

Правительство Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА»  
( МГУ )

Государственный астрономический институт имени П.К.Штернберга

УДК

520, 520.2, 520.85, 524.31.084,  
524.33, 524.337, 524.35,  
524.354.4, 524.354.6, 524.82,  
524.882

Рег. № НИОКТР

121031500168-6

Рег. № ИКРБС

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Государственный астрономический  
институт имени П.К.Штернберга,  
д.ф.-м.н., проф., член-корр. РАН

\_\_\_\_\_ К.А. Постнов

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ Г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

Поиск и исследование оптического излучения от гамма-всплесков и  
других оптических транзиентов на Глобальной сети телескопов-роботов  
МАСТЕР наземного и космического базирования  
( промежуточный )

Руководитель НИР:

заведующий лабораторией, \_\_\_\_\_ Липунов В.М.  
доктор  
физико-математических наук,  
профессор по кафедре,

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИИР, заведующий лабораторией, доктор физико-математических наук, профессор по кафедре	_____	Липунов В.М. (все разделы)
Исполнители:		
	_____	Антипов Г.А. (все разделы)
ведущий программист	_____	Балануца П.В. (все разделы)
научный сотрудник, кандидат физико-математических наук	_____	Владимиров В.В. (все разделы)
ведущий инженер	_____	Власенко Д.М. (все разделы)
инженер 1 категории	_____	Габович А.В. (все разделы)
старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук	_____	Горбовской Е.С. (все разделы)
ведущий инженер, кандидат физико-математических наук	_____	Горбунов И.А. (все разделы)
ведущий инженер	_____	Гресь О.А. (все разделы)
ведущий инженер	_____	Гриншпун В.Г. (все разделы)
лаборант	_____	Жирков К.К. (все разделы)

инженер 2 категории	Зимнухов Д.С. (все разделы)
инженер 1 категории	Кувшинов Д.А. (все разделы)
научный сотрудник, кандидат физико- математических наук	Кузнецов А.С. (все разделы)
ведущий инженер	Минкина Е.М. (все разделы)
инженер 2 категории	Руденко Б.А. (все разделы)
инженер 2 категории	Тополев В.В. (все разделы)
старший науч- ный сотрудник, кандидат физико- математических наук	Тюрина Н.В. (все разделы)
старший науч- ный сотрудник, доктор физико- математических наук	Чазов В.В. (все разделы)
инженер 2 категории	Часовников А.Р. (все разделы)
	Юдин А.Н. (все разделы)

## РЕФЕРАТ

Ключевые слова:

тесные двойные системы, релятивистские объекты, потенциально опасные астероиды, гравитационные волны, нейтрино сверхвысоких энергий, телескоп-робот мастер, гамма-всплески, сверхновые звезды, новые звезды, оптические транзиенты, квазары

Ключевые слова по-английски:

binary system, iccube, ligo, qso, optical transients, antares, gravitational waves, master global robotic net, supernovae, black hole, potentially hazardous asteroids, novae

Выполнение широкого круга наблюдательных задач современной астрофизики высоких энергий возможно только благодаря полностью роботизированным широкопольным оптическим телескопам. К таким задачам относятся локализация и исследование источников гамма-всплесков, гравитационно-волновых всплесков, источников нейтрино VHE/UHE, источников радиовспышек FRB, а также астрометрическая привязка различных целеуказаний и другие. В России такие полностью роботизированные телескопы (не путать с автоматизацией наблюдений на инструментах, разработанных в прошлом веке) есть только у Московского университета и это - Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР МГУ. МАСТЕР на данный момент является единственной развитой и работающей (публикующей ежедневно циркуляры о проводимых наблюдениях) сетью телескопов, расположенных в Северном и Южном полушариях, доступных 24ч/сутки <http://master.sai.msu.ru/masternet> и способной 365/366 ночей в году проводить алертные (по целеуказанию непосредственно после триггера), инспекционные и собственные регулярные (обзорные) наблюдения в режиме реального времени, что реализовано посредством созданного центрального планировщика (часть программного обеспечения робота МАСТЕР, распределяющего площадки приходящих алертных полей ошибок между соседними обсерваториями с учетом метеоусловий, времени суток, видимости исследуемых координат в текущий момент и в ближайшее время, углового расстояния от Млечного Пути, эклиптики, Луны, пределов на полученных изображениях - для контроля качества и возможной пересъемки и т. д.). Каждая площадка (4 кв.град.) снимается не менее 2 раз за ночь со сдвигом по координатам для исключения артефактов и автоматически обрабатывается за время, меньшее длительности следующей экспозиции. Каждый телескоп МАСТЕР - это 2 тонны научного оборудования, созданного в России учеными Московского университета.

Для быстрого обнаружения нового оптического источника в широком поле в заранее неизвестное время МАСТЕРом реализована полная роботизация процесса наблюдений на всех телескопах сети (с автоматическим контролем состояния оборудования) и обработки 24 часа в сутки 365/366 дней в году. На каждой обсерватории (MASTER-Amur, -Tunka, -Kislovodsk, -Tavrida, -SAAO, -IAC, -OAFU, -OAGH) ежедневно автоматически (программным обеспечением): снимаются калибровочные изображения (на закате и рассвете), проводится обзор (в алертном, инспекционном или регулярном режимах) и по результатам online обработки (как прямым отождествлением объектов с выделением некаталогизированных, так и выделением объектов после

вычитания текущего и архивного изображений) обнаруженные транзиенты (ОТ) помещаются для дальнейшего анализа в базу данных кандидатов (движущиеся источники автоматически анализируются и публикуются).

## ВВЕДЕНИЕ

Важнейшие задачам современной астрофизики, к которым относятся локализация и исследование источников гамма-всплесков, гравитационно-волновых всплесков, источников нейтрино VHE/UHE, источников радиовспышек FRB и других астрофизических источников высоких энергий, решаются только на полностью роботизированных телескопах. В России такие телескопы-роботы, полностью автоматически отслеживающие погодные условия, эфемериды Солнца (и Луны, что важно для широкопольных телескопов), снимающие калибровочные изображения, ведущие самостоятельно обзор неба, обрабатывающие широкопольные изображения, содержащие десятки и сотни тысяч звезд на каждом, в режиме реального времени, пока идет следующая экспозиция - то есть за 30 секунд, есть только у Московского университета, это - Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР МГУ. МАСТЕР МГУ на данный момент является единственной развитой и работающей (публикующей ежедневно циркуляры о проводимых наблюдениях) сетью телескопов, расположенных в Северном и Южном полушариях, доступных 24ч/сутки <http://master.sai.msu.ru/masternet> и способной 365/366 ночей в году проводить алертные (по целеуказанию непосредственно после триггера), инспекционные и собственные регулярные (обзорные) наблюдения в режиме реального времени, что реализовано посредством созданного центрального планировщика (часть программного обеспечения робота МАСТЕР, распределяющего площадки приходящих алертных полей ошибок между соседними обсерваториями с учетом метеоусловий, времени суток, видимости исследуемых координат в текущий момент в ближайшее время, углового расстояния от Млечного Пути, эклиптики, Луны, пределов на полученных изображениях - для контроля качества и возможной пере съемки и т. д.). Каждая площадка (4 кв.град.) снимается не менее 2 раз за ночь со сдвигом по координатам для исключения артефактов и автоматически обрабатывается за время, меньшее длительности следующей экспозиции.

Каждый телескоп МАСТЕР - это 2 тонны научного оборудования, созданного в России учеными Московского университета (Lipunov et al. 2010, 2019, 2023). Для быстрого обнаружения нового оптического источника в широком поле в заранее неизвестное время МАСТЕРом реализована полная роботизация процесса наблюдений на всех телескопах сети (с автоматическим контролем состояния оборудования) и обработки 24 часа в сутки 365/366 дней в году. На каждой обсерватории (MASTER-Amur, -Tunka, -Kislovodsk, -Tavrida, -SAAO, -IAC, -OAFa, -OAGH) ежедневно автоматически (программным обеспечением): снимаются калибровочные изображения (на закате и рассвете), проводится обзор (в алертном, инспекционном или регулярном режимах) и по результатам online обработки (как прямым отождествлением объектов с выделением некаталогизированных, так и выделением объектов после вычитания текущего и архивного изображений) обнаруженные транзиенты (ОТ) помещаются для дальнейшего анализа в базу данных кандидатов (движущиеся источники автоматически анализируются и публикуются).

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

I) Деятельность, обеспечивающая выполнение Программы развития МГУ имени М.В. Ломоносова в 2023г:

1.1 выполнение научных исследований на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ – в 2023г. исследование областей гамма-всплесков, алертов нейтрино высоких энергий, быстрых радиовспышек, обнаружение и исследование фотометрии транзиентных явлений во Вселенной.

1.2 Поддержка работы оборудования 8 телескопов Глобальной сети МАСТЕР МГУ – МАСТЕР-Амур, МАСТЕР-Тунка, МАСТЕР-Кисловодск, МАСТЕР-Таврида, MASTER-SAAO, MASTER-OAFA, MASTER-IAC, MASTER-OAGN.

Закупка на средства заработной платы сотрудниками лаборатории серверного оборудования для телескопов МАСТЕР-Кисловодск, МАСТЕР-Таврида, МАСТЕР-Амур, закупка микросхем для ремонта ПЗС-камер и проведение ремонтно-восстановительных работ с оборудованием за свой счет. Дирекцией ГАИШ МГУ не организовано ни одной закупки, запрашиваемых лабораторией для обеспечения непрерывной работы Глобальной сети МАСТЕР МГУ в 2023г. В январе и феврале 2023г. в Крымской обсерватории под руководством Белинского А.А. были проведены работы по монтажу радиодантенны НИИЯФ в непосредственной близости от телескопа МАСТЕР, в результате которых были выведены из строя 2 приемника, закупленных по программе развития МГУ в 2018г. Никаких восстановительных действий дирекцией не проведено, новые приемники для замены не закуплены, несмотря на служебные записки о необходимости.

II) Конференции 2023, которые мы провели и/или в докладах на которых мы представили свои результаты: 3 на международных конференциях, 4 на всероссийской и 8 на молодежной.

1) под эгидой семинара ОСА организована и проведена девятая Всероссийская конференция МГУ имени М.В. Ломоносова 15 декабря 2023г. в ГАИШ МГУ “Успехи российской астрофизики 2023: теория и эксперимент” (<http://master.sai.msu.ru/ru/ura2023>). Председатель оргкомитета - зав.лаб., Почетный профессор МГУ Липунов В.М., все сотрудники лаборатории - в исполнительном комитете конференции.

На Успехах-2023 представлены несколько докладов по результатам выполняемых сотрудниками работ, из основных:

1.1 “Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР: достижения 2023г. в гамма-астрономии, гравитационно-волновой астрономии, нейтринной астрономии”

Липунов В.М., Корнилов В.Г., Антипов Г., Кузнецов А., Жирков К., Балануца П., Горбовской Е., Тюрина Н., Часовников А., Тополев В., Власенко Д., Буднев Н., Гресс О., Симаков С., Габович А., Юрков В., Сенник В., Сосновский А., Тлатов А., Горбунов И., Кечин Я., Целик Ю., Чазов В., Сосновский А., Руденко Б., Гуляев М., Кувшинов Д., Юдин А., Ершова О., К.Лабзина от группы МАСТЕР.

1.2 Жирков К., Липунов В. от группы МАСТЕР (ФФ МГУ, ГАИШ) Анализ возможных источников нейтрино на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ.

1.3 Тарасенков А.Н., Липунов В.М., Кузнецов А.С. (ФФ МГУ, ГАИШ) Программа поиска и исследования экзопланет методом фотометрии транзитов по данным архива сети МАСТЕР.

1.4 Балануца П.В. (ГАИШ МГУ, ИТЭФ), Липунов В.М., Горбовской Е.С., Ершова О., Часовников А., Тополев В., Власенко Д., Сосновский А., Тюрина Н., Кузнецов А., Юрков В., Юдин А., Жирков К., Гресс О., Буднев Н., Габович А., Кувшинов Д. от группы МАСТЕР

“МАСТЕР-Тунка: обнаружение и исследование астрофизических источников высоких энергий”.

2) приглашенный доклад на международной конференции The Fifth Zeldovich Meeting (Ереван, 12-17 июня 2023). Lipunov V. “Extreme Universe through the eyes of MASTER Robots” <https://indico.icranet.org/event/6/contributor/author/3064>;

3) приглашенный доклад на международной конференции Multifrequency Behaviour of High Energy Cosmic Sources - XIV (Палермо, 12-17 июня 2023). Lipunov V. “Global MASTER-Net Highlights” <https://istina.msu.ru/conferences/presentations/609999912/>;

4) доклад The MASTER Network на международной конференции The Seventh Workshop on robotic autonomous observatories <https://istina.msu.ru/conferences/presentations/610000711/>

Проведены 5 междисциплинарных семинаров ОСА <http://master.sai.msu.ru/en/osa/archive/2023/>

по темам:

“Некоторые вопросы формирования и проявления черных дыр в двойных системах”,

“Проверка расширенной гравитации на различных пространственно-временных масштабах”

“Анализ структуры джета GRB 221009”,

“Эволюция планет, звезд, галактик и их систем”

“Обнаружение Килоновой от гамма-всплеска GRB 230307A”,  
выход монографии Монография “АСТРОНОМИЧЕСКИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СЕТИ и ОПЕРАТИВНАЯ МНОГОКАНАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИКА на примере Глобальной сети МАСТЕР”;

“Парниковая катастрофа. 20 лет спустя. Оценка вероятности неблагоприятных сценариев на основе данных IPCC.”

На каждом семинаре представлены новости МАСТЕРа и публикаций arXiv. Доклады по ним готовили Часовников А.Р., Липуновым В.М., Жирков К.К. - см. онлайн записи семинаров.

3) проведены 52 еженедельных семинаров “МАСТЕРская” лаборатории космического мониторинга

4) Молодые сотрудники участвовали с докладами в молодежной конференции Ломоносов, прошедшей в МГУ 11 апреля (8 докладов на секциях Астрофизика и Физика космоса <https://lomonosov.msu.ru/rus/event/schedule/1344?date=2023-04-11#11745> )

Власенко Даниил Михайлович - Три проблемы поиска и анализа оптических источников гамма-всплесков и их решения, реализованные на телескопах глобальной сети телескопов роботов МАСТЕР на примере событий GRB170817A, GRB190114C, GRB190530A, GRB190829A

Гуляев Матвей Андреевич - Обнаружение на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ оптических источников гамма-всплесков, зарегистрированных детекторами GECAM и Fermi.

Жирков Кирилл Константинович - Быстрые наблюдения блазаров в полях ошибок нейтринных событий IceCube телескопами-роботами глобальной се-



ти МАСТЕР МГУ

Коновалова Варвара Вадимовна - Поиск и исследование объектов ближнего и дальнего космоса на телескопах Глобальной сети МАСТЕР МГУ

Поздняков Андрей Петрович - Ранние оптические наблюдения GRB210420B и GRB210222B на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ

Часовников Аристарх Родионович - Трёхстадийные гамма-всплески в парадигме спинара.

Тополев Владислав Валерьевич - Статистика слияния нейтронных звезд и черных дыр с учетом особенностей локального распределения плотности материи

У Сыюй - Early emission of short optical transients

III) Работы в рамках международных коллабораций в 2023г на телескопах роботах МАСТЕР велись со следующими коллективами и физическими экспериментами.

LIGO/Virgo (США,Италия);нейтринной обсерватории IceCube, ANTARES/KM3Net (Франция); Институтом оптики и электроники INAOE(Мексика); Институтом астрофизии Канарских островов IAC (Испания); Национальным университетом провинции Сан-Хуан (Аргентина); южно-африканской астрономической обсерватории SAAO (ЮАР); китайским университетом Цинхуа (Китай); индийским институтом астрофизики (IIAP); университетом Гайдельберга IMPRS-HD.

IV) по результатам научной работы в лаборатории студенты 6 курса Тополев В.В., Часовников А.Р. и магистрант Сыю Ву защитили 3 дипломных работы:

“Особенности явлений, сопровождающих гамма-всплески”.

” Раннее излучение коротких оптических транзиентов, открытых на глобальной сети МАСТЕР МГУ ” .

“Статистика гамма-всплесков на предельно малых потоках” , а студент 4 курса Поздняков А.П. защитил курсовую работу “Ранние оптические наблюдения источников гамма-всплесков и построение кривых блеска для этих источников с оптическим транзиентом за 2020 и 2021 годы на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ”

V) июль и август 2023 г.: организована и проведена летняя практика у студентов 3-6 курсов астрономического отделения ФФ МГУ.

VI) весна 2023 г.: в рамках астрофизического практикума 4 курса организованы и проведены лабораторные работы со студентами и магистрантами АО ФФ МГУ.

VII) Научный отчет лаборатории космического мониторинга (МАСТЕР) - главные достижения 2023 г.

VII. МАСТЕР провел наблюдения 320 областей локализации гамма-всплесков в 2023г., 1500 гравитационно-волновых алертов LIGO/Virgo эпохи наблюдений О4 (май-декабрь 2023, продолжается в 24г.) , 30 нейтринных алертов IceCube

VII-I.) Для следующих гамма-всплесков обнаружены оптические источники, для которых мы получили их раннюю фотометрию:

1) GRB 231215A / MASTER OT J003857.44+573850 (GCN 35347)

<https://gcn.nasa.gov/circulars?query=231215A>

2) GRB 231210B / MASTER OT J062311.01-482220.5

МАСТЕР получил сообщение о всплеске и координаты поля ошибок (Зуг-

ловых минуты), прервал шедший обзор, перенавелся, получил серию изображений поля ошибок, выделил новый быстропеременный источник, оценил его блеск и опубликовал с координатами источника ДО публикации гамма-обсерватории Swift.

Во всем мире так работать (наводиться, получать изображения, обрабатывать их за время меньшее следующей экспозиции – порядка 30 секунд, отождествлять на снимках за это время все источники и выделять новый, определять его параметры, отделять от переменных объектов другой природы) умеет только МАСТЕР.

Гамма-всплеск произошел в галактике с красным смещением  $z=3.13$ , определенным спектрографом VLT X-shooter (GCN35317 <https://gcn.nasa.gov/circulars/35317>) по отождествленным линиям NV, SiII, SII, OI, CII, ZnII, FeII, AlII, CIV, SiIV, FeII\*, OI\*, SiII\*, CII.

Блеск источника на одном из первых изображений составил 16.3 в белом свете (поляризационный фильтр, см. Lipunov et al. 2010, Kornilov et al. 2012) <https://gcn.nasa.gov/circulars/35313>

<https://gcn.nasa.gov/circulars/35312>

<https://master.sai.msu.ru/site/master2/observ.php?id=2329146>

3) GRB 231129C (GECAM-B | Fermi)

MASTER OT J004437.97-815948.75 (GCN 35313)

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023GCN.35240....1A/abstract>

Один из самых ярких за 2023г. гамма-всплеск.

МАСТЕР получил самые ранние данные по развитию всплеска в оптическом диапазоне, что позволит оценить параметры источника.

4) GRB 231118A / MASTER OT J001919.45-480224.7

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023GCN.35109....1L/abstract>

5) GRB 231111A / MASTER OT J192045.23+522610.1 - случай Smooth Optical Self-similar Emission

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023GCN.34983....1L/abstract>

6) GRB 230818A / MASTER OT J190333.11 +405348.5

<https://gcn.nasa.gov/circulars/34476>

<https://gcn.nasa.gov/circulars?query=GRB+230818A>

7) GRB 230426A: MASTER OT J023135.16-792104.8 GCN 33691

<https://gcn.nasa.gov/circulars/33691>

8) GRB 230204B / MASTER OT J 131034.94-214304.8

<https://gcn.nasa.gov/circulars?query=230204B>

9) GRB 230426A: MASTER OT J023135.16-792104.8

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023GCN.33691....1L/abstract>

VII-II. Проведены наблюдения 1500 гравитационно-волновых алертов, полученных от детекторов LIGO/Virgo в эпоху наблюдений O4 (май-декабрь 2023) в рамках международной коллаборации МАСТЕР MASTER Global Robotic Net +LIGO/Virgo.

Ведется анализ объектов различных типов, обнаруженных во время алертных и инспекционных наблюдений этих полей ошибок.

Например, обнаружен новый источник - MASTER OT J071612.28-415537.5 (опубликовано в GCN 33861 <https://gcn.nasa.gov/circulars/33861>).

В результате проводимого в ЮАР на телескопе MASTER-SAAO инспекционного обзора поля ошибок гравитационно-волнового алерта LIGO/Virgo программное обеспечение МАСТЕР обработки широкопольных изображений в реальном времени и идентификации новых источников (auto-detection

system Lipunov et al., "MASTER Global Robotic Net", Advances in Astronomy, 2010, 30L ) обнаружен новый источник по координатам (RA, Dec) = 07h 16m 12.28s -41d 55m 37.5s on 2023-05-23.71558 UT 18.2m в белом свете (предел на первом изображении с ним  $m_{lim}=19.0$ ).

Объект за 24ч виден на 6 изображениях (не шум, не артефакт, не объект солнечной системы). В базе данных МАСТЕРа один из опорных снимков, использованных для обнаружения источника, получен 2014-12-24.97843 UT с пределом  $m_{lim}=19.7m$  в белом свете.

Результаты были частично представлены в прилашенных и устных докладах на международных конференциях

1. The Fifth Zeldovich Meeting (Ереван, 12-17 июня 2023). Lipunov V. "Extreme Universe through the eyes of MASTER Robots"

<https://indico.icranet.org/event/6/contributions/1398/author/3064>;

2. Multifrequency Behaviour of High Energy Cosmic Sources - XIV (Палермо, 12-17 июня 2023). Lipunov V. "Global MASTER-Net Highlights"

<https://istina.msu.ru/conferences/presentations/609999912/>;

и Всероссийской "Успехи российской астрофизики 2023: теория и эксперимент", проведенной нами 15 декабря 2023г. в ГАИШ МГУ

<https://master.sai.msu.ru/en/ura2023/program>

3. "Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР: достижения 2023г. в гамма-астрономии, гравитационно-волновой астрономии, нейтринной астрономии"

Липунов В.М., Корнилов В.Г., Антипов Г., Кузнецов А., Жирков К., Балануца П., Горбовской Е., Тюрина Н., Часовников А., Тополев В., Власенко Д., Буднев Н., Гресс О., Симаков С., Габович А., Юрков В., Сеник В., Сосновский А., Тлатов А., Горбунов И., Кечин Я., Целик Ю., Чазов В., Сосновский А., Руденко Б., Гуляев М., Кувшинов Д., Юдин А., Ершова О., К.Лабзина от группы МАСТЕР.

VII-III Проведены наблюдения 30 нейтринных алертов, полученных с антарктической обсерватории IceCube:

IceCube231020.19, IceCube230306.46,  
IceCube230724.08, IceCube231027.18,  
IceCube230416.22, IceCube231004.61,  
IceCube230112.28, IceCube230220.32,  
IceCube230914.22, IceCube230727.67, ,  
IceCube230401.68, IceCube230708.35,  
IceCube231202.71, IceCube230201.26,  
IceCube230506.66, IceCube230707.79,  
IceCube230603.21, IceCube230217.87,  
IceCube230725.90, IceCube231014.92,  
IceCube230122.16, IceCube230823.35,  
IceCube230524.47, IceCube230707.71,  
IceCube231103.39, IceCube230405.56,  
IceCube231211.03, IceCube230511.75,  
IceCube230313.50, IceCube231125.94

Исследованы кривые блеска блазаров и других оптических источников внутри полей ошибок этих событий.

VII-IV Выполнен детальный анализ данных наблюдений МАСТЕРа, Swift/ UVOT, Very Large Telescope и Лас-Кумбрес для гамма-всплеска GRB 191221B. Получена и проанализирована общая кривая блеска послесвече-

ния источника GRB- 191221B. В результате анализа данных в оптическом, ультрафиолетовом, рентгеновском и радио диапазонах для этого всплеска мы предложили двухкомпонентную модель джета. Наш анализ показывает, что узкий компонент имеет начальный коэффициент Лоренца 400 и полуугол открытия струи  $1,4^\circ$ , в то время как широкий компонент имеет начальный коэффициент Лоренца 25 и полуугол открытия струи  $2,8^\circ$ . Узкая струя доминирует в раннем распаде, в то время как более широкая струя проявляется на плато в оптическом диапазоне.

VII-V. В 2022г. телескопы МАСТЕР открыли оптический источник гамма-всплеска GRB 221009A - самого мощного и одновременно одного из самых близких гамма-всплесков за всю 50-летнюю историю их наблюдений. Проведены были самые ранние наблюдения источника, благодаря чему удалось исследовать поведение джета гамма-всплеска. Анализ рентгеновского, оптического и гамма- послесвечений приводит к пересмотру стандартных представлений о структуре релятивистских струй, порождаемых образующейся на наших глазах чёрной дырой. Результатом работы стала модель «структурированного джета», в котором в разное время (на разной глубине), в разных длинах волн излучение идет внутри разных конусов. Это позволяет снизить оценку реальной энергии взрыва до стандартных величин и сделать вероятность таких событий вполне приемлемой: раз в несколько десятилетий (<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adi1405>)

VII-VI. Проведен анализ GRB 160625B. Всплеск длинный и позволяет выделить в нем 3 события: G1 - предвестник, G2 -основной импульс, G3 - повторный импульс, который лучше всего был виден гамма детекторами БДРГ Ломоносов. Кроме того, анализ оптического излучения показал не случайную квазипериодичность его излучения. Начиная с 50 секунды основного импульса G2 проявляется квазистатический вращающийся объект, который живёт до 450 секунды, а потом даёт последнюю вспышку гамма-излучения G3. В работе Lipunov, Sadovnichii et al. "Three-stage Collapse of the Long Gamma-Ray Burst from GRB 160625B Prompt Multiwavelength Observations" (2023ApJ...943..181L ) мы объяснили эти три вспышки в модели Спинара звёздной массы , а именно: речь идёт о коллапсе звёзд после того, как у них заканчивается ядерное топливо. Эта модель впервые была предложена в 1983 году ассистентом кафедры астрофизики физического факультета МГУ Владимиром Липуновым. Быстровращающийся, сильно сплюснутый объект медленно сжимается теряя момент вращения, например, за счёт собственного магнитного поля (Липунов, 1987).

VII-VII Исследованы механизмы образования джета в гамма-всплесках и предложены модели для объяснения гамма-всплесков GRB 090102, GRB 110205A, GRB 101112A, GRB 160625B, GRB 120308A, GRB 190114C, GRB 141220A

doi 10.1142/9789811269776\_0116 <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023mgm..conf.1449J/abstract>.

VIII Обнаружены 120 оптических транзитов - вспышки карликовых новых звезд, Сверхновых и других переменных источников.

IX Проведены наблюдения новых астероидов и комет, проанализированы изображения и определены параметры движения:

COMET P/2023 M4 (MPEC 2023-O51);  
COMET C/2023 RN3 (MPEC 2023-X85);  
COMET C/2023 S2 (MPEC 2023-T05);

СОМЕТ С/2023 S3 (МРЕС 2023-V01);  
СОМЕТ С/2023 X1 (МРЕС 2023-X222, МРЕС 2023-X225);  
2023 VN10 (тип Аполло МРЕС 2023-W13);  
2023 VT10 ( тип Aten МРЕС 2023-W17);  
2023 XU5 ( тип Aten МРЕС 2023-X175).

Ведется работа со школьниками Москвы и г.Озерска (Челябинская область).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все запланированные на 2023 г. задачи выполнены полностью.

На телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР проводились исследование областей (полей ошибок определения координат источника error-boxes) гравитационно-волновых событий, зарегистрированных детекторами коллаборации LIGO/Virgo/KAGRA (в рамках международной коллаборации МАСТЕР и LIGO/Virgo), гамма-всплесков, зарегистрированными орбитальными детекторами Fermi-GBM, Fermi-LAT, GECAM-B, GECAM-C, Swift, MAXI, AstroSAT CZTI, CALET, Konus-Wind, алертов нейтринного телескопа IceCube, быстрых радиовспышек, а также в результате регулярного обзора были обнаружены и исследованы транзиентных явления во Вселенной различной природы, что соответствует осуществлению деятельности, обеспечивающая выполнение Программы развития МГУ имени М.В. Ломоносова в 2023 г.

Работа 8 телескопов-роботов Глобальной сети МАСТЕР поддерживалась регулярным восстановлением отдельных аппаратных блоков за счет заработной платы сотрудников лаборатории (в том числе, командировки для ремонта проведены за свой счет) – МАСТЕР-Амур, МАСТЕР-Тунка, МАСТЕР-Кисловодск, МАСТЕР-Таврида, MASTER-SAAO, MASTER-OAFA, MASTER-IAC, MASTER-OAGH.

Результаты научной работы были представлены в 15 докладах на международных и всероссийских конференциях ("The Fifth Zeldovich Meeting", "Multifrequency Behaviour of High Energy Cosmic Sources - XIV", "The Seventh Workshop on robotic autonomous observatories", молодежной конференции Ломоносов, "Успехи российской астрофизики 2023: теория и эксперимент") и на 5 семинарах ОСА им.Я.Б.Зельдовича.

В лаборатории проведены 52 семинара "Мастерская" (каждый четверг, 17.30-21.00).

Сотрудники лаборатории читают следующие курсы на астрономическом отделении физического факультета МГУ:

Теоретическая астрофизика (4к, проф.Липунов),

Астрофизика нейтронных звезд и черных дыр (4к, проф.Липунов),

Роботизированные обсерватории и взрывные процессы в Метагалактике (Горбовской).

В июле и августе 2023 г. организована и проведена летняя практика у студентов 3-6 курсов астрономического отделения ФФ МГУ.

В весеннем семестре 2023 г. в рамках астрофизического практикума 3 курса организованы и проведены лабораторные работы со студентами и магистрантами АО ФФ МГУ.

Ведется работа со школьниками:

прочитаны научно-популярные лекции (1543, Москва),

ведется работа со школьниками Дворца пионеров г.Озерска.

На XVII Международных Молодёжных Циолковских чтениях Константин Ветров (Озерск) защитил научную работу "Космические проекты МГУ", получив Диплом 1 степени за работу на КА Ломоносов и Глобальной сети МАСТЕР,

а Тишкин Виталий и Прыкин Николай получили Диплом 2 степени за рабо-

ту «В поисках Сверхновых звёзд» по базе данных Глобальной сети МАСТЕР МГУ.

Велась работа со школьниками ГБОУ 1504 и ГБОУ 1543, со школьниками и слушателями вечерней астрономической школы ГАИШ МГУ.

Прочитаны научно-популярные лекции для экскурсантов физического факультета и ГАИШ МГУ.

Закончена работа над монографией и опубликована "АСТРОНОМИЧЕСКИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СЕТИ и ОПЕРАТИВНАЯ МНОГОКАНАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИКА на примере Глобальной сети МАСТЕР".

По результатам работы по теме "Поиск и исследование оптического излучения от гамма-всплесков и других оптических транзиентов на Глобальной сети телескопов-роботов МАСТЕР наземного и космического базирования" в лаборатории молодые коллеги защитили 3 дипломные работы : "Особенности явлений, сопровождающих гамма-всплески";

" Раннее излучение коротких оптических транзиентов, открытых на глобальной сети МАСТЕР МГУ " ; "Статистика гамма-всплесков на предельно малых потоках";

и одну курсовую "Ранние оптические наблюдения источников гамма-всплесков и построение кривых блеска для этих источников с оптическим транзиентом за 2020 и 2021 годы на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ".

Международные коллаборации в 2023:

1. Международная коллаборация Глобальной сети МАСТЕР МГУ и гравитационно-волнового эксперимента LIGO/Virgo (США,Италия);

2. Международная коллаборация Глобальной сети МАСТЕР МГУ и нейтринной обсерватории IceCube;

3. Международная коллаборация Глобальной сети МАСТЕР МГУ и нейтринной обсерватории ANTARES/KM3Net (Франция);

4. Международная коллаборация Глобальной сети МАСТЕР МГУ и Института оптики и электроники INAOE(Мексика);

5. Международная коллаборация Глобальной сети МАСТЕР МГУ и Института астрофизии Канарских островов IAC (Испания);

6.Международная коллаборация Глобальной сети МАСТЕР МГУ и Национального университета провинции Сан-Хуан (Аргентина);

7.Международная коллаборация Глобальной сети МАСТЕР МГУ и южно-африканской астрономической обсерватории SAAO (ЮАР);

8.Международная коллаборация Глобальной сети МАСТЕР МГУ и университетом Цинхуа (Китай);

9.Международная коллаборация Глобальной сети МАСТЕР МГУ и индийским институтом астрофизики (IAP);

10. Международная коллаборация Глобальной сети МАСТЕР МГУ и Университета Гайдельберга IMPRS-HD.

Проведены оперативные алертные и инспекционные наблюдения 320 областей локализации гамма-всплесков в 2023г., 1500 гравитационно-волновых алертов LIGO/Virgo эпохи наблюдений O4 (май-декабрь 2023, продолжается в 24г.) , 30 нейтринных алертов IceCube.

Для следующих гамма-всплесков обнаружены оптические источники (получены фотометрические данные):

- 1) GRB 231215A / MASTER OT J003857.44+573850 (GCN 35347)
- 2) GRB 231210B / MASTER OT J062311.01-482220.5
- 3) GRB 231129C (GECAM-B | Fermi) / MASTER OT J004437.97-815948.75 (GCN 35313)
- 4) GRB 231118A / MASTER OT J001919.45-480224.7 (GCN 35109)
- 5) GRB 231111A / MASTER OT J192045.23+522610.1 (Smooth Optical Self-similar Emission <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023GCN.34983....1L/abstract>)
- 6) GRB 230818A / MASTER OT J190333.11 +405348.5 (GCN 34476)
- 7) GRB 230426A: MASTER OT J023135.16-792104.8 GCN 33691  
<https://gcn.nasa.gov/circulars/33691>
- 8) GRB 230204B / MASTER OT J 131034.94-214304.8  
<https://gcn.nasa.gov/circulars?query=230204B>
- 9) GRB 230426A: MASTER OT J023135.16-792104.8  
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023GCN.33691....1L/abstract>

Проведены наблюдения 1500 гравитационно-волновых алертов, полученных от детекторов LIGO/Virgo в эпоху наблюдений O4 (май-декабрь 2023) в рамках международной коллаборации MASTER MASTER Global Robotic Net +LIGO/Virgo.

Ведется анализ объектов различных типов, обнаруженных во время алертных и инспекционных наблюдений этих полей ошибок, например, обнаружен новый источник - MASTER OT J071612.28-415537.5 (опубликовано в GCN 33861 <https://gcn.nasa.gov/circulars/33861>).

Исследованы кривые блеска блазаров и других оптических источников внутри полей ошибок, полученные в результате алертных и инспекционных наблюдений телескопами MASTER следующих нейтринных алертов, полученных от обсерватории IceCube:

IceCube231020.19, IceCube230306.46, IceCube230724.08, IceCube231027.18, IceCube230416.22, IceCube231004.61, IceCube230112.28, IceCube230220.32, IceCube230914.22, IceCube230727.67, IceCube230401.68, IceCube230708.35, IceCube231202.71, IceCube230201.26, IceCube230506.66, IceCube230707.79, IceCube230603.21, IceCube230217.87, IceCube230725.90, IceCube231014.92, IceCube230122.16, IceCube230823.35, IceCube230524.47, IceCube230707.71, IceCube231103.39, IceCube230405.56, IceCube231211.03, IceCube230511.75, IceCube230313.50, IceCube231125.94.

Выполнен детальный анализ данных МАСТЕРa, Swift/UVOT, Very Large Telescope и Лас-Кумбрес для гамма-всплеска GRB 191221B.

Получена и проанализирована общая кривая блеска послесвечения источника GRB- 191221B. В результате анализа данных в оптическом, ультрафиолетовом, рентгеновском и радио диапазонах для этого всплеска предложена двухкомпонентная модель джета (MNRAS, 2024, 527, 1638 "A two-component jet model for the optical plateau in the afterglow of GRB 191221B")

На основе уникальных наблюдений МАСТЕРом GRB 221009A - самого мощного и одновременно одного из самых близких гамма-всплесков за всю 50-летнюю историю их наблюдений, удалось исследовать джет гамма-всплеска. Анализ рентгеновского, оптического и гамма- послесвечений приводит к пересмотру стандартных представлений о структуре релятивистских струй, порождаемых образующейся на наших глазах чёрной дырой. Получена модель «структурированного джета», в котором в разное время (на разной глубине) в разных длинах волн излучение идет внутри разных конусов (Science Advances, 9, 23, 1405 <https://www.science.org/doi/10.1126/>



sciadv.adi1405 )

Анализ оптического излучения длинного гамма-всплеска GRB 160625B позволил выделить в нем 3 события: G1 - предвестник, G2 - основной импульс, G3 - повторный импульс. В анализе всплеска участвовали данные, полученные в рентгеновском диапазоне на БДРГ спутника "Ломоносов". По данным МАСТЕРа (оптический диапазон) выявлена квазипериодичность в структуре всплеска, что объяснено нами проявлением квазистатического вращающегося объекта, который живёт с 50 секунды основного импульса G2 до 450 секунды, а потом даёт последнюю вспышку гамма-излучения G3. В работе Lipunov, Sadovnichii et al. "Three-stage Collapse of the Long Gamma-Ray Burst from GRB 160625B Prompt Multiwavelength Observations" (2023ApJ...943..181L ) мы объяснили эти три вспышки в модели Спиная звёздной массы, впервые разработанной и предложенной в 1983 году тогда ассистентом кафедры астрофизики физического факультета МГУ Владимиром Липуновым. В модели быстровращающийся, сильно сплюснутый объект медленно сжимается, теряя момент вращения, за счёт собственного магнитного поля (Липунов, 1987).

Исследованы механизмы образования джета в гамма-всплесках и предложены модели для объяснения гамма-всплесков GRB 090102, GRB 110205A, GRB 101112A, GRB 160625B, GRB 120308A, GRB 190114C, GRB 141220A (doi 10.1142/9789811269776\_0116 ).

ПРИЛОЖЕНИЕ А  
Объем финансирования темы в 2023 году  
Таблица А.1

Источник финанси- рования	Объем (руб.)	
	Получено	Освоено собственными силами
Денежные сред- ства в виде субси- дии на выполнение фундаментальных научных исследо- ваний в соответ- ствии с госзадани- ем МГУ, часть 2 (р. 01 10)	17 106 000,00000	17 106 000,00000