

УДК 524.7-732

## РОДИТЕЛЬСКАЯ ГАЛАКТИКА ТЁМНОГО ГАММА-ВСПЛЕСКА GRB 051008

© 2010 А. А. Вольнова<sup>1\*</sup>, А. С. Позаненко<sup>2</sup>, В. В. Румянцев<sup>3</sup>,  
В. В. Бирюков<sup>3,4</sup>, М. А. Ибрагимов<sup>5</sup>, Д. А. Шарпов<sup>5</sup>, Д. А. Канн<sup>6</sup>,  
Х. Горосабль<sup>7</sup>, А.Х. Кастро-Тирадо<sup>7</sup>, А. де Угарте Постиго<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Государственный Астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт Космических Исследований РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>НИИ “Крымская Астрофизическая Обсерватория”, п. Научный, Украина

<sup>4</sup>Крымская лаб. ГАИШ, п. Научный, Украина

<sup>5</sup>Институт Астрономии УзАН, Ташкент, Узбекистан

<sup>6</sup>Таутенбургская Обсерватория Тюрингер, Таутенбург, Германия

<sup>7</sup>Институт Астрофизики Андалусии, Гранада, Испания

Поступила в редакцию 16 декабря 2009 г.; принята в печать 14 марта 2010 г.

Найдена и исследована родительская галактика “темного” гамма-всплеска GRB 051008 — всплеска, от которого не было зарегистрировано оптического послесвечения. Исследованы свойства и определено красное смещение родительской галактики, изучено ее окружение. Приводится сравнительный анализ свойств GRB 051008 и его родительской галактики с другими известными темными гамма-всплесками. Проведен анализ причин отсутствия оптического послесвечения у данного гамма-всплеска.

Ключевые слова: *гамма-всплески*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Космические гамма-всплески являются одними из самых мощных явлений во Вселенной. После вспышки излучения в гамма-диапазоне обычно регистрируется источник послесвечения в других спектральных диапазонах: рентгеновском, оптическом, радио. Однако на сегодняшний день ясно, что для значительной части событий, около 40%<sup>1</sup>, не удаётся зарегистрировать никакого послесвечения, кроме рентгеновского, несмотря на то, что для оперативных поисков послесвечений установлено большое число роботизированных наземных телескопов, и на орбите работает специализированный телескоп UVOT в составе обсерватории *Swift*.

Всплески, для которых не был найден оптический компонент послесвечения, называют “тёмными”. Однако во многих случаях поиск оптического транзientа происходит в неблагоприятных условиях (близость Луны, низкое качество изображения и т.д.), и оптическое послесвечение может быть не зарегистрировано в связи с низкой проникающей способностью используемых телескопов.

В общепринятой для гамма-всплесков модели фаербола [1] спектральный индекс синхротронного излучения  $\beta$  ( $F_\nu \sim \nu^{-\beta}$ ) зависит от показателя  $p$  распределения по энергиям излучающих электронов и положения характерной частоты  $\nu_c$ :

$$\beta = \begin{cases} (p-1)/2, & \nu < \nu_c \\ p/2, & \nu > \nu_c \end{cases}$$

Значение  $p$  обычно лежит между 2 и 2.5. В этой модели спектральный индекс  $\beta_{OX} = \log(F_X/F_O)/\log(\nu_O/\nu_X)$  (здесь “O” означает оптический диапазон, а “X” — рентгеновский) принимает значения от 0.5 ( $p=2, \nu_c > 10^{18}$  Гц) до 1.25 ( $p=2, \nu_c < 10^{14}$  Гц). Якобсон и др. [2] предложили называть тёмными всплесками такие гамма-всплески, для послесвечений которых через 11 часов после начала всплеска  $\beta_{OX} < 0.5$ .

Причины слабого или полностью отсутствующего оптического послесвечения гамма-всплесков могут быть различными. Во-первых, отсутствие оптического компонента послесвечения гамма-всплеска может быть связано с недостаточно глубокими наблюдениями при поиске послесвечения.

\*E-mail: [alinusss@gmail.com](mailto:alinusss@gmail.com)

<sup>1</sup><http://www.mpe.mpg.de/~jcg/grbgen.html>

Другой причиной является непосредственное окружение источника гамма-всплеска. В “сценарии затмения” [3] предполагается, что оптическое излучение послесвечения сильно поглощается в родительской галактике. Кроме того, источник гамма-всплеска может быть окружён межзвёздной средой высокой плотности [4].

Ещё одной причиной появления оптически тёмных всплесков может служить их большое красное смещение. При  $z \geq 4$  излучение с длиной волны в системе наблюдателя меньше  $1215(1+z)$  Å при прохождении через межгалактическую среду эффективно поглощается на луче зрения в “лесе” линий  $Ly_\alpha$  [5].

Наконец, всплеск может быть тёмным сам по себе, и малая оптическая светимость послесвечения может объясняться, например, низкой плотностью межзвёздной среды, в которой движется релятивистский выброс гамма-всплеска [1].

Обнаружение родительских галактик гамма-всплесков и определение расстояний до них послужило одним из доказательств их космологической природы. Сейчас исследования родительской галактики в большинстве случаев могут быть единственным способом определения расстояния до источника гамма-всплеска.

Изучение свойств родительских галактик и их окружения является одним из инструментов исследования условий, в которых происходят гамма-всплески. Анализ морфологии, химического состава и звёздонаселения родительских галактик играет важную роль в поиске возможных источников этих явлений, помогает выделить типы галактик, в которых наиболее вероятно находятся источники гамма-всплесков.

Гамма-всплески обращают внимание исследователей на далёкие галактики, имеющие малую яркость и поэтому не попавшие в обзоры, основанные на фотометрических особенностях галактик в оптическом, ближнем инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах [6–9]. А самые далёкие родительские галактики гамма-всплесков могли бы дать ответы на вопросы, связанные с образованием первых галактик во Вселенной.

Сейчас найдены и исследованы родительские галактики на красных смещениях вплоть до 6.295 (GRB 050904) [10]. Изучение родительских галактик тёмных гамма-всплесков зачастую является единственным способом оценить расстояния до их источников и попытаться понять их природу.

## 2. ГАММА-ВСПЛЕСК GRB 051008

Гамма-всплеск GRB 051008 был зарегистрирован телескопом BAT космической обсерватории *Swift* 8 октября 2005 года в 16:33:21 (здесь и далее

время приводится в системе UT) [11]. Всплеск произошёл во время плановой сессии передачи данных с обсерватории на Землю, поэтому сообщение о нём поступило в сеть оповещения о гамма-всплесках VACODINE<sup>2</sup> только спустя 10 минут после события. Координаты источника гамма-излучения RA = 13<sup>h</sup>31<sup>m</sup>24<sup>s</sup>.2, Dec = +42°06'04".4 (J2000) были определены с точностью 0.8 угловой минуты (радиус, 90 % доверительная область) [12]. Длительность всплеска составила  $T_{90} > 16$  с в диапазоне энергий 15–150 кэВ [13].

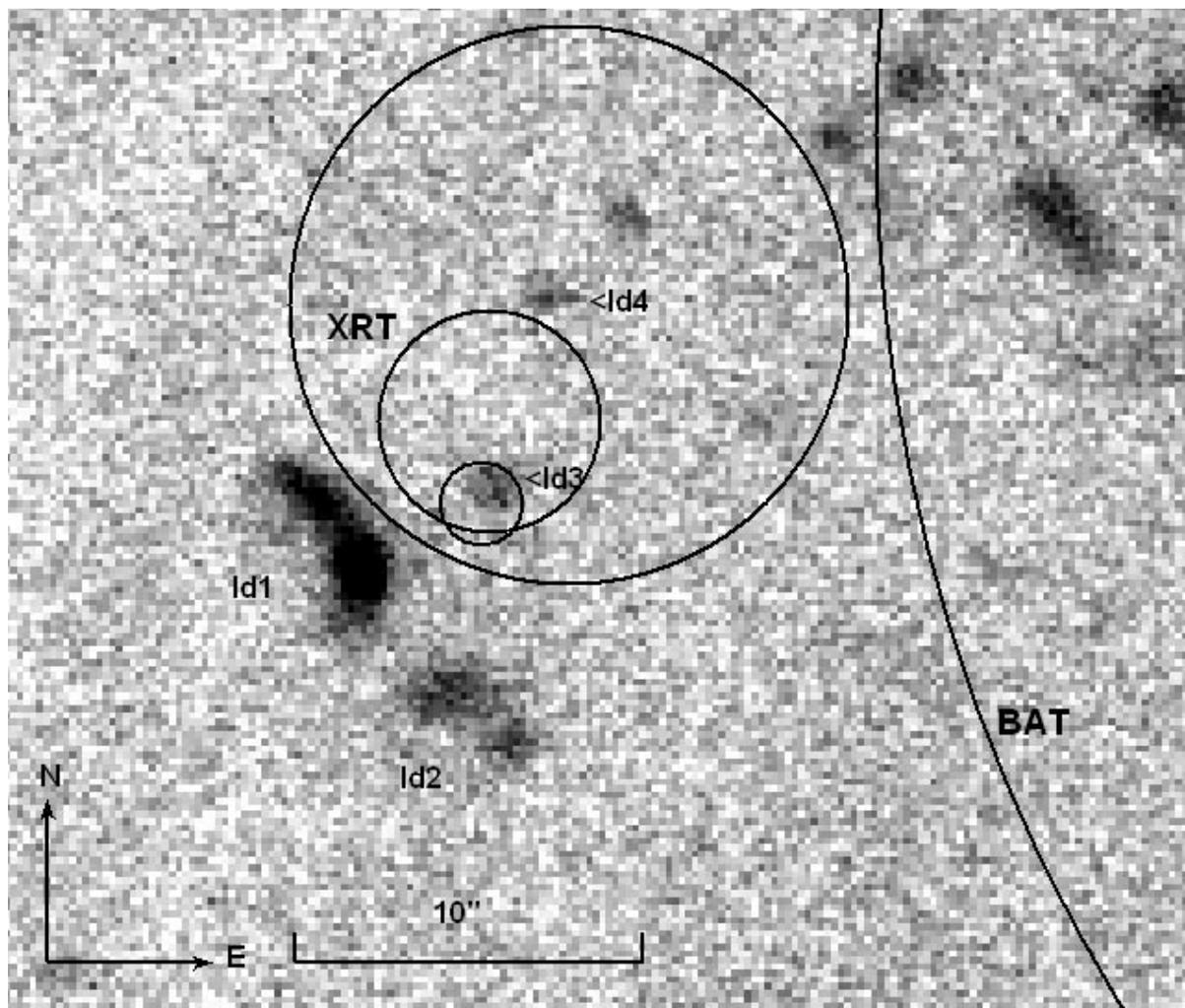
Этот всплеск был также зарегистрирован монитором гамма-излучения WAM (Wideband All-sky Monitor) на борту обсерватории *Suzaku* в 16:33:18 и имел продолжительность 48 с в диапазоне от 100 кэВ до 2 МэВ. Спектр в этом же диапазоне энергий хорошо описывается степенным законом с экспоненциальным завалом  $dN/dE \sim E^{-\gamma} e^{-E/E_{cutoff}}$  с индексом  $\gamma = 1.24 \pm 0.15$  и энергией, соответствующей завалу  $E_{cutoff} = 1535_{-561}^{+1419}$  кэВ [14].

Космический эксперимент *Konus-Wind* наблюдал этот всплеск, начиная с 16:33:21, в диапазоне энергий от 20 кэВ до 4 МэВ. Общая продолжительность всплеска составила порядка 280 секунд. Спектр гамма-излучения хорошо описывается моделью с экспоненциальным завалом с  $\gamma = 0.975_{-0.086}^{+0.078}$  и  $E_{cutoff} = 844_{-175}^{+238}$  кэВ. Энергия, соответствующая максимуму в энергетическом спектре, составила  $E_p = 865_{-136}^{+178}$  кэВ [15]. Таким образом, GRB 051008 — это классический длительный всплеск, однако с достаточно жёстким спектром по сравнению с другими всплесками, например, эксперимента *BATSE* [16]. Разногласия по поводу длительности всплеска объясняются различными энергетическими диапазонами и фоновыми условиями экспериментов *BAT/Swift*, *WAM/Suzaku* и *Konus-Wind*.

Рентгеновский телескоп XRT на борту космической обсерватории *Swift* начал наблюдения области локализации всплеска в 17:23:52, т.е. через 50 минут после его регистрации телескопом BAT. Было зарегистрировано рентгеновское послесвечение гамма-всплеска [17]. По данным телескопа XRT были найдены координаты рентгеновского источника RA = 13<sup>h</sup>31<sup>m</sup>29<sup>s</sup>.55, Dec = +42°05'53".3 (J2000) с точностью 1.2 угловой секунды (радиус, 90 % доверительная область) [18].

Наблюдения области локализации этого всплеска начались в КраО на 2.6-метровом телескопе имени Г.А. Шайна через 32 минуты после начала всплеска [19]. Рядом с начальным кружком ошибок XRT был обнаружен источник (Id1 на Рис. 1),

<sup>2</sup>S. Barthelmy, <http://gcn.gsfc.nasa.gov/>



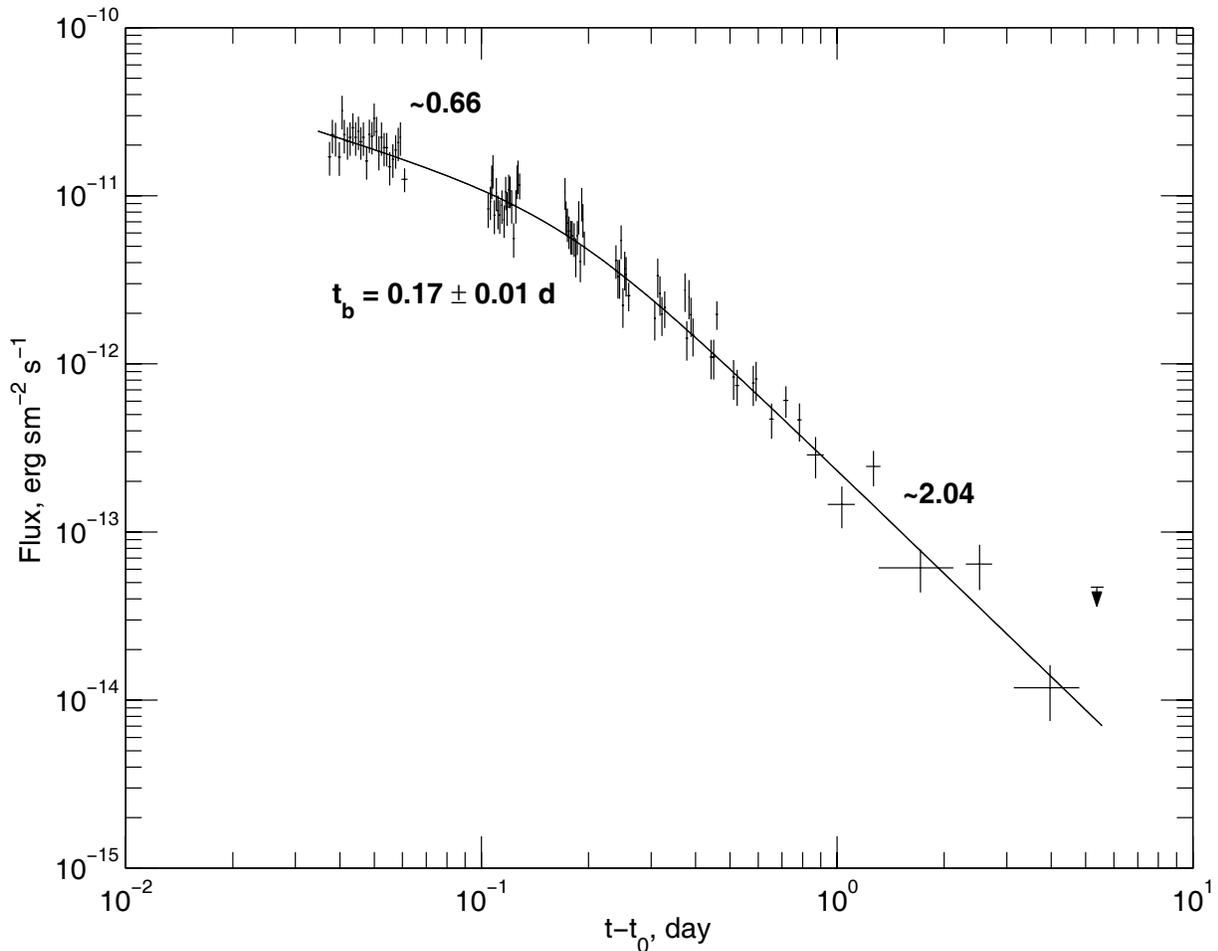
**Рис. 1.** Область локализации гамма-всплеска GRB 051008 с ближайшим окружением. Снимок в фильтре R (предельная звёздная величина  $25^m.7$ ), экспозиция 4800 секунд. Показаны области локализации, полученные по данным телескопа BAT и телескопа XRT космической обсерватории *Swift*. Меньший из кружков имеет координаты центра  $RA = 13^h 31^m 29^s.55$ ,  $Dec = +42^\circ 05' 53''.3$  (J2000) и радиус  $1''.2$  [18]. Маркерами Id1–4 отмечены источники, исследуемые в данной работе. Источник Id3 имеет координаты  $RA = 13^h 31^m 29^s.51$ ,  $Dec = +42^\circ 05' 53''.67$  (J2000) с ошибкой 0.08 угловых секунд дуги по обоим координатам. Изображение получено 20 июня 2006 года на телескопе NOT. Масштаб изображения  $0''.19$  на пиксель, качество изображения составляет  $0''.9$ .

который, как было выяснено позже, не являлся оптическим послесвечением гамма-всплеска [20]. Предельная звёздная величина суммарного кадра на среднее время 17:28:14 составляет  $23^m.3$  в фильтре R (здесь и далее предельная звёздная величина указана на уровне  $3\sigma$ ).

Оптический телескоп UVOT космической обсерватории *Swift* начал наблюдения области локализации гамма-всплеска GRB 051008 в 17:23:49, только через 50 минут после его регистрации [21]. Было получено 200-секундное изображение в фильтре V, на котором не было обнаружено по-

слесвечения на уровне значимости 5 стандартных отклонений от  $18^m.2$  [22].

Наземные поиски оптического послесвечения гамма-всплеска GRB 051008 проводились также на Тауенбургском 1.34-метровом телескопе Шмидта через 1.6 часа после начала всплеска в фильтре R. Вплоть до предельной звёздной величины  $19^m.5$  в кружке ошибок XRT ничего обнаружено не было [23]. Оптические наблюдения области локализации всплеска сильно усложнялись наличием на расстоянии трёх угловых минут от кружка ошибок XRT яркой звезды с  $m_R \sim 5^m.5$  USNO-B1.0 1321-0287773.



**Рис. 2.** Рентгеновская кривая блеска GRB 051008 в диапазоне энергий 2–10 кэВ, построенная по данным рентгеновского телескопа XRT обсерватории *Swift* (крестики) и аппроксимация этой кривой степенным законом с изломом (линия). Стрелочка обозначает верхний предел. По оси абсцисс отложено время, прошедшее с начала всплеска, по оси ординат — рентгеновский поток. Возле кривой указаны индексы падения блеска до и после излома ( $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ ) и время, соответствующее излому ( $t_{jb}$ ).

На 1.34-метровом телескопе Шмидта (Таутенбург) была проведена серия наблюдений для поиска возможной сверхновой на интервале 19 – 22 дня после всплеска. Никакого источника на месте всплеска обнаружено не было до 22<sup>m</sup>.5 фильтре R [24].

Послесвечения в радиодиапазоне зарегистрировано также не было — через 4 часа после начала всплеска в области локализации всплеска на частоте 8.5 ГГц был получен верхний предел 0.08 мЯн [25].

Кривая блеска рентгеновского послесвечения (см. Рис. 2) содержит данные о рентгеновском излучении в диапазоне энергий 2–10 кэВ в интервале времени 3070–445845 секунд после начала всплеска. Рентгеновский поток через 11 часов после всплеска равен  $1.083 \times 10^{-12}$  эрг/см<sup>2</sup>/с. Спектральная плотность

рентгеновского потока для энергии 3 кэВ через 11 часов, пересчитанная согласно [2], составляет  $F_X(3 \text{ кэВ}, t = 11^h) = 0.0176 \times 10^{-6}$  Ян. Исходя из этой оценки и верхнего предела наземных оптических наблюдений на ЗТШ в 23<sup>m</sup>.3 через полчаса после начала всплеска (в предположении падения потока в оптическом диапазоне со временем по закону  $F \sim t^{-1}$ ) можно оценить параметр  $\beta_{OX}$  для всплеска GRB 051008:

$$F_X(3 \text{ кэВ}, t = 11^h) = 0.0176 \times 10^{-6} \text{ Ян}$$

$$F_O(R, t = 11^h) = 0.068 \times 10^{-6} \text{ Ян} \quad (1)$$

$$\beta_{OX} < 0.18$$

На Рис.3 показана диаграмма Якобсона [2] — зависимость логарифмов оптического и рентгеновского потоков, построенная Женгом с соав-

торами [26] по данным о послесвечениях гамма-всплесков до конца 2007 года. Нанесённый на эту диаграмму всплеск GRB 051008 является одним из самых тёмных.

28 апреля 2006 на телескопе ЗТШ (КрАО) был обнаружен источник — кандидат в родительскую галактику GRB 051008. Для его дальнейшего исследования в 2006–2009 гг были проведены наблюдения на телескопе Nordic Optical Telescope (NOT) и АЗТ-22 (Майданак). Были получены изображения области локализации всплеска в бесселевских фильтрах BVRI и интерференционном фильтре  $i$  с предельной звёздной величиной  $R = 25^m.7$ . В Таблице 1 приведён журнал наших наблюдений области локализации GRB 051008. На Рис. 1 показана область локализации источника гамма-всплеска GRB 051008, отмечена его предполагаемая родительская галактика, кружок ошибок XRT и BAT. В Таблице 2 собраны результаты фотометрической обработки наблюдений этой области (Галактическое поглощение учтено,  $E(B-V) = 0^m.012$  [27]). Особо следует отметить наблюдения 28 апреля 2006 года на телескопе ЗТШ (КрАО) (Таблица 3). Значение звёздной величины источника Id3 — предполагаемой родительской галактики всплеска (Рис. 1) было меньше, чем при последующих наблюдениях, приблизительно на  $1^m$ . Для проверки возможной систематической ошибки и связанной с этим ошибки фотометрии была сделана фотометрия одной из калибровочных звёзд (см. Табл. 3).

Такое поярчение могло быть вызвано вспышкой в этой галактике сверхновой. По-видимому, данное поярчение не связано со всплеском GRB 051008. Дополнительные наблюдения возможной сверхновой не были проведены из-за поздней обработки данных. Для проверки, не является ли возможная сверхновая источником гамма-всплеска, были проверены все хорошо локализованные всплески на интервале 2 месяца до 28.04.2006 г. Ни один из них не попал своей областью локализации на галактику Id3. Однако однозначно сделать вывод об отсутствии гамма-всплеска всё же нельзя, т.к. в период 2005–2006 гг. не существовало всенаправленных детекторов (таких как *BATSE* или *GBM/Fermi*), способных производить локализацию всплесков.

Измерения звёздных величин всех используемых в работе данных были проведены методом относительной апертурной фотометрии с помощью процедуры APPHOT программного пакета IRAF<sup>3</sup>. Так как источники Id1 и Id2 имеют сложную форму, в качестве апертуры для них были построены замкнутые неправильные многоугольники, вписанные в изофоты. Для калибровки были выбраны 5 звёзд из каталога SDSS-DR7 [28] (см. Табл. 4)<sup>4</sup>.

<sup>3</sup><http://iraf.noao.edu/>

### 3. СВОЙСТВА РОДИТЕЛЬСКОЙ ГАЛАКТИКИ ГАММА-ВСПЛЕСКА GRB 051008

Источник Id3 (Рис. 1) имеет координаты  $RA = 13^h 31^m 29^s.51$ ,  $Dec = +42^\circ 05' 53''.67$  (J2000) с ошибкой 0.08 угловых секунд по обеим координатам и попадает в финальный кружок ошибок телескопа XRT, скорректированный по совместным наблюдениям поля источника телескопами XRT и UVOT, с радиусом  $1.2''$  [18]. Однако это попадание может бы быть случайным событием. Чтобы оценить вероятность случайного попадания этой галактики в область размером  $4.52$  квадратных угловых секунд, была оценена плотность галактик на изображении с телескопа NOT в фильтре R. В области размером  $3' \times 3'$  было обнаружено 52 галактики с блеском до  $25^m.5$ . Это даёт плотность галактик на изображении  $\rho = 0.0016$  галактики на 1 квадратную секунду. Предполагается, что распределение галактик по полю случайно, тогда вероятность случайного попадания галактики Id3 в кружок ошибок XRT составляет порядка 0.7%.

Аналогичным образом была оценена вероятность того, что галактики Id1–4 находятся в кластере. Эти четыре источника лежат в квадрате размером  $16'' \times 16'' = 256$  квадратных угловых секунд. Вероятность их случайного совместного попадания в эту область составляет 0.08%.

В работе [29] Блум с соавторами приводят формулу расчёта вероятности случайного попадания галактики в произвольную область на небе с учётом звёздной величины галактики:

$$P_{i,ch} = 1 - \exp(-\eta_i),$$

где

$$\eta_i = \pi r_i^2 \sigma(\leq m_i), \quad (2)$$

$$\sigma(\leq m_i) = \frac{1}{3600^2 \times 0.334 \ln 10} \times 10^{0.334(m_i - 22.963) + 4.320} \text{gal/arcsec}^2.$$

Здесь  $m_i$  — звёздная величина галактики в фильтре под номером  $i$ ,  $r_i$  — эффективный радиус кружка на небе, занимаемого галактикой, который определяется угловыми размерами галактики (в случае плохой локализации всплеска) или радиусом кружка ошибок локализации всплеска. Для всплеска GRB 051008 вероятность случайного попадания галактики Id3 в кружок XRT, оценённая по формуле (2), составляет примерно 1.96%.

<sup>4</sup>Величины в системе *ugriz* пересчитаны в систему *BVRi* с помощью уравнений Люптона <http://www.sdss.org/dr4/algorithms/sdssUBVRITransform.html#Lupton2005>

**Таблица 1.** Журнал оптических наблюдений области локализации гамма-всплеска GRB 051008

Дата	$t - t_0$ , дни	Телескоп	Экспозиция, сек	Качество изображения, ''	Фильтр	Верхний предел, на уровне $3\sigma$
8.10.2005	0.035	ЗТШ (КрАО)	2200	2.1	R	23 <sup>m</sup> .3
28.04.2006	202.3	ЗТШ (КрАО)	4260	1.9	R	24 .5
20.06.2006	255.3	NOT (La Palma)	4800	0.9	R	25 .7
30.06.2006	265.2	NOT (La Palma)	4800	1.2	V	25 .7
25.07.2006	290.1	ЗТШ (КрАО)	2760	1.5	R	24 .3
12.08.2006	308.2	NOT (La Palma)	3300	0.7	B	25 .9
20.08.2006	316.2	NOT (La Palma)	4200	0.9	i <sup>a</sup>	22 .5
16.09.2007	707.9 – 711.9	AZT-22 (MAO)	12120	2.0	I	22 .5
20.05.2009	1289.9	NOT (La Palma)	8400	1.1	i <sup>a</sup>	23 .9

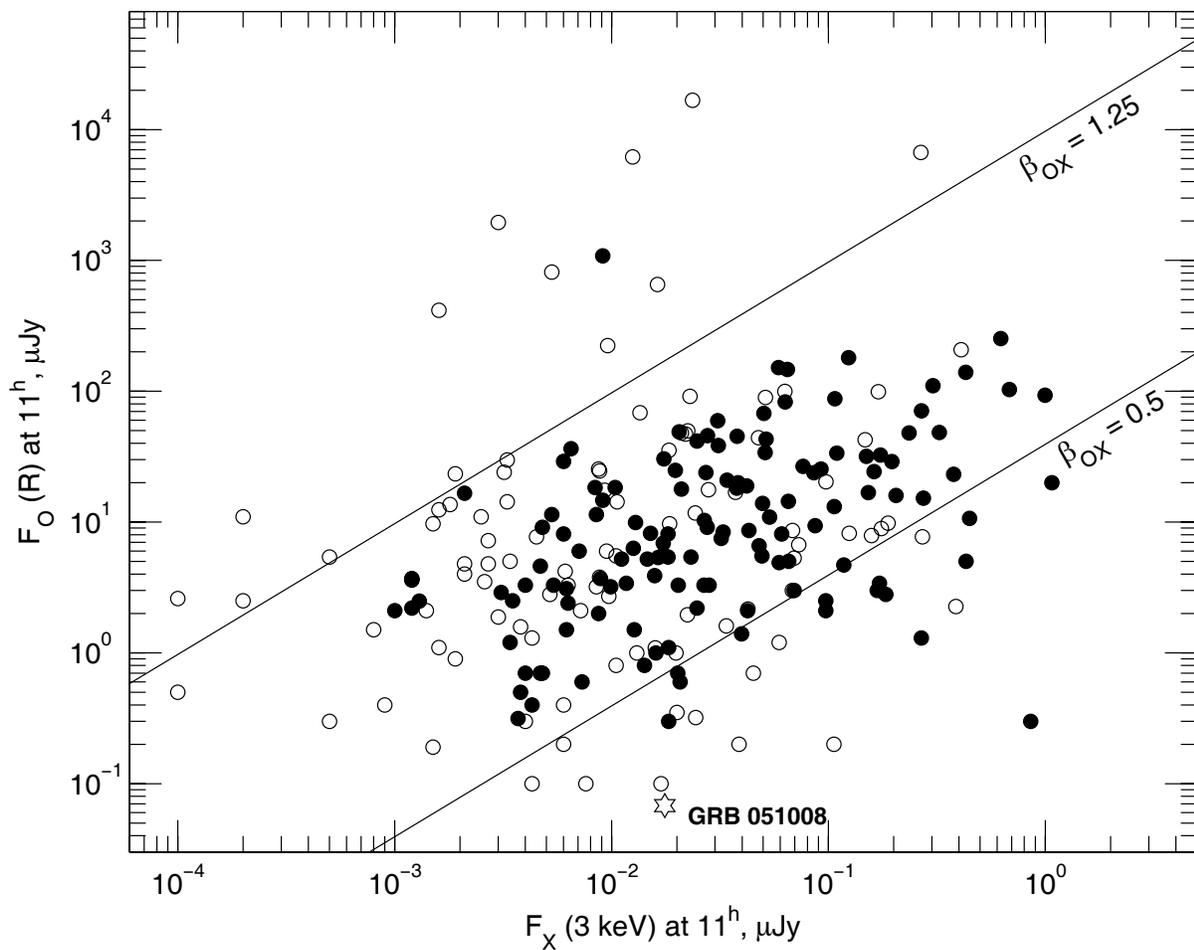
<sup>a</sup> — кривая пропускания интерференционного фильтра i доступна по адресу <http://www.not.iac.es/instruments/filters/curves/png/12.png>.

**Таблица 2.** Фотометрические величины источников Id1–4, полученные по наблюдениям на телескопе NOT в июне-августе 2006 и мае 2009. Галактическое поглощение учтено [27]

Фильтр	Id1, <sup>m</sup>	Id2, <sup>m</sup>	<b>Id3, <sup>m</sup></b>	Id4, <sup>m</sup>	Верхн. предел, ( $3\sigma$ ), <sup>m</sup>	Экспозиция, сек
B	21.80 ± 0.20	23.63 ± 0.21	<b>24.67 ± 0.23</b>	25.34 ± 0.27	25.90	3300
V	21.50 ± 0.13	22.92 ± 0.14	<b>24.18 ± 0.15</b>	24.68 ± 0.20	25.66	4800
R	21.15 ± 0.04	22.30 ± 0.09	<b>23.92 ± 0.07</b>	24.51 ± 0.11	25.73	4800
i	20.38 ± 0.05	21.53 ± 0.06	<b>23.19 ± 0.17</b>	23.89 ± 0.18	23.89	8400

**Таблица 3.** Поярчание источника Id3 — родительской галактики гамма-всплеска GRB 051008, произошедшее 28 апреля 2006 г. и позволившее обнаружить её на телескопе ЗТШ (КрАО). Приведены звёздные величины источников Id1–3 и реперной звезды SDSS ID J133145.90+420730.4 (RA (J2000) = 13:31:45.91, Dec (J2000) = +42:07:30.41) в разные эпохи. Все значения даны в единицах звёздных величин в фильтре R и исправлены за Галактическое поглощение  $E(B-V) = 0^m.012$  [27]

	ЗТШ 2005.10.08	ЗТШ 2006.04.28	NOT 2006.06.20	ЗТШ 2006.07.25
Id 1	21.77 ± 0.09	21.15 ± 0.12	21.15 ± 0.04	21.15 ± 0.12
Id 2	22.55 ± 0.22	22.22 ± 0.19	22.30 ± 0.09	22.44 ± 0.23
Id 3	> 23.3	<b>22.76 ± 0.21</b>	23.92 ± 0.07	23.98 ± 0.55
Звезда сравнения	19.75 ± 0.15	19.69 ± 0.06	19.62 ± 0.04	19.65 ± 0.06
Предел ( $3\sigma$ )	23.3	24.5	25.2	24.3



**Рис. 3.** Диаграмма зависимости потока в оптическом ( $F_O$ ) и рентгеновском ( $F_X$ ) диапазонах для послесвечений более 200 гамма-всплесков, зарегистрированных различными гамма-телескопами, взятая из работы Женга и др. [26]. Поток в оптическом диапазоне, соответствующие величинам в фильтре R (ось ординат), и рентгеновские потоки (ось абсцисс) экстраполированы или интерполированы на время 11 часов после начала всплеска. Все величины исправлены за Галактическое поглощение [27]. Закрашенные символы показывают зарегистрированное оптическое излучение послесвечения, не закрашенными показаны верхние пределы. Показаны линии постоянного значения  $\beta_{OX}$ . Всплески, расположенные ниже линии  $\beta_{OX} = 0.5$ , определены как тёмные. Линия  $\beta_{OX} = 1.25$  является верхней границей для спектрального индекса  $\beta_{OX}$  согласно модели файерболла [1]. Незакрашенной звёздочкой отмечен всплеск GRB 051008 ( $\beta_{OX} < 0.18$ ). Положение GRB 051008 на диаграмме отличается от положения, найденного Женгом и др. [26], так как спектральная плотность рентгеновского потока была рассчитана ими с использованием другой оценки спектрального индекса. Также для определения плотности потока в фильтре R в данной работе используются ранее не опубликованные данные. Точка, соответствующая GRB 051008 по данным Женга и др. [26], на диаграмме отсутствует.

**Таблица 4.** Реперные звёзды, использованные для фотометрии источников. Данные из каталога SDSS-DR7 [28]

ID звезды	RA, J2000	Dec, J2000	$m_u$	$m_g$	$m_r$	$m_i$	$m_z$
J133138.56+420443.5	13 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> 38 <sup>s</sup> .56	+42° 04' 43" .59	22.104	20.509	20.027	19.829	19.786
J133137.89+420705.4	13 31 37 .89	+42 07 05 .47	20.091	19.019	18.828	18.740	18.717
J133141.93+420803.0	13 31 41 .93	+42 08 03 .08	23.906	22.629	21.206	19.687	18.951
J133146.39+420825.9	13 31 46 .39	+42 08 25 .93	21.213	19.604	19.105	18.838	18.787
J133145.90+420730.4	13 31 45 .91	+42 07 30 .41	22.800	20.466	19.835	19.585	19.391

**Таблица 5.** Параметры галактик Id1–4, определённые с помощью программного пакета *HyperZ*. Подчёркнуты решения, дающие близкие значения красного смещения всех четырёх галактик. Первая колонка содержит номер галактики, вторая — значение фотометрического красного смещения, третья — вероятность, соответствующая данному  $z$ , четвёртая — наиболее вероятный тип галактики (Im — неправильные и взаимодействующие, B — галактики со вспышкой звёздообразования, starburst galaxies, E — эллиптические), пятая — возраст галактики в миллиардах лет, шестая — поглощение в галактике, седьмая — абсолютная звёздная величина галактики в фильтре R, восьмая — размер галактики в килопарсеках

Id	$z$	P, %	тип SED	возраст, млрд. лет	$A_V, ^m$	$M_R, ^m$	d, кпк <sup>a</sup>
1	<u>0.92 ± 0.10</u>	29.58	Im	4.50	0.0	−23.50	55.11 ± 1.57
1	1.67 ± 0.05	> 99.99	B	0.004	1.4	−24.83	59.98 ± 1.71
2	0.70 ± 0.50	> 99.99	B	1.43	1.2	−21.70	46.01 ± 2.57
2	<u>1.07 ± 0.32</u>	99.94	Im	1.43	1.2	−23.46	52.60 ± 2.94
<b>3</b>	<b><u>0.38 ± 0.21</u></b>	<b>99.81</b>	<b>B</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>−17.29</b>	<b>6.31 ± 3.11</b>
<b>3</b>	<b><u>1.07 ± 0.13</u></b>	<b>&gt; 99.99</b>	<b>B</b>	<b>0.01</b>	<b>1.2</b>	<b>−19.61</b>	<b>9.96 ± 4.90</b>
4	<u>0.90 ± 0.25</u>	98.99	Im	4.50	0.0	−19.69	7.89 ± 1.56
4	1.76 ± 0.41	99.51	E	0.36	0.2	−22.85	8.63 ± 1.71

<sup>a</sup> — Угловой масштаб для каждого  $z$  рассчитан с помощью интерактивного калькулятора Райта [31] с использованием космологических параметров  $H_0 = 70$  км/с/Мпк,  $\Omega_M = 0.3$ ,  $\Omega_\Lambda = 0.7$

Таким образом, галактика Id3, вероятно, является родительской галактикой гамма-всплеска GRB 051008. Кроме того, галактика Id3, по видимому, расположена в кластере.

С помощью программного пакета *HyperZ* [30] по фотометрическим данным, полученным на телескопе NOT, было оценено красное смещение галактик Id1–4. В Таблице 5 приведены значения красных смещений для каждой галактики, а также другие параметры, в том числе определяемые пакетом *HyperZ*: вероятность соответствующего значения  $z$ , наиболее вероятный тип галактики, возраст, собственное поглощение в галактике. Приведена оценка линейного размера галактики для каждого полученного значения  $z$ . Для галактики Id3 оценкой углового размера является значение ширины на полувысоте функции рассеяния точки (FWHM PSF) во время наблюдений 20 июня 2006 г. (см. Табл. 1), которое составляет 1".2. Это отличается от размера изображения точечного источника, равного в среднем за эту ночь 0".9.

Поярчание галактики Id3, зафиксированное 28 апреля 2006 года, произошло через полгода после регистрации гамма-всплеска GRB 051008. Считается, что классические длинные гамма-всплески, к которым относится GRB 051008, также связаны со сверхновыми типа Ib/c [32]. Проверим, могут ли подобные события произойти в одной

галактике с таким небольшим интервалом. Маннуччи и др. в работе [33] приводят наблюдательные данные по частоте вспышек сверхновых в галактиках различного типа. Чаще всего сверхновые наблюдаются в неправильных галактиках —  $Rate_{SN} \simeq 2.24$  SN/100 лет  $\times 10^{10} M_\odot$  (сумма типов сверхновых Ib/c + II). Исходя из оценок линейного размера (см. Табл. 5, восьмая колонка) и абсолютной звёздной величины можно предположить, что галактика Id3 является галактикой, похожей на Большое Магелланово Облако. Масса БМО составляет порядка  $10^{10} M_\odot$ , а его размер равен 3 кпк. Верхняя оценка размера галактики Id3 в три раза больше, чем размер БМО, поэтому для её массы примем оценку  $10^{11} M_\odot$ . Тогда частота вспышек сверхновых в галактике Id3 составит около 0.224 SN/год. (Данная оценка является верхней оценкой для галактики Id3. Кроме того здесь не учитывается зависимость частоты от  $z$ , что при качественной оценке не столь важно.) Если считать, что вспышки сверхновых в галактике — это случайные события, тогда длительность ожидания между двумя последовательными событиями распределена по экспоненциальному закону, и вероятность появления двух сверхновых через полгода составит порядка 20%. Таким образом, вспышка сверхновых с интервалом полгода в галактике Id3 не противоречит гипотезе о том, что родительская галактика Id3 является неправильной

**Таблица 6.** Сравнение параметров родительских галактик тёмных гамма-всплесков. Первая колонка содержит имя всплеска, с которым ассоциируется галактика, индекс <sup>s</sup> означает короткий всплеск; вторая — наличие рентгеновского, оптического и радио послесвечений гамма-всплеска (“n” означает, что наблюдения в этом диапазоне не проводились); третья — спектральный индекс (из работы [26]); четвёртая — красное смещение, индекс <sup>p</sup> показывает, что данное значение красного смещения было получено фотометрическим методом; пятая — блеск родительской галактики в фильтре R; шестая — информация о цвете галактики; седьмая — собственное поглощение в галактике; восьмая — абсолютная звёздная величина галактики в фильтре R; девятая — скорость звездообразования; десятая — источник информации (\* — данная работа)

GRB	X O R	$\beta_{OX}$	$z$	$m_R$	Цвет	$A_V,^m$	$M_R,^m$	SFR, $M_\odot/\text{год}$	ссылка
970828	+ - +	0.09	0.96	25.2	$R - K \sim 3.7$	—	-19.63	$\sim 1.2$	[47]
990506	n - +	$< 0.06$	1.31	24.3	—	$> 1$	-20.53	12.6	[48]
000210	+ + -	0.44	0.85	25.0	$R - K \sim 2.5$ $V - I \sim 1.7$	$\sim 0$	-12.16	$\sim 2.1$	[49]
020819	n - +	—	0.41	23.46	$R - K \sim 2.7$	$\sim 1$	-22.25	$< 40$	[50]
051008	+ - -	$< 0.18$	1.07 <sup>p</sup>	23.92	$V - I \sim 1.0$	1.2	-19.61	$\sim 6.2$	*
051022	+ - +	$< -0.11$	0.81	21.5	$R - K \sim 3.3$ $V - I \sim 1.1$	1.0	-21.8	$\sim 50$	[51]
060210	+ + -	0.37	3.91	24.27	$R - I = -0.13$	1.21	-23.44	—	[52]
060923A	+ + +	0.38	$< 5^p$	25.5	—	—	—	—	[?] ]
061210 <sup>s</sup>	+ - -	0.48	0.41	$\sim 21$	—	—	-20.7	1.2	[54]
070306	+ + -	0.33	1.50	$\sim 23$	$R - K \sim 1.5$	$\leq 0.45$	-22.2	$\sim 7.3$	[55]
070521	+ + n	$< -0.10$	0.55	—	$V - I = 0.72$	—	—	—	[52, 56]
070724A <sup>s</sup>	+ - -	0.48	0.46	20.53	—	—	-21.5	2.5	[54]
070802	+ + n	0.46	2.45	25.03	$R - K \sim 3.3$	$< 1.5$	-21.0	—	[57]

галактикой. С другой стороны, наблюдение поярчания через полгода после классического длинного гамма-всплеска GRB 051008 не противоречит нашему предположению о вспышке сверхновой, независимой от самого гамма-всплеска.

По спектру рентгеновского послесвечения Эвансом и др. [34] было определено количество водорода на луче зрения в родительской галактике GRB 051008:  $N_H = (3.15 \pm 0.35) \times 10^{21} \text{см}^{-2}$ . Используя соотношение для собственного поглощения в галактике из работы [35]:  $N_H(\text{см}^{-2}) = (2.21 \pm 0.09) \times 10^{21} A_V$ , получим значение  $A_V = 1^{m.42} \pm 0^{m.35}$ , что в пределах ошибок согласуется со значением, полученным с помощью пакета *HyperZ*, определённого для  $z_2^{\text{phot}} = 1.07 \pm 0.13$ :  $A_V^{\text{HyperZ}} = 1^{m.2} \pm 0^{m.2}$ .

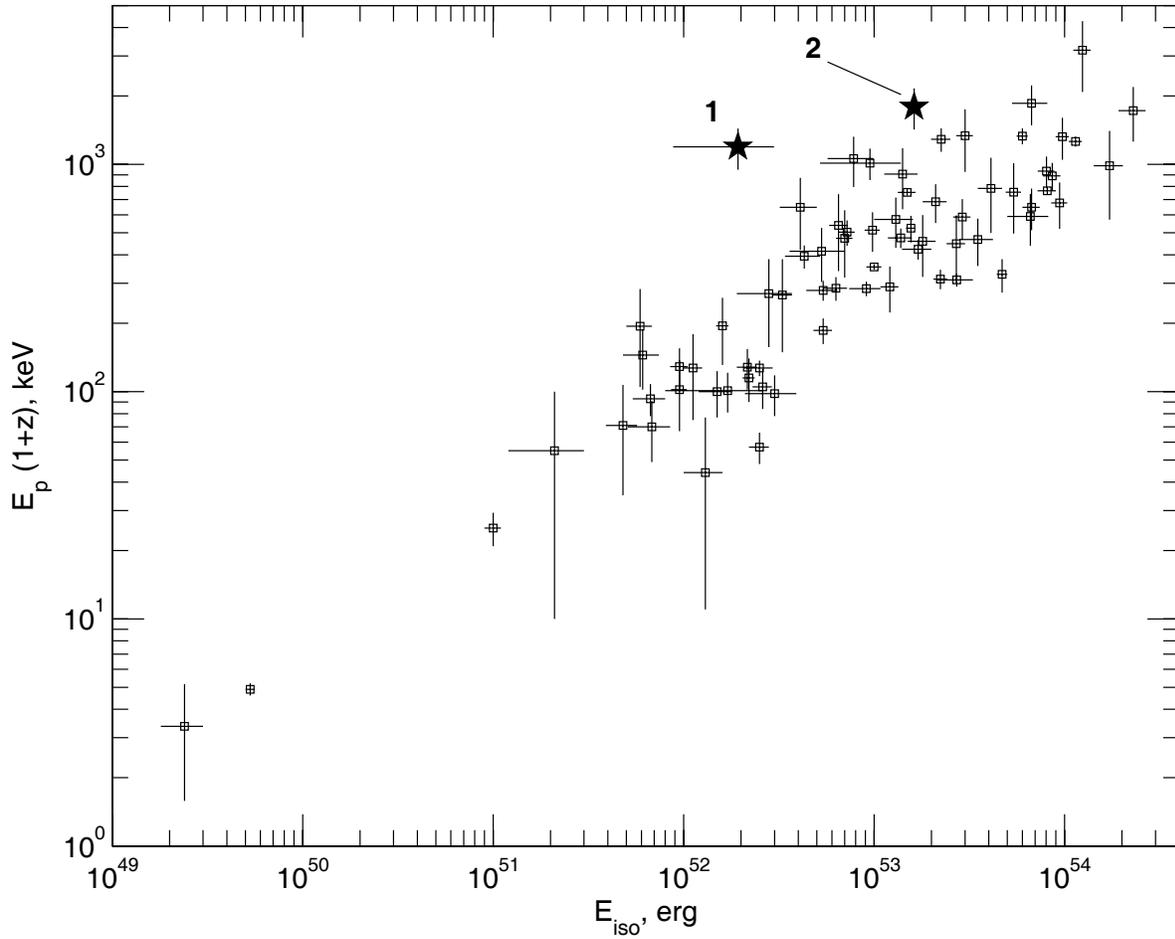
Оценим скорость звездообразования в галактике по её светимости в ультрафиолетовом диапазоне [36]. При  $z = 1.07$  ультрафиолетовый диапазон смещён в видимую область спектра:

$2800 \text{ \AA} (z + 1) = 5796 \text{ \AA}$ , что приблизительно соответствует фильтру V. Если считать, что возраст галактики много больше среднего времени жизни массивных звёзд ( $M_{ms} > 10 M_\odot$ ,  $t_{ms} \lesssim 2 \times 10^7$  лет), то для оценки скорости звездообразования справедлива формула (2) из работы [36]. Для начальной функции масс Солпитера  $\phi(m) \propto m^{-2.35}$  получаем оценку  $\text{SFR}(\text{Id3}) = 6.2_{-2.3}^{+3.2} M_\odot/\text{год}$ .

#### 4. СВОЙСТВА ИСТОЧНИКА ВСПЛЕСКА GRB 051008

По данным рентгеновского телескопа XRT<sup>5</sup> была построена рентгеновская кривая блеска послесвечения GRB 051008, и сделана аппроксимация кривой блеска степенным законом с изломом (см.

<sup>5</sup>[http://www.swift.ac.uk/xrt\\_curves/00158855/flux.qdp](http://www.swift.ac.uk/xrt_curves/00158855/flux.qdp)



**Рис. 4.** Диаграмма Аматти [42]—зависимость энергии, соответствующей максимуму в спектре в системе отсчёта источника,  $E_p(1+z)$ , от эквивалентной изотропной энергии излучения,  $E_{iso}$ . Закрашенными звёздочками отмечены точки, соответствующие двум значениям красного смещения источника всплеска GRB 051008 (см. Табл. 5).

напр. [37]):

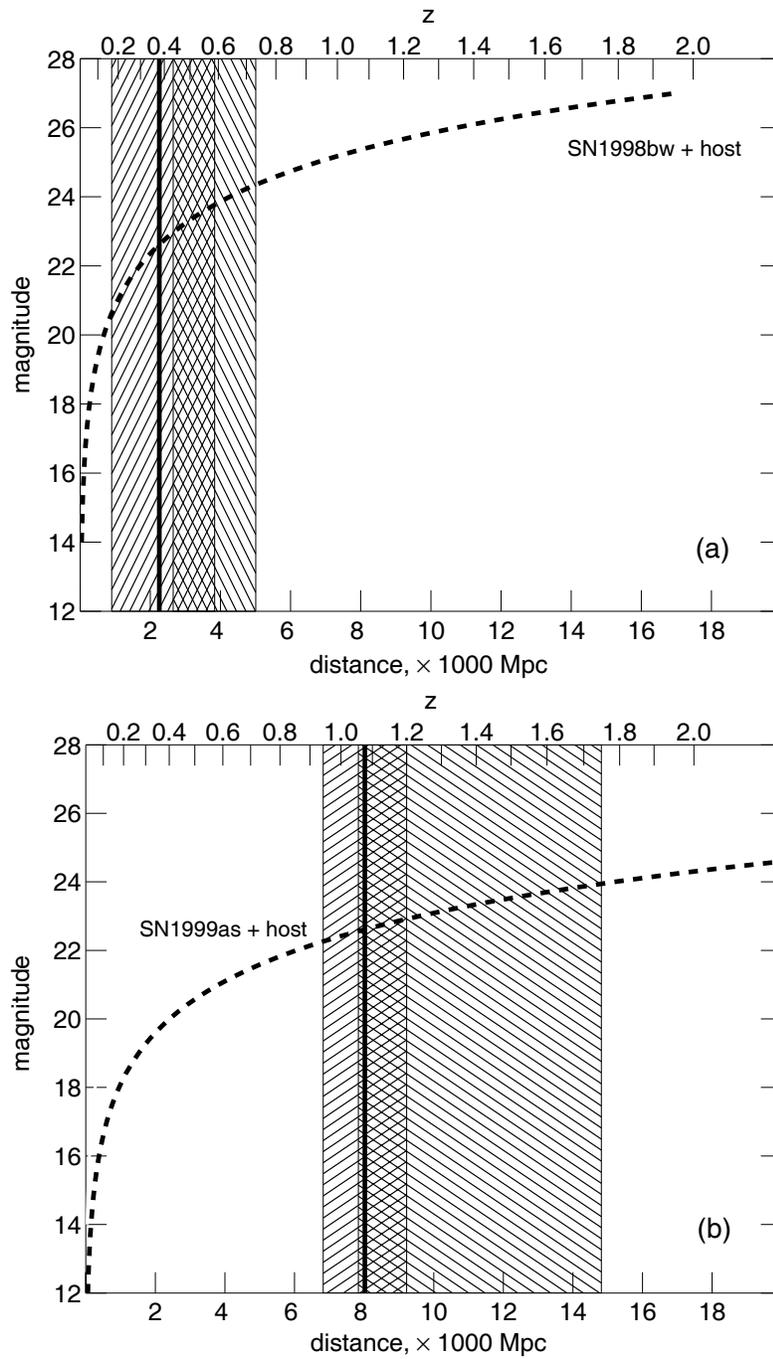
$$F = F_0 \left[ \left( \frac{t}{t_{jb}} \right)^{\alpha_1 w} + \left( \frac{t}{t_{jb}} \right)^{\alpha_2 w} \right]^{-1/w}, \quad (3)$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — начальный и конечный индексы уменьшения потока со временем,  $t_{jb}$  — время, соответствующее излому на кривой блеска,  $w$  — параметр, отвечающий за крутизну излома и  $F_0$  — нормировочный коэффициент. Кривая блеска с аппроксимацией показана на Рис.2. По результатам аппроксимации были получены следующие значения параметров:  $t_{jb} = 0.17 \pm 0.01$  дня,  $\alpha_1 = 0.66 \pm 0.09$ ,  $\alpha_2 = 2.04 \pm 0.08$ . Значение времени, соответствующее излому, согласуется в пределах ошибок со значением, полученным Ракузин с соавторами для этого всплеска [38]:  $t_{jb} = 0.19 \pm 0.04$  дня. Также оно согласуется со значением, полученным Лиангом и др. [37]:  $t_{jb} = 0.17 \pm 0.04$  дня. В общепринятой модели послесвечения релятивистский джет с гамма-фактором  $\Gamma$  и углом раствора конуса  $\theta = 0.01-0.1$

направлен в сторону наблюдателя. Степенная кривая блеска послесвечения испытывает излом, когда наблюдатель начинает видеть все основание конуса джета, в то время как до излома была видна лишь часть основания конуса, т.е. тогда, когда угол раствора конуса излучения релятивистских электронов  $1/\Gamma$  становится больше  $\theta$  (см., например, [39]). Время появления излома  $t_{jb}$  позволяет оценить угол раствора конуса джета [40]. Если время излома  $t_{jb} \sim 0.17$  действительно связано с геометрическим фактором, рассмотренным выше, то это время оказывается одним из самых ранних в кривых блеска послесвечения гамма-всплесков эпохи обсерватории *Swift* [41].

С помощью значений красного смещения по формуле из работы [37] была оценена эквивалентная изотропная энергия излучения для источника всплеска:

$$E_{iso,\gamma} = \frac{4\pi D_L^2 S_\gamma}{1+z} \quad (4)$$



**Рис. 5.** Соотношение поярчения источника Id3, обнаруженное 28 апреля 2006 г. (см. Табл. 3) с возможными значениями красного смещения и возможными проявлениями сверхновой. На каждом из рисунков диапазон  $z$ , заштрихованный с левым наклоном соответствует возможному  $z \pm \Delta z$ , на котором сверхновая дала бы вклад в наблюдаемый блеск галактики в  $\sim 1^m$ . В случае  $z_1$  (a) это сверхновая, подобная 1998bw, в случае  $z_2$  (b) — сверхновая, подобная 1999as. Диапазон  $z$ , заштрихованный с правым наклоном соответствует значению  $z \pm \Delta z$ , полученному фотометрическим методом. Жирные вертикальные линии соответствуют лучшему значению фотометрического красного смещения. Пунктирными кривыми показано значение максимальной наблюдаемой звёздной величины сверхновых 1998bw (a) и 1999as (b), сдвинутой на различные  $z$ . Галактическое поглощение учтено; поглощение в родительской галактике  $A_V(z_1) = 0$ ,  $A_V(z_2) = 1.2$  не учитывалось.

Здесь  $D_L$  — модуль расстояния,  $S_\gamma$  — поток в гамма-диапазоне,  $z$  — красное смещение источника всплеска. Величина  $D_L$  вычислена с использованием космологических параметров  $H_0 = 70$  км/с/Мпк,  $\Omega_M = 0.3$ ,  $\Omega_\Lambda = 0.7$ . Значение эквивалентной изотропной энергии излучения составляет  $E_{iso}(1) = (1.93 \pm 1.05) \times 10^{52}$  эрг и  $E_{iso}(2) = (16.2 \pm 0.38) \times 10^{52}$  эрг и является нижней оценкой; здесь и далее цифры в скобках обозначают, что при расчётах выбиралось, соответственно, первое или второе возможные решения для  $z$  из Таблицы 5. Значение энергии, излучаемой только в гамма-диапазоне, можно оценить, зная  $E_{iso}$  и телесный угол, занимаемый джетом. Для вычисления угла раствора конуса джета источника гамма-всплеска GRB 051008 была использована формула из статьи Лианга и др. [40], связывающая этот параметр с энергией изотропной излучения  $E_{iso}$ , космологическим красным смещением  $z$ , временем излома на кривой блеска послесвечения  $t_{jb}$ :

$$\theta_j \sim 0.17 \left( \frac{t_{jb}}{1+z} \right)^{3/8} \left( \frac{E_{K,iso,52}}{n} \right)^{-1/8}. \quad (5)$$

Здесь  $n$  — плотность среды,  $E_{K,iso,52}$  — полная изотропная кинетическая энергия выброса, выраженная в единицах  $10^{52}$  эрг. Последняя величина связана с эквивалентной изотропной энергией излучения простым соотношением  $E_{iso} = \xi E_{K,iso}$ , где  $\xi$  — коэффициент трансформации кинетической энергии выброса в энергию излучения, зависящий от среды, окружающей источник гамма-всплеска. Примем плотность среды равной  $n = 0.1$  и коэффициент  $\xi = 0.1$ . Из оценок красного смещения, времени излома на кривой блеска и значения эквивалентной изотропной энергии получим оценку для угла раствора конуса джета:  $\theta_j(1) = 2^\circ.30 \pm 0^\circ.35$ ,  $\theta_j(2) = 1^\circ.51 \pm 0^\circ.09$ . С учётом этих значений оценка для полной энергии гамма-излучения будет следующей:  $E_\gamma(1) = 1.94 \pm 0.57 \times 10^{48}$  эрг и  $E_\gamma(2) = 7.06 \pm 0.95 \times 10^{48}$  эрг. Используя значение пиковой энергии в спектре всплеска, полученное экспериментом *KONUS-Wind*  $E_p = 865 \pm 178$  кэВ, можно нанести параметры всплеска GRB 051008 на диаграмму Амати [42] — эмпирическую диаграмму корреляции пиковой энергии в спектре и эквивалентной изотропной энергии (Рис. 4).

## 5. ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Как видно из Таблицы 5, задача о нахождении фотометрического красного смещения источника всплеска GRB 051008 имеет два решения. Однако поярчание родительской галактики Id3 примерно

на  $1^m$ , отмеченное 28 апреля 2006 года, накладывает дополнительные ограничения на диапазон возможных красных смещений источника.

Рассмотрим сначала решение номер 1 ( $z_1^{phot} = 0.38 \pm 0.21$ ). Если предположить, что в галактике Id3 вспыхнула сверхновая типа SN 1998bw ( $M_R^{max} = -19^m.15$  [43]), то в предположении, что галактика вместе со сверхновой в своём максимуме станет ярче на 1 звёздную величину, можно получить ограничение на диапазон красных смещений, на которых эта галактика может находиться:  $0.43 < z_1^{SN} < 0.73$  (с учётом ошибок фотометрии). Это согласуется с диапазоном значений  $z$ , полученным фотометрическим способом:  $0.17 < z_1^{phot} < 0.59$  (см. Табл. 5, Рис.5а).

Теперь рассмотрим второе решение ( $z_2^{phot} = 1.07 \pm 0.13$ ). Параметры галактики и источника всплеска (абсолютная звёздная величина, размер, галактики, эквивалентная изотропная энергия излучения и проч.) не противоречат современной статистике по этим параметрам среди других всплесков. Если предположить, что эта галактика имеет красное смещение  $0.94 < z_2^{phot} < 1.20$ , то для получения поярчания галактики на  $\sim 1^m$  необходим вклад сверхновой с  $M_R^{max} \leq -20^m.2$ . Это также не противоречит наблюдениям: в настоящее время открыты более мощные сверхновые типа Ic, напр., SN 1999as [44], которая имела в максимуме блеск ярче  $M = -21^m.4$ . Если предположить, что в галактике Id3 в момент поярчания 28 апреля 2006 наблюдалась подобная сверхновая в максимуме излучения, то возможное красное смещение галактики составит:  $1.05 < z_2^{SN} < 1.75$  (Рис. 5б).

В пользу решения  $z_2$  говорит тот факт, что красные смещения других трёх исследуемых галактик (Ids 1,2 и 4, см. Табл.5, подчёркнутые значения) имеют значения, близкие к  $z_2$ :  $0.82 < z_{Id1} < 1.02$ ,  $0.73 < z_{Id2} < 1.39$  и  $0.65 < z_{Id4} < 1.15$  — это подтверждает гипотезу о нахождении галактик Id1–4 в кластере. Эквивалентная изотропная энергия излучения всплеска, угол раствора конуса джета, вычисленные для  $z_2$ , согласуются в пределах ошибок со средними статистическими значениями этих параметров для других всплесков. Также согласуются значения собственного поглощения  $A_V$ , полученные разными способами (см. п. 3).

Бергер с соавторами [45, Рис. 9] построили эмпирическую зависимость видимой звёздной величины галактики от её красного смещения для приблизительно 100 галактик поля, наблюдаемых на космическом телескопе им. Хаббла. Оба полученные нами решения  $z_1$  и  $z_2$  удовлетворяют этой зависимости. Позаненко и др. [46] построили

аналогичную зависимость для примерно 30 родительских галактик длинных гамма-всплесков. При нанесении на неё решений  $z_1$  и  $z_2$  второе является предпочтительным.

Положение GRB 051008 на диаграмме Аматри (Рис. 4) также свидетельствует в пользу решения  $z_2$ : положение, соответствующее на диаграмме второму решению, хорошо ложится на общую зависимость, тогда как точка, соответствующая первому решению, отклоняется от неё более чем на 3 стандартных отклонения.

И, наконец, отсутствие признака сверхновой после гамма-всплеска (см. п.2) и отсутствие радиоизлучения [25] также говорят в пользу более далёкого расположения галактики  $z_2 = 1.07$ , хотя эти факты не могут служить надёжными индикаторами расстояния.

В Таблице 6 представлены характеристики тёмных всплесков, открытых до конца 2007 года (из статьи Женга и др. [26]), для которых были найдены родительские галактики. Представлены параметры галактик: красное смещение, видимая и абсолютная звёздные величины в фильтре R, информация о цвете, собственное поглощение и темп звездообразования.

Из сравнения GRB 051008 с другими тёмными всплесками видно, что на сегодняшний день он является одним из самых тёмных всплесков ( $\beta_{OX} < 0.18$ ), для которых найдена родительская галактика. Родительская галактика всплеска имеет красное смещение  $z = 1.07 \pm 0.13$ . Гипотеза о том, что галактика является неправильной, не противоречит наблюдательным данным (частоте вспышек сверхновых). Также родительская галактика испытывает вспышку звездообразования. Кроме того, галактика находится в окружении неправильных и массивных взаимодействующих галактик. Эквивалентная изотропная энергия излучения источника всплеска составляет порядка  $1.6 \times 10^{53}$  эрг, а угол раствора конуса джета  $\theta_j \simeq 1^\circ.5$ .

На основании фотометрической оценки красного смещения родительской галактики источника всплеска можно сделать вывод, что отсутствие оптического послесвечения не связано ни с большим красным смещением, ни со значительным поглощением в родительской галактике ( $A_V \simeq 1^m.2$ ). Проведённые исследования GRB 051008 говорят скорее в пользу того, что его источник находится в плотном газо-пылевом облаке, либо его собственное послесвечение является слабым.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность С.Н. Додонову, Т.А. Фатхулину и В.М. Лозникову за обсуждение работы, а также анонимному рецензенту за замечания и предложения, способствовавшие

существенному улучшению статьи. Работа поддержана программой РАН “Происхождение, строение и эволюция объектов во Вселенной”. Х.Г. и А.К.-Т. были поддержаны испанскими программами ESP2005-07714-C03-03, АYA2007-63677, АYA2008-03467/ESP и АYA2009-14000-C03-01. Данные, представленные в статье, были частично получены с помощью камеры ALFOSC, которая принадлежит Институту Астрофизики Андалусии (IAA) и установлена на телескопе Nordic Optical Telescope по соглашению между IAA и NBI/AFG Астрономической Обсерватории Копенгагена.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. Sari, T. Piran, and R. Narayan, *Astrophys. J.* **497**, L17 (1998).
2. P. Jakobsson, J. Hjorth, J.P.U. Fynbo, et al., *Astrophys. J.* **617**, L21 (2004).
3. G.B. Taylor, D.A. Frail, S.R. Kulkarni, et al., *Astrophys. J.* **502**, L115 (1998).
4. T. Galama and R.A.M. Wijers, *Astrophys. J.* **549**, L209 (2001).
5. D.Q. Lamb and D.E. Reichart, *Astrophys. J.* **536**, 1 (2000).
6. M. Frnax, I. Labbé, G. Rudnick, et al., *Astrophys. J.* **587**, L79 (2003).
7. J.P.U. Fynbo, P. Jakobsson, P. Möller, et al., *Astronom. and Astrophys.* **406**, L63 (2003).
8. L. Moustakas, S. Casertano, C.J. Conselice, et al., *Astrophys. J.* **600**, L131 (2004).
9. D.H. Hughes, S. Serjeant, J. Dunlop, et al., *Nature* **394**, 241 (1998).
10. E. Berger, R. Chary, L.L. Cowie, et al., *Astrophys. J.* **665**, 102 (2007).
11. F. Marshall, S. Barthelmy, J. Cummings, et al. *GCN Circ.* №.4069 (2005).
12. A. Parsons, L. Barbier, and S. Barthelmy, *GCN Circ.* №.4075 (2005).
13. S. Barthelmy, L. Barbier, and J. Cummings, *GCN Circ.* №.4077 (2005).
14. M. Ohno, T. Takahashi, Y. Fukazawa, et al., *GCN Circ.* №.4297 (2005).
15. S. Golenetskii, R. Aptekar, E. Mazets, et al., *GCN Circ.* №.4078 (2005).
16. Y. Kaneko, R.D. Preece, M.S. Briggs, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **166**, 298 (2006).
17. M. Perri, M. Capalbi, and D.N. Burrows, *GCN Circ.* №.4071 (2005).
18. N.R. Butler, *Astronom. J.* **133**, 1027 (2007).
19. V. Rumyantsev, V. Biryukov, and A. Pozanenko, *GCN Circ.* №.4081 (2005).
20. А. Позаненко, В. Румянцев, М. Ибрагимов, и др., *Изв. КрАО* **103**, 48 (2007).
21. P. Roming, F. Marshall, and A. Blustin, *GCN Circ.* №.4070 (2005).
22. A. Breeveld, F. Marshall, and A. Blustin, *GCN Circ.* №.4079 (2005).
23. P. Ferrero and S. Klose, *GCN Circ.* No.4076 (2005).

24. D.A. Kann, P. Ferrero, B. Stecklum, et al., GCN Circ. №.4246 (2005).
25. P.B. Cameron, GCN Circ. No.4074 (2005).
26. W.-K. Zheng, J.-S. Deng, and J. Wang, Research in Astron. Astrophys. **9**, 1103 (2009).
27. D.J. Schlegel, D.P. Finkbeiner, and M. Davis, Astrophys. J. **500**, 525 (1998).
28. K.N. Abazajian, J.K. Adelman-McCarthy, M.A. Agueros, et al., Astrophys. J. Suppl. **182**, 543 (2009).
29. J.S. Bloom, S.R. Kulkarni, and S.G. Djorgovski, Astronom. J. **123**, 1111 (2002).
30. M. Bolzonella, J.-M. Miralles, and R. Pello, Astronom. and Astrophys. **363**, 476 (2000).
31. E.L. Wright, Publ. Astronom. Soc. Pacific **118**, 1711 (2006).
32. V.V. Sokolov, Bull. Spec. Astrophys. Obs. **51**, 38 (2001).
33. F. Mannucci, M. Della Valle, N. Panagia, et al., Astronom. and Astrophys. **433**, 807 (2005).
34. P.A. Evans, A.P. Beardmore, K.L. Page, et al., Monthly Notices Roy. Astronom. Soc. **397**, 1177 (2009).
35. T. Güver and F. Özel, Monthly Notices Roy. Astronom. Soc. **400**, 2050 (2009).
36. P. Madau, L. Pozzetti, and M. Dickinson, Astrophys. J. **498**, 106 (1998).
37. E.-W. Liang, B.-B. Zhang, and B. Zhang, Astrophys. J. **670**, 565 (2007).
38. J.L. Racusin, E.W. Liang, D.N. Burrows, et al., Astrophys. J. **689**, 43 (2009).
39. J. Rhoads, Astrophys. J. **487**, L1 (1997).
40. E.-W. Liang, J.L. Racusin, B. Zhang, et al., Astrophys. J. **675**, 528 (2008).
41. D.A. Kann, S. Klose, B. Zhang, et al., eprint arXiv:0712.2186 (2007).
42. L. Amati, F. Frontera, M. Tavani, et al., Astronom. and Astrophys. **390**, 81 (2002).
43. T.J. Galama, P.M. Vreeswijk, J. van Paradijs, et al., Nature **395**, 670 (1998).
44. K. Hatano, D. Branch, K. Nomoto, et al., Bull. of the American Astron. Soc. **33**, 838 (2001).
45. E. Berger, D.B. Fox, P.A. Price, et al., Astrophys. J. **664**, 1000 (2007).
46. А. Позаненко, В. Румянцев, В. Лозников и др., Письма в АЖ **34**, 1 (2008).
47. S.G. Djorgovski, et al., Astrophys. J. **562**, 654 (2001).
48. J.S. Bloom, E. Berger, S.R. Kulkarni, et al., Astronom. J. **125**, 999 (2003).
49. J. Gorosabel, L. Christensen, J. Hjorth, et al., Astronom. and Astrophys. **400**, 127 (2003).
50. P. Jakobsson, D.A. Frail, D.B. Fox, et al., Astrophys. J. **629**, 45 (2005).
51. A.J. Castro-Tirado, M. Bermer, S. McBeen, et al., Astronom. and Astrophys. **475**, 101 (2007).
52. D.A. Perley, S.B. Cenko, J.S. Bloom, et al., Astronom. J. **138**, 1690 (2009).
53. A.J. Levan, N.R. Tanvir, and J. Gorosabel, GCN Circ. No.5673 (2006).
54. E. Berger, Astrophys. J. **690** 231 (2009).
55. A.O. Jaunsen, E. Rol, D.J. Watson, et al., Astrophys. J. **681**, 453 (2008).
56. T. Hattori, K. Aoki, and N. Kawai, GCN Circ. №.6444 (2007).
57. A. Eliasdottir, J.P.U. Fynbo, J. Hjorth, et al., Astrophys. J. **697**, 1725 (2009).

## HOST GALAXY OF THE DARK GAMMA-RAY BURST GRB 051008

**A.A. Vol'nova, A.S. Pozanenko, V.V. Romyantsev, V.V. Biryukov, M.A. Ibragimov, D.A. Sharapov, D.A. Kann, A.J. Castro-Tirado, J. Gorosable, A. de Ugarte Postigo**

We present observations of the dark Gamma-Ray Burst GRB 051008, the burst detected only in gamma- and X-rays but without any optical and radio afterglows. We identified the host galaxy of the burst, it has the R-magnitude of  $23^m.92 \pm 0^m.07$ . The photometrical redshift of the galaxy is  $z = 1.07 \pm 0.13$ . We produce arguments in favor of the hypothesis that the galaxy is situated in a cluster. This is one of a few cases of the dark GRB host detection. We present details of observations, intrinsic properties of the host and its environment. We also discuss the place of GRB 051008 and its host galaxy among other known dark GRBs.

Key words: *gamma-ray burst: individual*