

МЕТЕОРНАЯ АСТРОНОМИЯ

DOI: 10.7868/S0044394819030095

Непредсказуемость и кратковременность метеорных явлений делают метеорную астрономию одним из немногих разделов науки, существенный вклад в развитие которого могут внести любители. Дальность видимости отдельного метеора даже при идеальных условиях не превышает 1200 км; следовательно, метеоры, пролетающие – скажем, над Уралом – не видны из Москвы, а метеоры – пролетающие над Москвой – не видны на Кавказе. Наблюдаемость кратковременных метеорных потоков часто ограничивается лишь небольшой территорией, так как на остальной части земного шара либо радиант находится под горизонтом, либо – светлое время суток, либо – облачная погода. Профессиональные астрономы пока не имеют достаточных ресурсов для создания из наблюдательных инструментов сети необходимой плотности и равномерности, и поэтому иногда им нужны данные, полученные наблюдателями-любителями.

МЕТЕОРНАЯ АСТРОНОМИЯ В МИРЕ

Международная метеорная организация (The International Meteor Organization, **ИМО**) была основана в 1988 г. – в ответ на всевозрастающую необходимость создания международной кооперации любителей наблюдений за

метеорными явлениями. В современных условиях такая организация не может обойтись без интернет-сайта, представляющего самую разнообразную актуальную информацию. Он есть – <https://www.imo.net>.

Каждые два месяца под эгидой ИМО выходит в свет очередной номер журнала “WGN, the Journal of the International Meteor Organization” (аббревиатура сохранилась от его фламандского предшественника – “Werkgoernieuws”, что означает “Новости рабочей группы”). В журнале публикуются теоретические статьи, приводятся анализ метеорных потоков, сообщения о наблюдениях, а также представлена административная информация ИМО. На обложке – цветные и черно-белые фотографии, имеющие отношение к метеорам. Авторы статей – как профессионалы, так и любители. В настоящее время в каждый номер журнала включены ежемесячные результаты, полученные с помощью метеорной видеосети ИМО. Новые номера распространяются по подписке. С выходом первого номера весь архив за позапрошлый год выкладывается в открытый доступ на странице: <https://www.imo.net/publications/wgn>. Статьи удобно

искать, поскольку журнал индексируется в Системе астрофизических данных Смитсоновской астрофизической обсерватории и NASA (SAO/NASA ADS, http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html). Библиографический код журнала

Международная метеорная организация (The International Meteor Organization, ИМО) была основана в 1988 г. – в ответ на всевозрастающую необходимость создания международной кооперации любителей наблюдений за метеорными явлениями

“WGN” в этой системе – JIMO. Отметим, что информированные пользователи не ограничиваются чтением только одного журнала, и потому SAO/NASA ADS в настоящее время – большое подспорье для астрономов-профессионалов во всем мире.

Кроме журнала на сайте IMO можно найти справочные руководства по проведению различных видов метеорных наблюдений, предлагается программное обеспечение для обработки результатов наблюдений, разнообразные базы данных, содержащие результаты наблюдений метеоров, а также ежегодный “Календарь метеорных потоков” (<https://www.imo.net/resources/calendar>). Помимо основного, англоязычного, варианта календаря, публикуются (но не регулярно) и его переводы на другие языки, выполненные добровольцами (выпуски за 2010 и 2011 гг. доступны на русском языке).

Визуальная метеорная база данных IMO пополняется отчетами наблюдателей, заполненными по специальной форме (https://www.imo.net/members/imo_observation/add_observation). “Случайных” очевидцев особо ярких метеоров (болидов) IMO призывает заполнять другую, интерактивную форму (http://fireballs.imo.net/members/imo/report_intro). Она переведена добровольцами на разные языки (в создании русского варианта принял участие, в частности, автор предлагаемой статьи).

Для установления личных контактов между своими членами IMO ежегодно проводит Международные метеорные конференции (IMC) в каком-либо европейском городе. Доклады представляют

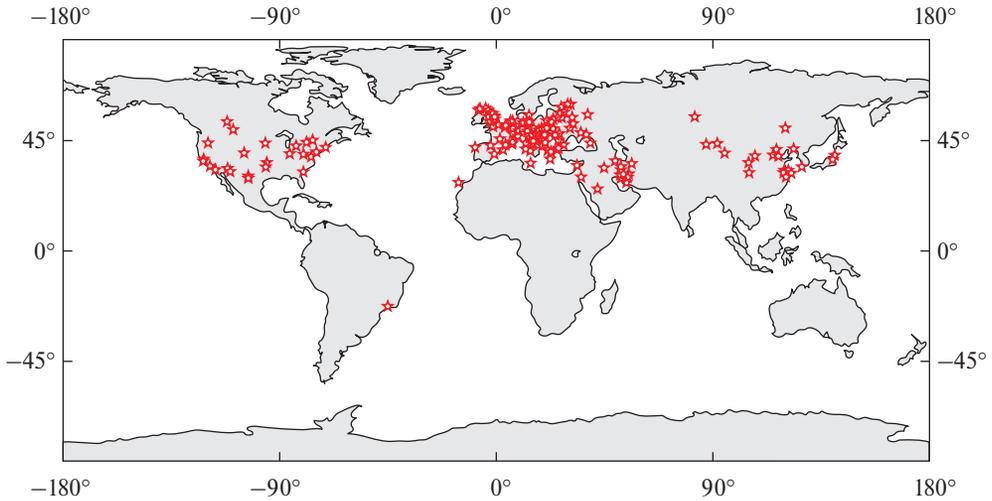
как профессионалы, так и любители. Сборники трудов индексируются в Системе астрофизических данных (библиографический код – pimo.conf), они позволяют желающим ознакомиться с самыми современными практическими и теоретическими методами метеорной астрономии. На сайте IMO есть возможность увидеть фотогалерею-отчет о прошедших конференциях. Отмечается,

что многие участники этих научных мероприятий считают ненормальной ситуацию, когда любители делятся данными, полученными с использованием личных денежных средств, тогда как большинство профессионалов пользуются так называемым общественным финансированием, но при этом оставляют данные закрытыми.

Некоторые новации IMO заимствует у Американского метеорного общества (The American Meteor Society, AMS). Так, на сайте AMS (<https://www.amsmeteors.org>) раньше, чем на сайте IMO, была представлена возможность размещения фотографий и видеозаписей метеорных явлений. Мобильное приложение AMS было одним из предшественников болидной интерактивной формы IMO.

Результаты исследований, впервые опубликованные в научных журналах, позже обобщаются в книгах. На английском языке регулярно издаются книги о метеорах, ориентированные как на профессионалов, так и на любителей. Так, в издательстве “Cambridge University Press” вышла книга P. Jenniskens “Meteor Showers and their Parent Comets” (“Метеорные потоки и их родительские кометы”, 2006). Издательство “Springer” предлагает книги N. Bone “Observing Meteors, Comets, Supernovae

Результаты исследований, впервые опубликованные в научных журналах, позже обобщаются в книгах. На английском языке регулярно издаются книги о метеорах, ориентированные как на профессионалов, так и на любителей



Распределение наблюдателей Персеид 2015 г., приславших свои отчеты в визуальную базу данных IMO

and other Transient Phenomena” (“Наблюдение метеоров, комет, сверхновых звезд и других кратковременных явлений”, 1999), O.R. Norton and L.A. Chitwood “Field Guide to Meteors and Meteorites” (“Походный справочник по метеорам и метеоритам”, 2008), R. Lunsford “Meteors and How to Observe Them” (“Метеоры и как их наблюдать”, 2009), G.W. Kronk “Meteor Showers” (“Метеорные потоки”, 2014).

В современную эпоху развития цифровых технологий не секрет, что существуют очень быстрые и “легкие” способы получения электронных копий книг и журналов в обход подписки (абсолютно бесплатно), однако эти действия являются грубейшим нарушением авторского права и могут повлечь за собой правовую ответственность.

Большую пользу для метеорной астрономии могло бы принести создание плотной и равномерной сети наблюдателей по всему миру. Казалось бы, Россия, располагающаяся на огромной территории, должна сыграть в этом главную роль, однако около двух третей членов IMO в настоящее

время – представители европейских стран. На карте, демонстрирующей, как “распределились” наблюдатели Персеид в 2015 г. (приславшие свои отчеты в визуальную базу данных IMO), видно, что большая часть территории нашей страны, увы, представляет собой белое пятно.

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ МЕТЕОРНАЯ АСТРОНОМИЯ В РОССИИ И В БЛИЖНЕМ ЗАРУБЕЖЬЕ

В СССР метеорная астрономия была весьма развита. Выходили научные журналы – “Кометы и метеоры”, “Метеорные исследования”, “Метеорное распространение радиоволн”; публиковались оригинальные и переводные книги для профессионалов и любителей. Для определения условий функционирования технических устройств в космическом пространстве были утверждены ГОСТ 25645.112-84 (“Вещество метеорное. Термины, определения и буквенные обозначения”)

и ГОСТ 25645.128-85 (“Вещество метеорное. Модель пространственного распределения”). В настоящее время в интернете можно найти все книги, перечисленные в списке литературы, прилагаемом к настоящей статье (благодаря наличию незаконных электронных копий).

Первые в Российской империи фотографические наблюдения метеоров были организованы в 1901 г. в Ташкенте. И в дальнейшем – уже советские – фотографические метеорные “патрули” располагались преимущественно на территории южных республик – Узбекистана, Туркменистана, Таджикистана, Украины. После распада СССР все они оказались за пределами России.

В Институте астрофизики Академии наук Республики Таджикистан под руководством П.Б. Бабаджанова проводятся базисные фотографические наблюдения болидов. До 2008 г. изображения фиксировались на фотопленку с помощью объективов “Zeiss Distagon 3.5/30”, а позднее – с помощью цифровых камер “Nikon D2X” и “Nikon D300” с объективами “Nikkor 10.5 mm f/2.8”.

В 2001–2003 гг. астроном П.М. Козак и др. проводили базисные телевизионные наблюдения метеоров на наблюдательных станциях Астрономической обсерватории Киевского национального университета. Установки оснащены объективами “Гелиос-40” (фокусное расстояние 85 мм, f/1.5) и “Юпитер-3” (фокусное расстояние 50 мм, f/1.5).

В 2011 г. в Николаевской астрономической обсерватории Н.А. Куличенко и др. начали односторонние (а в 2013 г. – базисные) наблюдения метеоров с использованием телевизионных ПЗС-камер “Watec LCL-902” и объективов “Canon 85

mm f/1.8” и “ЛОМО” (фокусное расстояние 100 мм, f/2).

В Астрономической обсерватории Одесского национального университета систематические исследования метеорных явлений выполняются, начиная с 1953 г. В 2003 г. под руководством Ю.М. Горбанева была предпринята попытка полной модернизации наблюдательной техники для базисных и односторонних наблюдений. Создан “телевизионный патруль” на основе камер “Watec LCL-902” и широкого ряда оптических приборов, включающего как объективы типа “рыбий глаз” (фокусное расстояние 8 мм, f/3.5), так и серийный телескоп “Sky-Watcher Equinox 80” (фокусное расстояние 500 мм, f/6.25).

Первые в Российской империи фотографические наблюдения метеоров были организованы в 1901 г. в Ташкенте. И в дальнейшем – уже советские – фотографические метеорные “патрули” располагались преимущественно на территории южных республик

В России оптические наблюдения метеоров были восстановлены лишь в 2002 г. (руководитель – А.В. Багров, сотрудник Института астрономии РАН). На станции оптических наблюдений “Архыз” С.Ф. Бондарь с коллегами проводил наблюдения, используя телевизионную систему, включающую камеру “Watec LCL-902”, электронно-оптический усилитель яркости и объектив “Мир-2” (фокусное расстояние 28 мм, f/2). В Подмоскowie наблюдатели используют телевизионные системы PatrolCa, состоящие также из камер “Watec LCL-902” и сверхсветосильных объективов “Computar HG0608AFCS-HSP”. В 2003 г. на станции “Архыз” был установлен широкоугольный высокоскоростной комплекс “FAVOR”, созданный в сотрудничестве с группой релятивистской астрофизики Специальной астрофизической обсерватории РАН (Г.М. Бескин, С.В. Карпов, А.В. Бирюков). Использовались: объектив с фокусным



*Поток Персеид 13–14 августа 2015 г.
На переднем плане расположен инструмент
“Mini-MegaTORTORA”, на котором в это же
время проводятся научные наблюдения
метеоров. Фото Е.В. Катковой
(публикуется с ее разрешения)*

расстоянием 180 мм и светосилой $f/1.2$, электронно-оптический преобразователь, матрица “Sony ICX285AL”. Также при поддержке ИНАСАН выполняются телевизионные наблюдения в Иркутске и в Рязани.

Начиная с 2014 г. на станции “Архыз” прибор “FAVOR” заменили на многоканальный мониторинговый телескоп “Mini-MegaTORTORA”, созданный специалистами Казанского федерального университета в сотрудничестве с компанией “Параллакс” (В.В. Сасюк). Система “Mini-MegaTORTORA” состоит из девяти камер, основные элементы каждой из них – объектив “Canon 85 mm $f/1.2$ ” и матрица “Andor Neo sCMOS”. Первичные результаты наблюдений метеоров автоматически размещаются по ссылке: <http://www.astroguard.ru/meteors>. “FAVOR” используется в качестве удаленного канала для базисных наблюдений.

В 1956 г. (в преддверии Международного геофизического года) в Харькове, Казани и Томске были организованы радиолокационные наблюдения метеоров. В Астрономической обсерватории имени В.П. Энгельгардта (Казань) наблюдения были выполнены с использованием армейского радиолокатора.

В настоящее время работы продолжают в Харьковском национальном университете радиоэлектроники (руководитель С.В. Коломиец) и на кафедре радиофизики Казанского федерального университета (А.В. Карпов, С.А. Калабанов и др.).

Сотрудник Московского государственного университета геодезии и картографии В.М. Дмитриев разрабатывает новый подход к определению орбит метеоров, основываясь на результатах наблюдений с использованием численного интегрирования уравнений движения.

Исследования физических эффектов, возникающих при полете метеора в атмосфере Земли, проводятся в Институте динамики геосфер РАН (В.В. Светцов, В.В. Шувалов, О.П. Попова, Н.А. Артемьева и др.) и в Вычислительном центре им. А.А. Дородницына РАН (М.И. Грицевич).

Обобщение результатов наблюдений делает возможным математическое моделирование пространственного распределения метеорного вещества (структуры метеорных потоков, их связи с кометами и астероидами) как в окрестностях Земли, так и в межпланетном пространстве. Такого рода работы проводятся в Томском государственном университете (Г.О. Рябова), в Институте астрономии РАН (А.К. Терентьева), в Институте астрофизики Академии наук Республики Таджикистан (П.Б. Бабаджанов, Г.И. Кохирова, Ю.В. Обрубов), на кафедре астрономии и космической геодезии Казанского федерального университета (М.Г. Соколова и др.), в Казанском государственном энергетическом университете (В.В. Андреев), в Обнинском институте атомной энергетики (Н.В. Куликова и др.).

В Казани моделирование динамики метеорных тел имеет долгую историю. Еще в 1955 г. Ю.В. Евдокимов (под руководством А.Д. Дубяго) при

исследовании связи кометы Джакобини–Циннера с метеорным потоком Драконид показал необходимость учета возмущений орбиты кометы от планет. Исследование в 1984–1986 гг. О.И. Бельковичем (совместно с Г.О. Рябовой) структуры метеорного потока Геминид позволило последней в 1987 г. учесть при моделировании эволюции потока влияние эффекта Пойнтинга–Робертсона. После 1987 г. под руководством О.И. Бельковича В.В. Андреев рассчитал метеорную опасность на трассе Земля–Марс, а М.Г. Соколова разработала новый метод обработки визуальных наблюдений метеорных потоков.

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ МЕТЕОРНАЯ АСТРОНОМИЯ В РОССИИ И В БЛИЖНЕМ ЗАРУБЕЖЬЕ

Деятельность русскоязычных любителей метеорной астрономии отражена на “Астрофоруме” в подразделе “Метеориты, болиды, метеоры” (<https://astronomy.ru/forum/index.php/board,43.0.html>) и в теме “Фотографирование метеоров” (<https://astronomy.ru/forum/index.php/topic,523.0.html>). Некоторые из них также публикуют статьи в журнале “WGN”, в сборниках трудов ИМС и в других изданиях.

Экономист из Новосибирска М.П. Маслов перевел на русский язык выпуски “Календаря метеорных потоков ИМО” за 2010 и 2011 гг.; в 2014–2015 гг. он – один из администраторов Метеорной видеосети ИМО, проводит собственные фото- и видеонаблюдения метеоров, публикует прогнозы активности их потоков.

Программист из г. Молодечно (Республика Беларусь) И.М. Сергей (состоит в ИМО) координирует и самостоятельно

осуществляет визуальные, видео- и радионаблюдения метеоров. Помимо научных публикаций, результаты некоторых своих работ он оперативно размещает на “Астрофоруме”.

Педагог дополнительного образования из Минска И.С. Брюханов (руководитель астрономического кружка и клуба) координирует и осуществляет визуальные, фотографические и радионаблюдения метеоров.

Популяризатор астрономии из Москвы С.А. Короткий организует экспедиции (в том числе зарубежные) для наблюдений метеорных потоков и сам в них участвует; опрашивает очевидцев падений метеоритов.

Геолог из Воронежа Т.В. Крячко участвует в экспедициях по поиску метеоритов – как не оставивших “памяти” о падении по причине давности лет или удаленности от населенных районов, так и наблюдавших очевидцами в виде болидов.

КАК СФОТОГРАФИРОВАТЬ МЕТЕОР

Даже профессиональные астрономы зачастую используют для наблюдений метеоров широкодоступное серийное оборудование. Поэтому у любителя астрономии возникает естественное желание – если не получить имеющие научную ценность численные данные, то хотя бы просто сфотографировать метеор. Повсеместное применение

цифровых фотоаппаратов исключило необходимость покупки и проявки многих метров фотопленки. Для метеорной фотографии обычно применяются короткофокусные объективы, они намного легче телескопов. Метеорное явление про-

Популяризатор астрономии из Москвы С.А. Короткий организует экспедиции для наблюдений метеорных потоков и сам в них участвует; опрашивает очевидцев падений метеоритов

должается около 1 с – следовательно, длительные выдержки не имеют смысла, а в некоторых случаях подходит видеосъемка (не требует тяжелой монтировки, существенно снижает значимость городской засветки). Однако поглощение света в атмосфере влияет на видимую яркость метеоров так же, как и других астрономических объектов, поэтому бóльшая высота наблюдателя над уровнем моря предпочтительна. Иллюстрирующие этот раздел изображения получены автором в Казани, в черте города.

Если не принимать в расчет оптические аберрации, поглощение света в стекле линз и отражение на его границах, то основными характеристиками объектива нужно считать диаметр входного зрачка и фокусное расстояние (обозначим их соответственно D и f).

Масштаб изображения прямо пропорционален f . Увеличение масштаба улучшает различимость мелких деталей лишь до того, как аберрации объектива превратят изображение точки в пятно размером более нескольких пикселей матрицы фотоаппарата. Очевидно, что при фиксированном размере матрицы фотоаппарата площадь поля зрения убывает обратно пропорционально возрастанию величины f^2 .

Если размер изображения объекта не превышает размера аберрационного пятна или пикселя матрицы, то такой объект можно считать точечным. Если смещение изображения за время выдержки также меньше какой-либо из указанных двух величин, то объект можно считать неподвижным. Оптическая мощность объектива для точечных неподвижных объектов прямо пропорциональна D^2 . Как видим, возможность считать объект неподвижным зависит от времени выдержки, размеров аберрационного пятна объектива или пикселя матрицы. Тем не менее, в большинстве случаев угловая

скорость метеора бывает так велика, что его нельзя считать неподвижным даже при видеосъемке. Оптическая мощность объектива для точечных движущихся объектов прямо пропорциональна отношению D^2/f . Нельзя забывать, что при съемке метеоров в поле зрения наблюдателя всегда присутствует ночное небо – протяженный неподвижный объект. Оптическая мощность объектива для него прямо пропорциональна D^2/f^2 . Поскольку при обычной дневной съемке большинство объектов также являются протяженными и неподвижными – последнему соотношению придается большое значение. Отношение D/f называется относительным отверстием, а обратное, f/D , – диафрагменным числом. Например, маркировка объектива $f/2$ означает, что его наименьшее диафрагменное число равно 2. Если в величину эффективного диаметра входного зрачка внесены поправки на отражение и поглощение света в стекле, то буква f в маркировке заменяется на T .

Таким образом, уменьшение f дает метеору преимущество по сравнению со звездами, а увеличение – по сравнению с фоном неба. Но при чрезмерном уменьшении f страдает детальность изображения.

Недостаток оптической мощи для неподвижных объектов может быть компенсирован пропорциональным увеличением времени выдержки. Для движущихся объектов такая возможность отсутствует. Следовательно, если выдержка близка к длительности метеорного явления, то мы обычно видим на фотографии небольшое количество звезд и слабый фон неба. По мере увеличения выдержки изображение метеора останется прежним, а количество звезд (и фон) будет возрастать, и метеор может затеряться между ними. Слишком короткая выдержка увеличивает вероятность того, что на фотографии будет видна лишь часть трека

метеора. При видеосъемке один метеор регистрируется на нескольких последовательных кадрах.

В отличие от выдержки, изменение чувствительности матрицы (обычно выражаемой в единицах ISO) одинаково влияет на регистрируемые изображения как неподвижных, так и движущихся объектов. Однако увеличение ISO до величин, близких к предельной

для данного фотоаппарата, чрезмерно повышает интенсивность шумов в изображении.

Поскольку направление, в котором появится метеор, заранее неизвестно, количество сфотографированных метеоров зависит не только от оптической мощности объектива и времени, затраченного на съемку, но и от площади поля зрения. При фиксированных

Таблица

Примерная стоимость объективов (новых и подержанных) в России и в США (по состоянию на июль 2018 г.)

Объектив	в России (руб.)		в США (долл.)	
	новый	подержанный	новый	подержанный
Гелиос-44	–	700	–	–
Зенитар 1,2/50S	14500	10000	–	–
Гелиос-40–2	18500	11000	–	–
Зенитар 1,4/85	16000	12000	–	–
Samyang 21 mm f/1.4	24500	19000	340	260
Samyang 24 mm f/1.4	30000	14000	400	330
Samyang 35 mm f/1.4	28000	12000	400	–
Samyang 50 mm f/1.4	31000	14000	300	240
Samyang 50 mm f/1.2	63000	–	700	680
Samyang 85 mm f/1.4	21000	8000	200	–
Samyang 85 mm f/1.2	60500	–	700	–
Mitakon 25 mm f/0.95	32200	–	320	310
Mitakon 35 mm f/0.95	48300	27000	480	450
Mitakon 50 mm f/0.95	72500	47000	800	–
SLR Magic 25 mm T0.95	–	40000	500	–
SLR Magic 35 mm T0.95	–	–	750	670
SLR Magic 50 mm F0.95	–	55000	900	–
SLR Magic 50 mm T0.95	–	–	3000	–
Voigtlander 10.5 mm f/0.95	85000	–	1100	900
Voigtlander 17.5 mm f/0.95	65000	45000	900	–
Voigtlander 25 mm f/0.95	58000	33000	800	550
Voigtlander 42.5 mm f/0.95	65000	60000	800	710
Canon 85 mm f/1.2	130000	60000	1850	1310
Leica 50 mm f/0.95	600000	550000	11300	–



Яркий метеор потока Персеид 13 августа 2011 г., 0 ч 40 мин по московскому времени. Использовался фотоаппарат "Canon EOS400D" – объектив "Canon EF518-55 mm" (kit), фокусное расстояние 18 мм, диафрагма $f/3.5$, выдержка 15 с, ISO 1600. Фото В.С. Усанина

размере матрицы фотоаппарата и времени съемки это количество можно примерно оценить как пропорциональное D^2/f^5 . Таким же образом можно ожидать, что при фиксированной выдержке количество звезд в кадре будет коррелировать с величиной D^2/f^2 , которая также определяет фон неба.

Из этого можно сделать вывод, что в выборе объектива для метеорной астрономии много несовместимого, он зависит от поставленной цели: хотим ли мы сфотографировать большое количество метеоров в мелком масштабе или один (но детально), нужно ли нам много звезд в кадре, или требуется "выделить" только метеор? Изготовление светосильных и высококачественных объективов трудоемко, поэтому приходится искать наиболее подходящий, исходя из соотношения "цена-качество". Естественно, и фотоаппараты с большими и чувствительными матрицами стоят дороже более простых моделей.

Еще одно затруднение состоит в том, что разные производители фотоаппаратов используют разные стандарты крепления объективов: в некоторых случаях возможно соединение объектива и фотоаппарата с несовпадающими стандартами крепления через переходник (адаптер). Для наличия такой возможности "рабочий" отрезок объектива должен быть не

меньше, чем у фотоаппарата. Так, объективы от советских зеркальных фотоаппаратов "Зенит" могут быть присоединены к зеркальным фотоаппаратам "Canon" (но не к "Nikon"). Кроме того, исходя из соображений геометрии, очевидно, что относительное отверстие объектива (которое может быть использовано с определенным фотоаппаратом) ограничивается отношением диаметра отверстия фланца к "рабочему" отрезку фотоаппарата. По этой причине беззеркальные фотоаппараты со сменным объективом имеют неоспоримое преимущество перед зеркальными: создавать для них короткофокусные и сверхсветосильные объективы гораздо проще.

Обычно в комплект поставки (kit) современного фотоаппарата входит объектив, не отличающийся исключительными характеристиками. Тем не менее, даже с таким объективом, настроив фотоаппарат на режим непрерывной (серийной) съемки, во время прохождения большого метеорного потока (например, Персеид), за одну ночь можно получить фотографии нескольких метеоров. Опыт показывает, что невооруженному глазу "доступны" более слабые метеоры, чем их может запечатлеть фотоаппарат с kit-объективом.

Объектив "Гелиос-44" ($f = 58$ мм, $f/2$) обеспечивает примерно такую же предельную звездную величину для

метеоров, как и невооруженный глаз. Он получил широкое распространение благодаря тому, что вошел в комплект фотоаппаратов “Зенит”. Однако при одинаковых размерах матрицы фотоаппарата и времени съемки с помощью “Гелиос-44” и современного kit-объектива общее количество зафиксированных метеоров будет примерно равным, так как большее фокусное расстояние существенно сокращает поле зрения. Хотя размер кадра в фотоаппарате “Зенит” был 24×36 мм, но уже на краях классического цифрового формата APS-C (линейные размеры которого в полтора раза меньше) у “Гелиос-44” появляются характерные aberrации. В художественной фотографии они создают эффект, известный как “закрученное боке”, но в “астрономической” фотографии они нежелательны. Несколько лет назад Красногорский механический завод возобновил массовое производство относительно недорогих объективов с ручной системой фокусировки, среди них отметим “Гелиос-40-2”, “Зенитар 1,4/85”, “Зенитар 1,2/50S”.

Один из способов удешевления производства светосильных объективов (при сохранении приемлемого уровня aberrации) – использование штампованных асферических линз из органического стекла (правда, существует опасность их растрескивания при очень низких температурах). По такому пути пошла южнокорейская компания “Samyang” (выпускает объективы также под марками “Rokinon” и “Bower”). К ее наиболее “светосильным” моделям относятся объективы: 21 mm f/1.4 – только для беззеркальных фотоаппаратов; 24 mm f/1.4; 35 mm f/1.4; 50 mm f/1.2; 50 mm f/1.4; 85 mm f/1.2; 85 mm f/1.4.



Метеор потока Персеид 11 августа 2012 г., 22 ч 55 мин по московскому времени. Использовался фотоаппарат “Canon EOS400D” (объектив “Гелиос-44”, выдержка 8 с, ISO 800). Фото В.С. Усанина

Если широкое поле зрения первых увеличивает вероятность сфотографировать редкие метеоры в малых потоках, то применение последних из перечисленных моделей позволяет получить детальные изображения даже невидимых невооруженным глазом метеоров во время действия больших потоков – когда они становятся достаточно “многочисленными” для того, чтобы часто попадать в узкое поле зрения. Aberrации на краях кадра формата APS-C у “Samyang 85 mm f/1.4” немного меньше, чем у советского “Гелиос-44”, а у объектива “Samyang 21 mm f/1.4” – значительно меньше. В последнее время началось производство в несколько раз более дорогих автофокусных объективов “Samyang”, однако для астрономической фотографии автофокус неприемлем.

Современные форматы видеосъемки имеют намного меньшее разрешение, чем фотографии. Поэтому, предназначив объектив исключительно для видеосъемки (обычно маркируется “*ciné*” – от “*cinema*”), можно существенно снизить



Стойкий след метеора потока Персеид 12 августа 2013 г., 0 ч 45 мин по московскому времени; показана часть кадра. Использовался фотоаппарат "Canon EOS400D" (объектив "Samyang 85 mm F1.4 Aspherical IF", выдержка 4 с, ISO 800). Это фото автора статьи было опубликовано на обложке журнала "WGN" (2015, № 6); обработка raw-файла выполнена в редакции журнала "WGN". Анимация всего явления доступна по ссылке: https://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F_695380361/IMG_8095.gif

требования к уменьшению aberrаций, и в таком случае появляется возможность без дополнительных затрат создать сверхсветосильный объектив. Следует понимать, что если с увеличением aberrационного пятна не будет пропорционально увеличен размер пикселя изображения, в который суммируется сигнал, то фактическая оптическая мощь окажется меньше, чем можно было бы ожидать формально от объектива с соответствующими D и f . Кроме того, преимущества сверхсветосильного объектива могут быть сведены "на нет" из-за затенения матриц с фронтальной засветкой сеткой проводников, расположенной на их поверхности (матрицы с обратной засветкой лишены этого недостатка, но на данный момент их цена слишком значительно возрастает с размером, для того чтобы позволить массовое производство

хотя бы формата APS-C). Гонконгская компания "SLR Magic" выпускает сверхсветосильные *sine*-объективы с ручной системой фокусировки для беззеркальных фотоаппаратов. Среди ее продукции можно отметить 25 mm T0.95 (только для формата Micro 4/3), 35 mm T0.95, 50 mm F0.95, 50 mm T0.95. Видеосъемка с последними двумя объективами превосходит не-

вооруженный глаз одновременно по предельной звездной величине, угловому и временному разрешению, однако уступает по полю зрения. Опыт показал, что aberrации объективов "SLR Magic" (35 mm T0.95 и 50 mm F0.95) заметны уже при видеосъемке с матрицей формата APS-C, и для фотографии они практически непригодны. Недавно в продаже появились также подобные китайские объективы "Mitakon".

Матрицы современных цифровых фотоаппаратов позволяют зафиксировать значительно больший объем информации, чем тот, который помещается в форматах, предназначенных для отображения на мониторе или для печати на принтере. Поэтому, наряду с форматом JPEG, с помощью фотоаппаратов можно записывать изображения в так называемых сырых (raw) форматах. Расширение raw-файла может различаться у разных типов фотоаппаратов. При преобразовании raw-файла в JPEG можно сохранить нужную часть информации и отбросить бесполезную (например, в некоторых случаях можно без потери качества изображения удалить фон городской засветки неба).

Как правило, в комплект поставки фотоаппарата входит программное обеспечение для обработки raw-файлов, полученных с помощью фотоаппаратов

данного типа. Существуют также многочисленные программы, “поддерживающие” форматы всех производителей и имеющие ряд дополнительных функций. Пожалуй, наиболее широкую известность получила платная “Adobe Photoshop”. К программам, созданным специально для работы с “астрономическими” изображениями, можно отнести “MaxIm DL” и “IRIS”¹.

Конечно, видеосъемка в полной мере отражает высокую динамичность метеорного явления, однако краткость событий (по сравнению с промежутками между ними) делает более удобным представление этих явлений в форме GIF-анимации. Исходными изображениями могут служить не только кадры видеозаписи собственно пролета метеора, но и последовательно выполненные фотографии “стойкого” следа. “Сборку” анимации можно осуществлять с помощью

¹ Последняя доступна для скачивания по ссылке: <http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/zip/iris.zip>, подробное руководство для пользователя на английском языке на странице: <http://www.astrosurf.com/buil/iris-software.html>, некоторые вопросы использования программы обсуждаются на русском языке в разных разделах на сайте “Астрофорума”.



Спорадический метеор 13 августа 2014 г., 0 ч 49 мин (слева) и метеор потока Персеид 12 августа 2015 г., 23 ч 34 мин по московскому времени (справа). В обоих случаях показана часть кадра из видеозаписи (использовался фотоаппарат “Sony α NEX-5T”, объектив “SLR Magic Hyperprime CINE II 35 mm T0.95”, выдержка 1/25 с, ISO 6400). Фото В.С. Усанина

некоторых графических редакторов (например, “GIMP”) или специальных онлайн-конвертеров.

Современные программы для обработки астрономических изображений позволяют не только преобразовывать форматы файлов, полученные с помощью цифрового фотоаппарата, они (в большей или меньшей степени) автоматически “распознают” сфотографированный участок неба, измеряют различные астрометрические и астрофизические величины. Сервис “Astrometry.net” удобен тем, что работает в режиме “онлайн” (не требует установки программы на компьютер пользователя). Уже



Метеор потока Персеид 13 августа 2016 г., 1 ч 58 мин по московскому времени (кадр из видеозаписи). Использовался фотоаппарат “Sony α NEX-5T”, объектив “SLR Magic HyperPrime 50 mm F0.95”, выдержка 1/25 с, ISO 6400. Анимация всего явления доступна по ссылке: <https://yadi.sk/i/xiW02nm03ZXbGK>. Фото В.С. Усанина

через несколько секунд после загрузки своего файла (на: <http://nova.astrometry.net/upload>) можно увидеть изображение с контурами созвездий, названиями звезд, с положениями звездных скоплений, туманностей и галактик. В результате калибровки кадра создается и файл с метаданными, который можно сохранить и использовать в дальнейшем для астрометрических измерений (например, для определения координат метеора).

Автор надеется, что публикация этой статьи будет способствовать более активному участию российских любителей астрономии в научных исследованиях по линии Международной метеорной организации.

*В.С. УСАНИН,
кандидат физико-математических наук
Казанский (Приволжский)
федеральный университет*

Список рекомендуемой литературы

1. *Фесенков В.Г.* Метеоры и метеориты. Алма-Ата: изд-во Академии наук Казахской ССР, 1949.
2. *Сытинская Н.Н.* Мир падающих звезд. Л.: Всесоюзное общество по распространению политических и научных знаний, 1951.
3. *Бредихин Ф.А.* Этюды о метеорах. М.: изд-во Академии наук СССР, 1954.
4. *Астапович И.С.* Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: Государственное изд-во физ.-мат. литературы, 1958.

Информация

Первые изображения черной дыры в высоком угловом разрешении

Одной из главных астрономических новостей апреля можно с уверенностью назвать сообщение о том, что научная команда проекта ЕНТ (Event Horizon Telescope – Телескоп горизонта событий) получила первое изображение непосредственных окрестностей сверхмассивной черной дыры в центре галактики М87, в том числе и ее тени – такой, какой ее предсказывает общая теория относительности. Черная дыра находится на расстоянии 55 млн св. лет от нашего светила и имеет массу в 6,5 млрд солнечных масс.

В пресс-релизе проекта ЕНТ, посвященного этому результату, отмечается, что полученное изображение поразительно сходится с представлениями общей теории относительности о том, как должна выглядеть тень черной дыры. Участникам проекта удалось также определить массу объекта и направление вращения черной дыры на основании сравнения ее фотографии с “предсказаниями” компьютерных моделей.

Снимок сделан с помощью методики, называемой интерферометрией с сверхдлинной базой (РСДБ). Телескоп горизонта событий, по сути, представляет собой виртуальный инструмент, состоящий из нескольких телескопов, “разнесенных” по разным континентам. В данный момент при наблюдениях на длине волны 1,3 мм ученым удалось добиться углового разрешения в 20 мкс дуги, которое, по меткому замечанию, содержащемуся в пресс-релизе проекта, позволило бы читать газету, находящуюся в Нью-Йорке, сидя в уличном кафе Парижа.

*Пресс-релиз ESO,
10 апреля 2019 г.
(<https://www.eso.org/public/nenw/eso1907/>)*