

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	14
Глава 1	
ИСТОРИЯ ВОПРОСА	19
1.1. С чего начинается робот?	20
1.2. Антигравитация!?	22
1.3. Микролинзирование	26
1.4. Гамма-всплески	26
1.5. Первый российский телескоп-робот	30
Глава 2	
ПРИНЦИПЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ МАСТЕР	36
2.1. Характеристика расположения пунктов сети	37
2.2. Комплекс аппаратуры МАСТЕР-II	42
2.3. Информационно-аппаратная структура комплекса	45
2.4. Информационно-программная структура комплекса	48
2.5. Планирование и проведение наблюдений	49
2.6. Автоматическая обработка изображений, базы данных	51
2.7. Управление телескопами МАСТЕР-II и первичный анализ наблюдений	53
2.8. Возможности телескопов МАСТЕР	54
2.9. Космический сегмент МАСТЕРА на обсерватории «Ломоносов»	55
2.9.1. Оборудование	56
2.9.2. Режимы работы прибора ШОК	59
2.9.3. Режим поиска оптических транзиентов	59
2.9.4. Коллаборация ШОК и Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР	61
2.9.5. Результаты наблюдения объектов околоземного космического пространства	64
Глава 3	
ПРИНЦИПЫ ОБРАБОТКИ ПОТОКА ДАННЫХ	66
3.1. Связь процесса наблюдений и обработки изображений	66
3.2. Съемка калибровок и обработка калибровочных кадров	67
3.2.1. BIAS (подложка)	68
3.2.2. DARK (темновой ток)	68
3.2.3. SuperDARK	69
3.2.4. FLAT (плоское поле)	70
3.2.5. Применение	70
3.3. Сохранение исходных изображений в базе данных. Очередь обработки кадров	71
3.4. Построение базы данных всех звезд с каждого кадра на изображении	72
3.4.1. Выделение объектов на изображении	73
3.4.2. Астрометрия: привязка к небесной системе координат	75
3.4.3. Фотометрия. Разные каталоги	77
3.4.4. Определение оптического предела на изображении	78

3.4.5. Фильтрация объектов	80
3.4.6. Построение базы данных всех звезд с каждого кадра на изображении	81
3.5. Поиск ОТ различной природы на основе оригинальных данных	82
3.5.1. Поиск оптических транзиентов. Длинные ОТ	82
3.5.2. Поиск быстрых ОТ	85
3.5.3. Поиск двухтрубных ОТ	85
3.5.4. Быстрые ОТ и телеграммы для алертной съемки	86
3.6. Поиск движущихся объектов	88
3.6.1. Околоземные астероиды. Автоматическая отправка кандидата в Центр малых планет (MPC)	89
3.6.2. Далекие астероиды	90
3.7. Генерация суммарных кадров	90
3.7.1. Автоматическая генерация сумм на телескопах сети МАСТЕР	90
3.7.2. Построение суммарного кадра, нецелочисленный сдвиг изображения	91
3.7.3. Построение разностей. Методы вычисления разностных кадров	92
3.7.4. Выбор опорного кадра	93
3.7.5. Скачивание опорного кадра из Центральной базы данных	93
3.7.6. Фильтрация шумов. Анализ антикадра	94
3.7.7. Перенос астрометрии. Особенности фотометрии разностных изображений	94
3.7.8. ОТ с разностей. Корреляция с обычными ОТ	94
3.8. Обработка широкопольных камер	95
3.8.1. Обработка сумм с сверхширокопольных камер	95
3.8.2. Поиск быстрых оптических транзиентов на сверхширокопольных камерах MASTER-VWF (МАСТЕР-ШОК)	95

Глава 4

СОЗДАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СЕТИ ТЕЛЕСКОПОВ-РОБОТОВ

4.1. Обработка наблюдений, большие данные и распределенные БД	99
4.2. Необходимость центральной базы	100
4.3. Создание ДИБД	100
4.4. Центральный планировщик сети МАСТЕР	103
4.5. Основные принципы работы	104
4.6. Расчет приоритета конкретной площадки	104
4.7. Запретные зоны	105
4.8. Характеристики, определяющие вес площадки	106
4.9. Режимы работы	108
4.9.1. Режим регулярного обзора	108
4.9.2. Режим первого обзора	109
4.9.3. Обзор зоны Эверхарда	109
4.9.4. Инспекционный обзор	110
4.9.5. Специальный инспекционный обзор	111
4.9.6. Гравитационно-волновая астрономия: коллаборация МАСТЕР и LIGO/VIRGO	111
4.9.7. Наблюдение в алертном режиме	112
4.10. Центр оперативного контроля телескопов Глобальной сети МАСТЕР	113
4.10.1. Общее описание архитектуры системы контроля	113
4.10.2. Основной сервер системы контроля	115

Глава 5

ИНТЕРАКТИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ АНАЛИЗА

АСТРОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ	117
5.1. Быстропеременные объекты: анализ	119
5.2. Инструменты анализа астрономических наблюдений	119
5.3. Формирование и автоматическая публикация телеграмм.....	121

Глава 6

ГАММА-ВСПЛЕСКИ:

МНОВОВОЛНОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ, ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

И ТЕОРИЯ «ЦЕНТРАЛЬНОЙ МАШИНЫ».....

124

6.1. Открытие поляризации собственного оптического излучения гамма-всплесков.....	125
6.1.1. Обнаружение и наблюдение предвестника гамма-всплеска	126
6.1.2. Спектральные свойства собственной GRB-фазы.....	131
6.1.3. Происхождение раннего оптического излучения	133
6.1.4. Поляризация	134
6.2. Универсальная оптическая кривая блеска: SOS-излучение	135
6.2.1. Критерии выбора гамма-всплесков для анализа.....	137
6.2.2. Совместный анализ кривых блеска	138
6.2.3. SOS-излучение	139
6.3. Синхронные многоканальные наблюдения собственного излучения гамма-всплеска GRB 161017A сетью МАСТЕР и космической обсерваторией «Ломоносов»	143
6.3.1. Монитор гамма-всплесков (БДРГ).....	144
6.3.2. Наблюдение собственного оптического излучения сетью МАСТЕР и автоматическое сообщение об обнаружении ОТ.....	146
6.3.3. Спектральные исследования	148
6.3.4. Обсуждение и выводы	149
6.4. Успешная локализация гамма-всплеска с плохо определенными координатами GRB 140801A	150
6.4.1. Обнаружение всплеска GRB 140801A и автоматические наблюдения	151
6.4.2. Наблюдения в рентгеновском и гамма-диапазонах.....	153
6.4.3. Оптические наблюдения других обсерваторий	153
6.4.4. Спектроскопия	156
6.4.5. Интерпретация	156
6.4.6. Поляризационные измерения МАСТЕРА	157
6.5. Наблюдения гамма-всплесков 2002–2011 годов. Обнаружение двух типов кривых блеска собственного излучения оптического излучения гамма- всплесков.....	158
6.5.1. GRB 030329.....	158
6.5.2. Наблюдения 2002–2006 годов	159
6.6. Обнаружение двух типов кривых блеска собственного излучения оптического излучения гамма-всплесков	160
6.6.1. Наблюдения собственного излучения гамма-всплесков в сентябре 2010 года	164
6.7. Наблюдения гамма-всплесков 2011–2017 годов.....	174
6.7.1. Синхронные наблюдения гамма-всплесков	174
6.7.2. Наблюдения 130 гамма-всплесков, зарегистрированных в 2011–2017 годах	175

6.7.3. Наблюдения ранней стадии оптического излучения гамма-всплесков с помощью телескопов-роботов МАСТЕР	177
6.8. Наблюдения гамма-всплесков 2017–2019 годов	182
6.8.1. Обнаружение слабополяризованного оптического излучения от сильнонамагниченного джета GRB 190114C	182
6.8.2. Исследования других гамма-всплесков в 2017–2019 годах	184
6.9. Таблицы наблюдений гамма-всплесков	188
6.9.1. Первые наблюдения гамма-всплесков 2002–2004 годов	188
6.9.2. Таблицы наблюдений гамма-всплесков 2006–2011 годов	188
6.10. Таблица наблюдений гамма-всплесков 2011–2017 годов	191
6.11. Таблица наблюдений всплесков в 2017–2019 годов	197
6.12. «Центральная машина» гамма-всплесков в спинар-парадигме	206
6.12.1. Модель спинара	207
6.12.2. Спинар-парадигма магниторотационного коллапса. Коллапс быстро вращающегося ядра	207
6.12.3. Потеря устойчивости ядра и свободное падение	208
6.12.4. Остановка сжатия центробежными силами	208
6.12.5. Диссипативная эволюция спинара	210
6.12.6. Вторая вспышка	210
6.12.7. Коллапс массивного ядра ($M > M_{OV}$)	218
6.12.8. Коллапс быстро вращающегося ядра промежуточной массы ($M \approx M_{OV}$). Случай Сверхновой	220
6.12.9. Коллапс быстро вращающегося ядра малой массы ($M < M_{OV}$)	220
6.12.10. Сверхдлинное рентгеновское плато GRB 070110 и GRB 050904	224
6.12.11. GRB 060926	226
6.12.12. Моделирование длительной работы «центральной машины» GRB 100901A	228
6.12.13. Обсуждение	228

Глава 7

ОПТИЧЕСКАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ

ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН	230
7.1. Поиск оптических транзитов в поле ошибок первого гравитационно-волнового всплеска GW 150914	231
7.2. «Машина сценариев»	233
7.3. МАСТЕР в год открытия гравитационных волн	234
7.4. Наблюдения первого гравитационно-волнового события GW 150914	236
7.5. Почему первыми были открыты слияния черных дыр?	237
7.6. Почему массы черных дыр оказались намного больше, чем ожидалось	242
7.7. Гамма-событие Fermi	245
7.8. Первая успешная оптическая локализация источника гравитационных волн ..	246
7.9. Наблюдения GW 170817	249
7.10. Оптическая локализация источника гравитационных волн и эволюция двойных звезд	253
7.11. M-реакции	254
7.12. Темп слияний нейтронных звезд в местной Вселенной	255
7.13. Скорость звездообразования и темп слияния нейтронных звезд в галактике NGC 4993	258
7.14. GW 170817 на теоретической гравитационно-волновой карте неба	260
7.15. Килоновая как стандартная свеча	261
7.16. Спинар, черная дыра или магнитар?	262

7.17. Поиск оптических транзиентов в полях ошибок во время включения гравитационно-волновых детекторов LVC: O1, O2, O3	264
7.17.1. Основные особенности работы центрального планировщика МАСТЕР при поиске на больших полях ошибок	267
7.17.2. Режимы наблюдения сети МАСТЕР	268
7.17.3. Гравитационно-волновой инспекционный обзор	270
7.17.4. Обзор областей ошибок гравитационных волновых событий телескопами сети МАСТЕР	270
7.17.5. События слияния двойных нейтронных звезд	271
7.17.6. События слияния нейтронной звезды и черной дыры	272
7.17.7. События слияния объектов промежуточных масс	274
7.17.8. События слияния двойных черных дыр	275
7.18. Совершенствование стратегии поиска	277
7.19. Доминирование черных дыр над нейтронными звездами на гравитационно-волновых детекторах	282
7.19.1. Черные дыры LIGO/VIRGO: относительная частота обнаружения и распределение по массам	283
7.19.2. Моделирование голубых звезд в паре черных дыр	286
7.19.3. Почему черные дыры в паре с голубыми звездами в разделенных системах не являются рентгеновскими двойными	287

Глава 8

ПОИСК ИСТОЧНИКОВ НЕЙТРИНО ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ...	291
8.1. Поиск сетью МАСТЕР источников нейтрино высоких энергий	292
8.2. Ранние оптические наблюдения квадрата ошибок нейтрино высоких энергий IceCube 170922A	293
8.2.1. Самое быстрое наведение	294
8.2.2. Историческая кривая блеска TXS 0506 + 056 – 16 лет наблюдений	296
8.2.3. Интерпретация эффекта падения яркости блазара	297
8.3. Массовые оперативные наблюдения нейтринных событий	298
8.3.1. Нейтринная астрономия. IceCube и ANTARES	298
8.3.2. Основные результаты сети МАСТЕР в нейтринной астрофизике	304

Глава 9

ПОИСК И МОНИТОРИНГ ИСТОЧНИКОВ БЫСТРЫХ РАДИОВСПЫШЕК (FRB)	307
9.1. Явление быстрых радиовспышек во Вселенной	307
9.2. Три возможности для появления потерь энергии вращения	308
9.2. Как классические пульсары были впервые обнаружены в радиодиапазоне	310
9.3. Первые попытки оптической локализации быстрых радиовсплесков	311
9.4. Открытие Сверхновой звезды во время инспекции дуги ошибок радиовсплеска FRB 181228	312
9.5. FRB 190322	314
9.6. FRB 190806 и другие явления	314
9.7. Оптический мониторинг двух ближайших источников быстрых радио-всплесков	315
9.8. Мониторинг FRB 180916.J0158 + 65	317
9.9. Метод совпадений для двойных телескопов	318
9.10. Избыток фотонов, обнаруженных двумя телескопами синхронно вблизи от FRB 180916.J0158 + 65	322

9.11. Первый оптический предел на собственное оптическое излучение FRB 180916. J0158 + 65	325
9.12. Синхронные наблюдения SGR/FRB 200428.J1935 + 2154	326
9.13. Сравнение с другими наблюдениями и моделями	327
9.14. Происхождение магнитаров	329
9.15. Классификация гравимагнитных ротаторов	330
9.16. Универсальная p -у-диаграмма через 30 лет	333
9.17. Магнитары: мягкие гамма-репитеры (SGR), аномальные пульсары (AXP), быстрые радиовсплески (FRB)	334
9.18. Поляры	335
9.19. Поляры как предки магнитаров	336

Глава 10

ОБНАРУЖЕНИЕ И НАБЛЮДЕНИЕ УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ И ЯВЛЕНИЙ

10.1. Мониторинг исторической вспышки V404 Cyg	340
10.1.1. V404 Cyg	340
10.1.2. Алертный мониторинг	341
10.1.3. Обработка наблюдений	343
10.1.4. Обнаружение переменной поляризации оптического излучения микроквара V404	344
10.1.5. Задержка между оптическим и рентгеновским излучениями	348
10.1.6. Орбитальный эффект	351
10.1.7. Влияние рентгеновского освещения звезды-компаньона на временные задержки между оптическим и рентгеновским излучением	353
10.1.8. Выводы мониторинга V404 Cyg/2023 + 338	356
10.2. Редкая красная Новая в галактике Андромеда MASTER OT J 004207.99 + 405501.1 / M31LRN 2015.	356
10.2.1. Яркие красные Новые	356
10.2.2. Открытие, наблюдения и обработка данных объекта MASTER OT J 004207.99 + 405501.1	357
10.2.3. Физика модели	358
10.2.4. Динамика расширения оболочки	363
10.2.5. Происхождение красных Новых	367
10.3. Антитранзиент MASTER OT J 095310.04+335352.8 – самая длиннопериодическая затменная с необъясненными свойствами	368
10.3.1. Долгопериодические переменные	368
10.3.2. Обнаружение MASTER OT J 095310.04 + 335352.8	369
10.3.3. История вопроса	372
10.3.4. Параметры двойной системы	372
10.3.5. Распределение энергии в спектре MASTER OT J 095310.04 + 335352.8 и отличие от ϵ -Aur	375
10.4. Открытие и сопровождение потенциально опасных астероидов и комет	377
10.4.1. Обнаружение и сопровождение малых тел Солнечной системы	378
10.4.2. Интерактивная система контроля оптических транзиентов	379
10.4.3. Анализ движущихся объектов	380
10.4.4. Новый потенциально опасный астероид 2015UM67 (Сварог), открытый Глобальной сетью МАСТЕР	382
10.4.5. Потенциально опасный астероид 2013 UG1	383
10.4.6. NEOAsteroid 2013SW24	384

10.4.7. Астероид 1998 SU4	384
10.4.8. Обнаружение комет	386
10.4.9. Комета C/2015 K1 MASTER	387
10.4.10. Комета C/2016 N4 MASTER	387
10.4.11. COMETS/2020 F5 (MASTER)	388
10.4.12. Комета C/2021 K2 MASTER.....	389
10.4.13. Близкий пролет астероида NEA 2015 («Хеллоуин»)	391
10.5. Первое обнаружение всплеска-сироты на стадии роста	400
10.5.1. Первые оптические наблюдения AT2021lfa/ZTF21aayokph	400
10.5.2. Модели расширения огненной оболочки с внешней ударной волной ...	405

Глава 11

КАТАЛОГ ТРАНЗИЕНТОВ СИНОПТИЧЕСКОГО ОБЗОРА ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ МАСТЕР.....

11.1. Обзоры, проводимые сетью МАСТЕР: собственный, алертный, инспекционный	407
11.2. Оптические транзиенты, обнаруженные телескопами-роботами Глобальной сети МАСТЕР в полностью автоматическом режиме с помощью программного обеспечения обработки широкопольных изображений в режиме реального времени (робот МАСТЕР)	409
11.2.1. Взрывные переменные (CV)	409
11.2.2. Переменные других типов (RCrB, затменные, долгопериодические, вспышки UVCeti).....	410
11.2.3. Вспышки квазаров.....	410
11.2.4. Сверхновые звезды	411
11.2.5. Оптические источники гамма-всплесков	411
11.2.6. Килоновые	411
11.2.7. Всплески-сироты	411
11.2.8. Короткие транзиенты	411
11.3. Примеры оптических быстропеременных объектов, обнаруженных в автоматическом режиме с помощью собственного программного обеспечения телескопов Глобальной сети МАСТЕР (МГУ)	411
11.3.1. Вспышки карликовых новых звезд с большой амплитудой	412
11.3.2. Вспышки Новых звезд	415
11.3.3. Сверхновые звезды	416
11.3.4. Вспышки квазаров	419
11.3.5. Вспышки красных карликов	420
11.3.6. Оптические источники гамма-всплесков	421

Приложение

Каталог оптических транзиентов на 1 мая 2022 г. (всего более 3038)	423
Список литературы	592