

УДК 524.352-732/735

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ СКОРОСТЕЙ ОБОЛОЧЕК МАССИВНЫХ СВЕРХНОВЫХ

© 2010 А. С. Москвитин<sup>1</sup>, Э. Сонбас<sup>2</sup>,  
В. В. Соколов<sup>1</sup>, Т. А. Фатхуллин<sup>1</sup>, А. Х. Кастро-Тирадо<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

<sup>2</sup>University of Adiyaman, Department of Physics, 02040 Adiyaman, Turkey

<sup>3</sup>Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), P.O. Box 03004, 18080 Granada, Spain

Поступила в редакцию 24 августа 2009 г.; принята в печать 11 ноября 2009 г.

В работе моделируются спектры двух сверхновых SN 2008D и SN 2006aj, связанных с рентгеновской вспышкой XRF 080109 и гамма-всплеском GRB/XRF 060218. Наблюдения были проведены на 6-метровом телескопе CAO РАН (БТА) через 6.48 и 27.62 дня после взрыва SN 2008D и через 2.55 и 3.55 дня после взрыва SN 2006aj. Спектры были интерпретированы в приближении Соболева с помощью кода SYNOW. Предположение о наличии остатков массивной оболочки вокруг звезд-прародительниц подтверждается согласием скоростей по линиям, отождествленным как водородные и гелиевые, с эмпирическим степенным законом уменьшения скоростей со временем для оболочек классических массивных сверхновых. Решающим аргументом в пользу этой гипотезы может стать обнаружение P Cug-профиля линии H $\beta$  в спектрах оптических послесвечений гамма-всплесков.

Ключевые слова: рентгеновские и гамма-источники

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Современная классификация массивных сверхновых с коллапсирующим ядром разделяет их на несколько подтипов. Если в спектрах обнаруживаются линии водорода, сверхновая относится ко II типу. Форма кривой блеска определяется особенностями рекомбинации водорода в оболочках. Если же звезда теряет свою водородную оболочку, но гелиевая еще проявляется в спектрах, то сверхновая классифицируется как Ib. Следы рекомбинации водорода на кривой блеска отсутствуют, а ее форма определяется нагревом излучающего вещества в результате распада  $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$ , зависящим от энергии взрыва. Если же гелиевая оболочка потеряна и в спектрах заметны линии только более тяжелых элементов (O, Mg, Si, S, Ca, Fe), то сверхновая классифицируется как Ic. Подтипы сверхновых различаются энергией взрыва, а следовательно, и скоростью разлета вещества в оболочках.

Поскольку в некоторых случаях классификация зависит от фазы, в которой находится сверхновая в момент наблюдения, вводятся промежуточные классы: Ib/c (появление слабых линий гелия в поздних спектрах), Ib (исчезновение линий водорода в поздних спектрах). Можно представлять

классификацию массивных сверхновых как множество промежуточных подтипов, зависящих от начальных параметров звезды-прародительницы непрерывным образом.

В данной работе рассматривается проявление звездно-ветровой оболочки вокруг звезд-прародительниц рентгеновской вспышки XRF 080109 и гамма-всплеска с сильной рентгеновской компонентой GRB / XRF 060218. В спектрах и кривых блеска обоих событий были замечены признаки сверхновых (SN), что позволило исследовать эти явления с самого начала взрыва (в отличие от большинства сверхновых, которые обнаруживаются в моменты, близкие к “классическому” максимуму кривой блеска). Исследование подобного рода явлений позволяет ближе подойти к разгадке механизма взрыва сверхновых и возникновения гамма-всплесков.

9.57 января 2008 года (все даты даны в UT) рентгеновским телескопом XRT, установленном на борту космической обсерватории *Swift*, была зарегистрирована рентгеновская вспышка XRF 080109. Рентгеновское излучение детектировалась в течение приблизительно 15 минут [1, 2]; гамма-квантов телескопом BAT обнаружено не было. На многоцветных кривых блеска проявления прохождения ударной волны (UB) сквозь оболочку

наблюдалось в течение нескольких дней [2, 3]. В кривых блеска и спектрах послесвечения были явно видны признаки сверхновой, обозначенной SN 2008D.

Почти двумя годами раньше (18.149 февраля 2006 года) та же космическая платформа *Swift* обнаружила пекулярный гамма-всплеск с признаками СН в спектрах и в кривой блеска послесвечения: GRB/XRF 060218/SN 2006aj. Для этого события впервые наблюдалось прохождение УВ сквозь ветровую оболочку, окружающую массивную звезду-прародительницу сверхновой, что проявлялось в виде тепловой компоненты в рентгеновском спектре, наблюдавшейся первые 2 часа, а затем в виде мощной ультрафиолетовой вспышки, максимум которой наблюдался через 11 часов после всплеска [4, 5]. На оптической кривой блеска прохождение УВ проявилось в виде относительно короткого пика продолжительностью несколько дней [5, 6].

В обоих случаях момент начала регистрации рентгеновской вспышки и/или гамма-всплеска принимается в качестве начала взрыва сверхновой.

Статья организована следующим образом: спектральные наблюдения и начальная обработка данных описаны в разделе 2; интерпретация полученных спектров с помощью кода SYNOW содержится в разделе 3; сравнение полученных скоростей расширения фотосфер и оболочек с аналогичными скоростями сверхновых, не проявивших связи с гамма-всплесками и рентгеновскими вспышками, показано в разделе 4; выводы обсуждаются в последнем разделе 5.

## 2. СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Наблюдения оптических послесвечений XRF 080109 и GRB/XRF 060218 проводились с помощью фокального редуктора *SCORPIO*, установленного в первичном фокусе БТА. В качестве диспергирующего элемента была использована гризма VPHG550G, покрывающая спектральный диапазон 3500–7500 Å с разрешением (FWHM) 10 Å.

Для сверхновой SN 2008D было получено 2 спектра: 16 января и 6 февраля 2008 года (6.48 и 27.62 дня после взрыва). Для сверхновой SN 2006aj было также получено 2 спектра: 20 и 21 февраля 2006 года (2.55 и 3.55 дня после взрыва). Обработка данных была выполнена стандартным способом и включала в себя вычитание электронного нуля (аддитивной компоненты общего сигнала, производимой ПЗС-матрицей), коррекцию за плоское поле (выравнивание неоднородностей чувствительности матрицы), калибровку по длинам волн с помощью спектра сравнения Ne–Ar лампы,

коррекцию за атмосферную экстинкцию и калибровку по абсолютному потоку с использованием наблюдений спектрофотометрического стандарта в каждую из ночей. Помимо этого, из спектров SN 2008D был вычтен вклад родительской галактики, спектральное распределение энергии которой построено по областям, находящимся в непосредственной близости к сверхновой.

Наблюдаемые спектры были затем исправлены за поглощение в Галактике согласно картам распределения пыли [7]. При учете поглощения была принята модель экрана для распределения пыли (dust-screen model), при этом выражение для учета экстинкции имеет вид  $F_{int}(\lambda) = F_{obs}(\lambda)10^{0.4 \times k(\lambda)E(B-V)}$ , где  $F_{int}(\lambda)$  и  $F_{obs}(\lambda)$  — испускаемый (без поглощения) и наблюдаемый потоки соответственно. Кривая экстинкции Млечного пути  $k(\lambda)$  была взята из работы [8]. Спектры SN 2008D были также исправлены за поглощение в родительской галактике, согласно данным [3]. Поглощение в родительской галактике SN 2006aj пренебрежимо мало [9].

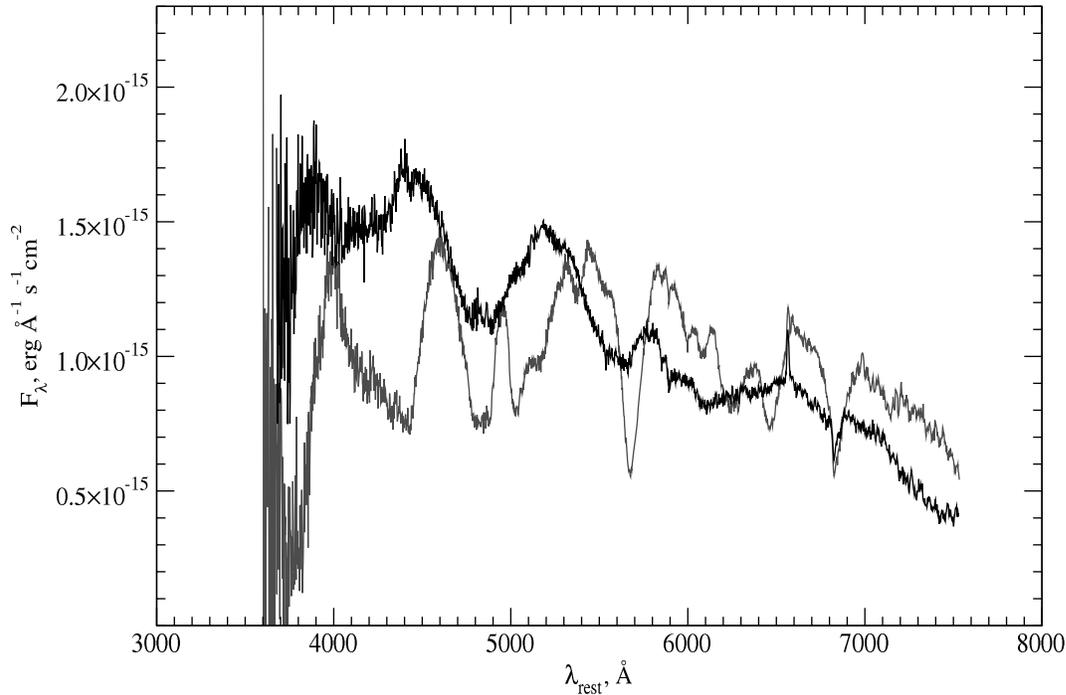
Перед интерпретацией спектры были перенесены в системы отсчёта, связанные с гамма-всплеском или рентгеновской вспышкой ( $z = 0.0331$  для GRB/XRF 060218 и  $z = 0.007$  для XRF 080109, см. Рис. 1). Красные смещения оценены по смещению галактических эмиссионных линий и согласуются с данными, опубликованными в литературе.

## 3. СРАВНЕНИЕ НАБЛЮДАЕМЫХ СПЕКТРОВ С СИНТЕТИЧЕСКИМИ

Для детальной интерпретации наблюденных спектров был использован многопараметрический код SYNOW [10], ранее использовавшийся для анализа спектров массивных сверхновых [11–13]. Алгоритм кода основывается на следующих приближениях: сферическая симметрия; последовательное расширение слоев ( $v \sim r$ ); резкая граница фотосферы, излучающей чернотельный спектр и ассоциируемой на ранних стадиях с УВ.

Код используется для идентификации линий и определения скоростей расширения слоев, в которых они формируются. Р Сугг-профили линий, наблюдаемые в спектрах сверхновых и моделируемые с помощью кода, по форме разделяются на 2 типа:

- линии, формирующиеся в слое, неотделенном от фотосферы;
- линии, возникающие в отделенном от фотосферы слое.



**Рис. 1.** Спектры сверхновой SN 2008D, полученные на БТА 16 января (черная линия) и 6 февраля (серая линия) 2008 г. спустя 6.48 и 27.62 дня после взрыва соответственно.

Для первого спектра SN 2006aj был использован вариант неотделенного слоя. Для второго спектра SN 2006aj и для обоих спектров SN 2008D применялся комбинированный вариант, при котором более легкие ионы оторваны от фотосферы, а тяжелые — нет. Выбор того или иного варианта определялся подгонкой параметров каждого иона к наблюдаемым спектральным деталям.

Модельные параметры входного файла и примеры интерпретации спектров сверхновых детально описаны в работах разработчиков кода [10–13].

### 3.1. Моделирование спектров сверхновой SN 2008D

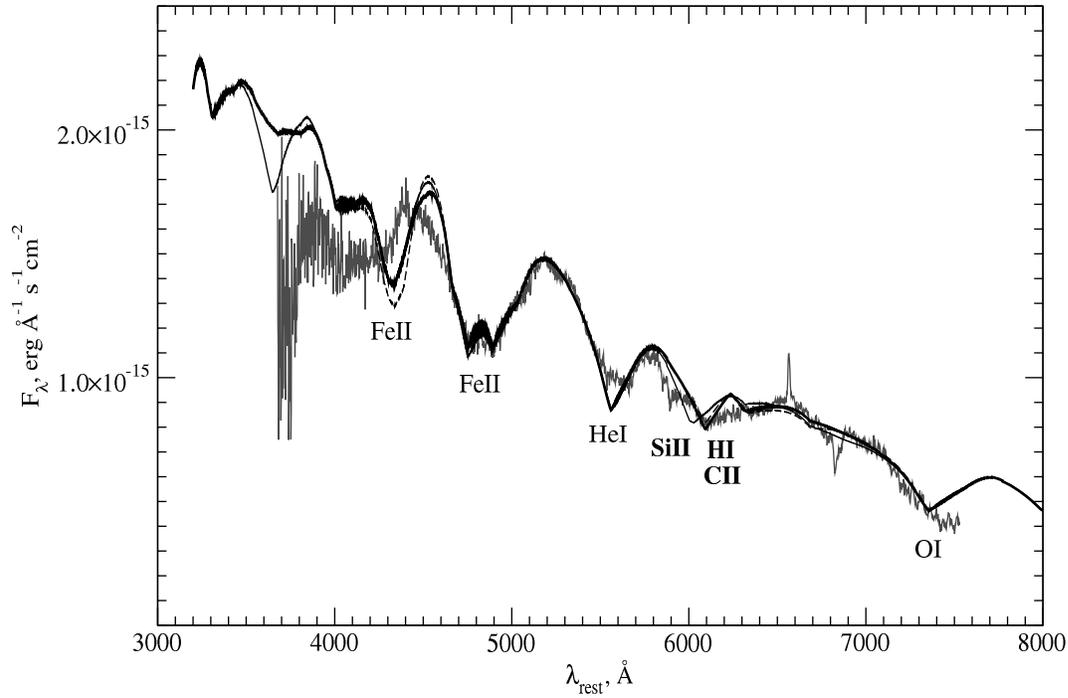
Главные абсорбционные детали заметны в обоих спектрах (см. Рис. 2 и 3) в виде P Cyg-профилей линий He I, Fe II, O I и, предположительно, H I (спектральная особенность около 6200 Å). Основные модели, которые учитывают H I в качестве кандидата, описывающего вышеупомянутую особенность, показаны толстой черной линией, а наблюдаемые спектры — тонкой серой зашумленной.

Первый спектр наилучшим образом описывается моделью со следующими параметрами: температура фотосферы  $T_{bb} = 8700$  К, скорость фотосферы  $V_{phot} = 17000$  км/с, максимальная скорость разлета вещества в оболочках  $V_{max} = 70000$  км/с. Параметры наилуч-

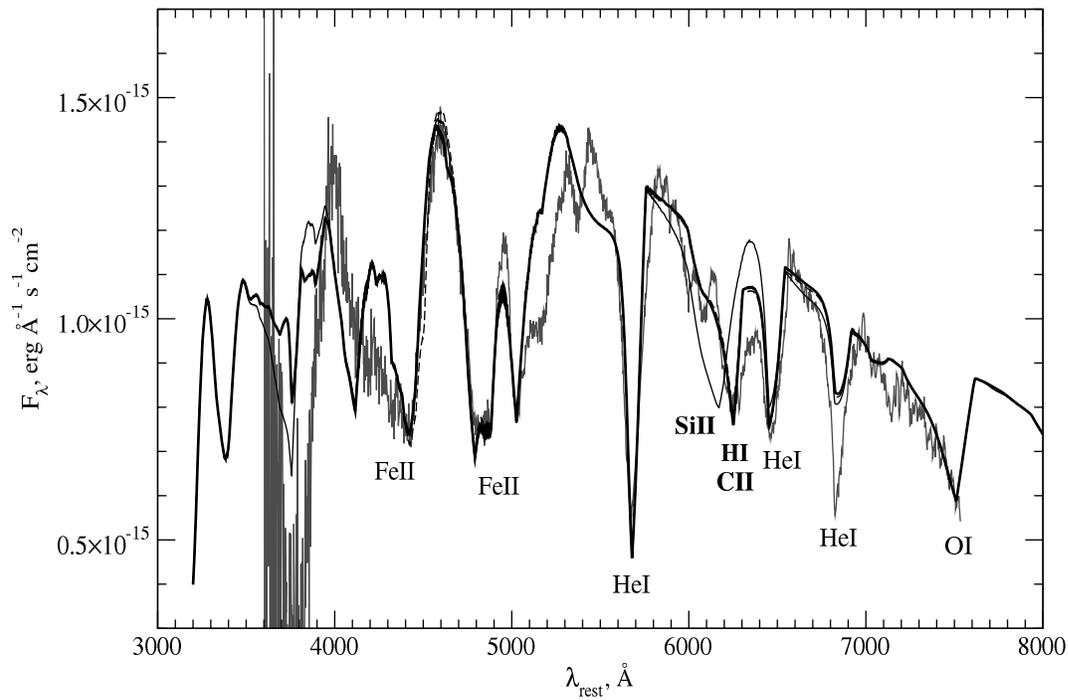
шей модели для второго спектра:  $T_{bb} = 6000$  К,  $V_{phot} = 8500$  км/с,  $V_{max} = 70000$  км/с.

Температура фотосферы оценивалась по наклону наблюдаемого спектра. Так как форма спектров сильно отличается от планковской кривой, в расчет сразу были включены ионы, описывающие основные спектральные детали. Скорость фотосферы принималась равной скорости линий ионизованного железа [13]. Максимальная скорость на верхней границе всех оболочек  $V_{max}$  оценивалась по синей части P Cyg-профилей линий. Оптическая толщина основной (референсной) линии [13] подбиралась так, чтобы максимально похоже описать абсорбционную часть P Cyg-профиля. Код позволяет применять один из двух законов уменьшения плотности вещества с расстоянием: степенной ( $\tau(r) \propto v(r)^{-n}$ , где  $v \sim r$ ) и экспоненциальный ( $\tau(r) \propto \exp(-v(r)/V_e)$ , где  $V_e$  — характерная скорость слоя, определяющая размеры оболочки и ширины абсорбций в наблюдаемом спектре). В расчетах был использован экспоненциальный закон. Параметры основных моделей, учитывающих водород, представлены в Таблице 1.

В качестве альтернативной интерпретации данной особенности мы рассмотрели модельные расчеты синтетических спектров, содержащих вместо линий H I линии Si II и C II. Эти ионы многократно упоминались в литературе по моделированию спектров SN типа Ib-c ([13, 14]. На Рис. 2 и 3



**Рис. 2.** Спектр сверхновой SN 2008D, полученный на БТА 16 января 2008 г. спустя 6.48 дня после взрыва (в системе координат, связанной с объектом,  $z = 0$ ) показан тонкой серой зашумленной линией; толстой черной линией показан модельный спектр, содержащий H I; тонкой прерывистой линией показан модельный спектр, содержащий C II вместо водорода; тонкой непрерывной черной линией — спектр, содержащий Si II вместо водорода.



**Рис. 3.** Спектр сверхновой SN 2008D, полученный на БТА 6 февраля 2008 г. через 27.62 дня после взрыва. Обозначения те же, что и на Рис. 2.

**Таблица 1.** Параметры моделей, лучше всего описывающие оба спектра SN 2008D. Параметры соответствуют моделям, отмеченным толстыми черными линиями на Рис. 2 и 3;  $\tau$  — оптическая толщина основной линии каждого иона;  $V_{min}$  — минимальная скорость слоя каждого из ионов;  $V_e$  — характерная скорость в используемом законе соотношения между оптической толщиной и скоростью расширения  $\tau(r) \sim \exp(-v(r)/V_e)$ , где  $v \sim r$ ;  $V_{phot}$  — скорость фотосферы;  $V_{max}$  — скорость на верхней границе всех оболочек;  $T_{bb}$  — чернотельная температура фотосферы, формирующей непрерывный спектр.

Параметры	Первый спектр (6.48 дня)				Второй спектр (27.62 дня)			
	HI	He I	Fe II	O I	HI	He I	Fe II	O I
$\tau$	0.4	0.5	1.0	0.5	0.5	3.0	2.0	0.3
$V_{min}$ , км/с	23000	17000	17000	17000	15000	10500	8500	10500
$V_e$ , км/с	8000	4000	3000	4000	3000	1000	3000	4000
$V_{phot}$ , км/с	17000				8500			
$V_{max}$ , км/с	70000				70000			
$T_{bb}$ , К	8700				6000			

тонкие черные непрерывные линии соответствуют моделям, учитывающим вместо водорода кремний:  $\tau = 0.005$ ,  $V_{min} = 17000$  км/с,  $V_e = 10000$  км/с для первого спектра (все остальные параметры те же, что и в модели, учитывающей водород) и  $\tau = 0.5$ ,  $V_{min} = 8500$  км/с,  $V_e = 5000$  км/с для второго спектра. Модели, учитывающие Si II ( $\lambda_{rest} = 6347 \text{ \AA}$ ) вместо HI, согласно современным представлениям о радиальной стратификации элементов [13], ограничены по скорости фотосферой и не могут описать наблюдаемые спектральные особенности около  $6200 \text{ \AA}$ .

Абсорбционная деталь около  $6200 \text{ \AA}$  может быть также объяснена присутствием C II с модельными параметрами  $\tau = 0.005$ ,  $V_{min} = 24000$  км/с,  $V_e = 10000$  км/с и  $\tau = 0.0008$ ,  $V_{min} = 16000$  км/с,  $V_e = 3000$  км/с для первого и второго спектров соответственно (тонкие прерывистые линии на Рис. 2 и 3).

Таким образом, Si II может быть исключен из расчетов для этих спектров SN 2008D. C II ( $\lambda_{rest} = 6580 \text{ \AA}$ ) остается возможной альтернативой для описания абсорбционной особенности около  $6200 \text{ \AA}$ . Указанная наблюдаемая деталь может быть блендой линий H $\alpha$  и C II. Очевидно, что для окончательного вывода требуются наблюдения с более высоким спектральным разрешением.

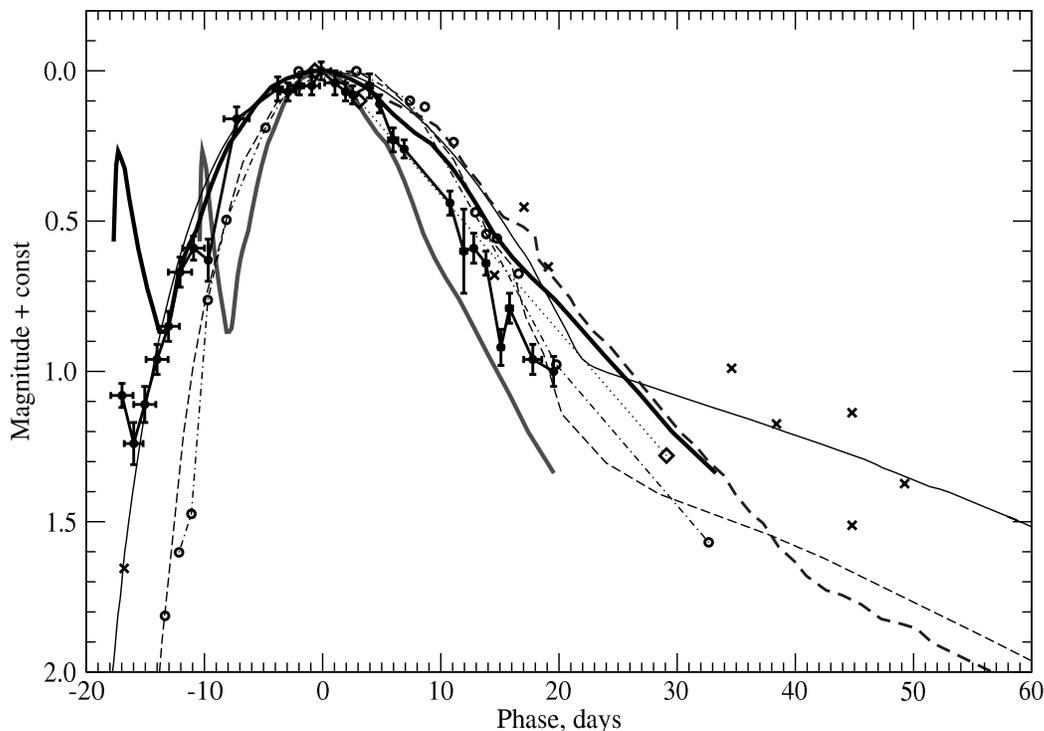
### 3.2. Моделирование спектров сверхновой SN 2006aj

Спектры SN 2006aj, полученные на БТА через 2.55 и 3.55 дня после гамма-всплеска были

моделированы с помощью кода SYNOW. Модельный спектр, наиболее удачно описывающий первый из наблюдаемых спектров получен при скорости расширения фотосферы  $33000$  км/с. Эта величина лежит в пределах ошибок измерения скорости расширения фотосферы, измеренной по данным *Swift/XRT/UVOT* ( $(2.7 \pm 0.8) \times 10^4$  км/с [4]). На момент начала наших спектральных наблюдений (приблизительно после последних наблюдений ультрафиолетовой вспышки на *Swift/UVOT*), скорость фотосферы осталась приблизительно той же. К тому же в раннем спектре заметна широкая депрессия континуума на длинах волн  $5900\text{--}6300 \text{ \AA}$  и едва обнаруживаемый избыток излучения на длинах волн  $6300\text{--}6900 \text{ \AA}$ , наиболее хорошо описываемые P Cyg-профилем линии H $\alpha$  с той же скоростью  $33000$  км/с. Мы использовали для подгонки различные модели случая неотделенных от фотосферы слоев, но скорости фотосферы и ионов оставались равными  $33000$  км/с. Параметры модели, подгонка наблюдаемого спектра и подробные комментарии приведены в работе [6].

Скорости, наиболее близко описывающие второй спектр (3.55 дня после всплеска) лежат в пределах  $18000 \text{ км/с} \leq \{V_{phot}, V_{min}\} \leq 24000 \text{ км/с}$ . Параметры модельного спектра, описывающего наблюдаемый спектр и выбранные значения модельных параметров приведены в работе [6].

Используя лучшие модели спектров сверхновых SN 2006aj и SN 2008D, мы оценили скорости расширения фотосфер, а также водородных и гелиевых оболочек для эпох наблюдений (см. Табл. 2). Наиболее ранние спектры SN 2006aj показывают одни из самых высоких наблюдаемых скоростей



**Рис. 4.** Сравнение кривых блеска в фильтре V следующих сверхновых: SN 1983N [15–17]; SN 1984L [17]; SN 1999dn [18]; SN 2000H [19]; SN 2008D [3]; SN 2006aj [6]. Серой толстой линией показана кривая блеска SN 2006aj без масштабирования по временной оси, черной толстой — та же кривая, масштабированная по оси времени с коэффициентом 1.7. Кривая блеска SN 2008D показана черной линией, соединяющей точки с барями.

расширения, порядка 0.1 скорости света. В работах [21] и [22] описаны подобные скорости расширения, наблюдаемые на ранних стадиях сверхновых типа Ic SN 2002ar и SN 2007gu, что подчеркивает наличие не уникального объекта, а целого класса объектов, которые могут показывать столь высокие скорости.

Мы сравнили скорости, полученные для SN 2008D и SN 2006aj, с эмпирическим законом уменьшения скоростей фотосфер и оболочек II сверхновых типа Ib из [11], применив коэффициент масштабирования для SN 2006aj, полученный на основе сравнения кривых блеска сверхновых выборки. Сравнение показано на Рис. 5 и 6.

#### 4. СКОРОСТИ ФОТОСФЕР И ОБОЛОЧЕК

Кривые блеска сверхновых типов Ib, Ic, Ib-с различаются в основном по абсолютным потокам, ширине “колоколообразного” пика вблизи главного максимума и поведением на поздних фазах вспышки. Однако формы кривых блеска различных сверхновых вблизи максимума схожи между собой. В работе [14] кривые различных сверхновых типа Ic были соотнесены между собой посредством масштабирования вдоль временной оси.

Мы применили ту же методику, сравнив кривые блеска SN 2008D и SN 2006aj в различных фильтрах с кривыми блеска сверхновых из работы [11]. В случае SN 2006aj мы применили коэффициент масштабирования 1.7 (см. Рис. 4). Кривые блеска сверхновых, не наблюдавшихся в фильтре V, мы сравнили по имеющимся данным в фильтрах B и R, что подтвердило правильность выбора коэффициента масштабирования кривой блеска SN 2006aj.

#### 5. ВЫВОДЫ

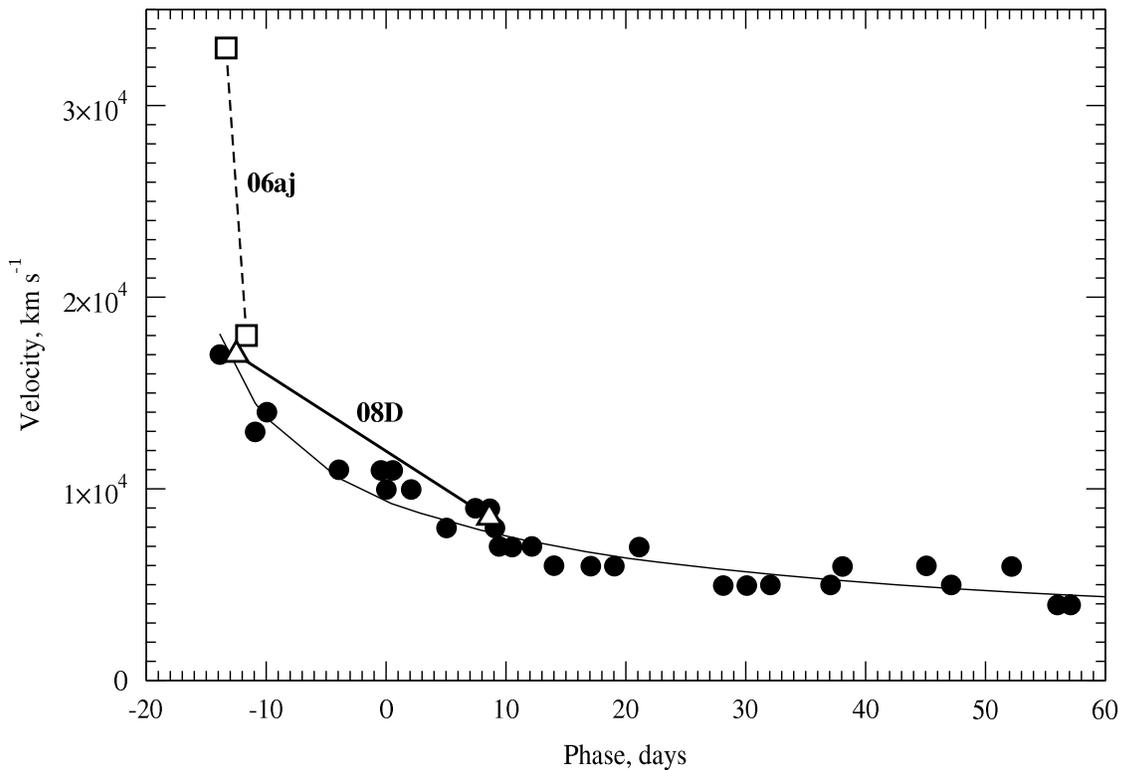
Согласие скоростей расширения фотосфер, а также гелиевых и водородных оболочек сверхновых, связанных с рентгеновской вспышкой XRF 080109 и гамма-всплеском GBR 060218, говорит в пользу схожей динамики взрывов гамма-всплесков и рентгеновских вспышек.

Сравнение с аналогичными скоростями классических сверхновых типа Ib, не сопровождавшихся гамма- и рентгеновскими вспышками, может указывать на общие свойства прародителей этих двух классов явлений и похожих механизмах взрыва.

Ранее было высказано предположение о наличии водорода в спектрах сверхновых типа Ib и

**Таблица 2.** Изменение скорости расширения фотосфер, а также водородных и гелиевых оболочек сверхновых SN 2006aj и SN 2008D после взрыва. Величины в скобках — время после максимума. Время наступления максимума для сверхновой SN 2006aj определено как 10.4 дня после взрыва (основываясь на кривой блеска в фильтре V) [9], для SN 2008D — 19 дней [20].

	SN 2006aj		SN 2008D	
	2.55 (-7.85)	3.55 (-6.85)	6.48(-12)	27.62 (+8)
$V_{\text{photosphere}}$ , км/с	33000	18000	17000	8500
$V_{\text{hydrogen}}$ , км/с	33000	24000	23000	15000
$V_{\text{helium}}$ , км/с	33000	24000	17000	10500

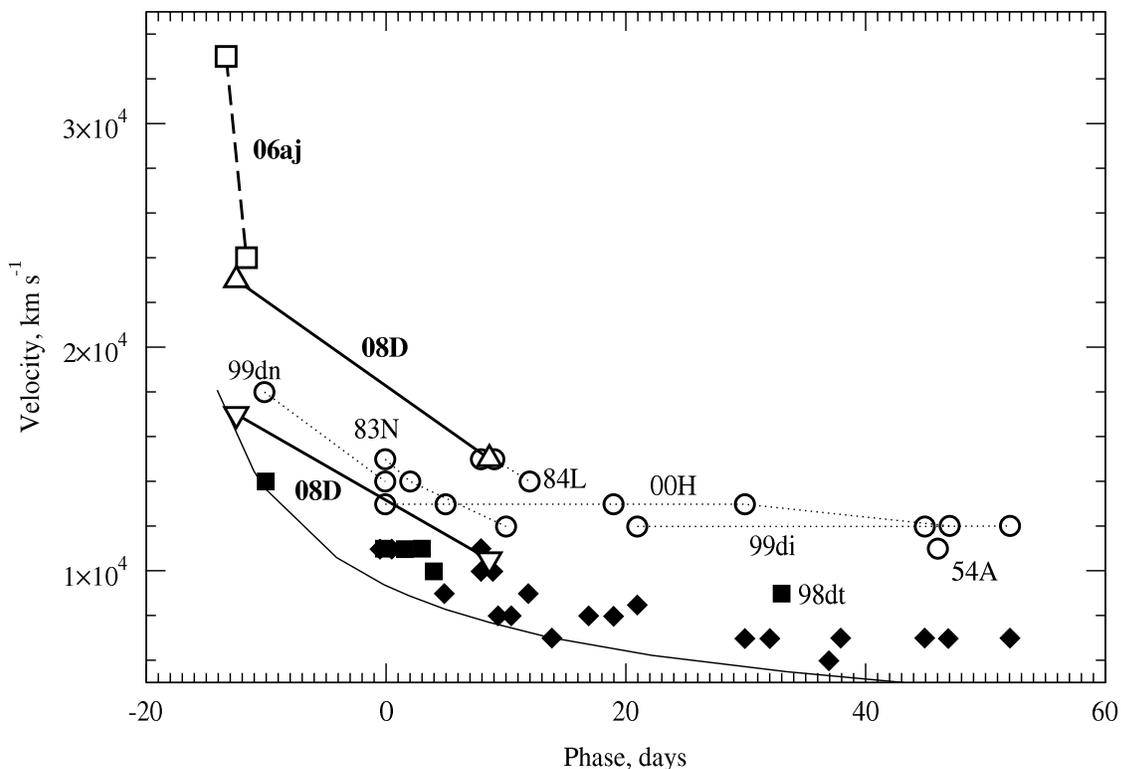


**Рис. 5.** Изменение скоростей фотосфер, измеренных по линиям Fe II [11]. Скорости фотосферы, измеренные по нашим спектрам, обозначены треугольниками для сверхновой SN 2008D и квадратами для SN 2006aj. Для скоростей фотосферы SN 2006aj применен коэффициент масштабирования 1.7.

Is [13, 23]. Оно было подтверждено в нашей работе [6], посвященной исследованию ранних спектров SN 2006aj.

В работе [23] перечислены основные кандидаты для описания спектральной особенности около 6200Å, наблюдаемой в ранних спектрах сверхновых. Кроме водородной линии Hα λ6563 это: Si II λ6355, удаленная от Hα на 9500 км/с, Ne I λ6402 — на 7360 км/с, и лишь C II λ6580 отдалена от водородной линии только на 777 км/с, что может лежать в пределах ошибки определения

скорости. Скорости кандидатов должны согласовываться со скоростью фотосферы, определяемой по самым тяжелым ионам (например, по ионизованному железу). По результатам моделирования спектров SN 2006aj и SN 2008D можно сделать вывод о том, что наиболее вероятными источниками абсорбции около λ6200 являются Hα λ6563 и C II λ6580. Для выбора между этими кандидатами мы сравнили изменение скоростей водородных оболочек двух изученных СН с классическими СН. Результаты сопоставления эволюции скоростей различных сверхновых говорят в



**Рис. 6.** Минимальные скорости по линиям He I (заполненные квадраты для случая неотделенного от фотосферы слоя, заполненные ромбы — для отделенного) и линиям H I (незаполненные кружки, всегда отделенный слой) [11]. Кривая — степенной закон уменьшения скоростей фотосфер с Рис. 5. Минимальные скорости линий He I для SN 2008D показаны треугольниками вершинами вверх, скорости линий H I этой же сверхновой — треугольниками вершинами вниз. Скорости линий водорода и гелия для SN 2006aj показаны квадратами. Для скоростей оболочек SN 2006aj применен коэффициент масштабирования 1.7.

пользу существования вокруг массивной звезды-прародительницы содержащей водород оболочки, возникшей до взрыва вследствие более или менее мощного звездного ветра. Решающим аргументом в пользу существования водорода в оболочке может стать обнаружение абсорбционных компонент Р Суг-профилей других линий серии Бальмера, в частности  $H\beta$   $\lambda 4861$ . Из-за меньшей чем у  $H\alpha$  оптической толщи в линии  $H\beta$ , возникает задача ее обнаружения в зашумленном спектре среди многочисленных линий тяжелых ионов, в частности, Fe II. Решением данной проблемы могут служить продолжительные и подробные наблюдения эволюции малозаметных деталей в спектрах, полученных с высоким отношением сигнал/шум.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Эта работа была поддержана грантом РНП 2.1.1.3483 Федерального агентства образования РФ. Авторы выражают благодарность Семенко Е. А. и Валееву А. Ф. за помощь в оформлении статьи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. A. Chevalier and C. Fransson, *Astrophys. J.* **683**, L135 (2008).
2. A. M. Soderberg et al., *Nature* **453**, 469 (2008).
3. M. Modjaz et al., *Astrophys. J.* **702**, 226 (2009).
4. A. J. Blustin, *Roy. Soc. Phil. Trans. A* **365**, 1263 (2007).
5. S. Campana et al., *Nature* **442**, 1008 (2006).
6. E. Sonbas et al., *Astrophysical Bulletin* **63**, 228 (2008).
7. D. J. Schlegel, D. P. Finkbeiner, and M. Davis, *Astrophys. J.* **500**, 525 (1998).
8. J. A. Cardelli, G. C. Clayton, and J. S. Mathis, *Astrophys. J.* **345**, 245 (1989).
9. J. Sollerman et al., *Astronom. and Astrophys.* **454**, 503 (2006).
10. D. Branch, E. Baron, and D. J. Jeffery, *Supernovae and Gamma-Ray Bursts*, Ed. by K. W. Weiler, *Lecture Notes in Physics* **598**, 47 (2001).
11. D. Branch et al., *Astrophys. J.* **566**, 1005 (2002).
12. E. Baron, P. E. Nugent, D. Branch, and P. H. Hauschildt, *ASP Conference Series* **342**, 351 (2005).
13. A. Elmhamdi et al., *Astronom. and Astrophys.* **450**, 305 (2006).

14. S. Valenti et al., Monthly Notices Roy. Astronom. Soc. **383**, 1485 (2007).
15. E. M. Shlegel and R. P. Kirshner, Astronom. J. **98**, 577 (1989).
16. [http://archive.stsci.edu/iue/instrument/obs\\_guide/node8.html](http://archive.stsci.edu/iue/instrument/obs_guide/node8.html)
17. E. Baron, T. R. Young, and D. Branch, Astrophys. J. **409**, 417 (1993).
18. S. Benetti et al., Monthly Notices Roy. Astronom. Soc. **336**, 91 (2002).
19. D. Richardson, D. Branch, and E. Baron, Astronom. J. **131**, 2233 (2006).
20. P. A. Mazzali et al., Science **321**, 1185 (2008).
21. K. Kunugasa et al., Astrophys. J. **577**, L97 (2002).
22. D. K. Sahu et al., Astrophys. J. **697**, 676 (2009).
23. D. Branch et al., Publ. Astronom. Soc. Pacific **118**, 791 (2006).

**STUDY OF ENVELOPE VELOCITY EVOLUTION OF CORE-COLLAPSE TYPE IB-C  
SUPERNOVAE FROM OBSERVATIONS OF XRF 080109 / SN 2008D  
AND GRB 060218 / SN 2006AJ WITH BTA**

**A.S. Moskvitin, E. Sonbas, V.V. Sokolov, T.A. Fatkhullin, A.J. Castro-Tirado**

Results of modeling the spectra of two supernovae SN2008D and SN2006aj related to the X-ray flash XRF 080109 and gamma-ray burst GRB/XRF 060218, respectively, are studied. The spectra were obtained with the 6-meter BTA telescope of the Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences in 6.48 and 27.61 days after the explosion of SN2008D, and in 2.55 and 3.55 days after the explosion of SN2006aj. The spectra were interpreted in the Sobolev approximation with the **SYNOW** code. An assumption about the presence of envelopes around the progenitor stars is confirmed by an agreement between the velocities of lines interpreted as hydrogen and helium, and the empiric power-law velocity drop with time for the envelopes of classic core-collapse supernovae. Detection of a P Cyg profile of the H $\beta$  line in the spectra of optical afterglows of GRBs can be a determinative argument in favor of this hypothesis.

Key words: *X-ray and gamma-ray sources*