

МГУ им. М.В. Ломоносова  
Физический факультет  
Кафедра астрофизики и звёздной астрономии

Методическое пособие к задаче специального астрономического практикума  
для студентов 4 курса физического факультета, обучающихся по программе «МС\_АСТРОНОМИЯ»  
(специальность 03.05.01 «Астрономия»)

## **Задача N8**

### **Режим обзора телескопов-роботов МАСТЕР: поиск Сверхновых звезд**

Составитель:

*проф. В.М.Липунов*

Москва, 2019

## Режим обзора телескопов-роботов МАСТЕР: поиск Сверхновых звезд

*Цель работы (главная) :*

Познакомиться с работой уникального экспериментального астрофизического проекта России – проекта МАСТЕР МГУ.

Глобальная роботизированная сеть мониторинга ближнего и дальнего космического пространства МАСТЕР создана под руководством профессора Липунова В.М. учеными Московского университета (ПНР 3.12) для открытия и исследования процессов, сопровождающих образование черных дыр и нейтронных звезд - гамма-всплесков (самых мощных взрывов во Вселенной), а также термоядерные вспышки на белых карликах, вспышки ядер галактик квазаров/блазаров) - свечение плазмы вблизи сверхмассивных чёрных дыр, и вспышки пока еще неизвестной природы (взрывы килоновых и явление выхода ударных волн на поверхность предсверхновых, и др.).

Роботизированные телескопы - это не просто автоматически наводящиеся телескопы по заданной программе. Это телескопы, способные автономно выбирать стратегию обзора неба, обрабатывающие огромные потоки информации (в сети МАСТЕР ежесуточный поток информации измеряется терабайтами) в режиме реального времени. Российские телескопы- роботы МАСТЕР расположены сейчас под Благовещенском (на базе обсерватории Благовещенского педагогического университета), под Иркутском (астрофизический центр Тунка), на Урале (Коуровская обсерватория Уральского Федерального Университета), под Кисловодском на Кавказской Горной Обсерватории МГУ, в Крыму, на Канарских островах(Испания), в Аргентине и Южной Африке. Новые объекты (движущиеся и стационарные) обнаруживает на кадрах МАСТЕРА уникальное для всего астрономического мира собственное программное обеспечение, которое позволяет в автоматическом режиме проводить мониторинг ближнего и дальнего космического пространства на всех обсерваториях сети МАСТЕР и получать полную информацию обо всех объектах на каждом изображении через 1-2 минуты после считывания с ПЗС-камеры, включая распознавание движущихся объектов и определение параметров их движения.

Сеть МАСТЕР является одной из самых эффективных систем мониторинга космических взрывов в мире. За последние несколько лет телескопами МАСТЕР обнаружены свыше 1300 взрывов, расположенных на расстояниях от нескольких сотен световых лет до миллиарда световых лет, открыты несколько потенциально опасных астероидов и 3 кометы МАСТЕР.

МАСТЕР работает в коллаборации с гравитационно-волновой обсерваторией LIGO, внося наибольший вклад в исследование области локализации GW150914 в оптическом диапазоне, превзойдя 200миллионный проект PanSTARR, iPTF и др. МАСТЕР исследует области локализации нейтрино сверхвысоких энергий (в коллаборации с IceCube в Антарктиде и ANTRES в Средиземном море).

Крупнейшие наземные и космические телескопы мира проводят спектральные исследования открываемых на МАСТЕР объектов: 10.4м телескоп GCT (Большой Канарский Телескоп,

Испания), 10-м телескоп SALT (ЮАР), 8-метровые телескопы VLT(Чили,ESO) и GEMINI (Гавайи, США),9.2-м HET (США),6-м БТА САО РАН (Россия), 4.2-м WHT (Канары, Испания), 3.6-м NTT(ESO, Chile), орбитальные гамма-обсерватории SPITZER, SWIFT и FERMI, 2.2-м HCT (Индия), 2.1-м Guillermo Haro (Мексика), 1.8-м Copernico telescope (Италия), 1.5-м Fred Lawrence Whipple (США) и др.

Т.о. МАСТЕР - сеть полностью роботизированных обсерваторий, решает все самые интересные и важные задачи современной астрофизики:

- 1) исследование областей гравитационно-волновых алертов;
- 2) исследование квадратов-ошибок нейтринных экспериментов IceCube,ANTARES;
- 3) исследование природы самых мощных объектов во Вселенной – гамма-всплесков (фотометрическое и поляризационное исследование оптического излучения, сопровождающего процессы образования черных дыр и нейтронных звезд),
- 4) поиск и исследование Сверхновых звезд Ia типа (стандартные свечи, использующиеся для исследования свойств энергии космического вакуума – т.н.темной энергии)
- 5) поиск и исследование оптических быстропеременных объектов (т.е. объектов с малым временем жизни в оптическом диапазоне, открыть которые могут только роботизированные широкопольные телескопы, а исследуют их после обнаружения вспышки все самые крупные обсерватории мира без предварительной заявки – по целеуказанию (алерту) МАСТЕРа);
- 6) разгадка природы темной материи (по эффектам микролинзирования).
- 7) попутно МАСТЕР решает и прикладные задачи современной астрономии – в полностью автоматическом режиме открывает потенциально-опасные для Земли астероиды (в 2013г. на сети МАСТЕР в автоматическом режиме впервые в России открыты hazards, и это 2013 SW24 и 2013 UG1 ) и кометы (для души астронома).

Практические цели задачи по поиску Сверхновых звезд :

Познакомиться с одной из ключевых задач современной астрофизики – открытием и исследованием новых астрофизических объектов, а именно: вспышки Сверхновых звезд Ia (для исследования ускорения расширения Вселенной,и ее состава (в частности, энергии космического вакуума)), а также СН других типов, Новых звезд, карликовых новых, вспышек активных ядер галактик и т.д..

Познакомиться (и научиться работать) с современными базами данных, включая базу данных глобальной сети телескопов-роботов МАСТЕР.

Познакомиться с методикой выделения и первичной классификацией быстропеременных в оптическом диапазоне объектов (оптических транзиентов).

Провести оценку предельной звездной величины на изображениях, полученных на телескопах уникальной российской сети телескопов МАСТЕР .

## ***Подготовка к задаче(теор.минимум).***

Для успешного выполнения задачи необходимо:

- Иметь представление о проекте телескопов-роботов МАСТЕР

<http://observ.pereplet.ru> +статьи ВМ <http://www.pereplet.ru/lipunov/> .

- Иметь представление о каталогах USNO, об инструментах, проводивших обзоры неба в прошлом (напр., Паломарский обзор), и о проектах обзоров в настоящем (SDSS <http://www.sdss.org> и др).
  - Иметь представление о структурах следующих международных астрономических баз данных VIZIER <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR> , NED <http://ned.ipac.caltech.edu> )
  - Иметь представление о широкопольных телескопах, какие задачи перед ними ставятся и какие могут решать только они.
  - Иметь представление о скорости и условиях открытия и наведения по неизвестным и известным координатам телескопов с диаметром больше метра и телескопов-роботов.
  - Иметь представление о типах приемных устройств на телескопах и различных приборах для проведения фотометрии и спектральных исследований (ПЗС-камеры, спектрографы, фотометры).
  - Иметь представление о классификации быстропеременных объектов звездной природы: оптических источников гамма-всплесков, Сверхновых звезд различных типов, Новых и т.д..
  - Иметь представление о природе и истории жизни этих объектов – как появляются, возможные особенности родительских галактик, в чем различие типов объектов, времена жизни, времена оптической переменности.
  - Познакомиться с современными типами быстрых публикаций (для чего, скорость публикации, доступность ) :  
телеграмм ATel <http://www.astronomerstelegam.org/>  
GCN: The Gamma-ray bursts Coordinates Network:  
[http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3\\_archive.html](http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3_archive.html) ,  
<http://gcn.gsfc.nasa.gov/> -> Bursts and Transients  
IAU (Из ГАИШ доступен по адресу <http://www.sai.msu.su/iauc/> ) ,
  - Знать коллег проекта МАСТЕР:  
Каталина <http://nessi.cacr.caltech.edu/catalina/AllSN.html> ,  
ROTSE <http://rotse.net/> .
- Проекты сбора информации:  
<http://www.rochesterastronomy.org/snimages/>  
<http://www.rochesterastronomy.org/novae.html>  
<http://www.cbat.eps.harvard.edu/lists/RecentSupernovae.html> ,  
<http://www.minorplanetcenter.net/iau/NatSats/NaturalSatellites.html> .

## ВАЖНО!

1. Для ознакомления с типами открываемых объектов исследуем страничку открытий МАСТЕРа [http://observ.pereplet.ru/MASTER\\_OT.html](http://observ.pereplet.ru/MASTER_OT.html) , там же приводятся изображения объектов и ссылки на подробную телеграмму открытия ATel .
2. Новости МАСТЕРа <http://www.pereplet.ru/lipunov/>

## *Описание практической части задачи*

Работа с базой данных изображений МАСТЕР

1. Регистрация студента в сети МАСТЕР проводится преподавателем (авторизованный доступ).

2. Зайти в ЦУ <http://master.sai.msu.ru/masternet> и изучить обсерватории (сегменты сети МАСТЕР). Выбрать одну из обсерваторий (напр., МАСТЕР-Благовещенск, где количество ясных ночей составляет более 300 в год), зайти на страницу обсерватории, изучить представленные данные на ней, затем выбрать внизу “Database area”, ввести логин и пароль

3. Знакомимся со структурой базы данных сети МАСТЕР: результаты проводимых широкопольных и сверхширокопольных обзоров.

В каждом из них – исходные данные (необработанные кадры raw), обработанные (processing), новые объекты найденные программой автоматической обработки (transients(а в них SN, Flash и т.д.), short transients, 2 tubes, Nova M31) и другая информация (напр., данные с метеостанции). С каждой страницы базы данных объектов обсерваторий есть выход на центральную страницу МАСТЕРа.

4. Работа данной задачи будет проводиться с изображениями, полученными на телескопе МАСТЕР-II, поэтому для поиска Сверхновых звезд выбираем в разделе MASTER-II Transients (а дальше: SN или Flash Stars или Short или 2 Трубы).

5. Открываются поисковые странички кандидатов в Сверхновые звезды, которые выбрала программа обработки изображений (список объектов, чьи координаты отсутствуют в далеко не полных существующих каталогах, либо отличаются более чем на 1 звездную величину по яркости), полученных с телескопа данного сегмента сети МАСТЕР.

Изучаем структуру таблицы предлагаемых кандидатов (по столбцам):

идентификационные номера кадра и объекта,

время съемки (UT),

координаты объекта,

звездная величина объекта, фильтр (помним, что наиболее подходящий для

поисковых задач – отсутствие фильтров для сбора всех оптических квантов от слабых объектов, т.е. белый свет),

предельная звездная величина на кадре,

отношение сигнал/шум s/n,

координаты центра выбранного участка кадра с кандидатом,

имя родительской галактики,

расстояние до нее от объекта (в угловых секундах),

звездная величина объекта,

ссылка на открытие изображений и вариант классификации предложенного кандидата в оптический транзиент.

6. Открываем предлагаемый объект ( \* либо “ open all “),

7. Начинаем работу с объектом. Изучаем структуру предлагаемых данных по каждому кандидату в Сверхновую звезду.

Кроме вышеперечисленных параметров выводится: имя кадра (Fits name),

параметры выводимого участка изображения (minimum, maximum, вид в

логарифмической шкале, негатив- позитив, возможность увеличить выводимую

область (scale) , увеличить размер выводимой области (xs, ys) – по умолчанию

размер выводимой области бхб угловых минут (0.1 градуса) – это удобно). В случае изменения параметров для обновления картинки нужно нажать “Show”.

8. Исследуем объект как оптический транзиент и классифицируем его : звезда (S), область галактики (G), артефакт (N), Сверхновая звезда (Y), странный случай (?), известная переменная (V) и т.д. Для сравнения предлагаются изображения с

ближайшими датами с этой же обсерватории (внизу) , с Паломарского атласа и SDSS (Sloan Digital Sky Survey) – если есть .

Все имеющиеся каталоги астрономических объектов далеко не полны и заканчиваются примерно на 15 звездной величине в лучшем случае, поэтому часто в качестве кандидата предлагается звезда, которая есть и на кадрах сравнения, например, DSS, если она не показывает интересного поведения, то классифицируем объект как (S), и переходим к следующему кандидату.

9. В случае, если Вы считаете, что это новый объект, то сначала проверяем, не является ли он астероидом или известным артефактом (спутником-шпионом). для этого пользуемся <http://minorplanetcenter.org/mpec/RecentMPECs.html> , либо пользуемся кнопкой MPC на своей страничке с объектом -> MPC. Если является, классифицируем его как Asteroid (нажимаем кнопку A) и идем к следующему кандидату.

10. Если в малых планетах пусто, в Vizier ничего нет -> VIZIER (а по умолчанию в нем поиск идет в круге диаметром 5секунд, изменить можно, нажав Show the target form), то это или вспышка известной спокойной (в Визире) звезды, или, если рядом галактика, то ваш подозреваемый объект является скорее всего Сверхновой (хотя в случае наложения на луч зрения он может быть и Новой). Проверяем, как выглядит данная область в другое время.

Для этого нажимаем значок телескопов и выбираем обсерватории для сравнения кадров: в Кисловодске , в Благовещенске (Амур), в Тункинской долине . Сначала сравниваем на своей обсерватории, потом на других – если объект интересный. При сравнении обращаем внимание на фильтр, в котором снят кадр (если Вы нашли звезду в R, сравнивать с V не стоит, то, что ее там (в V) нет, не говорит о новизне объекта!).

11. Если в прошлом на кадрах объекта нет, и сам объект похож на звезду (занимает много пикселей, уверенно определяется как новый объект – больше чем 4 пикселя), и присутствует как минимум на двух кадрах данной обсерватории (или на близких по дате кадрах с других обсерваторий), то проверяем, а не открыл ли его уже кто-то как Сверхновую или новый объект. Для этого проверяем списки недавно открытых объектов ( наших и коллег) :.

<http://observ.pereplet.ru> , кнопка Brothers\_in\_arms справа в верхнем углу (Mozilla!). Открываются вкладки со списком MASTER\_OT, Сверхновых, Новых, открытых и не опубликованных объектов проекта Catalina, база данных по переменным звездам AAVSO (обычно, ее информация приводится в VIZIER, но обновляется не каждый день), спутников Юпитера и др. Ищем в них свои координаты (прямое восхождение и склонение), если совпадают (редко, но бывает), то идем к следующему кандидату.

12. Если нигде Ваш транзист не числится, то принимайте Поздравления! Вы совершили научное открытие! Большинство астрономов в мире лишено этой возможности – открывать новое, оставляя след в истории, а у Вас она есть! (не забудьте пометить свой объект игреком Y и срочно пишите письмо руководителю уникального проекта МГУ – сети телескопов-роботов MASTER [lipunov2007@gmail.com](mailto:lipunov2007@gmail.com) ! Вы получаете соавторство в телеграмме Atel (IAU) и активно участвуете в подготовке этой телеграммы.

*Оценка предельной звездной величины*

Проводится с помощью программного блока Aladin <http://aladin.u-strasbg.fr/> (если задача проводится на своем ноутбуке, то скачиваем Аладин и запускаем его. ) Подключаем DSS и NED. Вводим координаты (без значков градусов, минут, секунд, часов, но с пробелами). Значком Select выбираем свои слабые объекты с кадров МАСТЕРа и изучаем их известные характеристики. Можно пользоваться картой астронета, но, увы, и она страдает неполнотой по слабым объектам.

#### *Справочный материал.*

USNO - каталог астрометрических стандартов, созданный в Флагстаффской обсерватории, подразделении Морской обсерватории США, в процессе сканирования и обработки пластинок О и Е Паломарского Обзора Неба, пластинок англ. UK Science Research Council SRC-J survey и пластинок обзора Южной европейской обсерватории (англ. European Southern Observatory survey или ESO-R). Каталогизация производилась в автоматическом режиме. Для исключения обнаружения несуществующих объектов необходимо было, чтобы положение источника совпадало на двух пластинках «красного» и «голубого» обзоров с точностью до 2 секунд дуги. Источники со склонением больше  $-30^\circ$  брались из Паломарского обзора, а со склонением меньше  $-30^\circ$  — из SRC-J или ESO-R.

В качестве координат источников в USNO-A используются прямое восхождение и полярное расстояние, приведённые к эпохе J2000. Координаты источников даны с ошибкой 0,25 секунд дуги, а ошибка фотометрии — 0,25 звёздной величины. После составления каталога к нему был добавлен каталог опорных звёзд (англ. Guide Star Catalog) до 11m, по которым проводилось картирование. Это было сделано для того, чтобы объединить в одном каталоге максимальное число источников. Хотя UNSO-A.1 покрывает всё небо, однако есть незаполненные области вблизи ярких звёзд, туманностей или плотных скоплений.

Глубина обзора:

Полоса-- Предельная звёздная величина

O --21

E --20

J -- 22

F -- 21

Каталог USNO-A1.0 был заменён каталогом USNO-A2.0, который, в свою очередь, заменён каталогом USNOB1.0.[1]

Паломарский обзор неба (POSS) — фотографический обзор большей части неба, выполненный в Паломарской обсерватории. Первая версия обзора выполнялась на 122-сантиметровом телескопе системы Шмидта (Телескоп имени Самуэля Ошина) с 1949 по 1958 год. Всего было отснято 936 фотопластинок, покрывающих полностью всё небо севернее  $-30^\circ$ . Каждый участок неба был отснят в двух светофильтрах — синим и красном. Обзор охватывает звёзды до 22m звёздной величины. Вторая версия обзора (POSS-II) была отснята в 1980-х — 1990-х годах, и до выхода каталога 2MASS оставалась наиболее полным атласом неба.

В 1994-м году фотопластинки Паломарского обзора были оцифрованы, и на основе этих данных был выпущен Цифровой обзор неба (Digitized Sky Survey — DSS).

Научно-популярные статьи проф.В.М.Липунова (в помощь к подготовке к задаче) см.

<http://www.pereplet.ru/lipunov/>