

Открытие оптической вспышки гамма-всплеска GRB060926 телескопом-роботом МАСТЕР: возможное образование предельно-вращающейся черной дыры.

В.М. Липунов*, В.Г. Корнилов, Е.С. Горбовской, А.В. Крылов,
Н.В. Тюрина, Д.А. Кувшинов, А.А. Белинский, П.А. Грицык,
А.В. Санкович, В.В.Владимиров

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва,
Россия

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва,
Россия

Московское объединение “Оптика”, Москва, Россия

Краткая аннотация

Робот-телескоп МАСТЕР получил первые оптические изображения гамма-всплеска GRB 060926. Нами обнаружена оптическая вспышка гамма-всплеска GRB 060926 — повторное повышение яркости повторяющая поведение в рентгеновском диапазоне. Найден наклон спектра излучения GRB 060926 от рентгеновского до оптического диапазона в первые минуты. В рамках модели спинара показано, что параметры оптической и рентгеновской вспышки свидетельствуют о том, что гамма-всплеск был следствием коллапса ядра звезды с массой 7 масс Солнца, с начальным эффективным параметром Керра 2.0 и начальным отношением магнитной и гравитационной энергии 10^{-7} .

Ключевые слова Гамма-всплески, черные дыры, телескопы-роботы, гравитационный коллапс

V.M.Lipunov, V.G.Kornilov, E.S.Gorbovskoy, A.V.Krylov, N.V.Tyurina,
A.A.Belinski, D.A.Kuvshinov, P.A.Gritsyk, A.V.Sankovich, V.V.Vladimiriov
Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University
Physical Department of Moscow State University
Moscow Union “Optic”

*lipunovsai.msu.ru

1 Введение

Оптические наблюдения гамма-всплесков в первые десятки секунд после регистрации, имеют принципиальное значение для понимания их природы. Сейчас общепризнано, что это раннее излучение («собственное» излучение) имеет совершенно иную природу, чем так называемое послесвечение, наблюдаемое через десятки минут, часы и дни и может пролить свет на работу «центральной машины» гамма-всплеска (Жан и др., 2006).

Особенно интересными с этой точки зрения являются сопутствующие гамма-всплескам явления — «вспышки» — когда начальное уменьшение потока, сменяется резким и кратковременным его ростом. Например, обсерватория Свифт зарегистрировала более 20 рентгеновских вспышек (Чинчарини и др., 2007).

Гораздо более редким (в смысле регистрации) является наблюдение оптических вспышек (сейчас известно не более 3-5 таких явлений): GRB 060218A ($z = 0.03$) на 1000 секунде (Акерлофф и Мак-Кей, 1999) и GRB 060729 ($z = 0.54$) на 450 секунде (Фокс, 2002, Уемура и др., 2002). Именно о регистрации такого явления мы сообщаем в данной работе.

26 сентября 2006 года в 16:48:41 по всемирному времени гамма-телескоп ВАТ обсерватории Свифт зарегистрировал длинный гамма-всплеск продолжительностью 10 с (Холланд и др., 2006). Рентгеновский телескоп обсерватории Свифт (XRT) начал получать данные через 60 с после срабатывания триггера и зафиксировал переменный рентгеновский источник в квадрате ошибок гамма-телескопа. Первое оптическое изображение в интегральном свете было получено в автоматическом режиме телескопом МАСТЕР в 16:49:57 UT, то есть через 76 с после регистрации гамма-всплеска и имело экспозицию 30 с (Липунов и др., 2006). Таким образом, начиная с 76 секунды мы имеем синхронные наблюдения в рентгеновском и оптических диапазонах, что позволило восстановить спектр излучения в диапазоне от 10 кэВ до 0.5 эВ.

В этой статье мы сообщаем исправленные за поглощение параметры оптической вспышки GRB 060926. Синхронные оптические и рентгеновские наблюдения позволили определить спектр излучения. Мы так же интерпретировали явление вспышки в рамках модели спинара (Липунов и Горбовской, 2007а,б).

2 Инструменты

МАСТЕР (Мобильная Астрономическая Система Телескопов Роботов) — первый единственный «алертный» робот-телескоп в России, — начал создаваться усилиями ученых ГАИШ МГУ и Московским объединением «Оптика» в 2002 году и постоянно развивается (Липунов и др., 2004, Липунов и др., 2005), (<http://observ.pereplet.ru>). В современной комплектации система представляет собой четыре параллельных телескопа на автоматизированной параллактической монтировке, способной наводиться со скоростью до 6 град./с и двух камер сверхширокого поля зрения с отдельными монтировками и укрытиями, причем одна из них расположена на расстоянии 1500 км от первой на Кисловодской высокогорной солнечной станции Пулковской обсерватории.

Главный телескоп (диаметр — 355 мм, модифицированная система Рихтера–Слефогта (автор идеи и расчетов этой оптической схемы — В.Ю.Теребиж)) ведет съемку в белом свете и является главным поисковым элементом системы. На нем установлена большая

ПЗС-камера Argee Alta U16 (4000×4000 пикс), позволяющая получать изображения на поле 6 квадратных градусов. На телескопе 2 (система Рихтера–Слефогта, диаметр 200 мм, изготовлен Г.Борисовым) видеокамера Sony позволяет получать изображения глубиной $13^m - 14^m$ с временным разрешением 0.05 с. В сходящемся пучке телескопа 3 — системы Флюгте (280 мм диаметром), — установлена гризма, позволяющая получать спектры объектов до 13^m на поле зрения $30' \times 40'$ с разрешением 50\AA (камера Pictor-416). На телескопе 4 системы Райта (диаметр — 200 мм, построен А.Санковичем) стоит турель фильтров и камера SBIG ST-10XME. Кроме этого, МАСТЕР оборудован камерой сверхширокого поля (50×60 кв.град.), которая позволяет проводить синхронные наблюдения до 9^m под отдельной автоматической крышей. Такие широкопольные установки позволяют вести поиск ярких короткоживущих объектов.

Летом 2006 года нами установлена камера широкого поля (MASTER-VWF Kislovodsk) на высокогорной кисловодской солнечной станции, которая позволяет осуществлять непрерывный мониторинг неба на поле 420 кв.град. до 13^m за 5 с экспозиции.

Кисловодская и подмосковная системы связаны по Интернету и способны в течение нескольких десятков секунд (с учетом времени обработки) реагировать на обнаруженные некаталогизированные объекты (оптические транзиенты).

МАСТЕР способен работать в полностью автономном режиме: по эфемеридам (на закате Солнца) и удовлетворительным погодным условиям (к управляющему компьютеру постоянно подключен датчик погоды — метеостанция) автоматически открывается крыша (над основной монтировкой и у широкопольной камеры), телескоп наводится на яркие звезды, проводит коррекцию и, в зависимости от качества неба либо переходит в режим ожидания, либо начинает обзор по специальной полностью автоматизированной программе.

Итак, наблюдения проводятся в двух режимах: обзорном и «алертном» (наблюдение областей гамма-всплесков по полученным координатам). В первом случае телескоп автоматически последовательно снимает три кадра произвольной области с экспозицией от 30 до 60 с («тройка»), переходит на соседнюю площадку с шагом 2° , и через 40 — 50 минут повторяет «тройки». Это позволяет при обработке избавляться от артефактов и находитьдвигающиеся объекты. Алертный режим поддерживается посредством постоянной связи управляющего компьютера с Международной Сетью наблюдения гамма-всплесков GCN (Бартелми и др., 1995). После регистрации гамма-всплеска на космических гамма-обсерваториях (Swift, HETE, Konus-Wind, INTEGRAL и др.) телескоп получает координаты области вспышки (т.н. квадрат ошибок), автоматически наводится, получает изображение этой области, обрабатывает его и выделяет все объекты, которых нет в каталогах. Если гамма-всплеск вспыхнул днем, его координаты включаются в программу наблюдений ближайшей ночи.

Создан уникальный программный пакет обработки изображений в реальном времени, позволяющий не только проводить астрометрию и фотометрию кадра, но распознавать объекты, не содержащиеся в астрономических каталогах: сверхновые звезды, новые астероиды, оптические транзиенты и проч.

За все время наблюдений (см. результаты 2002–2004 гг в работах Липунова и др., 2004, Липунова и др. 2005, на системе МАСТЕР получены изображения 52 квадратов ошибок гамма-всплесков. В 23 случаях эти наблюдения явились первыми в мире. В трех случаях зафиксировано оптическое излучение (впервые в Европе GRB 030329 и в двух

случаях впервые в мире). Результаты наблюдений 2005–2006 года опубликованы в работе Липунова и др. 2007.

Ниже везде, если не оговорено специально, мы приводим инструментальные звездные величины m в белом свете. Фотометрия производилась в автоматическом режиме по части отождествленных с каталогом USNOA2.0 (Моне, 1998) звездам всего кадра (обычно около 2000 звезд на кадр) с комбинированной звездной величиной R и B величинах USNOA 2.0:

$$m = 0.8R + 0.2B \quad (1)$$

Такая комбинация была выбрана нами из соображений, что бы наша аппаратная величина была близка к величинам звезд спектрального класса A0. Как показывают наши наблюдения эти величины неплохо согласуются с величинами R и для гамма-всплесков, что обусловлено повышенной красной чувствительностью матрицы Apogee Alta U16.

Например, величины звезд из каталога фотометрических стандартов (Ландольт, 1992)

Эвезда	V	$B - V$	$U - B$	$V - R$	$R - I$	$V - I$	MASTER	δ
100 241	10.139	0.157	0.101	0.078	0.085	0.163	10.00	-0.14
112 805	12.086	0.152	0.150	0.063	0.075	0.138	12.15	0.06
F 16	12.406	-0.012	0.009	-0.003	0.002	-0.001	12.35	-0.06

Обработка кадра начинается сразу после его получения и занимает время меньше 1 мин. В результате робот сам пытается найти неотожествленные объекты внутри квадрата ошибок и составляет текст телеграммы в GCN с указанием предела на блеск оптического транзиента. Параллельно в базе данных (доступной по Интернет) появляется полный кадр с квадратом ошибок и увеличенный квадрат ошибок (обычно 6 – 8') с изображением этой же области красного паломарского обзора и наших кадров, полученных в ходе предыдущего обзора. Таким образом, дежурный наблюдатель может визуально проверить область на предмет поиска объекта с малым отношением сигнал/шум 2–3.

Если объект не найден на отдельных кадрах, изображения суммируются. В хорошую безлунную ночь сумма 5–10 изображений позволяет повысить предел до 20 звездной величины.

3 Наблюдения

Наблюдения гамма всплеска GRB 060926, зарегистрированного на гамма-обсерватории Swift, было проведено в автоматическом режиме при хороших погодных условиях (Липунов и др., 2006b). Первое изображение было получено главным телескопом системы МАСТЕР 26 сентября 2006 в 16:49:57 UT через 76 с после регистрации гамма-всплеска. Мы нашли оптический транзиент на первом и последующих суммарных кадрах с координатами: $R.A. = 17^h 35^m 43^s 66 \pm 0^s 05$, $Dec. = 13^\circ 02' 18''.3 \pm 0''.7$, что в пределах ошибок совпадает с координатами оптического транзиента обнаруженного в (Холанд и др., 2006). Результаты фотометрии объекта оказались первыми точками на кривой блеска (см. Табл. 1)

Первое изображение оптического транзиента доступно по адресу <http://observ.pereplet.ru/image>. Изображения этой же области, полученные в ходе предыдущего обзора неба, доступны по ссылке http://observ.pereplet.ru/images/GRB060926/GRB060926_2005.jpg.

Всего было получено более 50 изображений с 30 с экспозициями.

4 Редукция

Наша первичная обработка показала более пологое падение, чем OPTIMA-Burst наблюдения (Стефанеску и др., 2006). Однако, позже мы провели более тонкое разбиение по времени и обнаружили явление оптической вспышки — блеск после непродолжительного падения стал увеличиваться начиная с 300-ой секунды и достиг своего максимума в районе 500–700 с (см. Рис. 1). Синхронные измерения рентгеновского потока прибором Swift XRT показывают аналогичное явление (Холланд и др., 2006).

Отметим, что согласно наблюдениям VLT обсуждаемый гамма-всплеск имеет красное смещение 3.208 (Пираномонте и др., 2006).

Поглощение, найденное по рентгеновским данным соответствует $n_H = 2.2 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-2}$, из которого на Галактику приходится $n_H = 7 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$ (Холланд и др., 2006). С учетом красного смещения, общее поглощение в нашей полосе составляет $\approx 3^m$. Естественно, мы предполагаем, что отношение концентрации пыли к водороду такое же, как и в нашей Галактике.

В Табл. 1 приведены наблюдаемые звездные величины и потоки, исправленные за поглощение.

Сравнение наших оптических измерений с рентгеновскими потоками, полученными на аппарате Swift XRT (Пери и др., 2006), позволило определить наклон β электромагнитного спектра ($F \propto E^{-\beta}$ — поток в единицах эрг/см² в секунду на эВ), который оказался постоянным в пределах ошибок и равным 1.0 ± 0.2 , что совпадает с наклоном и уровнем рентгеновского спектра.

На Рис. 2 приведена окончательная кривая изменения изотропной светимости гамма-всплеска GRB 060926, исправленная за красное смещение. Предполагалась плоская модель Вселенной с вкладом энергии космического вакуума 0.7. Полная изотропная энергия гамма-всплеска оказывается $2 \cdot 10^{52}$ эрг, а энергия вспышки $3 \cdot 10^{50}$ эрг. Отметим, что при таком наклоне спектра вклад в энергетический бюджет вспышки всех диапазонов (от рентгеновского до оптического) примерно одинаков.

5 Интерпретация

Явление вспышек у гамма-всплесков в рентгеновском диапазоне активно обсуждается в последнее время (см., например, Лазатти, 2005, Романо и др., 2006).

Предпринимались многочисленные попытки объяснить явление вспышки при помощи системы ударных волн, однако после 3 лет работы космической обсерватории Swift (Герельс и др., 2004) становится очевидным, что временное поведение многих гамма-всплесков демонстрирует такие сопутствующие явления («ранние предшественники», «поздние вспышки»), которые никак не согласуются с моделью точечного мгновенного взрыва и

свидетельствуют о долгом (по сравнению с продолжительностью гамма-всплеска) времени работы центральной машины (Герельс и др., 2006, Ванг и Межарош, 2007).

Недавно (Липунов и Горбовской, 2007 а, б), показали, что явления удаленных предвестников, вспышек, а так же экстраординарно-длинных рентгеновских плато естественным образом объясняет модель спинара.

В модели спинара предполагается, что в процессе коллапса в черную дыру, сжатие на некоторое время может быть остановлено вращением, так как при коллапсе вращательная энергия растет быстрее гравитационной. Таким образом, формируется объект, гравитационная сила которого уравнивается центробежной — спинар. Время жизни спинара определяется скоростью уноса вращательного момента, который (унос) обеспечивается магнитным полем (процесс подобен замедлению пульсаров, с той разницей, что пульсар при этом тормозится, а спинар ускоряется).

Таким образом, главными параметрами модели спинара являются: начальное вращение, начальное магнитное поле и масса (более подробно см. Липунов и Горбовской, 2007 а, б). От вращательного момента главным образом будет зависеть энергия первой вспышки, а от магнитного поля временное расстояние между вспышками и энергетика второй. Кроме того в рамках этой парадигмы объясняются экстремально длинные рентгеновские плато у всплесков GRB 050904 и GRB 070110 (Троя и др., 2007, Липунов и Горбовской, 2007 а), когда магнитное поле столь мало, что вторая вспышка практически не видна, а наблюдается только длинное постоянное рентгеновское свечение и резкий обрыв в конце (связанный с входом спинара в эргосферу будущей черной дыры).

Разберем проблему вспышек более детально. Рентгеновские вспышки, в данной модели появляются, когда коллапсирует объект со сравнительно небольшим (но большим единицы) эффективным параметром Керра:

$$a_0 = \frac{I\omega c}{GM_{core}^2} > 1 \quad , \quad (2)$$

где M_{core} — масса коллапсирующего ядра, I — момент инерции ядра, ω — угловая скорость, и не слишком большим магнитным полем, которое задается отношением магнитной энергии ядра к гравитационной

$$\alpha_m = \frac{U_m}{GM_{core}/R_A} \quad (3)$$

Расчеты показывают, что вспышки будут наблюдаться при $\alpha_m \approx 10^{-7} - 10^{-4}$ и $2 < a_0 < 14$. При этом первая вспышка, энергия которой определяется как

$$E = M_{core}c^2 a_0^{-2} / 2 \approx 10^{55} \cdot M_{10} \cdot a_0^{-2} \quad \text{эрг/с}, \quad (4)$$

будет интерпретироваться как сам гамма-всплеск (M_{10} — масса ядра в десятках масс Солнца), а вторая — как рентгеновская и оптическая вспышка со светимостью в максимуме:

$$L = -\omega \frac{dI\omega}{dt}, \quad L \approx \frac{MR_g^2 \omega}{\alpha_m M c^2} \sim \frac{\alpha_m c^5}{G} \approx 4.5 \cdot 10^{52} \cdot \alpha_{-7} \quad \text{эрг/с}, \quad (5)$$

где $\alpha_{-7} = \alpha_m / 10^{-7}$.

Последняя оценка не учитывает релятивистских эффектов, главным из которых является гравитационное красное смещение. Поэтому в модельных расчетах светимость вспышки оказывается ниже и соответственно ближе к наблюдаемой.

Время запаздывания вспышки по сравнению с гамма-всплеском это время необходимое для уноса вращательного момента спинара:

$$t_c \sim \frac{I\omega}{U_m} \sim \frac{GM_{core}a_0^3}{c^3\alpha_m} \approx 500 \frac{M_{10} \cdot a_0^3}{\alpha_{-7}} \quad (6)$$

На Рис. 3 показаны результаты модельного расчета, наилучшим образом удовлетворяющего наблюдениям GRB 060926. Расчет включает эволюцию параметров спинара с массой $7M_\odot$ с учетом релятивистских эффектов возникающих при приближении спинара к горизонту событий. Следует подчеркнуть, что мы не проводили никаких теоретических расчетов спектра, наивно полагая, что светимость в каждый момент времени пропорциональна мощности центральной машины.

Как видим, сам гамма-всплеск связан с падением на центробежный барьер и образованием спинара. Наблюдаемая задержка вспышки (~ 100 с) требует присутствия среднего магнитного поля порядка изменяющегося в процессе коллапса от 10^{13} Гс до 10^{15} Гс.

6 Заключение

В заключение авторы выражают признательность генеральному директору ОАО “Оптика” — Сергею Михайловичу Бодрову, — обеспечившему проект МАСТЕР дорогостоящей аппаратурой.

Авторы выражают признательность РФФИ (грант 04-02-16411а), благодаря поддержке которого была выполнена экспериментальная часть работы в 2004–2006г.г.

Авторы признательны д.ф.м.н. В.Л.Афанасьеву за полезные обсуждения идеи эксперимента и любезно предоставленную призму.

Авторы признательны за совместную работу группе Konus-Wind и, в частности, В.Д. Пальшину.

Авторы признательны Интернет-провайдеру ИНЕТ (<http://inetcomm.ru/>) за бесплатное предоставление Интернета для системы МАСТЕР в поселке Востряково Домодедовского района Московской области.

Авторы благодарны трем анонимным рецензентам за полезные замечания.

Список литературы

- Акерлофф С. и Мак-Кей Т. (Akerlof, C. W.; McKay, T. A.) // GRB Coordinates Network, Circular Service, №205, (1999)
- Бартелми С. и др. (Barthelmy, S.D.; Butterworth, P.; Cline, T. L. et al) // Ap&SS **231**, 235 (1995)
- Ванг К. и Межарош П. (Wang, X-Y and Meszaros, P.) // arXiv:astro-ph/0702441 (2007)
- Герельс Н. и др. (Gehrels, N. et al.) // ApJ **611**, 1005 (2004)
- Герельс Н. и др. (Gehrels, N. et al.) // Nature **444**, 1044 (2006)

- Жан Б. и др. (Zhang, B.; Fan, Y.; Dyks, J. et al) // ApJ **642**, Issue 1, 354 (2006)
- Кизилоглу У. и др. (Kiziloglu, U. et. al) // GRB Coordinates Network, Circular Service, №5618 (2006)
- Лаззати Д. (Lazzati, D.) // MNRAS **357**, 722 (2005)
- Ландольт А. (Landolt, A.U.) // Astronomical Journal **104**, 340 (1992)
- Липунов В.М. и Горбовской Е.С. (Lipunov, V.M. and Gorbovskey, E.S.) // ApJ Letters **665**, L97, (2007a)
- Липунов В.М. и Горбовской Е.С. (Lipunov, V.M. and Gorbovskey, E.S.) // MNRAS, in print, (arXiv:0706.3191v2) (2007b)
- Липунов В.М., Корнилов В.Г., Крылов А.В. и др., (Lipunov, V.M.; Kornilov, V.G.; Krylov, A.V. et al) // Astrophysics **48**, 389 (2005)
- Липунов В.М., Крылов А.В., Корнилов В.Г. и др. (Lipunov, V.M.; Krylov, A.V.; Kornilov, V.G. et al) // AN **325**, 580 (2004)
- Липунов В.М., Корнилов В.Г., Кувшинов Д.А. и др. (Lipunov, V.; Kornilov, V.; Kuvshinov, D. et al) // GRB Coordinates Network, Circular Service, №5632 (2006)
- Перри М. и др. (Perri, M.; Capalbi, M.; Conciatore M.L. et. al) // GRB Coordinates Network, Circular Service, №5622 (2006)
- Пираномонте С. и др. (Piranomonte, S. et al) // GRB Coordinates Network, Circular Service, №5626 (2006)
- Стефанеску А. (Stefanescu, A. et al) // GRB Coordinates Network, Circular Service, №5623 (2006)
- Романо П. и др. (Romano, P.; Campana, S.; Chincarini, G. et al) // A&A **456**, 917 (2006)
- Троя Е. и др. (Troja, E.; Cusumano, G.; O'Brien, P. et al) // Ap.J. **665**, 599 (2007)
- Уемура М. и др. (Uemura, M.; Ishioka, R.; Kato, T. et al) // GRB Coordinates Network, Circular Service, №1566 (2002)
- Фокс Д. (Fox, D. W.) // GRB Coordinates Network, Circular Service, №1564 (2002)
- Холланд С. и др. (Holland, S.T.; Barthelmy, S.D.; Burrows, D.N. et al) // GRB Coordinates Network, Circular Service, №5612 (2006)
- Чинчарини Д., Моретти А., Романо П. и др. (Chincarini, G.; Moretti, A.; Romano, P. et al) // submitted to ApJ, arXiv:astro-ph/0702371 (2007)

Таблица 1:

Начало экс- позиции, с	Средний момент, с	Общая экс- позиция, с	Зв. величи- на	Поток, эрг/(см ² ·с·эВ)	Сигнал/ шум	Светимость, эрг/с
76	91	1 × 30	17.3 ± 0.3	4.32 · 10 ⁻¹²	4.5	3.50 · 10 ⁺⁴⁸
150	165	1 × 30	18.5 ± 0.3	1.43 · 10 ⁻¹²	4	1.16 · 10 ⁺⁴⁸
165	343	5 × 30	19.3 ± 0.3	6.85 · 10 ⁻¹³	4	5.55 · 10 ⁺⁴⁷
255	432	5 × 30	18.9 ± 0.3	9.91 · 10 ⁻¹³	4	8.02 · 10 ⁺⁴⁷
343	519	5 × 30	18.5 ± 0.3	1.43 · 10 ⁻¹²	4.5	1.16 · 10 ⁺⁴⁸
432	608	5 × 30	18.3 ± 0.3	1.72 · 10 ⁻¹²	4.5	1.39 · 10 ⁺⁴⁸
519	707	5 × 30	18.4 ± 0.3	1.57 · 10 ⁻¹²	4.5	1.27 · 10 ⁺⁴⁸
608	804	5 × 30	18.7 ± 0.3	1.19 · 10 ⁻¹²	4	9.64 · 10 ⁺⁴⁷
707	1001	5 × 30	20.0 ± 0.3	3.60 · 10 ⁻¹³	3	2.91 · 10 ⁺⁴⁷
804	1200	5 × 30	20.1 ± 0.3	3.28 · 10 ⁻¹³	3	2.65 · 10 ⁺⁴⁷
901	1298	5 × 30	> 20.1 ± 0.3	< 3.3 · 10 ⁻¹³	< 3	< 2.6 · 10 ⁺⁴⁷

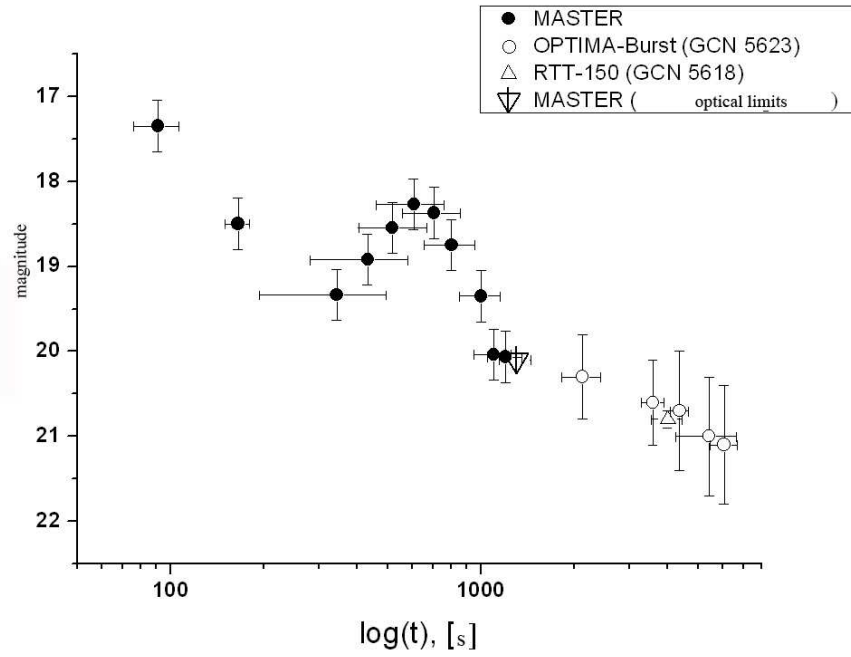


Рис. 1: Кривая блеска GRB 060926, полученная системами МАСТЕР (заполненные кружки), ОПТИМА (пустые кружки, Стефанеску и др. 2006) и телескопом РТТ (треугольник вершиной вверх, Кизилоглу и др., 2006). Треугольник вершиной вниз — верхний предел МАСТЕРА. Горизонтальные отрезки показывают период усреднения.

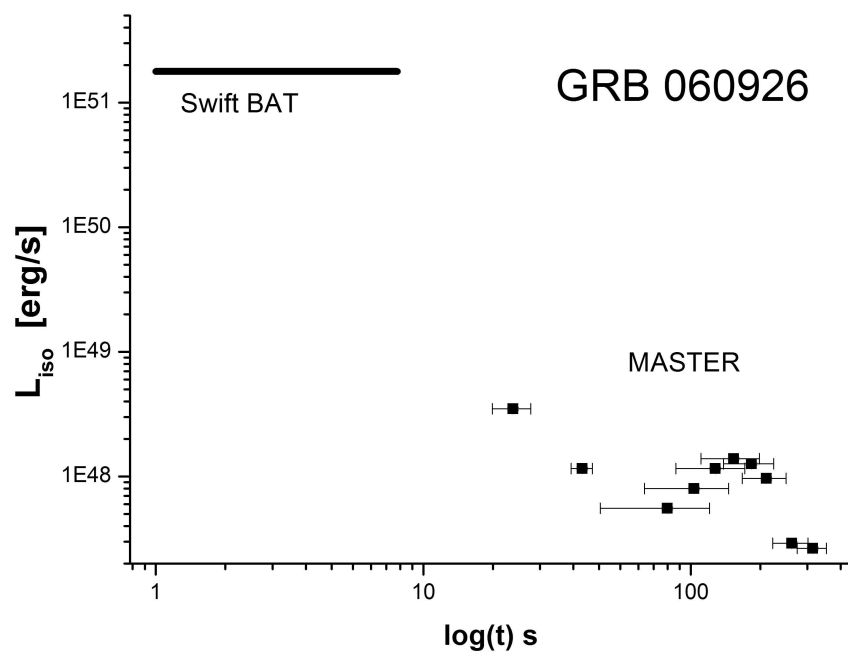


Рис. 2: Изменение изотропной светимости по данным МАСТЕР и обсерватории Swift BAT (Холланд и др., 2006) для модели плоской Вселенной с вкладом энергии вакуума $\Omega = 0.7$ и переведенные в покоящуюся систему координат

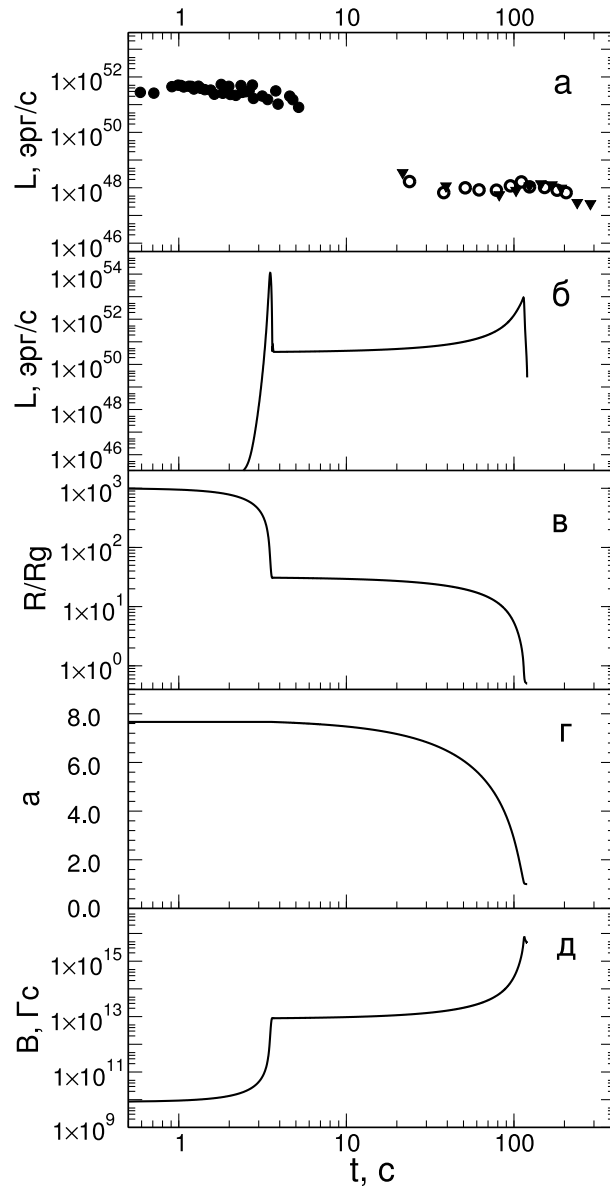


Рис. 3: Изменение физических параметров коллапсирующего ядра в модели спинара (Липунов и Горбовской, 2007б). На верхнем графике (а) показана полученная нами кривая изменения изотропной светимости (треугольники), исправленная за красное смещение. Графики б, в, г, д — теоретическое изменение светимости, радиуса, эффективного параметра Керра и среднего магнитного поля спинара