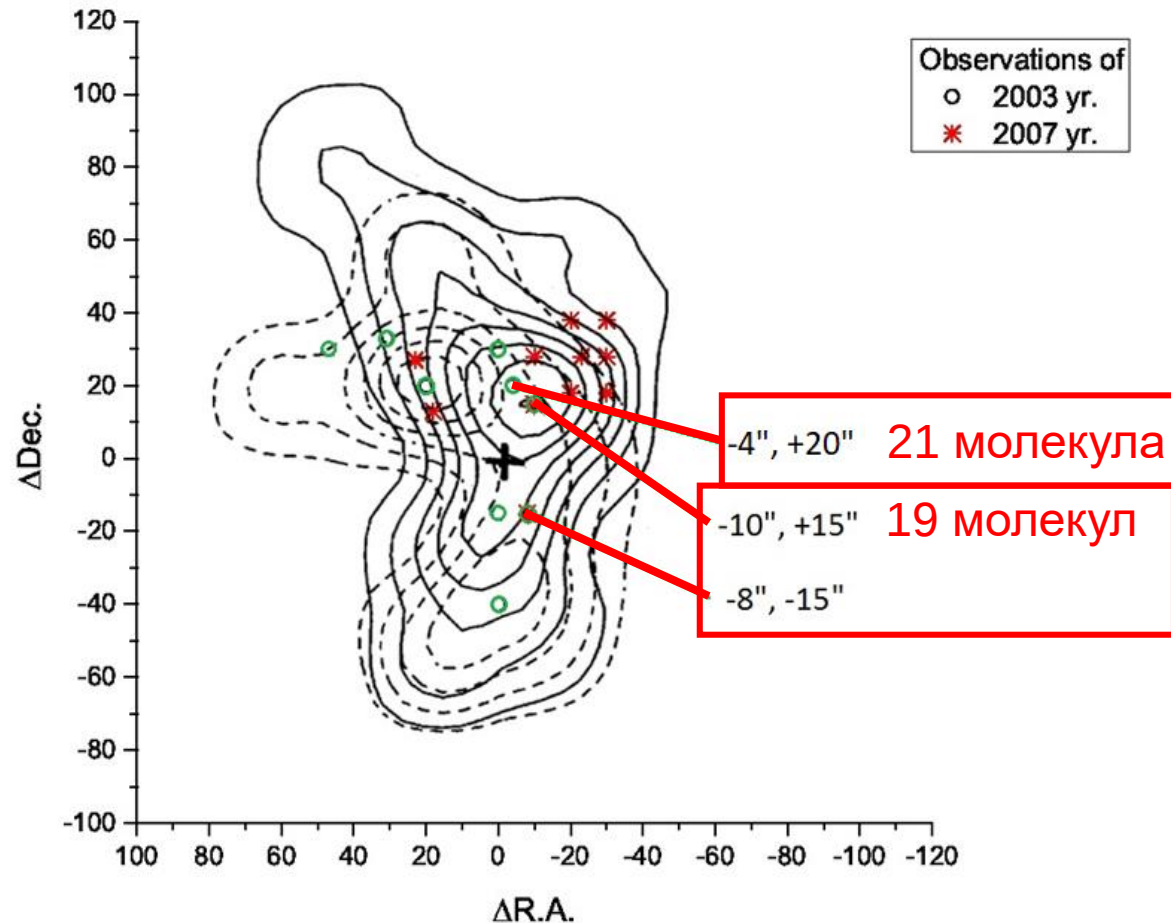
J.Hilton et al., Astron. Astrophys. 154, 274-278 (1986)



...elly and G.H.Macdonald G. H.,
...st.Roy.Astron.Soc. 282, 401 (1996)

Обнаружен минимум один биполярный поток, расположенный в
направлении «север - юг».

Наблюдавшиеся на IRAM направления (Pico Veleta, Spain), Institut de Radioastronomie Millimétrique,



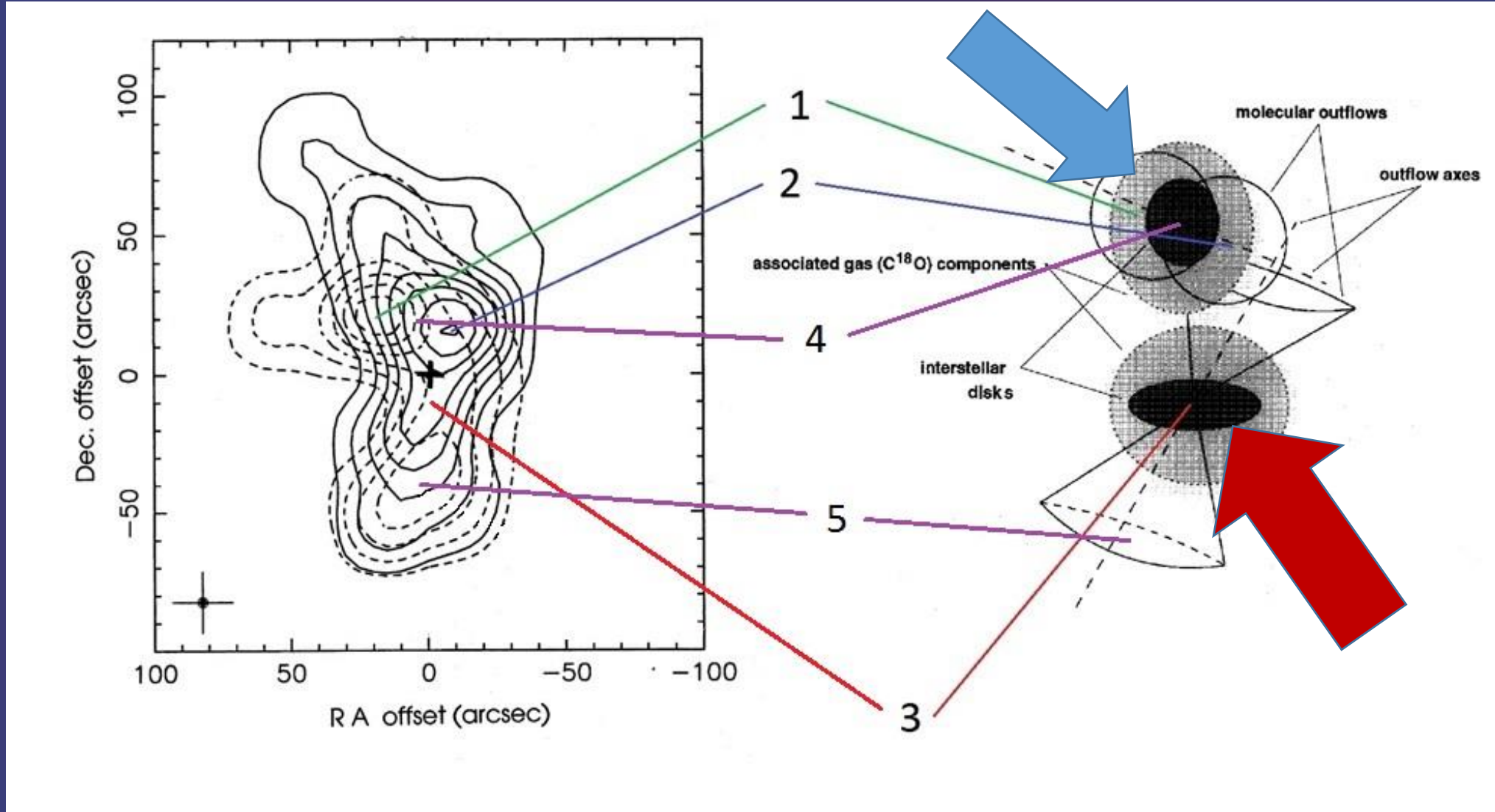
IRAM-30м, 0.8-3mm (370-100 ГГц)

Направления, наблюдавшиеся в
двух эпохах.

Наблюдения 2003 г. обозначены
кружочками, 2007 г. —
звёздочками.

Контурами показаны потоки в
линии ^{12}CO J= 1-2.

Модель биполярных потоков IRS1



Карта биполярного потока,
контуры - **В ЛИНИИ** $^{12}\text{CO } J=2-1$

Модель биполярного потока

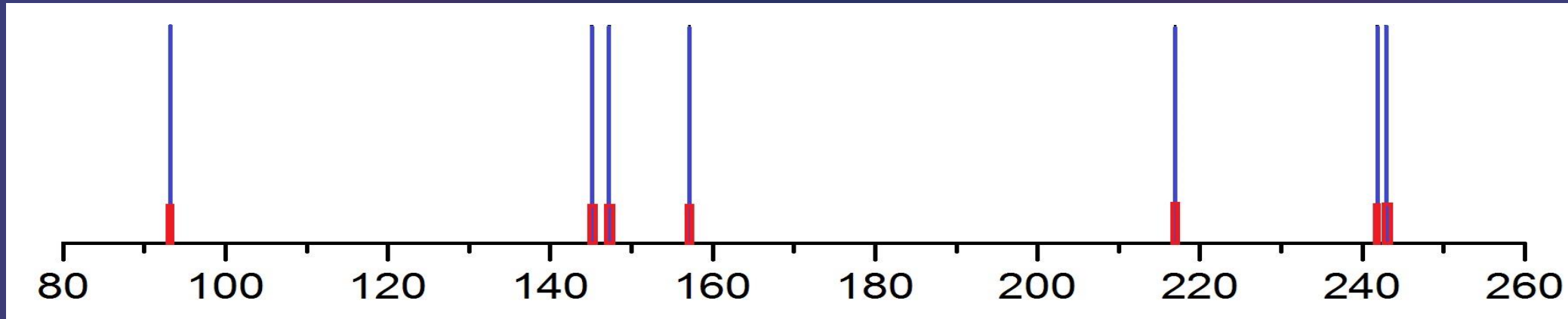
Список обнаруженных молекул (2003 и 2007 гг.)

Двухатомные	CS, C ³³ S, C ³⁴ S, SiO
Трехатомные	CCS , DCN, H ₂ S, N ₂ H ⁺ , OCS, SO ₂
Четырехатомные	H ₂ CO, HDCS , HNCO
Пятиатомные	c-C ₃ H ₂ , HCCCN, HC ¹³ CCN, HCOOH
Шестиатомные	CH ₃ CN, CH ₃ OH
Семиатомные	HC ₅ N, CH₃CHO
Восьмиатомные	CH ₃ OCHO, CH₂OHCHO
Девятиатомные	CH ₃ OCH ₃

Рельефным шрифтом отмечены молекулы, линии которых обнаружены только на пределе чувствительности (~ 3σ)

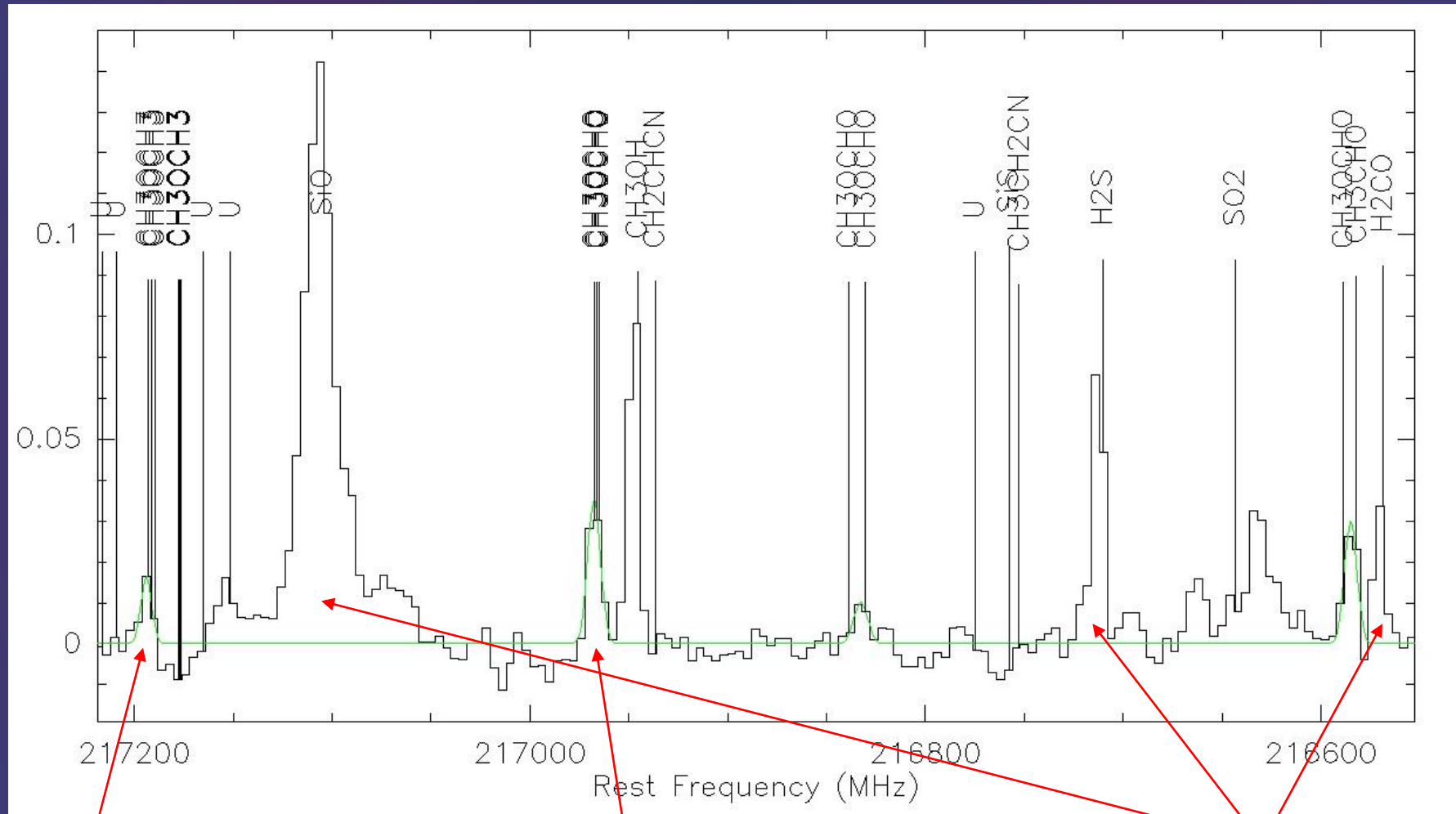
Диапазоны наблюдавшихся на IRAM-30м частот (ГГц)

Наблюдавшиеся интервалы и их центральные частоты показаны синим и красным цветом, соответственно.



Центральная частота (ГГц)	Нижняя граница частоты (ГГц)	Верхняя граница частоты (ГГц)
93.2	92.8875	93.5125
145.1	144.7	145.5
147.2	146.8	147.6
157.1	156.7	157.5
216.9	216.5	217.3
241.8	241.675	241.925
242.9	242.5	243.3

Пример спектра в диапазоне 217 ГГц



диметилэфир (CH₃OCH₃)

метилформиат (CH₃OCHO)

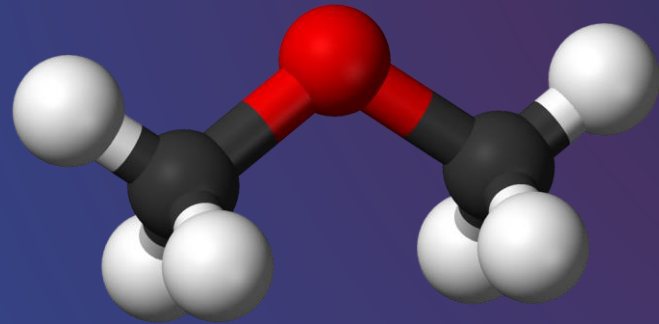
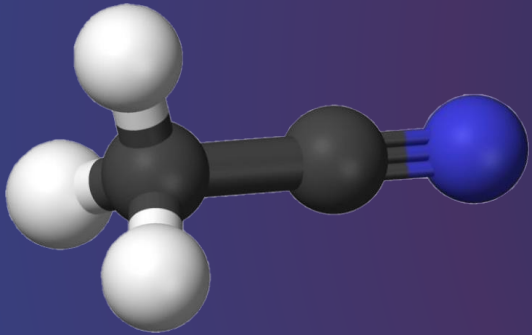
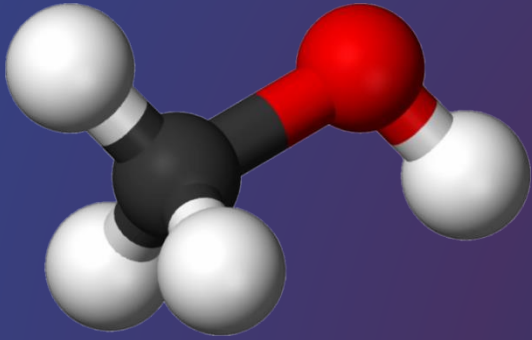
простые соединения (SiO, H₂S, H₂CO)

Гауссовы параметры линий и лучевые концентрации молекул, обнаруженных в L379.

11 СТРАНИЦ, 472 линии

Частота, МГц	Молекула	Переход	$\int T_R dV$, K*км/с	V_{LSR} , км/с	ΔV , км/с	T_R , К	N_{mol} , 10^{14} см $^{-2}$	Прим.
144617.114	C ³⁴ S	3 – 2	1.68(0.09)	17.65(0.38)	12.49(0.63)	0.13	0.08	4 MHz
144830.338	DCN	2 – 1	0.69(0.08)	21.95(0.90)	14.72(1.65)	0.04	0.01	hfs, 4 MHz
145089.620	c-C ₃ H ₂	3 _{1,2} – 2 _{2,1}	0.76(0.06)	18.75(0.20)	18.75(0.20)	0.13	0.21	
145093.760	CH ₃ OH	3 _{0,3} – 2 _{0,2} E	3.79(0.14)	18.67(0.03)	7.18(0.04)	0.49		
145097.443	CH ₃ OH	3 _{-1,3} – 2 _{-1,2} E	13.13(0.14)	18.67(0.03)	7.18(0.04)	1.72		
145103.194	CH ₃ OH	3 _{0,3} – 2 _{0,2} A+	15.33(0.15)	18.67(0.03)	7.18(0.04)	2.01		bw
145126.190	CH ₃ OH	3 _{2,1} – 2 _{2,0} E	1.63(0.14)	18.67(0.03)	7.18(0.04)	0.21		ws?
145131.872	CH ₃ OH	3 _{1,2} – 2 _{1,1} E	1.59(0.13)	18.67(0.03)	7.18(0.04)	0.20		ws?
145560.950	HCCCN	16 – 15	2.58(0.19)	17.90(0.54)	13.46(1.00)	0.18	0.11	4 MHz
145602.949	H ₂ CO	2 _{0,2} – 1 _{0,1}	7.89(0.08)	18.06(0.07)	15.27(0.19)	0.49	1.74	4 MHz
156828.480	CH ₃ OH	7 _{0,7} – 7 _{-1,7} E	0.89(0.08)	16.51(0.25)	14.03(0.43)	0.06		4 MHz
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Метанол (CH_3OH), метилцианид (CH_3CN) и диметилэфир (CH_3OCH_3)



- Метанол – молекула типа асимметричного волчка
- Позволяет измерять **как температуру, так и плотность** межзвёздного газа
- Метилцианид – молекула типа **симметричного** волчка, хороший **температурный** «зонд» для межзвёздного газа
- Диметилэфир – молекула типа **асимметричного** волчка
- Основной вклад в излучение диметилэфира дают **горячие ядра**

Вращательные диаграммы

- Вращательная диаграмма – это соотношение между населённостями уровней и их энергией;
- Вращательная диаграмма позволяет определить вращательную температуру;
- Вращательная температура - это температура, которая описывает **соотношение населенностей вращательных уровней**;

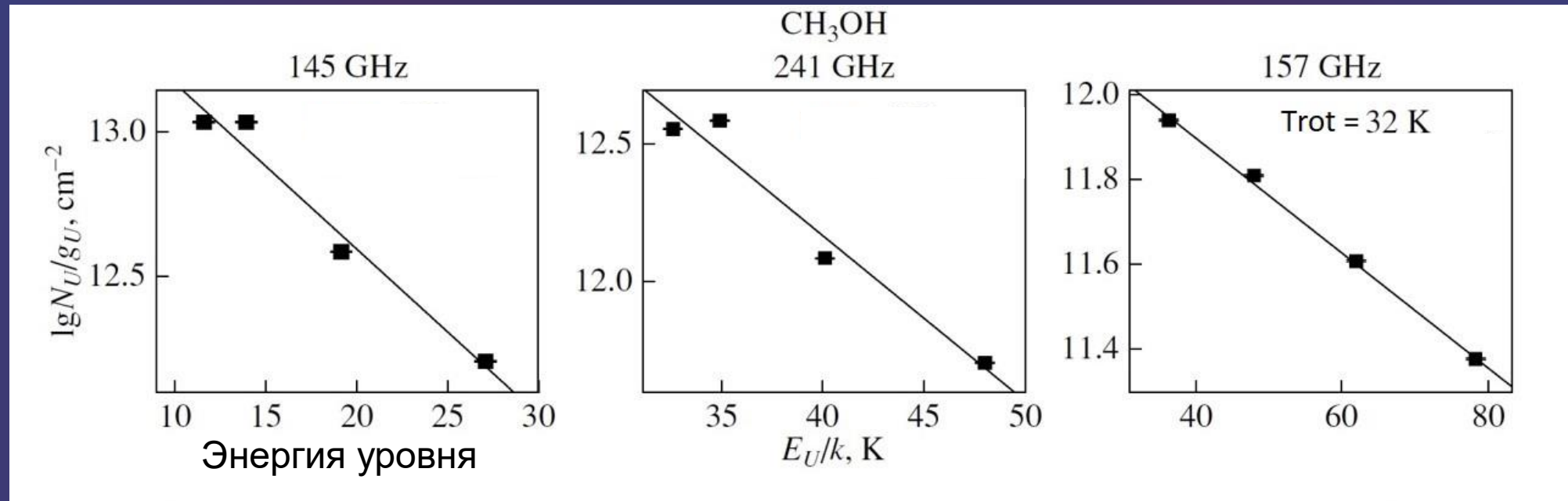
$$N_{tot} = \frac{N_u}{g_u} \cdot Q(T_{rot}) \cdot \exp\left(\frac{E_u}{T_{rot}}\right);$$

$$\frac{N_u}{g_u} = \frac{3 \cdot k \cdot w}{8\pi^3 \cdot S \cdot \mu^2 \cdot \nu};$$

Где N_{tot} – плотность на луче зрения, N_u – плотность молекул на луче зрения на данном уровне;
 $\hbar$ – постоянная Планка, k – постоянная Больцмана, ν – частота перехода, $Q(T_{rot})$ – стат. сумма молекулы для данного темп. диапазона, S – сила линии, μ^2 – дипольный момент молекулы, g_u – стат. вес верхнего уровня, w – интегральная интенсивность линии

Вращательные диаграммы, построенные по радиолиниям метанола

Населённость уровня

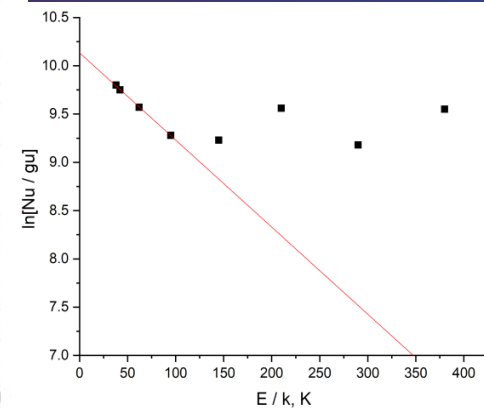
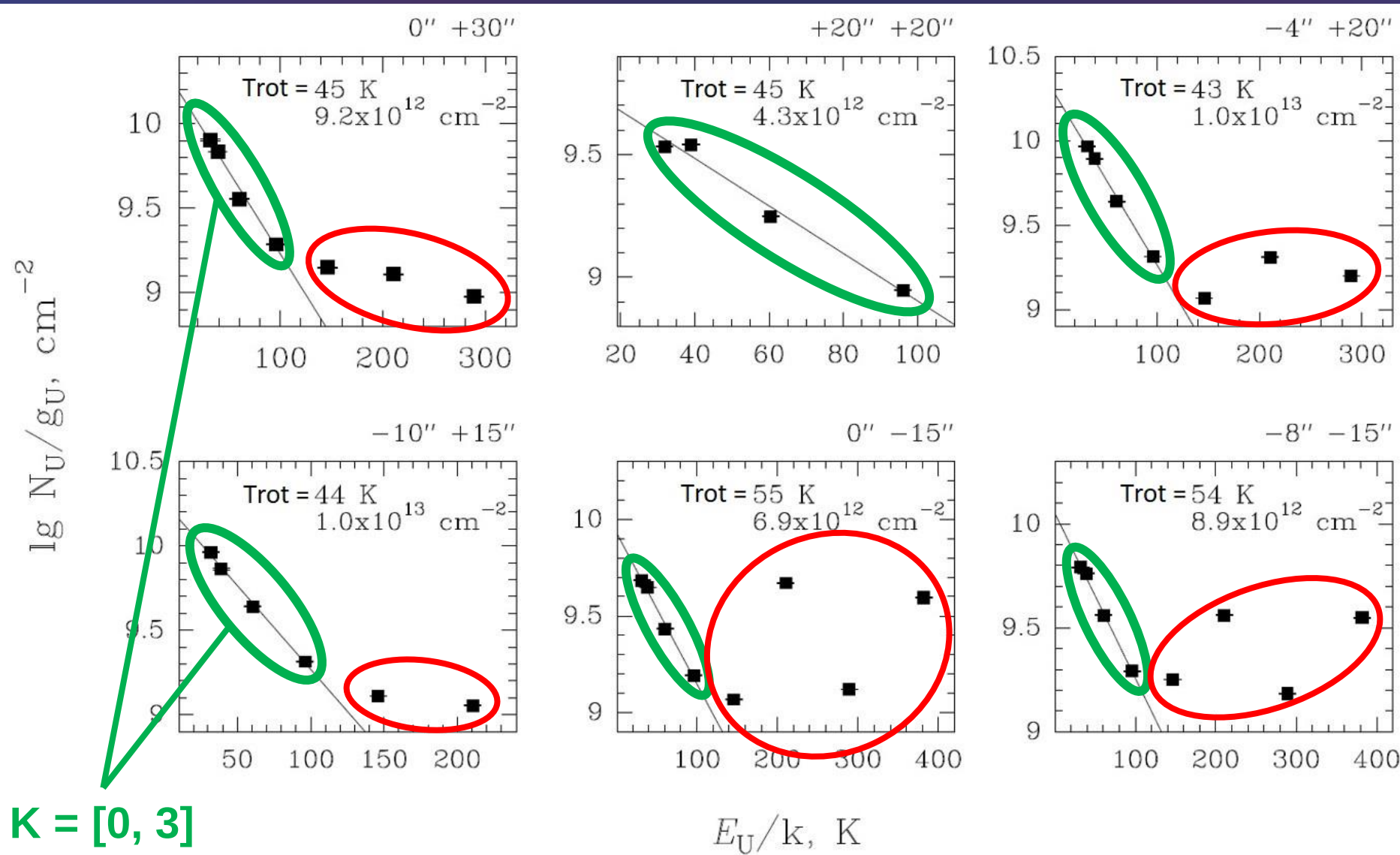


- Вращательные температуры (T_{rot}), определенные на частотах 145 и 241 ГГц **зависят, в основном, от плотности** (в широком диапазоне значений кинетической температуры, плотности и лучевой концентрации метанола) и могут служить для оценки этого параметра (Каленский & Куртц, АЖ 2016, 93, 692). Полученная в нашем случае **объёмная плотность** газа составила **10^6 см^{-3}** .
- Кинетическая температура (T_k), определенная по линиям на частоте 157 ГГц, при плотности порядка $\sim 10^6 \text{ см}^{-3}$ составила **32-63 (± 0.5) К в разных оффсетах**

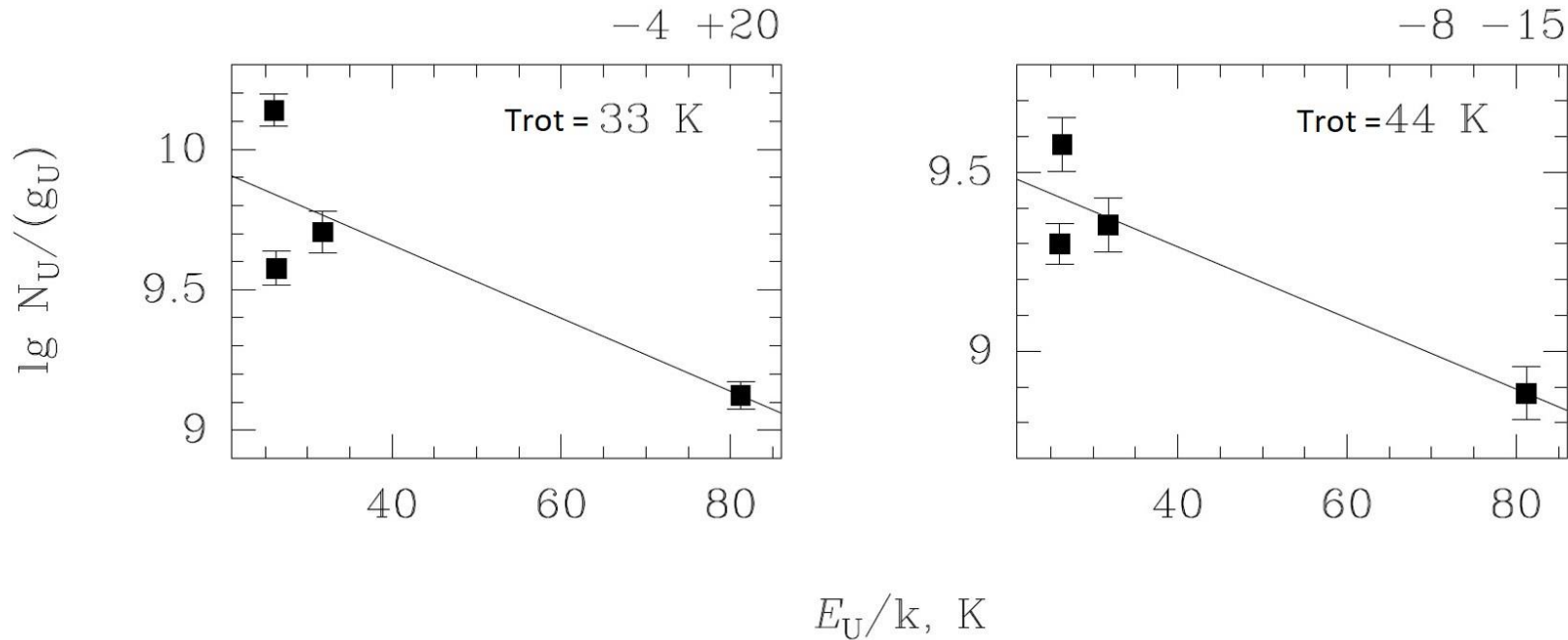
Таблица параметров газа, полученных по радиолиниям метанола

Направление	T_{rot} , К (145 ГГц)	T_{rot} , К (241 ГГц)	T_{rot} , К (157 ГГц)	T_{kin} , К	N_{CH_3OH} (10^{14} см^{-2})
$-20'' + 38''$	6.6	6.2	42	63	5.6
$-30'' + 38''$	6.6	7.6	21	32	3.4
$-10'' + 28''$	7.5	7.5	31	47	9.4
$-23'' + 28''$	7.4	7.5	32	48	9.2
$-30'' + 28''$	7.0	7.3	36	54	4.8
$+23'' + 27''$	6.3	6.6	31	47	4.6
$-4'' + 20''$	7.6	7.2	32	48	10.0
$-20'' + 18''$	7.4	7.3	30	45	9.4
$-30'' + 18''$	6.6	5.7	26	39	4.0
$-10'' + 15''$	7.7	7.7	31	47	10.8
$+18'' + 13''$	6.0	5.7	24	36	3.6
$-8'' - 15''$	8.8	9.3	40	60	9.4

Вращательные диаграммы, построенные по линиям метилцианида $8_K - 7_K$ на частоте 147 ГГц



Вращательные диаграммы диметилэфира



- Обычно **вращательные температуры**, определенные по линиям **диметилэфира** в подобных областях оказываются **порядка 100 K**.
- Недавно излучение этой молекулы было обнаружено в газе, температура которого ниже 100 K (S. E. Bisschop et al. 2013, A&A 552, A122)
- В **наших** измерениях вращательная температура диметилэфира **оказалась равной 44 K и 33K**

Возможно, в областях образования звезд большой массы (как в L379IRS1) диметилэфира в спокойном газе может быть достаточно много, чтобы его обнаружить?

Нужны дальнейшие исследования

Результаты по линиям других молекул

- Помимо упомянутых линий, были обнаружены линии **многих других молекул**.
- Сравнение полученных результатов с результатами исследования хорошо изученной области DR21(OH) показало **хорошее совпадение лучевых концентраций для большинства молекул, за исключением SO_2** (недостаток в ~ 20 раз), при этом лучевые концентрации CS, OCS и др. серосодержащих молекул отличаются в ~ 2 раза.
- Содержание SO_2 со временем растёт, а $[\text{H}_2\text{S}]/[\text{SO}_2]$, $[\text{CS}]/[\text{SO}_2]$ и $[\text{OCS}]/[\text{SO}_2]$ резко падает при возрасте облака **$\sim 10^5$ лет**, $\Rightarrow$ **возможно L379 IRS1 химически моложе**, чем DR21(OH) (т.е. $< 10^5$ лет для L379)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ч.1

- При исследовании химического состава источника L379 IRS1 на 30-м радиотелескопе IRAM в диапазонах длин волн 1-3 мм **обнаружено излучение в линиях 24-х молекул**, начиная с простых двух- и трехатомных и кончая сложными восьми-девятнадцаточленными соединениями;
- Определена **кинетическая температура** спокойного газа исследуемой области методом вращательных диаграмм, построенных по линиям молекул метанола и метилцианида, она составила **40-50 K**;
- Показано, что кроме этого “теплого” газа в L379 IRS1 существует горячий компонент, который проявляется наличием высоковозбужденных линий метанола и метилцианида;
- Рассчитанные **лучевые концентрации** метанола и метилцианида **составили 10^{-9} и 10^{-11}** , соответственно. Лучевые концентрации А- и Е-метанола оказались практически одинаковы.
- Обнаружено, что молекулярный состав газа очень близок к составу другой области образования звезд большой массы – DR21(OH), **однако** лучевая концентрация **двуокиси серы** в L379 IRS1, по крайней мере, **в 20 раз меньше**. Отношения содержаний SO_2/CS и SO_2/OCS , которые можно использовать в качестве химических часов, в L379 IRS1 оказались намного меньше, чем в DR21(OH). По-видимому, область звездообразования **L379 IRS1 моложе, чем DR21(OH)**.

Часть 2

**NGC 2071 в космическом проекте
«РадиоАстрон»:
пространственное распределение
мазерных пятен H_2O**

Радиоастрон – наземно-космический радиоинтерферометр

5 лет

РОССИЙСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «Спектр-Р»

Космический аппарат «Спектр-Р»
запущен 18 июля 2011 года.

350 тыс. км

высота апогея орбиты
космического аппарата

10 м

диаметр зеркальной
антенны телескопа

27

раскрывающихся
лепестков

3 м

диаметр
центрального
зеркала



РОСКОСМОС

ЛУНА, расстояние до Земли: **384,4** тысячи км,
период обращения: **27** дней

период обращения: **8** дней **7** часов

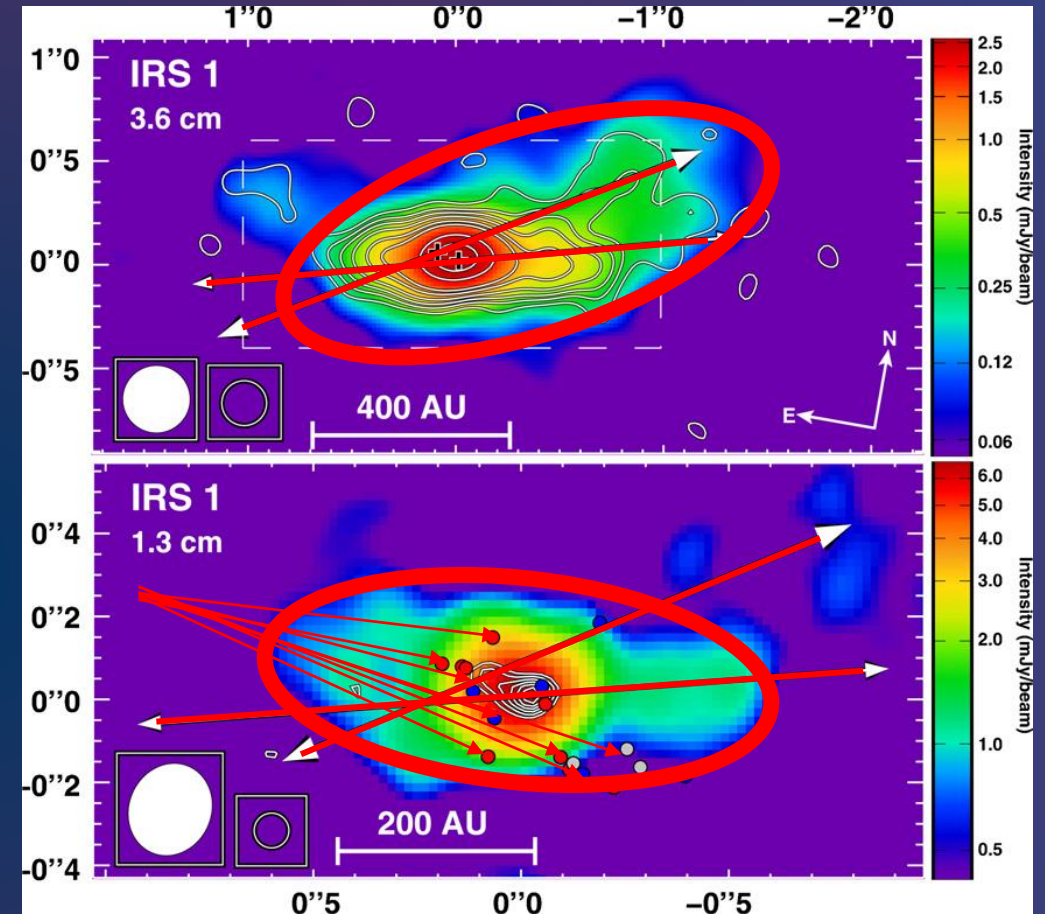
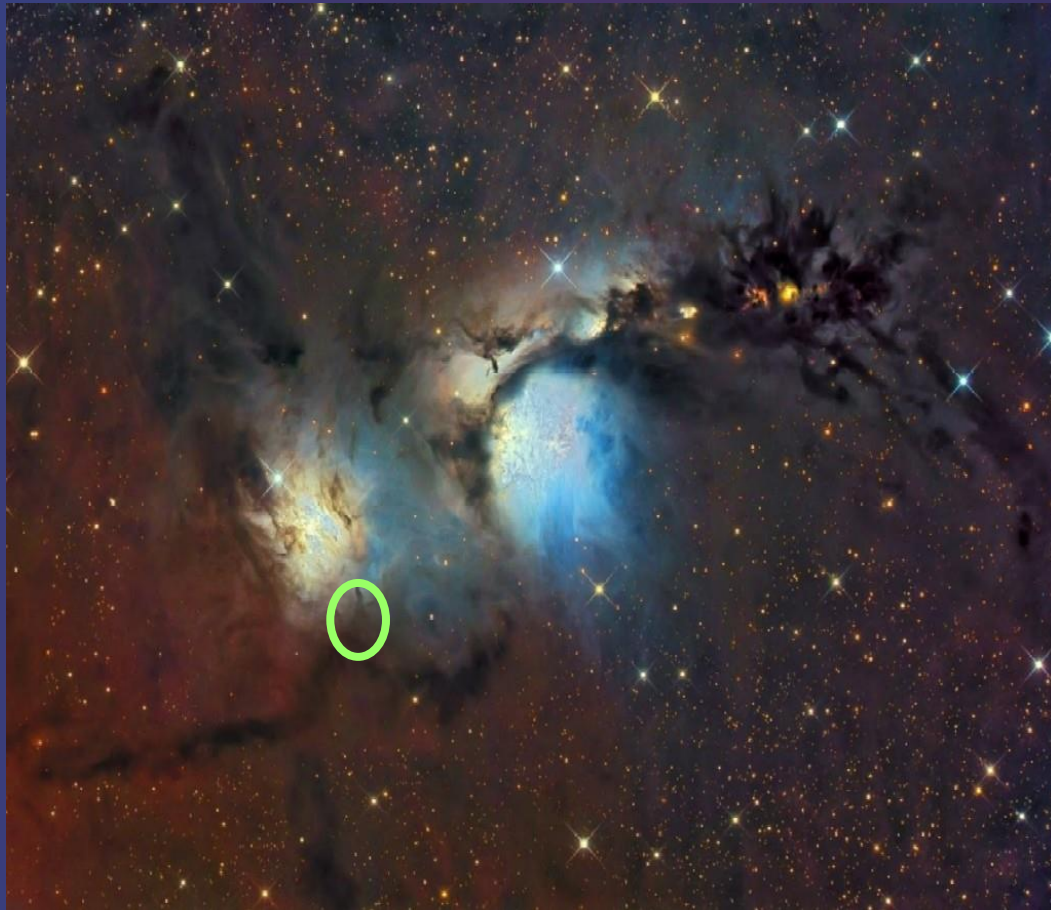
База наземно-космического ИНТЕРФЕРОМЕТРА
330-360 000 км

Обсерватория работала в четырёх
диапазонах от метровых до
сантиметровых длин волн:

**P – 92 см, L – 18 см,
C – 6.2 см, K – 1.3 см**

**10-ти метровый космический
радиотелескоп (КРТ),
установленный на спутнике,
работал в режиме
интерферометра вместе с
наземными антеннами.
Это позволило проводить
наблюдения со сверхвысоким
разрешением,
рекорд –
7 угловых микросекунд.**

Структура NGC 2071

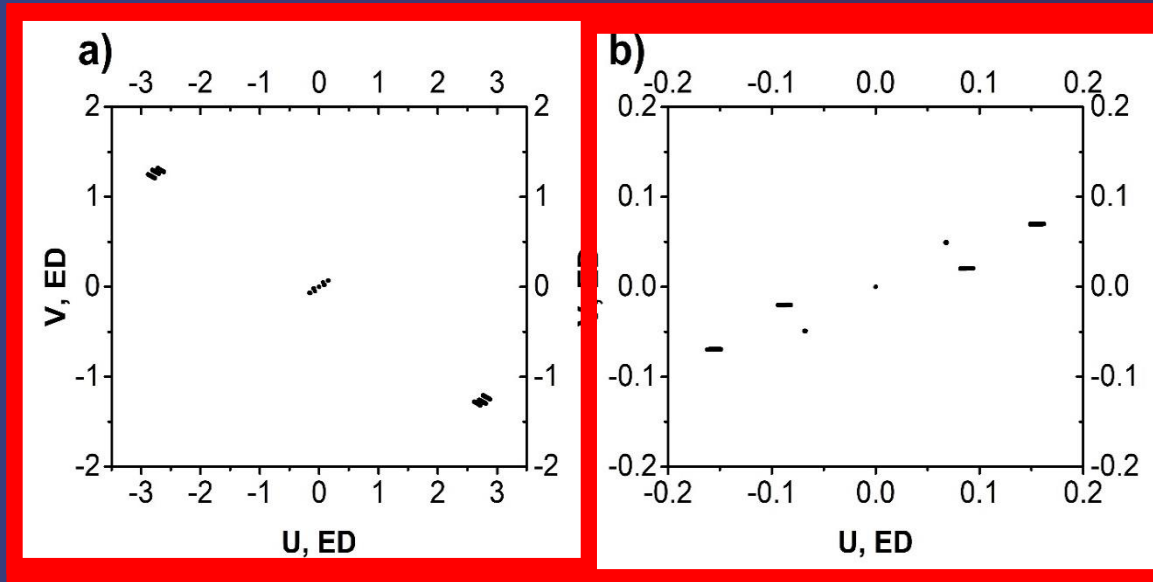


NGC2071 расположена в созвездии Ориона на расстоянии **390 пк** от Солнечной системы.

В качестве координат источника были приняты координаты области NGC 2071 IRS 1:

$RA(J2000) = 05^h47^m04^s.758$, $DEC(J2000) = 00^\circ 21' 42''.700$ Мазеры на молекулах воды являются самыми сильными по сравнению с мазерами других молекул (гидроксил, метанол), достигая 10^4 Дж в пике, имеют размеры ~ 1 а.е.

Наблюдения

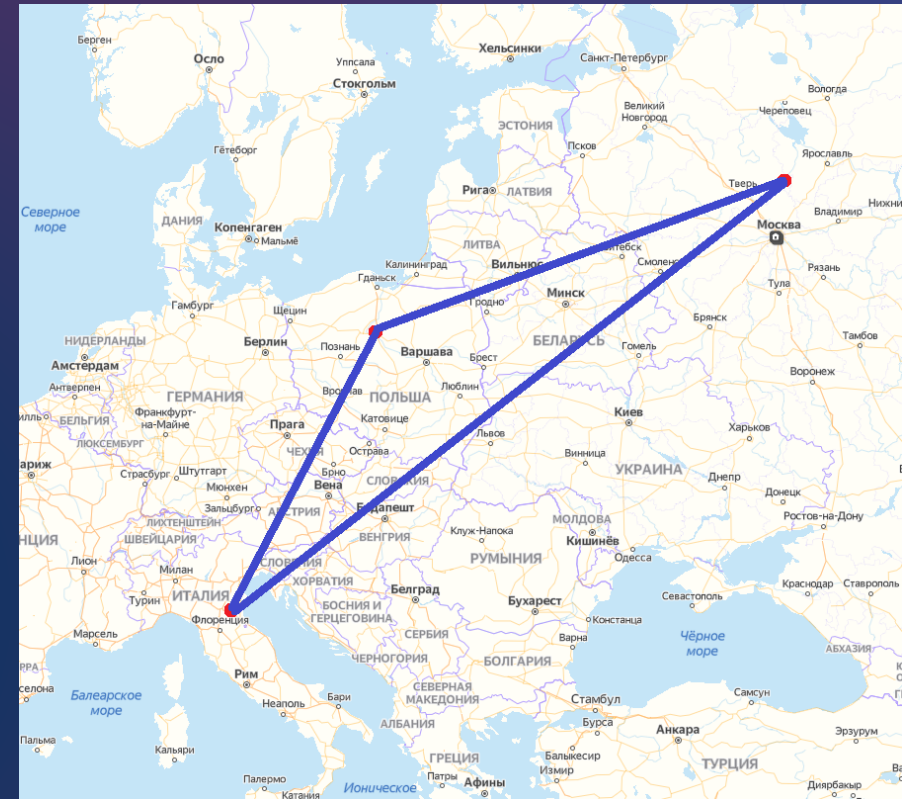


Реализованное покрытие UV-плоскости на интерферометре для
a) наземно – космической сети телескопов;
b) наземной сети телескопов.

70-минутный сеанс *наблюдений* проводился 11 января 2014 года с использованием **10-метрового космического радиотелескопа (SRT)** и наземной сети, состоящей из **РТ-64 Калязин** (Московская область, Россия), **РТ-32 Торунь** (Польша), и **РТ-32 Медичина** (Италия).

Измерения проводились на частоте мазера H_2O
22.2280 ГГц с шириной полосы записи **16 МГц (~215 км/с).**

Расстояние до спутника на момент измерений – от 197760.5 км (~15.5 ED) до 255499.4 км (~20.1 ED),
расстояние до Луны – 384400 км (~30 ED)



Проекции баз для наземных телескопов:

База	Проекция базы, ED (km)
Mc – Tr	0.08 (1072)
Mc – Kl	0.16 (2163)
Tr – Kl	0.89 (1133)

Обработка данных

- Обработка данных интерферометра состоит из двух частей – корреляционная и пост-корреляционная. Первая часть выполняется на корреляторах.
- **Основная трудность - ни один из корреляторов в мире,** работающих с несвязанными радиотелескопами в системе интерферометра, **не имел опыта работы с данными от спутниковой обсерватории** до запуска проекта «РадиоАстрон».
- Все данные поступали в АКЦ в сыром, некоррелированном виде.
- **Корреляционная обработка данных проводилась на FX-корреляторе АКЦ ФИАН.**
- Для их обработки необходимо было **создать свои специализированные программы и разработать алгоритмы и программные коды** для поиска корреляций.

Коррелятор АКЦ ФИАН



На фото - коррелятор АКЦ ФИАН

Количество спектральных каналов при обработке – **2048**.

Это соответствует разрешению по частоте **7.81 кГц** т.е. **0.11 км/с** (для полосы записи шириной **16 МГц (~215 км/с)**).

Синтезированная диаграмма для наземной сети - **6 x 0.6 мсек**

$RA (J2000) = 05^h 47^m 04^s.758$, $DEC (J2000) = 00^\circ 21' 42''.700$

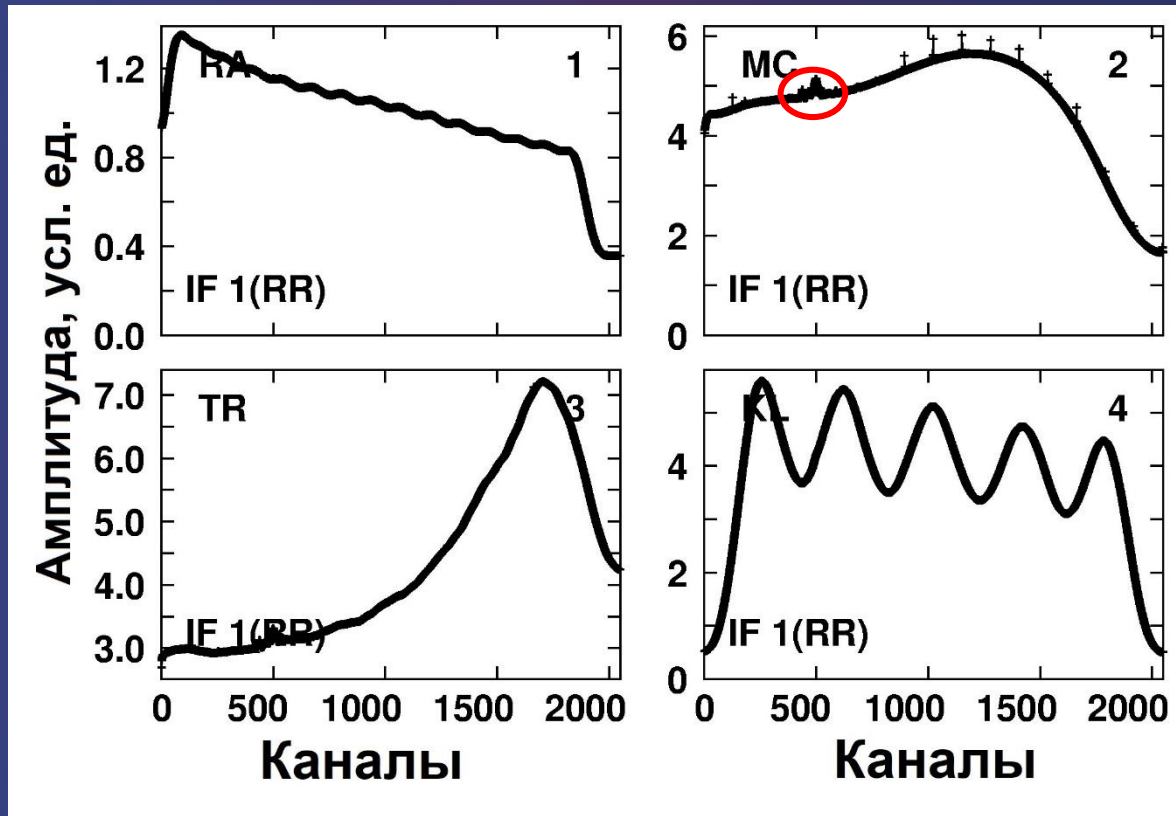
Одномерное разрешение на наземно-космической базе **3.1 ED – 0.07 мсек**

Обработка мазерных интерферометрических наблюдений - программа «LineViewer»

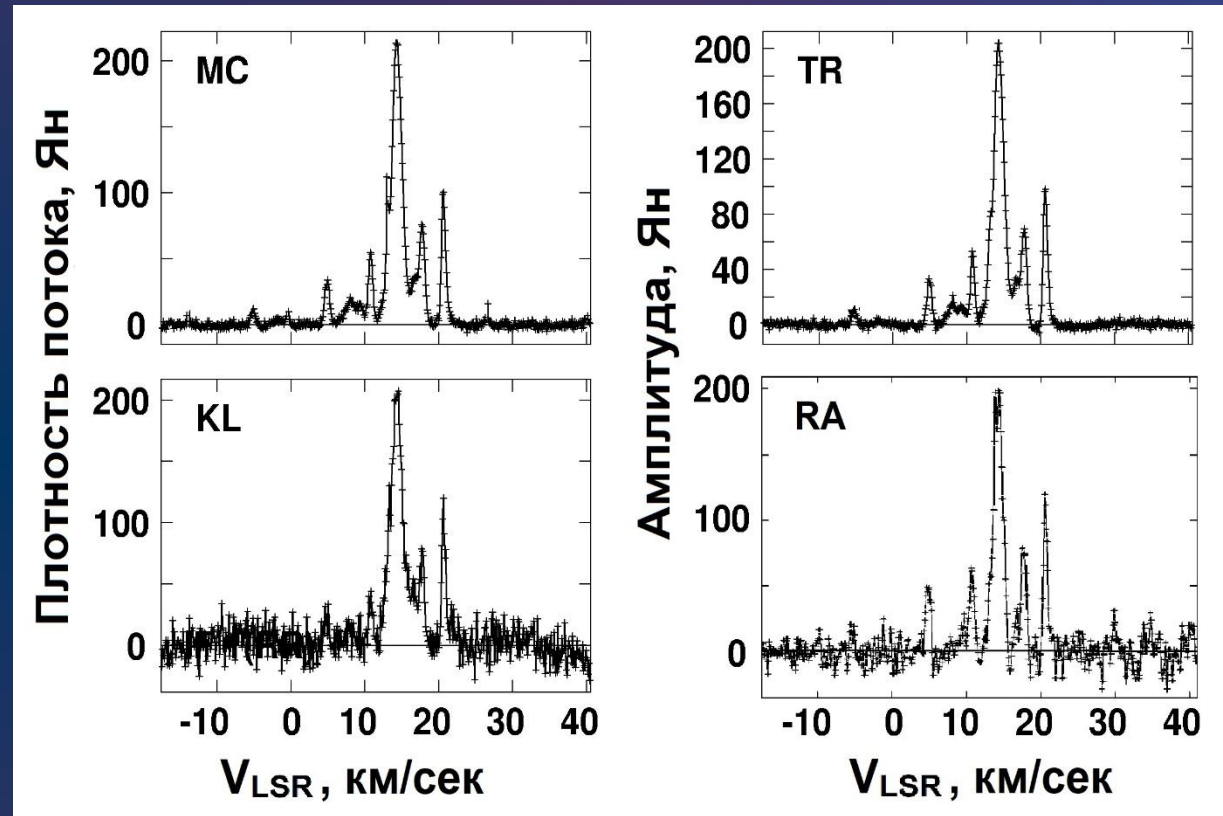
- Обработка наблюдений в проекте РадиоАстрон требовала применения соответствующего программного обеспечения собственной разработки, включая алгоритмы и программные коды для поиска корреляций.
- Мной была, в частности, создана специализированная программа «LineViewer», предназначенная для **1) оптимизации** корреляционной и пост-корреляционной обработки в сеансах **мазерных** интерферометрических наблюдений, **2) уменьшения количества циклов запуска коррелятора и 3) ускорения доступа к научным данным.**
- Был реализован широкий функционал, позволяющий **4) уточнить ряд характеристик спектральных линий** на всех этапах обработки исходных материалов по мазерным наблюдениям.
- **5) Разработан алгоритм и программный код, предназначенный 6) для упрощения** процедуры получения корреляций и **позволяющий провести 7) наглядный анализ промежуточного результата и его корректировку** в процессе обработки данных наблюдений, а также **8) получить релевантные параметры для улучшения или обнаружения корреляции в спектральных линиях.**

Об этой программе я расскажу по ходу изложения процесса обработки мазера в источнике NGC 2071, подробно она представлена в части 3 доклада.

Автокорреляционные спектры источника на наземных станциях до и после калибровки



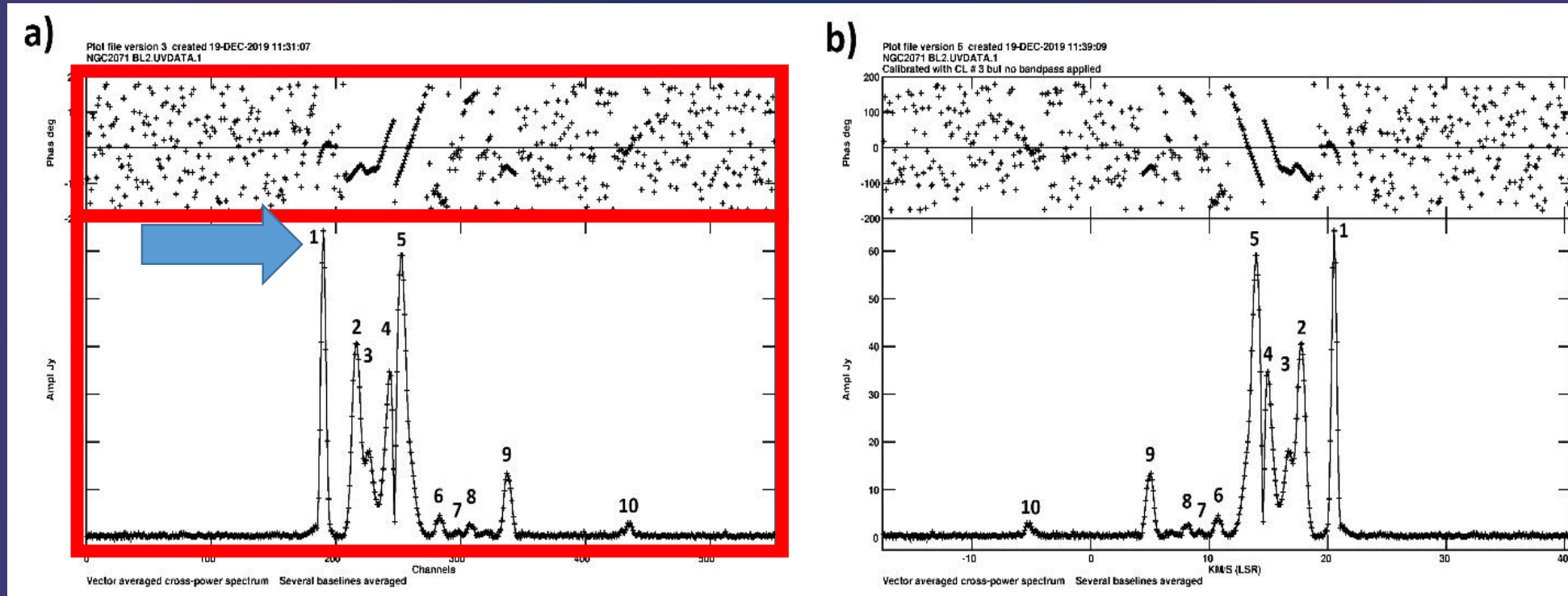
Первичные некалиброванные авто-корреляционные **спектры** мазера H_2O в источнике NGC2071(IRS1) в полной полосе регистрации на всех телескопах; по оси X – каналы, по оси Y – некалиброванный поток



Авто-корреляционные **спектры** мазера H_2O в источнике NGC2071(IRS1) на всех телескопах **с полной амплитудной калибровкой**; по оси X – скорости спектральных деталей, по оси Y – калиброванный поток в Ян; опорная антенна – Mc.

Результат обработки данных – кросс-спектр наземных телескопов

Кросс-корреляционный спектр – это сложная комплексная функция от
времени и частоты, отражающая
совместный вклад всех телескопов сети интерферометра
в зафиксированном излучении источника



Кросс-корреляционный спектр мазера H_2O в источнике NGC 2071(IRS1)

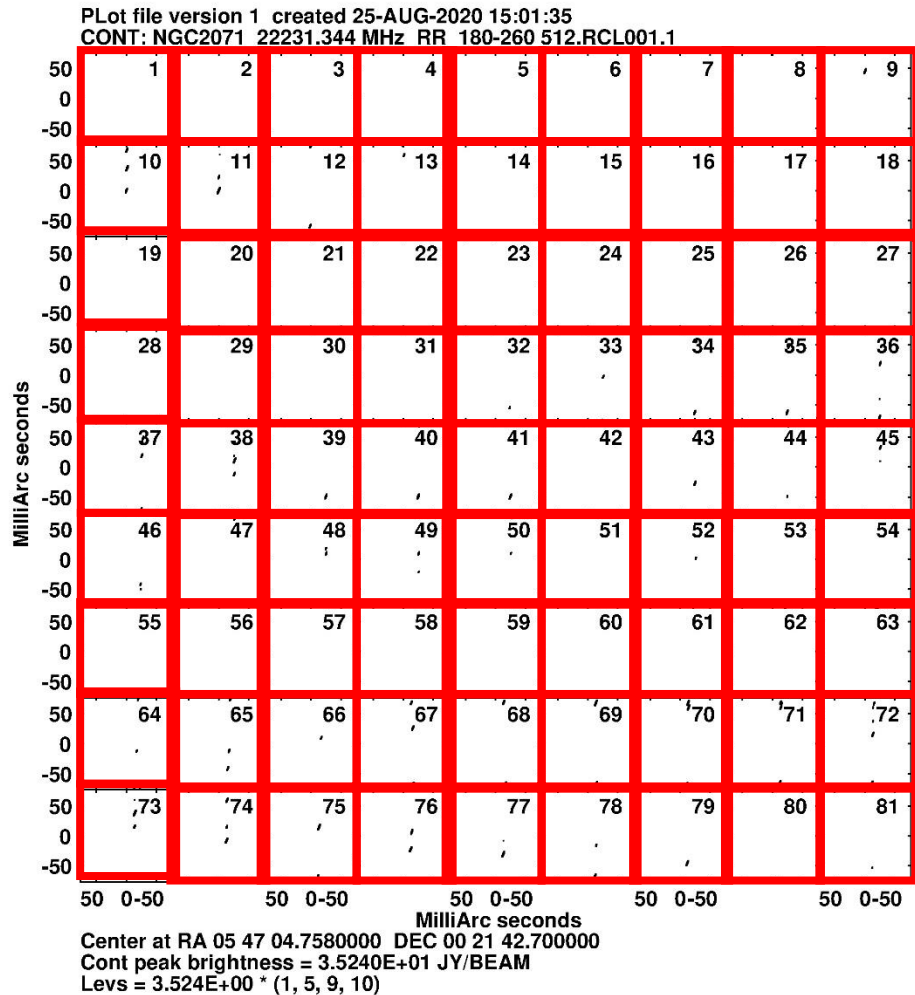
на наземной сети ПОСЛЕ применения полной амплитудной и фазовой калибровки

по калибровочному каналу (спектральная деталь №1, канал №190)

a) Ось X в каналах

b) Ось X в скоростях (km/sec)

Поканальная карта источника

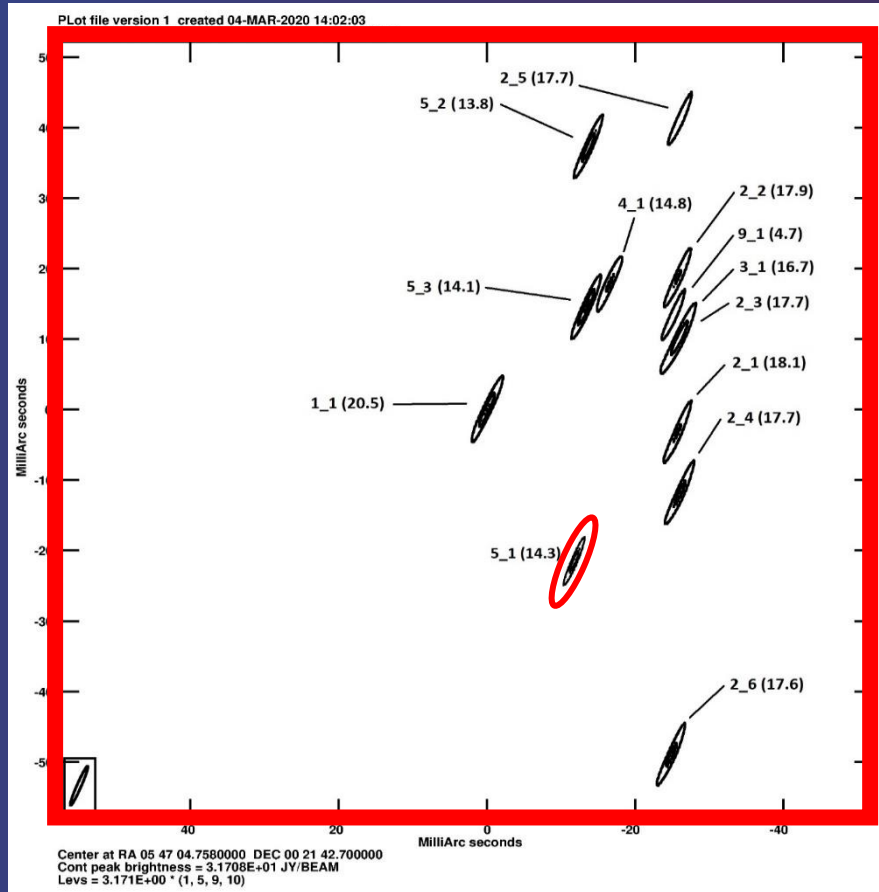


Развернутая карта для части спектра, в которой присутствуют линии - от канала 180 до 260: для каждого канала в двумерном изображении с координатами по прямому восхождению по оси X и по склонению по оси Y. Размер карты для каждого канала 512x512 пикселей.

- Для каждой линии спектра, давшей надёжную корреляцию, будет наблюдаться **максимум в соответствующем канале** на принадлежащих этой детали координатах.
- Объединив каналы, соответствующие каждой детали, обработанной по отдельности, строится общая карта линии.

Карта распределения мазерных компонентов

Declination, mas



Right ascension, mas

Среди этих деталей есть одна, которая имеет достаточно малый размер и была обнаружена на наземно-космической базе (отмечена красным овалом)

Таблица параметров найденных компонентов

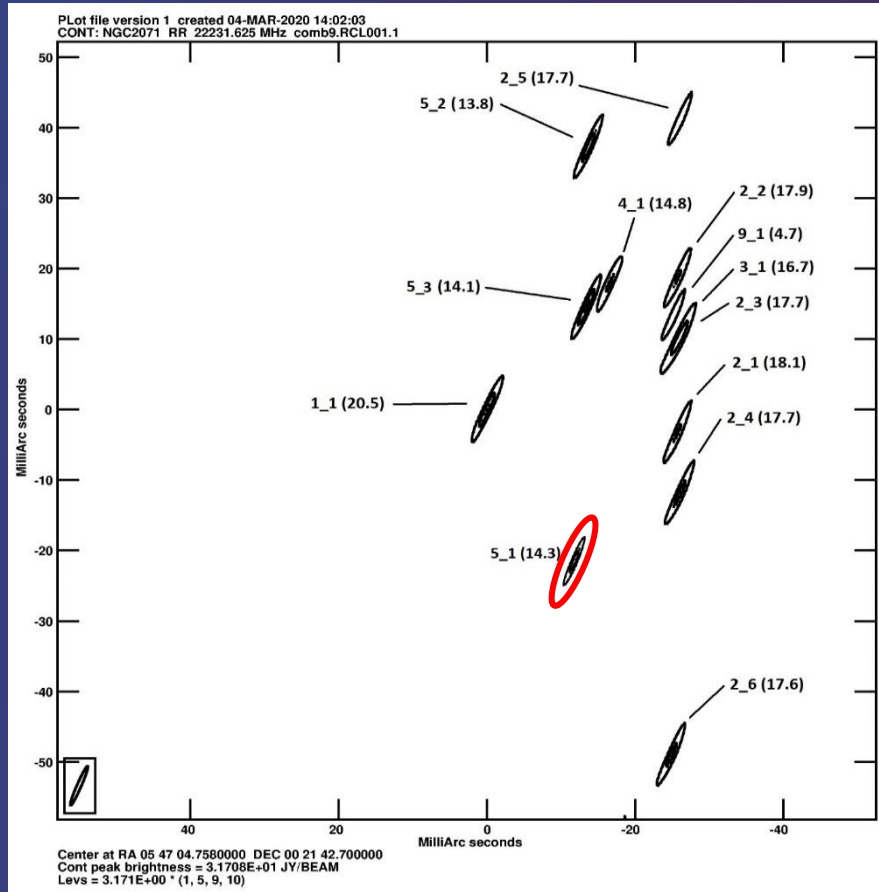
Chan.	Comp. number	Peak	Flux	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	Major axis	Minor axis	Position angle	V_{LSR}	ΔV
№	№	(Jy)	(Jy/beam)	(msec)	(msec)	(msec)	(msec)	(deg)	km/s	km/s
189-190	1-1	29.154	29.126	-0.00	0.00	6.02	0.59	157.2	20.5	0.4
212-213	2-1	5.999	5.998	-25.81	-2.98	6.00	0.59	157.3	18.1	0.3
215-217	2-2	16.165	16.121	-25.80	18.91	6.14	0.58	157.4	17.8	0.6
216-218	2-3	13.547	13.461	-26.40	10.79	6.03	0.59	157.2	17.7	0.6
216-218	2-4	12.819	12.758	-26.10	-11.71	6.03	0.59	157.2	17.7	0.6
216-218	2-5	4.357	4.270	-26.10	41.39	5.99	0.58	157.2	17.7	0.6
218-221	2-6	20.937	20.892	-24.90	-48.90	6.02	0.59	157.2	17.6	0.6
227-229	3-1	11.080	11.029	-25.50	9.60	6.02	0.59	157.2	16.7	0.6
245-246	4-1	12.459	12.439	-16.51	17.72	6.02	0.59	157.2	14.8	0.4
249-250	5-1	16.581	16.521	-12.30	-22.19	6.29	0.56	158.1	14.3	0.2
251-252	5-2	25.776	24.772	-13.78	37.43	5.89	0.58	156.9	14.1	0.3
253-256	5-3	27.291	27.130	-13.50	14.70	6.00	0.59	157.2	13.8	0.5
340-341	9-1	5.012	5.116	-25.39	13.84	6.15	0.59	157.7	4.7	0.4

Таблица получена при помощи задачи SAD программы AIPS (голубая часть), последние два столбца данной таблицы были получены при помощи программы CLASS (IRAM, аппроксимация спектра суммой Гауссиан). Центр Гауссианы – скорость V_{LSR} , ширина линии по половине мощности интенсивности – ΔV .

Полный размер карты всех компонентов составляет примерно (100x100) mas, или (40x40) а.е.

Карта распределения мазерных компонентов

Declination, mas

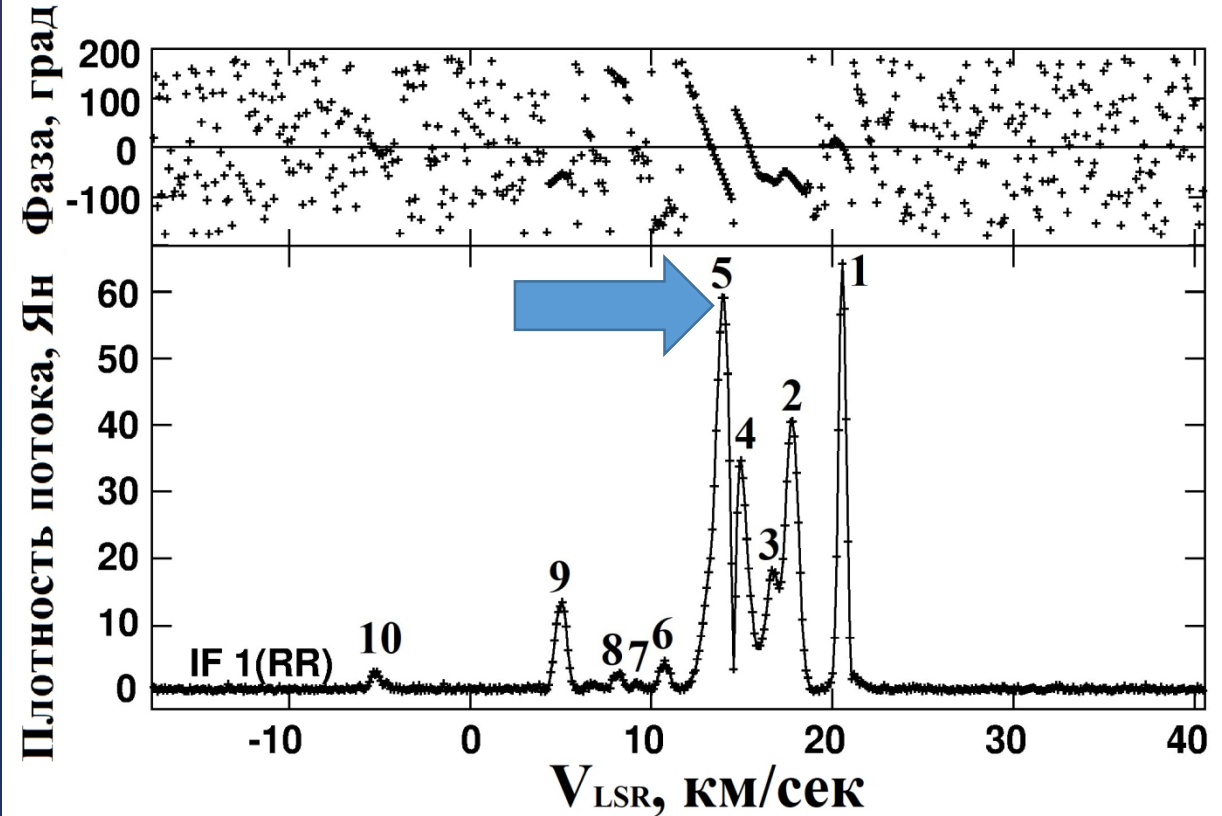


Right ascension, mas

Среди этих деталей есть одна, которая имеет достаточно малый размер и была обнаружена на наземно-космической базе (отмечена красным овалом)

Карта получена при помощи программного пакета AIPS

<http://www.aips.nrao.edu/index.shtml>



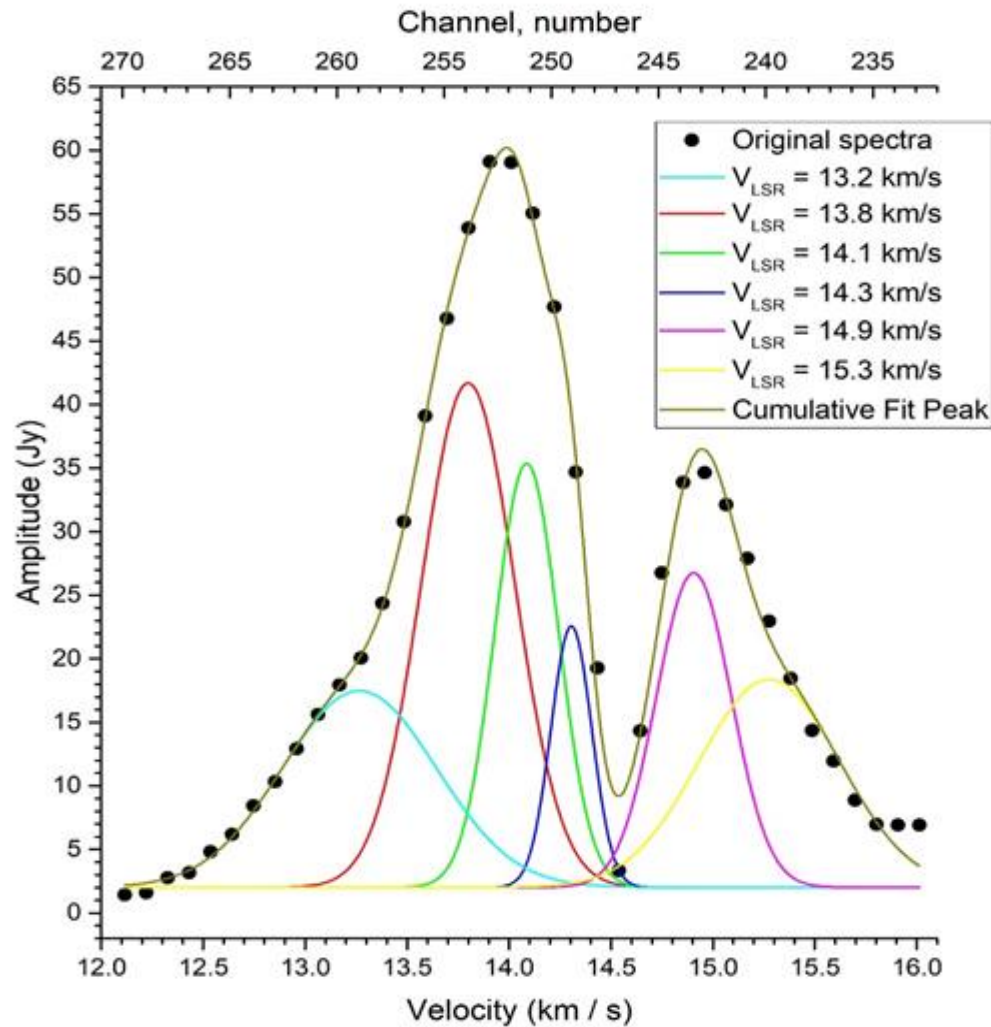
Кросс-корреляционный спектр мазера H_2O в источнике NGC 2071(IRS1)

на наземной сети ПОСЛЕ применения полной амплитудной и фазовой калибровки

по калибровочному каналу (спектральная деталь №1, канал №190)

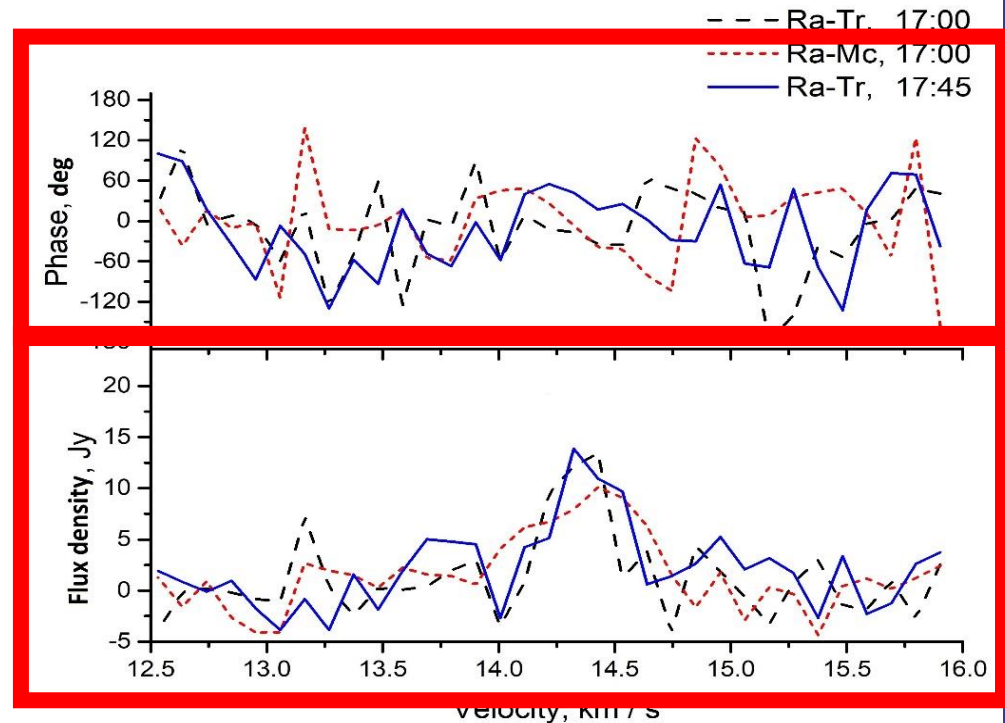
Наземно-космическая деталь

NGC2071 spectra approximation
in channels #233-270 for spectral details #4 and 5



Отклик наземно-космического
интерферометра на базах **Ra-Mc** и **Ra-Tr**
для линии на скорости **14.3 км/сек.**

NGC2071 RadioAstron cross spectrum for 14.3 km/s feature



Размер базы 3.1 ED,
пространственное разрешение
0.07 мсек дуги

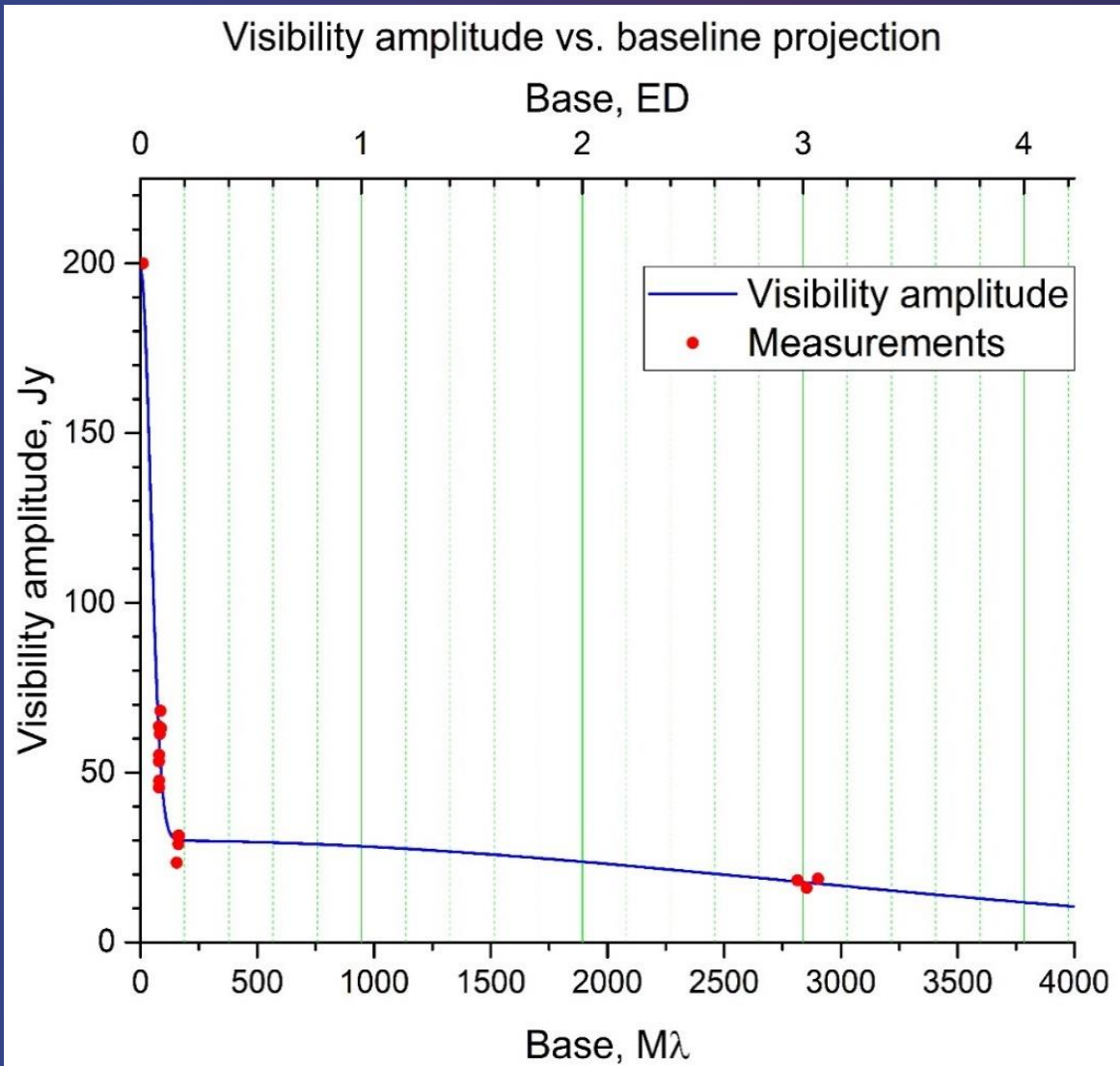
Таблица параметров найденных компонентов

Chan.	Comp. number	Peak	Flux	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	Major axis	Minor axis	Position angle	V_{LSR}	ΔV
№	№	(Jy)	(Jy/beam)	(msec)	(msec)	(msec)	(msec)	(deg)	km/s	km/s
189-190	1-1	29.154	29.126	-0.00	0.00	6.02	0.59	157.2	20.5	0.4
212-213	2-1	5.999	5.998	-25.81	-2.98	6.00	0.59	157.3	18.1	0.3
215-217	2-2	16.165	16.121	-25.80	18.91	6.14	0.58	157.4	17.8	0.6
216-218	2-3	13.547	13.461	-26.40	10.79	6.03	0.59	157.2	17.7	0.6
216-218	2-4	12.819	12.758	-26.10	-11.71	6.03	0.59	157.2	17.7	0.6
216-218	2-5	4.357	4.270	-26.10	41.39	5.99	0.58	157.2	17.7	0.6
218-221	2-6	20.937	20.892	-24.90	-48.90	6.02	0.59	157.2	17.6	0.6
227-229	3-1	11.080	11.029	-25.50	9.60	6.02	0.59	157.2	16.7	0.6
245-246	4-1	12.459	12.439	-16.51	17.72	6.02	0.59	157.2	14.8	0.4
249-250	5-1	16.581	16.521	-12.30	-22.19	6.29	0.56	158.1	14.3	0.2
251-252	5-2	25.776	24.772	-13.78	37.43	5.89	0.58	156.9	14.1	0.3
253-256	5-3	27.291	27.130	-13.50	14.70	6.00	0.59	157.2	13.8	0.5
340-341	9-1	5.012	5.116	-25.39	13.84	6.15	0.59	157.7	4.7	0.4

Параметры в таблице получены при помощи задачи SAD программы AIPS (голубая часть),
Данные в последних двух столбцах (скорость на луче зрения V_{LSR} и ширина линии по половине мощности интенсивности ΔV) получены при помощи программы CLASS (аппроксимация спектра суммой Гауссиан).

<https://www.iram.fr/IRAMFR/GILDAS/>

Анализ функции видности



Амплитуда функции видности от
величины проекции базы

- Нулевая проекция базы – амплитуда автокорреляционного спектра (**200 Jy**)
- Измерения функции видности **V** на больших проекциях баз (**x**) получены на наземно-космическом интерферометре

$$V(x) = a_1 \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{b_1}\right) + a_2 \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{b_2}\right)$$

Где **V** – амплитуда функции видности в Ян, **x** – величина проекции базы, выраженная в млн длин волн. Коэффициенты определяют вклад пространственных составляющих в амплитуду и другие параметры Гауссиан, входящих в функцию.

Размеры компонентов

- Приемлемым оказалось приближение с двумя компонентами, т.е. полученные в данных наблюдениях значения удовлетворяют уравнению:

$$V(x) = a_1 \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{b_1}\right) + a_2 \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{b_2}\right),$$

- При $a_1 = 169, a_2 = 30, b_1 = 3600 \pm 400, b_2 = 1.53 \cdot 10^7 \pm 0.9$

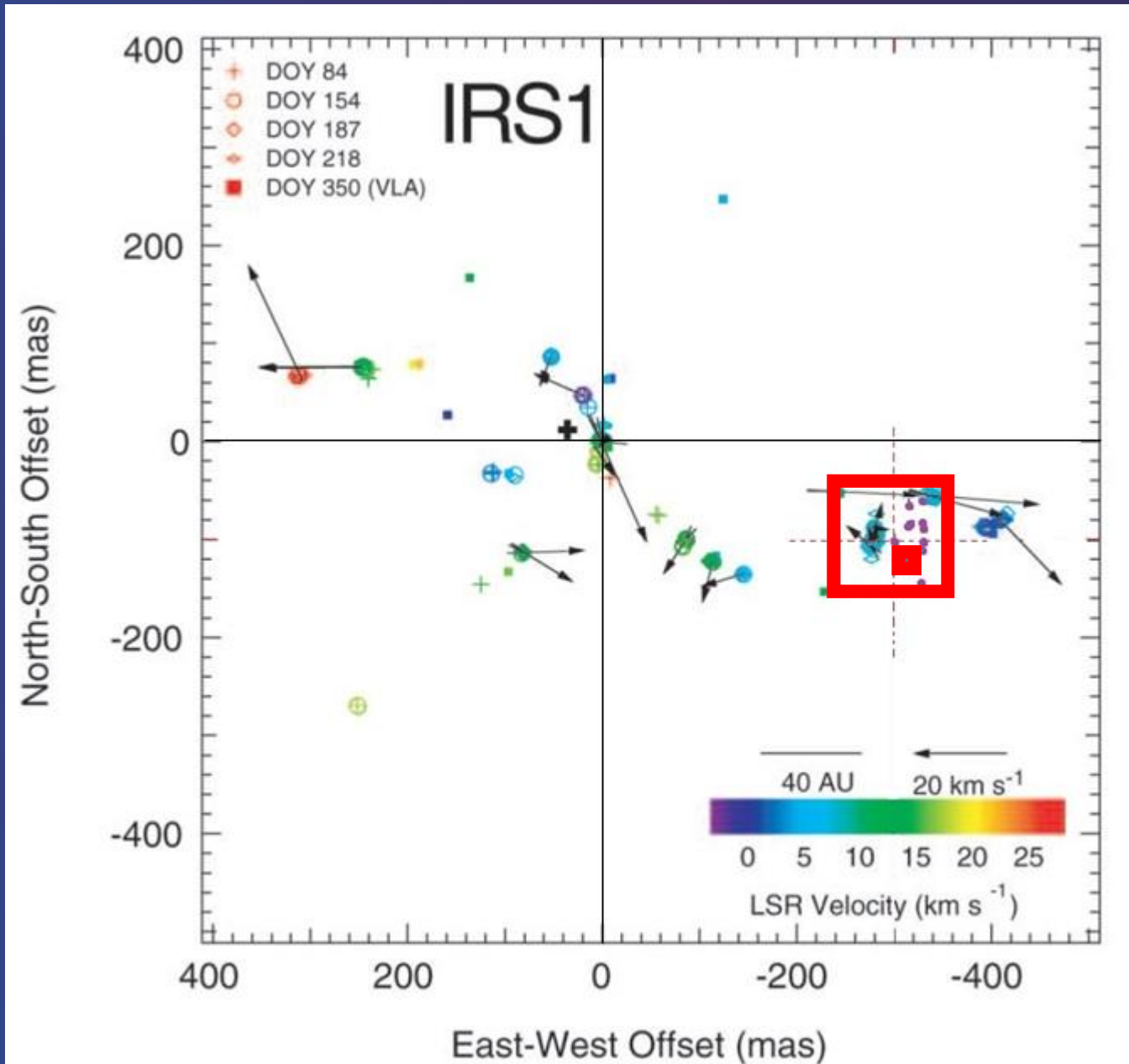
угловой размер соответствующих компонентов **составит**

- **$\theta_1 = 4 \text{ mas}$** для протяжённой составляющей
- **$\theta_2 = 0.06 \text{ mas}$** для компактной составляющей

- Таким образом, если **дистанция** до источника составляет **390 Пк = 80431572 а.е.**, то линейные размеры данных компонентов будут

- **$d_1 = 1.56 \pm 0.16 \text{ а.е.}$ – примерно радиус орбиты Земли**
- **$d_2 = 0.02 \pm 0.01 \text{ а.е.}$ – примерно размер Солнца**

Структура NGC 2071 IRS1



Структура IRS1, полученная на VLBA в **1996 г.** (Seth et al. 2002) с нанесёнными деталями, обнаруженными в 2014 г. Точность положения центра карты в работе Seth et al. 2002 составляет **50 мсек** по обеим координатам.

Началу отсчёта соответствуют координаты:

$$\text{RA(J2000)} = 5^{\text{h}}47^{\text{m}}04^{\text{s}}.7774$$

$$\text{DEC(J2000)} = 0^{\circ}21'42''.803$$

Стрелки соответствуют ожидаемому изменению картины за 9 лет. В легенде – отсчёты дней наблюдений на VLBA.

Отметки для наблюдений **2014 г.**:

- фиолетовые точки в квадрате – обнаруженные мазерные детали;
- пересечение тонких пунктирных линий – координаты наведения;
- квадрат – область построения карты.

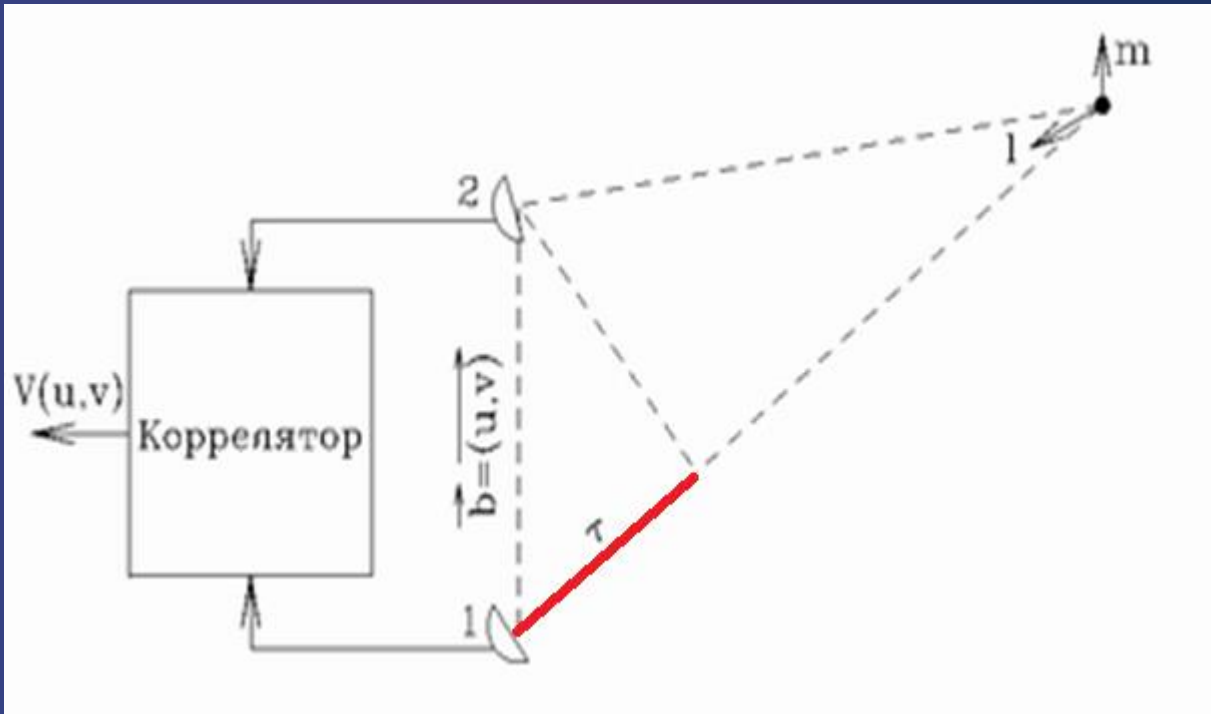
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ч.2

- В рамках выполнения научной программы наземно-космического интерферометра “Радиоастрон” проведена обработка данных наблюдений мазера H_2O на частоте 22.2280 ГГц в темной отражательной туманности NGC 2071 в направлении инфракрасного объекта IRS 1;
- Длительность сеанса наблюдений 11.01.2014 составила 70 мин. В наблюдениях принимали участие космический радиотелескоп (КРТ-10) и три радиотелескопа наземной сети: РТ-32 (Медицина, Италия), РТ-32 (Торунь, Польша) и РТ-64 (Калязин, РФ);
- Реализованы следующие параметры: угловое разрешение **70 мкс** на наземно-космических базах при максимальных проекциях баз **3.1 ED** (~40000 км); синтезированная диаграмма направленности наземной части интерферометра составила **0.006 x 0.0006 мкс**; спектральное разрешение **7.81 кГц (т.е. 0.11 км/с)**;
- Получена карта распределения мазерных пятен, размером **100 x 100 mas** (mas – угловая миллисекунда), что соответствует **40 x 40 а.е.** при расстоянии до туманности **390 пк**, на которой присутствует **13 пространственных компонентов**. Интервал скоростей на луче зрения этих компонентов составляет **4.7–20.5 км/с** при ширине спектральных деталей **0.2–0.6 км/с**, плотность коррелированного потока в максимуме линии варьируется в пределах **от 4 до 29 Ян**;
- Зафиксирован один пространственный компонент (имеющий лучевую скорость **14.3 км/с**), для которого со сверхвысоким угловым разрешением на наземно-космических базах SRT–Tr и SRT–Mc наблюдается корреляция на уровне надежности более **6σ**;
- На основании анализа зависимости функции видности от величины проекций баз предложена **двухкомпонентная модель** пространственной структуры этого компонента с размерами протяженной и компактной составляющей в угловой мере **4 mas** и **0.06 mas**, т.е. **1.56 а.е.** (с неопределенностью 10%) и **0.023 а.е.** (с неопределенностью 50%), соответственно;
- Эти составляющие имеют размеры, сравнимые с радиусом Солнца и орбитой Земли, соответственно.

Часть 3

**Экспресс-программа «LineViewer»
для первичной обработки
интерферометрических данных в
проекте «РадиоАстрон»**

Вводные данные для обработки интерферометрических наблюдений

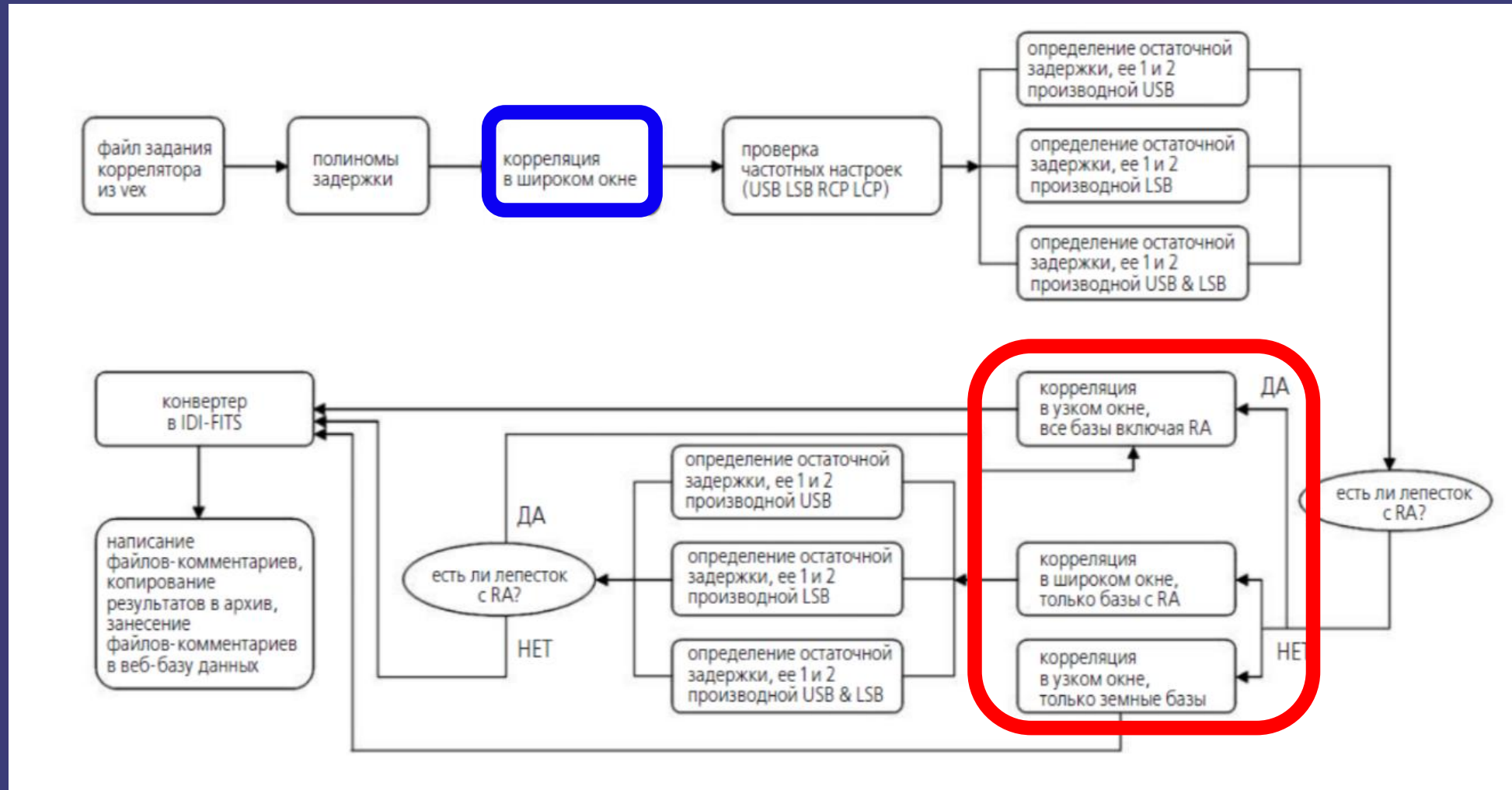


- τ — **геометрическая задержка** сигнала для пары телескопов.
- τ зависит от координат телескопов, координат источника и времени наблюдений.
- τ рассчитываются для всех телескопов и **аппроксимируются полиномами задержки**, которые входят в файл задания коррелятора.

Запись данных астрономических наблюдений

- Данные с космического телескопа передавались на **наземную станцию слежения** (РТ-22 в г. Пущино и 43м антенна Green Bank, West Virginia);
- Запись проводилась **в реальном времени** при помощи декодера РДР (Регистратор данных “Радиоастрон”);
- Синхронизация записи на РДР осуществлялась короткими импульсами с периодом 1 с на основе опорного сигнала частотой 5 МГц от водородного стандарта наземной станции слежения;
- На наибольшей скорости максимальная продолжительность записи для сеанса наблюдений в реальном времени составляет **от 6 до 9 ч.**

Блок-схема обработки наблюдений



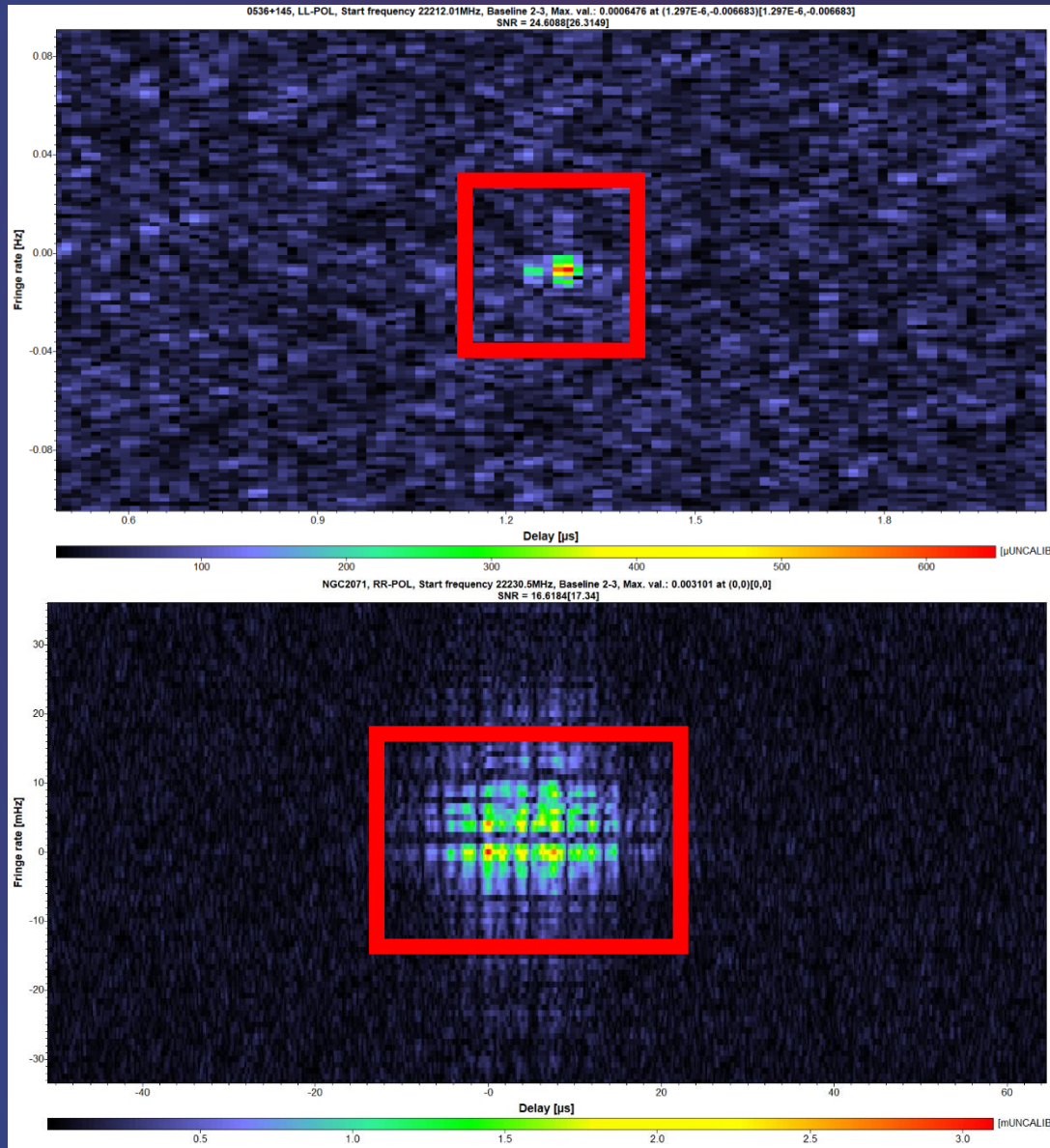
Самым трудоёмким процессом является непосредственно **запуск коррелятора**. Он занимает до **90% процессорного времени** относительно всех задач, выполняемых в процессе корреляционной обработки.

Особенность обработки спектральных линий на корреляторах

- Особенность обработки спектральных линий на корреляторах заключается в том, что **корреляционный отклик наблюдается не во всей частотной полосе**, как это происходит при обработке излучения в непрерывном спектре, а только в интервалах присутствия мазерного излучения;
- Для успешной идентификации мазерных линий на близких частотах **необходимо повышать спектральное разрешение**, т.е. увеличивать количество спектральных каналов; но это приводит к потере чувствительности и, как следствие, **к потере кросс-корреляционного отклика**;
- Для решения этой проблемы **производится расчет нескольких файлов с различным числом спектральных каналов и интервалов частот**, из которых выбирается файл с наилучшими показателями отношения “сигнал/шум” при максимальном спектральном разрешении.

Для поиска и правильного выбора такого промежутка также использовалась программа LineViewer .

Особенности корреляционной обработки мазеров (Программа LineViewer)



Корреляционный отклик квазара -

Корреляция во всей полосе частот даёт узкий корреляционный отклик.

Можно определить координаты максимума отклика, что даёт возможность скомпенсировать геометрические задержки для телескопов.

Квазар TXS 0536+145

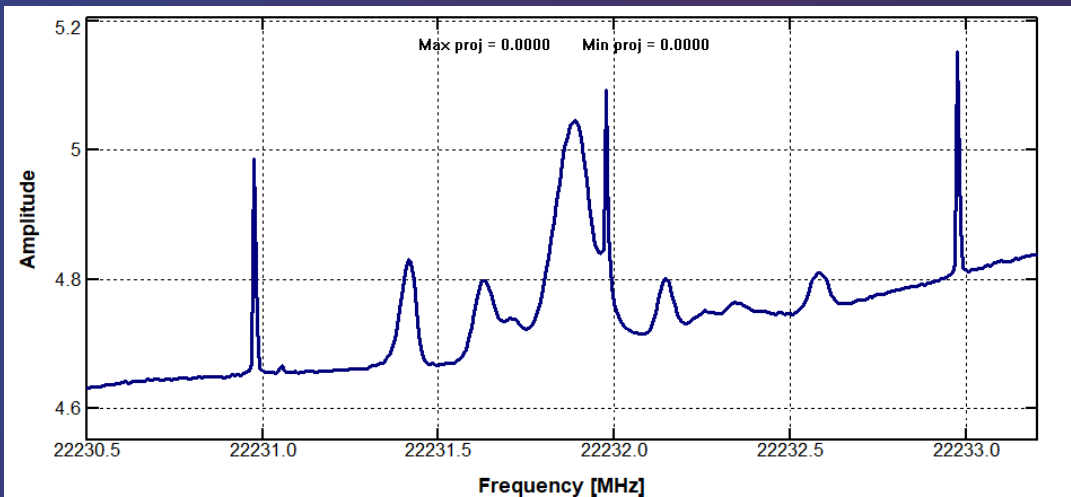
Корреляционный отклик мазера -

Корреляция в нескольких узких интервалах частот даёт множество широких корреляционных откликов - сложно определить координаты какого-либо максимума. Пик «размыт» по обеим осям.

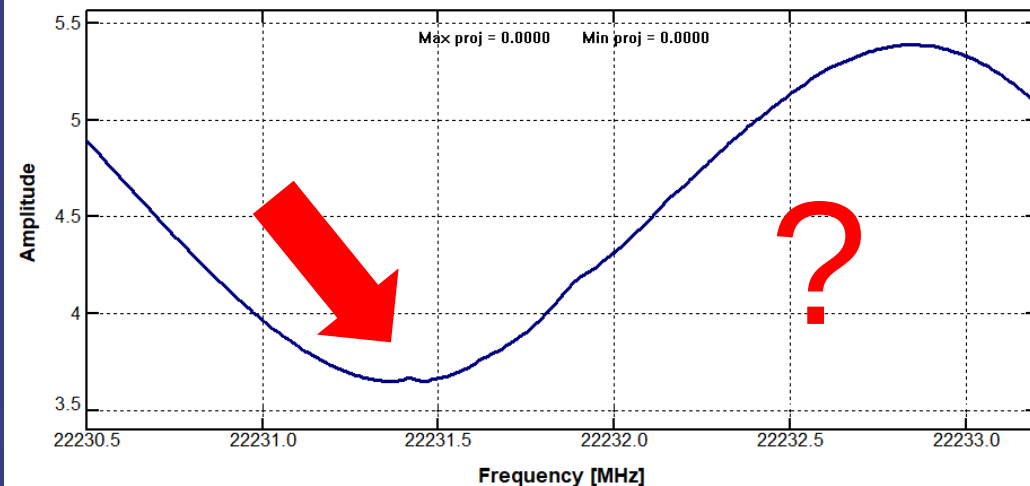
Мазеры в области NGC 2071 IRS 1

Наблюдения от 11.01.2014 г.

Обнаружение линии в спектре затруднено



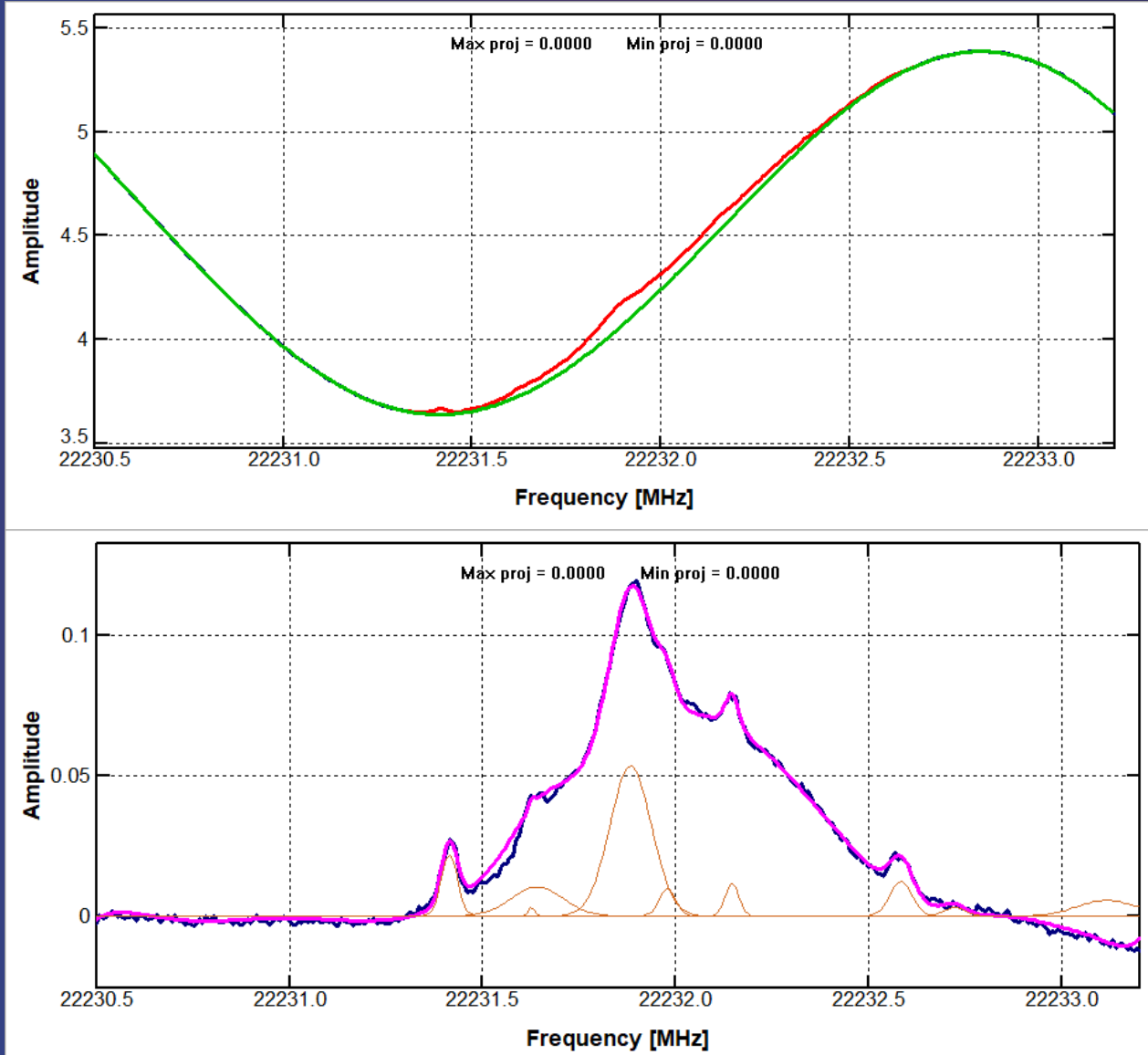
Автоспектр источника NGC 2071 IRS 1 на станции «Медицина» в наблюдениях от 11.01.2014 г. - присутствие линий очевидно



Автоспектр источника NGC 2071 IRS 1 на станции «Калезин» в наблюдениях от 11.01.2014 г.

Прежде чем искать кросс-корреляционный отклик, необходимо найти мазерные линии на спектре!

Корректировка формы полосы



Красная линия – исходный автоспектр источника **NGC 2071 IRS 1** на станции «Калязин» в наблюдениях от 11.01.2014 г. Зелёная линия – полином заданной степени (в данном случае 7-ой).

Синяя линия – скорректированный полиномом автоспектр источника **NGC 2071 IRS 1** на станции «Калязин» в наблюдениях от 11.01.2014 г. Фиолетовая линия – суммарная огибающая от Гауссиан и шумовой подложки. Оранжевые линии – найденные в спектре Гауссианы.

Алгоритм поиска Гауссиан

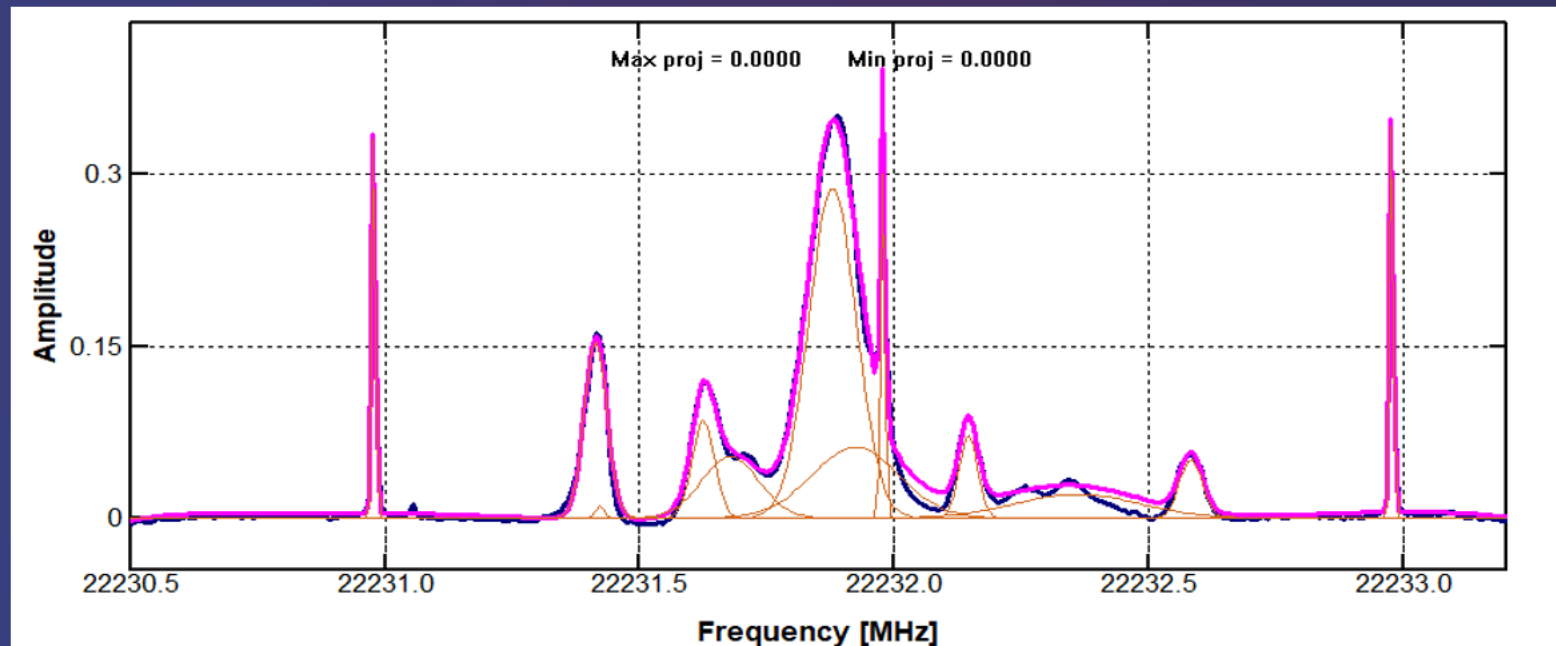
Алгоритм подбирает некоторое **оптимальное** число Гауссиан, в количестве $\leq M$. Подбор происходит за счёт минимизации функционала $f(M, x_1 \dots x_N, y_1 \dots y_N)$ следующего вида

$$\bullet \quad f(M, x_1 \dots x_N, y_1 \dots y_N) = \text{Min}(\sum_{j=1}^N [y_j - \sum_{i=1}^M g_{i,j}(A_i, \mu_i, \sigma_i, x_j)])$$

где

$$\bullet \quad g_{i,j}(A_i, \mu_i, \sigma_i, x_j) = A_i \cdot \text{Exp}\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x_j - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2\right)$$

т.е. $g_{i,j}(A_i, \mu_i, \sigma_i, x_j)$ – функция Гаусса, A_i – её амплитуда, μ_i – положение её максимума по оси абсцисс, σ_i – характеристика её ширины, M – количество Гауссиан, N – количество аппроксимируемых точек $(x_1 \dots x_N, y_1 \dots y_N)$.



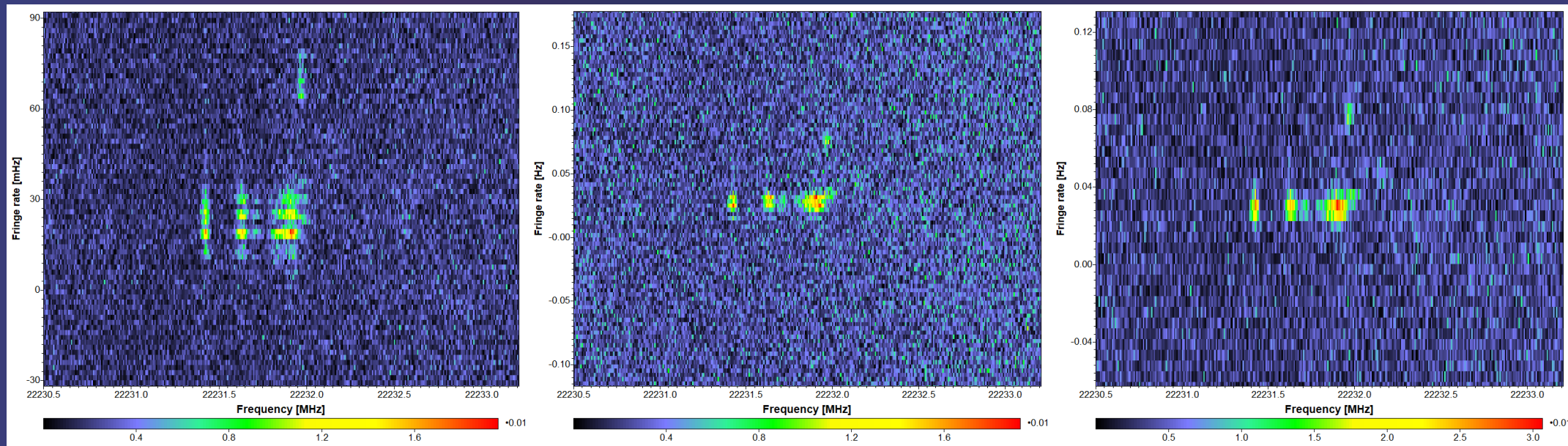
Кросс-корреляционный отклик

Время накопления

10 минут

5 минут

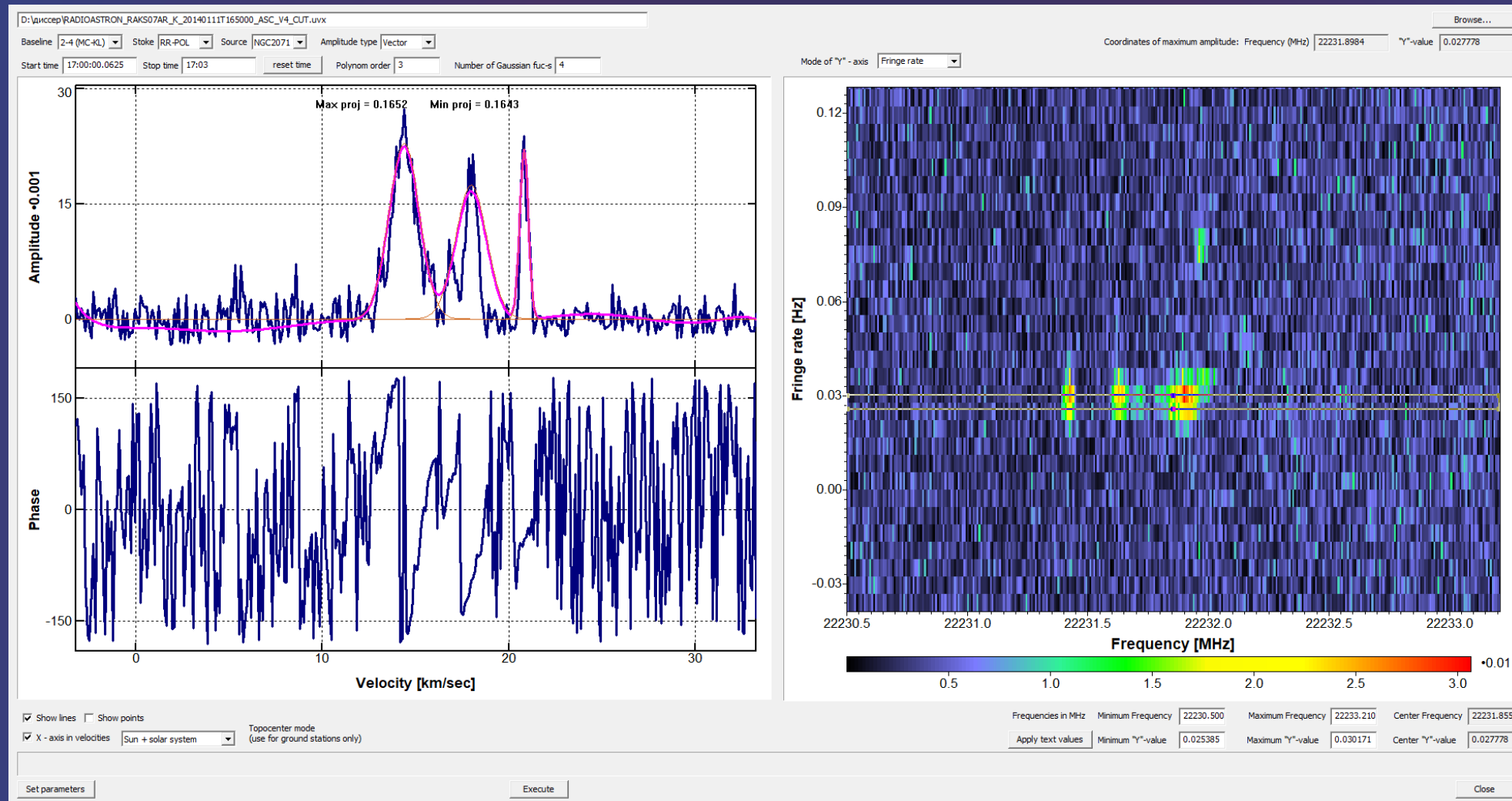
3 минуты



На рисунке представлена диаграмма «Fringe rate - Frequency» для наблюдений источника **NGC 2071 IRS 1** в сеансе raks07ar от 2014 г. на базе «Медицина - Калязин» при времени усреднения сигнала **3, 5 и 10** минут.

При уменьшении времени накопления уменьшается «размытие» корреляционного отклика, однако ухудшается соотношение «сигнал / шум»

Анализ кросс-спектров



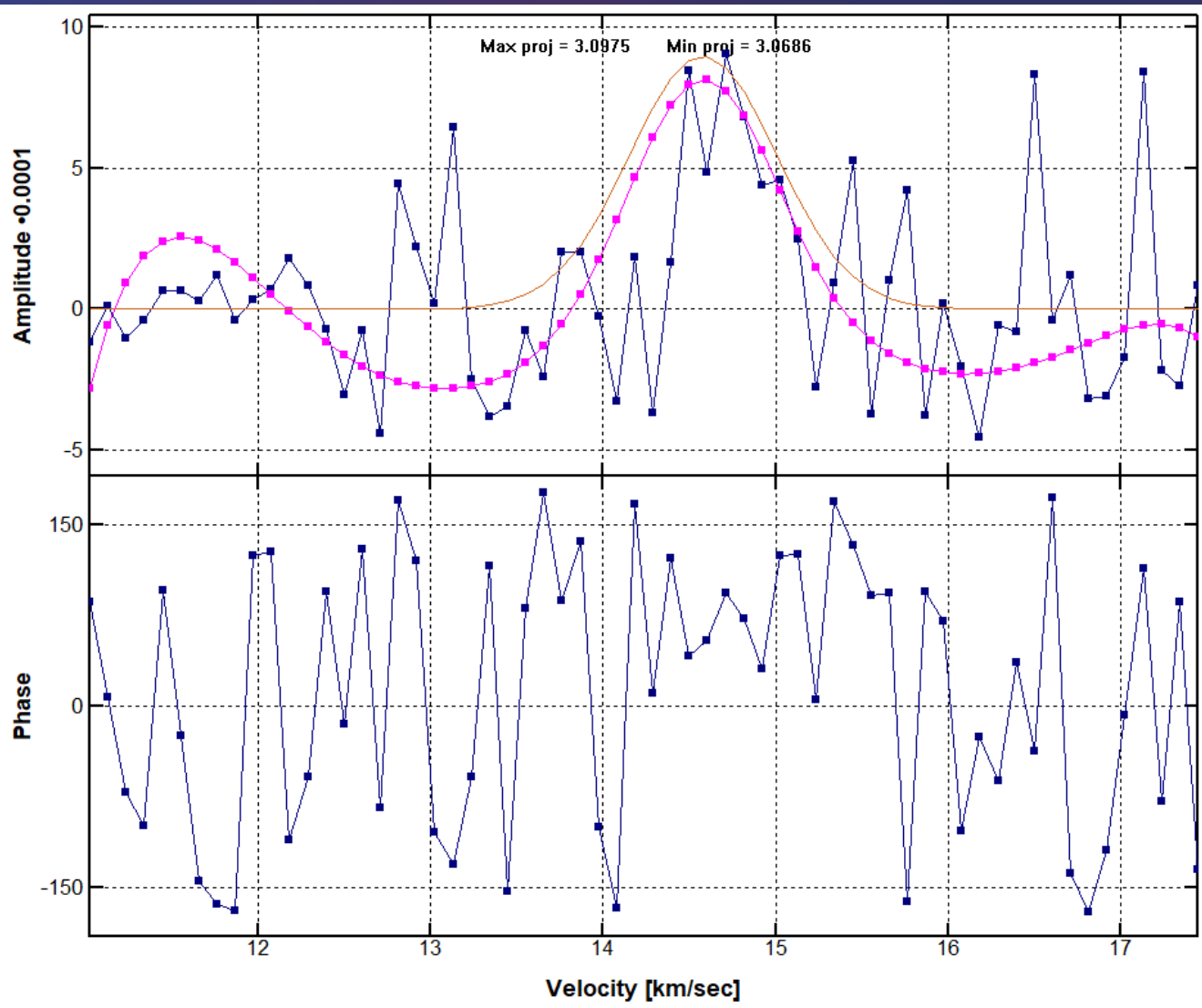
Амплитуда и фаза (кросс-спектр) сечения кросс-корреляционного отклика в программе LineViewer. По оси абсцисс скорости V_{LSR} (км/с).

P.T. Wallace, 1996

The IAU SOFA initiative

https://www.iausofa.org/publications/SOFA_1996.pdf

Корреляция на наземно-космических базах



- Наземно-космические базы интерферометра обеспечивают наилучшее разрешение – **3 диаметра Земли** соответствуют **~70 мксек дуги**.
- Однако космический радиотелескоп имеет антенну относительно небольшого диаметра (10 метров).
- Его чувствительность ниже, чем у наземных телескопов.
- *Следовательно, для такой работы необходима программа с понятным и простым интерфейсом и **наглядной визуализацией данных***

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 4.3

- Программа LineViewer написана на языке C++ и предназначена:
 - 1) для корректировки полосы пропускания сигнала,
 - 2) для построения и анализа усреднённых по времени и частоте интерференции спектров мазерных источников.
 - 3) отождествления мазерных спектральных линий и поиска корреляции сигналов.
- Важным достоинством и очевидным успехом использования данной программы стало **существенное сокращение количества промежуточных циклов запуска коррелятора**, что обеспечило более быстрый доступ пользователей к анализу астрофизических результатов.
- **Программа была успешно применена на практике** при обработке сеансов наблюдений в рамках проекта «Радиоастрон» на корреляторе АКЦ ФИАН.
- При помощи LineViewer для ряда мазерных сеансов визуально оценивалось качество поправок, определялось соотношение «сигнал / шум», фаза сигнала (т.е. присутствие корреляции), и была найдена корреляция как на наземных, так и на наземно-космических базах программы «РадиоАстрон» для различных мазерных источников, участвовавших в программе наблюдений.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, представленные на защиту

Проведена полная обработка данных наблюдений мазера H_2O на частоте 22.2280 ГГц в темной части отражательной туманности NGC 2071 в направлении инфракрасного объекта IRS1 на наземно-космическом интерферометре «РадиоАстрон». На основании корреляционного анализа получены следующие результаты:

- Построена карта распределения мазерных пятен, на которой в размере $\sim(100 \times 100)$ мсек дуги, т.е. $\sim(40 \times 40)$ а.е. при расстоянии до туманности 390 пк, присутствует 13 пространственных компонентов. Интервал скоростей на луче зрения этих компонентов составляет (4.7 - 20.5) км/с при ширине спектральных деталей по половине мощности интенсивности $\text{FWHM} = (0.2 - 0.6)$ км/с, плотность потока F_η варьируется в пределах от ~ 4 Ян до ~ 29 Ян. Лепестки обнаружены на всех наземных базах;
- Для одного пространственного компонента, имеющего лучевую скорость 14.3 км/с, обнаружен интерференционный отклик на наземно-космических базах на уровне надежности 6σ . На основании анализа зависимости функции видности от величины проекций баз предложена двухкомпонентная модель пространственной структуры этого объекта с размерами протяженной и компактной составляющей в угловой мере 4 мсек и 0.06 мсек, т.е. 1.56 а.е. (с неопределенностью 10%) и 0.023 а.е. (с неопределенностью 50%), соответственно.

Публикации в списке ВАК

- 1) Каленский С. В. , **Щуров М. А.**, «Исследование области образования звезд большой массы L379IRS1 в радиолиниях метанола и других молекул», *Астрономический журнал*. - 2016. - Т. 93, № 4. – стр. 409-432.
- 2) **Щуров М. А.**, Вальтц И. Е., Шахворостова Н. Н., «Структура мазера H₂O в NGC 2071 IRS 1 по наблюдениям на наземно-космическом радиоинтерферометре “Радиоастрон”», *Астрономический журнал*, 2021, Т. 98, № 7, стр. 531-549
- 3) **Щуров М.А.**, Авдеев В.Ю., Гирин И.А., Костенко В.И., Лихачёв С.Ф., Лодыгин В.А., Рудницкий А.Г., Шайхутдинов А.Р., «Программа Lineviewer пакета Astro space locator (ASL) для построения и обработки усреднённых спектров», *Краткие сообщения по физике Физического института им. П.Н. Лебедева Российской Академии Наук*, 2019. - № 4. - стр. 38-45.
- 4) S. F. Likhachev, I. A. Girin, V. Yu. Avdeev, A. S. Andrianov, M. N. Andrianov, V. I. Kostenko, V. A. Lodigin, A. O. Lyakhovets, I. D. Litovchenko, A. G. Rudnitskiy, **M. A. Shchurov**, N. D. Utkin, V. A. Zuga, «Astro Space Locator - A software package for VLBI data processing and reduction», *Astronomy and computing*, 2020, Vol. 33, № 10, pp. 100426.

Апробация работы

- 1) **Щуров М.А.**, Каленский С.В., «Исследование области образования звезд большой массы L379 IRS1 в радиополосах метанола и других молекул», Международная Конференция Научного Совета общей физики и Астрономии АКЦ ФИАН ``Звздообразование и планетообразование. Наблюдения, теория, численный эксперимент'', 12 – 13 ноября 2019 г., Россия, Москва, АКЦ ФИАН \ Устный доклад
- 2) **Щуров М.А.**, Вальтц И.Е., Шахворостова Н.Н., «РадиоАстрон. Мазерные линии H₂O и протопланетная система в темной отражательной туманности NGC 2071», XVII Конференция молодых ученых ``Фундаментальные и прикладные космические исследования'', посвященная Дню космонавтики, 30 сентября – 02 октября 2020 г., Россия, Москва, ИКИ РАН \ Устный доклад
- 3) **Щуров М.А.**, Рудницкий А.Г., «Программа «LineViewer»: первичная обработка данных наблюдений космических мазеров в проекте «РадиоАстрон»», Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных ``Ломоносов-2020'', 10 – 27 ноября 2020 г., Россия, Москва, МГУ \ Устный доклад
- 4) **Щуров М.А.**, Вальтц И.Е., Шахворостова Н. Н., «VLBI исследования в проекте «Радиоастрон»: структура мазера H₂O в NGC 2071 IRS 1», Международная Конференция Научного Совета общей физики и Астрономии АКЦ ФИАН ``Звздообразование и планетообразование. Наблюдения, теория, численный эксперимент'', 10 – 11 ноября 2020 г., Россия, Москва, АКЦ ФИАН \ Устный доклад
- 5) **Щуров М.А.**, Рудницкий А.Г., «Экспресс-программа «LineViewer» для первичной обработки интерферометрических данных в проекте «РадиоАстрон»», Международная Конференция Научного Совета общей физики и Астрономии АКЦ ФИАН ``Звздообразование и планетообразование. Наблюдения, теория, численный эксперимент'', 10 – 11 ноября 2020 г., Россия, Москва, АКЦ ФИАН \ Устный доклад
- 6) **Щуров М.А.**, Вальтц И.Е., Шахворостова Н.Н., «NGC 2071 в космическом проекте «РадиоАстрон»: пространственное распределение мазерных пятен H₂O», 49-я студенческая научная конференция ``Физика Космоса'', 27 - 31 января 2021 г., Россия, Екатеринбург, УРФУ \ Устный доклад
- 7) **Щуров М.А.**, Рудницкий А.Г., «Программа «LineViewer» пакета Astro Space Locator (ASL) для построения и обработки усредненных спектров», 49-я студенческая научная конференция ``Физика Космоса'', 27 - 31 января 2021 г., Россия, Екатеринбург, УРФУ \ Постерный доклад
- 8) **Щуров М. А.**, Каленский С. В., «Исследование области звёздообразования L379 по радиополосам метанола и других молекул», Конференция ``Идеи С.Б. Пикельнера и С.А. Каплана и современная астрофизика'', 8-12 февраля 2021, Россия, Москва, ГАИШ МГУ \ Устный доклад

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и двух приложений.

Полный объём диссертации составляет

167 страниц, включая 28 рисунков и 8 таблиц.

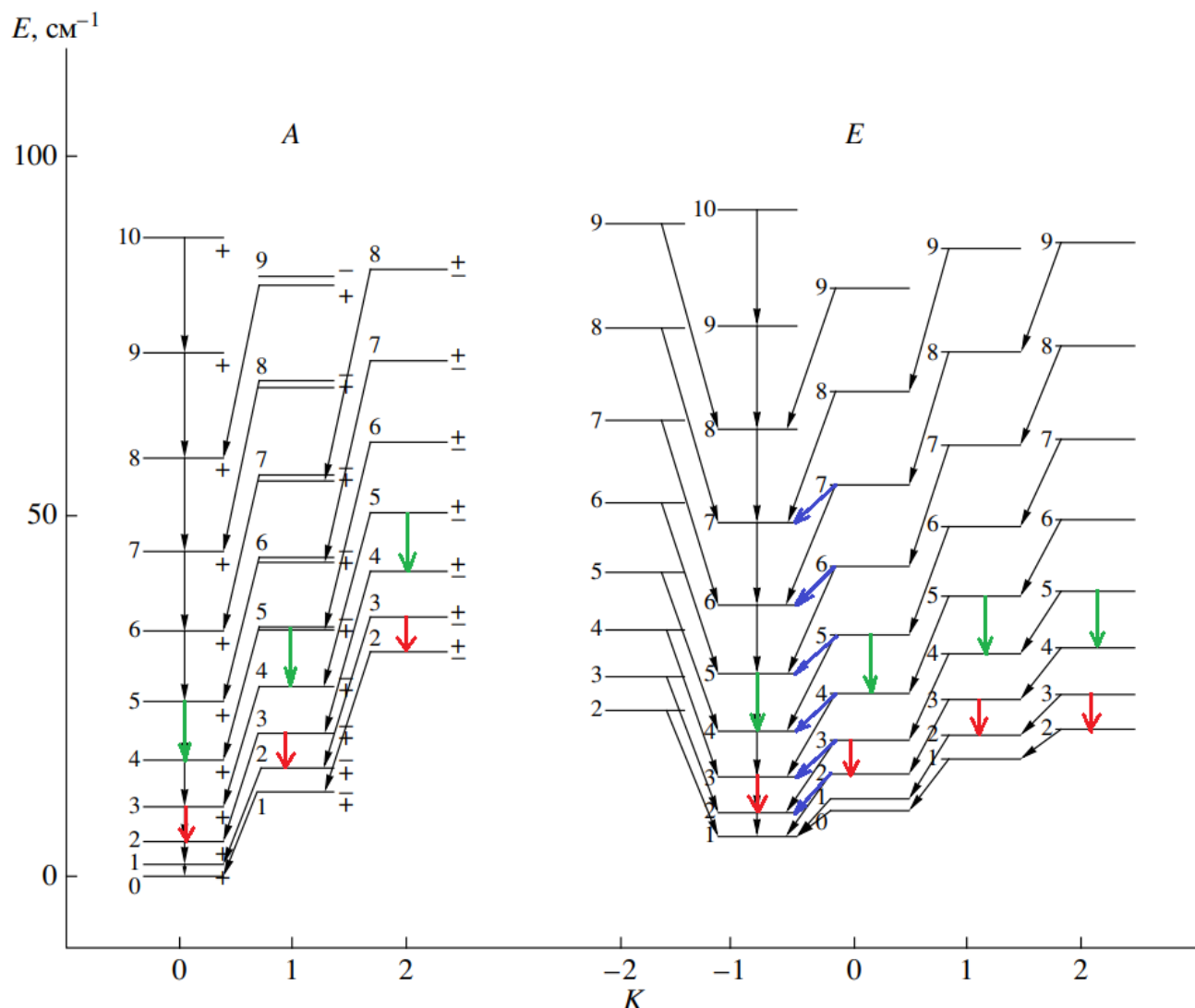
Список литературы содержит 105 наименований.

Автореферат и Диссертация выложены в интернет с учетом предложенных поправок.

Мазеры в L379

- Search for Methanol Masers at 44-GHz (*14м телескоп в Испании*)
- [Kalenskii, S. V.](#); [Bachiller, R.](#) [Berulis, I. I.](#); [Valtts, I. E.](#); [Gomez-Gonzalez, J.](#); [Martin-Pintado, J.](#); [Rodriguez-Franco, A.](#); [Slysh, V. I.](#)
- Soviet Astronomy, Vol.36, NO. 5/SEP, P.517-523, 1992
- The results of a survey of young stellar objects in the 7_0-6_1 A+ (44 GHz) methanol line are given. Three new masers have been detected, associated with cold IRAS sources in the clouds L 291 (GGC 27), L 379, and IC 1396N
- The fine spatial structure of methanol masers (VLA, USA)
- [Slysh, V. I.](#); [Val'tts, I. E.](#); [Kalenskii, S. V.](#); [Golubev, V. V.](#)
- Astronomy Reports, Volume 43, Issue 12, 1999, pp.785-796
- The results of mapping the structure of five methanol masers (M8E, W33Met, G14.33-0.64, L379IRS3, and GGD27) in the 7_0-6_1 A+ transition at 7 mm with an angular resolution of 0.1" are presented.

Схема уровней метанола (CH₃OH)



- Метанол – молекула типа **асимметричного** волчка, в молекулах такого типа переходы между соседними каскадами (с различными K) разрешены.
- Наблюдались переходы:
 1. $3_K - 2_K$ (A, E) (145.1 ГГц, красные линии);
 2. $5_K - 4_K$ (A, E) (241.8 ГГц, зелёные линии)
 3. $J_0 - J_{-1}E$ (157.2 ГГц, синие линии).

Космические мазеры H₂O

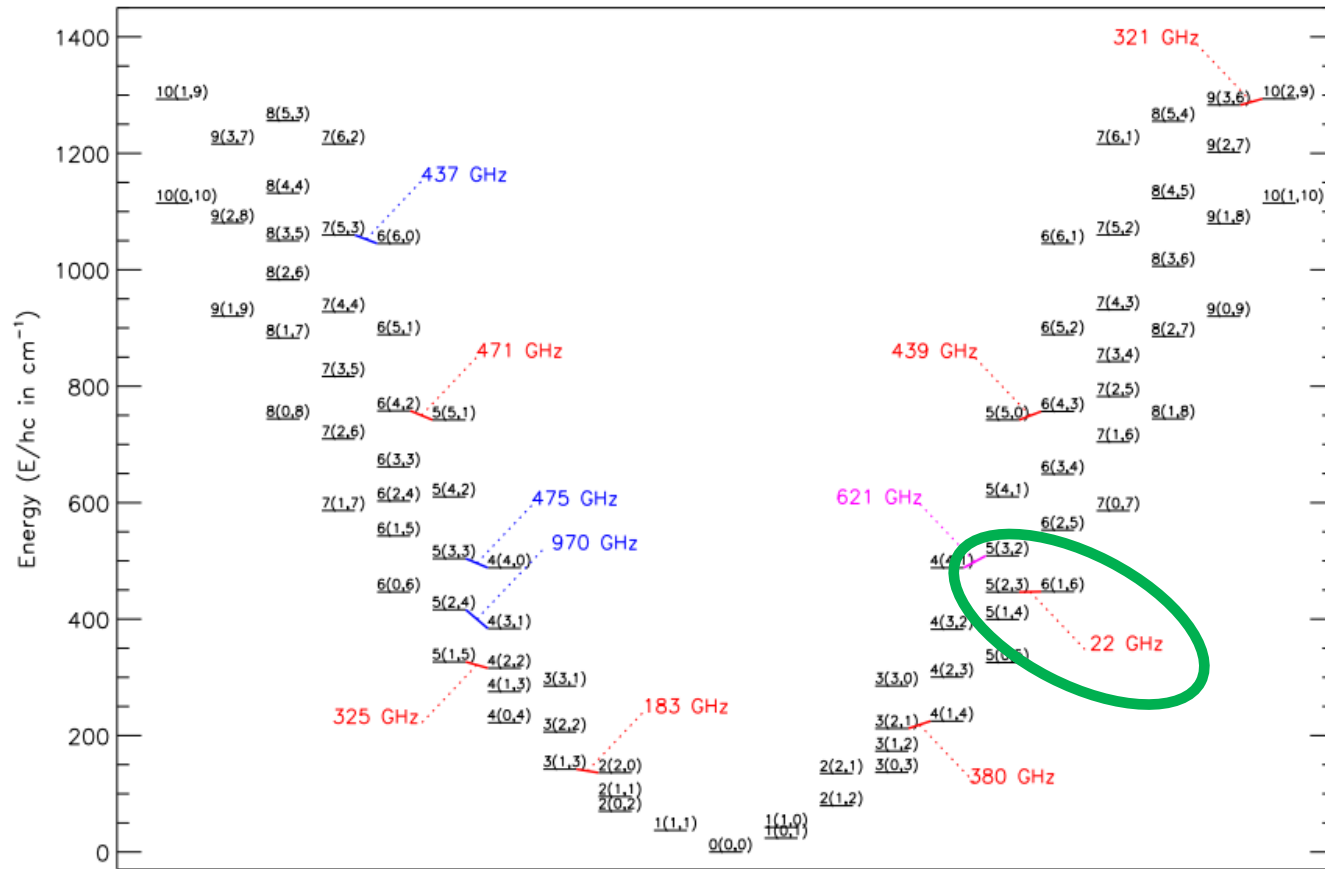
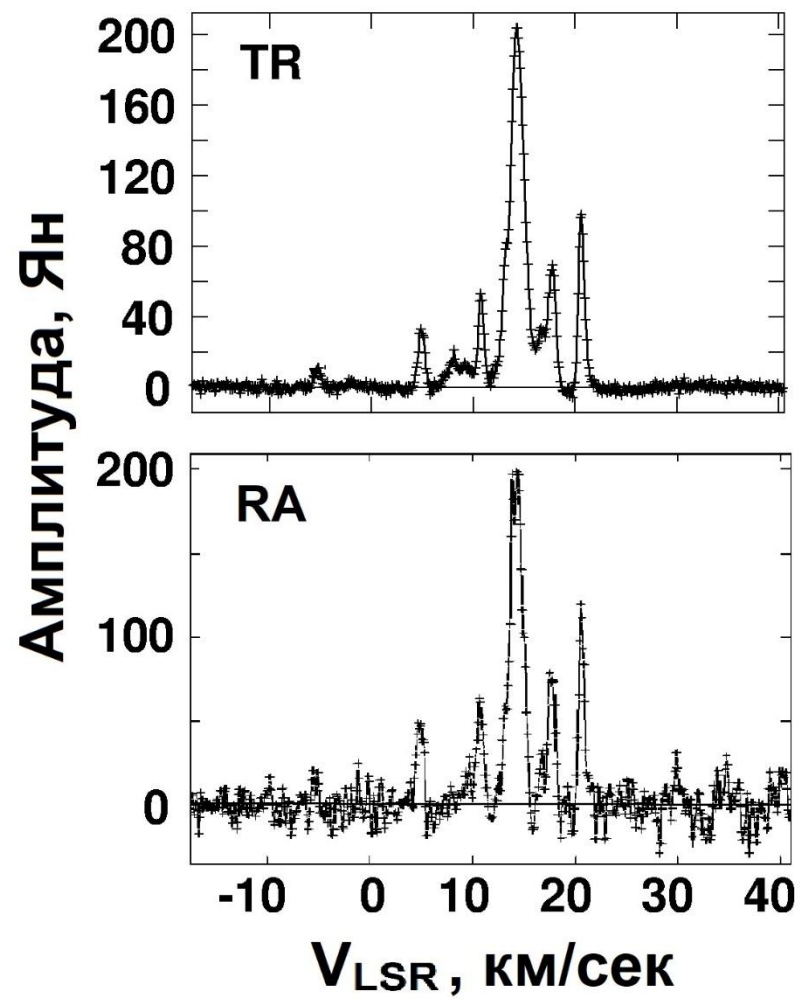
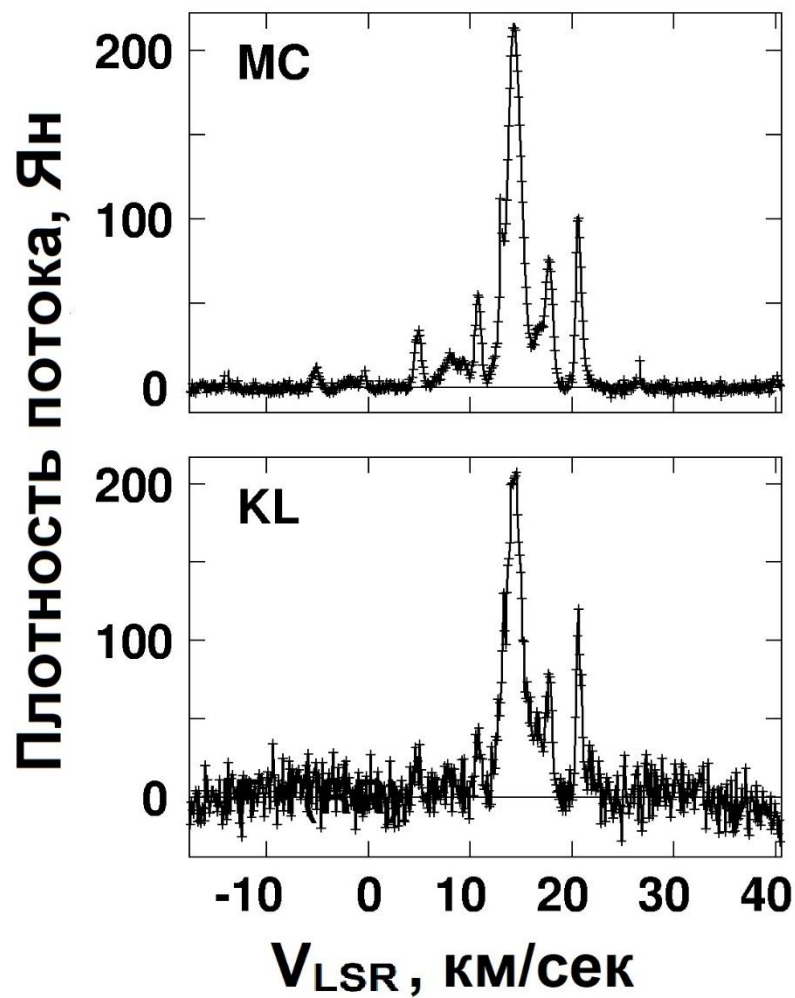


Схема вращательных энергетических уровней молекулы воды

- Мазерное излучение на молекулах представляет собой одно из часто встречаемых явлений в межзвездной среде, наблюдается оно и в наиболее плотных структурах молекулярных облаков.
- Самые распространенные мазеры встречаются в линиях молекул воды (H₂O), гидроксила (OH) и метанола (CH₃OH).
- **Красной стрелкой показан переход для мазеров на частоте 22.228 ГГц**

Автоспектры станций в наблюдениях источника NGC2071 от 11.01.2014 после процедуры полной калибровки



Поиск наземно-космической детали

- Поиск производился в программе **PIMA** (подробности в Petrov et al. 2011);
- PIMA позволяет осуществлять коррекцию остаточной задержки и частоты интерференции, а также скорости изменения частоты интерференции;
- PIMA **позволяет обнаружить** относительно **слабый отклик** космического интерферометра;
- При помощи полученных в PIMA задержек для обнаруженного наземно-космического отклика эксперимент был перекоррелирован с их учётом;
- Для найденного отклика **SNR > 6**, что считается достоверным обнаружением с вероятностью **$P \geq 0.9999$** (Kovalev et al. 2020);

Astronomy and computing in WoS

Download Web of Science™ My Research Assistant: Bring the power of the Web of Science to your mobile device, wherever inspiration strikes.

publons BROWSE COMMUNITY FAQs LOG IN REGISTER WEB OF SCIENCE

Home » Publications » Publication Details

Astro Space Locator - A software package for VLBI data processing and reduction

Published in Astronomy and Computing in October, 2020

WEB OF SCIENCE (FREE ACCESS)

VIEW FULL BIBLIOGRAPHIC RECORD VIEW CITING ARTICLES

REVIEW BADGES

- 0 pre-pub reviews
- 0 post-pub reviews

IDENTIFIERS

publons.com/p/34248734/

doi.org/10.1016/J.ASCOM.2020.100426

NAVIGATE

- Abstract
- Contributors
- Metrics
- Peer review
- Publication History

Oct 2020 in Astronomy and Computing

ABSTRACT

The article describes the main features and algorithms of Astro Space Locator (ASL) software package. This high performance package has a user-friendly graphical interface and it is used for VLBI data processing and reduction. ASL supports data editing, calibration, multi-frequency analysis, standard

AUTHORS

Likhachev, S. F.; Girin, I. A.; Avdeev, V. Yu.; Andrianov, A. S.; Andrianov, M. N.; Kostenko, V. I.; Ladygin, V. A.; Lyakhovets, A. O.; Litovchenko, I. D.; Rudnitskiy, A. G.; Shchurov, M. A.; Utkin, N. D.; Zuga, V. A.

PUBLONS USERS WHO'VE CLAIMED - I AM AN AUTHOR

VA	Alexey Rudnitskiy	VZ	Victor Zuga	MS	Mikhail Shchurov	AA	Andrey Andrianov
VA	Viacheslav Avdeev	MA	Michail N Andrianov	IL	Ivan Litovchenko	VK	Vladimir Kostenko

CONTRIBUTORS ON PUBLONS

- 8 authors

METRICS

Publons score (from 0 scores)	Altmetric	Web of Science Core Collection Citations
?	1	1

- <2> **Подпункт "а" пункта 4** Положения о Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 23 сентября 2013 г. N 836 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2013, N 40, ст. 5072; N 50, ст. 6605). Рецензируемое научное издание (далее - издание) может входить в перечень по одной или нескольким (до трех) отраслям науки и/или (до пяти) группам специальностей научных работников. **Издания, текущие номера которых или их переводные версии входят хотя бы в одну из международных реферативных баз данных и систем цитирования Web of Science, Scopus, Astrophysics Data System, PubMed, MathSciNet, zbMATH, Chemical Abstracts, Springer, Agris или GeoRef (далее - издания, входящие в международные реферативные базы данных и системы цитирования), считаются входящими в перечень по отраслям науки, соответствующим их профилю (<https://legalacts.ru/doc/prikaz-minobrnauki-rossii-ot-25072014-n-793/#100014>).**
- Издания, входящие в международные реферативные базы данных и системы цитирования, считаются **включенными в перечень**. К данным изданиям **Требования** не предъявляются (<https://legalacts.ru/doc/prikaz-minobrnauki-rossii-ot-25072014-n-793/#100014>).