



Внеатмосферная астрономия оптического диапазона

к.ф.-м.н. Владимир Георгиевич Сурдин

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

Оптические свойства нашей атмосферы ограничивают возможности наземной астрономии. Вынос телескопов за пределы атмосферы позволил не только значительно расширить спектральный диапазон наблюдений, но и добиться больших успехов при измерениях в оптическом диапазоне. Отчасти это стимулировало создание адаптивных оптических систем для наземных телескопов. Но их возможности остаются ограниченными и не выдерживают конкуренции с космическими телескопами.

Внеатмосферная астрономия использует приборы, вынесенные за пределы земной атмосферы с помощью высотных баллонов, геофизических ракет, искусственных спутников Земли и межпланетных зондов. Как правило, научная аппаратура устанавливается на автоматических беспилотных аппаратах, хотя изредка используются и пилотируемые станции.

Вынос телескопа в космос позволяет измерять угловые координаты звезд с точностью в сотые доли угловой миллисекунды и даже лучше! Например, космическая обсерватория Gaia (ESA), имеющая на борту два телескопа с объективами $1,45 \times 0,5$ м, позволяет определять координаты относительно ярких звезд с ошибкой не более 7 микросекунд дуги (мкс), звезд 15^m с ошибкой не более 30 мкс, и точность снижается до нескольких сотен мкс для звезд 20^m . Значительное превышение точности по сравнению с дифракционным пределом ($0,1''$) достигается многократным измерением фотоцентра изображения звезды при его прохождении по массиву ПЗС-матриц.

Ещё больше преимуществ имеет внеатмосферная инфракрасная и субмиллиметровая астрономия. Особый интерес представляет изучение планет и экзопланет, сильно запыленных областей формирования звезд, а также объектов на больших космологических красных смещениях. Возможности наземных наблюдений в этих диапазонах тоже расширяются, но всегда останутся ограниченными по сравнению с внеатмосферными.

В лекции дается обзор внеатмосферных обсерваторий в УФ-, видимом и ИК-диапазонах. Особое внимание уделено новому космическому телескопу «Джеймс Вебб» (James Webb Space Telescope, NASA/ESA/CSA), который стал лидером внеатмосферной астрономии. Он выведен на орбиту 25 декабря 2021 г. ракетой «Ариан-5» с космодрома Куру (Французская Гвиана). Его объективом служит составное зеркало диаметром 6,5 м, состоящее из 18 шестиугольных сегментов. Поскольку целиком такое зеркало не умещалось под обтекателем

ракеты, оно состоит из трех частей: центральной из 12 сегментов и двух отворачивающихся боковых по 3 сегмента каждая.

Спектральная чувствительность приборов JWST в совокупности охватывает диапазон от 600 до 28 500 нм, то есть простирается от видимого красного до среднего ИК. В области от 600 до 2500 нм диапазоны JWST и космического телескопа «Хаббл» перекрываются, что полезно для сопоставления их данных. Постоянным местом работы JWST служит гало-орбита вокруг точки Лагранжа L_2 системы Солнце – Земля, расположенная на расстоянии 1,5 млн. км от Земли. Это позволяет избежать тепловых потоков от Земли и Луны, создает условия для стабильной радиосвязи с Землей и гарантирует постоянный поток солнечного света для питания аппаратуры телескопа.

Обращенная к Солнцу «теплая» сторона JWST (рис. 1), содержащая двигатели, системы управления и связи, отделена раздвижным многослойным экраном размером $21,2 \times 14,2$ м от «холодной» стороны (рис. 2), на которой расположено зеркало и камеры. На холодной стороне защитного экрана поддерживается температура менее 50 К, а некоторые камеры охлаждаются ещё сильнее; например, камера MIRI до температуры ниже 6 К, которую обеспечивает механический холодильник газообразного гелия, расположенный на теплой стороне экрана. В течение первых месяцев после запуска аппаратура остывала и тестировалась; первые снимки были продемонстрированы публике 11 июля 2022 г.

Телескоп JWST можно считать техническим шедевром. Его полная масса 6,2 т. Для сравнения: масса наземного телескопа БТА с объективом диаметром 6 м около 850 т. Даже космический телескоп «Хаббл» весит 11 т, хотя имеет объектив диаметром всего 2,4 м. При этом на JWST применяется система активной оптики: положением каждого из 18 сегментов его главного зеркала можно управлять отдельно. Это оказалось чрезвычайно полезно, когда от удара космической пылинки один из сегментов сдвинулся, и его легко удалось поставить на место и отъюстировать оптическую систему.

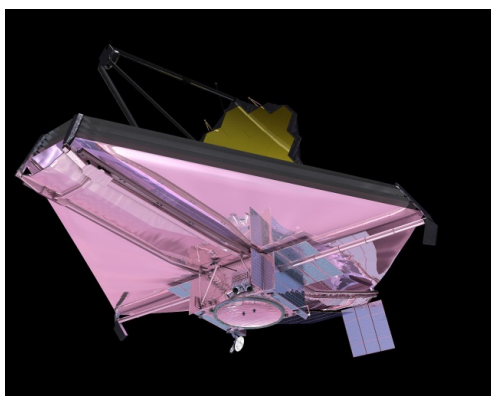


Рис. 1. «Теплая» сторона JWST

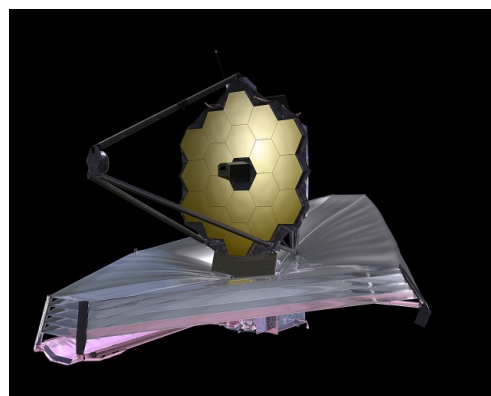


Рис. 2. «Холодная» сторона JWST

Выбор спектрального диапазона для JWST был продиктован двумя основными задачами: заглянуть на предельно большие расстояния, где космологическое красное смещение превышает $z = 10$, и увидеть области формирования звезд и планет, скрытые за облаками пыли. Первые два года наблюдений показали, что прибор отлично справляется с этими задачами, попутно решая и многие другие, например, исследуя атмосферы планет и экзопланет.

Телескоп JWST имеет 4 прибора, которые работают в 17 режимах.

1) Камера ближнего инфракрасного диапазона (NIRCam). Поле зрения $2,2 \times 2,2$ угловые минуты, то есть практически такое же, как у телескопа «Хаббл» ($2,4 \times 2,4$ угл. мин). NIRCam делает снимки в диапазоне от видимого красного до ближнего ИК (0,6 – 5,0 мкм). Её основные цели – галактики, области звездообразования, планеты. Режимы работы: а) широкопольная бесщелевая спектроскопия, например, для изучения квазаров; б) коронограф, блокирующий звездный свет для изучения экзопланет; в) режим «киносъёмки», в том числе, с гризмой для получения спектров атмосфер транзитных экзопланет.

2) Спектрограф ближнего инфракрасного диапазона (NIRSpec) для многообъектной спектроскопии. Хотя бесщелевая спектроскопия позволяет получать спектры всех объектов в поле зрения, при этом часто спектры нескольких объектов накладываются друг на друга, а фоновый свет снижает чувствительность. У NIRSpec есть микрозатворное устройство с четвертью миллиона крошечных управляемых затворов. Открытие затвора там, где есть интересный объект, и закрытие затвора там, где его нет, позволяет получить чистые спектры до 100 источников одновременно.

NIRSpec пригоден для спектроскопии интегрального поля. Он регистрирует спектр для каждого пикселя на небольшой площади, всего для 900 пространственных элементов. Этот режим дает наиболее полные данные об отдельной цели. Пример: далекая галактика, усиленная, изображение которой усилено и искажено гравитационной линзой.

3) Прибор среднего ИК диапазона (MIRI). Спектральный диапазон 5 – 29 мкм. Прямые снимки запылённых областей, спектроскопия низкого и среднего разрешения (молекулы). Коронограф: прямые снимки и в поляризованном свете (пылевые диски и экзопланеты).

4) Апертурно-маскирующая интерферометрия (NIRISS). Есть маска для блокировки света от 11 из 18 сегментов главного зеркала. Это даёт контрастное изображение, при котором рядом с яркими источниками можно увидеть слабые. Возможно получение прямых изображений в ближнем ИК (0,8 – 5 мкм) и бесщелевая спектроскопия одного объекта.

Первые два года работы телескопа JWST принесли множество интересных данных и даже сенсационных открытий, особенно в области космологии и изучения экзопланет.