Наблюдение в астрономии,

или Добро пожаловать на научную кухню

Вселенная — гигантская лаборатория, в которой одновременно проходит огромное количество экспериментов. Некоторые из них длятся миллиарды лет, и мы никогда не сможем увидеть ни их начало, ни их конец. Среди почти бесконечного множества этих естественных экспериментов всегда найдутся однотипные, но находящиеся на разных стадиях или протекающие при различных условиях. Это даёт нам возможность экспериментальной проверки теорий, описывающих Вселенную. Например, наблюдая звёзды с одинаковой массой, но разного возраста, можно понять, как они эволюционируют. С другой стороны, наблюдая звёзды одного возраста, но разных масс, мы узнаём, как масса определяет свойства звезды.

Астрономы не имеют возможности влиять на условия экспериментов, проводимых самой природой, но, наблюдая за их процессом, могут понять, как устроена Вселенная (**Рис. 1**).

Рис. 1. Звёздное небо над Обсерваторией им. Вайза в Израиле

Вселенная — бесконечно большая лаборатория, в которой объекты исследования удалены от наблюдателя на огромные расстояния. С одной стороны, это делает безопасным даже такой эксперимент, как взрыв сверхновой звезды. С другой стороны, методы исследования всё ещё ограничены в основном наблюдениями электромагнитных и гравитационных волн, а также релятивистских (летящих почти со скоростью света) частиц, испускаемых объектами.

Регистрация электромагнитных волн

Электромагнитное излучение одновременно обладает свойствами волны и потока частиц — фотонов. Как волна электромагнитное излучение характеризуется периодом и длиной волны, как частица — энергией, и в обоих случаях — скоростью распространения. Энергия

фотона и частота соответствующей волны прямо пропорциональны друг другу: чем больше частота волны, тем больше энергия эквивалентного фотона. Скорость распространения электромагнитного излучения в вакууме является предельной возможной скоростью движения частиц и распространения взаимодействий.

Энергия фотона $E = h\nu$, где h – постоянная Планка, а ν – частота

Квантово-волновой дуализм

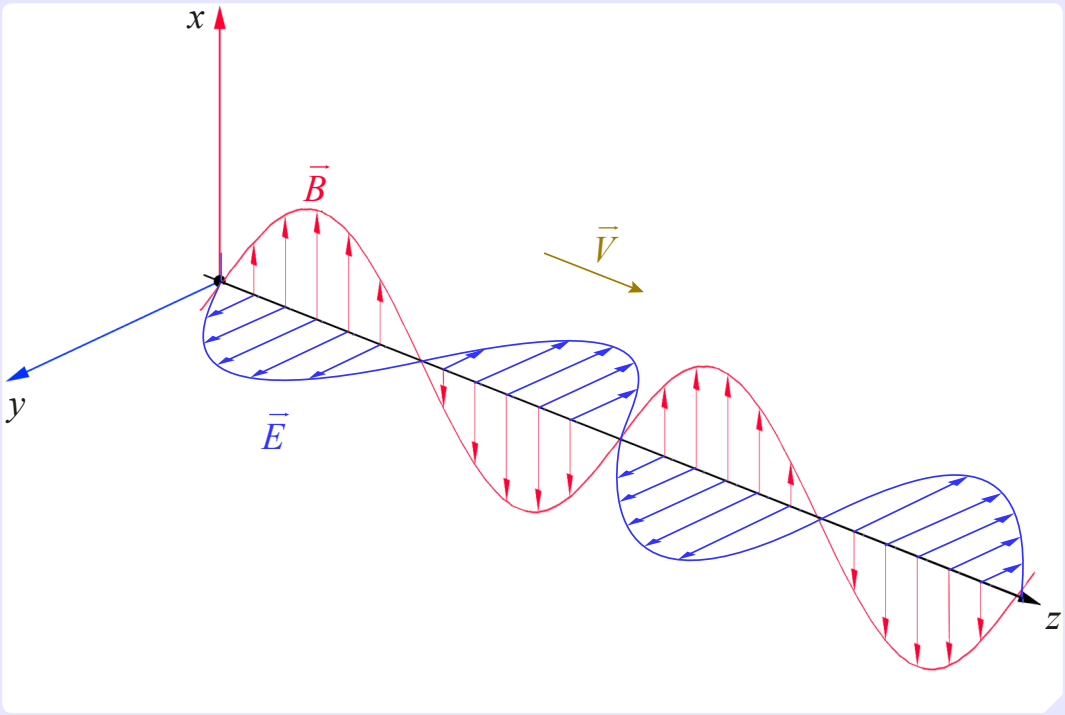


Рис. 2 Электромагнитная волна

Электромагнитные волны можно представить как самораспространяющиеся незатухающие колебания напряженности электрического и магнитного полей (**Рис. 2**). Колебания напряженности электрического поля представлены вектором $\vec{E}$, колебания индукции магнитного поля – $\vec{B}$. Длина волны – расстояние между последовательными максимумами. Частота волны – количество максимумов, прошедших через точку на оси распространения волны за одну секунду.

Волны и фотоны – это не две разные сущности, это разные, в зависимости от ситуации, проявления одного и того же явления. Нельзя разделить один фотон на два, фотоны переносят импульс, они оказывают давление на экран как поток частиц, и эти частицы можно посчитать. В то же время электромагнитные волны способны огибать края непрозрачного экрана и интерферировать так же, как и волны, на масштабах, сравнимых с длиной волны. Чем меньше длина волны, тем сложнее наблюдать волновые свойства электромагнитного излучения и тем больше оно похоже на поток частиц. Так, если в диапазоне от радиоволн до ультрафиолета принято характеризовать излучение длиной волны, то в рентгеновской и гамма-астрономии используется величина энергии фотона.

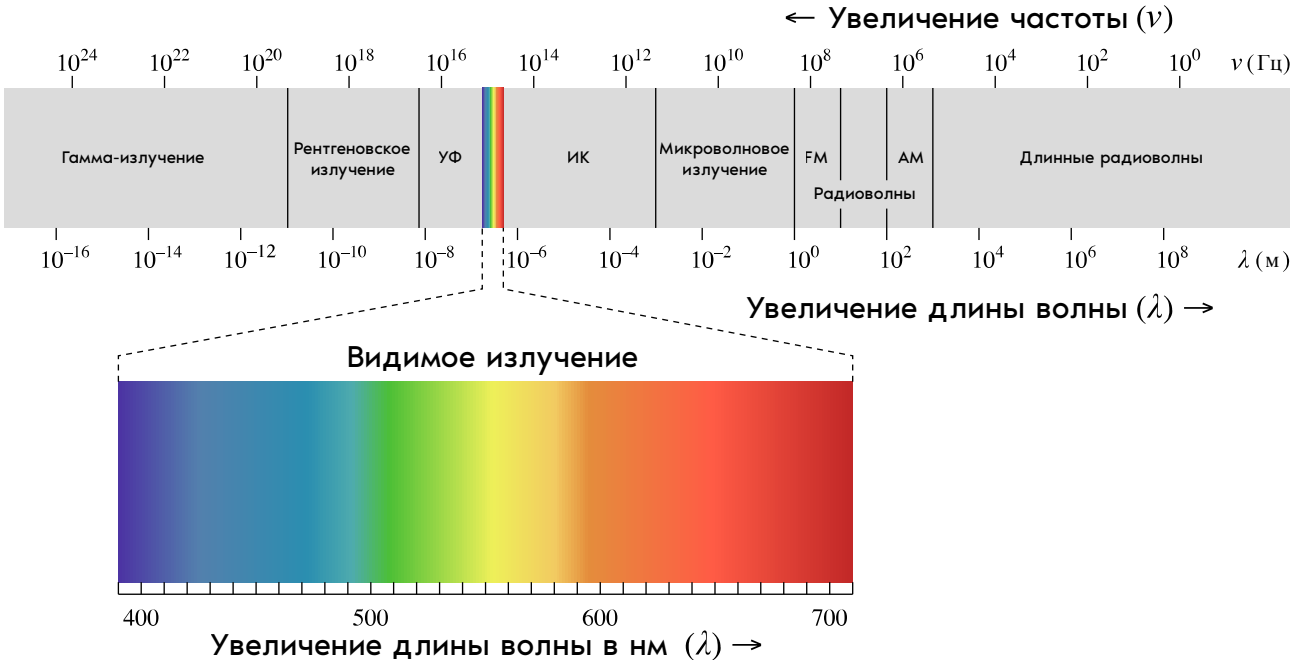


Рис. 3. Шкала электромагнитных волн

Нет никаких принципиальных ограничений на энергию фотона, или, что то же самое, нет ограничений на длину волны электромагнитного излучения. В настоящее время регистрируется излучение с длиной волны от 10^{-19} метра до 10^{8} метров. Вся доступная для исследований шкала длин волн разделена на ряд диапазонов. Разделение на диапазоны условно, границы между ними весьма размыты и отражают скорее исторические аспекты изучения электромагнитного излучения и различие методов детектирования. Человеческий глаз видит электромагнитные волны в диапазоне от 400 нм до 700 нм, этот диапазон обычно называется «видимый», или иногда «оптический». Полная шкала длин электромагнитных волн показана на **Рис. 3**. Самое коротковолновое излучение — гаммаизлучение, далее идёт рентгеновское, ультрафиолетовое, оптическое (или видимое), инфракрасное, затем радиоволны.

Основные механизмы генерации электромагнитного излучения — это движение заряженных частиц с ускорением и дискретное (скачкообразное) изменение энергетического состояния атома или молекулы. И в первом, и во втором случае выполняется закон сохранения энергии: излучающее вещество теряет часть своей внутренней энергии в виде излучения.

Атомы и молекулы любого тела всегда движутся, если температура этого тела выше абсолютного нуля (−273,15 °C). Для твёрдых тел, состоящих из связанных атомов, это колебания на одном месте — осцилляции. В жидкостях и газах частицы могут свободно двигаться друг относительно друга. Полная кинетическая энергия частиц, из которых состоит тело, называется внутренней энергией (строго говоря, это верно для идеальных газов, где отсутствует потенциальная энергия взаимодействия между частицами). Если тело излучает свою внутреннюю энергию, мы называем такое излучение тепловым. Для тел, находящихся в термодинамическом равновесии, спектр имеет характерный вид: он непрерывный, длина волны, на которую приходится максимум излучения, зависит от температуры тела. Описанный спектр называется планковским

Макс Планк
(1858–1947)

Тепловое излучение

Спектр – это зависимость интенсивности электромагнитного излучения от длины волны

спектром, или спектром абсолютно чёрного тела (АЧТ). Так как температура нашего тела выше абсолютного нуля — мы тоже являемся источником теплового излучения, максимум излучения которого приходится на инфракрасный диапазон длин волн. Наиболее заметные на небе источники теплового излучения — звёзды, в том числе и наше Солнце. Их температура настолько велика, что максимум их излучения лежит в видимом диапазоне длин волн. А вот холодная пыль в областях звездообразования, наоборот, светит в далёком инфракрасном диапазоне.

Планковский спектр

Заряженные частицы, которые движутся с ускорением, излучают электромагнитные волны. Например, с ускорением происходит движение свободных заряженных частиц в магнитном и электрическом полях — поля меняют траектории и скорости движения частиц. Соответственно, поток вещества, движущийся в магнитном поле, будет источником излучения. Если скорость вещества близка к скорости света, то такое излучение называется синхротронным, в противном случае — циклотронным. Синхротронное и циклотронное излучения образуются в источниках заряженных частиц, имеющих сильные магнитные поля, — в активных ядрах галактик и других экзотических объектах, например, нейтронных звёздах.

Синхротронное излучение

Циклотронное излучение

Ещё один важный способ генерации электромагнитного излучения — дискретное изменение энергии атома или молекулы, например, при переходе электрона в атоме с более энергетического высокого уровня на более низкий уровень энергии. При таких переходах излучается строго определённая порция энергии, равная разности энергии уровней. Такое излучение называется линейчатым (излучением в линиях). Самые красочные источники линейчатого излучения — планетарные туманности.

Излучение в линиях

Важнейшей характеристикой электромагнитного излучения является его спектр — зависимость интенсивности электромагнитного излучения от длины волны (**Рис. 4** и **Рис. 5**). Спектральный анализ стал мощным методом астрономических исследований: с его помощью возможно определить природу генерации излучения, температуру излучающего тела, напряжённость магнитного поля, содержание химических элементов и многие другие параметры далёких объектов.

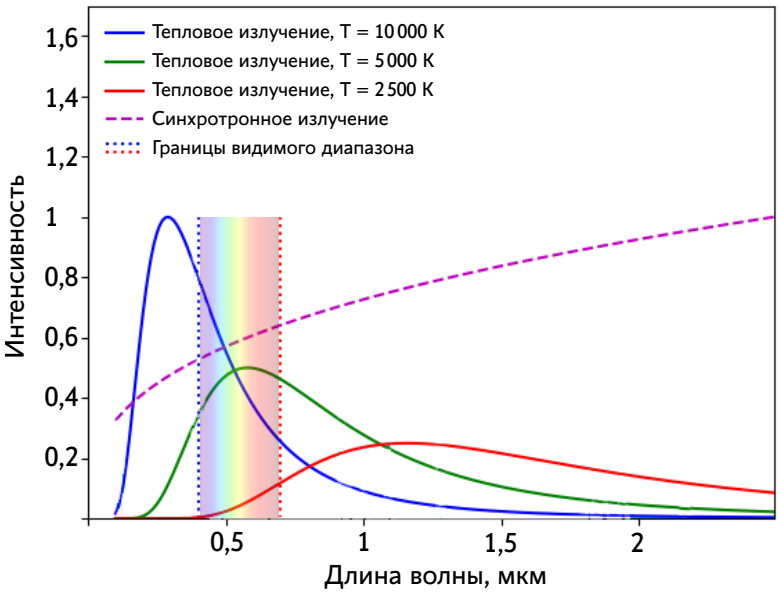


Рис. 4. Спектры источников теплового излучения с температурой 10 000 K, 5 000 K, 2 500 K и синхротронного излучения

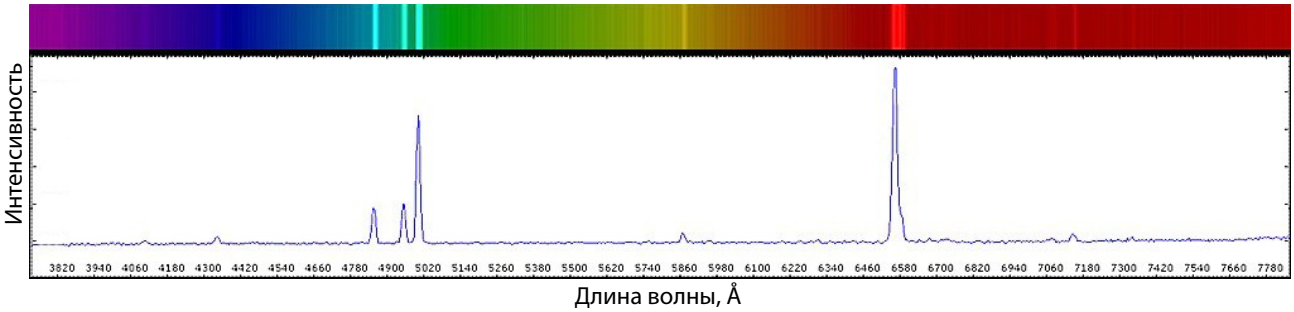


Рис. 5. Спектр излучения туманности Ориона. 1 Å = 10^{-10} м

Другой важный метод астрономических исследований — фотометрия — измерение яркости источника и её изменений в зависимости от времени в разных диапазонах шкалы длин волн. Фотометрия позволяет определять расстояния до объектов, некоторые физические характеристики источников (**Рис. 6**).

Фотометрия – измерение яркости источника и её изменений в зависимости от времени

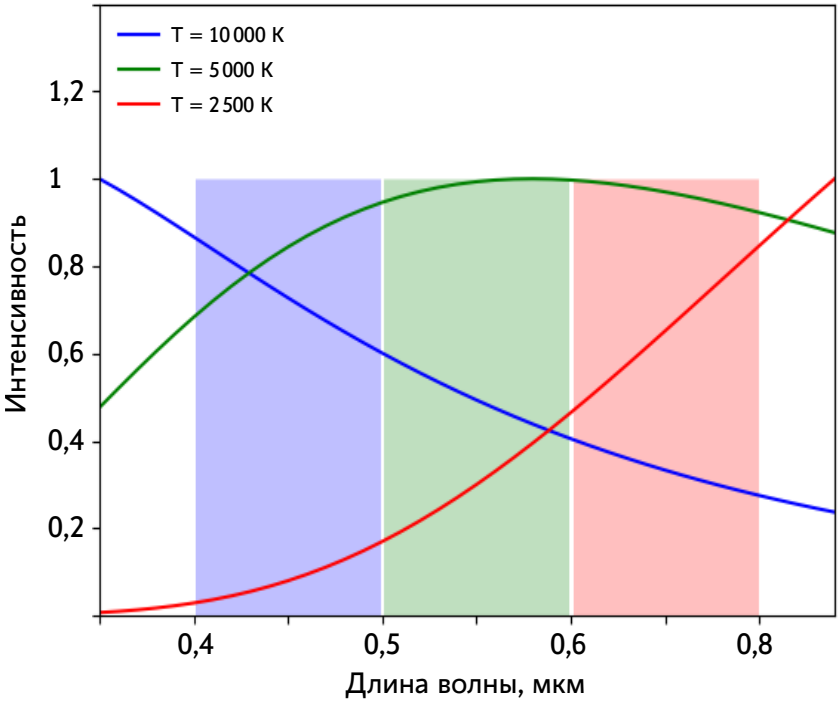


Рис. 6. Определение температуры источников теплового электромагнитного излучения фотометрическим методом. Чем горячее источник, тем выше его яркость в синем диапазоне относительно яркости в красном. Цветными линиями показано излучение абсолютно чёрного тела с различными температурами

Однако исторически первым методом астрономических исследований была астрометрия — измерение положения и скорости астрономических объектов на небесной сфере. Астрометрия сыграла важнейшую роль в становлении научной картины мира, позволила определить законы движения планет Солнечной системы, массы звёзд и расстояния до них (**Рис. 7**).

Астрометрия – измерение положения и скорости астрономических объектов на небесной сфере

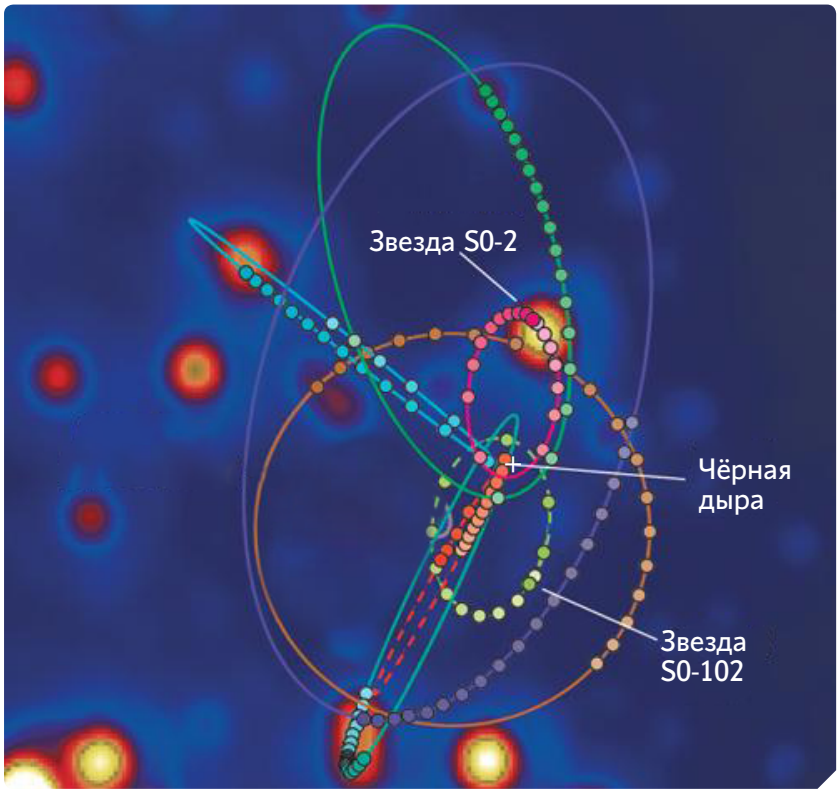


Рис. 7. Измерения положений звёзд вблизи центра нашей Галактики на протяжении 20 лет позволили определить их орбиты и вычислить массу невидимой чёрной дыры

Долгое время астрономические наблюдения проводились невооружённым глазом, либо с помощью простейших угломерных приборов. В 1609 году Галилео Галилей впервые посмотрел на ночное небо в телескоп. Телескоп Галилея **(Рис. 8)** собирал больше света, чем человеческий глаз, и увеличивал видимые угловые размеры объектов, что позволило сделать множество астрономических открытий. Галилей смог увидеть, что Млечный Путь состоит из слабых, недоступных невооружённому глазу звёзд, различить горы на Луне и обнаружить спутники Юпитера.

Современные телескопы всех видов широко используются в астрономических наблюдениях в различных диапазонах шкалы электромагнитного излучения, детектирования гравитационных волн и космических частиц.

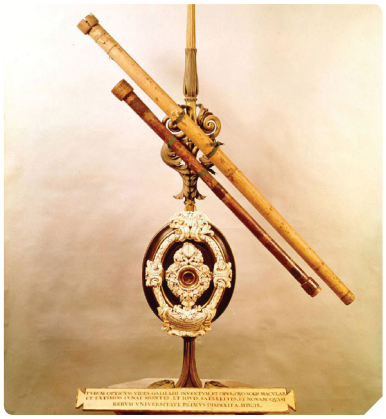


Рис. 8. Телескопы Галилео Галилея

Основная задача современного астрономического профессионального телескопа – объективное измерение пространственного и спектрального распределения интенсивности излучения далёких источников. Объективное измерение подразумевает стандартные методы измерений, результат которых не зависит от воли или желания наблюдателя. Например, измерение длины «на глаз» является субъективным, и результат будет разным у разных людей. Измерение длины с помощью рулетки будет объективным – его можно повторить, и результаты разных измерений будут одинаковы.

Для измерения пространственного распределения интенсивности излучения используются разные методы. Это может быть просто определение направления на источник излучения и измерение его яркости, как это делается при наблюдениях гравитационных волн и космических частиц. Или получение изображений участка неба, например, в оптическом диапазоне.

Измерение спектрального распределения интенсивности излучения – спектра – позволяет сделать выводы о физической природе источника, например, о температуре, химическом составе.

Телескопы для разных диапазонов длин волн электромагнитного излучения различаются как конструкцией, так и типом приёмников излучения.

Другие важные характеристики телескопов это:

— угловая разрешающая способность — способность показать два очень близких на небе источника как два разных объекта, то есть минимальное угловое расстояние между двумя точечными объектами, которые телескоп позволяет наблюдать раздельно;

Угловая разрешающая способность

— проницающая способность — способность показывать блеск звёзд, на пределе видимых в данных телескоп.

Проницающая способность

Атмосфера Земли прозрачна не для всех длин волн (**Рис. 9**). С поверхности нашей планеты можно наблюдать только в оптическом диапазоне, а также в ближних ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах. Кроме того, есть широкий диапазон прозрачности атмосферы для радиоволн. Прозрачность в видимом диапазоне и вблизи него сильно зависит от географического положения и метеорологических условий. Поэтому телескопы стараются устанавливать высоко в горах, в местах с большим количеством ясных ночей.

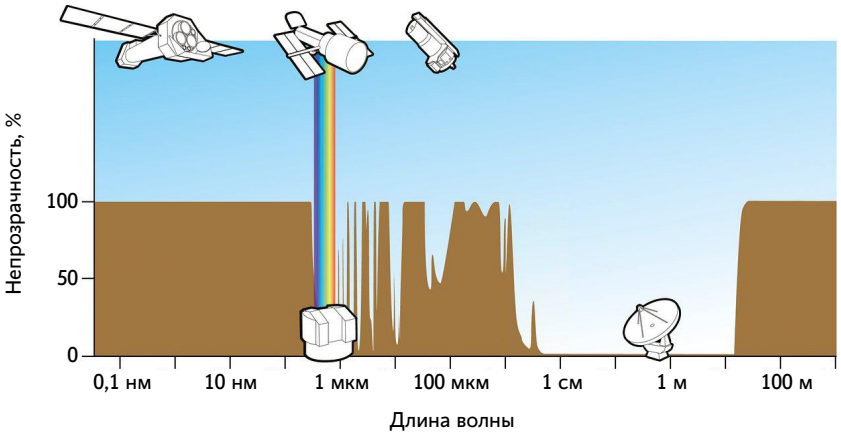


Рис. 9. Непрозрачность атмосферы Земли на разных длинах волн. Гамма-, рентгеновское и ультрафиолетовое излучения поглощаются атмосферой Земли, в этих диапазонах лучше наблюдать из космоса. Наблюдения в видимом диапазоне электромагнитных волн возможны с поверхности Земли, несмотря на вносимые атмосферой искажения. Большая часть инфракрасного излучения поглощается атмосферой, наблюдать лучше из космоса. Радиоволны в диапазоне от миллиметров до десятков метров можно наблюдать с поверхности Земли

Поглощение электромагнитных волн в атмосфере — не единственная помеха наблюдениям. Атмосфера Земли очень неспокойна, в ней всегда присутствуют области с различной температурой и плотностью воздуха. Вы можете почувствовать эту атмосферную турбулентность во время авиапутешествий. Свет, идущий через атмосферу, испытывает преломление на границах областей с разной температурой, а так как эти области постоянно движутся и меняются, то изображение звёзд дрожит и размывается (**Рис. 10**). Атмосферная турбулентность всегда мешает проводить астрономические наблюдения, даже в лучших обсерваториях Земли. Современные методы наблюдений в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах позволяют снизить это негативное влияние, но лучшим решением проблемы является выведение телескопов за границы атмосферы Земли — в космос.

Атмосферная турбулентность

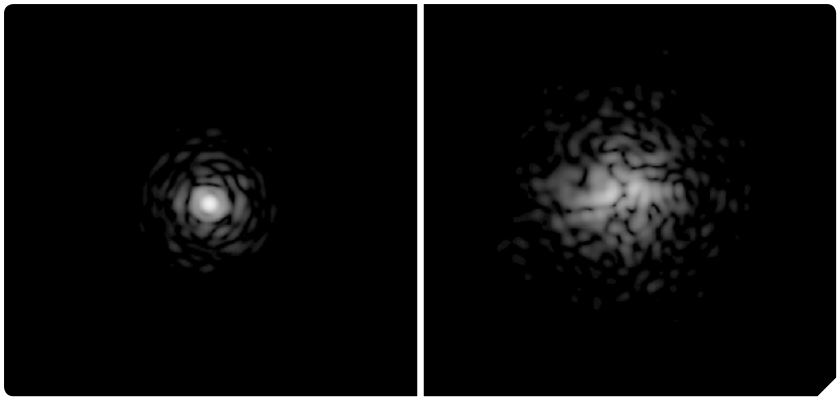


Рис. 10. Влияние атмосферной турбулентности на качество изображения, создаваемого телескопом. Слева – в условиях спокойной атмосферы изображение близко к идеальному, справа – сильная атмосферная турбулентность приводит к размыванию изображения

Телескоп – основной инструмент астрономов

Со времён Галилея конструкция оптических телескопов эволюционировала, однако общие принципы остались неизменными: телескоп обязательно содержит объектив, создающий изображение области неба, устройство для наведения и слежения за объектом наблюдения, а также аналитическое оборудование для измерения свойств излучения далёких объектов (**Рис. 11**).

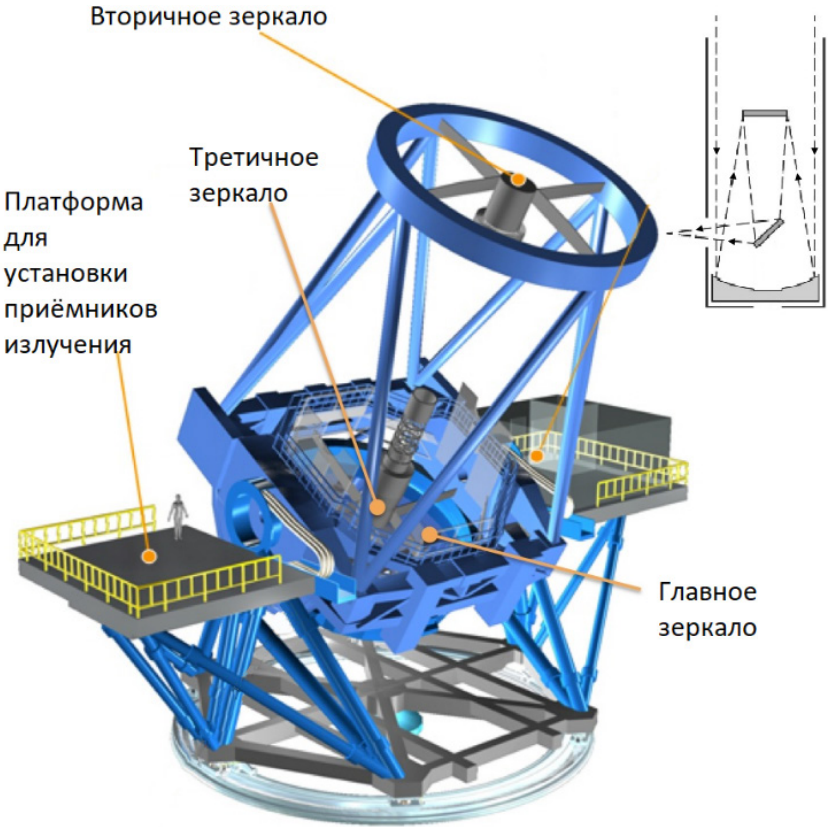
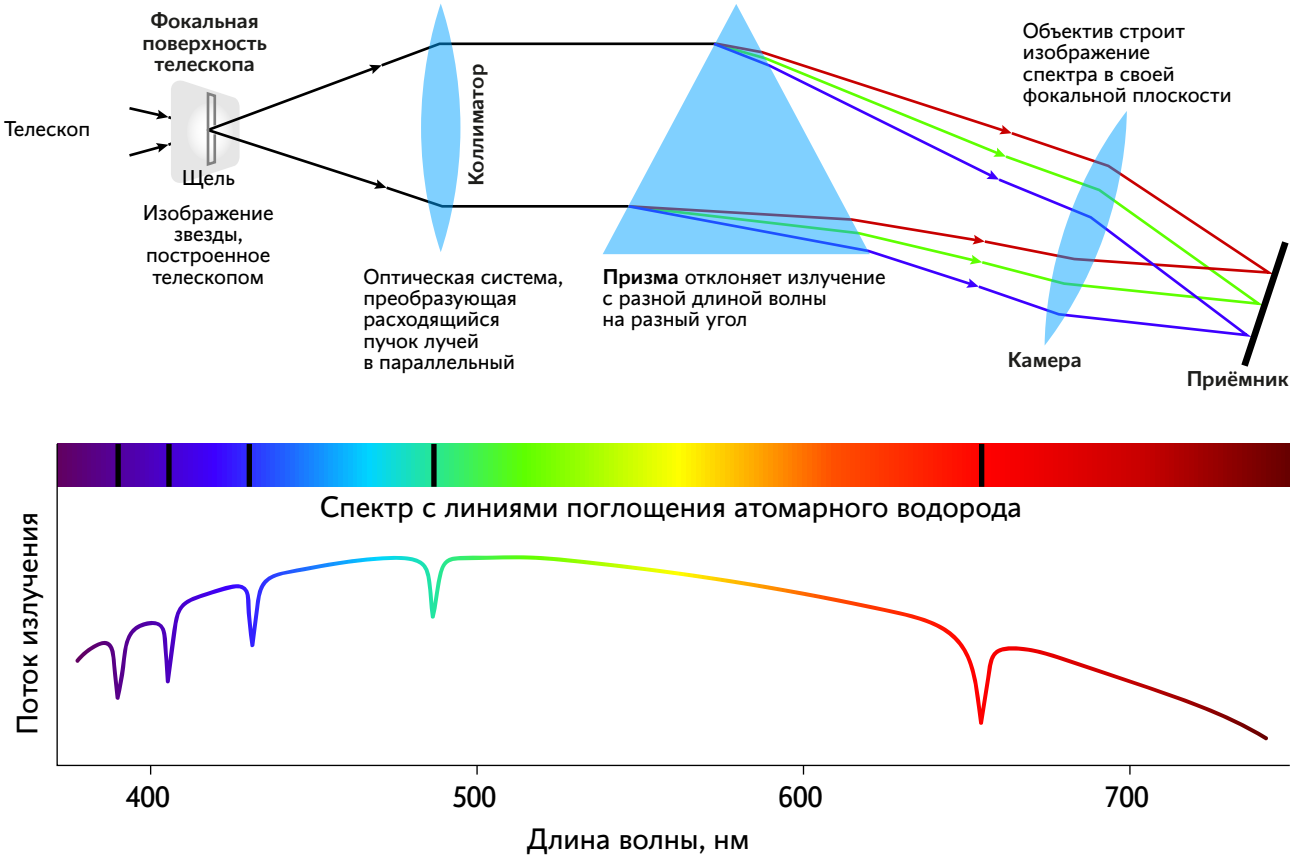


Рис. 11. Схематическое изображение современного наземного крупного оптического телескопа. Главное вогнутое параболическое зеркало отражает поток лучей в направлении вторичного выпуклого гиперболического зеркала, далее плоское зеркало выводит свет за пределы трубы телескопа, где размещаются приёмники излучения

В простейшем случае для анализа используется цифровая камера, которая позволяет проводить астрометрические и фотометрические измерения, с фильтрами, выделяющими нужный диапазон длин волн. Для проведения спектрального анализа излучения телескоп должен быть оборудован спектрографом (Рис. 12).

Рис. 12. Сильно упрощённое схематическое изображение спектрографа



Объективы небольших телескопов диаметром до нескольких десятков сантиметров всё ещё иногда изготавливают из линз. Такие телескопы называются рефракторами (от англ. refraction — преломление). Объективы более крупных телескопов делаются зеркальными и называются рефлекторами (от англ. reflection — отражение, слово «рефлектор» часто используется как синоним слова отражатель). Обычно это большое вогнутое главное зеркало и несколько вспомогательных, меньших по размеру, позволяющих улучшить качество изображения всей оптической системы или же сделать управление телескопом более удобным. Нередко в зеркальных телескопах в качестве корректирующих элементов используются линзы, которые существенно меньше по размеру, чем главное зеркало (Рис. 13).

- Рефрактор
- Рефлектор

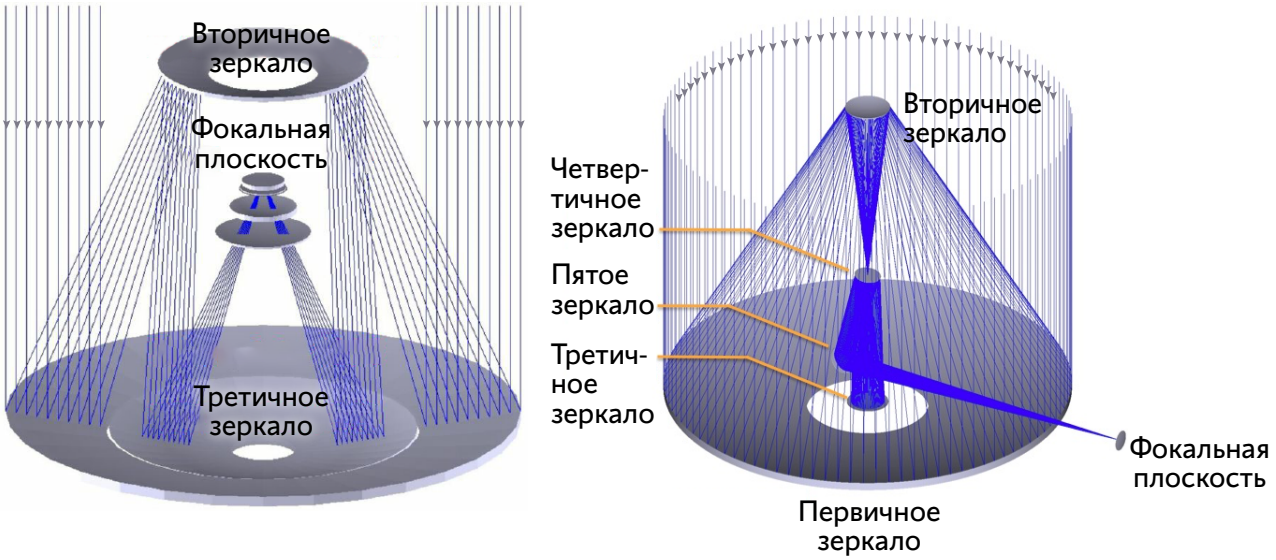


Рис. 13. Слева: оптическая схема телескопа имени Веры Рубин, состоит из трёх зеркал и трёх корректирующих линз. Справа: оптическая схема Чрезвычайно Большого Телескопа (Extremely Large Telescope, ELT) состоит из пяти зеркал, причём четвёртое зеркало адаптивное и позволяет компенсировать атмосферные искажения

Современные технологии не позволяют делать монолитные главные зеркала телескопов диаметром более 8,5 метров. Чтобы обойти это ограничение, главное зеркало делают сегментированным — состоящим из множества вогнутых зеркал меньших размеров. Сегментированное зеркало при этом должно работать как единое, поэтому каждый сегмент необходимо тщательно отполировать и совместить их все между собой с точностью не меньше 1/8 длины волны, на которой проводятся наблюдения. Для оптического телескопа ошибка изготовления зеркал не должна превышать 0,05 мкм.

Сегментированное зеркало

Разрешающая способность оптического телескопа, расположенного на поверхности Земли, ограничена атмосферной турбулентностью. Использование активной коррекции формы зеркал наземных телескопов позволяет частично компенсировать влияние атмосферы и улучшить качество изображения. Для этого одно из малых вспомогательных зеркал делается тонким и гибким, а его форма адаптируется под атмосферные искажения с частотой 10–100 раз в секунду, — такие системы называются адаптивной оптикой. **(Рис. 14)** Для оценки разрешающей способности космических телескопов, которым атмосфера не мешает, справедлива формула:

$$\theta'' = 206\,265'' \cdot \frac{1{,}22\,\lambda}{D}, \qquad (1)$$

где D — диаметр объектива и λ — длина волны, на которой проводятся наблюдения, θ измеряется в секундах дуги.

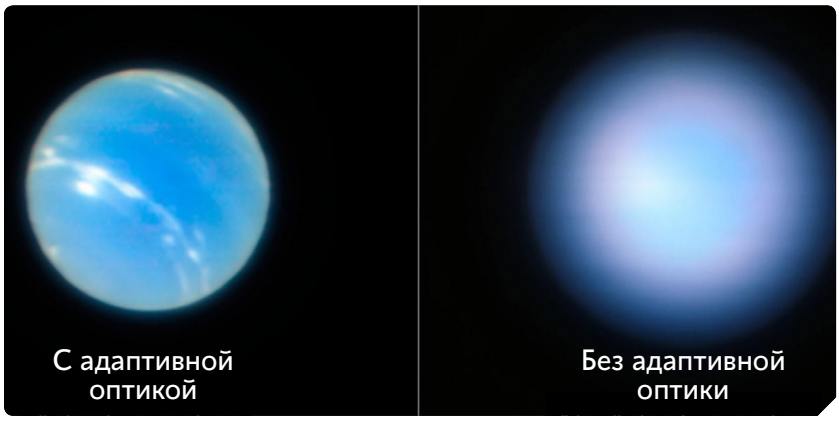


Рис. 14. Фото Нептуна с применением и без применения адаптивной оптики

Оценить проницающую способность телескопа намного сложнее — она зависит от множества факторов, прежде всего, от метода исследования и размеров зеркала телескопа. Для спектральных методов исследований проницающая способность несколько хуже: свет звезды растягивается в спектр, и на единицу площади приёмника излучения падает меньшее количество фотонов. Крупнейшим наземным телескопам доступна астрометрия и фотометрия звёзд 25–27 звёздной величины[1] — их свет в сотни миллионов раз слабее света звёзд, которые мы наблюдаем невооружённым глазом. Космические обсерватории имеют значительные преимущества: благодаря отсутствию атмосферы повышаются их разрешающая и проницающая способности. Например, относительно небольшой телескоп им. Хаббла по сравнению с наземными телескопами способен увидеть гораздо более тусклые объекты — звёзды 30–31 звёздной величины, а разрешающая способность в 7–10 раз больше, чем у аналогичного телескопа на поверхности Земли.

Однако наземные телескопы имеют свои преимущества перед космическими — намного меньшую стоимость строительства и обслуживания, возможность усовершенствования и замены аппаратуры. Поэтому наземные телескопы, работающие в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах, продолжают строить до сих пор. Сейчас крупнейшие телескопы имеют главные зеркала диаметром около 10 метров **(Рис. 15)**.

Рис. 15. LBT (Large Binocular Telescope) – большой бинокулярный телескоп. Самый крупный действующий телескоп по состоянию на 2020 год. Два его зеркала диаметром 8,4 метра могут работать совместно, что эквивалентно телескопу с зеркалом диаметром 11,8 метра

В ближайшем будущем заработают телескопы диаметром объектива до 40 метров **(Рис. 16)**. При этом по-прежнему актуальными остаются небольшие телескопы, даже с диаметром объектива в несколько сантиметров. Есть задачи, которые они успешно решают, а их стоимость несравненно меньше. Можно утверждать, что востребованность телескопа определяется не его размерами, а удачной конструкцией и грамотной постановкой научной задачи.

О телескопах, работающих в других диапазонах электромагнитного излучения, и инструментах для наблюдения космических частиц и гравитационных волн мы поговорим в следующем уроке.

[1] Звёздная величина – безразмерная числовая характеристика яркости объекта.

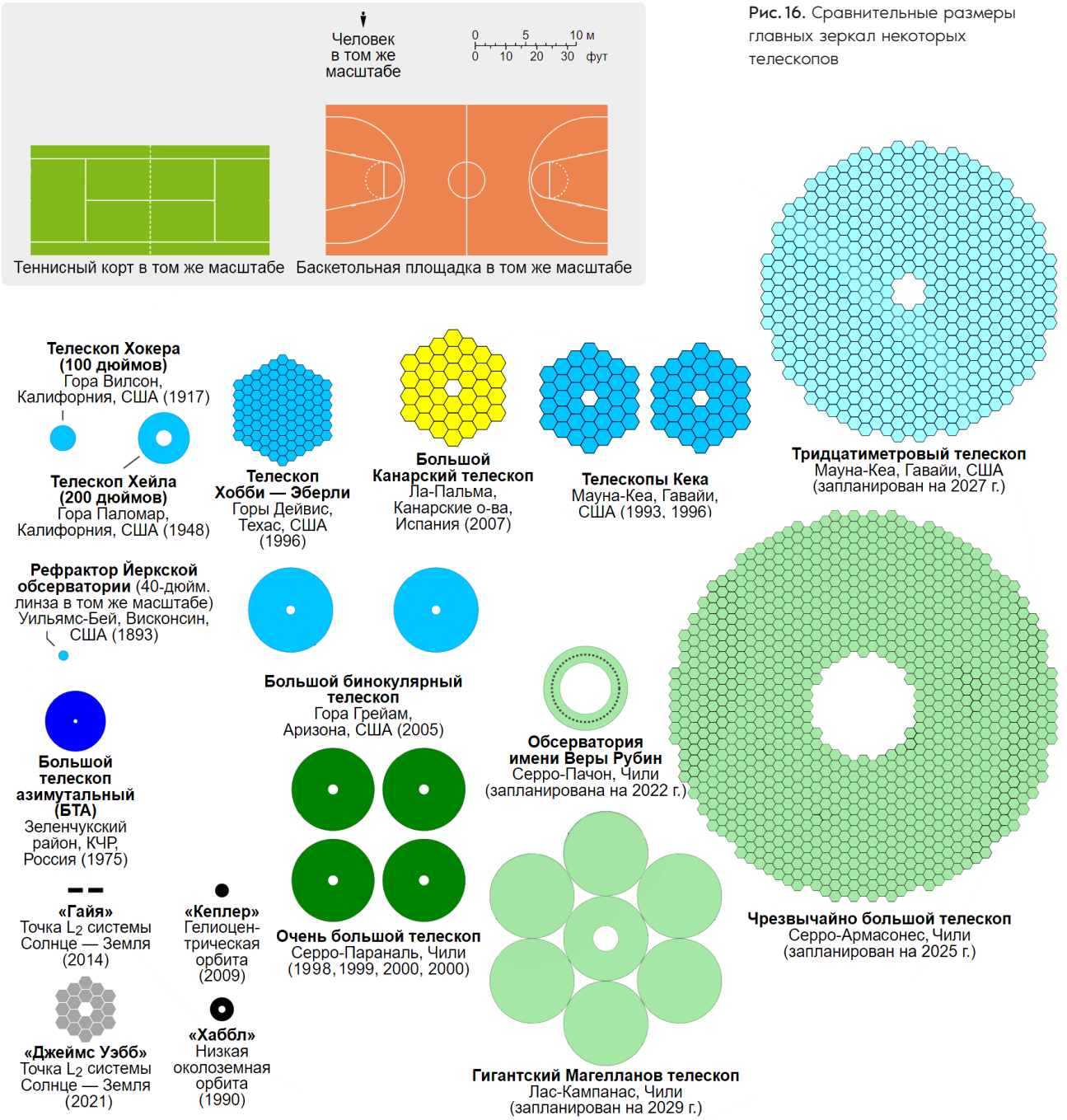


Рис. 16. Сравнительные размеры главных зеркал некоторых телескопов

Обсерватории России и мира

Со временем обсерваторий на Земле становится все меньше. Раньше их строили где угодно, а сейчас выбирают места, где условия позволяют использовать телескопы максимально эффективно. Совокупность географических, атмосферных, климатических и иных условий, влияющих на возможность проведения и качество астрономических наблюдений, называется астроклиматом. Далеко не везде на Земле имеется хороший астроклимат. Нередко наилучшие условия для наблюдений находятся в труднодоступных местах, например, в Антарктиде или высокогорной пустыне Атакама в Чили. Выбор места для строительства новой обсерватории — это всегда разумный компромисс, учитывающий астроклиматические, экономические и даже политические факторы. Однако такой подход к выбору места для обсерватории был не всегда.

✎ Астроклимат

Примерно до середины 20-го века обсерватории строились ближе к университетам и научным центрам. Сейчас эти обсерватории используются преимущественно для решения задач, не требующих отличного астроклимата, для тестирования нового оборудования, обучения студентов, популяризации науки. В России это обсерватория МГУ на Ленинских горах, Пулковская обсерватория в Санкт-Петербурге, обсерватории Казанского и Уральского университетов.

В середине 20-го века, когда стало понятно, что обсерватории необходимо переносить дальше от растущих городов, начались регулярные исследования астроклимата с целью поиска оптимальных мест для размещения крупных телескопов. Многочисленные экспедиции показали, что наилучшие условия для астрономических наблюдений возникают на вершинах отдельно стоящих гор. В этом случае движение потоков воздуха наименее подвержено турбулентности, что позволяет получать изображения лучшего качества. Удалённость горных вершин от искусственных источников света — городов — снижает фоновую яркость неба. Значительная высота над уровнем моря позволяет оставить внизу часть атмосферы, что уменьшает поглощение света. На территории России лучший астроклимат можно найти в горах Кавказа и Алтая, но даже там условия для наблюдений в оптическом диапазоне уступают условиям горных пустынь и вершин потухших вулканов на островах посреди океана. В 2020 году более четверти крупнейших оптических телескопов с диаметром главного зеркала более трёх метров расположены на территории Чили (12 телескопов). Именно там совместными усилиями стран Европы построены Южная Европейская Обсерватория (ESO — European Southern Observatory), силами США — Межамериканская обсерватория Серро-Тололо, а также телескопы Японии, Тайваня, Китая, Кореи, Бразилии и др. Чуть меньше четверти крупнейших телескопов расположено на материковой территории США (11 телескопов) и ещё почти столько же на Гавайских островах (9 телескопов). Остальные крупные телескопы находятся на Канарских островах (3 телескопа), по одному на территории материковой Испании, Австралии, Южной Африки, Индии, Китая и России.

Крупнейший телескоп России

Большой Телескоп Азимутальный (БТА) – самый большой оптический телескоп России с диаметром главного зеркала 6 метров – расположен в Специальной астрофизической обсерватории РАН (САО РАН) в Карачаево-Черкесии (**Рис. 17**). БТА был крупнейшим в мире телескопом с 1975 по 1993 год, когда начал работать 10-метровый телескоп Кека. Некоторые технические решения, впервые применённые в конструкции БТА, в дальнейшем стали стандартными при проектировании и строительстве больших телескопов. К сожалению, технологии изготовления крупногабаритной астрономической оптики, существовавшие в 60-70 гг. прошлого века, не позволяли сделать главное зеркало тонким и лёгким. В результате оно медленно остывает и почти всегда значительно теплее, чем окружающий воздух, что приводит к возникновению конвективных потоков и существенному ухудшению качества изображения. Негативный опыт БТА был учтён,

и все крупные новые телескопы имеют тонкие, облегчённые зеркала. Наблюдения на БТА по-прежнему остаются востребованными астрономическим сообществом, поскольку приборы и приёмники излучения постоянно модернизируются.

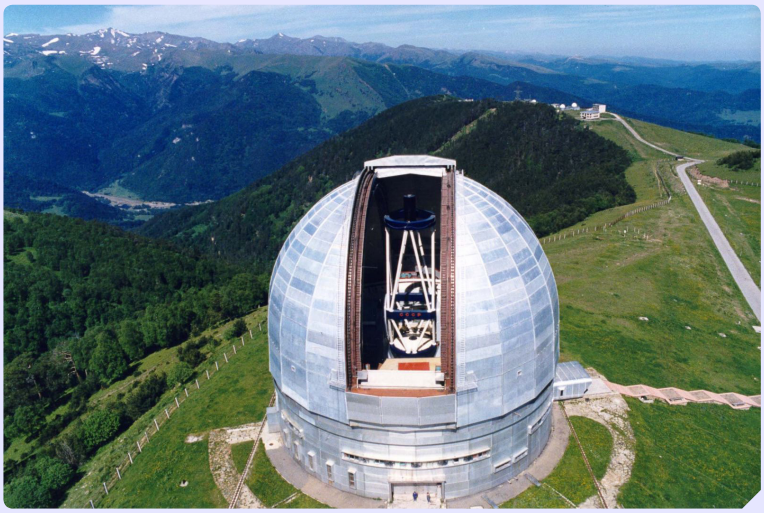


Рис. 17. БТА – крупнейший оптический телескоп России диаметром объектива 6 метров

При строительстве новых обсерваторий в труднодоступных местах не обязательно перевозить туда всех работников. Большинство персонала по-прежнему живёт и работает в городах, а обслуживанием телескопов и наблюдениями занимаются только инженеры и наблюдатели. Такую структуру имеют большинство современных обсерваторий, например, Южная Европейская Обсерватория с головным офисом в г. Гархинг в Германии и тремя наблюдательными обсерваториями в Чили. Астрономический институт МГУ находится в Москве, но имеет несколько обсерваторий на территории России **(Рис. 18)**. Нередко обсерватории вовсе делаются полностью роботизированными или управляются удалённо. Очевидно, что космические телескопы не имеют обслуживающего персонала в космосе. Учёные и инженеры работают с ними удалённо, находясь на Земле.

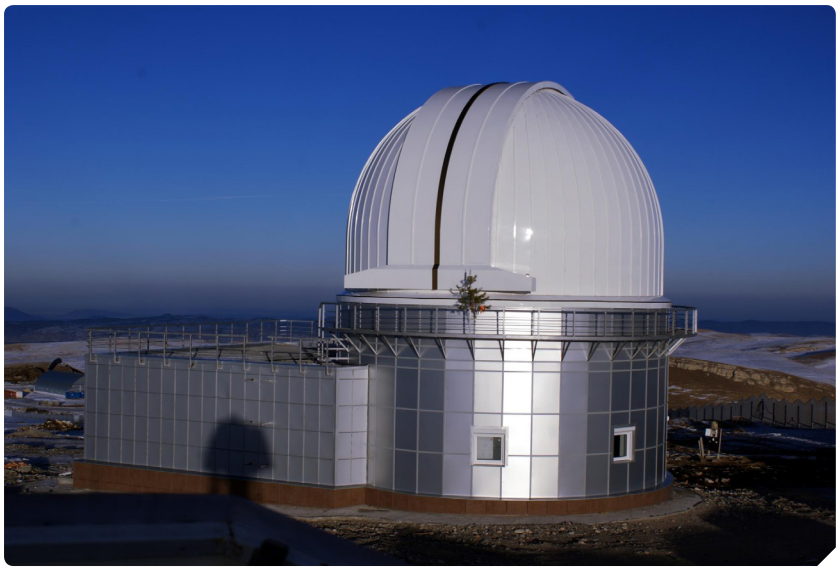


Рис. 18. 2,5-метровый телескоп Кавказской обсерватории ГАИШ МГУ

Южная Европейская Обсерватория (ESO)

В середине 20-го века стало понятно, что дальнейшее развитие наблюдательной астрономии требует строительства больших телескопов в местах с хорошим астроклиматом. Желательно в Южном полушарии, где можно наблюдать Магеллановы Облака – ближайшие к нам соседние галактики. Ни одна из стран Европы по отдельности не могла себе позволить столь масштабный проект. Поэтому в 1962 году астрономы Бельгии, Германии, Франции, Нидерландов и Швеции решили объединить ресурсы для строительства Южной Европейской Обсерватории. Изначально она должна была располагаться в Южной Африке (ЮАР), но исследования показали, что астроклимат Чили гораздо лучше. В 1966 году заработали первые телескопы Южной Европейской Обсерватории в Ла-Силье.

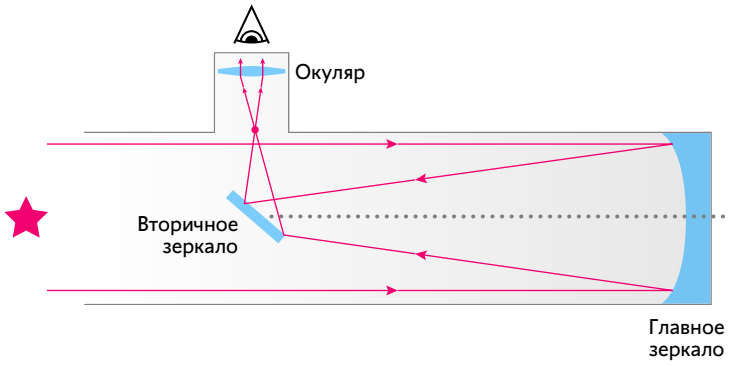
В состав ESO входят 16 стран Европы, идут переговоры о присоединении Бразилии.

Строительство и обслуживание больших телескопов весьма дорогое. Чтобы оправдать вложенные средства, инструменты должны работать с максимальной научной эффективностью. Поэтому на подавляющем большинстве крупных телескопов наблюдательное время распределяется по конкурсу. Заявитель, желающий получить новые данные с телескопа, должен предоставить веские обоснования своей заявки, показать, что результаты наблюдений будут обработаны и использованы для научной публикации. Спустя некоторое время все полученные на телескопе данные становятся открытыми — любой человек, а не только автор заявки, может использовать их для своей работы.

Телескоп у вас дома

Многие увлечённые астрономией люди покупают себе небольшие телескопы. Основное отличие любительского телескопа от профессионального заключается не в конструкции, а в постановке задачи: большинство любителей астрономии заинтересовано в визуальных (от лат. visualis — зрительный) наблюдениях и получении красочных изображений астрономических объектов, а не в научных исследованиях. Соответственно, телескопы для любителей астрономии оборудованы окуляром или цифровой камерой **(Рис. 19)**. В последнем случае телескоп вполне можно использовать для научных исследований.

Ньютоновский рефлектор



Зеркально-линзовый телескоп

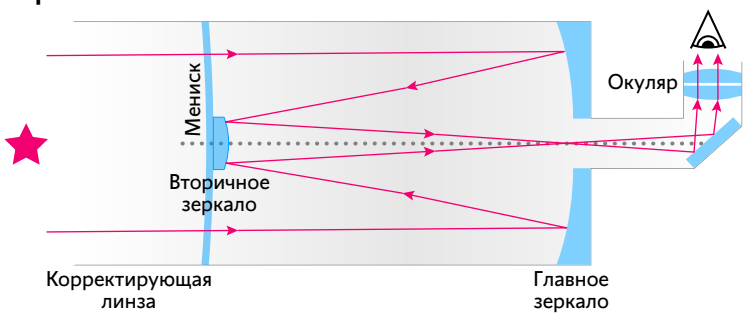


Рис. 19. Оптические схемы и внешний вид распространённых типов любительских телескопов: ньютоновский рефлектор и зеркально-линзовый телескоп

На **Рис. 20** показана оптическая схема линзового телескопа-рефрактора. Увеличение телескопа можно определить, зная фокусное расстояние объектива $f_{\text{объектива}}$ и фокусное расстояние окуляра $f_{\text{окуляра}}$:

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f_{\text{объектива}}}{f_{\text{окуляра}}}. \qquad (2)$$

Рефрактор

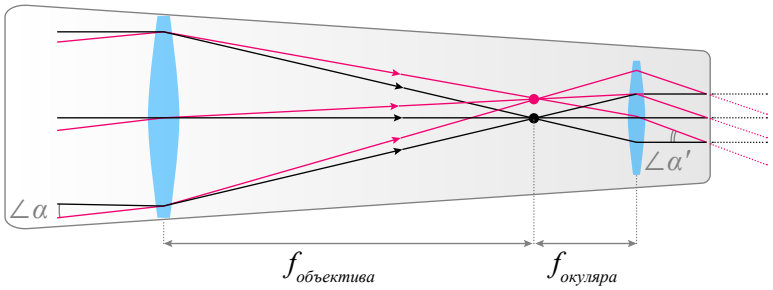


Рис. 20. Оптическая схема и внешний вид телескопа-рефрактора (линзовый телескоп)

Городская засветка не позволяет наблюдать тусклые объекты, но Луна, большинство планет Солнечной системы и яркие визуально-двойные звёзды будут доступны даже в центре Москвы. Чтобы рассмотреть или сфотографировать горы на Луне, увидеть спутники Юпитера, полосы на его поверхности и некоторые другие объекты, достаточно любительского телескопа с диаметром объектива

60–100 мм (**Рис. 21.**). Вдали от городской засветки этот же телескоп позволит увидеть самые яркие туманности, шаровые и рассеянные звёздные скопления.

Рис. 21. Юпитер и Сатурн, наблюдаемые через телескоп диаметром 150 мм

Увеличение диаметра объектива телескопа открывает больше возможностей для наблюдений, но предъявляет повышенные требования к состоянию атмосферы. Телескоп с диаметром объектива 150–200 мм в условиях хорошего астроклимата позволит рассмотреть форму и структуру ярких туманностей, спиральные ветви некоторых галактик, покажет больше деталей на поверхности Луны и планет. Если с небольшим телескопом можно путешествовать в поисках хороших условий для наблюдений, то телескопы с диаметром объектива более 250–300 мм становятся достаточно громоздкими, поэтому их желательно устанавливать стационарно.

Если телескоп оборудован электрическим приводом, компенсирующим вращение Земли, то можно попробовать делать снимки астрономических объектов. Для этого необходима специализированная цифровая камера или цифровой фотоаппарат. В этом случае телескоп служит объективом, либо к нему прикреплён фотоаппарат со штатным объективом. Опытные любители астрофотографии получают прекрасные снимки неба, часто не уступающие профессиональным **(Рис. 22)**.

Рис. 22. Любительский снимок туманности Конская Голова с экспозицией 20 минут

Автор текста:
Вадим Крушинский, научный сотрудник Лаборатории астрохимических исследований Уральского федерального университета

В тексте использованы иллюстрации:

Рис. 1. *Наблюдения на Wise Observatory (Израиль)*. Iair Arcavi.

Рис. 7. *Изменение положений звёзд вблизи центра нашей Галактики*. A. Ghez, Keck Observatory, et al.

Рис. 8. *Телескоп Галилео Галилея*. Scala // Art Resource, New York.

Рис. 10. *Влияние атмосферной турбулентности на качество изображения, создаваемого телескопом*. Philip Dyer.

Рис. 11. *Схематическое изображение современного наземного крупного оптического телескопа*. MBTA Corporation Japan #150132.

Рис. 13. *Оптическая схема телескопа имени Веры Рубин*. James Jee, Anthony Tyson, 2011. *Оптическая схема Чрезвычайно Большого Телескопа*. ESA.

Рис. 14. *Фото Нептуна с применением и без применения адаптивной оптики*. ESO // P. Weilbacher (AIP) // NASA, ESA, and M. H. Wong and J. Tollefson (UC Berkeley).

Рис. 15. *LBT — большой бинокулярный телескоп*. Large Binocular Telescope Observatory.

Рис. 17. *БТА — крупнейший оптический телескоп России*. САО РАН.

Рис. 18. *2,5-метровый телескоп Кавказской обсерватории ГАИШ МГУ*. Фото предоставлено ГАИШ МГУ.

Рис. 21. *Юпитер и Сатурн, наблюдаемые через телескоп диаметром 150 мм*. azzkicker 7283.

Рис. 22. *Любительский снимок туманности Конская Голова с экспозицией 20 минут*. whyisthesky.