**Оптические характеристики телескопа**

Многие считают, что самая главная характеристика телескопа - его увеличение: чем оно больше, тем больше в телескоп можно увидеть. Это не совсем так: ценность инструмента определяется в первую очередь размерами его объектива. Важнее всего собрать как можно больше света от изучаемого небесного объекта.

Все предметы излучают или отражают свет. Часть его попадает на зрачок глаза, проходит внутрь и вызывает ощущение света. Если света мало, предмет виден плохо или не виден вообще. Если каким-либо образом увеличить количество света, попадающего в глаз, видимость можно улучшить.

Диаметр объектива телескопа гораздо больше, чем зрачок, и собирает намного больше света. Это позволяет регистрировать очень слабые звёзды и другие светила - в 100 млн раз слабее, чем видимые невооружённым глазом.

При наблюдении небесных тел невооружённым глазом существует и другая трудность. Посмотрев на Луну, мы видим на её поверхности тёмные пятна. Сказать что-либо об их природе по внешнему виду довольно трудно, хочется разглядеть более мелкие детали. Однако простому глазу это недоступно, несмотря на достаточное количество света. Понятно, что, если бы видимый размер Луны был гораздо больше, мы смогли бы рассмотреть её подробнее. Пользуясь научной терминологией, мы скажем: угол, под которым видна Луна, слишком мал. Самый простой способ увеличить угол, под которым виден предмет, - это приблизиться к нему.

Итак, телескоп нужен для того, чтобы, во-первых, увеличить количество света, приходящего от небесного тела, а во-вторых, чтобы дать возможность изучить мелкие детали наблюдаемого объекта. Способность телескопа показывать (или регистрировать с помощью приборов) слабые звёзды называется проницающей силой, а способность различать мелкие детали - разрешающей силой. Рассмотрим, от чего зависят эти характеристики телескопа.

Казалось бы, проницающая сила должна быть пропорциональна площади объектива: чем больше площадь, тем больше прибор собирает света и тем более слабые объекты видны. На самом деле возможность фиксировать слабый световой сигнал зависит от уровня фона, на котором он проявляется. По этой причине, например, звёзды не видны днём, хотя и излучают столько же света, что и ночью. Яркий фон дневного неба "забивает" их свет. Световые помехи, хотя и небольшие, имеются и ночью. Поэтому реальная проницающая сила телескопа ниже теоретической. При наличии фона (помех) она растёт пропорционально всего лишь диаметру (а не площади), что уменьшает выгоду от увеличения диаметра объектива.

Изображение звезды, построенное телескопом, имеет определённый размер. Если расстояние между изображениями двух звёзд меньше, чем их размер, они сольются и увидеть их раздельно будет невозможно. Разрешающая способность определяется тем, насколько малое изображение светящейся точки строит объектив телескопа. Таким образом, показателем качества объектива является размер изображения светящейся точки: чем он меньше, тем лучше. Астрономы характеризуют размер изображения величиной угла, под которым оно видно из центра объектива.

Можно теоретически оценить минимальный размер изображения светящейся точки, которое строит объектив. Выраженный в секундах дуги, он равен

а = 206 265•X / D

где X - длина волны света, D - диаметр объектива. Эта величина и служит мерой разрешающей способности телескопа. Длина волны света, к которому наиболее чувствителен глаз, - 555 нм. Подставив в формулу это число и диаметр, равный, например, 13 см, получим разрешение около 0,9". То есть, если наблюдать при помощи телескопа диаметром 13 см две звезды одинаковой яркости, находящиеся на небе на расстоянии 0,9", можно надеяться увидеть, что это две звезды, а не одна.

Кроме проницающей и разрешающей силы есть и другие важные характеристики телескопа. Расскажем о фокусном расстоянии, увеличении, поле зрения и светосиле телескопа.

Телескоп состоит из объектива и окуляра. Свет от звёзд, расположенных очень далеко от объектива, проходит через него и собирается в фокальной плоскости. Расстояние от объектива до этой плоскости называется фокусным расстоянием объектива. Далее свет попадает в окуляр и затем в глаз наблюдателя.

Угловой размер изображения в телескопе больше углового размера объекта на небе. Отношение этих углов называется увеличением телескопа. Оно равно F/f, где F - фокусное расстояние объектива, a f - фокусное расстояние окуляра.

Окуляр использовать не обязательно. Можно поставить в фокусе приёмник света, например фотопластинку. И в этом случае чем больше фокусное расстояние объектива, тем крупнее будет изображение. Взяв два объектива с одинаковыми диаметрами, но разными фокусными расстояниями, мы получим два изображения небесного тела разных размеров. Но количество света, попавшего в каждое из них, одинаково, так что освещённость большего изображения окажется меньше.

Если мы хотим, увеличивая размер изображения, сохранить его освещённость, придётся одновременно с увеличением фокусного расстояния объектива увеличивать и его диаметр. Отношение D/F (т. е. диаметра к фокусному расстоянию) называют относительным отверстием или светосилой объектива. Если светосилы двух объективов одинаковы, то одинаковы и освещённости изображений небесных тел.

При конструировании телескопа его светосилу рассчитывают, исходя из тех задач, для которых этот телескоп строится. Телескопы с большой светосилой нужны, например, для изучения слабосветящихся туманностей. Наибольшая светосила существующих телескопов равна приблизительно 1/2.

Наконец, очень важной характеристикой телескопа является его поле зрения. Одна фотография на телескопе с большим полем зрения показывает много небесных тел. Но надо позаботиться о том, чтобы и в центре поля зрения, и на его краю изображения звёзд были резкими. Для этого приходится строить специальные телескопы, объектив которых состоит из линзы и зеркала. Такими телескопами являются телескопы Шмидта и Максутова. Они применяются для фотографирования неба. Размер поля зрения у этих инструментов 5 - 6° при хорошем качестве изображений. У больших телескопов-рефлекторов поле не превышает, как правило, 1 °. Для сравнения: диаметр Луны на небе около 0,5°.

**Изобретение телескопа Галилея**

Весной 1609 г. профессор математики университета итальянского города Падуи узнал о том, что один голландец изобрёл удивительную трубу. Удалённые предметы, если их разглядывать через неё, казались более близкими. Взяв кусок свинцовой трубы, профессор вставил в неё с двух концов два очковых стекла: одно - плосковыпуклое, а другое - плосковогнутое. "Прислонив мой глаз к плосковогнутой линзе, я увидел предметы большими и близкими, так как они казались находящимися на одной трети расстояния по сравнению с наблюдением невооружённым глазом", - писал Галилео Галилей.

Профессор решил показать свой инструмент друзьям в Венеции. "Многие знатные люди и сенаторы подымались на самые высокие колокольни церквей Венеции, чтобы увидеть паруса приближающихся кораблей, которые находились при этом так далеко, что им требовалось два часа полного хода, чтобы их заметили глазом без моей зрительной трубы", - сообщал он.

Разумеется, у Галилея в изобретении телескопа (от греч. "теле" - "вдаль", "далеко" и "скопео" - "смотрю") были предшественники. Сохранились легенды о детях очкового мастера, которые, играя с собирающими и рассеивающими свет линзами, вдруг обнаружили, что при определённом расположении относительно друг друга две линзы могут образовывать увеичивающую систему. Имеются сведения о зрительных трубах, изготовленных и продававшихся в Голландии до 1609 г. Главной особенностью Галиле-ева телескопа было его высокое качество. Убедившись в плохом качестве очковых стёкол, Галилей начал шлифовать линзы сам. Некоторые из них сохранились до наших дней; их исследование показало, что они совершенны с точки зрения современной оптики. Правда, Галилею пришлось выбирать: известно, например, что, обработав 300 линз, он отобрал для телескопов всего несколько из них.

Однако трудности изготовления первоклассных линз были не самым большим препятствием при создании телескопа. По мнению многих учёных того времени, телескоп Галилея можно было рассматривать как дьявольское изобретение, а его автора следовало отправить на допрос в инквизицию. Ведь люди видят потому, думали они, что из глаз выходят зрительные лучи, ощупывающие всё пространство вокруг. Когда эти лучи натыкаются на предмет, в глазу появляется его образ. Если же перед глазом поставить линзу, то зрительные лучи искривятся и человек увидит то, чего в действительности нет.

Таким образом, официальная наука времён Галилея вполне могла считать видимые в телескоп светила и удалённые предметы игрой ума. Всё это учёный хорошо понимал и нанёс удар первым. Демонстрация телескопа, с помощью которого можно было обнаружить далёкие, невидимые глазом корабли, убедила всех сомневавшихся, и телескоп Галилея молниеносно распространился по Европе.

**Телескопы Гевелия, Гюйгенса-Кеплера и парижской обсерватории**

Сын состоятельного гражданина польского города Гданьска Ян Гевелий занимался астрономией с детства. В 1641 г. он построил обсерваторию, на которой работал вместе с женой Елизаветой и помощниками. Гевелий сделал следующий шаг в деле усовершенствования зрительных труб.

У телескопов Галилея был существенный недостаток. Показатель преломления стекла зависит от длины волны: красные лучи отклоняются им слабее, чем зелёные, а зелёные - слабее, чем фиолетовые. Следовательно, простая линза даже безупречного качества имеет для красных лучей большее фокусное расстояние, чем для фиолетовых. Наблюдатель будет фокусировать изображение в сине-зелёных лучах, к которым глаз ночью чувствительнее всего. В результате яркие звёзды будут выглядеть как сине-зелёные точки, окружённые красной и синей каймой. Это явление называется хроматической аберрацией; разумеется, оно сильно мешает наблюдению звёзд, Луны и планет.

Теория и опыт показали, что влияние хроматической аберрации можно уменьшить, если использовать в качестве объектива линзу с очень большим фокусным расстоянием. Гевелий начал с объективов с 20-метровым фокусом, а самый длинный его телескоп имел фокусное расстояние около 50 м. Объектив соединялся с окуляром четырьмя деревянными планками, в которые было вставлено множество диафрагм, делавших конструкцию более жёсткой и защищавших окуляр от постороннего света. Всё это подвешивалось с помощью системы канатов на высоком столбе; наводился телескоп на нужную точку неба с помощью нескольких человек, по-видимому отставных матросов, знакомых с обслуживанием подвижных судовых снастей.

Линзы Гевелий сам не изготовлял, а покупал их у одного варшавского мастера. Они были настолько совершенны, что при спокойной атмосфере удавалось увидеть дифракционные изображения звёзд. Дело в том, что даже самый совершенный объектив не может построить изображение звезды в виде точки. Из-за волнового характера света в телескоп с хорошей оптикой звезда выглядит как небольшой диск, окружённый светлыми кольцами убывающей яркости. Такое изображение называется дифракционным. Если оптика телескопа несовершенна или атмосфера неспокойна, дифракционной картины уже не видно: звезда представляется наблюдателю пятнышком, размер которого больше дифракционного. Такое изображение называют атмосферным диском.

Нидерландские астрономы братья Христиан и Константин Гюйгенсы строили Галилеевы телескопы по-своему. Объектив, укреплённый на шаровом шарнире, помещался на столбе и мог с помощью особого приспособления устанавливаться на нужной высоте. Оптическая ось объектива направлялась на исследуемое светило наблюдателем, поворачивавшим его с помощью прочного шнурка. Окуляр монтировался на треноге.

25 марта 1655 г. Христиан Гюйгенс открыл Титан - самый яркий спутник Сатурна, а также разглядел на диске планеты тень колец и начал изучение самих колец, хотя в то время они наблюдались с ребра. "В 1656 году, - писал он, - мне удалось рассмотреть в телескоп среднюю звезду Меча Ориона. Вместо одной я увидел двенадцать, три из них почти что касались друг друга, а четыре других светили через туманность, так что пространство вокруг них казалось значительно более ярким, чем остальная часть неба, казавшаяся совершенно чёрной. Как будто наблюдалось отверстие в небе, через которое видна более яркая область".

Гюйгенс полировал объективы сам, а его "воздушная труба" оказалась шагом вперёд по сравнению с "длинными трубами" Гевелия. Придуманный им окуляр просто изготовить, и он используется до сих пор.

Высокий уровень мастерства, заложенный Галилеем, способствовал расцвету итальянской оптической школы. В конце XVII в. строилась Парижская обсерватория; она была оснащена несколькими телескопами системы Галилея. С помощью двух таких инструментов и 40-метрового телескопа первый её директор, итальянец Джованни Доменико Кассини, открыл четыре новых спутника Сатурна и изучал вращение Солнца.

Гениальный немецкий астроном Иоганн Кеплер получил телескоп Галилея на короткое время от одного из друзей. Он мгновенно сообразил, какие преимущества приобретёт этот прибор, если заменить рассеивающую линзу окуляра на собирающую. Кеплеров телескоп, дающий в отличие от Галилеева перевёрнутое изображение, применяется повсеместно и по сей день.

**Рефлекторы Ньютона-Гершеля**

Основной недостаток Галилеевых труб - хроматическую аберрацию - взялся устранить Исаак Ньютон. Сначала в качестве объектива он хотел использовать две линзы - положительную и отрицательную, которые имели бы разную оптическую силу, но противоположную по знаку хроматическую аберрацию. Ньютон перепробовал несколько вариантов и пришёл к ошибочному выводу, что создание ахроматического линзового объектива невозможно. (Правда, современники свидетельствуют, что эти опыты он проводил в большой спешке.)

Тогда Ньютон решил покончить с этой проблемой радикально. Он знал, что ахроматическое изображение удалённых предметов строит на своей оси вогнутое зеркало, изготовленное в виде параболоида вращения. Попытки сконструировать отражательные телескопы в то время уже делались, но успехом они не увенчались. Причина была в том, что в применявшейся до Ньютона двухзеркальной схеме геометрические характеристики обоих зеркал должны быть строго согласованы. А этого оптикам как раз и не удавалось добиться.

Телескопы, у которых роль объектива выполняет зеркало, называются рефлекторами (от лат. reflectere - "отражать") в отличие от телескопов с линзовыми объективами -рефракторов (т лат. refractus - "преломлённый"). Ньютон сделал свой первый рефлектор с одним вогнутым зеркалом. Другое небольшое плоское зеркало направляло построенное изображение вбок, где наблюдатель рассматривал его в окуляр. Этот инструмент учёный изготовил собственноручно в 1668 г. Длина телескопа составляла около 15 см. "Сравнивая его с хорошей Галилеевой трубой длиной в 120 см, - писал Ньютон, - я мог читать на большем расстоянии с помощью моего телескопа, хотя изображение в нём было менее ярким".

Ньютон не только отполировал зеркало первого рефлектора, но и разработал рецепт так называемой зеркальной бронзы, из которой он отлил заготовку зеркала. В обычную бронзу (сплав меди и олова) он добавил некоторое количество мышьяка: это улучшило отражение света; к тому же поверхность легче и лучше полировалась. В 1672 г. француз, преподаватель провинциального лицея (по другим данным, архитектор) Кассегрен предложил конфигурацию двухзеркальной системы, первое зеркало в которой было параболическим, второе же имело форму выпуклого гиперболоида вращения и располагалось соосно перед фокусом первого. Эта конфигурация очень удобна и сейчас широко применяется, только главное зеркало стало гиперболическим. Но в то время изготовить кассегреновский телескоп так и не смогли из-за трудностей, связанных с достижением нужной формы зеркала.

Компактные, лёгкие в обращении высококачественные рефлекторы с металлическими зеркалами к середине XVIII в. вытеснили "длинные трубы", обогатив астрономию многими открытиями.

В то время на английский престол была призвана Ганноверская династия; к новому королю устремились его соотечественники - немцы. Одним из них был Уильям Гершель, музыкант и одновременно талантливый астроном.

Убедившись в том, как трудно обращаться с Галилеевыми трубами, Гершель перешёл к рефлекторам. Он сам отливал заготовки из зеркальной бронзы, сам шлифовал и полировал их; его оптический станок сохранился до наших дней. В работе ему помогали брат Александр и сестра Каролина; она вспоминала, что весь их дом, включая спальню, был превращён в мастерскую. С помощью одного из своих телескопов Гершель открыл в 1778 г. седьмую планету Солнечной системы, названную впоследствии Ураном.

Гершель непрерывно строил всё новые и новые рефлекторы. Король покровительствовал ему и дал деньги на строительство огромного рефлектора диаметром 120 см с трубой длиной 12м. После многолетних усилий телескоп был закончен. Однако работать на нём оказалось трудно, а по своим качествам он не превзошёл меньшие телескопы столь значительно, как предполагал Гершель. Так родилась первая заповедь телескопостроителей: "Не делайте больших скачков".

Однолинзовые длинные рефракторы достигли в XVII в. мыслимых пределов совершенства; астрономы научились отбирать для их объективов высококачественные заготовки стекла, точно обрабатывать и монтировать их. Развивалась теория прохождения света через оптические детали (Декарт, Гюйгенс).

Без преувеличения можно сказать, что создание современных крупных рефлекторов прочно стоит на заложенном в XVII-XVIII вв. фундаменте. Модифицированная конфигурация Кассегрена осуществляется во всех без исключения современных ночных телескопах. Искусство обращения с металлическими зеркалами, допустимый прогиб которых при любом положении телескопа не должен превышать малых долей микрометра, привело в конце концов к созданию высокосовершенных управляемых ЭВМ оправ зеркал телескопов-гигантов. Оптические схемы некоторых окуляров того времени используются до сих пор. Наконец, именно тогда появились зачатки научных методов исследования формы поверхностей оптических элементов, которые в наши дни выкристаллизовались в законченную научную дисциплину - технологию изготовления крупной оптики.

**Уравновешивание телескопа**

Для обеспечения нормальной работы часового механизма и удобства в работе при наведении телескопа на объект при отпущенных зажимах, телескоп должен быть полностью уравновешен в своих подвижных частях и находиться в безразличном равновесии. Для этого центр тяжести телескопа и всех дополнительных приспособлений должен находиться в месте пересечения полярной оси и оси склонения.

Достигается это навешиванием дополнительных грузов или их перемещением по оси противовеса и вдоль трубы телескопа. При смене навесного оборудования зачастую наблюдателю самому необходимо выполнять уравновешивание.

Телескоп на экваториальной монтировке необходимо выверить в четырех положениях:

- в двух положениях для проверки равновесия вокруг оси склонения в меридиане (горизонтальном и вертикальном),

- и в двух положениях для проверки равновесия вокруг полярной оси (в меридиане и в первом вертикале).

Для уравновешивания телескопа вокруг оси склонения ставим телескоп в горизонтальное положение (в меридиане). Снимая или добавляя грузы к окулярному или объективному концам, добиваемся того, чтобы телескоп был уравновешен в этом положении. Тогда центр тяжести трубы телескопа находится на вертикальной линии, проходящей через центр оси склонения. В общем случае эти две точки по вертикали одна с другой не совпадут.

Далее следует телескоп направить в зенит, так как это положение наиболее чувствительно для контроля несовпадения двух указанных точек, находящихся в данном случае на горизонтальной линии. Покачивая телескоп в направлении север-юг и добавляя или снимая грузы на окулярном конце, добиваемся равновесия телескопа. Если это достигнуто, то телескоп одинаково легко идет в направлении юга и севера и находится в безразличном равновесии относительно оси склонения.

После этого закрепляем телескоп зажимом по склонению и слегка качаем вокруг полярной оси. Перемещая основной противовес на противоположном конце оси склонения, добиваемся того, чтобы телескоп одинаково легко двигался в направлении на запад и восток. Если это достигнуто, то центр тяжести подвижных частей телескопа будет находиться в вертикальной плоскости, проходящей через полярную ось, однако, он может еще не находиться на пересечении оси склонения и полярной оси, а может быть выше или ниже места этого пересечения, что скажется при выводе телескопа из меридиана.

Чтобы достигнуть совпадения центра тяжести с пересечением оси склонения и полярной оси, необходимо переместить телескоп в плоскость первого вертикала, т.к. это положение наиболее чувствительно к несовпадению этих центров. Контролируем легкость перемещения в обе стороны путем качания телескопа и добавляем в нужном месте дополнительные грузы. Место установки грузов, их вес и расположение определяется спецификой конструкции телескопа. Следует помнить, что грузы следует перемещать только вдоль оси склонения, чтобы не нарушить ранее произведенную регулировку.

Для окончательного контроля телескоп может быть направлен в северный полюс неба при двух разных часовых углах, отличающихся на 90°. В этом положении ошибки в равновесии вокруг оси склонения сказываются наименьшим образом и легкость перемещения телескопа вокруг полярной оси говорит о хорошем равновесии вокруг последней. Если повторить все четыре указанные операции по несколько раз, то последовательными приближениями можно достичь хорошего уравновешивания телескопа.

Для более тщательного уравновешивания возможно применение пружинного динамометра для количественной оценки усилий при перемещении телескопа относительно всех направлений.

Уравновешивание телескопа гарантирует хорошую работу часового механизма при всех положениях телескопа, а также устраняет неожиданное самопроизвольное движение трубы телескопа при отжатых зажимах.

Для того, чтобы телескоп следил за звездой, необходим часовой механизм, который должен сообщить постоянную скорость поворота трубы телескопа для компенсации суточного вращения Земли. Однако на самом деле эффект рефракции и эффект гнутия трубы приводит к необходимости вращать телескоп с изменяющейся скоростью. Также при наблюдении Луны или комет приходится перемещать телескоп со скоростью, отличной от скорости движения звезд. Во всех случаях необходимо гидирование, т. е. визуальный контроль положения звезды на кресте нитей в окуляре и, подправление в случае необходимости микрометренными винтами.

При отсутствии часового механизма гидирование приходится выполнять постоянным медленным вращением микрометренных винтов вручную. На крупных телескопах для гидирования параллельно основному телескопу устанавливается вспомогательный телескоп, желательно такого же фокусного расстояния, оснащенный окуляром с сеткой или крестом нитей в поле зрения.