ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ВО ВСЕЛЕННОЙ

ИЗЛУЧЕНИЕ АКТИВНЫХ ГАЛАКТИЧЕСКИХ ЯДЕР 10⁴⁷ – 10⁴⁸ эрг/с

РЕНТГЕНОВСКИЕ НОВЫЕ И 10³⁶ – 10³⁸ эрг/с МИКРОКВАЗАРЫ

КОСМИЧЕСКИЕ ГАММА-ВСПЛЕСКИ

 $10^{47} - 10^{54}$ эрг/с



ЯДРА АКТИВНЫХ ГАЛАКТИК

РАДИО-ГАЛАКТИКИ СЕЙФЕРТОВЫ ГАЛАКТИКИ

КВАЗАРЫ

БЛАЗАРЫ

РАДИОАГАЛАКТИКИ







СЕЙФЕРТОВЫ ГАЛАКТИКИ







Galaxy NGC 7742





PRC98-28 • Space Telescope Science Institute • Hubble Heritage Team









Изображение квазара РКЅ 0743-673 в линии 8640 МГц, диаграмма направленности 0.9×1.1′′, позиционный угол –78.8°

Эволюционный подход



Унификационный подход





Модель активного галактического ядра



Сверхмассивная черная дыра $10^6 - 10^9 M_{\odot}$

аккреционный диск

релятивистские струи (джеты) 2-7°, десятки кпс

газо-пылевой тор

БЛАЗАРЫ









Спектры в широком диапазоне "ГэВ-го" и "МэВ-го" блазаров. Выделены вклады различных компонентов: SYN – синхротронное излучение, их bump – ультрафиолетовый "горб", SSC – "синхротронная самокомптонизация", EC(IR) – обратное Комптоновское рассеяние инфракрасных фотонов, EC(UV) – обратное Комптоновское рассеяние излучения широких эмиссионных линий. Прерывистыми вертикальными линиями отмечены границы рентгеновского диапазона (2-10 кэВ) и диапазона гамма-квантов высоких энергий (30 МэВ – 3 ГэВ)





РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БЛАЗАРОВ ПО МОЩНОСТИ ДЖЕТОВ







Оптическая толща для гамма-квантов как функции энергии, рассчитанные для трех моделей инфракрасного фона: 1 – модель, основанная на исходной функции масс звезд; 2 – модель рассчитанная, исходя из минимальной интенсивности инфракрасного фона в соответствии с данными измерений; 3 – зависимость, рассчитанная на основе недавних измерений интенсивного фонового излучения в ближнем инфракрасном диапазоне



Спектр Mkn 421, усредненный по наблюдениям в январе-феврале 2001 г. на установке HEGRA; Спектр Mkn 501, усредненный по наблюдениям в 1997 г. на установке HEGRA. Сплошная линия изображает степенной закон с экспоненциальным обрезанием, пунктирная линия – единый степенной закон.





ЗАВИСИМОСТЬ ЛОРЕНЦ-ФАКТОРА ИЗЛУЧАЮЩИХ ЭЛЕКТРОНОВ ДЖЕТА ОТ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ (эрг/см³) В СОПУТСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЕ ОТЧЕТА



Число внегалактических источников, доступных для регистрации при энергии регистрируемых фотонов ~0.5 МэВ.

МИКРОКВАЗАРЫ



SS433, LS5039 - содержат нейтронную звезду

GRO J 1655-40, GRS 1915+105, GRS1758-258, 1E 1740.7-2942, XTE J 1550-564, SAX J 1819.3-2525 кандидаты в черные дыры

Таблица 1. Характеристики рентгеновских двойных систем с черными дырами

Система	Спектр оптич.	Орбит. периол	Функция масс (мѲ)	Масса компактного	Масса обычной	Рентгенов- ская	Характер излучения
	звезды	(сутки)		объекта (мΘ)	звезды (МӨ)	светимость	источника
						(эрг/с)	
Cyg X-1 (V 1357 Cyg)	09.7 Iab	5.6	0.23	7-18	20-30	$\sim 8 \times 10^{-38}$	стаб.
LMC X-3	B(3-6) II-III	1.7	2.3	7-11	3-6	$\sim 4 \times 10^{-38}$	стаб.
LMC X-1	0(7-9) III	4.2	0.14	4-10'	18-25	$\sim 2 \times 10^{-38}$	стаб.
Cyg X-3	WN3-7	0.2	2.3	7-40	5-20	~10 ⁻³⁸	стаб.
A0620-00 (V616 Mon)	K(5-7)Y	0.3	3.1	5-17	~0.7	≤10 ⁻³⁸	транз.
GS 2023+338 (V404 Cyg)	K0 IY	6.5	6.3	10-15	0.5-1.0	$\leq 6 \ge 10^{-38}$	транз.
CRS 1121-68 (XN Mus 1991)	K(0-4)Y	0.4	3.01	9-16	0.7-0.8	≤10 ⁻³⁸	транз.
GS 2000+25 (QZ Vul)	K(3-7)Y	0.3	5.0	5.3-8.2	~0.7	≤10 ⁻³⁸	транз.
GROJ0422+32 (XN Per 1992 = V518 Per)	M(0-4)Y	0.2	0.9	2.5-5.0	~0.4	≤10 ⁻³⁸	транз.
GROJ1655-40 (XN Sco 1994)	F5 IY	2.6	3.2	4-6	~2.3	≤10 ⁻³⁸	транз.
H1705-25(XN Oph 1977)	КЗ	0.7	4.0	5-7	~0.8	≤10 ⁻³⁸	транз.



Диаграмма, показывающая соотношение массы компактного объекта и массы обычной звезды в рентгеновских двойных системах. Изображены объекты, для которых существует надежное определение масс. Пунктирной линией отмечен верхний предел для массы нейтронных звезд. Объекты, расположенные ниже этой линии, являются пульсарами и барстерами, выше нее находятся источники-кандидаты в черные дыры. Цифрами обозначены:

1- система Cen X-3, 2- LMC X-4, 3- SMC X-1, 4- 4U1538-52, 5- 4U0900-40. Точками отмечены радиопульсары, ошибки определения масс которых пренебрежимо малы





GRO J 1655-40

микроквазар – джеты $\nu/c = 0.92 \pm 0.02$

рентгеновская новая – вспышки ~10³⁷ эрг/с

кандидат в черные дыры - 5.5-7.9 M_{\odot} (оптический компонент — звезда спектрального класса F3-F4 с массой 1.7-3.3 M_{\odot})







Число внегалактических источников, доступных для регистрации при энергии регистрируемых фотонов ~0.5 МэВ.

Гамма-всплески

Временные структуры



Гамма-всплески проявляются как споради ческие (при наблюдении всего неба с частотой в среднем 2 события в сутки) возрастания потока жесткого рентгеновского и гамма-излучения

Спектр гамма-всплеска

В диапазоне энергий от десятков до сотен кэВ дифференциальные энергетические спектры большинства гамма-всплесков могут быть аппроксимированы зависимостью типа спектра теплового излучения оптически тонкой плазмы:

$$\frac{dJ}{dE} = \left(\frac{E_0}{E}\right) \exp\left(-E / kT\right),$$

Типичные значения спектрального параметра kT лежат в диапазоне 100-300 кэB.

Для аппроксимации спектров космических гамма-всплесков в широком диапазоне энергий (от десятков кэВ до нескольких МэВ) часто используют универсальную комбинацию экспоненциальной и степенной функций (модель Бэнда):

$$\frac{dJ}{dE} = \begin{cases} J_0 \left(E / E_0 \right)^{-\alpha} \exp \left(-\frac{E}{kT} \right), & E \le (\gamma - \alpha) kT \\ J_0 \left(E / E_0 \right)^{-\gamma}, & E > (\gamma - \alpha) kT \end{cases}$$

статистические распределения гамма-всплесков

Длительность

По параметру, характеризующему спектральную жесткость Распределение по наблюдаемым потокам или флюенсам (log*N* log*S*)

Распределение источников по небу

Распределение по длительности гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте BATSE



распределение по длительности является бимодальным

Распределение гамма-всплесков по спектральной жесткости и характерной энергии, полученное в эксперименте BATSE



Распределение 2704 источника гамма-всплесков в галактических координатах по данным эксперимента BATSE CGRO







В апреле 1996 г. запущен Верро-SAX











Рис. 28. Фотография оптического транзиента, идентифицированного с гамма-всплеском GRB972802: вверху - через несколько часов, внизу - через несколько суток после начала всплеска.

Энергия взрыва

Главная задача теоретических моделей - необходимость объяснения огромной светимости



Основная проблема - большой разброса светимости в источнике: от ~10⁴⁷ до ~10⁵⁴ эрг/с.

Альтернатива

популяция гаммавсплесков не гомогенна "биминг" (от англ. beam – луч), то есть сильно анизотропное излучение в источнике

- возможная связь гамма-всплесков со сверхновыми

GRB980425 co

сверхновой SN 1998bw

z = 0.0085, ~10⁴⁸ эрг



- "рентгеновские вспышки" (*X-ray flash*) 20-100 кэВ, 2-30 кэВ

- "темные гамма-всплески"

Связь гамма-всплесков с процессами на конечных стадиях эволюции массивных звезд: частота возникновения гамма-всплесков отражает историю звездообразования вплоть до очень больших значений z ~ 20







ЗАДАЧИ:

определение собственной болометрической светимости в источнике L_в

величины *E*_{iso}, характеризующей полную энергию, выделенную во время всплеска в предположении изотропного характера излучения

выделение тех особенностей гамма-всплесков, которые могут быть обусловлены физическими процессами в источнике, и тех, которые связаны с космологическими эффектами растяжения масштабов времени и "красного" смещения энергии фотонов.

особый интерес представляет изучение распределений типа logN – logS в области малых величин полных потоков S ≤ 10⁻⁷ эрг/см²

значение *S* ~ 10⁻⁷ эрг/см² близко к порогу регистрации всплеска в эксперименте BATSE CGRO, поэтому необходимо получить независимую оценку частоты регистрации слабых гамма-всплесков



Результаты по статистике гамма-всплесков получены с помощью аппаратуры BATSE на обсерватории им. Комптона (CGRO) в основном для диапазона энергий 0.05-1 МэВ.

Большинство гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте BATSE CGRO, характеризуются значениями *kT* > 50 кэВ. В дальнейшем именно такие гамма-всплески мы будем называть "типичными". При этом остается открытым вопрос, отражает ли относительно малое количество "мягких" всплесков в популяции "типичных" гаммавсплесков их истинное распределение по величинам *kT* или же это результат селекции, связанной с высоким энергетическим порогом в большинстве экспериментов.



