

# **Структура и кинематика газа в областях звездообразования галактик IC1613 и IC10: действие сверхновых и звездного ветра**

Подорванюк Н.Ю., Лозинская Т.А., Моисеев А.В.

# Почему Irr галактики оптимальны для исследования крупномасштабной структуры и кинематики межзвездной среды в областях звездообразования?

1. Цикл взаимодействия звезд и газа не прерывается спиральными волнами.
2. Толщина газового слоя в Irr больше, а плотность газа меньше, чем в sp (тот же приток энергии, что и в sp, формирует сверхоболочки большего размера, которые позднее прорываются в корону галактики).

Поэтому в Irr мы наблюдаем взаимодействие звезд и газа во всей полноте пространственных и временных масштабов, вплоть до многооболочечных систем, сопоставимых по размеру с размером галактики.

По той же причине в Irr галактиках максимальны пространственно-временные масштабы, на которых сверхновые и звездный ветер доминируют в образовании звезд нового поколения.

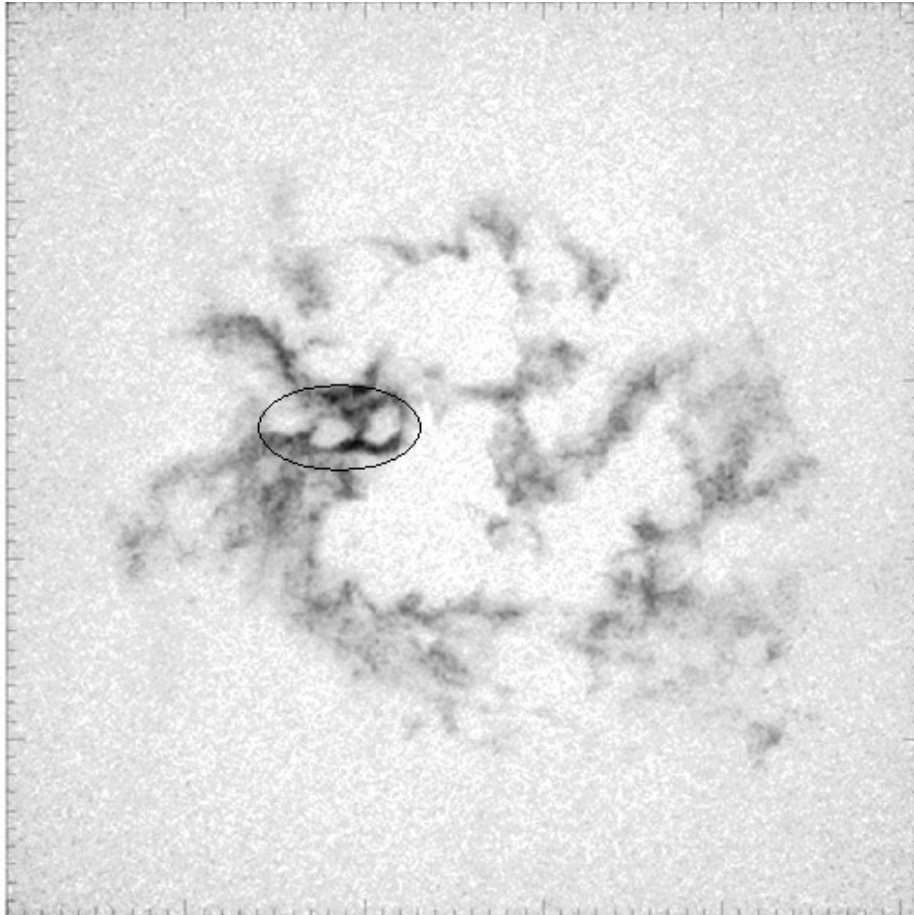
**По результатам наблюдений на 6-м телескопе САО РАН в четырех режимах:**

- прямые снимки в среднеполосных фильтрах,**
- спектроскопия с длинной щелью,**
- с панорамным спектрографом MPFS и**
- со сканирующим интерферометром Фабри-Перо**

**Использовались архивные данные наблюдений VLA в линии 21 см и данные HST.**

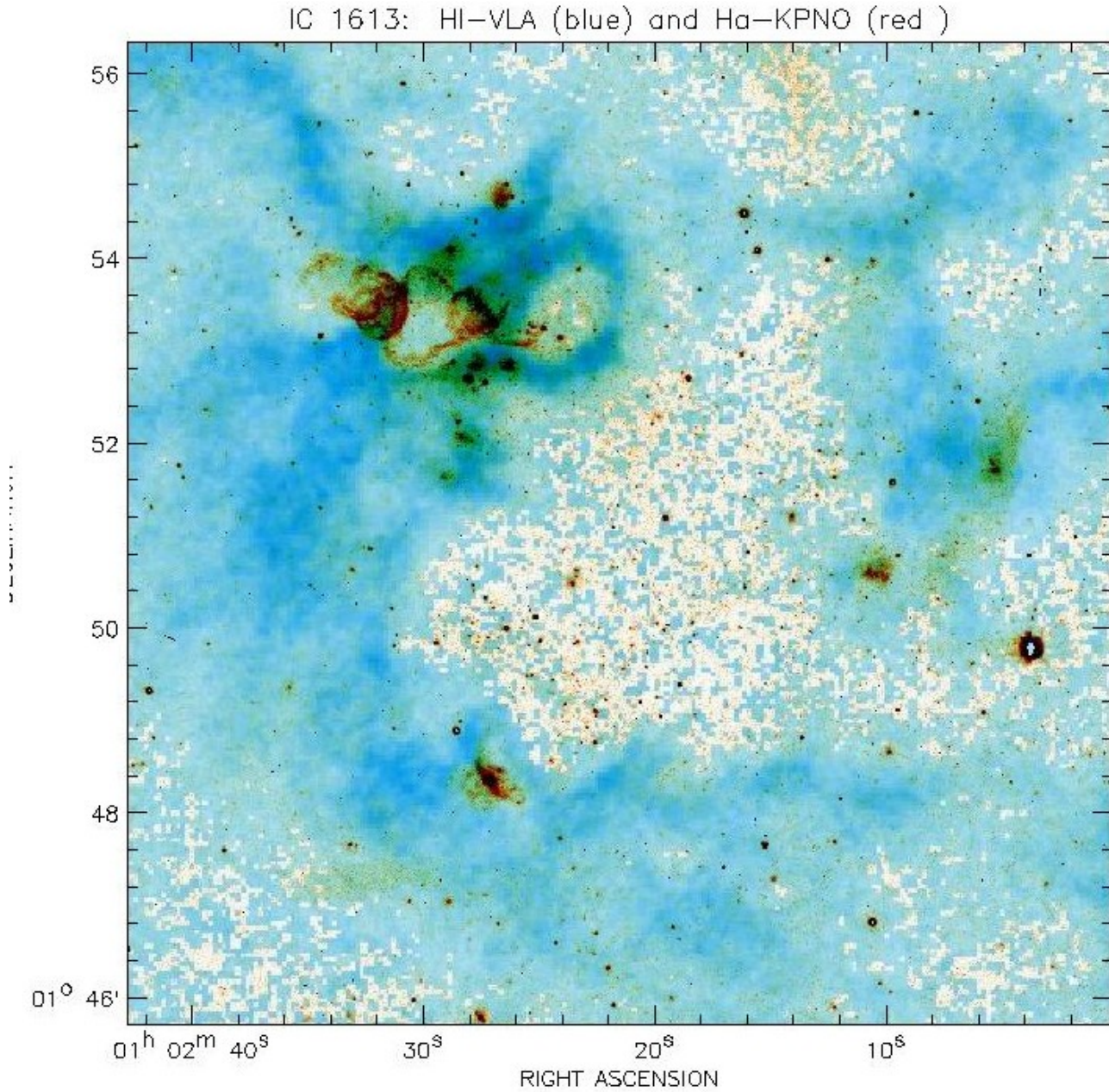
# Кинематика ионизованного и нейтрального газа в комплексе звездообразования в галактике IC 1613

Галактика IC1613 в линии 21 см с VLA (Lozinskaya, 2002; Лозинская и др., 2003)



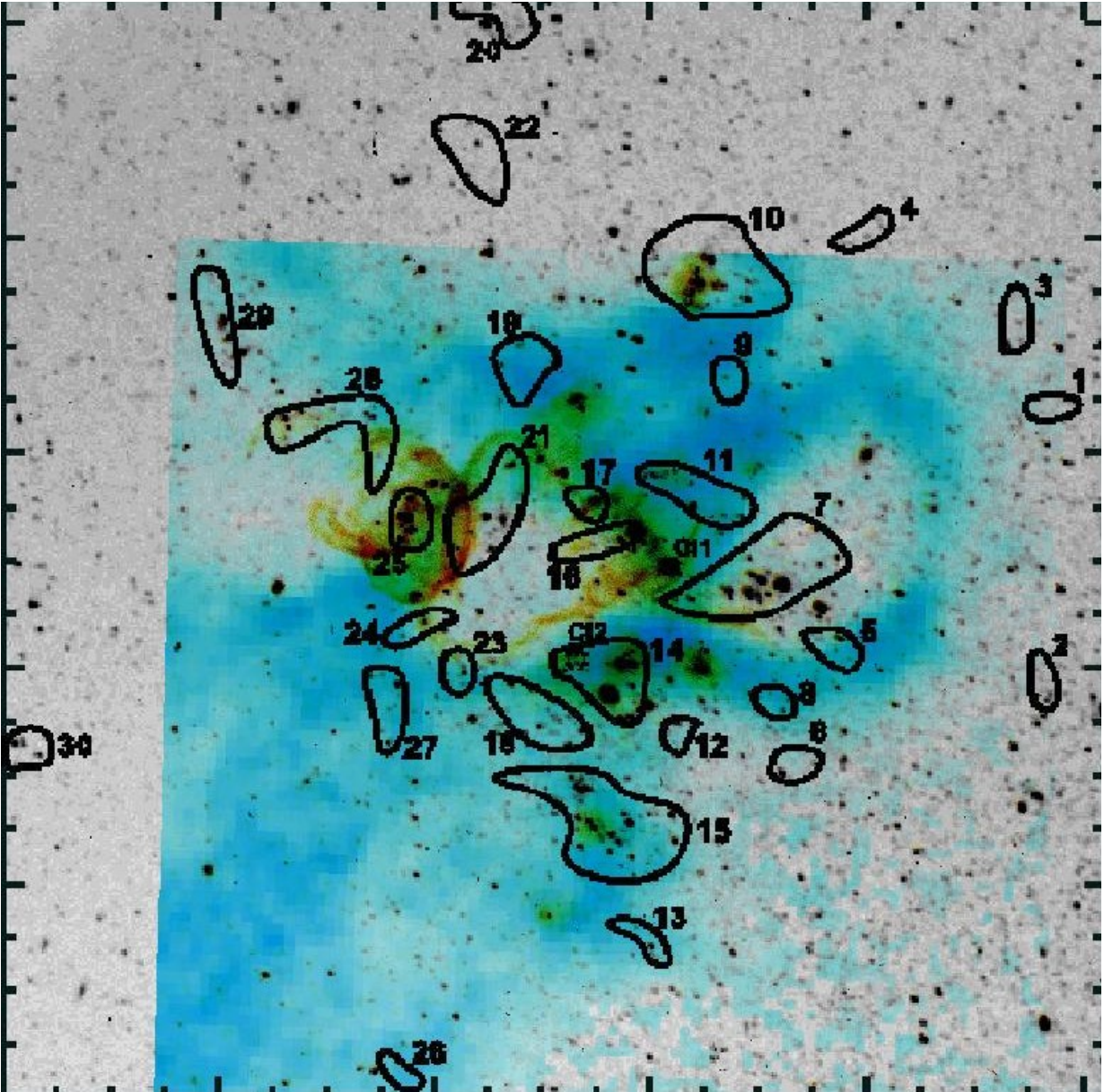
Современное звездообразование в области трех ярчайших оболочек HI (эллипс)

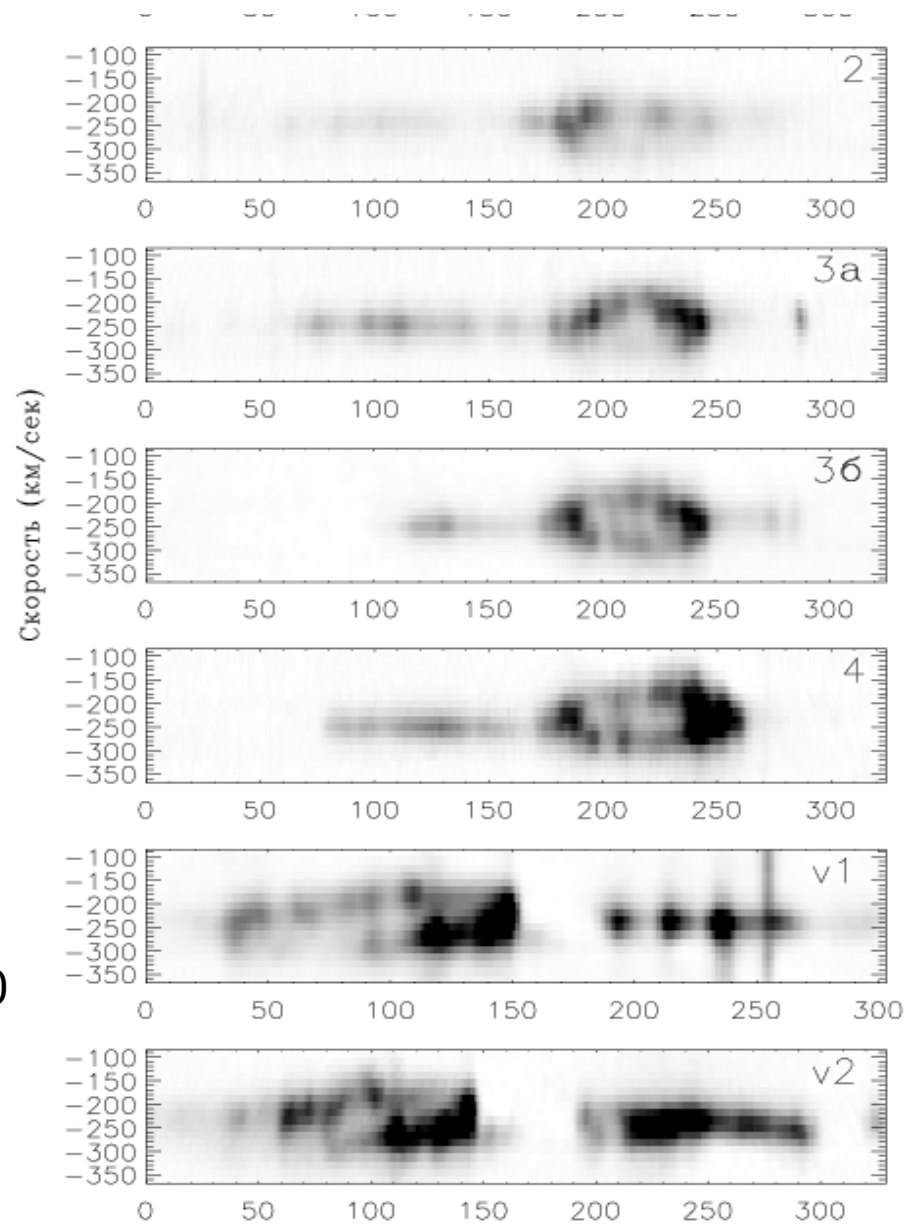
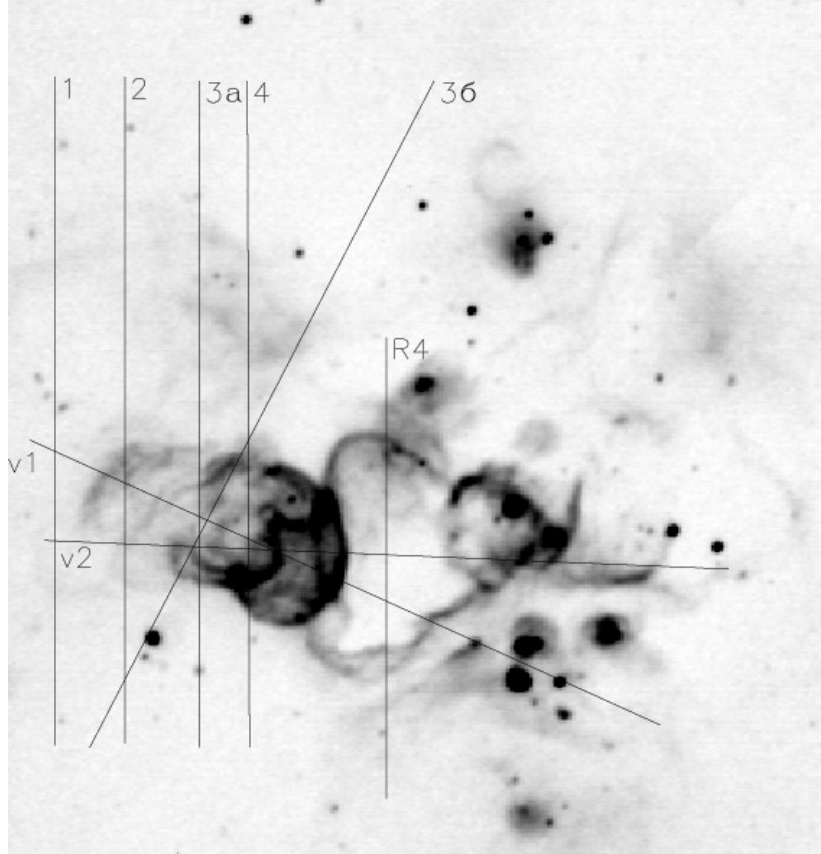
Юго-зап. сектор IC 1613 (HI –синий, H-alpha – желтый ): область звездообразования (совпадает с самыми яркими оболочками HI) и «главная сверхоболочка» HI.





Область звездообразования, показаны ОВ-ассоциации (Georgiev et al, 1999).  
t(асс.)= 5-15 млн. лет.

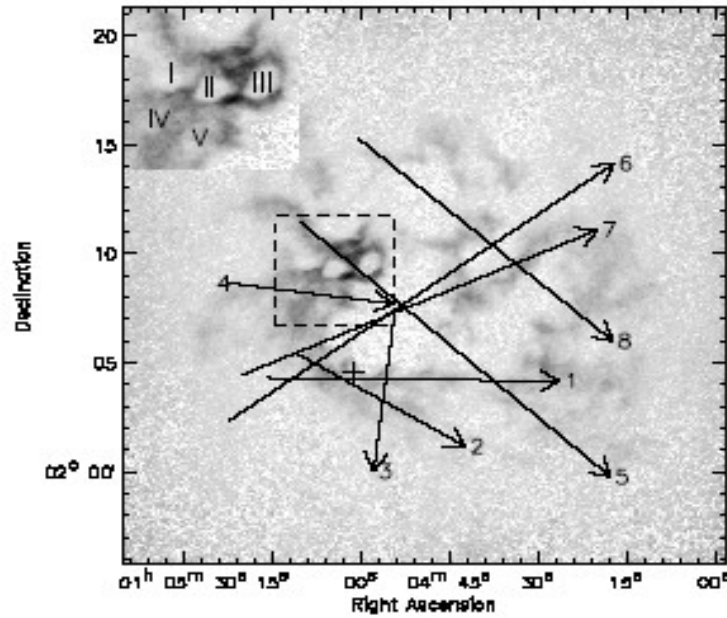




Кинематика ионизованного газа в области звездообразования.

Оболочки HII:  $D=150-250$  пк,  $V(\text{расш})=40-70$  км/с,  $t(\text{кинем})=0.5-0.8$  млн лет  
 $t(\text{ассоц})=5-15$  млн лет.

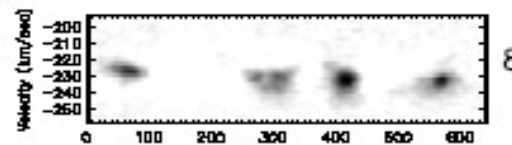
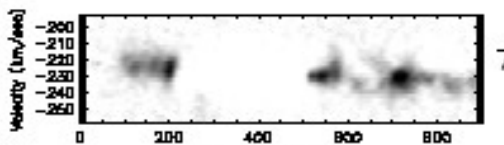
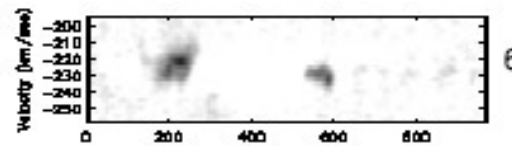
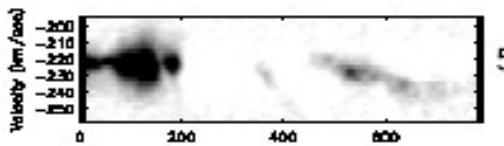
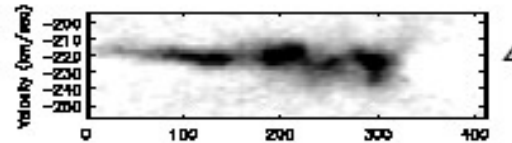
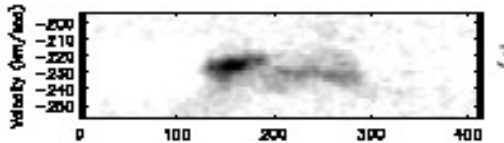
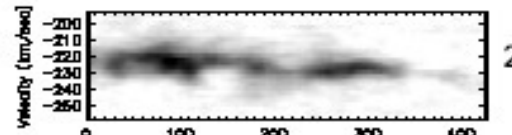
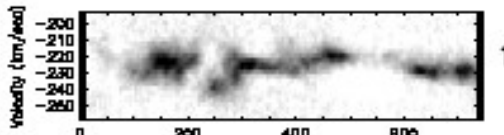
Следы неодновременного/  
 инициированного звездообразования!



Кинематика H I в IC1613 – впервые (Лозинская, Моисеев, Подорванюк, 2003)

Яркие оболочки H I:  
 $D=300-400$  пк,  $V(\text{расш})=12-18$  км/с,  
 $t(\text{кинем})=5-6$  млн лет,  
 $t(\text{ассоц})=5-15$  млн лет.

Гигантские оболочки и дуги H I:  
 $D=500-1500$  пк,  $V(\text{расш}) < 20$  км/с.



### Главная сверхоболочка:

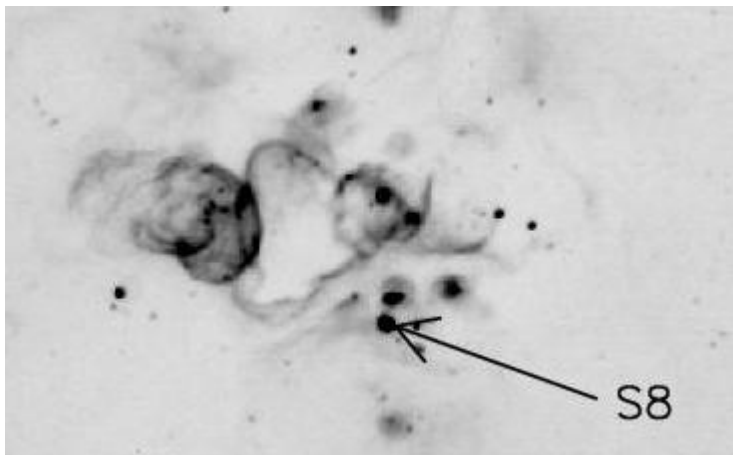
Попытка объяснить ее образование ветром и SN OB-ассоциаций расположенных внутри.  $t(\text{асс})=20-30$  млн лет.

**Модельные расчеты** (Silich, Lozinskaya, Moiseev, Podorvanyuk et al., 2005) требуют SFR больше наблюдаемой при разумной толщине диска.

**Вероятная причина** – принималась стандартная начальная плотность в газовом диске.



# Структура и кинематика остатка сверхновой S8 по наблюдениям на 6м телескопе



Отождествление ярчайшего рентгеновского источника в галактике с ОВС S8 (Лозинская, Сильченко и др., 1998).

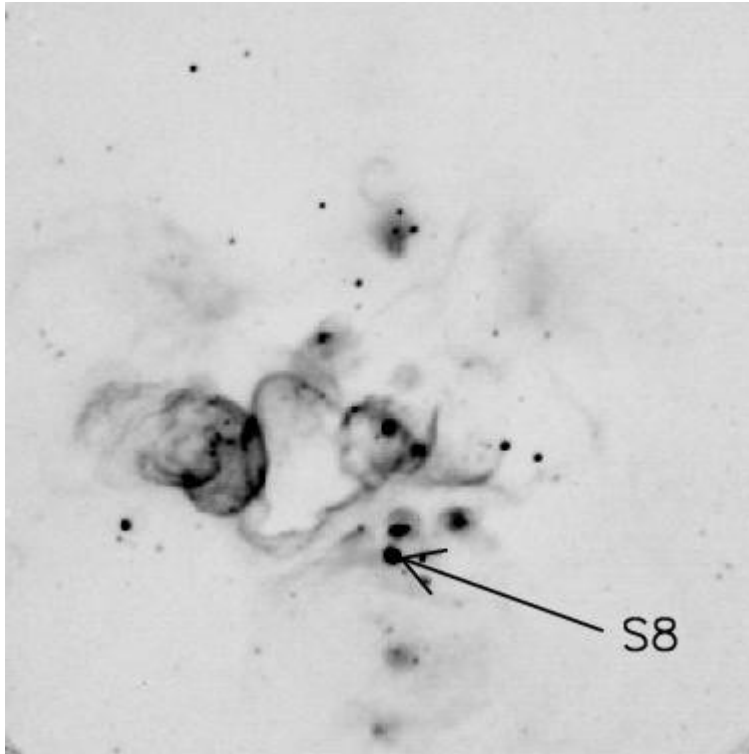
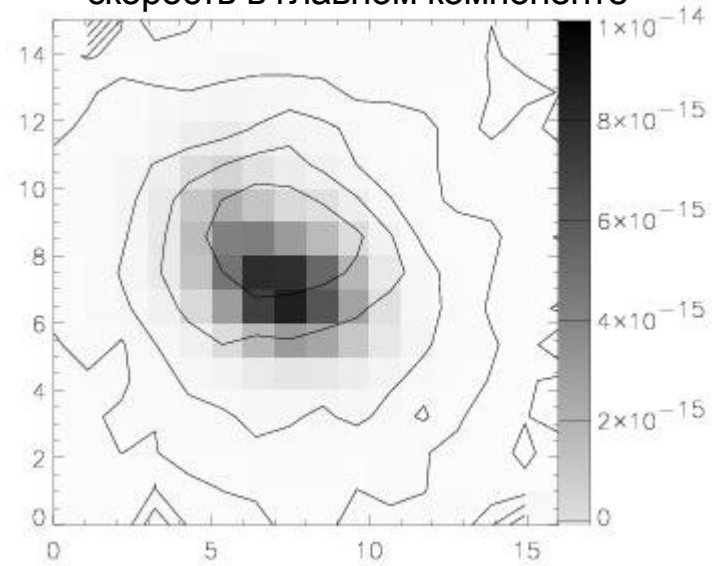
Раз яркий рентген, значит, **ранняя стадия** – стадия свободного разлета (адиабатическое расширение).

При этом высокая яркость в оптике, значит, **более поздняя стадия** – стадия высвечивания.

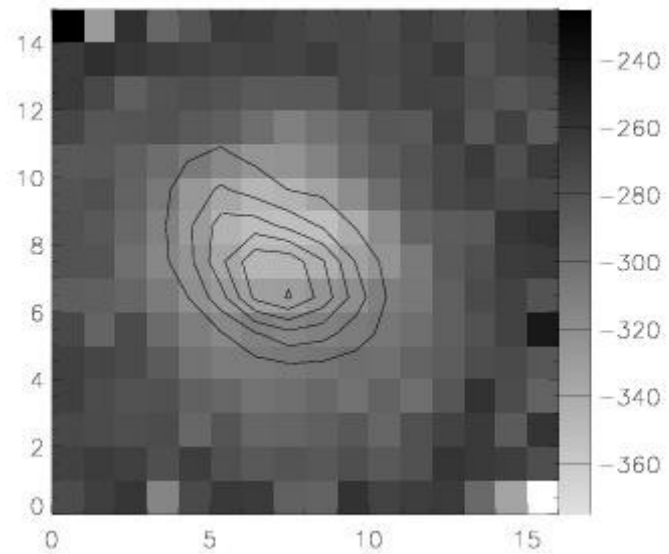
**Модель: вспышка сверхновой внутри каверны, окруженной плотной оболочкой, и столкновение расширяющегося остатка сверхновой со стенкой этой оболочки.**

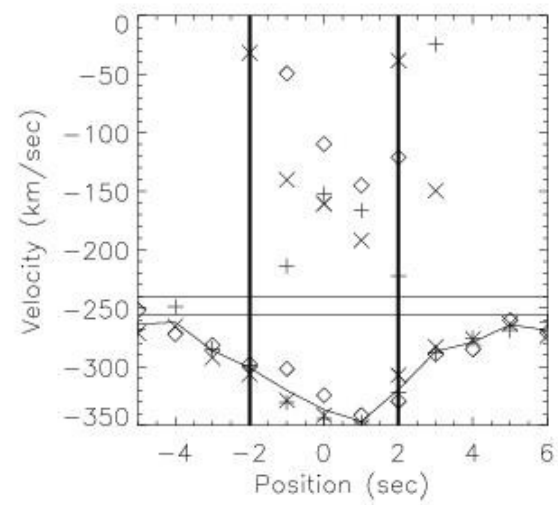
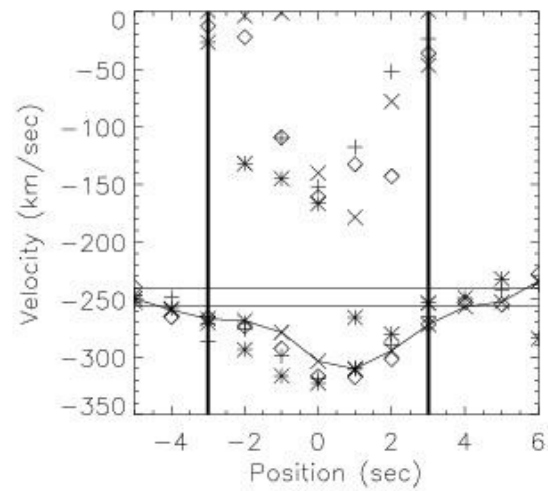
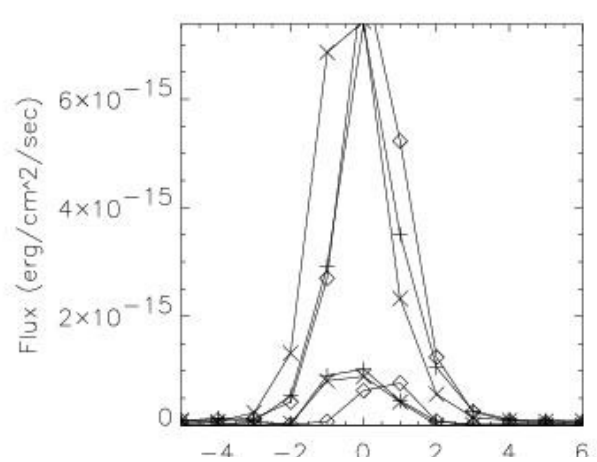
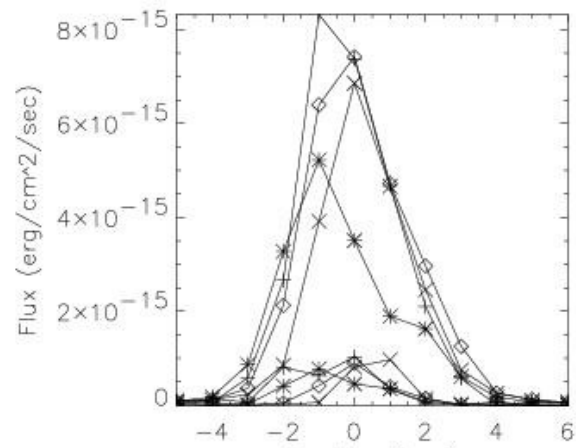
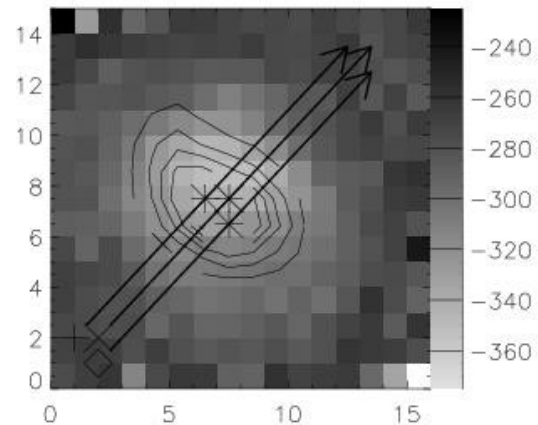
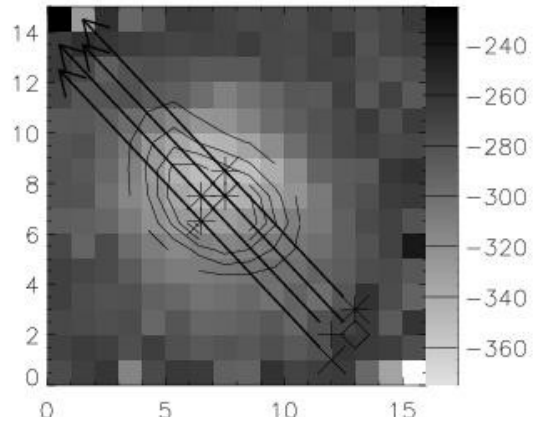
В этом случае **яркое оптическое излучение** может быть обусловлено ударной волной, распространяющейся в плотном веществе этой оболочки, а **яркое излучение в рентгене** -- излучением еще не остывшей горячей плазмой во внутренней области остатка.

Карта S8 (H $\alpha$ ), контуры –  
скорость в главном компоненте



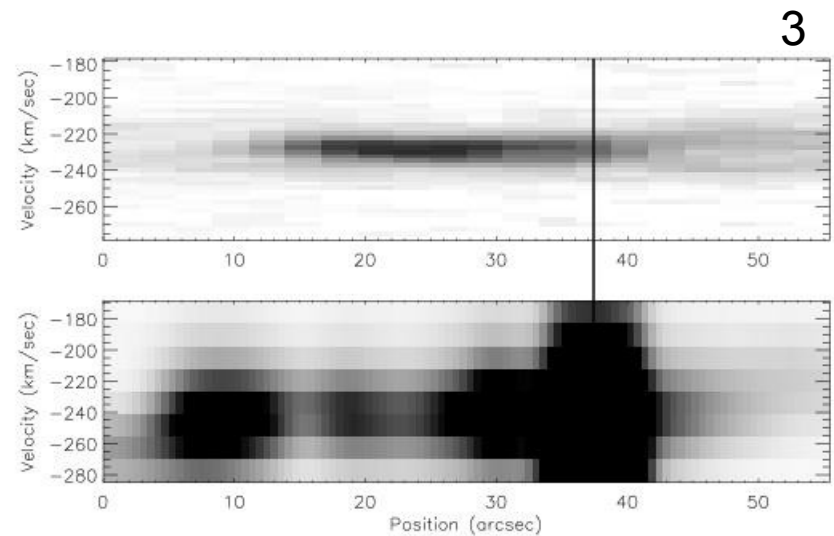
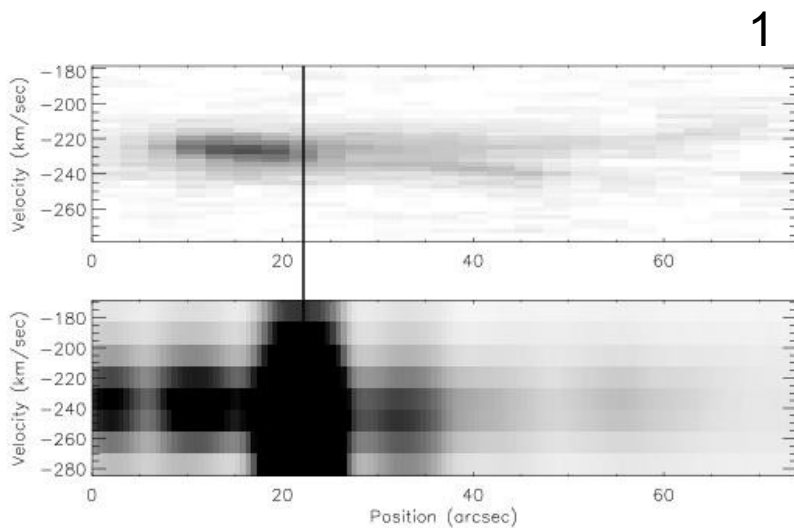
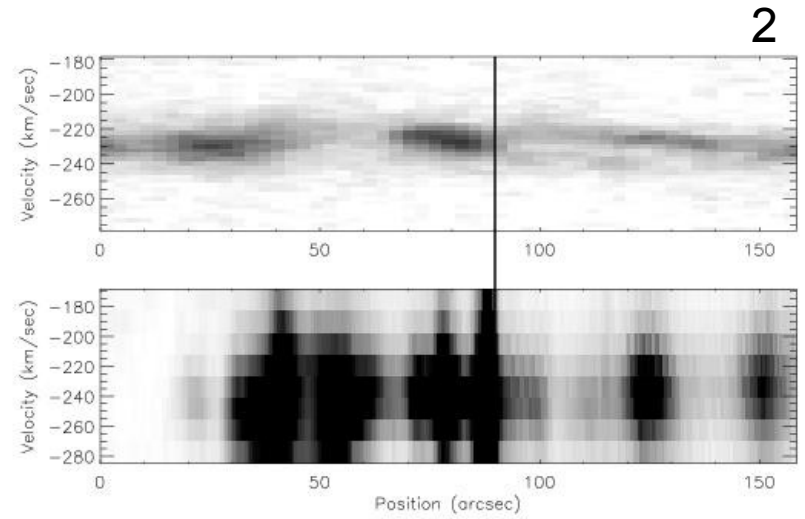
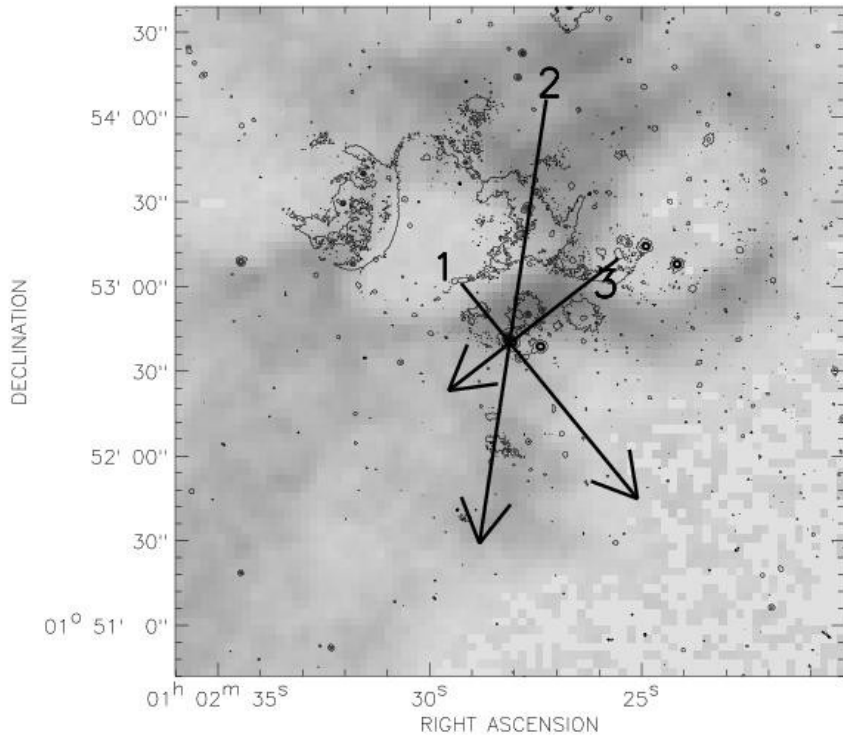
Поле скоростей S8 в  
главном компоненте H $\alpha$





Поиск оболочки, внутри которой  
произошла вспышка СН

$V(\text{расш}) > 10 \text{ км/сек}$

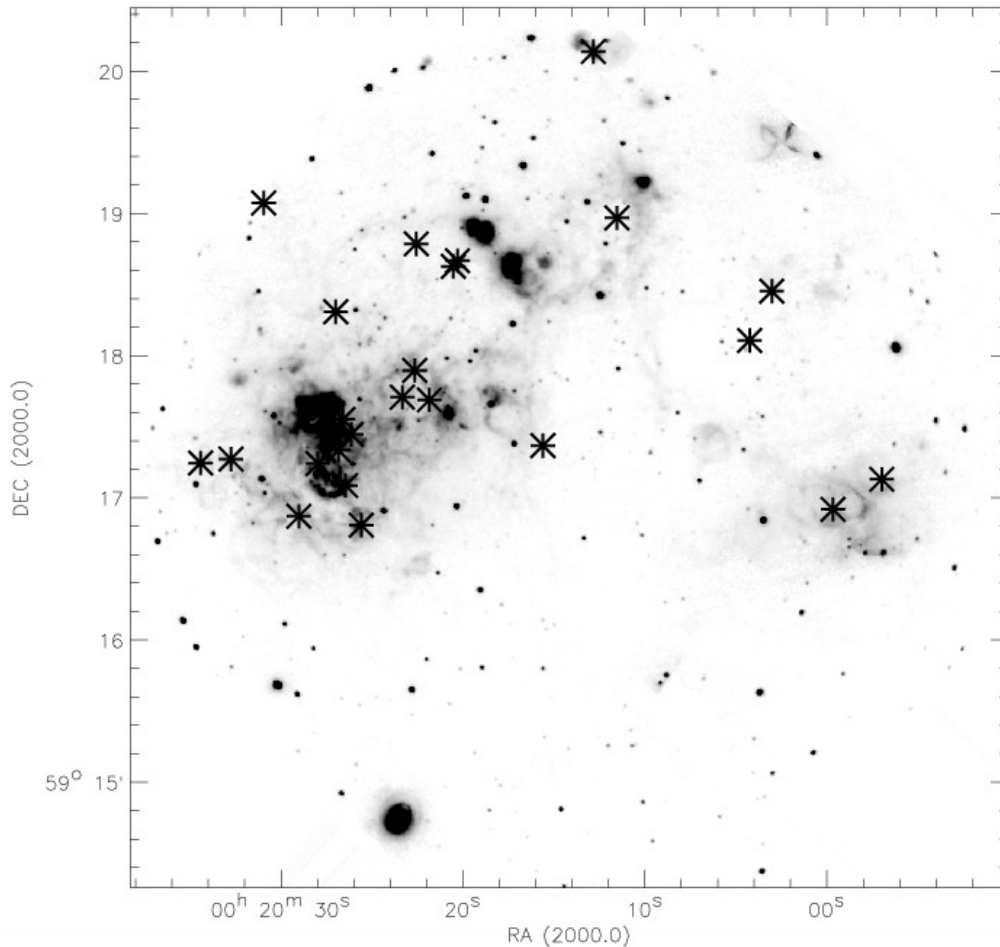


# Кинематика газа в окрестностях звезд Вольфа-Райе в галактике IC10

BCD галактика IC10, D=790 пк

Наблюдения в H $\alpha$  – БТА САО РАН, ИФП501 (SCORPIO)

Центральная часть галактики, H $\alpha$  + WR



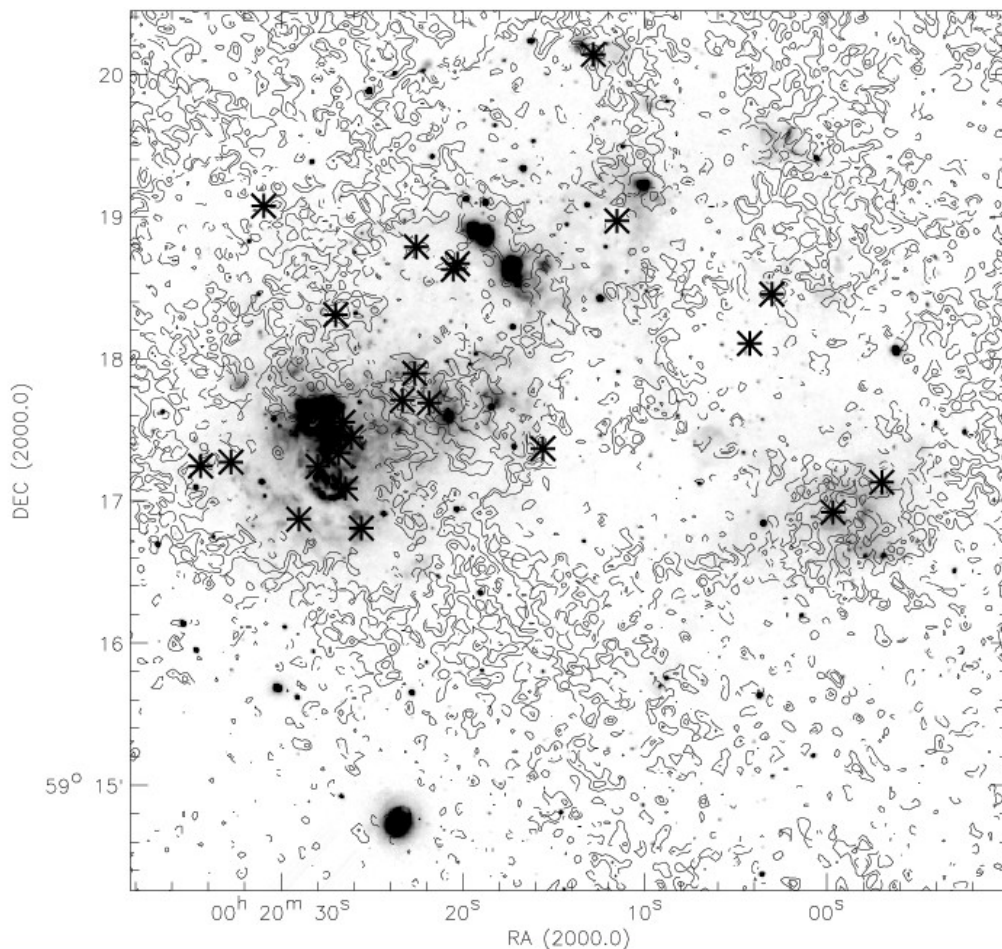
25 WR-звезд (Massey & Armandorf, 1995;  
Royer et al, 2001; Crowther et al, 2003):  
**13 WC, 12 WN**



# BCD галактика IC10, D=790 пк

Наблюдения в 21 см – VLA

Центральная часть галактики, H $\alpha$  + 21 см (контуры) +WR

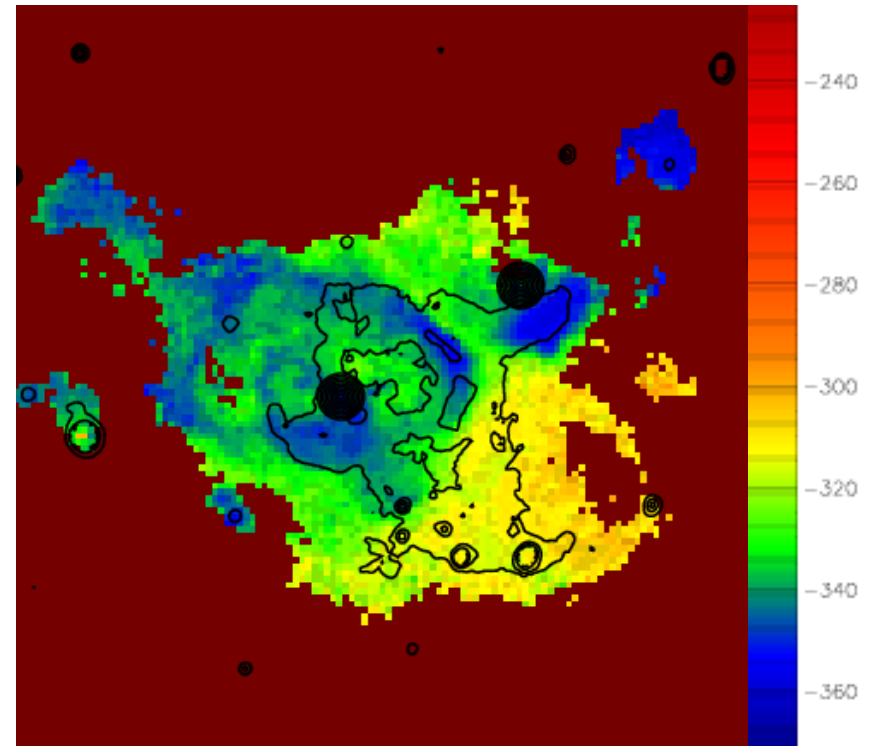
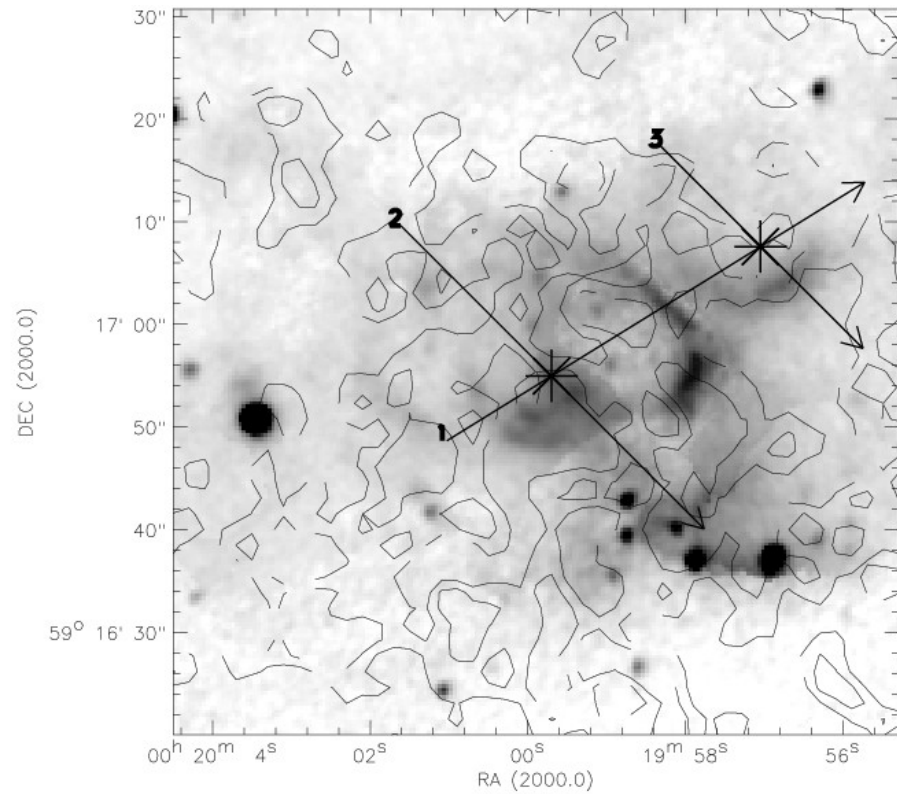


Вокруг каждой звезды WR  
построено несколько PV-диаграмм  
по наблюдениям в H $\alpha$

Четких «эллипсов скоростей»  
практически не видно

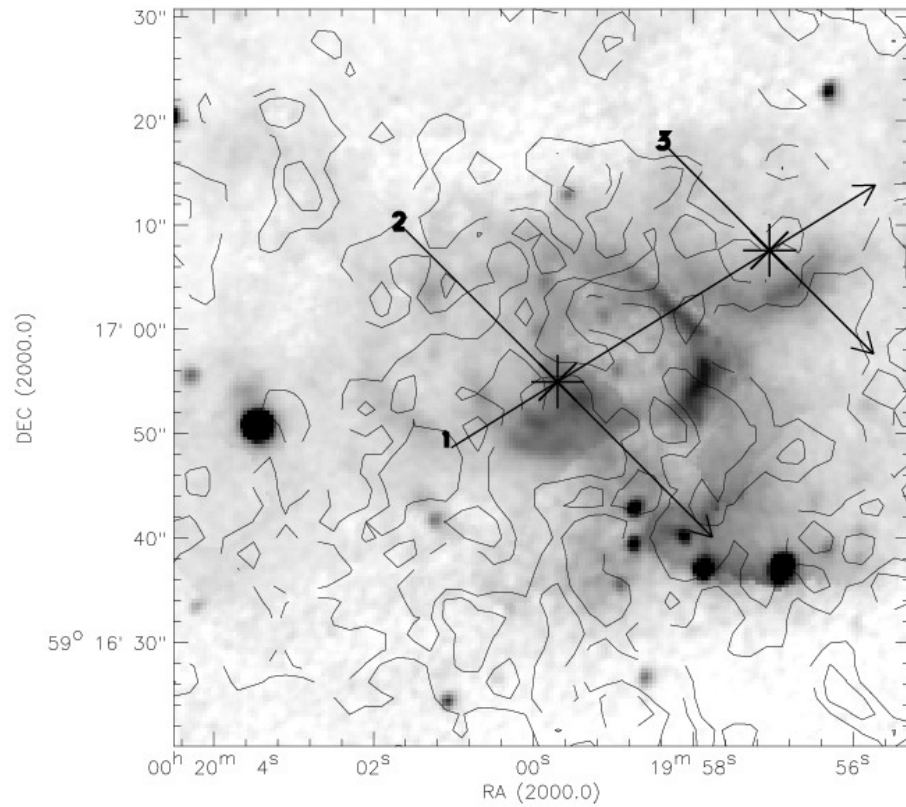
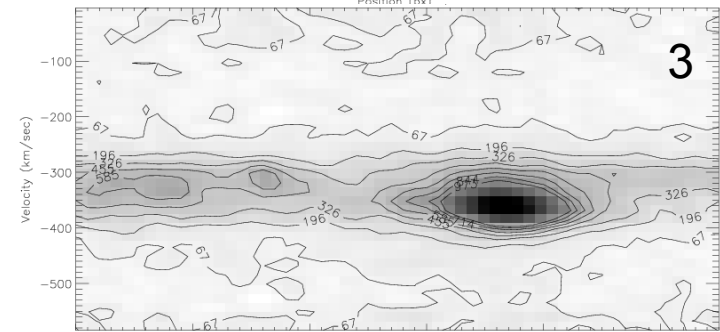
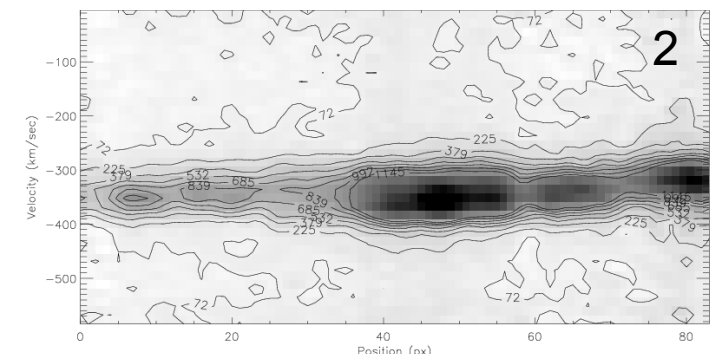
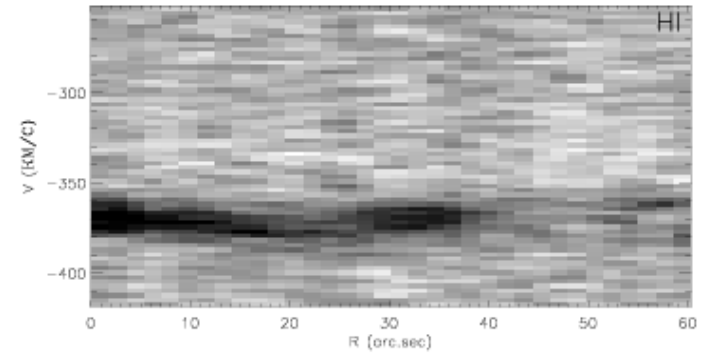
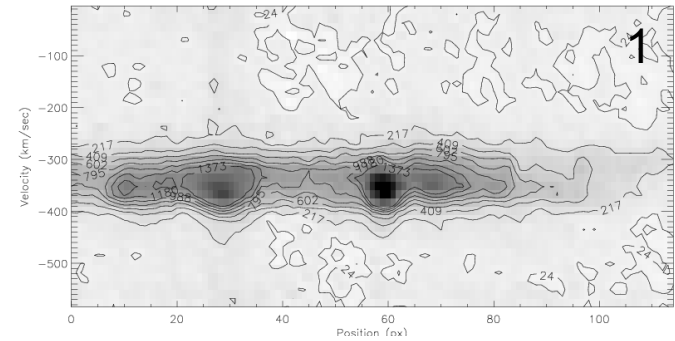
Произведено детальное исследование  
кинematики ионизованного газа в  
окрестностях звезд Вольфа-Райе в галактике  
IC10. Практически для каждой звезды  
обнаружены кинематические доказательства  
влияния ее ветра на межзвездную среду. Для  
большинства звезд предложен свой  
«сценарий» развития событий, в некоторых  
случаях произведены оценки мощности ветра

## Окрестности звезд М1 и М2

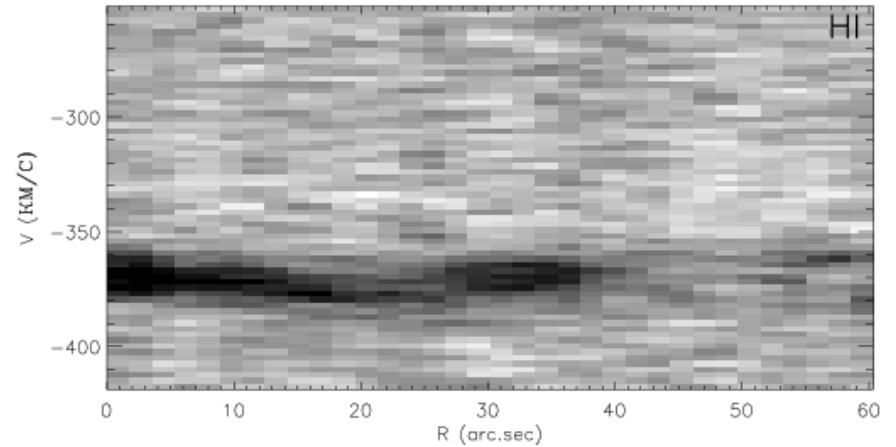
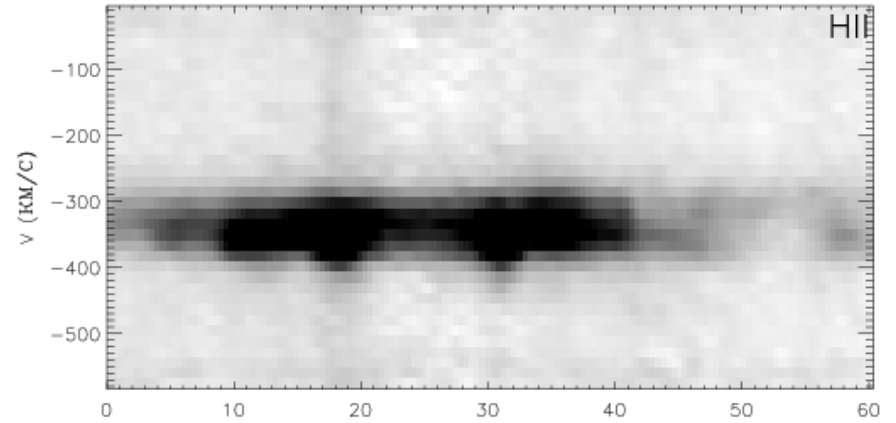
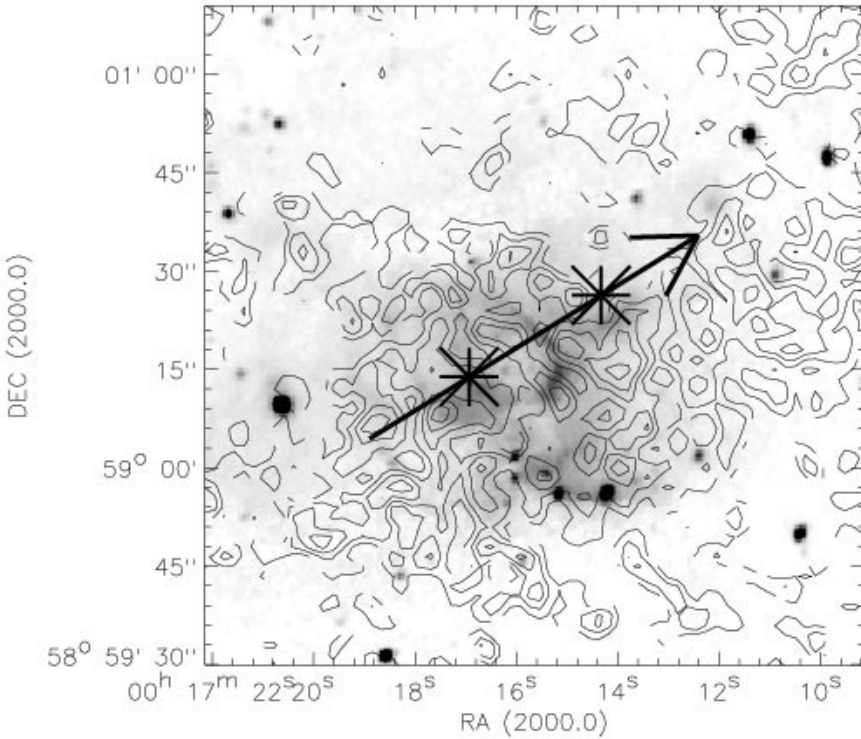


Размер оболочек – 20 угловых секунд  $\Leftrightarrow$  80 парсек

# Окрестности звезд M1 и M2

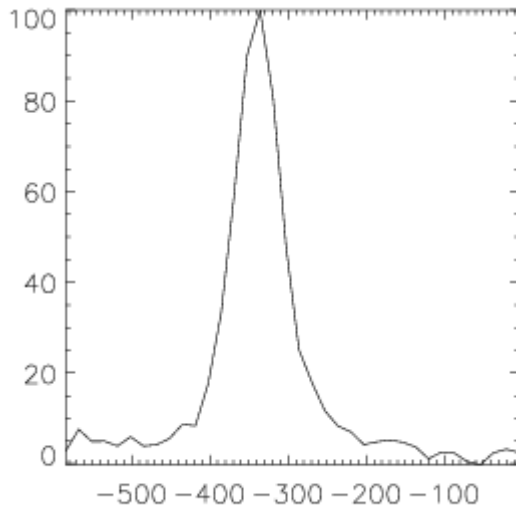


# Окрестности звезд M1 и M2

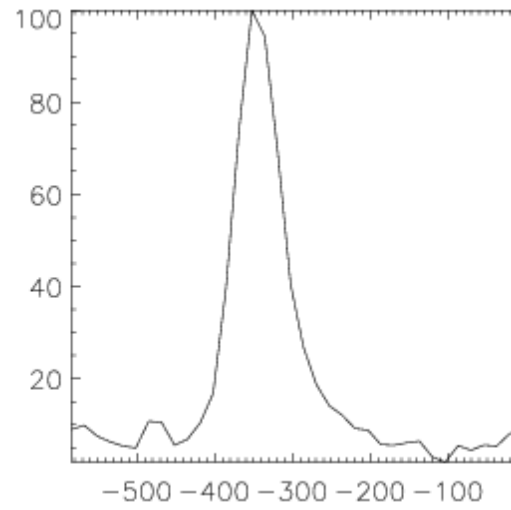


# Профили по RV-диаграммам

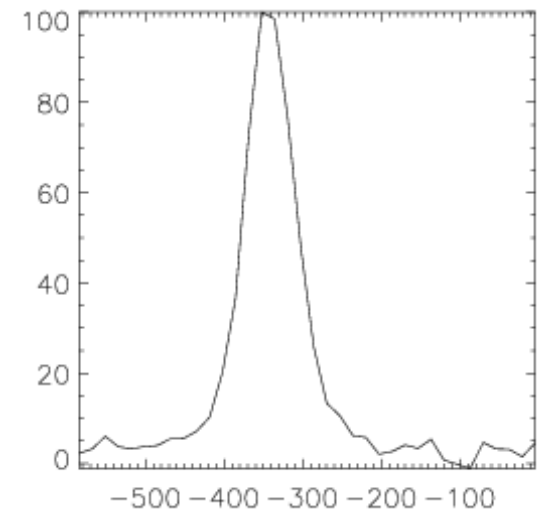
HI-облако



M2



M1



**Скорости по уровню 20 процентов от максимума:**

-400...-290 км/сек

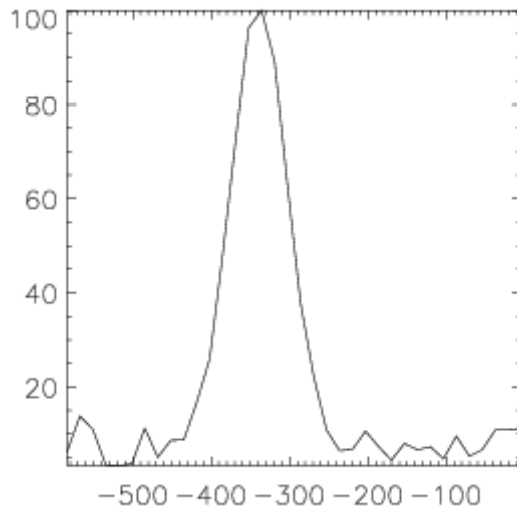
-400...-290 км/сек

-400...-290 км/сек

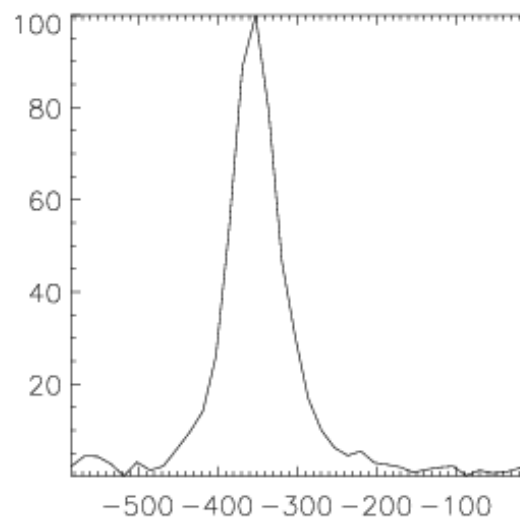


# Профили по RV-диаграммам

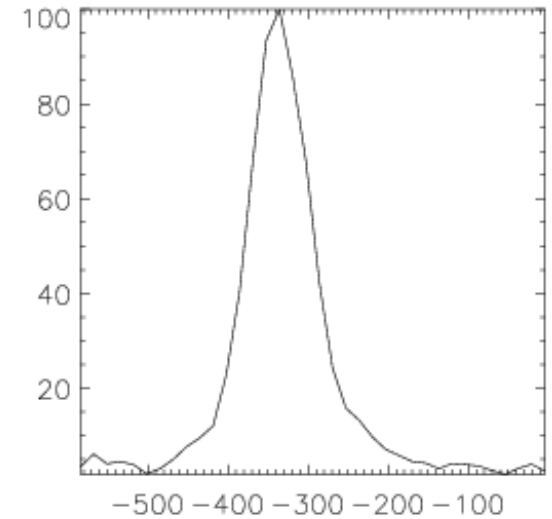
HI-облако



Оболочка M2



Оболочка M1  
(восточная часть)



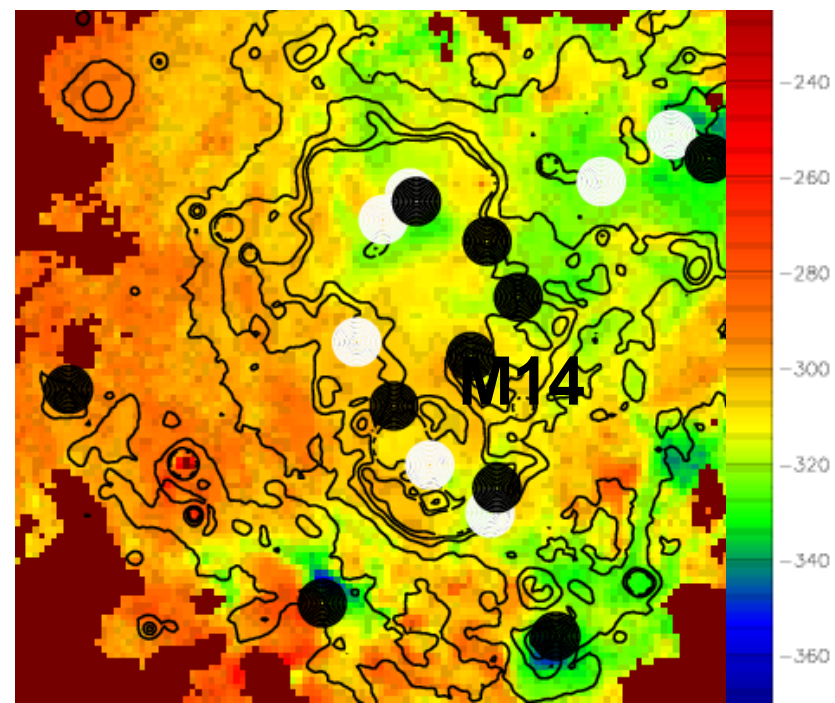
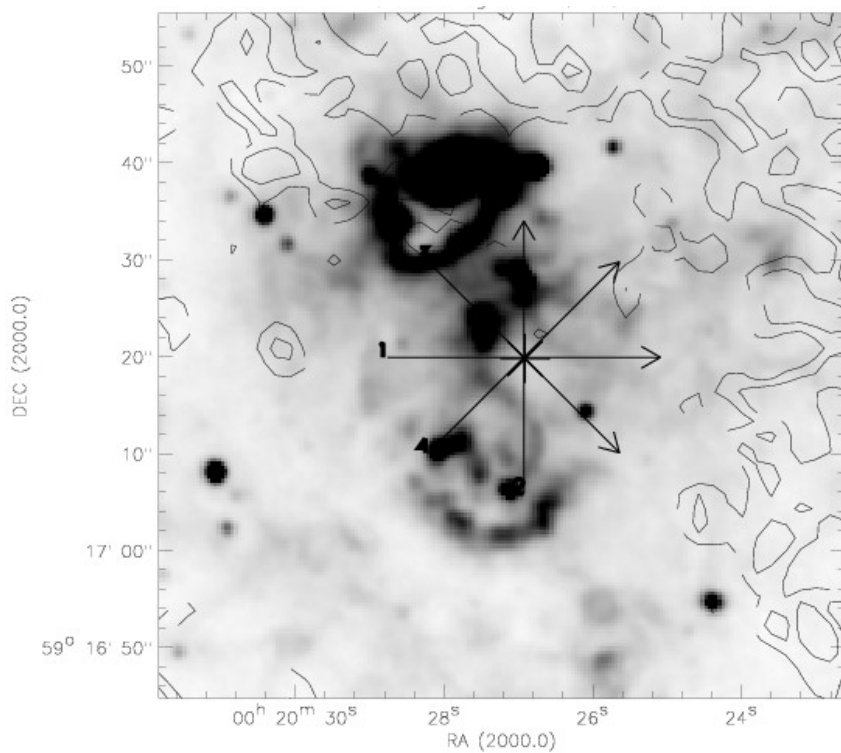
**Скорости по уровню 20 процентов от максимума:**

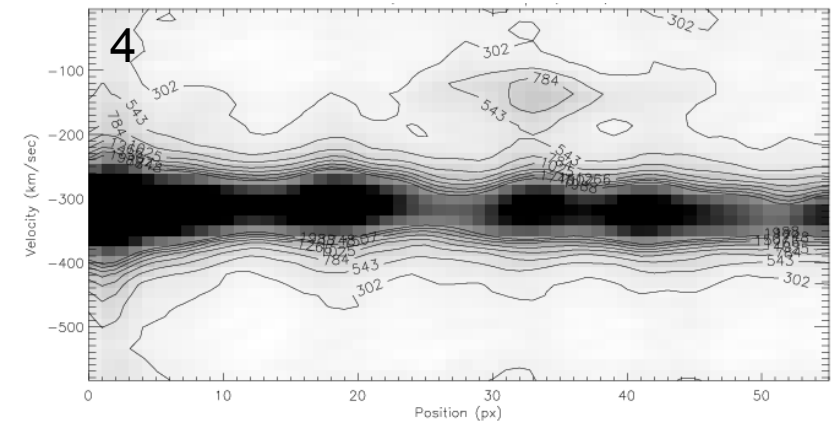
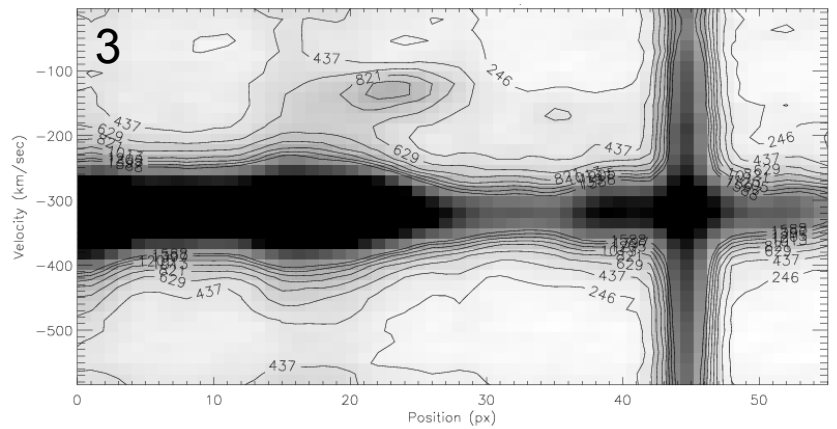
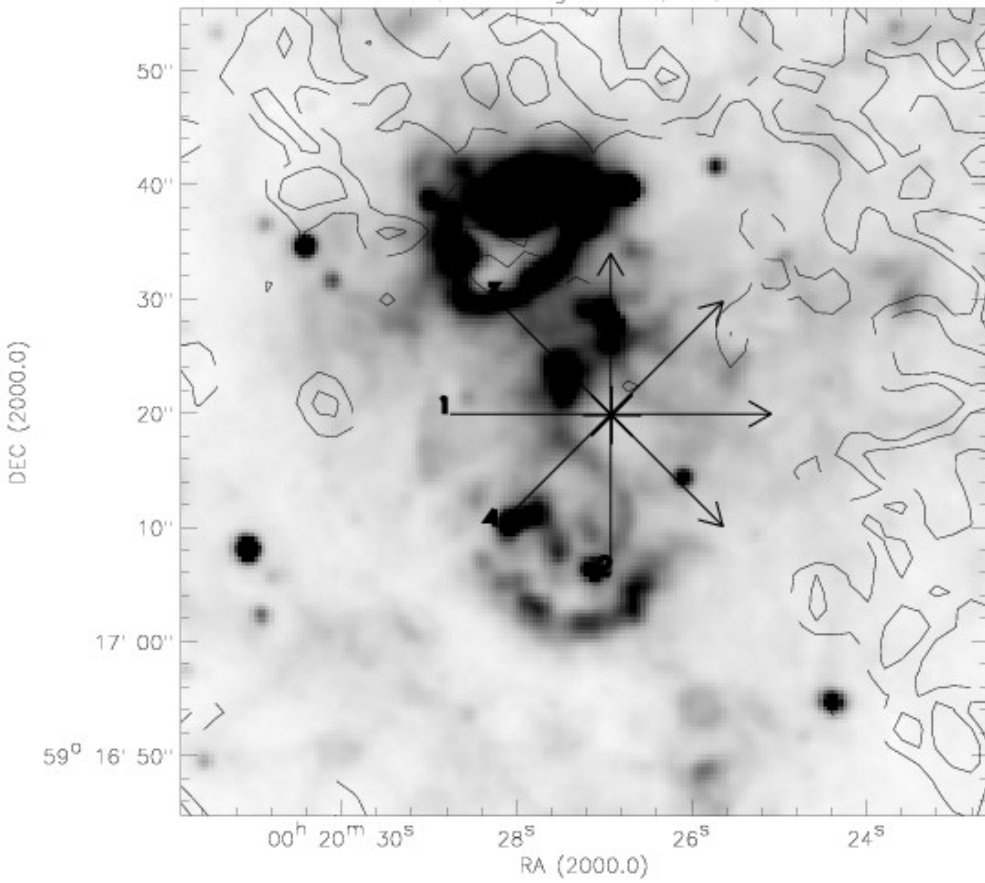
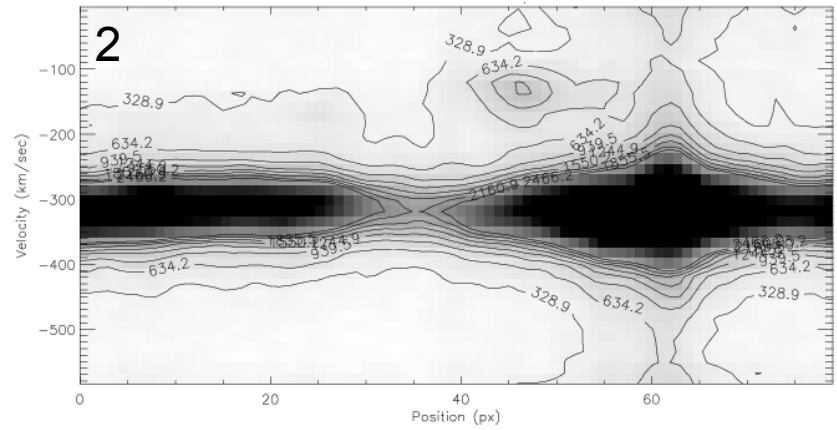
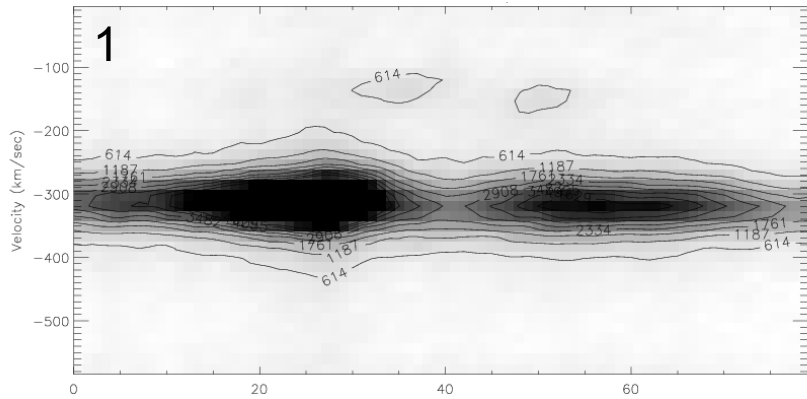
**-410...-270 км/сек**

**-410...-290 км/сек**  
**Полуширина: 70 км/сек**

**-390...-250 км/сек**  
**Полуширина: 90 км/сек**

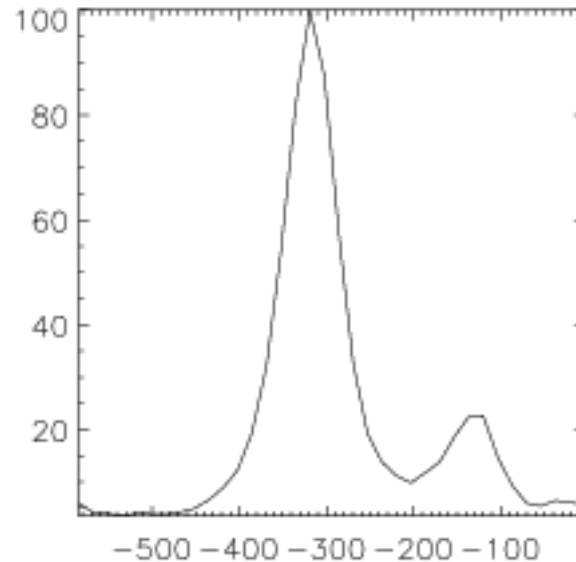
# Звезда M14





# Профиль по RV-диаграмме

Окрестности M14



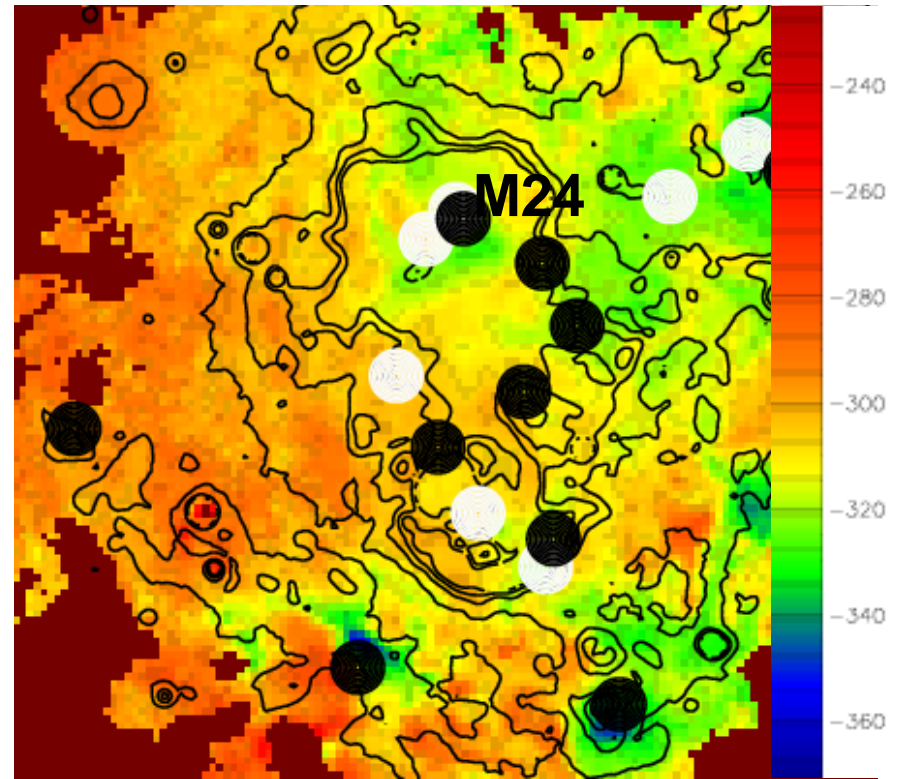
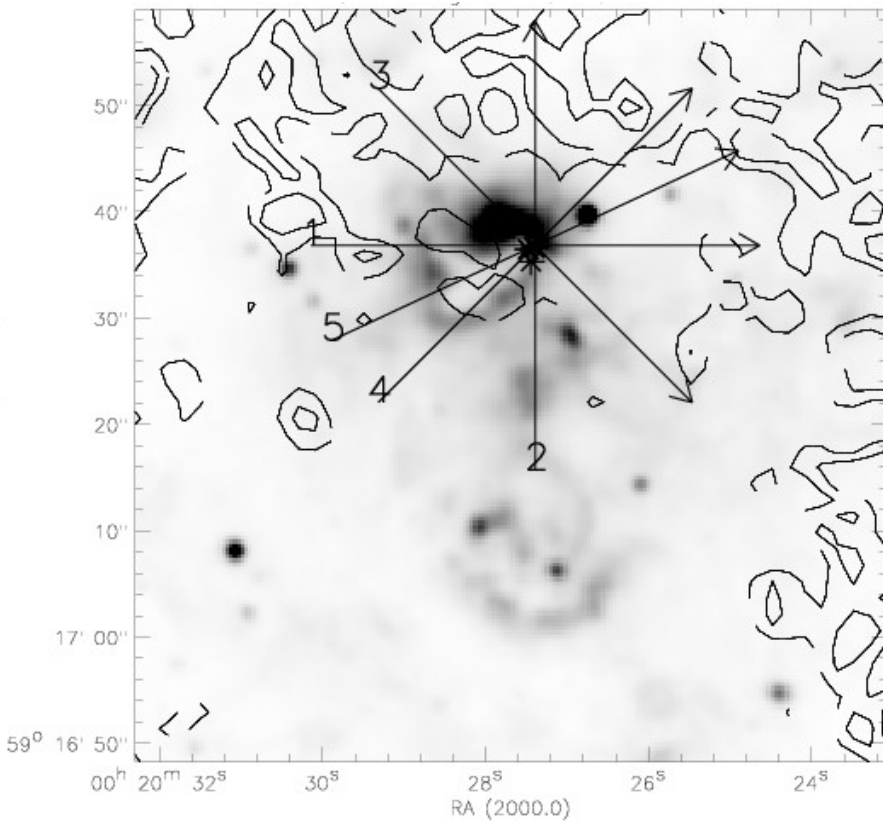
Скорость основного компонента: -320 км/сек

Скорость второго компонента: -130 км/сек

**ВЫВОД: скорость расширения составляет около 200 км/сек!**

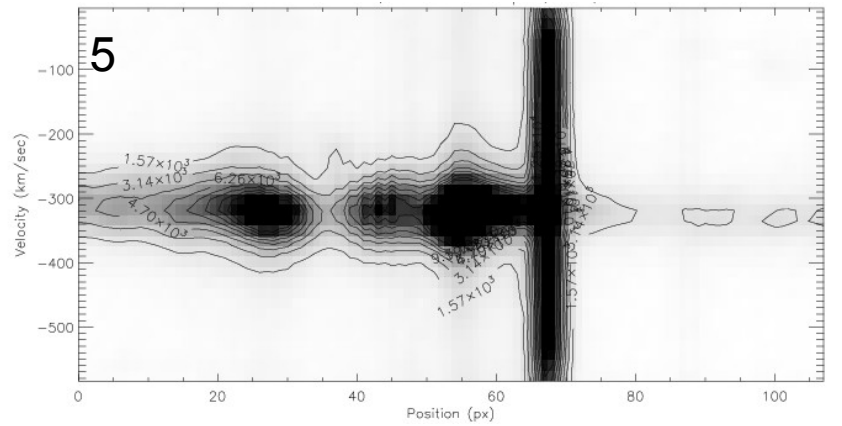
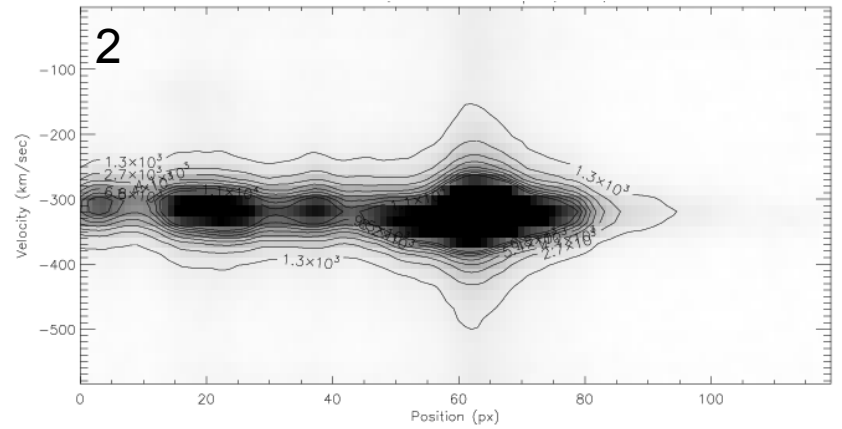
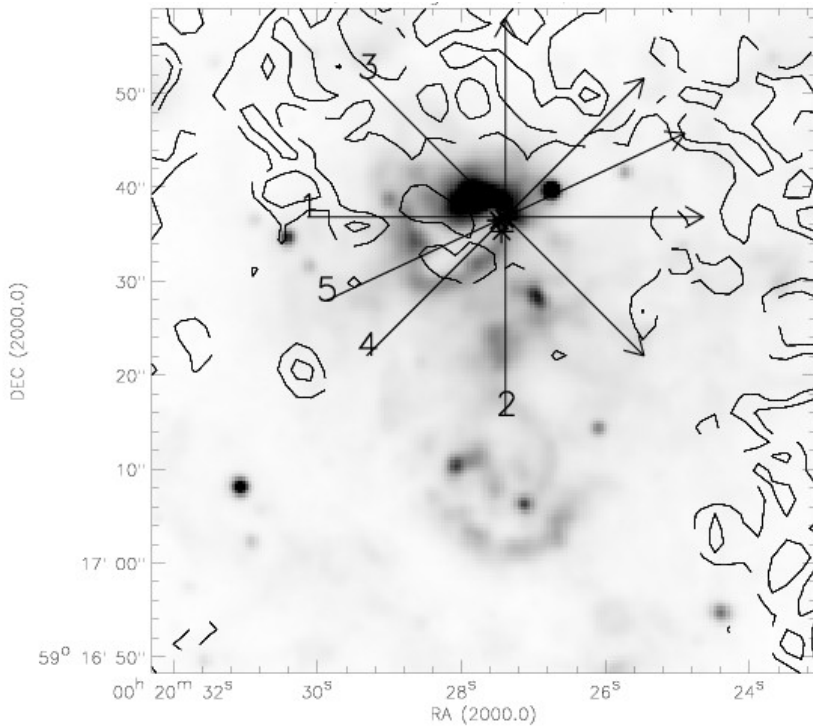
# Окрестности звезды M24

Разрешена на 6 звезд по наблюдениям с Hubble (Vacca et al., 2007)



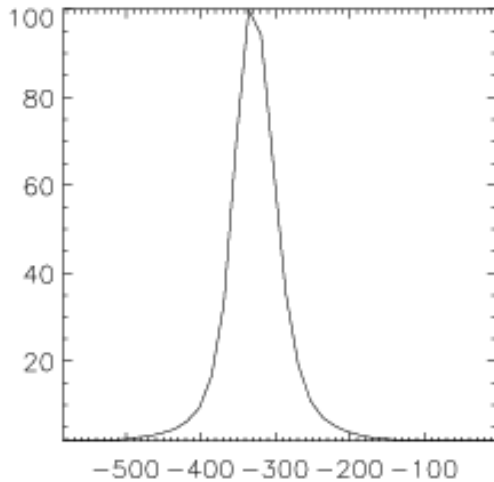


# Окрестности системы звезд M24

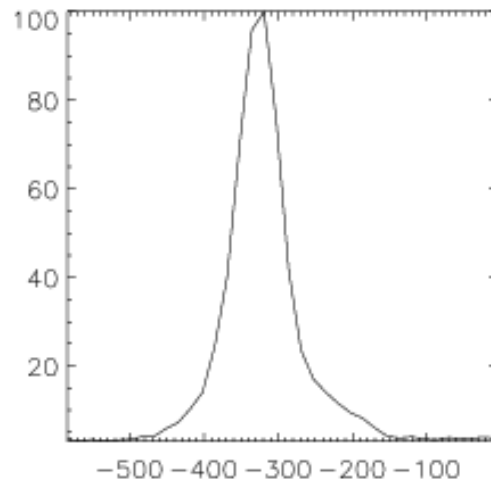


# Профили по RV-диаграммам

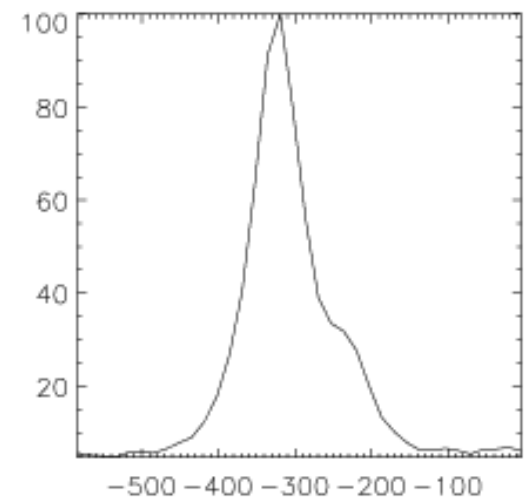
M24



Край H $\alpha$ -оболочки

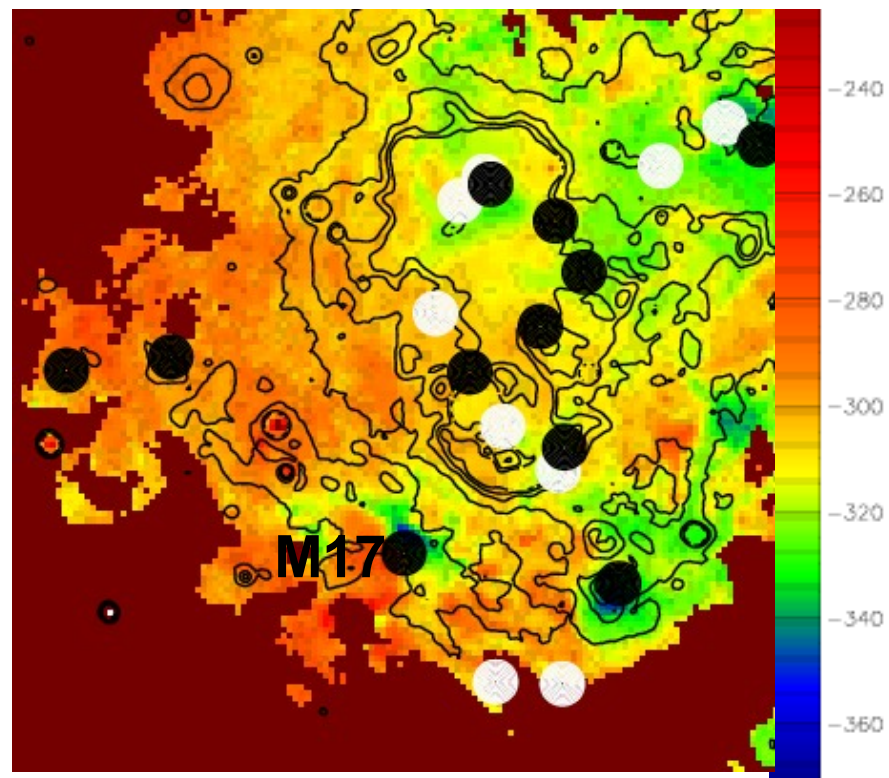
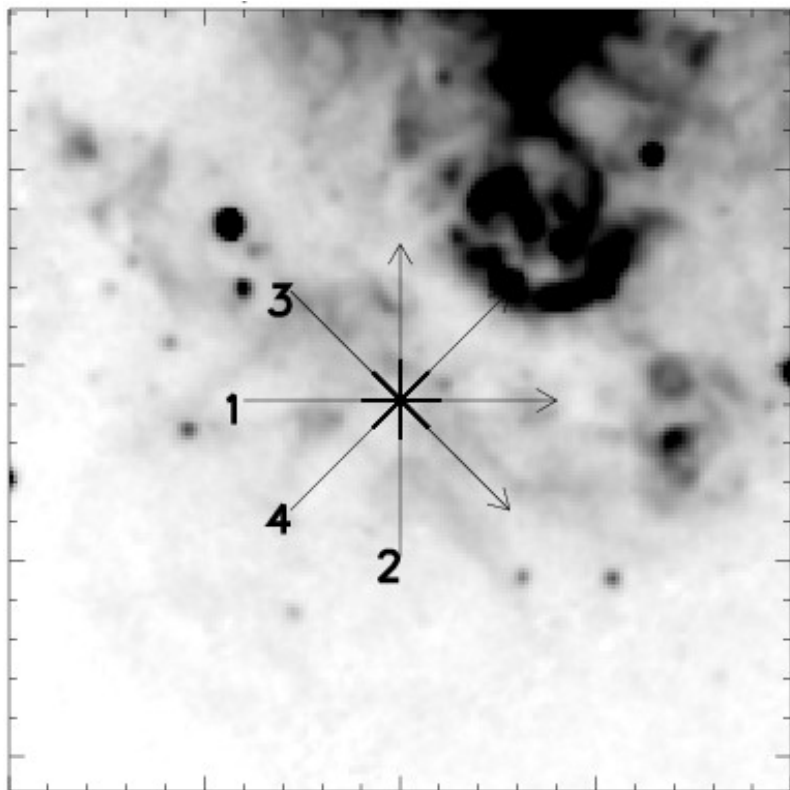


Центр H $\alpha$ -оболочки

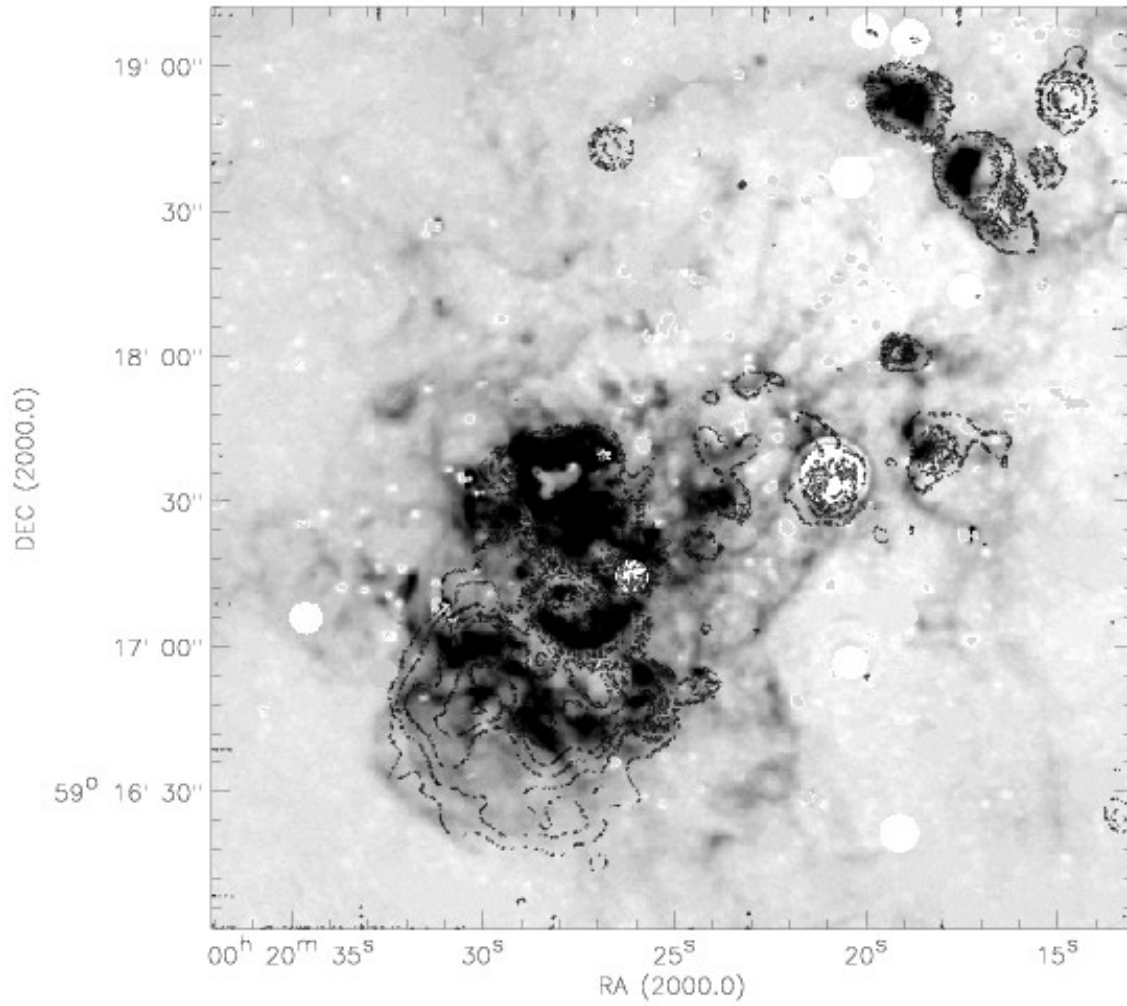


Внутри оболочки выделяется «красный» компонент,  
разность в скорости по сравнению с главным компонентом – около 100 км/сек

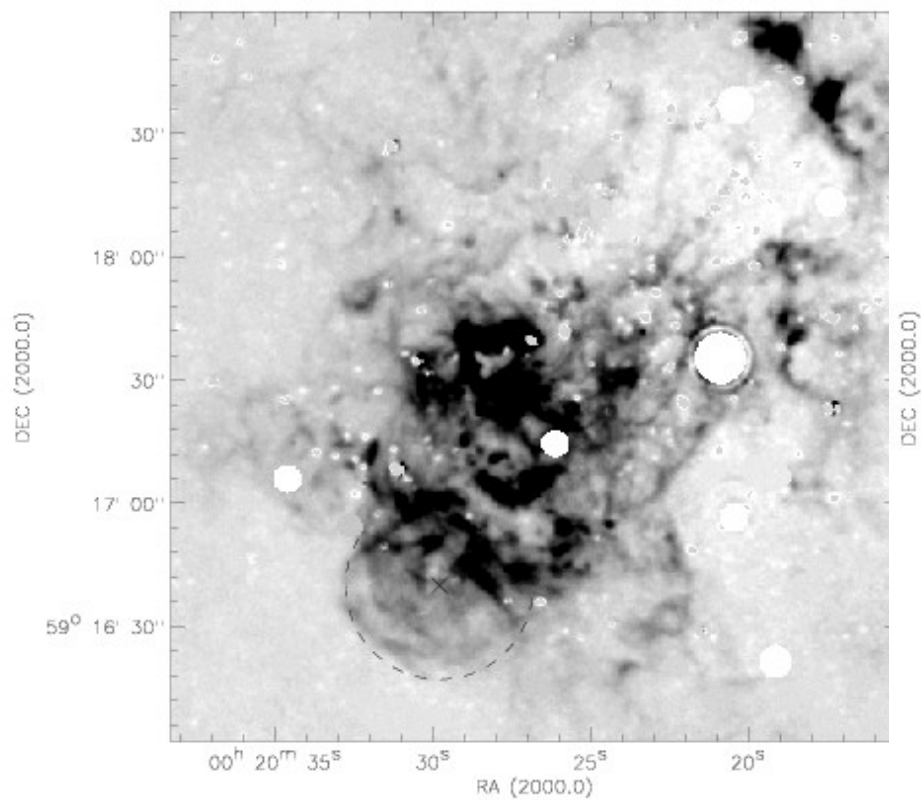
# Окрестности звезды M17



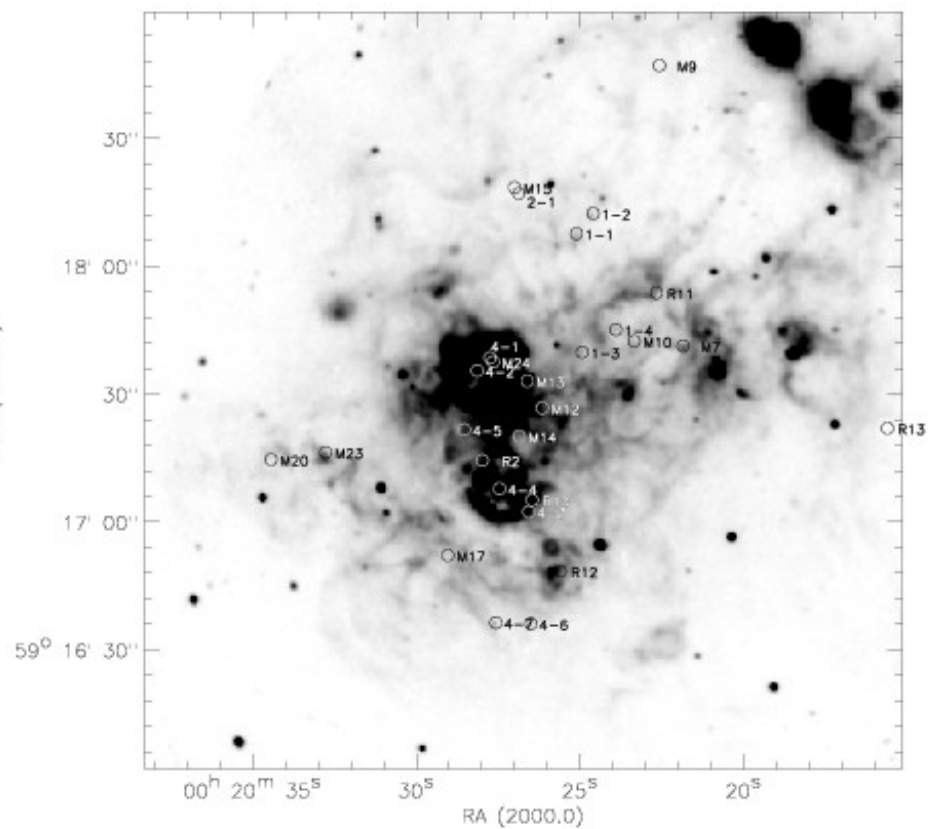
# Синхротронная сверхоболочка в галактике IC10



Изображение области  
сверхоболочки в линиях [SII]

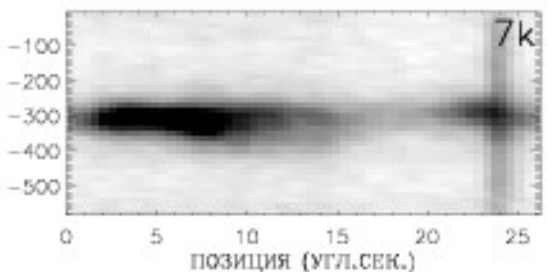
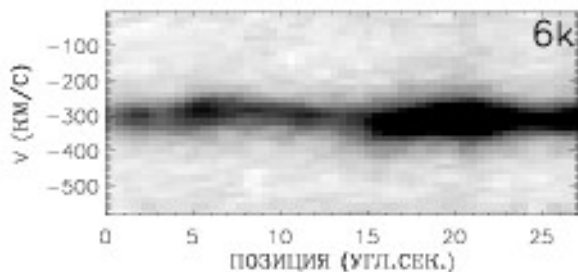
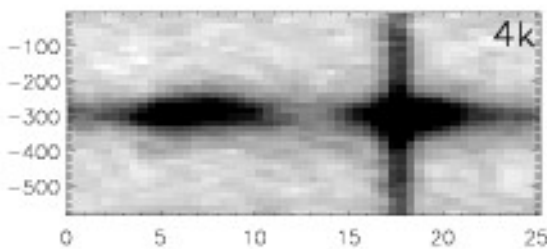
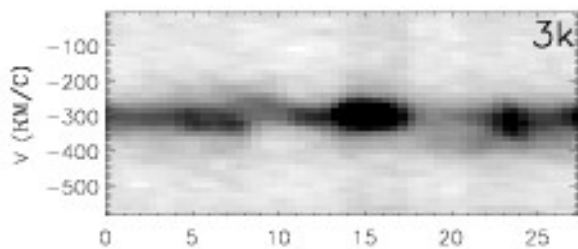
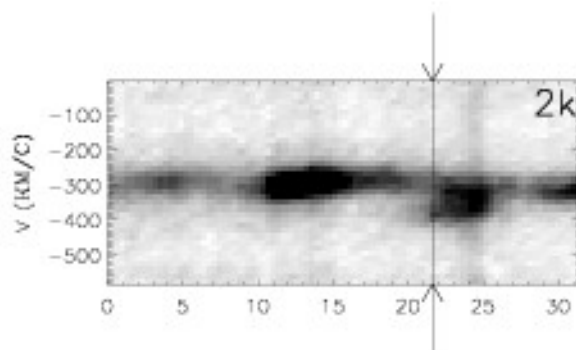
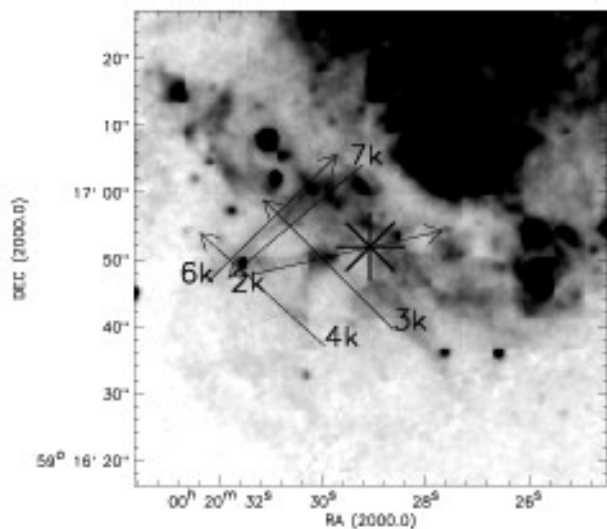


Изображение области  
сверхоболочки в линии H $\alpha$





# Кинематика ионизованного газа

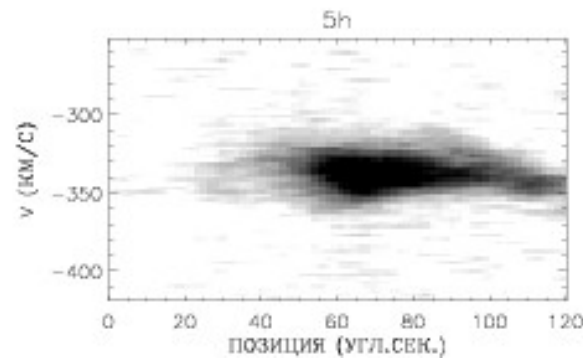
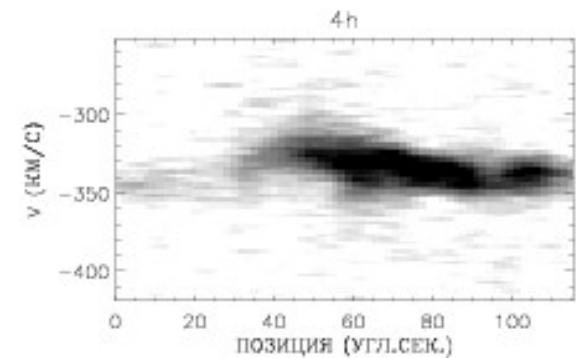
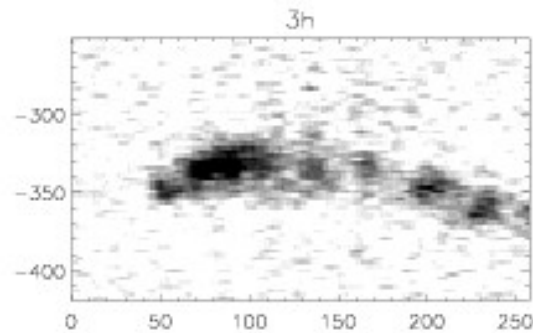
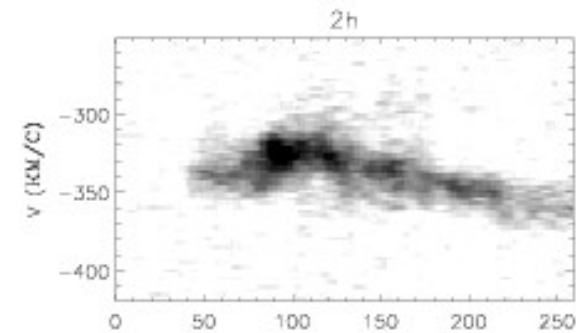
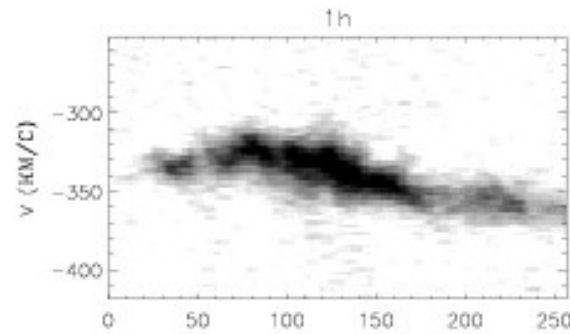
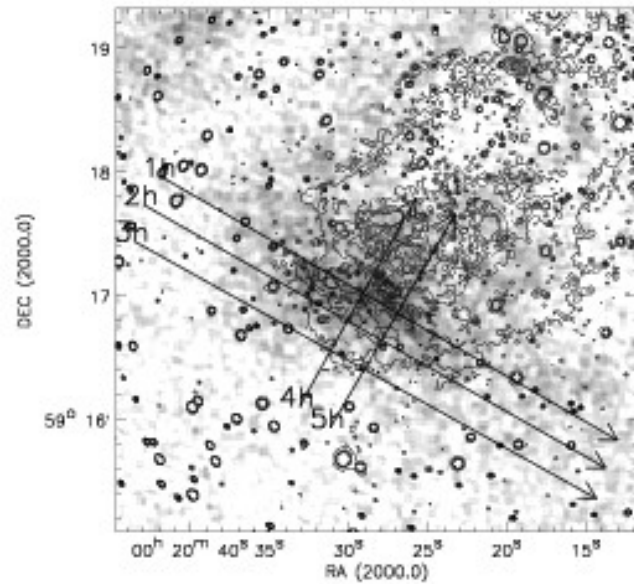


Систематического расширения сверхоболочки в линии Na не выявлено, что объясняется ее неоднородностью в данной линии.

Наблюдаются отклонения скоростей облаков и волокон от средней скорости газа в оболочке (-300...-310 км/сек)

Звезда M17 находится в видимой каверне, в стенках которой наблюдаются наибольшие отклонения (50-80 км/сек)

# Кинематика нейтрального газа



Уверенно выделяется «эллипс скоростей», свидетельствующий о расширении сверхоболочки

$V(\text{расш})=25\text{-}30$  км/сек

# О природе сверхоболочки

Имеем:

- синхротронную сверхоболочку размером 170-190 пк.
- По наблюдениям с длинной щелью электронная плотность газа (из отношения интенсивностей линий [SII])  $n=20-30 \text{ см}^{-3}$ .
- По наблюдениям с ИФП  $V(\text{расш})=50-80 \text{ км/сек}$
- Толщина оболочки в ОВС --  $0,1R$ ,  $\Rightarrow M=4 \cdot 10^5 M(\text{sun})$ ,  $E=(1-3) \cdot 10^{52} \text{ эрг}$
- По оценке Вилкотса и Миллера (1998) масса нейтрального газа  $7 \cdot 10^5 M(\text{sun})$ .
- Скорость нейтрального газа  $\sim 25 \text{ км/сек}$ ,  $\Rightarrow E=4 \cdot 10^{51} \text{ эрг}$ .
- При вспышке СН межзвездной среде передается не более 30% кинетической энергии,  $\Rightarrow$  суммарная  $E(\text{кин})=(3-9) \cdot 10^{52} \text{ эрг}$ .

# Объяснение такой энергии

- Вспышка порядка 10 СН (Янг и Скилманн, 1993)
- Альтернативное объяснение -- вспышка Гиперновой (Лозинская, Моисеев, 2007)

Аргументы в пользу вспышки Гиперновой:

- Возраст сверхоболочки ( $V=50-80$  км/сек) составляет  $(4-7)*10^5$  лет для стадии Седова, или  $(3-5)*10^5$  лет для стадии радиативного охлаждения.
- Для вспышки десятка сверхновых в локальной области требуется минимум  $10^7$  лет.
- Вспышка десятка сверхновых за короткий промежуток времени предполагает наличие очень богатой ассоциации молодых звезд (до 800 с  $M > 10M(\text{sun})$ ), которой здесь не наблюдается.

Кандидат в остатки Гиперновой -- двойной рентгеновский источник X-1, который представляет собой аккрецирующую черную дыру в паре со звездой WR M17.

# Выводы:

- 1). По наблюдениям с 6-метрового телескопа САО РАН и архивным данным VLA проведено детальное исследование кинематики нейтрального и ионизованного газа в галактике IC1613.
- 2). Обнаружен эффект расширения в единственном в IC1613 остатке сверхновой S8. Найдена плотная оболочка нейтрального газа, что подтверждает вспышку сверхновой внутри каверны, окруженной плотной оболочкой, и столкновение расширяющегося остатка со стенкой оболочки.
- 3). По наблюдениям с 6-метрового телескопа САО РАН и архивным данным VLA проведено детальное исследование кинематики ионизованного и нейтрального газа в окрестностях звезд Вольфа-Райе в галактике IC10. Для подавляющего большинства звезд обнаружены кинематические доказательства влияния ее ветра на межзвездную среду, предложен свой «сценарий» развития событий, произведены оценки мощности ветра.
- 4). По наблюдениям с 6-метрового телескопа САО РАН и архивным данным VLA обнаружены скорости расширения нейтрального и ионизованного газа в области уникальной синхротронной сверхоболочки в галактике IC10. Получено подтверждение механизма образования этой сверхоболочки при вспышке Гиперновой.