

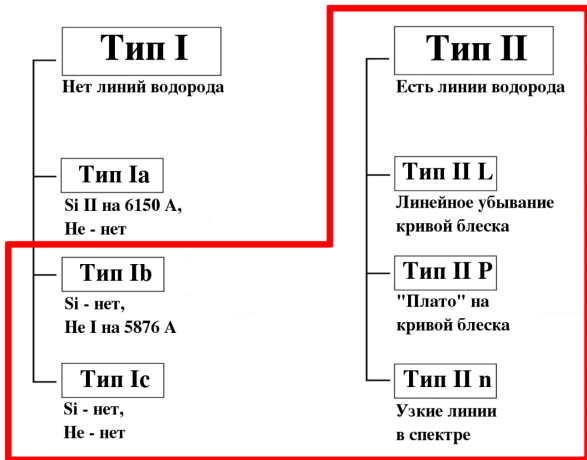
SYNOW

интерпретация спектров сверхновых

А. Москвитин

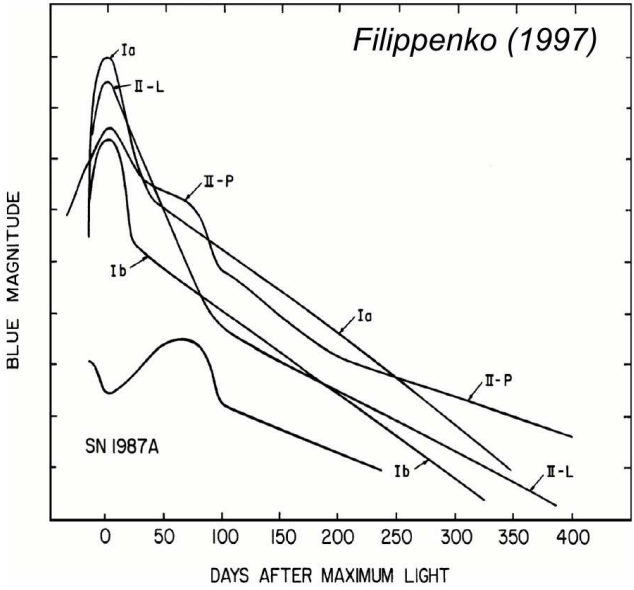
группа изучения гамма-всплесков, САО РАН

Классификация сверхновых

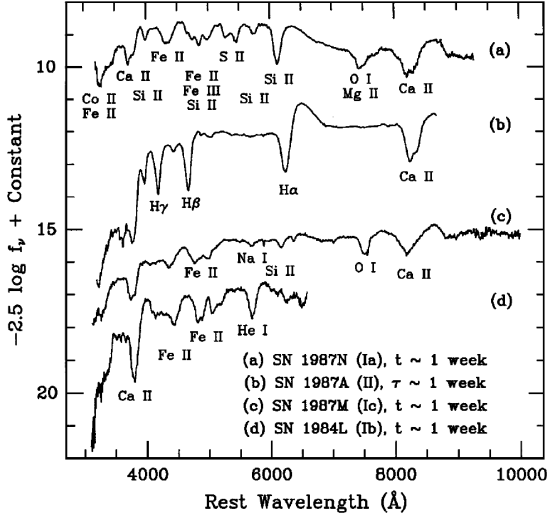


Коллапс ядра массивной сверхновой

Кривые блеска



Ранние спектры



GRB—SN (Hjorth & Bloom, arXiv:1104.2274)

GRB/XRF	SN Designation	z	Evidence	Comments
980425	1998bw	0.0085	A	spectroscopic SN
<i>011121</i>	2001ke	0.362	B	spectral features
100316D	2010bh	0.0591	A	spectroscopic SN
<i>020903</i>		0.251	B	spectral features
<i>021211</i>	2002lt	1.006	B	spectral features
030329	2003dh	0.1685	A	spectroscopic SN
031203	2003lw	0.1055	A	spectroscopic SN
<i>050525A</i>	2005nc	0.606	B	spectral features
060218	2006aj	0.0334	A	spectroscopic SN
<i>081007</i>	2008hw	0.530	B	spectral features
<i>101219B</i>		0.552	B	spectral features
+XRF 080109	2008D	0.0065	A	spectroscopic SN

A: Сильное спектроскопическое подтверждение.

B: Явное поярчание на кривой блеска и некоторые спектроскопические подтверждения, напоминающие поведение SN.

GRB—SN: более слабые подтверждения

GRB/XRF	SN Designation	z	Evidence	Comments
970228		0.695	C	
980326			D	red bump
990712		0.433	C	
991208		0.706	E	low significance
000911		1.058	E	low significance
020305			E	not fitted by GRB-SNe
020405		0.691	C	red bump
020410			D	discovered via bump
030723			D	red bump, X-ray excess
040924		0.859	C	
041006		0.716	C	
050416A		0.654	D	poor sampling
050824		0.828	E	low significance

GRB—SN: более слабые подтверждения

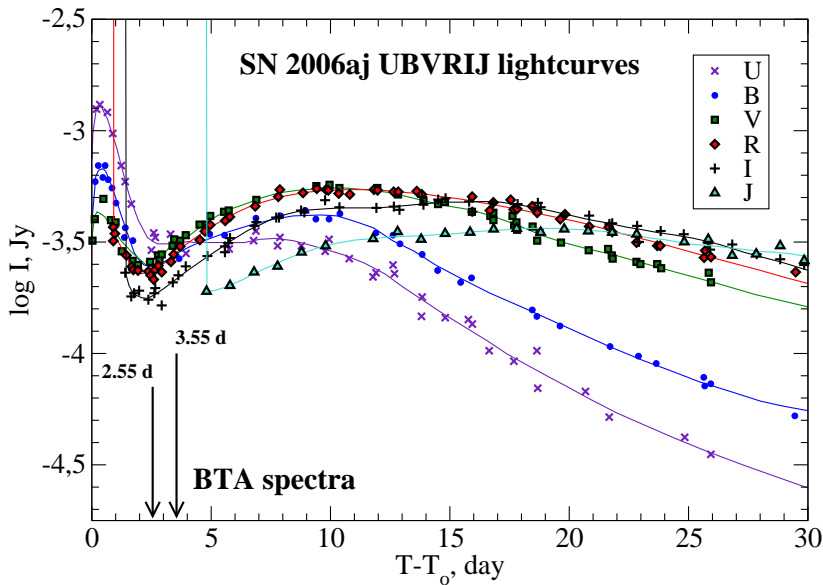
GRB/XRF	SN Designation	z	Evidence	Comments
060729		0.543	E	afterglow dominated
070419A		0.971	D	poor sampling
080319B		0.938	C	multiple color bump
090618		0.54	C	
091127	2009nz	0.490	C	
100418A		0.624	D	
+101225A		0.32	C	SED fitting

C: Явное поярчание на кривой блеска, согласующееся с красным смещением гамма-всплеска.

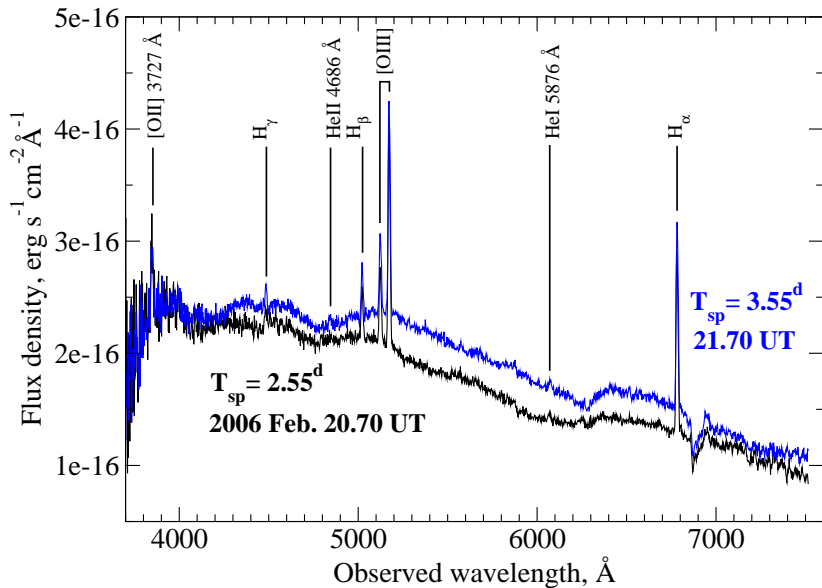
D: Заметное поярчание, но измеренные характеристики сверхновой не полностью согласуются с более явными случаями GRB-SN, либо данная область кривой блеска плохо прописана, либо нет оценок красного смещения.

E: Поярчание, но малозаметное, либо не согласующееся с другими GRB-SN

Кривые блеска SN 2006aj / GRB/XRF 060218 OT



Ранние спектры SN 2006aj / GRB/XRF 060218 OT



Спектроскопия XRF 060218/SN 2006aj

T_{sp} — число суток после вспышки XRF/GRB 060218 (2006 Feb. 18.149 UT). Приведены только спектры с высоким отношением сигнал/шум. Ранние спектры, полученные Modjaz et al. (2006) на 1.5-метровом телескопе FLWO (3.97 суток после всплеска), не включены из-за низкого отношения сигнал/шум.

Телескоп	T_{sp} and 2006 UT	Ссылки
MDM (2.4m)	1.95 days (Feb.20.097)	Mirabal et al.2006
BTA (6m)	2.55 days (Feb.20.70)	Fatkhullin et al. 2006
ESO VLT (8m)	2.89 days (Feb.21.041)	Pian et al. 2006
BTA (6m)	3.55 days (Feb.21.70)	Fatkhullin et al. 2006
NOT (2.56m)	3.78 days (Feb.21.93)	Sollerman et al. 2006
ESO Lick (3m)	4.01 days (Feb. 22.159)	Pian et al. 2006
ESO VLT (8m)	4.876 days (Feb. 23.026)	Pian et al. 2006

Спектральные наблюдения БТА + Scorpio + VPHG550G (диапазон 3500–7500 Å, разрешение FWHM 10 Å) + EEV 42-40 (bin 1 × 2)

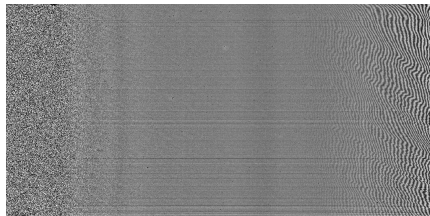
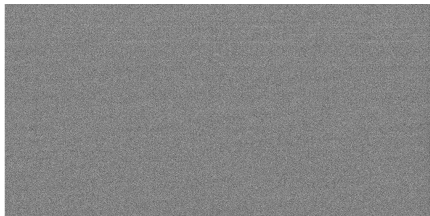
Калибровочные кадры:

1. bias (“электронный нуль” матрицы, получают до или после наблюдений, достаточно постоянен)
2. flat (плоское поле для коррекции неоднородности чувствительности матрицы. Получают с помощью лампы непрерывного спектра для каждого объекта),
3. неон (лампа линейчатого спектра He-Ne-Ar, получить желательно для каждой пары кадров со спектром объекта. Используют для калибровок по длинам волн)

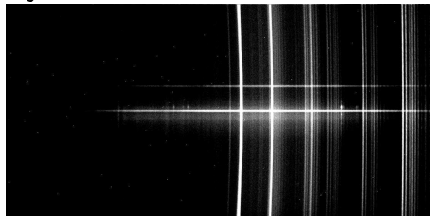
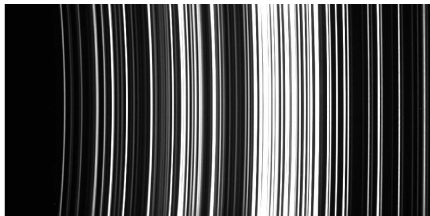
То же самое для стандарта(ов)

Калибровочные кадры

bias, flat



neon, object



Спектры: обработка

1. Объект:

- 1.1 вычитание электронного нуля
- 1.2 деление на плоское поле
- 1.3 построение дисперсионной кривой, калибровка по длинам волн, проверка по атмосферным линиям
- 1.4 следы космических частиц
- 1.5 удаление линий ночного неба
- 1.6 если сильный вклад род. гал., то и его надо удалять
- 1.7 экстракция одномерного спектра из двухмерного
- 1.8 исправление за поглощение в атмосфере для заданного зенитного расстояния

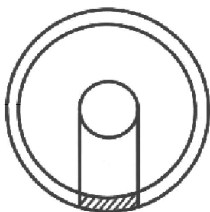
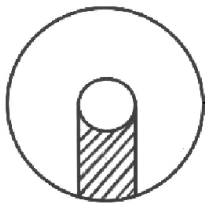
2. Стандарт (те же шаги)

3. Калибровка по потоку, учёт потерь на щели

4. Исправление за поглощение в Галактике и родительской галактике (если возможно).

Многопараметрический код SYNOW

- ▶ код SYNOW (Branch et al. 2001) ранее с успехом использовался для интерпретации спектров обычных сверхновых (см. работы Branch et al. 2002, Baron et al. 2005, Elmhamdi et al. 2006)
- ▶ приближения кода:
 1. сферическая симметрия;
 2. последовательное расширение слоев ($v \sim r$);
 3. резкая граница фотосферы, излучающей чернотельный спектр и ассоциируемой на ранних стадиях с UV.
- ▶ типы P Cyg-профилей:
 1. линии, формирующиеся в слое, неотделенном от фотосферы (und detached case);
 2. и линии, возникающие в отделенном от фотосферы слое (detached case).



Работа с SYNOW

The terminal window shows the following sequence of commands and outputs:

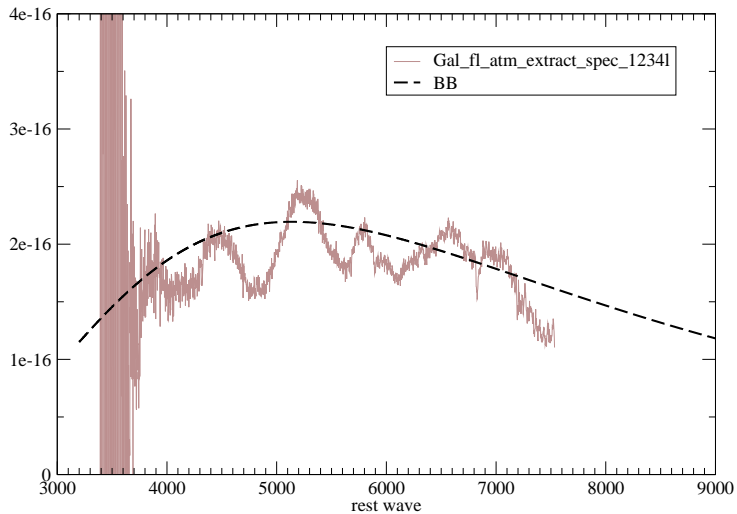
```
INITIALIZING
INITIALIZATION COMPLETE FOR          1 SPECIES
ON FILE          5 of          10
ON FILE          6 of          10
ON FILE          7 of          10
ON FILE          8 of          10
ON FILE          9 of          10
ON FILE         10 of          10
ALMOST DONE
[sasha@grb SYNOW_pack]$ ls
about_SYNOW.ps      fort.11      in.dat      Makefile    source.f
alt.f              fort.6      in.dat~    MANIFEST.BIN source.o
alt.o             getbin.f    initial.f  MANIFEST.SRC spectrum.f
!CHERNENKOV_VERSION getbin.f.SUN initial.o  README.BIN  spectrum.o
fig5.eps          getbin.o    synow.txt  README.SRC  synnew.f
fig6.eps         H_He_2.55.agr linelist.info ref.dat     synnew.o
[sasha@grb SYNOW_pack]$ ./synow
INITIALIZING
INITIALIZATION COMPLETE FOR          1 SPECIES
ON FILE          5 of          10
ON FILE          6 of          10
ON FILE          7 of          10
ON FILE          8 of          10
```

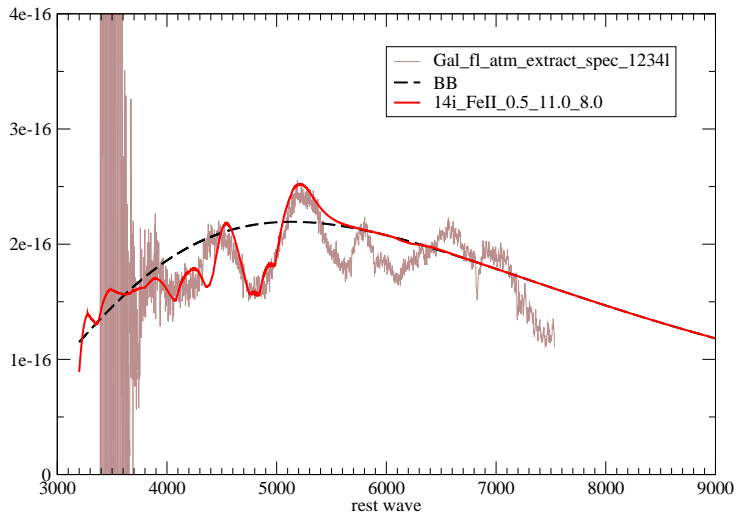
The output table is as follows:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
tau1	0.0,	00.0,	0.0,	00.0,	0.0,	0.0,	0.00,	0.0,	0.0,	0.00,	0.0,	00.0,	1.
vmine	1.5,	1.5,	1.5,	1.5,	1.5,	1.5,	1.50,	1.5,	1.5,	1.5,	1.5,	1.5,	1.
vmaxe	70.00,	70.0,	70.00,	70.00,	70.0,	70.00,	70.00,	70.00,	70.00,	70.00,	70.0,	70.0,	70
ve	0.5,	0.5,	0.50,	0.50,	0.50,	0.7,	0.70,	0.50,	0.5,	0.5,	0.5,	0.5,	0.
temp	7.0,	7.0,	7.0,	7.0,	7.0,	7.0,	7.0,	7.0,	7.0,	7.0,	7.0,	7.0,	7.

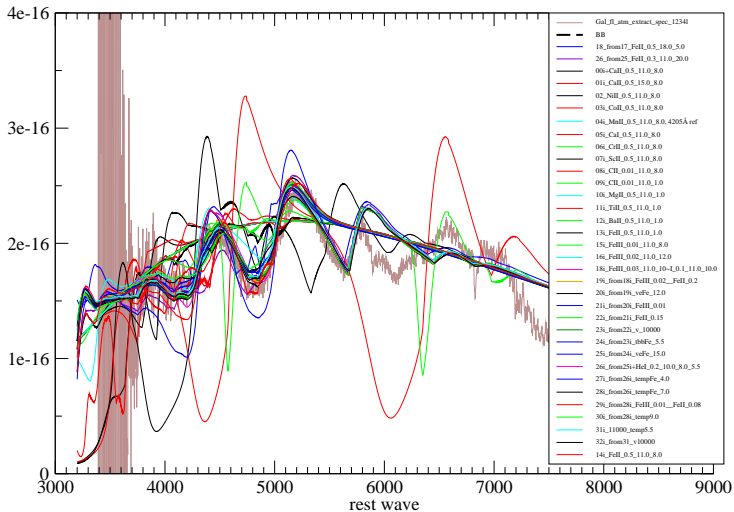
Below the table, the elements are listed:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	HI	TiII	TiI	FeII	FeI	BaII	BaI	ScII	ScI	NaI	MgI	CrII	Mn









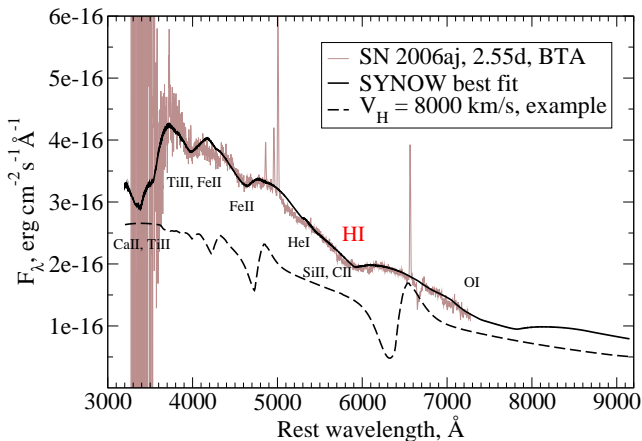
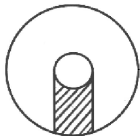
Результаты

Признаки водорода в спектрах SN 2006aj / GRB/XRF 060218 OT

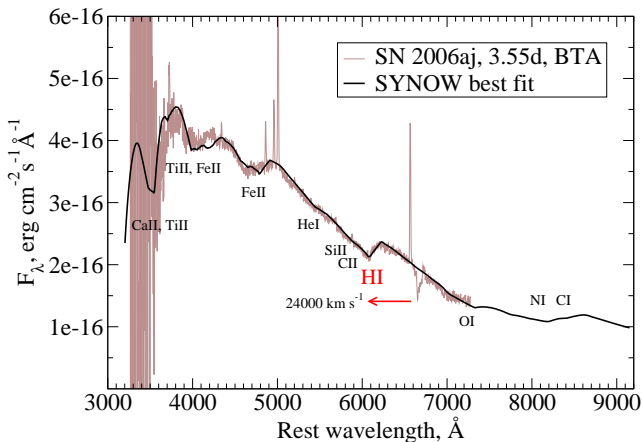
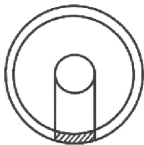
Sonbas, E.; Moskvitin, A. S.; Fatkhullin, T. A. et al., "The stellar-wind envelope around the supernova XRF/GRB060218/SN2006aj massive progenitor star", *Astrophysical Bulletin*, 63, 3 (2008), arXiv:0805.2657

The undetached case

$T_{sp} = 2.55d$

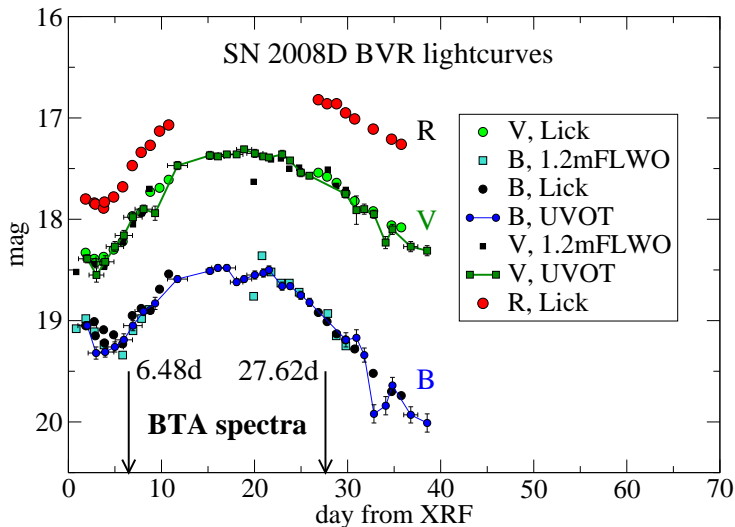


The detached case
 $T_{sp} = 3.55d$



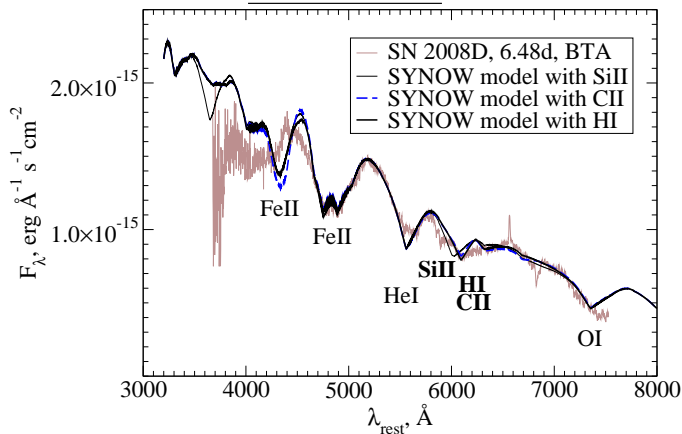
$$V_{ph} = 18000 \text{ km/s}; \quad V_{HI} = V_{HeI} = 24000 \text{ km/s}.$$

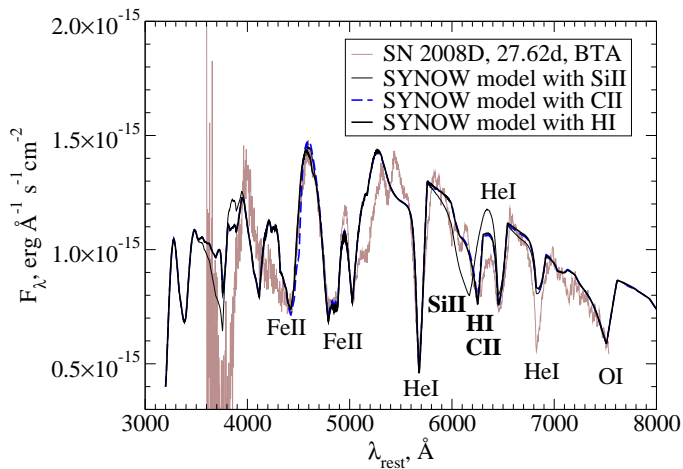
Кривые блеска SN 2008D (Modjaz et al., 2008)



Признаки водорода в SN 2008D / XRF 080109

Moskvitin, A. S.; Sonbas, E.; Sokolov, V. V.; Fatkhullin, T. A.; Castro-Tirado, A. J., "Study of Envelope Velocity Evolution of Type Ib-c Core-Collapse Supernovae from Observations of XRF 080109 / SN 2008D and GRB 060218 / SN 2006aj with BTA", *Astroph. Bull.*, 65, 132 (2010), [arXiv:1004.2633](https://arxiv.org/abs/1004.2633)

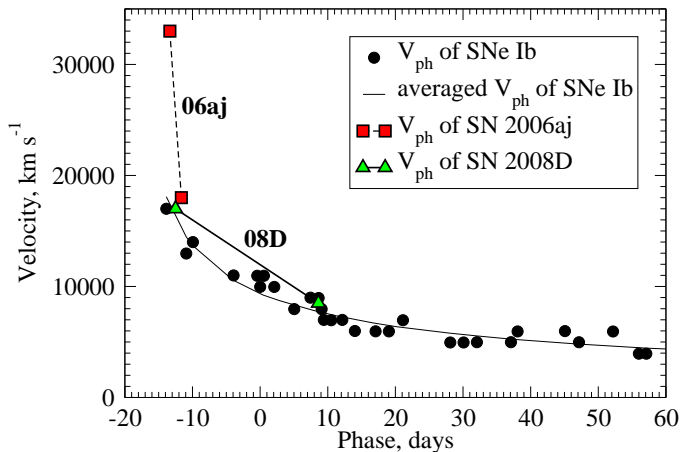




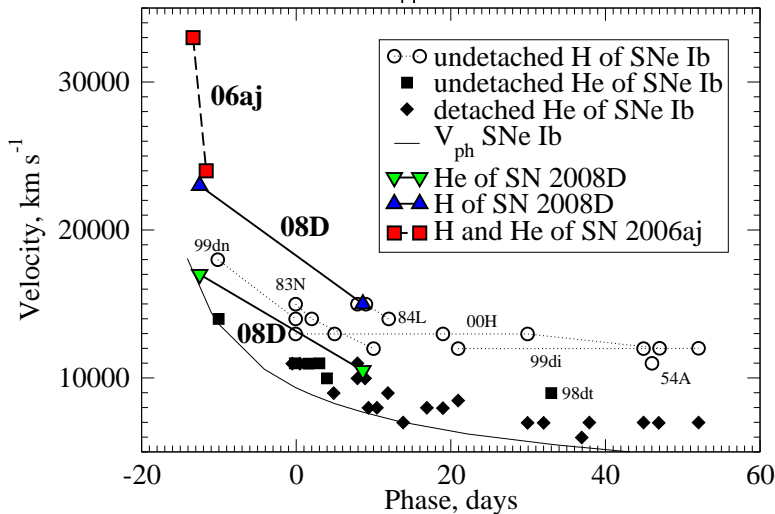
$$V_{ph} = 8500 \text{ km/s}; V_{HeI} = 10500 \text{ km/s}; V_{HI} = 15000 \text{ km/s}$$

Признаки водорода в спектрах SN 2008D и SN 2006aj

Согласие эволюции скоростей расширения фотосфер и оболочек SN 2006aj и SN 2008D с аналогичными скоростями “классических” сверхновых Ib типа (Branch et al., 2002). Скорости измерены по линиям ионизованного железа.



Сравнение скоростей водорода и гелия для той же выбоки сверхновых.
 Линией показана эволюция скорости фотосферы с предыдущего слайда.



Аргументы в пользу наличия водорода в ранних спектрах около 6100\AA в спектрах SN 2008D и SN 2006aj

1. сильная тепловая рентг. компонента, подтверждающая наличие звёздно-ветровой оболочки (непроеволюц. HI, а не CII 6580\AA , хотя наблюдаемая деталь им формально описывается)
2. согласие скоростей ($\sim 0.1c$) и T с независимым расчётами по рентг./УФ данным (см. Sonbas et al., 2008, Blustin, astro-ph/0701804.).
3. стратификация элементов в выбросе, высокие скорости у лёгких элементов
4. H ($H\alpha$, $H\beta$) в “классических” SN Ibc (работы Branch et al. astro-ph/0604047, а также 9906168, 0106367), напр. SN 2000H (существование промежуточных классов Ibc, IIb)
5. SiII 6347\AA : ограничение $V_{SiII} \geq V_{ph} = V_{FeII}$
6. NeI 6402\AA : наличие других линий в модельном спектре, не присутств. в набл.
7. отсутствие сильных линий FeII в данной области длин волн при данной T (Branch et al. astro-ph/0106367)
8. согласие скоростей расширения водородных оболочек для SN 2008D, SN 2006aj и SN, не проявивших связи с GRB/XRF

Выводы и другие изучаемые объекты

1. Обнаружение признаков водорода в спектрах сверхновых 2008D and 2006aj, связанных с GRB и/или XRF
2. Согласие скоростей расширения фотосфер, а также водородных и гелиевых оболочек этих GRB/XRF-SNe с аналогичными скоростями сверхновых, не проявивших данной связи.
3. Программа срочных наблюдений кандидатов в сверхновые (Россия, Индия, США, Италия, ...)
4. Мониторинг самых интересных массивных сверхновых
5. Изучение свойств родительских галактик и их сравнение с обычными галактиками поля.
6. Изучение событий GRB-SN, а также SN, не связанных с GRB и GRB, не связанных со SN.