Г. А. Гурев. Астрономия в картинах

Атлас «Астрономия в картинах», выпущенный ГАИЗ в 1932 г., знакомит читателя с основами математ

риа
лис
тич
еск
ой
кар
тин
ы
мир
а,
аст
рон
ом
ич
ес
ки
ми
ин
ст
ру
ме
нт
ам
и,
об
ъе
кт
ам
и
и
яв
ле
ни
ям
и
в
Со
лн
еч
но
й

системе и за её пределами. Будет интересен всем интересующимся развитием науки и пропагандой науч

но
го
зн
ан
ия
.

PDF, 85,6 МБ

Утрачены страницы: 1 (использовано найденное в Интернете фото из другого экземпляра), 2, 43, 44, 49 – 54, 57 – 60, 63, 64.

Съемка планет (II. Атмосфера)

Итак, отраженный планетой свет направляется к нам, и, прежде чем попасть в объектив телескопа, встречает на пути атмосферу Земли. И если обстоятельства видимости той или иной планеты можно точно рассчитать на много лет вперед, то поведение земной атмосферы, наоборот, отличается малой предсказуемостью. Многие начинающие любители астрономии не обращают внимания на состояние атмосферы, сосредотачивая усилия на техническом обеспечении наблюдений. Повседневный опыт говорит нам, что воздух – прозрачный, и если с неба не идет дождь или снег, и видно какие-нибудь звезды, то можно приступать к наблюдениям, ожидая увидеть хорошие изображения небесных тел. Но ведь это тот же самый воздух, который дает опору многотонным самолетам, раскаляет обшивку возвращающихся с орбиты космических кораблей, испаряет или взрывает метеороидные тела. Известное высказывание, что «мы живем на дне воздушного океана» – довольно точно передает реальную ситуацию. Свет звезд и планет, прежде чем достигнуть наших глаз, проходит через многокилометровую толщу воздуха, которая, в свою очередь, состоит из перемещающихся и перемешивающихся слоев разной температуры и плотности. В итоге влияние атмосферных условий на астрономические наблюдения настолько велико, что оказываются целесообразными затраты на размещение больших профессиональных обсерваторий в труднодоступном высокогорье. Но и там приходится применять различные технические хитрости, чтобы преодолеть искажения изображений, все еще вносимые атмосферой. Радикально проблему решают выводом телескопов в космос. Отсутствие атмосферы позволяет выйти на дифракционное разрешение, а также работать в тех диапазонах длин волн, которые блокируются земной атмосферой. Но такой подход пока весьма затратен даже по масштабам международных научных организаций, не говоря об отдельных любителях астрономии.

Поскольку совсем избавиться от влияния атмосферы нам пока не удастся, попробуем определить ее самые «мешающие» свойства.

Если бы мы на минутку представили, что атмосфера превратилась в неподвижную «стеклянную» оболочку вокруг Земли, то увидели бы, что изображение не дрожит и не размывается, но все равно подвержено влиянию ***атмосферной рефракции***. Рефракция света в атмосфере создает небольшой подъем светила над горизонтом, который, однако, приводит к тому, что в дни равноденствий продолжительность дня на несколько минут больше продолжительности ночи. Сильнее всего рефракция проявляется у горизонта, что можно видеть невооруженным глазом — Солнце или Луна на закате или на восходе заметно «сплющиваются» из-за того, что рефракция слишком сильно поднимает нижний край диска светила относительно его верхнего края. Солнце или Луна, видимые на горизонте, геометрически находятся под ним и наблюдаются только благодаря рефракции, достигающей на горизонте 35′. На б*о*льших высотах над горизонтом влияние рефракции уменьшается и полностью исчезает в направлении зенита. Если бы рефракция только меняла форму объекта, она не представляла бы особой проблемы. Форму можно было бы подправить при обработке снимка. Но так же, как и в стеклянной линзе, в атмосфере существует зависимость величины рефракции от длины волны света (*дисперсия* света). Чем короче длина волны (чем ближе к синему концу видимого спектра), тем сильнее проявляется рефракция. Из-за этого не только сдвигаются по отношению к друг другу цветовые каналы при съемке цветной камерой, но и появляется размывание изображения в вертикальном направлении в пределах одного канала (особенно сильно для синего), поскольку разделяющие каналы цветные фильтры пропускают довольно широкий диапазон соседних длин волн (в десятки нанометров). Так как рефракция, напомним, наиболее велика у горизонта и спадает до нуля в зените, становится понятной важность наблюдений объекта на как можно большей высоте над горизонтом (а также то, что разные географические широты «не равноправны» с точки зрения планетных наблюдений).

Изображение Меркурия. Высота над горизонтом 10,2°.

Более строгое описание преломляющих свойств атмосферы можно найти в соответствующих источниках, например, здесь (англ.). В приведенном на указанной странице графике под названием «Atmospheric dispersion effect» представлены результаты моделирования величины рефракции для трех типичных диапазонов цветных фильтров (полоса пропускания

каждого принята ~90 нм) и яркостного канала как их комбинации (полоса ~270 нм). Видно, что синий канал гораздо сильнее подвержен рефракции, чем красный, а также то, что величина рефракции зависит от высоты нелинейно. По вертикальной оси отложено смещение изображения (размывание) в угловых секундах. На высотах до 15° величина рефракции настолько велика, что в синем канале смещение изображения превышает 3″ (сравнимо с пределом разрешения для 40 мм объектива!). А ведь это обычная для наших широт высота Венеры и Меркурия, да и внешние планеты половину своего орбитального периода проводят в южной части эклиптики, которая на наших широтах едва достигает 20-градусной высоты.

Как снизить влияние рефракции? Универсальный совет — «поднять» объект над горизонтом путем переезда куда-нибудь поближе к земному экватору. Или подождать, пока планета поднимется выше над горизонтом при своем суточном движении (это, правда, сильно зависит от обстоятельств видимости планеты — она может годами идти на «неудобной» высоте или же интересующее явление может происходить в «неудобный» момент). Либо воспользоваться корректором атмосферной дисперсии (atmospheric dispersion corrector, ADC) — оптическим приспособлением, компенсирующим дисперсию атмосферы за счет обратной дисперсии настраиваемой системы стеклянных призм. К сожалению, ADC компенсирует только «статическую» составляющую влияния атмосферы — рефракцию, но бессилен против «динамической» составляющей — турбулентных течений различной плотности, постоянно меняющих ход лучей в атмосфере, которая в реальности совсем не похожа на неподвижный стеклянный купол.

Прежде чем взглянуть на атмосферу в динамике, напомним, что, помимо рефракции, на небольшой высоте над горизонтом в значительной мере проявляется ***атмосферная экстинкция*** — ослабление света за счет его более долгого пути в атмосфере. Она смягчает яркость Солнца у горизонта (одновременно делая его краснее, т.к. экстинкция усиливается с уменьшением длины волны) и сильно ослабляет свет звезд и планет. Это еще один фактор, который сильно портит наблюдения светил невысоко над горизонтом. Вдобавок, при наблюдениях недалеко от крупных населенных пунктов, к естественной экстинкции часто добавляется поглощение света в городском смоге, печном дыме и т.п. (их действие может проявляться и на сравнительно большой высоте над горизонтом), которое не только сильно уменьшает яркость объекта, но и практически лишает его синей части спектра.

Однако и чистый воздух не является одинаково прозрачным даже в сравнительно узком видимом диапазоне, а также в той части ближнего ИК (инфракрасного света), к которой восприимчивы обычные электронные камеры. Если взглянуть на график пропускания излучения земной атмосферой, видно, что она сравнительно прозрачна только в пределах отдельных «окон». Вне их, свет сильно поглощается и практически не может использоваться для получения информации о небесных объектах (всеволновая астрономия появилась с выносом инструментов за пределы плотных слоев земной атмосферы посредством стратостатов, самолетов и космических аппаратов). В диапазоне длин волн 300 — 1000 нм, который качественно соответствует диапазону чувствительности обычных электронных камер и немного шире диапазона, воспринимаемого глазом человека (380 — 780 нм), пропускание атмосферы сравнительно велико, но также неравномерно. Основным

компонентом, поглощающим ИК-излучение, является водяной пар. В частности, даже малозаметная на глаз туманная дымка сильно снижает эффективность планетных фильтров, пропускающих ИК (например, Baader IR-pass 685 nm и т.п.). По этой причине (а поглощение более длинноволнового ИК водяным паром еще сильнее), наземные профессиональные ИК-наблюдения проводятся в высокогорье, где в атмосфере почти нет водяного пара. С уменьшением длины волны растет ***рэлеевское рассеяние*** света на неоднородностях плотности воздуха. На длине волны 1000 нм рэлеевское рассеяние практически отсутствует, а на 500 нм оно составляет уже около 15%, сильно возрастая в синей и фиолетовой части спектра (отсюда голубой цвет дневного неба): на 200 нм рэлеевскому рассеянию подвергается практически весь свет, и его нельзя было бы использовать для получения изображений небесных объектов. Впрочем, свет с длиной волны короче 300 нм и так почти не проникает к земной поверхности – его поглощают кислород и озон. Таким образом, атмосфера Земли изменяет не только яркость планеты, но и, в заметной степени, ее «естественный» цвет, причем степень этих изменений зависит от высоты объекта над горизонтом, от метеоусловий, от высоты места наблюдений над уровнем моря и от локального загрязнения атмосферы. Впрочем, и это не самая главная «неприятность», связанная с влиянием атмосферы.

Как известно, форма волнового фронта не искажается, если свет распространяется через однородную среду. К сожалению, наша атмосфера далеко не однородна. Несколько упрощая, можно сказать, что существует два основных механизма в атмосфере, влияющих на *качество изображения* (в английских источниках оно часто называется *seeing*, и в виде «сиинг» неформально употребляется и в русскоязычных). Первый механизм – это вертикальное движение воздуха, вызванное подъемом теплого воздуха и его перемешиванием с более холодным наверху; второй – ветры (течения) в высотных слоях, переносящие перед апертурой телескопа сравнительно медленно меняющиеся турбулентные образования, состоящие из воздушных ячеек, имеющих разный размер и температуру. Отличия в температуре вызывают отличия в показателе преломления, что в свою очередь приводит к отставанию или опережению отдельных точек волнового фронта, искажая его форму. Подробное описание источников атмосферной турбулентности и ее влияния на астрономические наблюдения можно найти в [1 (с. 27-32), 2 (с. 36-40, 140-145), 4].

Искажения волнового фронта приводят к тому, что изображения небесных тел страдают от вариаций яркости и разрешения. Нередко именно неспокойная атмосфера не дает рассмотреть или запечатлеть на фото детали поверхности планеты, которые теоретически должны поддаваться имеющемуся телескопу. Для оценки качества изображения (сиинга) по звездам используются 10-бальная шкала Пикеринга, 5-бальная шкала Антониади или измеренный и выраженный в секундах дуги параметр FWHM (полная ширина на половине максимальной амплитуды). Для визуальных наблюдений или фотографии с короткими «планетными» выдержками визуальные числовые шкалы дают более удобный способ оценки сиинга, чем «медленные» измерения FWHM. Однако нужно помнить, что оригинальное описание шкалы Пикеринга составлялось для 125-мм рефрактора, поэтому при значительно отличающейся апертуре имеющегося телескопа, нужно ориентироваться на относительные размеры изображения в сравнении с теоретическим дифракционным пределом. Также для планетных наблюдений описана 5-бальная шкала отдела планет и Луны Московского отделения ВАГО, которая определяется следующим образом: *1* – изображение сильно

дрожит, весь диск струится, иногда искажается его форма, он окрашивается в различные цвета; детали не видны; временами изображение совсем расплывается; *2* – изображение колеблется; диск заметно струится, но форма его не искажается; окрашивание невелико; на диске видны только самые крупные детали; слабые внешние части планеты размыты; *3* – изображение почти неподвижно; края диска слегка струятся; видны все основные детали; иногда наблюдаются краткие (1 – 2 сек.) успокоения; *4* – изображение резкое и неподвижное; края диска четкие; видны мелкие детали и самые слабые части планеты, часто наступают моменты полного успокоения; *5* – изображение все время исключительно резкое; дрожание и помутнения редки (через 5 – 8 сек.); самые мелкие детали видны четко, как на рисунке; инструмент выдерживает максимальное для него увеличение [3, с. 147-148]. Отметим также, что иногда плохой сиинг может быть следствием не «бурлящей» атмосферы, а недостаточной юстировки телескопа (или же его собственных аберраций), когда случайные «удачные» искажения волнового фронта атмосферой компенсируют недостатки оптики телескопа и создают моменты хорошей видимости. Нередко тщательная юстировка телескопа улучшает статистику качества изображения.

Одной из характеристик атмосферной турбулентности является *длина* (или радиус) *атмосферной когерентности* $\boldsymbol{r_0}$ (параметр Фрида), которая обусловлена размером однородных ячеек в атмосфере и которая обычно варьируется в пределах 7 – 20 см (от плохих условий до идеальных), большую часть времени имея значение около 11 см [2, с. 141]. Радиус когерентности также увеличивается с длиной волны (пропорционален $\lambda^{1,2}$), так, если r_0 = 11 см для зеленого света (550 нм), то для красного (650 нм) r_0 = 13,5 см, а для фиолетового (400 нм) r_0 = 7,5 см. Соответственно меняется и параметр *времени когерентности*, показывающий, как долго существующая структура атмосферных ячеек остается неизменной. Его значение лежит в диапазоне 3 – 30 мс, зависит от r_0 и скорости ветра и также показывает зависимость от длины волны (чем ближе к синему, тем меньше время когерентности). Отсюда, к слову, появляется критерий выбора длины экспозиции при планетной съемке.

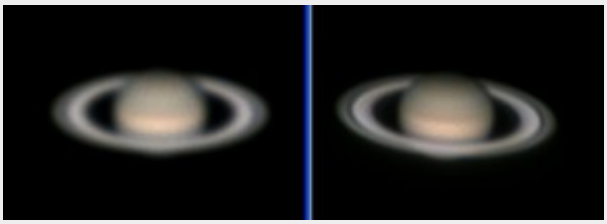
В итоге, длина атмосферной когерентности обуславливает явление зависимости качества изображения от апертуры телескопа при не идеальном сиинге, которое вольно можно назвать «обратным эффектом апертуры». С одной стороны, известно, что предельное разрешение телескопа прямо пропорционально его апертуре, но при учете влияния атмосферы оказывается, что при апертуре **D > r** качество изображения сильнее зависит от состояния атмосферы, которая может уменьшить наблюдаемое разрешение. Для небольших объективов влияние атмосферы также заметно, но оно приводит, в основном, к смещению изображения планеты как целого со сравнительно низкой частотой, что дает возможность отслеживать изображение глазом или получать кадры видеозаписи, на которых диск планеты передается почти без искажений. Для крупной апертуры, «охватывающей» несколько длин когерентности, сильнее проявляется не смещение изображения, а его распад на отдельные, накладывающиеся друг на друга пятна (так называемые *спеклы* [2, с. 134]), формируемые разными атмосферным ячейками. Визуально это проявляется в быстрых, порядка времени когерентности, вариациях количества видимых деталей и формы объекта (AVI, 3 МБ) и, в случае сильной турбулентности, бывает непросто отыскать кадры с подобающим разрешением даже среди нескольких тысяч записанных камерой. Отсюда следует, что чем крупнее телескоп, тем ближе к идеальному

должен быть сиинг, чтобы полностью проявились преимущества апертуры. К примеру, в некотором наблюдательном пункте 125-мм телескоп показывает теоретическое разрешение в 3 из 4 сеансов наблюдений (D примерно соответствует r_0), а 235-мм телескоп в том же пункте может иметь только 1 удачный сеанс из 4. Это создает очередную трудность планетной съемки, ведь для достижения высокой детализации снимков необходимо высокое разрешение связки «атмосфера-телескоп».

В профессиональных наземных телескопах, у которых апертура в десятки и сотни раз превосходит длину когерентности, для приближения к дифракционному разрешению используются системы адаптивной оптики, с высокой частотой отслеживающие атмосферные вариации волнового фронта и корректирующие его форму подвижками отдельных частей зеркал. Имеющиеся системы любительского уровня, в общем случае, не предназначены для съемки планет, так как требуют наличия точечного источника — звезды, причем довольно яркой и в непосредственной близости от снимаемого объекта, что совпадает очень редко. Поэтому основной тактикой «планетофотографов» является поиск или «поджидание» спокойной атмосферы и съемка нескольких тысяч кадров с последующим усреднением самых четких из них. При этом можно использовать свойство увеличения r_0 с ростом длины волны — большинство электронных камер чувствительно к инфракрасному свету вплоть до 1 мкм и способно работать с ИК-фильтрами (Baader IR-pass 685 nm, Astronomik ProPlanet 742 и т. п.), причем время когерентности в ИК также больше, а значит допустимы более длинные выдержки, что увеличивает отношение «сигнал-шум». Получающееся в ИК изображение нередко четче того, что получается в видимом диапазоне (при том, что теоретическое разрешение оптики уменьшается с ростом длины волны), на него также меньше влияет рефракция. При необходимости получения цветного изображения собираются IR-RGB композиции, когда ИК-изображение работает в качестве яркостного канала, а цвет приходит с изображения, снятого в видимых цветах. Тем не менее, ИК-фильтр — не панацея, он лишь ослабляет влияние турбулентности, но не устраняет его, эффективность фильтра сильно падает при наличии в воздухе туманной дымки (и вообще водяного пара), а также он может оказаться «несовместим» с телескопом, если это, например, рефрактор-ахромат или апохромат, оптимизированный под видимый диапазон.

Помимо высокочастотной «высотной» компоненты турбулентности и более сильной низкочастотной, формирующейся на высотах ниже 500 м, большой вклад в размывание изображения вносят локальные источники — печные трубы, нагретые и/или остывающие крыши зданий и земля, и даже люди, стоящие рядом с апертурой. Поэтому желательно по возможности выбирать место наблюдения так, чтобы планета не оказывалась над такими источниками. И, конечно, пока телескоп не достиг теплового баланса с окружающим воздухом, в самой трубе (особенно в открытых трубах рефлекторов) происходит конвективное движение слоев воздуха, примыкающих непосредственно к главному зеркалу, которое затрудняет даже грубую фокусировку, не говоря уже о достижении идеальной картинки. Поэтому перед наблюдениями требуется позаботится о выравнивании температур окружающей среды и телескопа.

Днем (при наблюдениях Солнца, планет) атмосфера обычно еще более неспокойна и кадры с хорошим разрешением становятся еще более дефицитными.



Различное качество атмосферы в разное время в одном и том же наблюдательном пункте влияет на детализацию снимков. Оборудование и обработка — одинаковые.

Итак, «невидимый» воздух оказывается очень коварной штукой — он влияет на качество изображения планеты самыми разными способами (не говоря уже о банальной облачности), и даже технически совершенное оборудование не может полностью исключить это влияние. Поэтому любителям астрономии приходится рассчитывать время наилучшей в году видимости той или иной планеты, когда она выше всего поднимается над горизонтом, изучать особенности атмосферы в разной местности, иногда предпринимая дальние экспедиции в высокогорье, и «охотиться» за моментами хорошей видимости. А поскольку почти все нежелательные атмосферные эффекты усиливаются в синей части спектра, при поканальной планетной съемке иногда разумнее не снимать его отдельно, а синтезировать искусственно на основе информации красного и зеленого каналов (см. Обработка). Изображение получается эстетически приемлемым, хотя и несколько расходится с «естественной» окраской.

Литература

1. Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики. — М.: Наука, 1977. — 544 с.

2. Уокер Г. Астрономические наблюдения.: Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 352 с.

3. Бронштэн В.А. Планеты и их наблюдение. — М.: Наука, 1979. — 240 с.

Часть I. Объекты

Часть III. Телескоп

обновление 20.05.2015

Съемка планет (I. Объекты)

«Что сей текст имеет такого, чего нельзя найти на Астрофоруме, Старлабе или прочитать в трудах

различной степени фундаментальности известных и уважаемых авторов?» [1, 2, 3 и др.] — наверняка спросит интересующийся проблемой читатель, и будет прав. Особенных открытий не предвидится, а основная цель вполне эгоистична — свести в одном месте, по возможности кратко, фрагменты опытов по планетной съемке, каких-то важных деталей, поскольку автору, чем дальше, тем сложнее держать это в голове, а искать каждый раз по различным источникам довольно затратно по времени. Автор будет рад, если другие любители астрономии найдут здесь что-то полезное для себя, но должен предупредить, что, если какие-то моменты покажутся недостаточно обоснованными или даже неправдоподобными, то их следует немедленно проигнорировать и поставить собственный эксперимент, поскольку его результаты, при любом исходе, гораздо ценнее просто вычитанной информации.

°

Ответ на вопрос *«как получить идеальную фотографию планеты?»*, в общем-то, достаточно простой и короткий — нужно направить телескоп на планету, запустить съемку на камере, после этого отдать файлы компьютеру на обработку и по завершении ее насладиться результатом. На этом, в идеале, данный текст бы и закончился, если бы не тот факт, что многие начинающие «планетофотографы» далеко не всегда довольны получающимися результатами (фотография получается хуже, чем изображение планеты в окуляре), а опытные — нередко испытывают трудности с повторяемостью результата.

Что же влияет на качество получаемого изображения? Для ответа на этот вопрос посмотрим на съемку как на процесс передачи информации, происходящий в системе *«объект — атмосфера — телескоп — камера — обработка»*. Любая из составляющих этого процесса может «плохо работать», и в этом случае даже идеальные остальные части не смогут полностью исправить ее влияние. Взглянем подробнее на эти отдельные части.

1. **Объект**

Наши объекты — это большие планеты Солнечной системы, а также Луна и, иногда, Солнце. Какие претензии могут быть у публики к планетам, давным-давно названным именами богов? Идеальная планета — это достаточно крупное и яркое небесное тело, висящее недалеко от зенита, богатое контрастными подробностями и практически не вращающееся вокруг своей оси. Как модель в студии — снимай, сколько хочется.

Но таких планет у нас нет. На интересных нам географических широтах (50° — 60°) планеты не всегда расположены на достаточной высоте над горизонтом, а это, в свою очередь, обуславливает усиленное влияние на изображение свойств атмосферы (см. Атмосфера). Видимые пути движения планет не отходят далеко от эклиптики, при этом

периодически планеты прячутся «за Солнцем», и недоступны для наблюдений. Также, планеты отличаются друг от друга яркостью, периодом оборота вокруг оси, видимым количеством деталей поверхности или атмосферы и т.п. Традиционно съемка Солнца и Луны также относится к планетной фотографии.

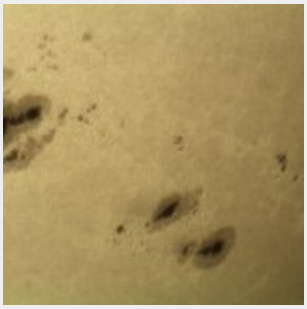
Луна на «зуме» «мыльницы»

Соответственно, самой простой для начинающих целью является ***Луна*** (с ростом опыта она, тем не менее, остается богатой на тонкости)**.** Луна имеет большой видимый диаметр (около половины градуса) и высокую яркость. Ее нетрудно снимать при некоторой тренировке даже с рук, обычным цифровым фотоаппаратом «на зуме» (большом оптическом увеличении). Но она может быть и трудной целью, если речь о съемке в сумерках или днем тончайшего серпика перед новолунием или сразу после него. Наибольшей тщательности требует детальная съемка поверхности Луны, для которой справедливо все, что и для планетной съемки, при этом отягощенное большим размером Луны и, как следствие, большим объемом получаемых данных.

Поверхность Луны в телескоп

Тем не менее, Луна, обращаясь вокруг Земли за время чуть меньше месяца, демонстрирует смену фаз, и примерно половину вечеров и ночей доступна для наблюдений и съемки. Луна отходит от эклиптики не далее 6°, поэтому летом близкая к полной Луна поднимается над горизонтом не более, чем на пару десятков градусов, и ее изображение тоже изрядно страдает от атмосферного размытия. Зимой Луна поднимается очень высоко,

но на улице очень холодно, что создает некоторые трудности для наблюдателя и аппаратуры. Остаются весна и осень, когда можно и не мерзнуть и видеть Луну сравнительно высоко над горизонтом. Особенно интересна область терминатора (границы дня и ночи), где косо падающие лучи Солнца подчеркивают тенями причудливый лунный рельеф. При наблюдениях с большим увеличением изменения в терминаторе можно отметить за несколько минут. Часто Луна покрывает более-менее яркие звезды в полосе ±6° от эклиптики и можно поймать момент исчезновения звезды за лунными горами. Изредка Луна покрывает планеты, это тоже интересная наблюдательная задача.

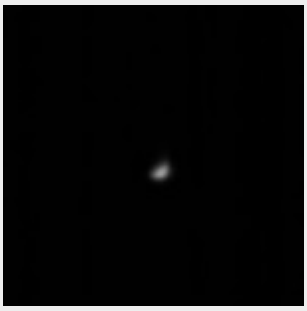


Солнечные пятна
15.07.2012 г.

Не менее увлекательной и технически несложной является обзорная съемка ***Солнца***. Так же как и для визуальных наблюдений, **важно *наличие качественного и надежного фильтра, блокирующего излишки солнечного света.*** Подбирая степень ослабления солнечного света, можно успешно снимать очень широким ассортиментом камер, при разных фокусных расстояниях и с разными узкополосными фильтрами. В годы активного Солнца в его атмосфере практически постоянно присутствуют темные пятна, часто весьма замысловатой структуры, и тоже изменяющиеся с течением времени. Для съемки пятен с большим разрешением также используется «планетная» техника. Если бы не существовало периодов ненастной погоды, то Солнце можно было бы наблюдать и снимать каждый день, правда, его высота над горизонтом в наших широтах также сильно меняется в течение года. Кроме съемки в белом свете, Солнце часто снимают через узкополосные фильтры линии водорода Hα (красная линия 656 нм), которые показывают детальную структуру солнечной атмосферы, а также протуберанцы вне солнечных затмений. Правда, такие фильтры сравнительно дороги.

Конфигурации планет

В отличие от Солнца и Луны, видимость планет на небе изменяется более сложным образом, в зависимости от конфигураций — взаимных положений Земли, Солнца и рассматриваемой планеты. Внутренние планеты, Меркурий и Венера, обычно видны вечером или утром, поскольку не отходят далеко от Солнца. Для них наиболее благоприятными периодами являются дни вблизи элонгаций — западной, когда планета видна утром до восхода Солнца, и восточной, когда планета видна вечером. Внешние планеты (Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун) лучше всего наблюдать вблизи противостояний.



Меркурий в телескоп

Первая планета от Солнца — ***Меркурий***, теперь, после «низвержения» Плутона, еще и самая маленькая «большая планета» в нашей планетной системе. Тем не менее, ее близость к Солнцу и к Земле позволяет видеть ее невооруженным глазом, а в телескоп и отметить изменение ее фаз. Впрочем, среди любителей астрономии Меркурий имеет репутацию самой неуловимой планеты. Он быстро обращается вокруг Солнца (за 88 дней) и даже в наибольших элонгациях не отходит от него более чем на 27° на небе, что, с учетом наклона эклиптики к горизонту на наших широтах, на двух-трехмесячном интервале дает несколько более-менее благоприятных для наблюдений дней, когда планета видна невысоко над горизонтом. Снимать Меркурий еще труднее, его угловой диаметр колеблется в пределах 5 — 11″ (причем наибольший диаметр приходится на «невидимый» период нижнего соединения), поверхность не имеет контрастных деталей, а его низкое расположение над горизонтом отягощает изображение всевозможными атмосферными помехами. Поэтому интересных любительских снимков Меркурия (как и наземных профессиональных) немного. Опытные и достаточно технически оснащенные любители планетной фотографии иногда получают изображения с некоторомы деталями альбедо, соотнесение которых с программными моделями видимости Меркурия позволяет опознать на нем крупнейшие детали рельфа.

Ближайшие элонгации Меркурия, когда появляются шансы увидеть планету, приведены в таблице.

Восточная элонгация (вечерняя видимость)	Западная элонгация (утренняя видимость)
9 октября 2013 г.	18 ноября 2013 г.
31 января 2014 г.	14 марта 2014 г.
25 мая 2014 г.	13 июля 2014 г.
22 сентября 2014 г.	1 ноября 2014 г.
15 января 2015 г.	24 февраля 2015 г.
7 мая 2015 г.	24 июня 2015 г.
4 сентября 2015 г.	16 октября 2015 г.
29 декабря 2015 г.	7 февраля 2016 г.
18 апреля 2016 г.	5 июня 2016 г.
17 августа 2016 г.	28 сентября 2016 г.

Серп Венеры днем за несколько дней до нижнего соединения

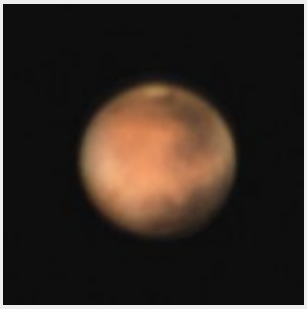
В отличие от Меркурия, вторая планета — ***Венера***, иногда бывает доступна для наблюдений и съемки в течение нескольких месяцев. Синодический период Венеры — 584 дня (чуть больше 19 месяцев). За это время приблизительно по 3 месяца утром и столько же вечером планета находится высоко над горизонтом и доступна для наблюдений и съемок. Во времена элонгаций планета отходит от Солнца на 46°. Венера — очень яркое, третье по яркости после Солнца и Луны светило, и довольно крупное (в элонгациях угловой размер диска около 28″, а вблизи нижнего соединения — даже 58″), поэтому снимать ее можно практически с любым телескопом и камерой. Как внутренняя планета, Венера демонстрирует смену фаз и углового размера, изменение которых можно отметить буквально за пару вечеров. Впрочем, дело осложняется обычно сравнительно небольшой высотой над горизонтом и, соответственно, усиленным влиянием атмосферы, а также тем, что в видимом диапазоне в атмосфере планеты нет контрастных деталей. Высокая яркость Венеры показывает владельцам рефракторов-ахроматов полный набор хроматических каемок, иногда настолько интенсивных, что даже грубая фокусировка может стать нелегкой задачей. Тем не менее, эта планета — популярный объект для

тренировки начинающих и достойная цель для опытных фотографов. Последние ухитряются вытаскивать в ИК-диапазоне свечение ночной стороны диска и детали в облачном покрове в УФ-диапазоне, перемещение которых может быть заметно на интервале времени в несколько часов при том, что сама планета вращается очень медленно (один оборот за 116,7 суток). При некотором навыке находить и наблюдать Венеру можно и днем, в этом хорошо помогают фильтры, отрезающие синюю часть спектра (красные, оранжевые). Вблизи нижних соединений можно снять тонкий серп Венеры с длинными «рожками», еще раз убедившись в преломляющих свойствах ее обширной атмосферы. Помимо этого, Венера, наряду с Меркурием, изредка может проходить перед диском Солнца, обеспечивая всей мировой астрономической общественности увлекательные наблюдения и, подчас, сложные задачи (см. Прохождения).

В таблице приведены ближайшие элонгации Венеры. Как правило, не менее месяца до и после элонгации планета хорошо доступна для наблюдений.

Восточная элонгация (вечерняя видимость)	Западная элонгация (утренняя видимость)
1 ноября 2013 г.	23 марта 2014 г.
7 июня 2015 г.	26 октября 2015 г.
12 января 2017 г.	3 июня 2017 г.

Планетная съемка третьей планеты, ***Земли,*** отягощена необходимостью возиться с ракетами, космическими аппаратами, системами дальней радиосвязи. Пока подобные эксперименты неприемлемо дороги для любителей астрономии, но, вероятно, в недалеком будущем этот раздел можно будет дополнить конкретными советами. =)



Марс в марте 2012 г.

В отличие от монотонного облачного покрова Венеры, поверхность ***Марса*** богата деталями, что делает его весьма интересным объектом, несмотря на сравнительно небольшой видимый угловой диаметр его диска. Даже небольшой телескоп в периоды благоприятной видимости планеты показывает полярную шапку и контрастные области, отождествляемые с образованиями на поверхности планеты. Наилучшая видимость Марса наступает вблизи противостояний, которые повторяются с периодом в 26 месяцев. Правда, из-за большой вытянутости орбиты Марса, минимальное расстояние между

планетой и Землей при этом может отличаться почти в 2 раза, поэтому угловой размер диска Марса в противостоянии может колебаться от 13″ до 25″. Противостояния, когда расстояние между Марсом и Землей оказывается минимально возможным, называются *великими*. Предыдущее великое противостояние произошло 28 августа 2003 г., следующее состоится 27 июля 2018 г. Противостояния же 2010 и 2012 гг., наоборот, относились к «далеким», когда размер диска достигал всего 13 – 14″. Ближайшие противостояния Марса: 4 марта 2012 г., 9 апреля 2014 г., 22 мая 2016 г., 27 июля 2018 г. (великое), 14 октября 2020 г. К сожалению наблюдателей из средних широт северного полушария, великие противостояния в текущую эпоху приходятся на лето, когда в кульминации планета достигает высоты над горизонтом в пару десятков градусов (а то и ниже), и ее изображение сильно страдает от атмосферного размытия. Помимо изменения углового размера, Марс также демонстрирует фазы и явления в атмосфере (блики от облаков, пылевые бури, снижающие контраст деталей поверхности). В отличие от Меркурия и Венеры, Марс обладает сравнительно быстрым осевым вращением, делая один оборот за немногим большее, чем Земля, время ($24^{ч}39{,}6^{м}$). Этот факт ограничивает длительность сеанса съемки, кадры которого предполагается потом усреднять или объединять иным образом, несколькими минутами (в зависимости от разрешения оптической системы).

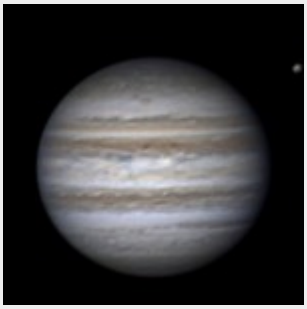
Марс в видимом (слева) и ИК (справа) диапазонах

Впрочем, Марс вблизи противостояния достаточно ярок для съемки с большим увеличением камерами средней чувствительности (типа веб-камер). С Марсом очень интересно работает фильтр, пропускающий только инфракрасное изображение (например, Baader IR-pass 685 nm). Помимо снижения влияния атмосферных помех, фильтр подчеркивает темные области на красном марсианском грунте.

Юпитер в маленький

телескоп

«Царь планет» ***Юпитер*** — один из лучших объектов для планетной фотографии. Период его обращения вокруг Солнца составляет почти 12 лет, и через каждые 13 месяцев повторяется его противостояние, дающее несколько месяцев хорошей видимости планеты до и после него. Даже в небольшой телескоп хорошо видны контрастные экваториальные пояса в атмосфере планеты и четыре крупнейших спутника. С ростом апертуры телескопа, Юпитер открывает все новые детали в атмосфере и, таким образом, подходит как для тренировки начинающих, так и для демонстрации мастерства опытных фотографов. Яркость (вторая после Венеры) и угловой размер планеты (от 33″ до 49″ в зависимости от конфигурации) достаточны для съемки через телескоп практически с любыми камерами. Наиболее удобны для съемки периоды вблизи противостояний, происходящих севернее небесного экватора, когда видимый диаметр Юпитера наибольший, а высота над горизонтом достаточна, чтобы влияние земной атмосферы было невелико. Ближайшие противостояния Юпитера к северу от небесного экватора произойдут 5 января 2014 г., 6 февраля 2015 г., 8 марта 2016 г. Уже в телескоп средней апертуры можно увидеть огромное количество деталей в поясах, знаменитое Большое Красное Пятно (БКП), подробности явлений в системе крупнейших спутников — тени от спутников и сами спутники на диске планеты, взаимные покрытия спутников и их затмения Юпитером. При благоприятных условиях на хорошем оборудовании возможно получить детали на дисках спутников.



С ростом апертуры открываются все новые детали

Пожалуй, единственное, что мешает назвать Юпитер «почти идеальной планетой» — это его быстрое осевое вращение. Он делает один оборот всего за $9^{ч}55^{м}$, что создает проблемы при съемке длинных последовательностей кадров при большом фокусном расстоянии — приходится ограничивать время съемки несколькими минутами, что особенно критично при съемке на монохромные камеры со сменными светофильтрами. Впрочем, современные методы обработки изображений могут отчасти облегчить ситуацию (например, «минский метод 3x3»). К тому же, благодаря быстрому вращению Юпитера, в течение одной ночи можно сделать хорошую анимацию вращения планеты и явлений в системе

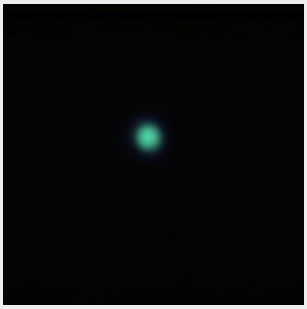
спутников. Отдельные образования в атмосфере планеты также могут демонстрировать динамику, отслеживаемую в течение нескольких недель или даже дней. Знаменитое БКП медленно и неравномерно дрейфует по долготе, увеличивая ее примерно на 1° в месяц. Изредка любителям астрономии выпадает везение зафиксировать кратковременные вспышки в атмосфере планеты, вероятно, связанные с выпадением на Юпитер небольших астероидов и комет. С Юпитером интересно работают узкополосные фильтры метановой линии, а также фильтры, пропускающие только ИК (в последнем случае, при большом увеличении становится видна структура вихря БКП).

Сатурн в маленький телескоп

Не менее интересная цель – шестая планета ***Сатурн***, украшенная широкой и яркой системой колец, которая делает его одним из самых узнаваемых объектов Солнечной системы. Планета имеет достаточный угловой размер (кольца в поперечнике 35″ – 43″ в зависимости от конфигурации) и, хотя освещена Солнцем в несколько раз хуже, чем Юпитер, также притягивает фотографов с различным уровнем подготовки и технической оснащенности. Период обращения Сатурна вокруг Солнца примерно 29,5 лет. Его противостояния повторяются каждые 12,4 месяца. Ближайшие противостояния: 28 апреля 2013 г., 11 мая 2014 г., 23 мая 2015 г. 3 июня 2016 г. К сожалению, в ближайшие годы (2011 – 2026 гг.) планета будет двигаться по южным созвездиям, и не будет высоко подниматься над горизонтом средних широт северного полушария. Примерно раз в 15 лет плоскость экватора Сатурна пересекается с Землей, и его кольца из-за своей малой толщины практически «исчезают» для земного наблюдателя.

Сатурн, почти «потерявший» кольца в 2010 г.

Предыдущее такое «исчезновение» произошло в сентябре 2009 г., следующее произойдет в апреле 2025 г. Между этими событиями, в ноябре 2017 г., угол раскрытия колец достигнет своего максимального значения 27°, когда структура колец предстанет в наиболее подробном виде. Сатурн почти так же быстро вращается вокруг оси, как и Юпитер ($10^{ч}34^{м}$), однако его диск значительно менее богат на подробности, что немного облегчает получение длинных серий снимков. Тем не менее, на нем легко различаются пояса различной яркости и оттенков. На любительских снимках высокого разрешения при удачном расположении планеты виден шестиугольный полярный вихрь, известный со времен пролета «Вояджеров» и детально снятый КА «Кассини». Кроме этого, изредка на диске появляются «неожиданные» детали, как, например, протяженный атмосферный шторм (2010 – 2011 гг.). Диск Сатурна и его кольца интересно предстают в ИК-диапазоне (в частности в линии метана 840 нм). Самый крупный спутник Сатурна – Титан достаточно ярок для небольших телескопов, также, можно увидеть Энцелад, Рею, Диону и Тефию, но без каких-либо подробностей. В годы большого раскрытия колец иногда выпадает удача наблюдать покрытие звезды кольцами Сатурна. При условии достаточного качества выполнения, такие наблюдения несут подробную информацию о распределении вещества в кольцах.

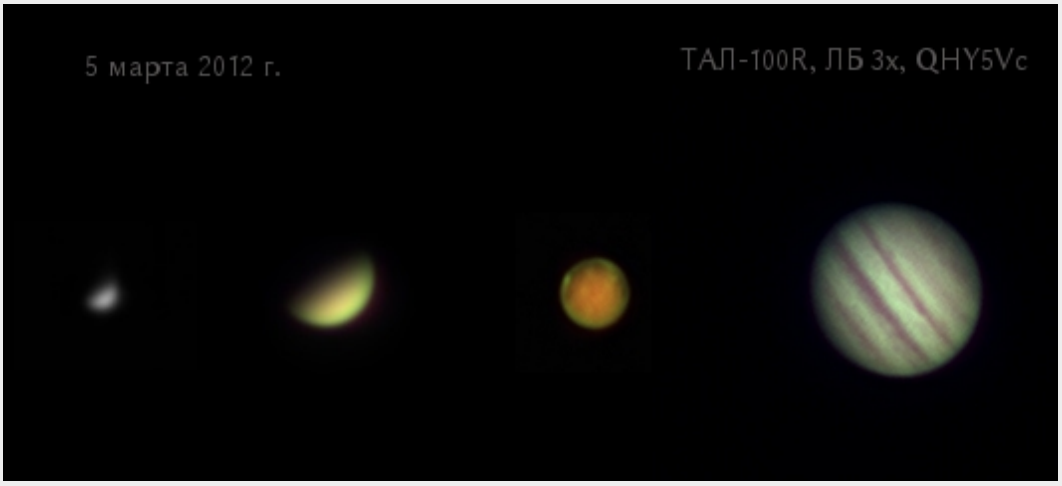


Диск Урана

Оставшиеся большие планеты, ***Уран*** и ***Нептун***, хотя и относятся к гигантам, расположены так далеко, что их диски, имеющие диаметры в зависимости от конфигурации 3,3 – 4,1″ и 2,2 – 2,4″ соответственно, не демонстрируют любительским телескопам почти никаких

подробностей, кроме явно не точечной формы и характерного голубоватого цвета. При наиболее благоприятных условиях наблюдений и хорошем оборудовании опытным наблюдателям удается запечатлеть наиболее выделяющиеся детали в атмосфере Урана. В этом иногда помогает ИК-фильтр, слегка увеличивающий контраст атмосферных образований. Однако в ближайшие десятилетия эти планеты будут двигаться по южным созвездиям, что неблагоприятно сказывается на качестве их наблюдений из средних широт северного полушария.

Съемка же других членов Солнечной системы — карликовых планет (Плутона, Цереры и др.) и астероидов больше сродни съемке туманностей и звездных скоплений, чем планет, поскольку обычно требуются длительные (от нескольких сек до минут) экспозиции, а сам объект не имеет различимого диска. Некоторую «непредсказуемость» создают кометы, условия видимости которых могут быть самыми разнообразными — от явной видимости для невооруженного глаза (к сожалению, редко), до необходимости применения длинных выдержек под темным небом.



Меркурий, Венера, Марс и Юпитер в одном видимом угловом масштабе 5 марта 2012 г.

Часть II. Атмосфера

обновление 20.05.2015