

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

На правах рукописи

*УДК 524.352.3-732*

МОСКВИТИН Александр Сергеевич

**СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ  
МОНИТОРИНГ МАССИВНЫХ СВЕРХНОВЫХ  
И ПОСЛЕСВЕЧЕНИЙ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ**

(01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия)

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Нижний Архыз – 2011

Работа выполнена в Специальной Астрофизической Обсерватории  
Российской Академии Наук

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук  
Соколов В. В.  
САО РАН (Н. Архыз)

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук  
Ларионов В. М.  
СПбГУ (Санкт-Петербург)

доктор физ.-мат. наук  
Гнедин Ю. Н.  
ГАО РАН (Санкт-Петербург)

Ведущая организация:  
Государственный Астрономический Институт имени П.К. Штернберга МГУ  
Москва

Защита состоится 14 апреля 2011 г. в 15 часов на заседании диссертационного  
Совета Д 002.203.01 при Специальной астрофизической обсерватории РАН  
(369167, Карачаево-Черкессия, пос. Нижний Архыз, САО РАН).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан 11 марта 2011 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета,  
кандидат физ.-мат. наук

МАЙОРОВА Е. К.

## Общая характеристика работы

Основной целью работы является исследование физической связи массивных (core-collapse) сверхновых и длинных гамма-всплесков.

В ранних спектрах массивной сверхновой Ibс типа SN 2006aj ( $z = 0.033$ ), отождествляемой с гамма-всплеском GRB/XRF 060218, обнаружены линии водорода. Также были обнаружены линии водорода и в спектрах массивной сверхновой Ibс типа SN 2008D ( $z = 0.007$ ), отождествляемой с рентгеновской вспышкой XRF 080109. Водород в спектрах этих сверхновых указывает на существование звёздно-ветровых оболочек около их массивных звёзд-прародительниц.

В результате проведённого исследования было показано, что для расширяющихся оболочек сверхновых SN 2006aj и SN 2008D эволюция скоростей (от 33000 км/с до 8500 км/с), определяемых по линиям водорода, гелия и железа, согласуется с эмпирическим степенным законом уменьшения скоростей, характерным для оболочек массивных сверхновых, не проявивших связи с гамма-всплесками.

Получены наблюдательные данные по массивной SN 2008gz ( $z = 0.006$ ) IP типа, сделаны оценки скоростей расширения фотосферы и оболочек по спектральным линиям водорода и железа. Исследована фаза вблизи главного максимума блеска сверхновой, связанной с гамма-всплеском GRB 090618 ( $z = 0.54$ ). Проведён фотометрический и спектроскопический мониторинг массивной сверхновой Ic типа SN 2009de ( $z = 0.31$ ), обнаружена родительская галактика, проведена её фотометрия и спектроскопия.

В результате фотометрического и спектроскопического мониторинга был обнаружен оптический транзиент GRB 090726, определено красное смещение ( $z = 2.71$ ) и исследовано поле его родительской галактики.

В рамках международных программ проведён спектроскопический и фотометрический мониторинг следующих сверхновых и гамма-всплесков: SN 2009cb ( $z = ?$ ), SN 2009db ( $z = 0.078$ ), SN 2009dw ( $z = 0.042$ ), SN 2009dy ( $z = 0.089$ ), SN 2009ew ( $z = 0.085$ ), SN 2009ji ( $z = 0.048$ ), GRB 080328 ( $z < 2.5$ ), GRB 080330 ( $z = 1.51$ ), GRB 080628 ( $z = ?$ ), GRB 081024B ( $z = ?$ ), GRB 081203A ( $z = 2.05$ ), GRB 090423 ( $z = 8.2$ ), GRB 090726 ( $z = 2.71$ ), GRB 090727 ( $z = ?$ ), GRB 091024 ( $z = 1.092$ ), GRB 100414A ( $z = 1.368$ ), GRB 101008A ( $z < 3.5$ ), SN 2009bx ( $z = 0.071$ ).

## Введение

### Актуальность

Изучение гамма-всплесков и сверхновых, а также их связи между собой и с другими известными объектами, такими как родительские галактики, МЗС, пульсары и т.д., необходимо для проверки существующих моделей коллапса массивных звёзд и образования релятивистских объектов. Необходимо понять сходство и различия в физике протекания процессов при взрывах сверхновых и при всплесках гамма-излучения, ответить на вопрос: все ли гамма-всплески сопровождаются взрывом сверхновой. Помимо этого, необходимо разобраться в причинах различия многочисленных типов массивных сверхновых.

Сверхновые и гамма-всплески тесно связаны не только со смертью, но и с рождением новых звёзд, обогащением окружающей среды тяжёлыми элементами. К тому же необходимо понять существующие различия в темпах звездообразования и взрывов массивных сверхновых.

Из-за своей колоссальной мощности и слабому поглощению жёстких квантов в МГС и МЗС, они видны на очень больших расстояниях. Более мягкие кванты могут поглощаться веществом слабых объектов, расположенных на луче зрения, давая возможность исследовать всю толщу пространства до наблюдателя. Тем самым гамма-всплески способны служить инструментом для исследования Вселенной: проверки тех или иных космологических представлений, воззрений о завершении эпохи реионизации водорода, образования и смерти первых звёзд и галактик, существования населения III, эволюции химического состава объектов с красным смещением и многих других вопросов.

### Цель работы

Основной целью работы является исследование физической связи массивных (core-collapse) сверхновых и длинных гамма-всплесков.

### Научная новизна

1. Показано, что методика изучения спектров “классических” сверхновых с помощью многопараметрического кода SYNOW применима к спектрам сверхновых, связанных с гамма-всплесками и рентгеновскими вспышками.
2. Проведено сравнение скоростей расширения фотосфер, а также водородных и гелиевых оболочек сверхновых, связанных с гамма-всплесками и

- рентгеновским вспышками и не проявившими этой связи.
3. Обнаружены оптические транзиенты для гамма-всплесков GRB 090726 и GRB 101008A.
  4. Обнаружены родительские галактики SN 2009de и GRB 090726.
  5. Определены красные смещения GRB 090726 и SN 2009de.
  6. Фотометрически подтверждено открытие SN 2009bx и SN 2009cb, спектроскопическое подтверждение обнаружения SN 2009db, SN 2009dy, SN 2009dw, SN 2009ew, SN 2009ji, определены типы, фазы относительно максимума на моменты наблюдений, оценены красные смещения объектов.
  7. Получены предварительные оценки красного смещения самого далёкого гамма-всплеска GRB 090423.

### **Практическая ценность**

Показана возможность применения кода SYNOW для спектров послесвечений гамма-всплесков и рентгеновских вспышек, в которых присутствует вклад излучения сверхновой. Показана необходимость изучения связи гамма-всплесков и сверхновых с обоих направлений. Показана стратегия наблюдения массивных сверхновых и гамма-всплесков на больших и малых телескопах в рамках международных программ.

### **Результаты, выносимые на защиту**

1. Результаты наблюдений: спектроскопический и фотометрический мониторинг следующих сверхновых и гамма-всплесков: SN 2009cb ( $z = ?$ ), SN 2009db ( $z = 0.078$ ), SN 2009dw ( $z = 0.042$ ), SN 2009dy ( $z = 0.089$ ), SN 2009ew ( $z = 0.085$ ), SN 2009ji ( $z = 0.048$ ), GRB 080328 ( $z < 2.5$ ), GRB 080330 ( $z = 1.51$ ), GRB 080628 ( $z = ?$ ), GRB 081024B ( $z = ?$ ), GRB 081203A ( $z = 2.05$ ), GRB 090423 ( $z \sim 8.2$ ), GRB 090726 ( $z = 2.71$ ), GRB 090727 ( $z = ?$ ), GRB 091024 ( $z = 1.092$ ), GRB 100414A ( $z = 1.368$ ), GRB 101008A ( $z < 3.5$ ), SN 2009bx ( $z = 0.071$ ).
2. Обнаружение линий водорода в ранних спектрах массивной сверхновой Ibс типа SN 2006aj ( $z = 0.033$ ), отождествляемой с гамма-всплеском GRB/XRF 060218, и в спектрах массивной сверхновой Ibс типа SN 2008D ( $z = 0.007$ ), отождествляемой с рентгеновской вспышкой XRF 080109. Это указывает на существование звёздно-ветровых оболочек около их массивных звёзд-прародительниц.

3. Результаты моделирования спектров, которые показали, что для расширяющихся оболочек сверхновых SN 2006aj и SN 2008D эволюция скоростей (от 33000 км/с до 8500 км/с), определяемых по линиям водорода, гелия и железа, согласуется с эмпирическим степенным законом уменьшения скоростей, характерным для оболочек массивных сверхновых, не проявивших связи с гамма-всплесками.

### Публикации по теме диссертации

1. E. Sonbas, A. S. Moskvitin, T. A. Fatkhullin et al., “The stellar-wind envelope around the supernova XRF/GRB060218/SN2006aj massive progenitor star”, *Astrophysical Bulletin*, **63**, 3 (2008), arXiv:0805.2657.
2. A. S. Moskvitin, E. Sonbas, V. V. Sokolov, T. A. Fatkhullin, A. J. Castro-Tirado, “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.
3. A. S. Moskvitin, T. A. Fatkhullin, V. V. Sokolov et al., “Spectral and photometric monitoring of distant core-collapse supernovae in the SAO RAS”, *Astroph. Bull.*, **65**, 230 (2010), arXiv:1008.0773.
4. R. Roy, Brijesh Kumar, A. S. Moskvitin et al., “SN 2008gz — most likely a normal type IIP event”, arXiv:1102.1164.
5. Z. Cano, D. Bersier, C. Guidorzi et al., “A tale of two GRB-SNe at a common redshift of  $z = 0.54$ ”, arXiv:1012.1466.
6. Yu. V. Baryshev, I. V. Sokolov, A. S. Moskvitin et al., “Study of Faint Galaxies in the Field of GRB 021004”, *Astrophysical Bulletin* 65, 311 (2010), arXiv:1010.3910.
7. N. R. Tanvir, D. B. Fox, A. J. Levan et al., “A  $\gamma$ -ray burst at a redshift of  $z \sim 8.2$ ”, *Nature*, **461**, 1254 (2009).
8. A. S. Moskvitin, E. Sonbas, I. V. Sokolov, T. A. Fatkhullin, “Gamma-ray bursts and practical cosmology”, Collective monograph “Practical Cosmology”, Proceedings of the International Conference “Problems of Practical Cosmology”, 23-27 June 2008, St.-Petersburg, Russia, eds. Yu. Baryshev, I. Taganov, P. Teerikorpi, TIN, St.-Petersburg, **2**, 228 (2008).
9. А. С. Москвитин “Моделирование спектральных распределений энергии родительских галактик гамма-всплесков”, материалы VIII Школы молодых ученых “Нелокальные краевые задачи и проблемы современного анализа и информатики”, Нальчик-Хабез, с. 72 (2010).

10. T. A. Fatkullin, A. S. Moskvitin, V. V. Sokolov et al, “GRB 080328: BTA optical imaging and spectroscopy”, GCN Circ. 7534 (2008).
11. A. S. Moskvitin, T. A. Fatkhullin, V. N. Komarova, A. N. Burenkov, “GRB080330: optical observations”, GCN Circ. 7559 (2008).
12. T. Fatkhullin, A. Moskvitin, A. J. Castro-Tirado, “GRB 081024B: BTA deep optical observations”, GCN Circ. 8456 (2008).
13. T. Fatkhullin, A. Moskvitin, A. Posanencko et al, “GRB081203A: BTA observation”, GCN Circ. 8695 (2008).
14. T. Fatkhullin, A. Moskvitin, A. J. Castro-Tirado, A. de Ugarte Postigo, “GRB090618: spectrum and photometry from 6.0m BTA”, GCN Circ. 9542 (2009).
15. A. Moskvitin, O. Spiridonova, O.; A. Valeev, T. Fatkhullin, “GRB080628: SAO RAS optical observations”, GCN Circ. 9594 (2009).
16. A. Moskvitin, T. Fatkhullin, A. Valeev, “GRB 090726: optical transient candidate”, GCN Circ. 9709 (2009).
17. T. Fatkhullin, J. Gorosabel, A. de Ugarte Postigo et al., “GRB090726: 6-meter telescope redshift”, GCN Circ. 9712 (2009).
18. A. Moskvitin, A. Valeev, T. Fatkhullin, O. Sholukhova, S. Fabrika, “GRB 090727: optical observations”, GCN Circ. 9733 (2009).
19. A. Moskvitin, T. Fatkhullin, “GRB091024 optical observations”, GCN Circ. 10101 (2009).
20. A. J. Drake, S. G. Djorgovski, A. Mahabal et al., “Supernova 2009bx”, Central Bureau Electronic Telegrams 1744 (2009).
21. A. J. Drake, S. G. Djorgovski, A. Mahabal et al., “Supernova 2009cb”, Central Bureau Electronic Telegrams 1752 (2009).
22. A. J. Drake, S. G. Djorgovski, A. Mahabal et al., “Supernova 2009db”, Central Bureau Electronic Telegrams 1760 (2009).
23. A. J. Drake, S. G. Djorgovski, A. Mahabal et al., “Supernovae 2009du-2009dy”, Central Bureau Electronic Telegrams 1791 (2009).
24. A. J. Drake, S. G. Djorgovski, A. Mahabal et al., “Supernova 2009ew”, Central Bureau Electronic Telegrams 1815 (2009).
25. A. J. Drake, S. G. Djorgovski, A. Mahabal et al., “Supernova 2009ji”, Central Bureau Electronic Telegrams 1960 (2009).
26. A. Moskvitin, T. Fatkhullin, V. Sokolov, “GRB100414A: SAO RAS optical observations”, GCN Circ. 10618 (2010).

27. A. S. Moskvitin, T. A. Fatkhullin, V. V. Sokolov, V. N. Komarova, “GRB 100805A: SAO RAS optical observations”, GCN Circ. 11071 (2010).
28. A. S. Moskvitin, T. A. Fatkhullin, V. V. Sokolov, V. N. Komarova, “GRB 100805A: 2-nd epoch of SAO RAS optical observations”, GCN Circ. 11076 (2010).
29. A. S. Moskvitin, T. A. Fatkhullin, V. V. Sokolov, V. N. Komarova, “GRB 100805A: the 3-rd epoch of SAO RAS optical observations”, GCN Circ. 11079 (2010).
30. A. S. Moskvitin, T. A. Fatkhullin, V. V. Sokolov, V. N. Komarova, “GRB 100805A: the 4-th epoch of SAO RAS optical observations”, GCN Circ. 11084 (2010).
31. A. S. Moskvitin, T. A. Fatkhullin, A. V. Zyazeva, “GRB 101008A: SAO RAS optical observations”, GCN Circ. 11324 (2010).
32. A. J. Drake, S. G. Djorgovski, A. Mahabal et al., “22 New Confirmed and Candidate Supernovae from CRTS and the GRB follow-up team”, ATel 3031 (2010)
33. A. J. Drake, S. G. Djorgovski, A. Mahabal et al., “Supernovae 2010jx, 2010jy, 2010jz, 2010ka, 2010kb”, Central Bureau Electronic Telegrams, 2551 (2010).
34. T. A. Fatkhullin, V. N. Komarova, A. S. Moskvitin et al. “Supernovae 2010kj and 2010kk”, Central Bureau Electronic Telegrams, 2566 (2010).

## **Апробация**

Результаты работы апробировались на конкурсах и семинарах SAO РАН и ГАИШ, российских и международных конференциях:

1. “Гамма-всплески и магнетары”, Москва, 2007
2. “Cosmic Physics”, Н. Архыз, 2007 (2 доклада)
3. “Gamma Ray Bursts”, Santa Fe, USA, 2007
4. “Актуальные проблемы внегалактической астрономии”, Пущино, 2007 (2 доклада), 2008
5. “Физика нейтронных звёзд”, Санкт-Петербург, 2008
6. “Problems of practical cosmology”, Санкт-Петербург, 2008
7. “27th Meeting of the Astronomical Society of India (ASI)”, Bangalore, India, 2009



8. “V конференция студентов и аспирантов базовых кафедр ЮНЦ РАН (секция Астрофизики)”, Ростов-на-Дону, 2009
9. “Химическая и динамическая эволюция галактик”, Ростов-на-Дону, 2009 (3 доклада)
10. “Many faces of GRB phenomena — optics vs high energy”, Н. Архыз, 2009
11. “Конкурс-конференция работ сотрудников САО”, Н. Архыз, 2009, 2010 (2 доклада)
12. “Международный Российско-Болгарский симпозиум и VIII Школа молодых ученых”, Хабез, 2010
13. “ВАК”, Н. Архыз, 2010 (3 доклада)
14. “New Directions in Modern Cosmology”, Leiden, Netherlands, 2010 (3 доклада)
15. “Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра”, Москва, 2008, 2009, 2010
16. “Gamma-ray bursts, the evolution of massive stars and star forming at high red shifts”, Nainital, India, 2011

### **Личный вклад автора**

1. Наблюдения по программам, где автор — заявитель и созаявитель.
2. Наблюдательный материал по GRB 090726 OT, GRB 090727 OT, GRB 101008A OT, GRB 100805A OT, GRB 100414A OT, GRB 090423, GRB 091024 OT, GRB 080628, GRB 090618, GRB 081203A, GRB 081024B, GRB 080328, SN 2008D / XRF 080109, SN 2009db, SN 2009bx, SN 2009cb, SN 2009dy, SN 2009dw, SN 2009ew, SN 2009ji, SN 2008iy, SN 2009de обработан автором полностью, либо частично.
3. Обнаружение оптических компаньонов GRB 090726 и GRB 101008A.
4. В соавторстве с Соколовым В. В., Сонбас Э. и Фатхуллиным Т. А. сделан вывод о возможном присутствии водорода в спектрах послесвечений гамма-всплесков, связанных со сверхновыми.
5. В соавторстве с Соколовым В.В. и Фатхуллиным Т. А. сделан вывод о согласии скоростей расширения фотосфер и оболочек по линиям, отождествленным как водородные и гелиевые, с эмпирическим степенным законом уменьшения скоростей со временем для оболочек классических массивных сверхновых.

## **Структура и краткое содержание работы**

Работа представлена на 136 страницах состоит из Введения, 4 Глав, Заключения и списка цитируемой литературы, включающего 135 наименования. В диссертации содержится 28 Рисунков и 6 Таблиц.

### **Введение**

Во Введении обоснована актуальность темы, приведены цель работы, её научная новизна, практическая ценность, выносимые на защиту результаты, личный вклад автора, перечислены публикации по теме диссертации, а также семинары и конференции, на которых происходила апробация работы.

### **Обзор современного состояния проблем.**

В первой Главе описаны наблюдательные характеристики и классификация сверхновых, гамма-всплесков. Обсуждается их связь, а также возможные прародители этих явлений. Помимо этого освещены вопросы, связанные с родительскими галактиками, звездообразованием, темпами взрывов сверхновых и гамма-всплесков, а также некоторые космологические аспекты.

### **Наблюдения массивных сверхновых в CAO РАН.**

Во второй Главе описаны постановка задач, цели и первые результаты наблюдательной программы исследования далёких массивных сверхновых (SNe) с красными смещениями  $z \lesssim 0.3$ . Наблюдения проводились в рамках международного сотрудничества по мониторингу SN на 6-метровом телескопе CAO РАН (БТА) и других телескопах. Исследуются как ранние фазы событий (определение типа SNe, оценка красного смещения и поиск проявлений ветровой оболочки), так и небулярная стадия (эффекты асимметрии взрыва). Особый интерес в данной области представляют SNe, отождествлённые с космическими гамма-всплесками. Интерпретация наблюдательных данных вместе с полученными на других телескопах используется для проверки существующих теоретических моделей как самого взрыва SN, так и окружающего его околосвёздного вещества. В 2009 году были проведены наблюдения 30 объектов. Для 12 из них получены спектры. Определен тип, фаза после максимума и красное смещение для 5 SNe. С помощью полученных фотометрических данных подтверждено открытие ещё двух. Обсуждаются первые полученные по программе данные и результаты наблюдений SNe 2009db, 2009dy, 2009dw, 2009ew, 2009ji, 2009bx, 2009cb, 2008gz, 2008in, 2008iy, 2009ay, 2009bw и 2009de.

### Наблюдение послесвечений гамма-всплесков.

В третьей Главе описаны срочные наблюдения и их результаты для наиболее исследованных гамма-всплесков, изучавшихся в CAO РАН за последние несколько лет: обнаружение оптического послесвечения GRB 090726 и его ранняя спектроскопия, мониторинг послесвечения GRB 100805A, обнаружение кандидатов в оптическое послесвечение GRB 101008A и мониторинг послесвечения GRB 090618, связанного со сверхновой (фотометрическое подтверждение).

### Водород в спектрах GRB/XRF/SN.

Во четвёртой Главе описано обнаружение водорода в спектрах сверхновых SN 2006aj и SN 2008D, связанных с гамма-всплеском и рентгеновской вспышкой. Представлено сравнение эволюции скоростей расширения фотосфер и оболочек этих объектов с аналогичными параметрами “классических” сверхновых.

В полученных на БТА спектрах двух сверхновых Ib-c типа SN 2006aj и SN 2008D, связанных с близкими гамма-всплеском GRB / XRF 060218 и рентгеновской вспышкой XRF 080109 соответственно, обнаружены детали, которые интерпретируются как линии водорода, что является признаком наличия звёздно-ветровой оболочки около массивных звёзд-прародительниц.

Представлены результаты моделирования двух ранних спектров, полученных на БТА через 2.55 и 3.55 суток после взрыва сверхновой SN 2006aj и двух спектров, полученных через 6.48 и 27.62 дня после взрыва SN 2008D.

Спектры промоделированы в приближении Соболева с помощью программы SYNOW. В спектрах оптического послесвечения XRF/GRB 060218 были обнаружены спектральные особенности, которые интерпретируются как: (1) P Cyg профиль линии  $H\alpha$  для скорости  $33000 \text{ km s}^{-1}$  — широкая и почти незаметная деформация континуума в области длин волн  $\simeq 5600 - 6600 \text{ \AA}$  для первой эпохи (2.55 сут.) и (2) часть P Cyg профиля линии  $H\alpha$  в поглощении, сдвинутая в синюю сторону для скорости  $24000 \text{ km s}^{-1}$  — широкая спектральная особенность с минимумом на  $\simeq 6100 \text{ \AA}$  (в системе покоя с  $z = 0$ ) для второй эпохи (3.55 сут.). С учетом ранних наблюдений, проведённых на БТА, и спектров, полученных на других телескопах (ESO Lick, ESO VLT, NOT) до 2006 Feb. 23 UT, можно говорить о том, что наблюдается эволюция оптических спектров массивной сверхновой SN 2006aj типа Ic во время *перехода* от короткой фазы, связанной с выходом ударной волны ("shock breakout") во внешние слои звёздно-ветровой оболочки, к спектрам фазы увеличения блеска сверхновой, соответствующей радиоактивному нагреву. Признаки во-

дорода в спектрах послесвечения гамма-всплеска обнаруживаются впервые.

Предположение о наличии реликтовой оболочки вокруг звёзд-прародительниц этих двух сверхновых подтверждается согласием скоростей водородных и гелиевых оболочек с эмпирическим степенным законом уменьшения скоростей со временем для аналогичных оболочек классических массивных сверхновых, не проявивших связи с GRB и/или XRF. Решающим аргументом в пользу этой гипотезы может стать обнаружение в спектрах оптических послесвечений будущих гамма-всплесков среди многочисленных линий тяжёлых элементов Р Суг-профиля линии  $H\beta$ .

### **0.1 Заключение.**

В Заключении описаны основные результаты диссертации и освещаются будущие проекты изучения гамма-всплесков и сверхновых.







Бесплатно

Москвитин Александр Сергеевич

Спектроскопический и фотометрический  
мониторинг массивных сверхновых  
и послесвечений гамма-всплесков

Зак. N 185с

Уч. изд. л. - 1.5

Тираж 100

---

Специальная астрофизическая обсерватория РАН