

ТЕПЛОВАЯ КАРТИНА ВСЕЛЕННОЙ

На смену «Большим обсерваториям» NASA в ближайшем будущем придет очень большая. В 2013 году планируется вывести на орбиту телескоп «Джеймс Уэбб» с 6,5-метровым зеркалом

Космический телескоп «Джеймс Уэбб» (JWST) должен стать первым внеземным астрономическим инструментом с зеркалом, размер которого лишь немногим уступит апертуре рефлекторов крупнейших наземных телескопов. Двойной телескоп «Кек» гавайской обсер-

АСТРОНОМИЯ

ватории имеет диаметр 10 м, телескоп «Хобби-Эберли» тexasской обсерватории Макдоналда – 9,2 м, телескоп «Субару» Национальной астрономической

обсерватории Японии – 8,3 м, четверка самых мощных телескопов Южной европейской обсерватории, установленная на вершине горы Серро Параналь на севере Чили, – 8,2 м, идентичные Северный (Гавайи) и Южный (Чили) телескопы международной обсерватории «Джемини» – 8,1 м, а диаметр зеркала JWST составляет 6,5 м. «Хаббл» по сравнению с ним – просто карлик: диаметр его главного зеркала всего лишь 2,4 м.

Однако основное различие между «Хабблом» и JWST – вовсе не

в размере. Приборы «Хаббла» собирают информацию в инфракрасных лучах, в видимом свете и в ультрафиолете, а «Уэбб» будет работать лишь в инфракрасном диапазоне. Поэтому правильнее считать его преемником «Спитцера», крупнейшей в мире инфракрасной обсерватории космического базирования, которая вот уже 2,5 года трудится в космосе во славу науки. Решение NASA отправить в космос гигантский инфракрасный телескоп свидетельствует о явном росте

престижа инфракрасной астрономии, которая до сих пор не могла похвалиться столь масштабными внеземными аппаратами.

Ниже красного

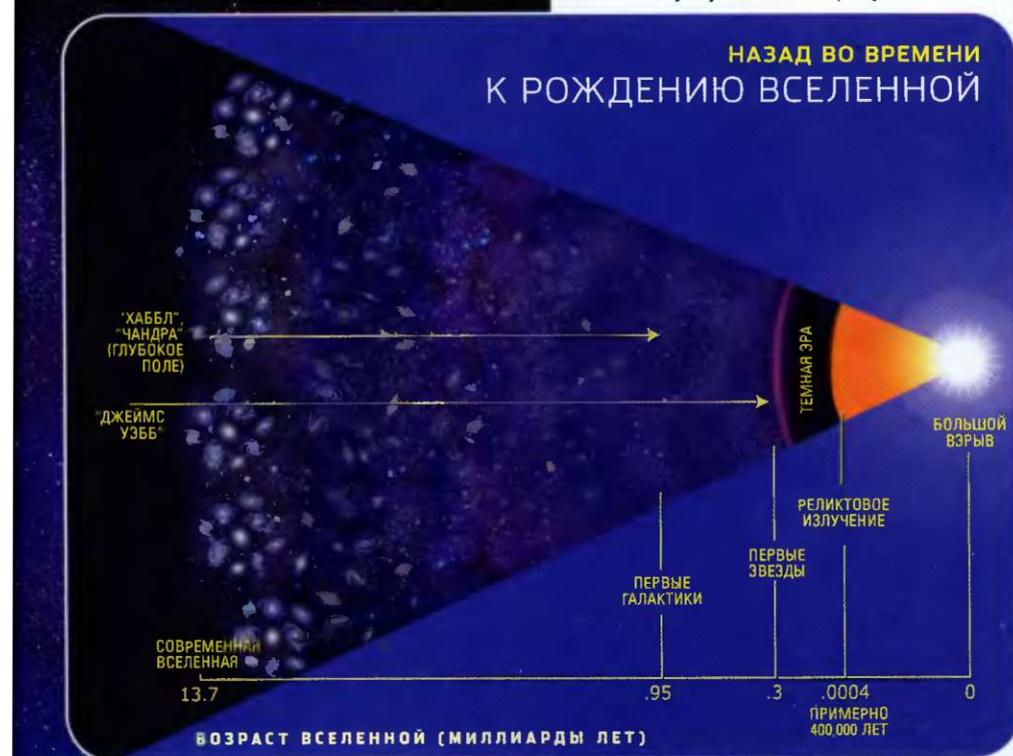
Хотя открытие инфракрасного излучения обычно относят на счет физики, совершил его один из самых знаменитых звездочетов. В 1800 году первооткрыватель планеты Уран и признанный отец звездной астрономии сэр Уильям Гершель заметил, что солнечный свет, пройдя через цветной фильтр, меняет свою нагревающую способность. Он разложил солнечные лучи в спектр с помощью стеклянной призмы и поместил в каждую цветовую зону одинаковые термометры. Столбик термометра, освещенного красными лучами, поднялся выше остальных, а самым низким оказалось показание термометра, освещенного фиолетовым светом. Для контроля Гершель поставил градусники и по обе стороны границ видимого светового поля. К его изумлению, максимально нагрелся термометр в темной зоне вблизи красного участка. Гершель понял, что обнаружил невидимые глазу лучи, и вскоре установил,

что они отражаются и преломляются подобно видимому свету. Он назвал это излучение калорифическим, то есть тепловым; позднее его переименовали в инфракрасное (infra по латыни означает «ниже»).

Основателем ИК-астрономии считается британский ученый Чарльз Пиацци Смит, который в 1856 году с помощью термопары зарегистрировал тепловое излучение Луны. Он также впервые заметил, что земная атмосфера не пропускает некоторые частоты ИК-диапазона. В 1878 году американский астроном и физик Сэмюел Лэнгли изобрел болометр – тепловой детектор, воспринимающий изменения электрического сопротивления термочувствительного элемента, на который падает излучение. Болометр Лэнгли различал перепады температур около сотысячной доли градуса и поэтому быстро нашел применение в науке о небесных явлениях. С его помощью астрономы измерили тепловое излучение Солнца, Юпитера и Сатурна, а затем и самых ярких звезд – Веги и Арктура. Впрочем, термоэлектрические сенсоры тоже не остались без дела. В 1915 году сотрудник американского Национального бюро стандартов Уильям Коблентц настолько повысил их чувствительность, что смог детектировать ИК-излучение более чем сотни светил нашей Галактики. Позднее он заложил основы ИК-спектроскопии, которая со временем превратилась в мощнейшее оружие астрономии. И наконец, в 1920-е годы американские астрономы, прежде всего Сет Николсон и Эддисон Петтит, приступили к первому систематическому инфракрасному мониторингу ночного неба.

Потомки ракет

И все же достижения ИК-астрономии в начале ее первого века были весьма скромны. Основная причина этого – атмосферные помехи. Азот и кислород всего лишь рассеивают инфракрасное излучение, причем слабее, нежели видимый свет. А вот углекислый газ, озон и в особенности пары



воды его еще и поглощают, причем весьма активно. В ближней ИК-области есть три атмосферных "окна", которые прозрачны для волн с длинами 1,2, 1,6 и 2,2 мкм, поэтому в этом диапазоне можно без особых проблем вести астрономические наблюдения с поверхности Земли. "Окна" имеются и в средней ИК-зоне (например, 5 и 10 мкм), но "открываются" они лишь в разреженном сухом воздухе. Неслучайно мировыми центрами ИК-астрономии стали высокогорная гавайская обсерватория Мауна Кеа и расположенная на 2800-метровой отметке обсерватория Маунт Леммон в Аризоне. Дальний ИК-диапазон для наземных наблюдений вообще недоступен: для него остаются лишь стратосфера и космос.

Прогресс ИК-астрономии долго сдерживался и отсутствием эффективных детекторов излучения. Обычные болометры и термопары хороши для грубых измерений, но для регистрации сверхслабого тепла далеких звезд и туманностей они недостаточно чувствительны. К тому же они не обладают спектральной селективностью (их показания зависят от дозы поглощенной тепловой энергии излуче-

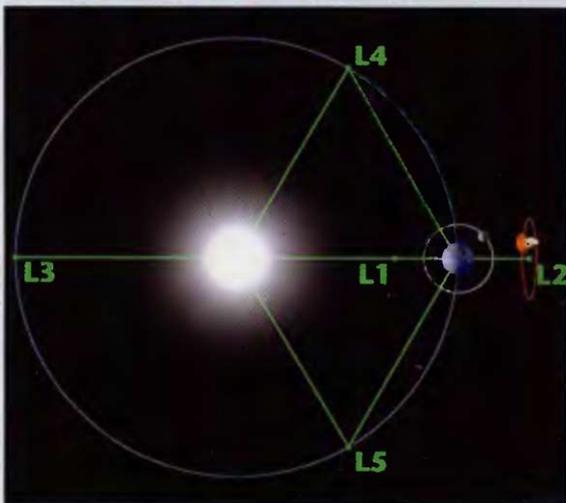
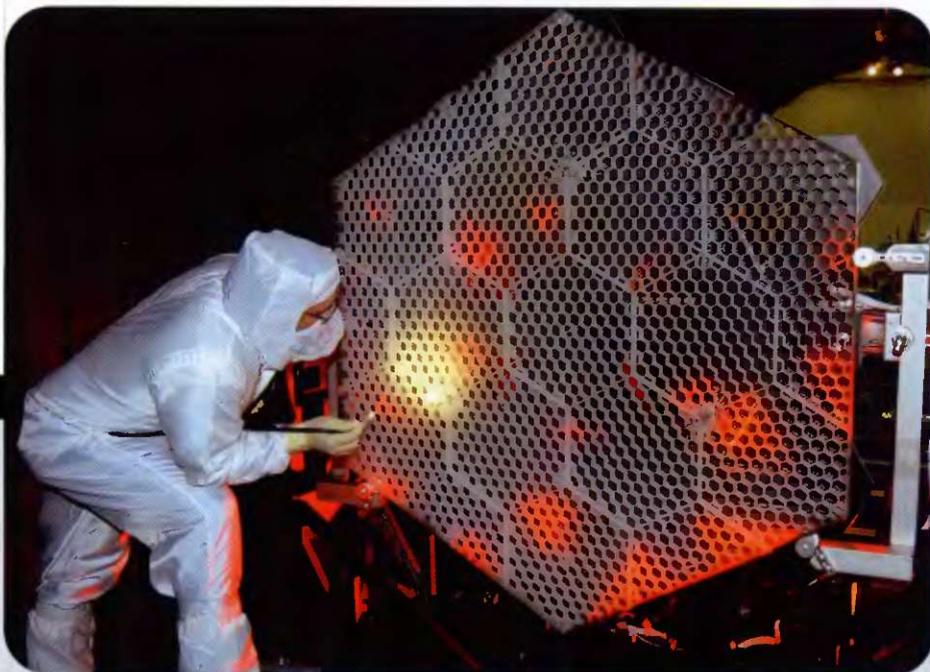
ния, но не от его спектра). Правда, уже в 1980-е годы появились фотоэмульсии, допускающие съемку в ИК-лучах, но только с длиной волны не менее 1,2 мкм (около верхней границы диапазона).

Как это нередко бывает, астрономам помогли военные. После Второй мировой войны появились полупроводниковые детекторы ИК-излучений, в основе которых лежал эффект фотопроводимости кристаллов сульфида свинца PbS. Ими оснащали боеголовки американских ракет "воздух-воздух" с тепловым наведением, испытания которых начались в 1953 году. А уже к середине 1950-х эти приборы стали доступны астрономам, которые для повышения чувствительности

охлаждали их жидким азотом. Но подлинная революция в этой области свершилась в 1961 году, когда профессор астрономии Аризонского университета Фрэнк Лоу изобрел высокочувствительный полупроводниковый болометр, регистрирующий дальней ИК-излучение на всех длинах волн. Этот прибор может работать лишь при глубоком охлаждении жидким водородом (а еще лучше – гелием). Новым детектором начали оснащать наземные телескопы, а с середины 1960-х – инструменты, установленные на стратостатах и геофизических ракетах. Позднее появились спектрально-селективные фотоэлектрические приемники ИК-излучения на основе антимида индия и силицида плати-

ТОЧКИ РАВНОВЕСИЯ

Великий французский математик и механик XVIII века Жозеф Луи Лагранж доказал, что в общем случае вращения двух тел разной массы вокруг третьего, значительно более массивного, в плоскости орбиты имеются пять мини-областей (в идеале точек), при попадании в которые наименее массивное тело сможет все время занимать одну и ту же позицию относительно двух остальных. Первые три точки Лагранжа лежат на линии, соединяющей Солнце и Землю, а четвертая и пятая – в вершинах равностороннего треугольника, основанием которого служит радиус земной орбиты. Две точки Лагранжа устойчивы – попадание в L4 и L5 обеспечивает сохранение всей конфигурации на веки вечные. Остальные три точки неустойчивы – тело, выведенное в любую из них, со временем непременно ее покинет, если не будет корректировать траекторию с помощью двигателей.



Точки Лагранжа используются космическими агентствами – вокруг L1 курсирует американско-европейская солнечная обсерватория SOHO, а в точку L2 в 2001 году запущена обсерватория WMAP, Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, которая изучает реликтовое микроволновое излучение и нуждается в защите от излучения Солнца земной тенью. В окрестности этой же точки по той же самой причине будет выведен и "Джеймс Уэбб".

ны на кремниевой подложке. И уже в 1980-е годы были созданы матричные ИК-детекторы, состоящие из тысяч фоточувствительных ячеек, информация с которых обрабатывалась микропроцессорами.

Второе рождение

Новая детектирующая аппаратура и высотные платформы для ее размещения привели к быстрому прогрессу ИК-астрономии, который длится уже четыре десятилетия. Во второй половине 1960-х Роберт Лейтон и Джерри Нейгебауэр провели первый деталь-

портного самолета С-141А. Участники этого проекта совершили немало открытий, в частности обнаружили кольца у Урана и водяные пары в атмосферах Юпитера и Сатурна, а также получили информацию о синтезе тяжелых ядер во время взрыва сверхновой 1987А. Вскоре на смену ей придет SOFIA, американско-германская аэрообсерватория с 270-см ИК-телескопом, которая начнет регулярные наблюдения уже в нынешнем году.

Телескоп “Джеймс Уэбб” задуман прежде всего для поиска самых отдаленных и самых древних объектов Вселенной



СОСТАВНОЕ ЗЕРКАЛО Модель орбитального телескопа “Джеймс Уэбб”, демонстрирующая сегментное зеркало – главную оптическую деталь инструмента. Изготовителем оптической системы, скорее всего, станет компания Ball Aerospace

ный мониторинг большей части северного небосвода в ближнем ИК-диапазоне и выявили более 20 000 источников. В 1967–1975 годах американские астрономы в рамках проекта *Ni Star* обследовали космос в средней ИК-области с помощью телескопов, размещенных на высотных ракетах. В конце 1974 года приступила к двадцатилетней вахте летающая обсерватория “Койпер” – 36-дюймовый инфракрасный телескоп, размещенный на борту переоборудованного военно-транс-

Внеземная ИК-астрономия довольно молода, ее возраст отсчитывается от 23 января 1986 года. В этот день ракета-носитель *Delta* доставила на 900-километровую орбиту спутник *IRAS* (*Infrared Astronomical Satellite*), результат сотрудничества США, Нидерландов и Великобритании. С его помощью удалось открыть несколько комет и астероидов и обследовать небосвод на четырех частотах среднего и дальнего ИК-диапазона – 12, 25, 60 и 100 мкм. Этот мониторинг позво-

ОТЕЦ ЛУННОЙ ПРОГРАММЫ

Джеймс Эдвин Уэбб (1906–1992) в начале 1940-х дослужился до вице-президента корпорации *Sperri*,



ведущего мирового производителя гироскопов. В молодости и во время Второй мировой войны служил в морской пехоте, потом занимал высокие должности в администрации Трумэна, а затем ушел в нефтяной бизнес. В начале 1961 года Джон Кеннеди предложил Уэббу перебраться в Вашингтон и возглавить *NASA*. На этом посту Уэбб проработал семь с половиной лет, став признанным отцом программы “Аполло”, завершившейся высадкой человека на Луну.

лил выявить около трехсот тысяч ранее неизвестных источников инфракрасного излучения, открыть ранее неизвестный класс очень старых “холодных” галактик и убедительно подтвердить существование балджа – “вздутия” в центре нашей Галактики.

Станция *IRAS* проработала лишь десять месяцев, на большее не хватило запасов жидкого гелия, понижающего температуру ее 60-сантиметрового телескопа до 3° Кельвина. Любопытно, что это был первый удачный экс-

МЕСТО В СПЕКТРЕ

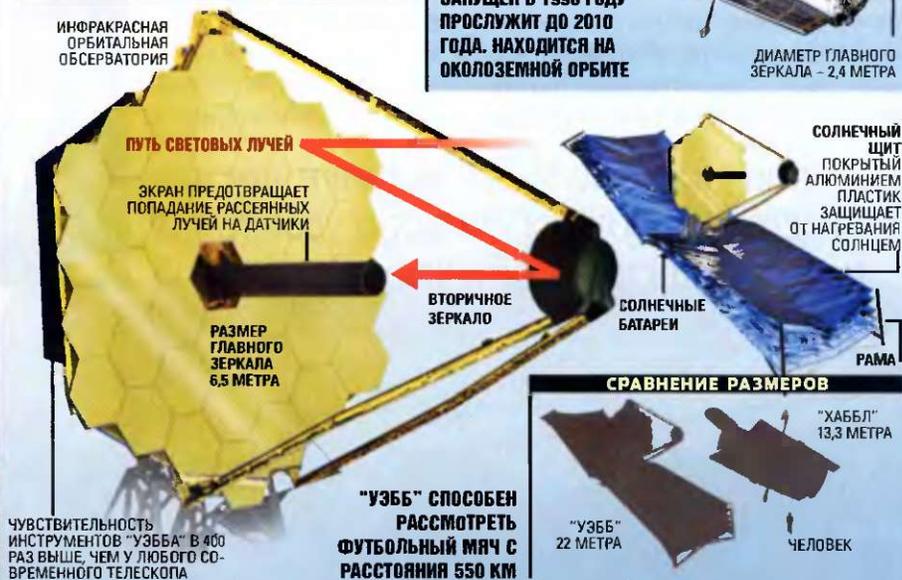
К инфракрасным относятся электромагнитные волны, длина которых укладывается в интервал от 0,74 мкм (предел восприятия человеческого глаза) до 2 мм. ИК-диапазон обычно подразделяют на ближнюю (0,74–2,5 мкм), среднюю (2,5–50 мкм) и дальнюю (50 мкм – 2 мм) зоны (впрочем, существуют и другие градации). Спектры ИК-излучения, как и спектры видимого света, могут быть линейчатыми (излучение возбужденных атомов и ионов), полосатыми (молекулярное излучение) и непрерывными (тепловое излучение твердых тел и жидкостей).



“Хаббл” стал первой из “Больших обсерваторий” NASA. И хотя ученые рассчитывали, что он после ряда ремонтов проработает еще немного, срок его службы близится к завершению. В следующем десятилетии на смену ему придет гораздо более мощный инструмент – инфракрасный телескоп “Джеймс Уэбб” с 6,5-метровым зеркалом, лишь немного уступающим зеркалам наземных телескопов

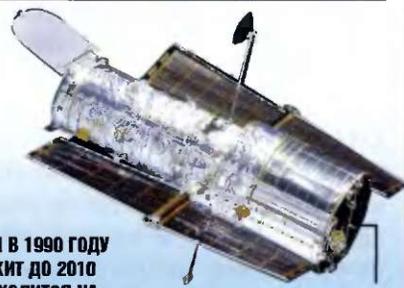
ОРБИТАЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП “ДЖЕЙМС УЭББ”

Запуск планируется после 2013 года



СМЕНЩИК “ХАББЛА”

КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП “ХАББЛ”
Стоимость проекта – \$2,2 миллиарда



ЗАПУЩЕН В 1990 ГОДУ
ПРОСЛУЖИТ ДО 2010
ГОДА. НАХОДИТСЯ НА
ОКОЛОЗЕМНОЙ ОРБИТЕ

ДИАМЕТР ГЛАВНОГО
ЗЕРКАЛА – 2,4 МЕТРА

ЧТО ДЕЛАТЬ С “ХАББЛОМ”

продлить срок службы Потребуется привести в порядок систему ориентации, установить новые аккумуляторы и научные инструменты.
спустить с орбиты Если полеты шаттлов не будут возобновлены, “Хаббл” придется спустить с орбиты с помощью беспилотного корабля

ОРБИТА “УЭББ” (не в масштабе)



перимент с выводом в космос криогенной аппаратуры. Если верить неподтвержденным, но упорным слухам, Пентагон и до этого пытался запускать спутники-шпионы с ИК-телескопами на гелиевом охлаждении, но успеха не добился. 18 ноября 1989 года NASA отправило в космос 2,3-тонный Cosmic Background Explorer (COBE), собиравший информацию в микроволновом и инфракрасном диапазонах. Один из его приборов, абсолютный спектрометр дальней ИК-зоны, требовал сверхглубокого охлаждения и посему отключился по истощении запаса гелия в сентябре 1990 года, остальные же функционировали еще более двух

лет. Этому спутнику астрофизика и космология обязаны воистину эпохальным открытием температурных флуктуаций реликтового микроволнового излучения.

В ноябре 1995 года Европейское космическое агентство вывело на орбиту космическую инфракрасную обсерваторию ISO (Infrared Space Observatory), которая два с половиной года вела наблюдения в диапазоне длин волн от 2,5 мкм до 200 мкм. В марте того же года Япония запустила 15-сантиметровый ИК-телескоп IRTS, который проработал лишь 4 недели, но зато смог засечь космические фотоны с длиной волны до 700 мкм. Два года спустя американские

астронавты установили на “Хаббле” аппаратный комплекс NICMOS, производящий фотосъемку и спектральный анализ в ближней ИК-области.

Холодный глаз “Спитцера”

Последнее слово космической ИК-астрономии – 850-килограммовая обсерватория “Спитцер” (названная в честь пионера орбитальных обсерваторий, американского физика и астронома Лаймана Спитцера), стартовавшая с мыса Канаверал 25 августа 2003 года. Она оснащена телескопом с 85-сантиметровым бериллиевым зеркалом, обеспечивающим разрешение до одной угловой



секунды. С ним совмещены три детектирующие системы: фотометрическая видеокамера, спектроскоп и спектрофотометр (первая собирает информацию в диапазоне 3–180 мкм, вторая – 5–40 мкм, а третья – 50–100 мкм), которые работают при 5,5° Кельвина. Охлаждение аппаратуры производится жидким гелием, запас которого на борту “Спитцера” изначально составлял 360 л (примерно 50 кг). Этого количества должно хватить как минимум на 2,5 года, а при определенном везении и на 5 с лишним лет. Весь проект обошелся налогоплательщикам в \$720 млн.

“Спитцер” стал первой инфракрасной обсерваторией, выведенной

В МАСШТАБЕ 1:6 До запуска телескопа “Джеймс Уэбб” еще достаточно времени, и программа не утверждена окончательно, но компания Ball Aerospace уже построила испытательный стенд для отладки будущей оптической системы орбитальной обсерватории. Пока в масштабе 1:6. Внизу: орбитальный телескоп “Спитцер”



не на геоцентрическую (вокруг Земли), а на гелиоцентрическую (вокруг Солнца) траекторию. Ее выбрали потому, что глубокий космос много “холоднее” околоземного пространства. Инфракрасное излучение нашей планеты может нагреть спутник до хорошего зимнего морозца (выше 250° Кельвина, то есть до –20° Цельсия), в то время как в отдалении от нее спутники остывают до 30–40° Кельвина (именно это и дает возможность экономить гелий и удлинить срок функционирования станции). “Спитцер” движется по около-солнечной орбите вслед за Землей, но каждый год отстает от нее приблизительно на 0,1 астрономической единицы (15 млн. километров).

Перечень достижений “Спитцера” весьма впечатляет. Год назад он впервые непосредственно разглядел (естественно, в инфракрасных лучах) две внесолнечные планеты, что ранее было не под силу ни одному инструменту. Его аппаратура позволила открыть несколько сверхмассивных черных дыр и гигантские пылевые облака, окружающие некоторые звезды. Совсем недавно она обнаружила органические вещества в газовом окружении звезды IRS 46, отстоящей на 375 световых лет от нашего Солнца. Больше двух сотен докладов, заслушанных в январе на последней сессии Американского астрономического общества, содержали информацию, полученную со “Спитцера”.

“Джеймс Уэбб”

“Спитцер” – последняя из четырех “Больших обсерваторий” космического базирования, спроектированных NASA еще в 1970–1980-е годы.

Когда первая из них, орбитальный телескоп "Хаббл", уже пять лет пребывала на орбите, там начали задумываться о ее преемнике. Летом 1996 года комитет, в который вошли ведущие астрономы и астрофизики, выступил с проектом космического телескопа нового поколения (Next Generation Space Telescope, NGST). Речь шла о гигантском инфракрасном инструменте с 8-метровым зеркалом. Предполагалось, что его создание

обойдется всего в полмиллиарда долларов, то есть втрое дешевле, нежели "Хаббл". Позднее этот проект претерпел ряд модификаций – в частности, зеркало уменьшили до 6,5 м. 10 сентября 2002 года директор NASA Шон О'Киф заявил, что новый телескоп будет носить имя одного из прежних руководителей NASA – Джеймса Уэбба. "Джеймс Уэбб" должен будет работать без искусственно-го охлаждения, поэтому около Земли

вательно, самых древних объектов Вселенной, которые физически невозможно обнаружить в оптическом диапазоне. В результате космологического расширения пространства их спектры сильно сдвигаются влево, в сторону уменьшения частот. Когда свет древнейших звезд и квазаров достигает Земли, длины его волн из-за красного смещения возрастают в десять и более раз, так что максимум его интенсивности попадает в диапазон 1–3 микрометра. К тому же проходящий очень большие дистанции видимый свет практически полностью поглощается межзвездным водородом.

Предполагаемая стоимость проекта приближается к 4 миллиардам долларов – так что разработчикам приходится быть экономными



ЦЕНА ВОПРОСА

Будущее грандиозного инструмента упирается в бюджет. "NASA считает строительство и запуск телескопа 'Джеймс Уэбб' одним из основных приоритетов. Но пока этот проект находится в стадии проработки. Помимо NASA в нем принимают участие Европейское космическое агентство и Космическое агентство Канады. Окончательное решение еще не принято, но я думаю, что шансы на утверждение очень высоки", – говорит административный руководитель проекта Пол Гейтнер. И хотя 10 января директор NASA Майкл Гриффин, выступая на сессии Американского астрономического общества, припугнул ученых, что некоторые исследовательские проекты из-за нехватки денег придется закрыть, проект "Джеймс Уэбб" он обещал сохранить.

ему делать нечего, но требования к его околосолнечной орбите много жестче, нежели к орбите "Спитцера". Последний может не прятаться в земную тень, его приборы надежно защищены от солнечных лучей криогенными экранами. А вот "Уэббу" предстоит все время находиться в земной тени, вблизи второй точки Лагранжа L2, отстоящей от нашей планеты на 1,5 млн. км. Чтобы не уйти из зоны радиационной безопасности, станции придется время от времени включать корректирующие двигатели, поэтому вечно она работать не сможет – ведь запас горючего ограничен.

Почему эксперты NASA высказались в пользу инфракрасной, а не оптической обсерватории? "Новый телескоп задуман прежде всего для поиска самых отдаленных и, следо-

В общем, нужен телескоп с пиком именно на границе ближнего и среднего ИК-диапазонов, – рассказывает "ПМ" известный астрофизик, профессор Аризонского университета Марсия Рике, руководитель группы разработки фотокамеры ближнего ИК-диапазона, одной из трех детектирующих систем "Уэбба". – Конечно, необходимо регистрировать также и фотоны за пределами этой зоны, в противном случае пострадает точность измерений. Поэтому 'Джеймс Уэбб' оптимизирован для довольно узкого участка спектра, 1–5 мкм, но его рабочая область простирается от 0,6 мкм до 28 мкм. Она не так широка, как у 'Спитцера', но для наших целей более чем достаточна. Поскольку мы собираемся работать лишь с коротковолновыми ИК-фотонами и пользоваться более совершенным зеркалом, разрешающая способность 'Уэбба' будет в десять раз лучше, чем у 'Спитцера', – 0,1 угловой секунды. Для наблюдений в дальней ИК-области пришлось бы охлаждать детекторы жидким гелием, а это нежелательно и по техническим, и по научным причинам. Поскольку "Уэббу" не нужна криогенная аппаратура, минимальное время его работы составляет 5 лет, но мы надеемся, что он прослужит не меньше десяти. Предполагаемая стоимость проекта уже приближается к \$4 млрд., поэтому нам придется быть экономными".

ПМ

Алексей Левин