Лабораторная работа: спектральные наблюдения в линиях водяного пара (22 ГГц) космических мазерных источников. На примерах наблюдений и обработки данных космических мазеров Н2О на РТ-22 ПРАО АКЦ ФИАН.

Самодуров В.А.

Пущинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН.

Аннотация

В данной лабораторной работе приводятся наблюдения и результаты регулярных избранных мазерных спектральных наблюдений лля источников В областях звездообразования и AGB-звезд нашей Галактики в линии водяного пара на 22 ГГц при помощи радиотелескопа РТ-22 (ПРАО АКЦ ФИАН). Начиная с 1979 г. на радиотелескопе РТ-22 (г.Пущино) объединенной группой ГАИШ (Лехт Е.Е., Рудницкий Г.М., Пащенко М.И. и др.) и ПРАО АКЦ ФИАН (Берулис Й.Й., Самодуров В.А., Толмачев А.М., Субаев И.А. и др.) проводятся регулярные (раз в 1-3 месяца) спектральные наблюдения большой выборки объектов мазерного излучения в линии водяного пара на волне 1.35 см (22 ГГц). В данной методической работе кратко изложены методы наблюдений и обработки данных спектральных наблюдений. Почти все материалы по лабораторной работе можно скачать по ftp-agpecy: ftp://data.prao.ru:8021/Observations/AstroShool/Spectra Lab/

Часть I: наблюдения на РТ-22 ПРАО ФИАН.

Введение, немного теории: что такое мазерные источники?

В плотных молекулярных облаках межзвёздной среды идёт процесс возникновения новых звёзд. При этом некоторые молекулы переходят в особый режим усиления радиоволн (мазерный эффект). Существование мазерного эффекта в космосе свидетельствует о длительном поддержании в естественных условиях сильно неравновесной заселённости энергетических уровней атомов и молекул. Это возможно лишь в условиях постоянно действующей накачки, энергии, поддерживающей инверсию населённостей сигнальных уровней (который и вызывает лавинообразный переход между уровнями 1,2 на рис. 1). Цикл накачки включает несколько последовательных переходов: собственно накачки (в простейшем случае переход между уровнями 1 и 3) и стока энергии (переход между уровнями 2 и 3).



Рис. 1: простейшая схема возникновения эффекта мазерного излучения.





Рис. 2: схема возникновения эффекта мазерного излучения в молекуле воды (показаны многочисленные уровни, порождаемые линиями от переходов во вращательных уровнях молекулы).

Первые мазеры во вращательной линии $H_2O 6_{16}-5_{23}$ на волне 1.35 см (v = 22235.08 МГц, рис. 2) были открыты в 1968 г. в направлении известных источников мазерного радиоизлучения ОН в областях звездообразования. Но, в отличие от молекулы ОН, где мазерный эффект имеет место в основном вращательном состоянии, в молекуле H_2O мазерные уровни расположены высоко над основным состоянием, энергия возбуждения соответствует температуре 644 К. Поэтому мазер H_2O – гораздо более энергоёмкое явление, чем мазер ОН. И потому космические мазеры в линии воды – самые яркие изо всех видов космических мазеров. При этом они – самые динамичные, изменения в спектрах зачастую происходят на отрезках дней и иногда даже часов!



Характеристики наблюдаемых космических мазеров, таблица 1:

Интересно, что многие космические мазеры испускают радиоизлучение для разных молекул и для разных длин волн. Довольно часто они отражают собой либо разные слои одной области, либо разные эволюционные стадии развития космического источника мазерного излучения.

Рис. 4. Наиболее частые объекты для изучения и наблюдений:

А) мазерные объекты в областях звездообразования (слева).

Б) мазерные объекты в оболочках звезд поздних спектральных классов (справа).



Источниками излучения являются отдельные пятна (конденсации) размером $\sim 10^{14}$ см, которые собраны в "гнёзда" размером $\sim 10^{16-17}$ см. Число конденсаций в гнезде 10-100, число гнёзд в космических мазерах может варьируется от одного до нескольких десятков. По частоте излучения отд. конденсации можно определить её лучевую скорость с

точностью порядка 0,1 км/с. Разброс лучевых скоростей конденсаций составляет до 100 - 300 км/с. Яркостная температура излучения в линии достигает 10^{15} К для H₂O, 10^{12} К для OH, 10^{10} К для SiO. Наблюдения показали, что интенсивность, ширина, профиль спектральной линии конденсации, а также её лучевая скорость переменны в интервалах времени от нескольких минут до >20 лет. Компоненты линий OH, SiO обычно сильно (вплоть до 100%) поляризованы в круговой поляризации; умеренная линейная поляризация (проценты и десятки процентов) наблюдается в линиях H₂O и OH.

Несколько более иллюстративно основные сведения о космических мазерах излагаются в прилагающейся к лабораторной работе презентации.

Спектральные наблюдения на РТ-22 ПРАО ФИАН.

Ширина диаграммы направленности антенны РТ-22 на 22 ГГц составляет 2.6 '. Наблюдения проводятся методом "наведение-наведение" с использованием симметричной диаграммной модуляции. При таком методе антенна наводилась на источник сначала одним рупором, затем другим. Полезный сигнал от источника находился как разность сигналов между сигналом с рупора, направленного на источник, и с рупора, направленного на площадку сравнения вне источника.



Рис. 5: спектральные наблюдения профиля мазерной линии космического мазера на приемнике с полосовыми фильтрами.

Подавляющее большинство сеансов 1979-2004 гг. осуществлено 96 — 128 канальными полосовыми фильтрами со спектральным разрешением 7.5 кГц, или 0.101 км/с на один канал. Одна спектрограмма занимает, таким образом 9.7 – 12.94 км/с по лучевым скоростям. Для источников со спектрами, превышающими этот диапазон, снималось несколько экспозиций сигнала вдоль оси лучевых скоростей.

Спектральная шкала по оси частот тождественна оси лучевых скоростей и связана простым соотношением:

$$\Delta F = F_0 \frac{\Delta V_r}{c} \qquad (1)$$

- где F₀=22235.08 МГц, с=299792.458 км/с.

Начиная с 2004 г. наблюдения проводятся при помощи автокорреляционного приемника на 2048 каналов в полосе частот 3 ... 50 МГц. Чаще всего используется полоса 12.5 МГц, 2048 каналов (спектральное разрешение 6.104 кГц, или 0.082 км/с на один канал). В указанном режиме весь спектр занимает на оси лучевых скоростей 168.5 км/с, что более чем достаточно практически для всех мазерных источников (лишь W49N и W51M из наблюдаемой нами выборки обладают более широким спектральным диапазоном на оси лучевых скоростей). Поскольку автокорреляционный приемник полностью откалиброван для совпадения старых данных (до 2004 г.) с новыми (за исключением ширины одного спектрального канала), то в сути своей спектральные наблюдения на автокорреляционном приемнике не отличаются от наблюдений на полосовом приемнике (рис. 5).

Первая часть данной лабораторной работы посвящена наблюдениям именно на автокорреляционном приемнике, вторая часть – примерам обработки данных различных мазерных источников – как с полосового приемника, так и с корреляционного.

Запуск спектральных наблюдений на РТ-22.

Запуск таких наблюдений возможен и в удаленном режиме, вызовом нужного компьютера ПРАО (из Windows XP):

Пуск-Программы-Стандартные-Подключение к удаленному рабочему столу.

Начальная настройка приемной аппаратуры.

На радиотелескопе РТ-22, последовательно запускаются: компьютер оператора, управляющий наведением радиотелескопа, и затем компьютер наблюдателя. После запуска компьютера наблюдателя осуществляется вход в программу управления автокорреляционным приемником (см. рис. 6).



Рис. 6. Вид программы управления автокорреляционным приемником.

Настройки основных параметров наблюдений осуществляются в меню «Параметры наблюдений», **рис. 7**:

Спектральные наблюдения с автокоррелятором Файл Параметры наблюдений Автокоррелятор Частота Юстировка Мерцания Регистр Фло 500	х
ор на сор Наколлыкие ОРF Наколлыкие правым Соредиее но 5	iii : 34 : 35 openegona trancciona Texeccióna Vece
400 A :: 6379 1244 10.3 c H A :: 6379 1244 10.3 c H Apace: 6379 1244 15.1 c H	7101 Н : 34гр 50м 48.9c Нрасч: 34гр 50м 43.9c
200 200 200 200 200 200 200 200 200 200	
Ymin 00 Ymin 17 Heroshapatean.	
2 4 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	Спектральные наблюдения
Запусти Остановить Праволо 166.1 Праволо 166.1 Тектови 169.0	C 8mm
Мигод ноблодения Гонострания Текущая директория С. Volsevent Toware 2012 Х С. Volsevent Toware 2012 Х	4 цикла 🔿 DN-DN 3 цикла.
Vex dues 3002005 sym □ Vex normous 351 W51Neth, 1= 661.433 Mitr, Viar 6530 km8, 06.6, 7,21 mm, 95%, Pasmume Hanonnewe EW orknass 2cm	ния К <u>80</u> 300
Нопер перело с откат у рык Количнество и малле Тачки о тогода по 4 секциа Тачки о тогода по 4 казниа	2048
Поправика А селириан Поправика Н селириан К-езо цилиса в изоблизания (-15.0 -15.0 -15.0 NH-OFF2) 15
Victoria, societa	Выход
Ромец и Родст 0.41 Uet је 11.12 Ромет, лРодст 0.91 Uetra 109.0 Срадно stateve ВПРиск ј 🕹 🍯 🗊 🎬 Спектральны 💁 Spectral_snalysis 💭 observer 🛛 💥 06 - Paint	I
🖪 Параметры наблюдений	_ 🗆 🗙
Общие данные Источник Спектра	льные наблюдения
Радиометр	
• 13,5 mm	0 8 mm
T	
температура калиоровки	71
Метод наблюдений	
© ON-OFF ⊙ ON-ON 4 цикла	© ON-ON 3 цикла
ON-OFF 2цикла	
л эчет поглощения	
Накопление ГШ в секундах	80
Накопление сигнала в секундах	300
Номер первого спектр канала	1
Количество каналов	2048
Точка отвода по А секунды	1200.0
Точка отвода по Н секчиды	-15.0
Поправка А секинды	-15.0
Поправка Н секцияц	15.0
	-15.0
к-во циклов накопления (ON-OFF2)	15
Monogi popari	Выход
VICHONBSUBATE	ВКОД

Рис.8. В меню «Параметры наблюдений» настраиваются также параметры спектральных наблюдений (режим наблюдений, экспозиция, число каналов etc).

Юлианский пень	2456017 5
Звездное время	12час35мин5.4сек
Выносы облучателей —	
Азимут левый сек	440.0
Азимут правый сек	-170.0
Угол левый сек	790.0
Угол правый сек	785.0
Метео данные	
Температура град С	0
Давление мм рт столба	0
Влажность %	80
🗖 Брать данные	сметеостанции
	40.0

Рис.9. Еще в меню «Параметры наблюдений» настраиваются общие данные наблюдений (настройка рупоров приемника и погодные условия).

Файл Параметры наблюдений Автокоррелятор Частота Юстировка Мерцания Регистрация О программе 80 из 80 197 из 300 0 из 300 Сеязь с сервером телескопа Среднее из 6 Среднее из 6 Сеязь с сервером телескопа Среднее из 6 Угол А : 62гр 37м 14.2c H : 35гр 15м 7.3c Арасч: 62гр 37м 15.3c Нрасч: 35гр 15м 5.3c ошибка: 0гр 0м 1.1c ошибка: -0гр -0м -2.0c Фиксированный масштаб Хттіп 2 Хттах 8 Утол Фиксированный масштаб	
80 из 80 197 из 300 0 из 300 0 из 300 0 из 300 Накопление левым Связь с сервером телескопа Связь с сервером телескопа Среднее из 6 400 Азниут Угол А : 62гр 37м 14.2c Н : 35гр 15м 7.3c Арасч: 62гр 37м 15.3c Нрасч: 35гр 15м 5.3c ошибка: 0гр 0м 1.1c ошибка: 0гр 0м 1.1c ошибка: 0гр 0м -2.0c Фиксированный масштаб Xmin 2 Xmax 8 Ymin 0.0 Ymax 400 Утол Вывести график масштаб	
Накоплени Связь с сервером телескопа Среднее из 6 400 400 Азнимут Угол A : 62гр 37м 14.2c H : 35гр 15м 7.3c Арасч: 62гр 37м 15.3c Нрасч: 35гр 15м 5.3c ошибка: 0гр 0м 1.1c ошибка: -0гр -0м -2.0c Фиксированный масштаб Xmin Ymin 0.0 Ymin 0.0 Ymax 400 Vucnoльзовать Вывести график	
Среднее из 6 400 Азимут Угол А : 62гр 37м 14.2с Н : 35гр 15м 7.3с Арасч: 62гр 37м 15.3с Нрасч: 35гр 15м 5.3с ошибка: 0гр 0м 1.1с ошибка: -0гр -0м -2.0с 200 Фиксированный масштаб Хттіп 2 Хттах 8 Чттіп 0.0 Үттах 400 Гиспользовать Вывести график масштаб	
Азимут Угол А : 62гр 37м 14.2с Н : 35гр 15м 7.3с Арасч: 62гр 37м 15.3с Нрасч: 35гр 15м 5.3с ошибка: 0гр 0м 1.1с ошибка: -0гр -0м -2.0с Фиксированный масштаб Хттіп 2 Хттах 8 Үттіп 0.0 Үттах 400 Гиспользовать Вывести график масштаб	
А : 62гр 37м 14.2с Н : 35гр 15м 7.3с Арасч: 62гр 37м 15.3с Нрасч: 35гр 15м 5.3с ошибка: 0гр 0м 1.1с ошибка: -0гр -0м -2.0с Фиксированный масштаб Хттіп 2 Хттах 8 Уттіп 0.0 Уттах 400 Г использовать Вывести график масштаб	
Арасч: 62гр 37м 15.3с Нрасч: 35гр 15м 5.3с ошибка: 0гр 0м 1.1с ошибка: -0гр -0м -2.0с фиксированный масштаб Хттіп 2 Хттах 8 Уттіп 0.0 Уттах 400 Г использовать вывести график масштаб	
ошибка: Огр Ом 1.1с ошибка: -Огр -Ом -2.0с фиксированный масштаб Хттіп 2 Хттах 8 Уттіп 0.0 Уттах 400 использовать вывести график масштаб	
200 Фиксированный масштаб Хтіп 2 Хтах 8 Утіп 0.0 Утах 400 Г использовать Вывести график масштаб	
200 Хтіп 2 Хтах 8 Утіп 0.0 Утах 400 использовать вывести график масштаб	_
Утіп 0.0 Утах 400 Использовать Вывести график масштаб	
использовать	
Вывести график Масштаб	
вывести график масштаб	
4 в Параметры автокоррелятора	IX
Накопление — Темпя — Темпя	
Запустить Остановить Тлевого 14 Выберите полосу МГц 🖉 0.612 Uef	
Сотиновно Тправого 12 С 50	
Тсистемы 14 C 25 50 🚍 Уровень в мВ	
С с с с с	
С 3125 🔽 Коррекция VanVleck	
Текущая директория С:\observer\Toлмачёв2012\	
Имя файла 31032005.sym	
Комментарий к файлу результата : Количество спектральных каналов	
Применить Выход	
X = 7.84 Y = 1.57 Chanal=1284	

Рис.10. Перед началом наблюдений производятся настройки параметров автокоррелятора в соответствующем меню. Чаще всего используется полоса 12.5 МГц, 2048 каналов, обязательно должна быть включена коррекция VanVleck (включение поправочной функции для приведение потока к истинной мощности – включать всегда!), OverSampling (способствует уменьшению шумов данных при наблюдениях в полосах, меньших 50 МГц) и, разумеется, Модуляция (сигнал принимабется в режиме модуляционного переключения с одного рупора на другой 300 раз в секунду – стандарт наблюдений для PT-22 ПРАО).

В меню «Регистрация» выбирается директория для записи-регистрации данных и чек-бокс для вывода дополнительного столбца данных ON-ON (позволяет при дальнейшей обработке учесть линейную поляризацию спектров).

Рис.	11, вид меню «Регистрация»:	
	🛄 Параметры вывода файла результата 📃 🗖	×
	Директория для записи Текущая директория С:\observer\Tолмачёв2012\	
	Выбрать директорию	
	🔽 Отключить вывод 🛛 🔽 Выводить рупор ON-ON	
	Выход	

После настройки общих параметров спектральных наблюдений, параметров автокорреляционного приемника и определения места записи спектральных данных на компьютере можно приступить к наблюдениям конкретных источников (см. рис. 12).

<mark>//</mark> Спектральны	е наблюдения с автокоррелятором	_ 🗆 ×
Файл Парамет	ры наблюдений Автокоррелятор Частота Юстировка Мерцания Регистр	ация О программе
80 из 80	151 из 300 0 из 300	10:30:42
Накопление О	FF Накопление левым Накопление правым Связь с со	ервером телескопа
	Расчет частоты синтезатора	
	Выбор канала Выбранная полоса 12.5 Количество каналов 2048 Центральный канал 1024 Смещение по времени мин П	: 35гр 23м 26.6с юч: 35гр 23м 22.2с ибка: -Огр -Ом -4.4с
	Файл списка источников Имя файла С:\observer\Tолмачёв2012\h2o_m2.cor Открыть новый	
	Изменение номера источника в списке 109 🚔 Пересчитать	400
2	Имя источника W 51 North Т кульминации час мин 7час18мин Альфа источника 19час21мин22.4сек Азимут угол источника град 62,35 Дельта источника 14град25мин13.0сек Частота синтезатора кГц 23661.4853 Лучевая скорость 63 Реальная частота 23661.4930 Реальная скорость 62,916	масштаб по текущему по среднему
	Переписать данные источника Выход	к онце цикла урацию
Текущая директори Имя файла <mark>351 W51North, f=</mark>	я C:\observer\Toлмачёв2012\ 31032005.sym Комментарий к файлу результата : 661.493 MHz, VIsr =63.0 km/s, 0.6 C, 721 mm, 95%, Pasmurno Esc - выход	пление нее копление
X = 3.78 Y = 51.97 С Среднее обнулено	Chanal=620	

Рис.12. В меню «Расчет частоты синтезатора» выбирается файл-список источников наблюдений (в начале этого файла – специальная информация для коррелятора для расчета частот, далее – список источников с их названиями и координатами) и конкретный источник в нем (желательно выше, чем 20° над горизонтом, неподалеку от верхней кульминации).

Выставляется необходимая расчетная частота на синтезаторе (учет движения Солнца к апексу, движения Земли по орбите и суточного вращения наблюдателя).

Затем нажатием кнопки «Переписать данные источника» данный источник заносится в таблицу меню «Параметры наблюдений». Теперь можно перейти в него и послать данные на компьютер управления.

🛄 Параметры наблюдений 📃 🗖	×
Общие данные Источник Спектральные наблюдения	1
Имя источника W 51 North	
альфа источника 19 21 22.4	
дельта источника 14 25 13.0	
Сут изменения альфа вр сек 0.0	
Сут изменения дельта уг сек 0.0	
Гориз параллакс уг сек 0.0	
🔽 Поправка на эпоху	
🗹 Выдать команду перехода на новый источник	
Использовать Выход	

Рис.13. В меню «Параметры наблюдений» проверяется, какой источник готов для наблюдений и: посылается окончательная команда перехода на него на компьютер оператора PT-22 (нажатием кнопки «Использовать»).

После выполнения всех вышеуказанных процедур (см. рис 8-13) можно запустить наблюдения кнопкой «Запустить» (накопление сигнала).

Однако, если мы желаем получить максимальный сигнал, полный цикл наблюдений включает также юстировку радиотелескопа раз 3-4 часа, особенно в дневное время. Дело в том, нагрев элементов радиотелескопа солнечными лучами с разных сторон приводит к тому, что происходит тепловая деформация элементов конструкции и диаграмма телескопа отклоняется от расчетной. В жаркий летний день отклонение диаграммы может дойти до 90-100", что приведет к падению потока от источника до 2-3 раз. Поэтому необходимо время от времени юстировать направление диаграммы радиотелескопа по ярким источникам (простой точечной структуры).

Помимо проверки погодных условий, влияющих на юстировку, раз в полгода-год проверяется в идеальных условиях площадь антенны по источникам с известными потоками (планеты Венера и Юпитер, источник DR 21).

Юстировка радиотелескопа во время наблюдений.

Перед юстировкой радиотелескопа мы должны снять хотя бы один спектр походящего яркого радиоисточника (с антенной температурой в ярких линиях не менее 20 К) точечной структуры (некоторые мазеры в линии водяного пара имеют двойную и даже тройную структуру, они для целей юстировки непригодны). В спектре такого источника выбирается яркая линия и запоминается канал, в котором она начинается и сколько каналов она занимает. После чего входят в меню «Юстировка», выбирают в различных под-меню общие параметры юстирования, параметры начального сканирования (вначале проводится быстрый съем нескольких сканов для определения зоны последующего более тонкого двухпроходного юстирования).

Юстировка Файл Параметры наблюдений Параметры юстировки	_ [] ×
Параметры наблюдений	10:57:00
Общие данные Источник Спектральные наблюдения Радиометр © 13,5 mm ® 8 mm Температура калибровки 71 Метод наблюдений © ON-OFF © ON-ON 4 цикла © ON-ON 3 цикла © ON-OFF 2 цикл В0 Накопление ГШ в секундах 80 Накопление Сигнала в секундах 180 Номер первого спектр канала 1 Количество каналов 2048 Точка отвода по А секунды 1200,0 Точка отвода по А секунды 300,0 Поправка А секунды 0 Поправка А секунды 0 Поправка А секунды 0 Поправка А секунды 0 Поправка А секунды 0 К-во циклов накопления (ON-OFF2) 15 Использовать Выход Смещение по А сек 0 АDC-	 координаты телескопа Азимут Угол А : 94гр 1м 54.4с Н : 73гр 13м 24.2с Арасч: 94гр 1м 55.2с Нрасм: 73гр 13м 18.9с ошибка: 0гр 0м 0.9с ошибка: -0гр -0м -5.2с Быстрый доступ F1 параметры наблюдений F2 параметры юстировки Ctrl-A сканирование А Ctrl-H сканирование Н Ctrl-Alt-A юстировка А Ctrl-Alt-H юстировка Н F10 автоюстировка F7 прервать юстировка F7 прервать юстировку Ctrl-Del Выход Perистрация Сотменt Имя файла

Рис.14. В меню «Юстировка» есть аналогичное одному из основных меню программы спектральных наблюдений подменю «Параметры наблюдений». В нем можно выставить поправки по азимуту и углу места – вначале нулевые.

Ностировка Файл. Параметры наблюте	ний Параметры юстировки	_	
чинт параметры паолоде	пин параметры юстировки		10:58:04
		•	
	Параметры юстировки		координаты телескопа
	Общие Сканирование Юстиров	зка	Yron
	Оцифровка ш/п радиометра Выход видеоконвртора	САЦПЕ14-440 САСАКФ	р 12м 53.0с Нрасч: 73гр 4м 5.6с
	Период опроса АЦП мс	1000	ОМ 1.1с ошиока: -Огр -ОМ -4.9с
	Первый канал АСАК	1174	
	Сколько каналов	26	— тры наблюдений
		• левый	тры юстировки
	Рупор	С правый	нирование А
	Смещение центра А у.с.	0	— нирование Н
	Смещение центра Н у.с.	0	— Пюстировка А
	Масштаб графика	5	— юстировка Н
	Использовать	Выход	юстировка
		F7 npe	 ервать юстировку
		Ctrl-D	el Выход
			2eructoauua
Смещение по А сек О	Смещение центра по	о А сек О	🗖 записывать в Файл
Смещение по Н сек О	Смещение центра по	о Н сек О	Comment
ADC=			Имафайда

Рис.15. В под-меню «Параметры юстировки» выставляется тип приемника (в нашем случае АС АКФ), период снятия опросов (экспозиция спектров), начальный канал на спектре, число каналов, рупор (обычно левый) возможные смещения (обычно 0) и масштабы отрисовки графиков (условно: для деталей в 100 К достаточно примерно единичного масштаба, если деталь меньше по потоку, масштаб необходимо увеличить).

айл Параметры наблюде	ений Параметры юстировки		10 (58 (04
	Параметры юстировки Общие Сканирование Юстировка		координаты телескопа Угол 2м 51.9с H : 73гр. 4м 10.5с
	Диапазон сканирования А сек Скорость сканирования А сек/с Диапазон сканирования Н сек Скорость сканирования Н сек/с Число линий сканирования Шаг высоте секунд	600 20 600 20 3 40	 12м 53.0с Нраск: 73гр 4м 5.6с 0м 1.1с ошибка: -0гр -0м -4.9с юступ тры наблюдений тры юстировки нирование А нирование Н
	Шаг по азимуту секунд Использовать	40 Выход	юстировка А юстировка Н остировка
		F7 Ctr	прервать юстировку I-Del Выход Регистрация
мещение по А сек 0 мещение по Н сек 0 DC=	Смещение центра по А Смещение центра по Н	сек О сек О	Г записывать в файл Comment

Рис.16. В под-меню «Параметры юстировки», опция «Сканирование» определяется число сканов, район сканирования, шаг сканирования (расстояние между сканами) и скорость сканирования – как для вертикальных, так и для горизонтальных сканов. Данные предварительные небесные сканы необходимы для определения скана с наиболее сильным сигналом. Именно по данному скану (вертикальному или горизонтальному) будет произведено окончательное юстирование. Обычно выбирают по 3 горизонтальных и вертикальных скана области 600" со скоростью 20" в секунду, с шагом между сканами в 40".

Ностировка Фойа Поромотри избата во Оставля на става на става на става на став на става на става на Става на става на став на става на става на става на става на став става на става на ст става на става на став става на ста			[
Фаил параметры наолюден	ний параметры юстировки		10:58:04
		•	
	🛄 Параметры юстировки	_ 🗆 ×	Угол
	Общие Сканирование Юстировка		2м 51.9с Н : 73гр 4м 10.5с
			• 12м 53.0c Нрасч: 73гр 4м 5.6c
	Диапазон юстировки А сек	600	Ом 1.1с ошибка: -Orp -Oм -4.9c
	Скорость юстировки А сек/с	10	юступ тры наблюдений
	Диапазон юстировки Н сек	600	тры юстировки нирование А
	Скорость юстировки Н сек/с	10	нирование Н
			юстировка Н
	Использовать	Выход	юстировка
		F7 прерва	ать юстировку Выхол
		Cui-Dei	выход
Смещение по А сек 0	Смещение центра по А с	сек 0 Газ	рация

Рис.17. Аналогичным образом выбираются заранее параметры окончательного юстирования (2 прохода с разных сторон по одному выбранному скану), обычно с меньшей скоростью 10" в секунду для тщательного съема данных.

Начальное сканирование потом соответственно производится по горизонтальному направлению (Ctrl-A) и вертикальному (Ctrl-H)– см. рис. 12 и 13 ниже. Выбираются наилучшие сканы для последующей юстировки.



Рис. 18 – выбор наиболее яркого скана после горизонтального сканирования



Аналогичным образом производится окончательная юстировка (только после выбора номера скана в предварительном сканировании!): по азимуту (Ctrl-alt-A) и по вертикали (Ctrl-alt-H) – см. рис. 14 и 15 ниже. При этом выводятся поправки.



Рис. 20 – расчет поправок диаграммы антенны по азимуту.







Рис. 22 – зачастую после юстировки диаграммы антенны плотность потоков в линиях мазерных источников ощутимо возрастает (от 20-30% до 2-3 раз).

Такие юстировочные поправки в условиях ясного неба днем желательно проводить раз в 2-3 часа, при этом стараясь в целом сохранять взаимное положение радиотелескопа и угол между диаграммой и направлением на Солнце. Подобная юстировка не требуется ночью. Не нужна она иногда и днем – в условиях пасмурной погоды.

Именно аккуратное проведение юстировок, регулярное слежение за поправками телескопа (они могут слегка различаться зимой и летом), введение правильных погодных условий в параметры наблюдений (от них зависит коэффициент поглощения атмосферы в зависимости от высоты источника над горизонтом) и т.п. – определяет многолетнюю стабильность спектральных данных. Как показывает практика, обычно от наблюдения к наблюдению инструментальная ошибка не превышает ±15% по потокам. Данное обстоятельство позволяет активно использовать спектральные данные для стабильного мониторинга космических мазеров на масштабах от минут до многих лет. После накопления массива спектров их можно будет обработать, и об этом – во второй части лабораторной работы.

Часть II: Обработка результатов многолетних спектральных наблюдений на РТ-22 ПРАО.

Наблюдательные данные.

В числе объектов наших наблюдений присутствуют как области звездообразования, так и звезды поздних спектральных классов. В рамках лабораторной работы разбираются несколько источников мазерного излучения обоих типов.

В лабораторной работе представлены спектры и проведен анализ их вариаций за все время наблюдений для источников (см. таблицу 1):

N⁰	Источник	α(1950)	δ(1950)	V _{LSR} км/с	Flux _{peak} (Jy)
1.	WB 652	5 27 31	33 45 12	-12.0 +4.0	~ 100
2.	GGD 4	5 37 21.8	23 49 24	-3.0 +10.0	~ 101000
3.	V391 Cyg	19 39 26	48 40 26	-30.017.0	~ 50
4.	DR Cyg	20 41 47	37 59 2	+5.5 +18.5	~ 10

Таблица 1 [.] основные данные о наблюдат	ельных источниках

Используемое программное обеспечение:

A) Spectra.exe – считывает списки спектров избранных источников с полосового приемника (данные 1979-2004 гг). Программа работает под системой MSDOS, поэтому к ней прилагается программа DOSBOX 0.73 (либо нортон-подобная утилита Far), графический драйвер egavga.bgi и русификатор keyrus.com

Б) Программа для просмотра спектров с автокорреляционного приемника Spectral analysis.exe

B) Графер OriginLab 7.0

Просмотр и обработка спектральных данных

Работа в программе Spectra.exe. Запускаем программу для демонстрации через DOSBOX 0.73 (необходимо примонтировать директорию, где лежит программа Spectra.exe, как диск С, и запустить ее с этого диска после запуска русификатора key.bat). При вызове программа Spectra.exe запрашивает список источников, с которым будем работать. Задаем список источников a_ggd4, и после запуска программы устанавливаем нужные масштабы по осям горячими клавишами [8], [9] и [-], [+].

Вызов описания программы Spectra.exe и файла помощи по клавишам управления – клавишей [F10]. В основном описании перечисляются, в частности, как можно просчитать суммы потоко в заданных интервалах, центры масс спектров и т.д., и т.п. В данной лабораторной работе опишем лишь работу-моделирование спектров списками гауссиан.

Пролистываем спектры клавишами [PageUp], [PageDw] и, в качестве примера, на последнем экране готовимся выполнить нахождение списка гауссиан для одного из спектров – на дату 3.12.2003 г. (рис. 1). Рис. 1 Вид рабочего экрана программы обработки



Практическое задание по нахождению списка гауссиан, имитирующих спектр.

В программе Spectra.exe нажимаем [H] (поиск набора модельных гауссиан), в ней – перебором [D] выбираем нужный спектр (в данном случае 5-й) и запкускаем поиск начального приближения списка клавишей [F5]. ... В получившемся списке (всюду в программе можно вызывать подробные подсказки клавишей F10) убрать явно неверные модельные гауссианы (ложные, отрицательные по бокам сильных гауссов) в процедуре работы со списком Work_File_and_Source, и запустить его в процедуру подгонки клавишей [U]. Правильность подгонки можно проверить отрисовкой списка гауссиан [O], выводом их списка [n] и наложением-выводом начальных данных [I]. На рис. 2 – результат работы. Сохранение списка полученных гауссиан в текстовый файл клавишей F1 (временный файл) либо F3 (дописываемый журнал обработки).



Просмотр и обработка спектральных данных в программе OriginLab 7.0.

Большинство работ по обработке спектральных данных можно проделать в графере OriginLab 7.0.

Считывание данных можно осуществить считыванием данных кнопкой Import Multiply ASCII - в начальный текстовый табличный шаблон данных.

Назначив правильно оси X и Y, можно затем построить несколько спектров на одном графике – выбрав предварительно нужные столбцы в таблице и нажав правой кнопкой мыши последовательно разворачивающиеся меню Plot→Special Line/Symbol → Waterfall - см. рис. 3. Затем необходимо отрегулировать график (начальные сдвиги спектров по осям и их цвета).

Чтобы смоделировать спектр набором гауссиан, необходимо в меню OriginLab 7.0 выделить Analysis→Fit Multi-peaks → Gaussian, назначив нужное число гауссов (здесь – 4, см. рис. 4) и выбрав их начальные положения.

Рис.3 Начало построения графиков спектров в OriginLab 7.0													
🖉 Origin 7 - J:\SAM\My_docum\Stydent_Aspirants\Astro_shkola\Graph\ggd4_01 - [GGD42004]													
III File Edit View Plot Column Analysis Statistics Tools Format Window Help													
		B(X3) I	.12.2003[Y3	C(X4) 8	.12.20	103[Y-	D(X5)	27	7.(Y5)	E(X6)	10).(Y6)	F(X7)
24		GGD4		GGD4			CCD4		/	CCD4			GGD4
œ,	1	-3.082	0.75	-3.082		Plot		<u> </u>	🔶 Line			6.763	-3.082
Q	2	-2.974	3.588	-2.974	- X	Cut			Scatter			5.438	-2.974
+	3	-2.866	5.138	-2.866		Copy			🖌 Line + S	5ymbol		8.95	-2.866
T	4	-2.758	2.112	-2.758		а сору			Special	Line/Symbol	•	Vertica	al Drop Line
EB		-2.65	5.912	-2.65		9 Paste				enorormo <u>o</u> r			
*	6	-2.543	1.712	-2.543		Insert		15	<u>B</u> ar				t Segment
1.5	7	-2.435	-1.7	-2.435		Delete			<mark>∎</mark> ⊆olumn			💫 <u>3</u> Poin	t Segment
-	8	-2.327	2.2	-2.327		Delete			Specijal	Bar/Column	•	🖌 <u>V</u> ertica	al Step -
	9	-2.219	1.2	-2.219	_	Clear		6	🍦 Pie			ط Horizo	ntal Step
2	10	-2.111	-1.488	-2.111		Set As		- → =				A Soline	
$\overline{\alpha}$	11	-2.003	1./3/	-2.003	_			_	<u>3</u> D XYY		•		
<u> </u>	12	-1.895	4.65	-1.895		Fill Colu	mns With		3D XYZ		•	🔀 D <u>o</u> uble	e-Y
4	13	1.787	0.05	-1./8/		Sort Columns		3D Surface/Contour Plots		ots	🔀 Line Se	eries	
	14	-1.68	-0.463	-1.68		Sort We	rkcheet	• -				🔏 Water	fall
0	10	-1.372		-1.372	_	5010 990	mandee	-	BUDDIe/	Color Mapped		Zoom	
	17	-1.356	-3.3	-1 366	Σ	Statistic	s on Columns		Statistic	al <u>G</u> raphs	•	<u>2</u> 00m	
-	18	-1.248	-1	-1.248	Σ	, Statistic	s on Rows		Pa <u>n</u> el		•	TI V Erro	r j
0	19	-1.14	-0.387	-1.14					🔒 Area			<mark>-₄[‡] ⊻</mark> Y Err	or
N	20	-1.032	-3.45	-1.032		Mask						5.375	-1.032
S	21	-0.925	1.712	-0.925		6.2	-0.925		TEIII Area	3		12.112	-0.925
	22	-0.817	4.525	-0.817		5.488	-0.817		3) <u>P</u> olar			11.8	-0.817
	23	-0.709	2.825	-0.709		7.05	-0.709	6	📐 Ternary	/		9.663	-0.709
	24	-0.601	3.613	-0.601		3.413	-0.601	6	🗧 Smith C	hart		11.6	-0.601
	25	-0.493	2.837	-0.493		5.875	-0.493	- h	High-Lo	w-Close		15.6	-0.493



В результате нам будет выданы данные (см. рис. 4): Gauss(4) fit to GGD42004 3.12.2003: 37.71756 R² 0.98877 Chi^2/DoF Peak Area Center Width Height 1 33.157 0.97464 0.83061 31.851 2 10.675 3.7105 0.44981 18.935 3 180.56 6.1562 1.0662 135.12 4 221.887.63750.81170 218.10

Сравним с результатами работы нашей программы Spectra.exe: Протокол обработки-получения гауссов источника GGD4

Year	Vel	Flux Width for Gauss of	GGD4	3 12 2003					
2003.925	0.984	2.49 (в Ян = 31.125)	1.020						
2003.925	3.710	1.52 (в Ян = 19.0)	0.530						
2003.925	6.156	10.81 (в Ян =135.125)	1.257						
2003.925	7.637	17.45 (в Ян = 218.125)	0.956						

Налицо – практически полное совпадение, за исключением того, что в программе Origin все гауссианы получаются заметно уже (вероятно, это разница обусловлена различием алгоритмов вписывания).

Работа в программе Spectral_Analysis.

Спектры с автокорреляционного приемника можно просмотреть, отсортировать, провести беглый анализ качества наблюдений, анимировать избранные данные и т.д. – в программе Spectral_Analysis (автор – Дмитрий Ладейщиков).

Поскольку работа в ней довольно проста и очевидна, покажем в учебных материалах лишь внешний вид программы (см. рис. 5). Все ее возможности очевидны из ее нескольких меню свверху и разнообразных кнопок вокруг графика выбранного спектра. Не вполне очевидна лишь одна опция: нажатием на соотвествующие столбцы таблицы спектров можно сортировать спектры в соответствии с избранным в столбце параметром (дата либо название источника).



Для чего все это надо?

Итак, мы бегло ознакомились с возможностями программ просмотра и обработки спектральных данных. Но: для чего это все нужно? Рассмотрим на дальнейших примерах законченной обработки данных для четырех различных космических мазеров, как именно можно использовать полученные результаты и их как трактовать.

Результаты обработки данных и их возможная интерпретация.

В процессе обработки данных наблюдений найдено для каждого источника:

1) **WB652** (или AFGL 5142, наблюдения 2001 -- 2004 гг.) - найдено, что космический мазер в данной области звездообразования ведет себя на представленном временном отрезке довольно стабильно.

Рис. 6.



Мы наблюдали (рис. 6) устойчивую группу спектральных деталей на интервале -10.0 ... +3.0 км/с с потоком порядка нескольких десятков Ян в линии. Из анализа вариаций потоков на разных участках спектра найдено, что левая часть спектра на оси лучевых скоростей в 2001 – 2004 гг. изменяла свой поток в противофазе с потоком с правой половины спектра. В то время как поток от правой зоны спектра (-3.3 -- +1.5 км/с) рос, поток от левой зоны спектра (-9.5 -- -3.4 км/с) падал (рис. 7). Такая антикорреляция потоков достаточно типична, например, для диско- и торо- образных структур вокруг молодых звезд. Другое возможное объяснение, что данное излучение порождено двумя биполярными струями от молодой звезды. Но отсутствие сильных смещений спектральных деталей (см. разложение спектров на гауссовы компоненты на рис. 8) позволяет предположить, что в данном случае мы скорее имеем дело с торообразной структурой около молодой звезды диаметром несколько десятков а.е., в которых возникло явление конкуренции за накачку излучения между противоположно движущимися к нам частями газово-пылевого тора.





Рис.9. Спектры космического мазера GGD4

2) GGD4 (1996 -- 2004 гг.) - найдено, что космический мазер в данной области звездообразования ведет себя на представленном временном отрезке крайне нестабильно (см. рис. 9). Большую часть времени он демонстрирует достаточно слабый поток (порядка нескольких десятков Ян) в линии либо полное отсутствие наблюдаемого потока излучения (т.е. ниже 5 Ян). Однако в 2003 г. данный источник отметился неожиданно мощной вспышкой до 1000 Ян потока в линии. Причем заметно, что вспышка, возникнув в виде мощной детали в зоне лучевых скоростей ~ + 5.5 км/с (июнь 2003), привела к распадению ее на группу и устойчивое смещение ее в зону ~ + 7.5 км/с (конец мая 2004). Наиболее адекватное объяснение этому можно дать, если считать, что данная вспышка происходит в мощной струе вещества с излучающими ускоряющимися мазерными конденсациями.

Рис. 10. Спектры космического мазера V 391 Суд











Рис.11.

Рис. 12. Колебания блеска звезды V 391 Суд за тот же период по данным <u>www.aavso.org</u>



3) V391 Cyg (2001 -- 2004 гг.) – найдено (см. рис. 10), что космический мазер для данной звезды позднего спектрального класса показывает переменный поток порядка в диапазоне 30-80 Ян в линии на скорости V_{LSR} =23.1 км/с. Приблизительный период изменения потока составляет порядка 500 суток (рис. 11), причем поведение потока в линии водяного мазера хорошо повторяет (с некоторой задержкой в 50 – 100 дней) поведение блеска данной переменной звезды в оптике (рис. 12). Сама главная деталь спектра обычно устойчиво разлагается на две гауссианы (рис. 13: в районе –22.5 и –23.3 км/с), которые, наиболее вероятно, порождаются излучением с противоположных частей газово-пылевой оболочки вокруг данной звезды позднего спектрального класса.

Рис.14. Спектры DR Cyg



4) DR Cyg (2001 -- 2004 гг.) - найдено, что космический мазер для данной звезды позднего спектрального класса (характерное поведение ее оптического блеска отражено на рис. 14) показывает слабый поток порядка 10 Ян в линии на $V_{LSR} = 12.7$ км/с (рис. 15), временами эта деталь исчезает с приблизительной периодичностью 300-400 суток. Ввиду крайней слабости данной детали ее изучение затруднительно. Однако можно отметить, что периоды ее наилучшей видимости опять же, хорошо согласуются с максимумами блеска звезды в оптике.

Заключение.

Итак, на конкретных примерах мы убедились, что спектральные наблюдения и обработка данных космических мазеров H2O дают богатый материал для физической интерпретации строения и эволюции данных объектов.

Практическое задание.

Перед вами – часть спектра космического мазера W43M3 на дату 26.12.1990 г.

Лучевая скорость для канала под номером 57 (номера каналов – показаны внизу, скорость возрастает слева направо) относительно локального местного стандарта V_lsr =104.85 км/с. Приведена яркость (второй снизу ряд цифр) – в антенных градусах, 1K = 12.5 Ян. Ширина одного спектрального канала 0.1011 км/с.

Задание.

A) Назовите интервал лучевых скоростей приведенного участка спектра.Б) Сколько гауссиан (отдельных спектральных деталей) вы видите на графике?

В) Определите положение центров на оси лучевых скоростей, и ширину найденных гауссиан на уровне ½ потока в линии.

Г) Определите полный поток в Ян для приведенного участка спектра.

