

400 ЛЕТ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ

С.А. Язев

TELESCOPIC ASTRONOMY CELEBRATES ITS 400th BIRTHDAY

S.A. Yazev

2009 год назван ООН и ЮНЕСКО Международным годом астрономии, что приурочено к 400-летию юбилею начала астрономических наблюдений с помощью телескопов. Лекция посвящена краткому изложению истории развития телескопической техники, начиная с первого рефрактора Галилея, построенного в 1609 г. Указаны преимущества и недостатки рефракторов и рефлекторов, приводится обзор крупных современных наземных инструментов (БТА, телескопы Кека, телескопы Хобби–Эберли и SALT, SUBARY, GEMINI, Большой Канарский телескоп, система VLT). Приводится понятие систем адаптивной оптики, применяемых на современных телескопах. Отмечена роль астроклимата в проблеме получения качественных изображений. Дан краткий обзор достижений внеатмосферной астрономии, показано, что астрономия в XX веке стала всеволновой. Приведены данные о космическом телескопе имени Э. Хаббла. Кратко охарактеризованы проекты развития астрономии в XXI веке. Приводятся параметры проектируемых наземных телескопов ELT с диаметром главного зеркала 42 м и OWL с диаметром главного зеркала 100 м, а также телескопов космического базирования (космический телескоп им. Дж. Уэбба (6.5 м) и телескоп ATLAS (16 м)). Анализируется место России в клубе стран – обладателей крупными телескопами.

UN and UNESCO named 2009 the International Year of Astronomy, as the world celebrates the quadricentennial of astronomical observations made with telescopes. This lecture is devoted to the history of telescopic equipment originating with the first refractor built by Galileo in 1609. Advantages and disadvantages of refractors and reflectors are stated, a review of up-to-date large ground-based instruments (BTA (Large Azimuth Telescope), Keck and Hobby-Eberly telescopes, SALT, SUBARY, GEMINI, Great Canarian Telescope, VLT system) is made. Notion of adaptive optics systems used in up-to-date telescopes is given. Role of astroclimate in problem of high-quality image acquisition is discussed. Here we also give a brief review of progress in extraterrestrial astronomy and show that astronomy of the XX century has become full-band. Data on the Hubble Space Telescope as well as a brief description of astronomy development projects in the XXI century are presented. We give parameters of ground-based telescopes ELT (which has a 42 m diameter mirror and is under construction) and OWL (a 100 m diameter mirror), and of space-based telescopes (the James Webb Space Telescope (6.5 m) and ATLAS Telescope (16 m)). Besides, we analyze place of Russia among countries possessing large telescopes.

Четыреста лет назад произошло важнейшее событие в истории науки. В начале XVII века был изобретен телескоп. Роль этого замечательного инструмента в процессе осознания человечеством того, как устроен наш мир, трудно переоценить. В знак юбилея ООН и ЮНЕСКО объявили 2009 г. Международным годом астрономии [1].

Первые рефракторы

Первым, кто навел недавно изобретенную зрительную трубу на небо, был Галилео Галилей (рис. 1). Ученый применил плоско-выпуклое (для объектива) и плоско-вогнутое (для окуляра) стекла. Первая труба Галилея давала прямое (неперевернутое) мнимое изображение предмета с трехкратным увеличением. Меняя параметры оптических стекол, в августе 1609 г. Галилей довел увеличение до 32 крат, что для инструментов такого типа является пределом. Диаметр объектива составил 5.3 см, длина трубы – 124.5 см. Этот знаменитый прибор, с которого началась эпоха телескопической астрономии, до сих пор хранится в музее во Флоренции [2].

Зимой 1609–1610 гг. Галилей выполнил цикл астрономических наблюдений, которые позволили ему сделать ряд важных астрономических открытий. Им были открыты фазы Венеры, «неидеальность» лунной поверхности, 4 спутника Юпитера и звездная структура Млечного Пути. Кроме того, Галилей первым описал феномен солнечных пятен (формально не будучи первооткрывателем, [3]).

Первые телескопические наблюдения позволили существенно изменить наши представления об окружающем мире. Некоторые участки Млечного Пу-

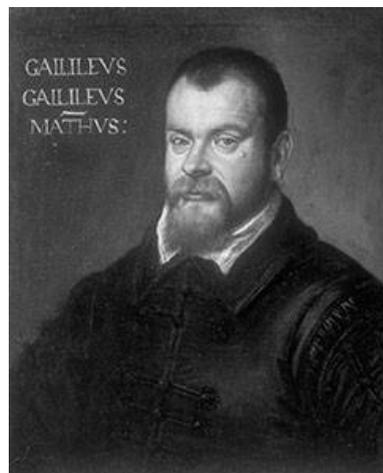


Рис. 1. Портрет Галилео Галилея работы Доменико Тинторетто, 1605–1606 гг. (за три года до изобретения телескопа).

ти при наблюдении в телескоп распались на звезды, некоторые же оставались непрерывными источниками света, что служило свидетельством гигантских размеров звезд. В 1624 г. Галилей писал, что это, помимо прочего, опровергает представления о расположении звезд в пределах тонкого сферического слоя, царившие на протяжении полутора тысяч лет. Тот факт, что звезды при различных параметрах телескопа оставались точечными объектами, изменяя только блеск, говорил в пользу колоссальных удаленностей звезд. Кроме того, открытия Галилея вкупе с открытием Шейнером феномена дифференциального вращения Солнца, давали доводы в

пользу гелиоцентрической системы Коперника и «неидеальности» небесных тел [2].

Телескопы с самого начала своего существования значительно увеличили масштабы Метагалактики (наблюдаемой части Вселенной). Если невооруженным глазом на небе можно наблюдать близкие звезды Галактики как отдельные объекты, далекие звезды Галактики (Млечный Путь) как неразрешаемые объекты в виде непрерывного сияния и единичные внегалактические объекты (Магеллановы облака и ближайшие галактики), то уже на протяжении первого столетия существования телескопов появилась возможность наблюдать множественные внегалактические объекты, в результате чего радиус Метагалактики вырос, по крайней мере, на 2 порядка. Отметим, что в настоящее время в рамках специальных программ наблюдений на крупнейшем внеатмосферном рефлекторе – космическом телескопе имени Хаббла – в направлении, перпендикулярном плоскости Галактики, и с накоплением сигнала на протяжении нескольких часов получены изображения галактик, удаленных на 12 млрд световых лет. Это составляет более 87 % от предельно возможного расстояния до наблюдаемых объектов, определяемого возрастом Вселенной (13.7 млрд лет).

Проблема аберраций

Параллельно с практической разработкой новых оптических систем разрабатывалась теория телескопов. Выяснилось, что один из основных параметров телескопа – его разрешающая способность – пропорционален апертуре (диаметру объектива), что привело к необходимости создания все более крупных оптических элементов. Однако возможности первых рефракторов были ограничены рядом принципиальных недостатков. Оказалось, во-первых что невозможно получить идеально сфокусированное изображение бесконечно удаленной яркой точки (звезды) – в окуляре возникало размытое пятно. От качества обработки линз зависело лишь то, насколько размытым оказывалось это пятно (сферическая аберрация). Во-вторых, изображение белой звезды оказывалось окрашенным – окружалось радужным ореолом в сине-оранжевых тонах (хроматическая аберрация). Эти и целый ряд других неустраняемых искажений, связанных со свойствами прохождения света сквозь прозрачные линзовидные объекты, сильно портили наблюдаемую картину. Кроме того, качество стекла, из которого изготавливались в то время линзы, оставляло желать лучшего. Пузырьки воздуха, инородные включения в мутном стекле, низкое качество шлифовки и неумение точно задавать нужную кривизну поверхности линз приводили к появлению низкокачественных изображений. По свидетельствам очевидцев, вид звезды в телескоп середины XVII века напоминал размытое пятно с исходящими из него голубыми лучами.

Для исправления аберраций был предложен новый способ: вводить в телескоп дополнительные линзы. Множество линз в деревянных рамках прикреплялись к длинному шесту, образуя многолинзовый рефрактор. Однако, борясь с одним искажением, конструкторы телескопов неизбежно получали другие. Свет от удаленных небесных объектов, мно-

гократно входя в стекло и выходя из него в воздушную среду, испытывал на границах сред дополнительные искажения. Кроме того, было очень трудно обеспечить абсолютную соосность многих линз.

Поскольку при больших фокусных расстояниях телескопов аберрации уменьшаются, было начато применение непомерно длинных конструкций телескопов. Первый многолинзовый инструмент Кристиана Гюйгенса (середина XVII века) имел длину около 3.5 м, телескоп Яна Гевелия достигал в длину 49 м.

Для обеспечения длительных наблюдений телескоп должен оснащаться системой часового ведения. Появились конструкции, где телескоп поворачивался вручную с помощью сложной системы тросов и блоков, будучи закрепленным на специальной монтировке. В результате небольшой хорошо рассчитанный современный рефрактор с диаметром объектива порядка 100 мм дает значительно лучшее изображение по сравнению с тем, что можно было получить на гигантских телескопах 350 лет тому назад.

Наблюдения XVII–XVIII вв. дали много новой информации, касавшейся прежде всего сравнительно близких объектов (в пределах Солнечной системы). Рассматривались детали поверхностей планет. Гюйгенсу удалось на своем 12-футовом телескопе открыть первый спутник Сатурна (Титан) уже в 1655 г. Спустя несколько месяцев, в 1656 г., Гюйгенс обнаружил кольца Сатурна, которые так и не удалось разглядеть Галилею [4].

Для устранения аберраций с 1759 г. начали использовать сложные объективы, состоящие из двух линз, изготовленных из разных сортов стекла. Такая комбинация на 95 % могла устранить хроматическую аберрацию, и в значительной мере – сферическую аберрацию. Совершенствование технологий позволило создавать крупные рефракторы с высоким разрешением и неплохим качеством изображений. В качестве примера можно привести Большой пулковский рефрактор (1885 г., диаметр объектива 76 см, разрушен во время Великой Отечественной войны). В 1897 г. в Йерксе (близ Чикаго, США) установлен рефрактор с объективом диаметром 40 дюймов (103 см), изготовленным Альваном Кларком, который остается крупнейшим рефрактором в мире. Дальнейшее увеличение диаметра объектива привело бы к росту толщины линз и, как следствие, ухудшению качества изображения. К числу высококачественных объективов можно отнести оптику Большого солнечного вакуумного телескопа ИСЗФ СО РАН (диаметр объектива 76 см) [5].

В настоящее время в мире работают сотни рефракторов среднего класса с диаметром апертуры 180–400 мм. Современные оптические схемы с просветленной оптикой позволяют совмещать высокую разрешающую способность (порядка 1 угл. сек.) с высокой проникающей силой.

Фактор астроклимата

Эффективность телескопических исследований на первых этапах могла быть гораздо выше в случае учета астроклимата. Даже хорошее качество оптики телескопа может быть сведено на нет неудачным местом расположения инструмента, когда восходящие потоки теплого воздуха существенно портят изображение.

Устанавливать телескопы в отдельных, специально оборудованных для этого местах (обсерваториях), отличающихся большим количеством ясного неба, высокой прозрачностью атмосферы, отсутствием дрожания воздуха из-за турбулентных потоков воздуха, стали далеко не сразу. Расположение даже низкокачественных телескопов первой половины XVII века в подходящих с точки зрения астроклимата местах, а не просто удобных для наблюдателя точках (на крыше, во дворе или просто в комнате с открытым окном), позволило бы повысить эффективность телескопических исследований. Но, как известно, история не знает солагательного наклона.

В XX веке определены лучшие с точки зрения астроклимата пункты земной поверхности. Наилучшими считаются районы в горах Чили, где расположены многочисленные телескопы Европейской южной обсерватории (ESO) и других стран, остров Мауна-Кеа Гавайского архипелага. В континентальной части Азии хорошим астроклиматом отличаются горные области Средней Азии. Неплохими (но не наилучшими) параметрами астроклимата отличается Восточная Сибирь [6].

Рефлекторы

В 1671 г. Исаак Ньютон построил первый рефлектор с диаметром вогнутого зеркала всего 2.5 см. Технология изготовления вогнутых зеркал для рефлекторов оказалась, в целом, проще, чем создание линз для рефракторов: здесь надо было изготавливать лишь одну искривленную поверхность (для линз – две). При точном соблюдении заданной формы зеркала рефлектор практически освобождался от aberrаций на большей части поля зрения, что выгодно отличало его от рефрактора. Принципиальный недостаток рефлекторов (невозможность рассматривать объекты в центре поля зрения из-за экранирования вторичным зеркалом) был и остается не столь существенным. Кроме того, оптическая схема рефлектора позволяла делать трубу телескопа гораздо более короткой, чем у рефрактора, а также не сплошной (более легкой). На первых порах недостатком рефлекторов было отсутствие покрытий с высокой отражающей способностью. Дорогостоящее серебро быстро тускнело; использовавшиеся в XVIII веке сплавы меди с оловом отражали не больше 60 % падающего света, в результате изображение было тусклым, а разглядеть слабые объекты было почти невозможно. Высокоотражающие покрытия (прежде всего на основе алюминия) научились делать гораздо позднее. Однако рефлекторы стремительно прогрессировали.

Вильям Гершель начиная с 1775 г. построил серию рефлекторов с апертурами главных зеркал от 60 см, что обеспечивало довольно неплохое разрешение. В 1787–1789 гг. он соорудил крупнейший по тем временам рефлектор с диаметром металлического зеркала 122 см и длиной 12 м, во многом опередив свое время. В середине XIX века Уильям Парсонс (лорд Росс) построил рефлектор с диаметром главного зеркала 6 футов (182 см) и фокусным расстоянием 17 м, длительное время являвшийся крупнейшим в мире.

Следующими рекордсменами стали американские инструменты – 100-дюймовый (2.5 м) телескоп

обсерватории Маунт Вилсон (1917) и 200-дюймовый (508 см) телескоп обсерватории Маунт Паломар (1949), [2].

В 1975 г. первенство перешло к советскому рефлектору БТА (Большой телескоп азимутальный), построенному в Карачаево-Черкессии близ станции Зеленчукской на высоте 2000 м над уровнем моря. Телескоп был оснащен сплошным 600-сантиметровым зеркалом весом 42.7 тонны, изготовленным в Ленинградском оптико-механическом объединении. Купол башни этого инструмента до сих пор является крупнейшим в мире (рис. 2).

Развитие технологий в конце XX века позволило обеспечить прорыв в деле создания новых крупных телескопов. На деньги, выделенные американским миллиардером Вильямом Кеком, в США на вершине Мауна-Кеа Гавайского архипелага (высота 4150 м) были построены два идентичных рефлектора с действующим диаметром зеркал 982 см на расстоянии 85 м друг от друга. Параболоидальные зеркала составные: они состоят из 36 тонких гексагональных элементов по 1.8 м каждый.

Технология изготовления составных зеркал была позже применена для крупных телескопов Хобби-Эббл (США) и SALT (Южно-Африканского большого телескопа), выполненных по идентичным проектам. Сферические зеркала этих инструментов с габаритами 10×11 м имеют эффективный размер действующей части зеркала 9.2 м, несколько уступающая телескопам Кека. Зеркала построены из 91 сегмента размерами 1 м. Aberrации в этой схеме снимаются с помощью сложного четырехзеркального оптического корректора.

Самым крупным на сегодняшний день инструментом является Большой Канарский телескоп (Gran Telescopio Canarias, рис. 3) с диаметром главного зеркала 10.4 м и эффективной апертурой 10 м.



Рис. 2. Башня БТА (Большого телескопа азимутального), крупнейшего российского рефлектора.



Рис. 3. Строительство башни Большого Канарского телескопа – крупнейшего в мире рефлектора на момент

2009 г.

Зеркало составлено из 36 гексагональных элементов размерами 1.9 м каждый. При изготовлении использовались технологии, примененные при сооружении телескопов Кека [7].

Динамика увеличения апертуры рефлекторов со временем показана на рис. 4. За 330 лет диаметр главного зеркала вырос в 4000 раз, и на этом процесс не закончился. Европейская южная обсерватория (ESO) разрабатывает и широко пропагандирует проект EELT (Европейский экстремально большой телескоп) с диаметром главного зеркала 42 м. Главное зеркало, построенное из 906 элементов, по 1.45 м каждый, должно отражать свет на 6-метровое вторичное, размещенное на высоте 60 м. Следует обратить внимание, что габариты вторичного зеркала будущего суперинструмента равны размерам главного зеркала крупнейшего российского телескопа БТА. Окончательная конструкция EELT продолжает корректироваться (рис. 5). Что касается сроков его изготовления и ввода в строй, то этот вопрос пока остается открытым. К сожалению, есть основания полагать, что мировой финансовый кризис, начавшийся в 2008 г., приведет к дополнительным затруднениям при реализации этого проекта. Тем не менее, ожидается, что к концу первой четверти XXI века новый инструмент начнет успешно работать. Заметим, что у ESO существуют и более амбициозные планы, связанные с разработкой Ошеломляюще большого телескопа (OWL) на основе 100-метрового составного главного зеркала.

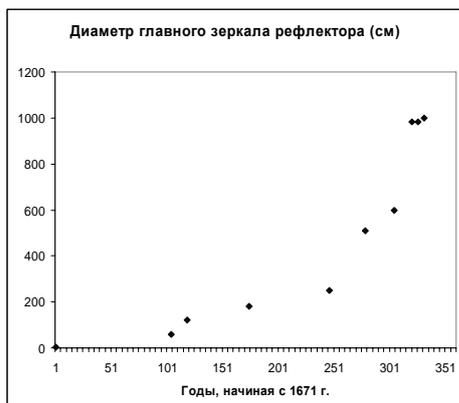


Рис. 4. Рост габаритов зеркал рекордных (крупнейших в мире) телескопов-рефлекторов начиная с 1671 г. 1 – первый телескоп Ньютона (1671); 2 – телескоп Гершеля (1775); 3 – телескоп Гершеля (1789); 4 – телескоп лорда Росса (1842); 5 – телескоп обсерватории Маунт Вилсон (1917); 6 – телескоп имени Хэйла обсерватории Маунт Паломар (1949); 7 – БТА, Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР (1975); 8 – телескопы имени Кека, Мауна-Кеа (1991 и 1996), 9 – Большой Канарский телескоп (2002).



Рис. 5. Перспективный вариант проекта EELT (Евро-

пейский экстремально большой телескоп), ESO.

Всего на сегодняшний день в мире работает более полусотни крупных рефлекторов с апертурами начиная с 2.3 м. Перечень крупнейших телескопов с диаметрами главных зеркал от 6 м представлен в таблице. Россия в этом ряду выглядит более чем скромно: на сегодняшний день страна располагает телескопом БТА (6 м), российско-украинским телескопом Цейсса (2 м, обсерватория Терскол ИНАСАН), а также инфракрасным телескопом ИК-33 (1.7 м, Саянская обсерватория ИСЗФ СО РАН). Последний телескоп находится на стадии оснащения приемной аппаратурой. В ближайшие годы Россия получит новый рефлектор ГАИШ МГУ, который возводится вблизи Кисловодска (2.5 м), и широкопольный рефлектор (1.7 м), который сооружается в Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН. На стадии рассмотрения находится проект создания солнечного телескопа с 3-метровым зеркалом, предложенный в ИСЗФ СО РАН (рис. 6). В список не входят ведомственные установки, принадлежащие Вооруженным Силам РФ.

Современные технологии в телескопах

Недостатком крупных телескопов является их подверженность влиянию изменений и градиентов температуры из-за ненулевого коэффициента теплового расширения материалов, из которых изготавливаются зеркала. Ситалл и его зарубежные аналоги, из которого создается современная астрономическая оптика, обладают на порядок меньшим коэффициентом теплового расширения по сравнению с плавленым кварцем, широко использовавшимся в прошлом.

Новым техническим решением является применение мозаичных и тонких зеркал. Это существенно облегчает конструкцию, позволяет проектировать гигантские составные зеркала с большими апертурами и ускоряет их температурную адаптацию к окружающему воздуху. Понятно, что обеспечение микронных допусков при соблюдении формы крупного составного зеркала, собранного из отдельных элементов, стало возможным только в наше время с применением лазерных технологий. Точность изготовления поверхностей отдельных элементов также существенно увеличилась в последние десятилетия, достигая значения не более $\lambda / 80$, где $\lambda = 0.6328$ мкм – длина волны излучения гелий-неонового лазера [7]. В масштабе озера Байкал это соответствует отклонениям от ровной поверхности порядка 1 мм.

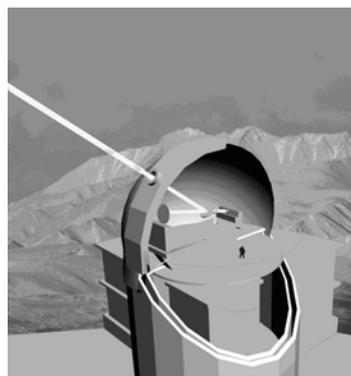


Рис. 6. Перспективный вариант проекта солнечного теле-

скопа-коронोगрафа, инициированного в ИСЗФ СО РАН.

Таблица

Крупнейшие телескопы-рефлекторы				
	Название телескопа	Диаметр действующей апертуры, м	Географическое положение, принадлежность	Начало наблюдений, годы
1	Gran Telescopio Canarias (GTC)	10.0	Остров Ла-Пальма, Испания	2002
2	W.M.Keck Telescopes	9.82×2	Мауна Кеа, Гавайи, США	1991, 1996
3	Hobby-Eberly Telescope (HET)	9.2	Техас, США	1997
4	Southern-African Large Telescope (SALT)	9.1	Сазерлэнд, ЮАР	2003
5	Large Binocular Telescope (LBT)	8.4×2	Аризона, США	2004
6	Very Large Telescope (VLT)	8.2×4	Чили, собственность ESO	1998–2001
7	Subaru Telescope	8.2	Мауна Кеа, Гавайи, Япония	1999
8	Gemini North Telescope (GNT)	8.1	Мауна Кеа, Гавайи, США	2000
9	Gemini South Telescope (GST)	8.1	Чили, собственность США	2001
10	Multi-Mirror Telescope (MMT)	6.5	Аризона, США	2000
11	Magellan Telescope	6.5×2	Чили, собственность США	2002
12	Large Zenith Telescope (LZT)	6.0	Мэйпл Ридж, Канада	2001
13	Большой телескоп азимутальный (БТА)	6.0	Кавказ, РФ	1975

Чрезвычайно важным и необходимым для всех крупных современных телескопов является использование так называемой адаптивной оптики. Даже находясь в оптимальных с точки зрения астроклимата пунктах, невозможно устранить влияние искажающего воздействия неоднородной воздушной среды, постоянно меняющей свои оптические свойства. Для учета этих искажений в телескопах используются низкоинерционные деформируемые оптические элементы, которые с высокой частотой меняют свои свойства, подстраиваясь под искажения волнового фронта по определенному алгоритму, нацеленному на минимизацию атмосферных искажений изображения. Эффективные системы адаптивной оптики способны увеличить разрешающую способность телескопов до 0.1 угл. сек. Такие показатели еще несколько десятилетий назад считались недостижимыми. В отдельных случаях применение адаптивной оптики и современных методов обработки изображений улучшают разрешающую способность до 0.05 угл. сек.

Дальнейшее продвижение по пути увеличения разрешающей способности телескопов ожидается в результате создания эффективных оптических интерферометров. Смысл технологии заключается в построении интерферометрической картины от двух и более синхронно работающих телескопов. Теоретически можно добиться разрешающей способности системы, эквивалентной разрешению одиночного телескопа с диаметром зеркала, равным расстоянию между зеркалами интерферометра. Именно для этого рядом построены два одинаковых телескопа Кека (теоретический эквивалент соответствующего интерферометра – зеркало с диаметром около 80 м) и четыре телескопа комплекса VLT (эквивалент 200-метрового зеркала) (рис. 7). На практике получение интерференционных изображений высокого разрешения сталкивается с рядом принципиальных трудностей, которые преодолеваются медленно. В результате интерферометры на базе двойных телескопов Кека и счетверенных телескопов комплекса VLT пока не работают в запланированном режиме, здесь ведутся экспериментальные работы с перемещаемыми макетами телескопов с диаметрами 1.8 м.

Тем не менее, на интерферометре VLTI на базе комплекса VLT уже были получены изображения с разрешающей способностью порядка 0.001 угл. сек. На пути создания надежно работающих оптических интерферометров с использованием крупных действующих рефлекторов предстоит еще многое сделать.

Телескопы космического базирования

Выведение телескопов за пределы земной атмосферы позволяет добиться получения условий идеального астроклимата и возможности наблюдать на всех длинах волн, в том числе тех, которые не проникают сквозь земную атмосферу. В последние десятилетия XX века и в первые годы XXI века на околоземную орбиту были выведены несколько десятков телескопов разного класса апертуры, которые работали и работают во всем диапазоне спектра электромагнитного излучения – от гамма-излучения до радиоволн. Одним из наиболее эффективных инструментов оказался космический телескоп имени Хаббла (KTH), успешно функционирующий с 1990 г. (рис. 8).



Рис. 7. Комплекс Очень большого телескопа (Very Large Telescope, VLT) на горе Паранал в Чили включает в себя 4 рефлектора с диаметрами главных зеркал 8.2 м. Снимок ESO.



Рис. 8. Космический телескоп Хаббла на околоземной орбите. Снимок NASA.

Несмотря на «скромный» по наземным меркам диаметр главного зеркала КТХ (2.4 м), отсутствие искажающих факторов, связанных с атмосферой, позволило получить огромное количество высококачественных снимков, обеспечивших существенный прогресс в наших представлениях о небесных телах и их системах. Очередной прорыв в астрономии ожидается в результате ввода в строй нового внеатмосферного инструмента, который должен заменить КТХ, – космического телескопа имени Дж. Уэбба с диаметром зеркала 6.5 м (!), который готовится к запуску ориентировочно в 2013 г. (рис. 9). По существующим оценкам, новый суперинструмент будет эквивалентен наземному телескопу с апертурой в 20–25 м.

Космические зонды

Современные возможности космонавтики привели к тому, что такой раздел астрономии, как планетология, в настоящее время развивается преимущественно на основе информации, получаемой с близкого расстояния с помощью межпланетных автоматических станций, оснащенных, в частности, небольшими телескопами. В результате изучение планет с помощью наземных (и даже космических) телескопов отошло на второй план. В качестве примеров возможностей межпланетных зондов можно указать высококачественные снимки поверхности Марса и Луны с разрешением в несколько десятков сантиметров и гигабайтными объемами, которые в настоящее время получаются с помощью аппаратов MRO (искусственный спутник Марса) и LRO (искусственный спутник Луны).

Революции в астрономии

Первая революция в астрономии была связана с началом телескопических исследований 400 лет назад, когда новая техника смогла дать принципиально новую информацию о небесных телах. Вторая революция произошла в XIX веке, что связано с началом применения в астрономии фотографии, а также развитием спектрального анализа и на его основе новой отрасли астрономии – астрофизики. Третья революция произошла в середине XX века в связи с началом космических полетов, становлением радиоастрономии и развитием всеволновой астрономии. По-видимому, можно утверждать, что в связи с экспоненциальным ростом параметров научно-технического прогресса, третья революция в астрономии стала перманентной (термин Л.Д. Троицкого, примененный по другому

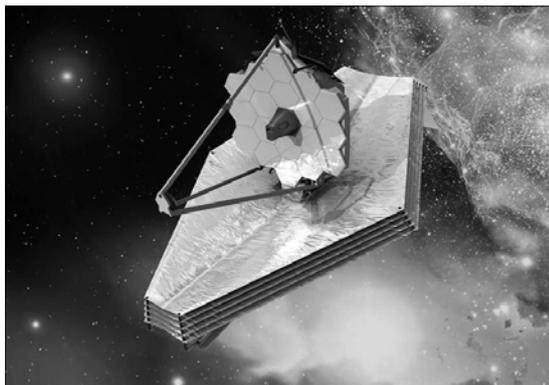


Рис. 9. Проект JWST (Космический телескоп имени Дж. Уэбба), NASA.

поводу). Постоянное появление новых технологий приводит к постоянному же быстрому (революционному, но непрерывному) прогрессу возможностей астрономии. В качестве примера можно привести появление и улучшение параметров ПЗС-приемников изображений, заменивших фотопластинки, адаптивных оптические системы, на порядок улучшающих эффективное пространственное разрешение телескопов, развитие оптической интерферометрии, а также современные цифровые методы обработки изображений и численные методы решения сложных астрофизических задач. Есть основания полагать, что развитие технических возможностей древнейшей науки астрономии уже в середине текущего столетия обеспечит основу для новых революционных открытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абалакин В.К., Левитан Е.П. Международный год астрономии (МГА-2009) // Земля и Вселенная. 2009. № 1. С. 13–17.
2. Еремеева А.И., Цицин Ф.А. История астрономии (основные этапы развития астрономической картины мира). М.: Изд.-во МГУ, 1989. 349 с.
3. Язев С.А. Родная звезда. Повесть о Солнце. Новосибирск: Изд.-во СО РАН, 2009. 227 с.
4. Язев С.А. Загадки красного соседа, или Марсианские хроники-2. Новосибирск: Изд.-во СО РАН, 2005. 227 с.
5. Домышев Г.Г., Клевцов Ю.А., Скоморовский В.И., Ган М.А., Устинов С.И. Изготовление и исследование объектива Большого солнечного вакуумного телескопа (БСВТ) // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. М.: Наука, 1982. Вып. 60. С. 212–231.
6. Дарчия Ш.П., Есиков Н.П., Кузнецова Л.Х. и др. Каталог астроклиматических характеристик за 1954–1961 года. Иркутск: Изд.-во СО АН СССР, 1967. Вып. 2. 318 с.
7. Теребиж В.Ю. Современные оптические телескопы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 80 с.

*Астрономическая обсерватория ИГУ, Иркутск
Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск*

