

АСТРОНОМИЯ ТЕМНОГО

«Мой старый принцип расследования состоит в том, чтобы исключить все явно невозможные предположения. Тогда то, что останется, является истиной, какой бы неправдоподобной она ни казалась», – говорил знаменитый сыщик Шерлок Холмс. Именно таким методом ученые ищут темную материю.

Текст: Алексей Левин

Мы живем в темном и холодном мире. Хотя Вселенная сияет звездами и квазарами, несветящихся объектов в ней много больше. Среди них планеты и планетоиды, кометы, коричневые карлики, околозвездные газопылевые диски и гигантские газовые облака – родоначальники новых звезд. Температуры этих объектов варьируют от нескольких десятков до примерно тысячи кельвинов, поэтому они испускают невидимое человеческому глазу инфракрасное электромагнитное излучение. Такие же лучи приходят к нам и от очень далеких галактик, чей свет по дороге к Земле претерпевает большое красное смещение.

У инфракрасного диапазона имеются вполне почтенные соседи. Справа (со стороны более коротких волн) к нему примыкает оптический спектр, а слева – субмиллиметровый диапазон, на котором «светят» самые холодные скопления космического газа с характерной температурой порядка 10 К. Наблюдения космических объектов в инфракрасных лучах составляют предмет ИК-астрономии. На авансцену науки о космосе она вышла сравнительно недавно, но зато сейчас развивается чрезвычайно быстро.

Первые шаги

Инфракрасные лучи открыл великий астроном Уильям Гершель, и отнюдь не случайно. В 1790-е годы он занимался телескопическими наблюдениями солнечных пятен, а для защиты глаз пользовался цветными фильтрами. Именно тогда он заметил, что кожа чувствует тепло по-разному в зависимости от цвета фильтра. В 1800 году Гершель вплотную занялся тепловым действием солнечного света, разлагая его на отдельные цвета с помощью стеклянной призмы и измеряя степень нагрева в разных участках спектра. Обнаружив, что температура больше всего растет в красной зоне, он поместил термометр за ее границами и увидел, что нагрев продолжается. Так было выявлено невидимое излучение, которое Гершель назвал ультракрасным. Во второй половине XIX столетия астрономы начали осваивать новые приборы для тепловых измерений – термпары, термостолбики, радиометры и платиновые болометры, использовавшие сильную зависимость сопротивления этого металла от температуры. Первые



IRAS



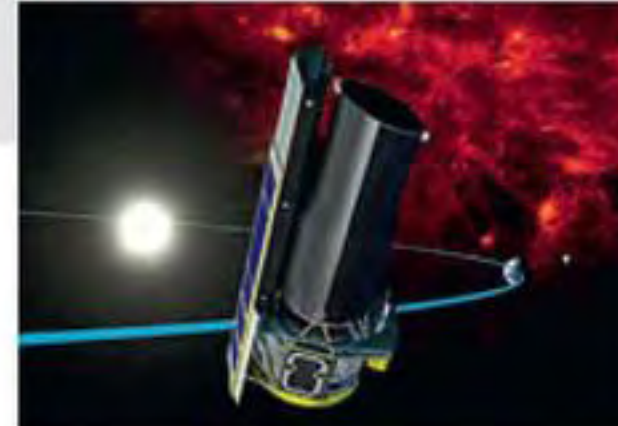
ГОД: 1983
Инфракрасная орбитальная обсерватория, запущена с космодрома Ванденберг с помощью ракеты-носителя «Дельта-3910»

ISO



ГОД: 1995
Орбитальный космический телескоп, запущен с космодрома Куру с помощью ракеты-носителя «Ариан-4»

SPITZER

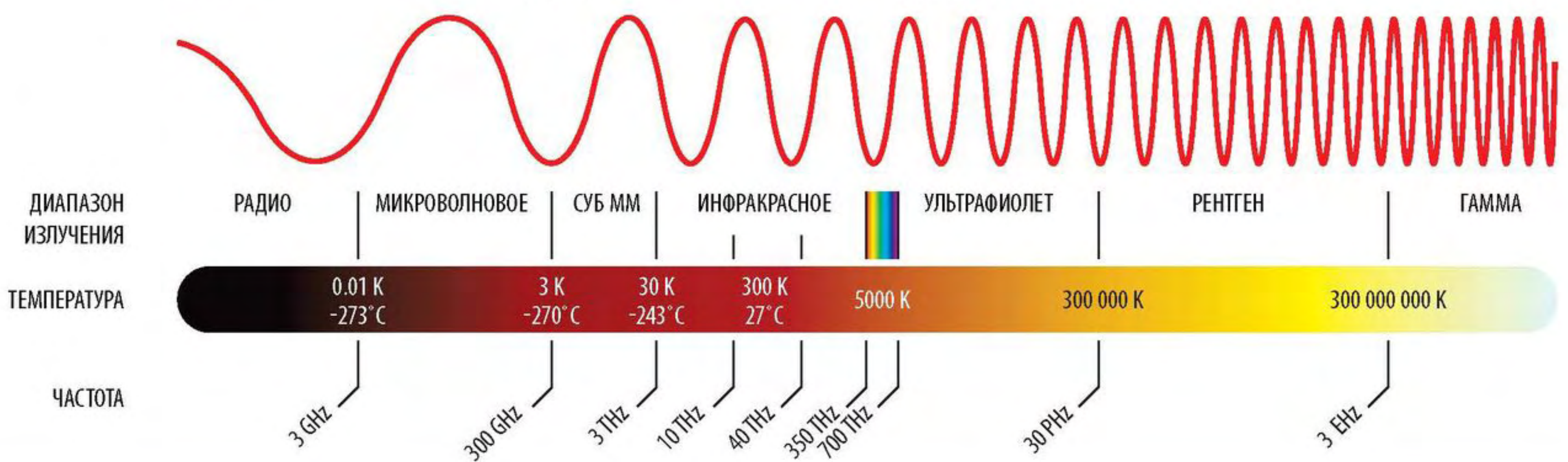


ГОД: 2003
Космический аппарат научного назначения, запущен с космодрома на мысе Канаверал ракетой-носителем «Дельта-2»

HERSCHEL



ГОД: 2009
Космический телескоп, запущен с космодрома Куру с помощью ракеты-носителя «Ариан-5»



МУРАДИ ИБАТУЛЛИН

успехи были весьма скромны, но эти методы со временем позволили выявить сотни линий поглощения в ближнем и среднем ИК-диапазонах солнечного спектра и тем самым получить информацию о составе солнечной атмосферы. С их помощью был выполнен анализ ИК-излучения ряда ярких звезд и определены их температуры. Немалую пользу этим исследованиям принесли вакуумные термомпары, изобретенные профессором МГУ П.Н. Лебедевым (тем самым, который впервые измерил давление света) и приспособленные для нужд астрономии Уильямом Кобленцем. В ходе таких наблюдений были обнаружены первые звезды-сверхгиганты Ригель и альфа Геркулеса.

Пожалуй, главное открытие той эпохи сделал в 1930 году американский астроном швейцарского происхождения Роберт Трамплер. Он обнаружил поглощение звездного света в космическом пространстве и совершенно правильно приписал его рассеянию на частицах межзвездной пыли. Вообще-то Трамплер пришел к этому выводу на основе оптических наблюдений, но его результаты стали крупнейшим вкладом в ИК-астрономию.

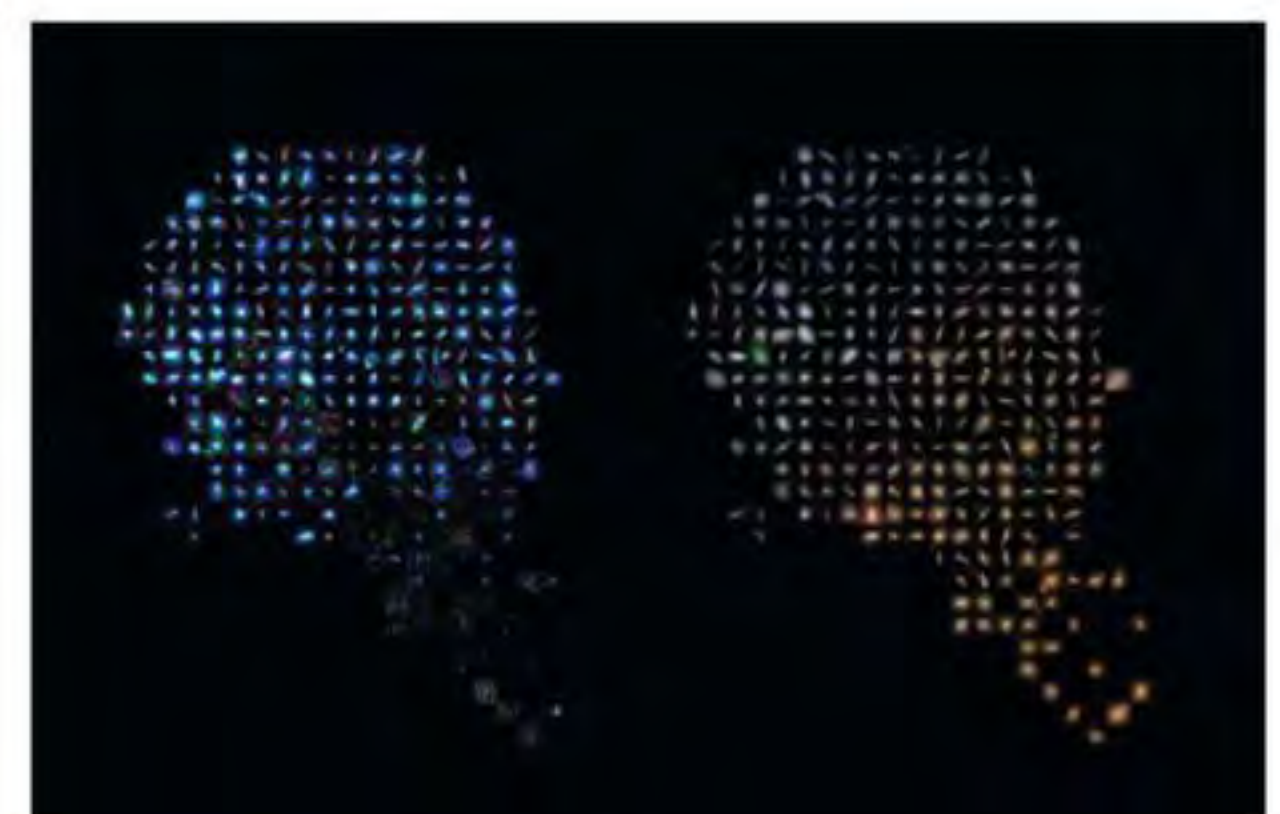
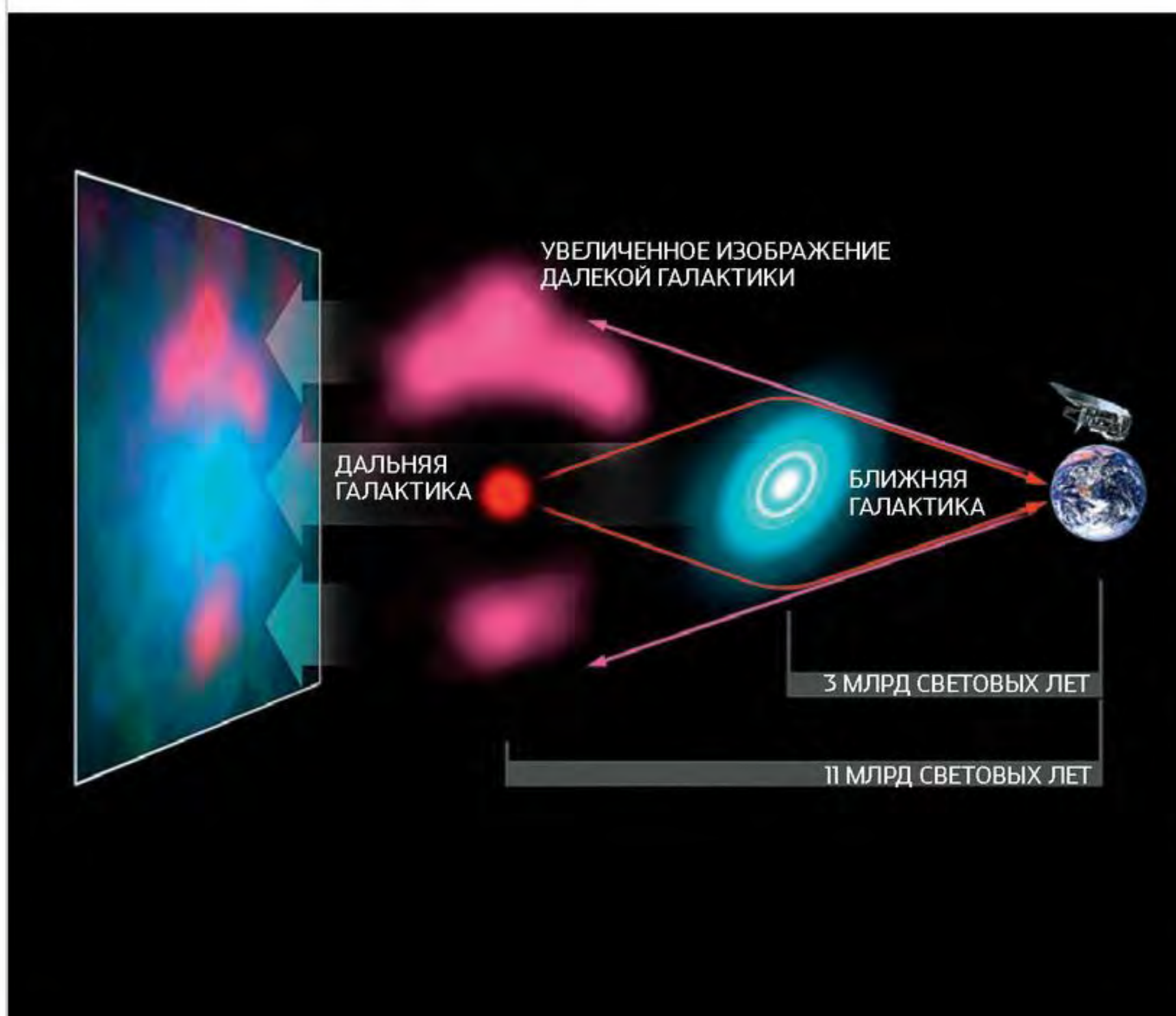
Пора становления

В первые десятилетия второй половины XX века ИК-астрономия обрела мощные аппаратные ресурсы, радикально расширившие ее возможности. В ее арсе-

нал вошли высокочувствительные полупроводниковые болометры, прототипы которых в предшествующие годы были созданы в военных лабораториях (см. «ПМ» № 7'2015). Были разработаны методы охлаждения этих детекторов сжиженным газом – сначала азотом, а потом и гелием (для этого американский астроном Фрэнк Лоу придумал специальный металлический дюар, который применяют и сейчас). Все это дало возможность проводить наземные наблюдения во всех участках ближнего и среднего ИК-диапазонов, прозрачных для теплового излучения. Вообще-то детектор Лоу мог регистрировать даже излучения с длиной волны вплоть до миллиметра, но для таких измерений требовались высотные и космические платформы.

Создание полупроводниковых детекторов повлекло за собой и появление ИК-телескопов. Первый такой инструмент со 152-см апертурой начал действовать в 1970 году в обсерватории на горе Леммон в Аризоне. Во второй половине 1970-х увидели первый свет три телескопа с апертурами от 300 до 380 см в Чили и на Гавайях. В конце 1974 года встала на двадцатилетнюю вахту американская летающая обсерватория имени Койпера – 90-см ИК-телескоп на борту переоборудованного военно-транспортного самолета. С ее помощью были обнаружены кольца Урана, водяные пары в атмосферах Юпитера и Сатурна и собрана информация о синтезе тяжелых ядер при взрыве сверхновой 1987А.

ИНФРАКРАСНАЯ АСТРОНОМИЯ ВЫШЛА НА АВАНСЦЕНУ НАУКИ О КОСМОСЕ СРАВНИТЕЛЬНО НЕДАВНО, НО ЗАТО СЕЙЧАС ОНА РАЗВИВАЕТСЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНО БЫСТРО.



ВЗГЛЯД В ДАЛЬНИЙ КОСМОС

На картинке сверху – излучения космической пыли галактик в дальнем инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах. Изображения получены с помощью космической обсерватории Gerschel.

На схеме слева показан эффект гравитационной линзы, при котором гравитационное поле ближней галактики изменяет направление излучения дальней галактики, увеличивая ее.

Главными достижениями ИК-астрономии в 1950–1970-е годы стали наблюдения процессов рождения звезд из коллапсирующих газовых облаков, открытие пылевых оболочек, окружающих погибающие звезды, и накопление массива данных о межзвездной пыли.

Космическая зрелость

Но подлинную революцию в ИК-астрономии произвели космические аппараты, которые смогли вести круглосуточные наблюдения во всех участках ИК-спектра. Первой орбитальной платформой с ИК-телескопом стал американский спутник IRAS (Infrared Astronomical Satellite), запущенный 25 января 1983 года с авиабазы Ванденберг. Он был создан всего за семь лет с участием британских и голландских специалистов. Проработал он лишь десять месяцев, поскольку в конце ноября закончился запас охлаждавшего детекторы жидкого гелия (это был первый удачный эксперимент по выводу в космос криогенной аппаратуры). За это время IRAS произвел мониторинг 96% небесной сферы на восьми частотах в четырех полосах среднего и дальнего ИК-диапазона с длинами волн 12, 25, 60 и 100 мкм.

IRAS весил чуть больше тонны и нес сравнительно небольшой телескоп с 60-см зеркалом и 62 детекторами в фокальной плоскости. Несмотря на скромные размеры, он оказался одним из самых результативных астрономических спутников за всю историю космонавтики. Он позволил выявить около трехсот тысяч ранее неизвестных источников инфракрасного излучения, в том числе много красных гигантов и ярких галактик с активным звездообразованием. Данные с IRAS повлекли за собой сенсационное открытие галактик с исключительно высокой светимостью в ИК-диапазоне, на пять порядков превышающей светимость Млечного Пути. Они позволили обнаружить еще не успевшие разогреться маломассивные протозвезды, три астероида и шесть комет в нашей Солнечной системе. С их помощью был открыт тонкий плоский диск, окружающий Вегу, самую яркую звезду созвездия Лиры, который возник уже после ее формирования из первичного газопылевого облака. Позднее было доказано, что подобные диски (их называют осколочными или обломочными) окружают многие звезды и могут содержать не только пыль, но и твердые тела. И это еще не полный список.

Успех миссии IRAS открыл дорогу к разработке других космических инфракрасных телескопов. В 1983 году ЕКА утвердило проект космической станции ISO (Infrared Space Observatory), которую 17 ноября 1995 года отправили с космодрома в Куру на сильно вытянутую околоземную орбиту (1000 км в перигее и 70 500 – в апогее). Ее телескоп имел такую же 60-см апертуру, как и телескоп IRAS, однако сильно превосходил его по возможности регистрации тепловых излучений. Его камера была оснащена двумя сенсорными матрицами, в каждой из которых содер-

жалось по 1024 (32 x 32) инфракрасных детектора, позволявших вести наблюдения на участке 2,5–17 мкм. (Технология изготовления таких матриц была создана по заказу Пентагона для систем наведения крылатых ракет, но в середине 1980-х ее рассекретили.) Остальные инструменты обеспечивали наблюдения вплоть до верхней границы дальней инфракрасной зоны, что позволяло отслеживать расположение облаков межзвездной пыли. По чувствительности в полосе вблизи 12 мкм ISO превосходила IRAS в сорок раз, а по пространственному разрешению – в двадцать. К тому же она много дольше проработала. При расчетном времени жизни в полтора года станция благодаря медленному расходу жидкого гелия действовала в штатном режиме вплоть до апреля 1998 года!

В общей сложности приборы ISO выполнили 26 000 наблюдений, которые легли в основу целого ряда открытий. Они позволили обнаружить молекулы двуокиси углерода и фторида водорода в межзвездном пространстве и пары воды в атмосфере Титана – самого большого из спутников Сатурна. Они дали ценнейшую информацию о процессах рождения звезд в течение последних 8 млрд лет и показали, что новые планеты могут возникать не только в окрестностях новорожденных светил, как считалось в то время, но около очень старых звезд. И так далее.

Достоинным наследником станций IRAS и ISO стал американский Космический телескоп имени Спитцера, запущенный с мыса Канаверал 25 августа 2003 года. Он работает до сих пор, только не на околоземной, а на околосоляной орбите. Запас охладителя иссяк в мае 2009 года, однако инфракрасная камера и в этих условиях функционирует в двух наиболее коротковолновых полосах (3,6 и 4,5 мкм) из прежних четырех. По апертуре этот телескоп не особенно превосходит предшественников (85 см против 60), однако каждый из четырех модулей его главной камеры оснащен матрицей из 65 536 (256 x 256) детекторов. Благодаря высокой чувствительности «Спитцер» смог вести наблюдения объектов, возникших ранее 3 млрд лет после Большого взрыва, чей свет приходит на Землю с красным смещением порядка трех (ISO мог справиться с красным смещением, равным единице, а IRAS – только с тремя десятками).

Благодаря «Спитцеру» астрономы получили почти полную картину инфракрасного неба и смогли понять тонкие детали структуры и эволюции инфракрасных галактик. В 2005 году две группы исследователей с его помощью впервые детектировали инфракрасное излучение внесолнечной планеты – спутника звезды HD 209458, открытого в 1999 году. Позднее приборы «Спитцера» с помощью транзитной инфракрасной фотометрии выявили десятки экзопланет и продолжают делать это и по сей час. Например, 30 июля 2015 года команда «Спитцера» подтвердила существование

каменной планеты HD 219134b из класса суперземель, отдаленной от Земли всего на 21 световой год. «Спитцер» также собрал обширную информацию о процессах планетогенеза вблизи звезд солнечного типа. Его аппаратура позволила открыть несколько сверхмассивных черных дыр и осколочные диски, окружающие десятки белых карликов.

«Гершель» – пока вершина

Помимо перечисленных инфракрасных космических телескопов были и другие, не столь известные (например, японский орбитальный телескоп «Акари», проработавший с начала 2006 года по конец ноября 2011-го). Однако лидерство в этой области заняла европейская обсерватория имени Гершеля, 14 мая 2009 года отправленная в космос вместе с микроволновой обсерваторией «Планк». Подобно «Спитцеру», она движется по гелиоцентрической траектории, которая (в отличие от американского партнера) осциллирует вокруг второй точки Лагранжа, и поэтому держится на примерно одинаковом расстоянии от нашей планеты («Спитцер» за год отстает от Земли примерно на 15 млн км). Последнее наблюдение она выполнила 29 апреля 2013 года – опять-таки из-за истощения гелия. Ее данные полностью архивированы и открыты для использования учеными. При главном зеркале диаметром 3,5 м «Гершель» был и пока остается самым крупным космическим телескопом.

Приборы «Гершеля» были настроены на наблюдения в широком участке спектра 55–672 мкм, охватывающем почти всю дальнюю инфракрасную область и часть субмиллиметровой. Поэтому он был заточен на наблюдение как самых холодных участков ближнего космоса, так и очень далеких объектов, рожденных менее чем через миллиард лет после Большого взрыва. «Гершель» наблюдал рождение звезд из газопылевых облаков, формирование и эволюцию первых галактик, производил анализ химического состава межзвездного газа и атмосфер планет, комет и астероидов. И со всеми этими задачами он отлично справился.

Мы попросили прокомментировать результаты «Гершеля» астронома из Южной европейской обсерватории Эвантию Хациминауглу, которой довелось немало с ними поработать. Она отметила, что эти данные активно используются до сих пор, так что полностью оценивать вклад «Гершеля» еще рановато. Но и сейчас ясно, что обсерватория оказалась источником ценнейшей информации. Например, благодаря ей мы теперь знаем, что океанская вода в виде льда когда-то входила в состав кометных ядер и оказалась на Земле в ходе кометной бомбардировки ее поверхности. Это позволяет предположить, что многие каменные экзопланеты смогли аналогичным путем обзавестись обширными водными бассейнами.

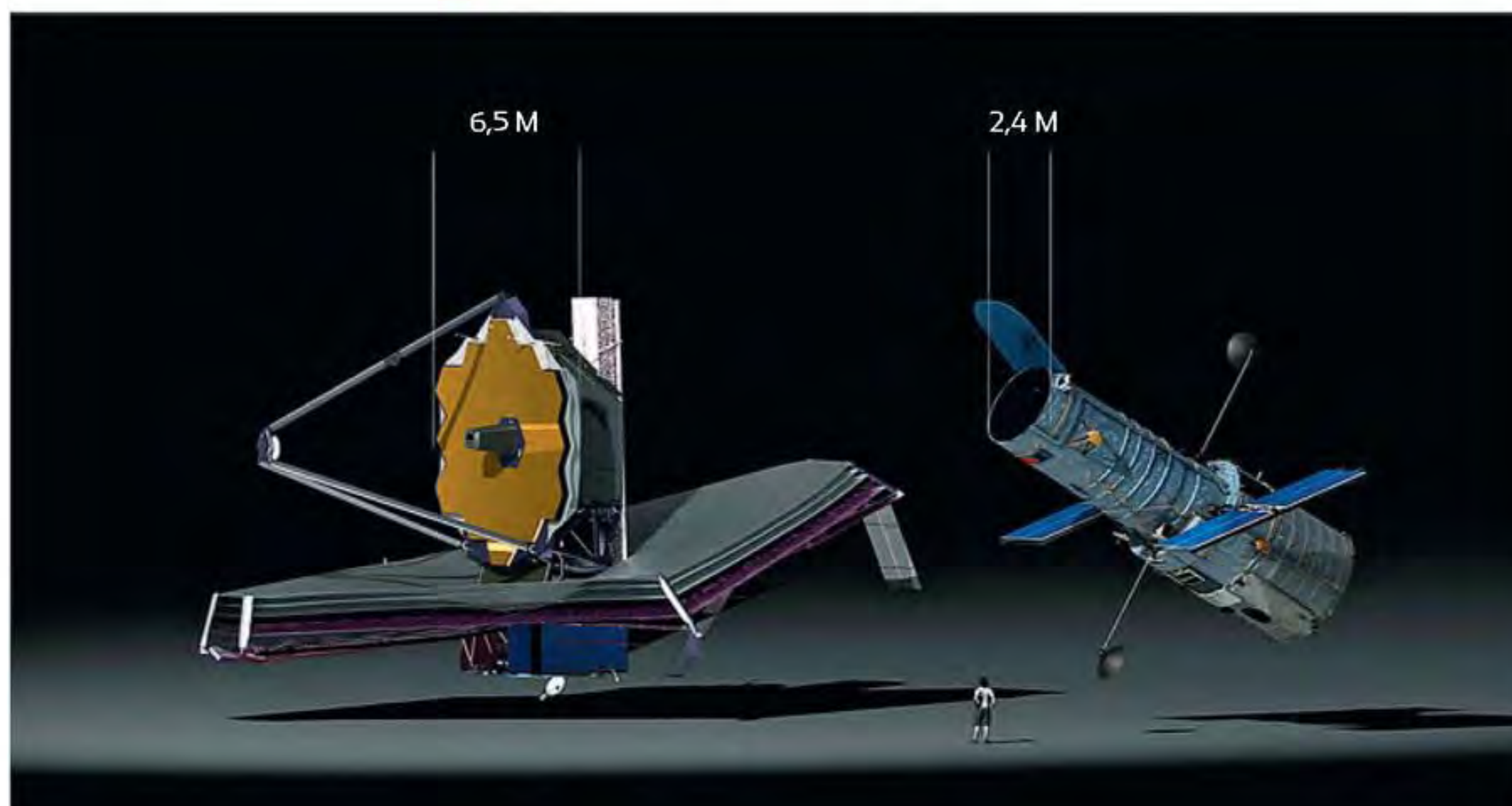
Еще один интереснейший результат – детектирование в межзвездном пространстве молекул кислорода. Несмотря на то что этот элемент по степени распространения во Вселенной стоит на третьем месте после водорода и гелия, космические облака из молекулярного кислорода впервые были обнаружены совсем недавно, в 2007 году. Это открытие, сделанное с помощью аппаратуры шведского научного спутника «Один», требовало подтверждения, которое и было получено благодаря «Гершелю». В общем, «Гершель» вполне оправдал связанные с ним надежды.

Будущее. Близкое и не очень

Астрономы многого ожидают от космического телескопа имени Джеймса Уэбба, который будет вести наблюдения на участке от 0,6 до 27 мкм. При апертуре в 6,5 м это будет весьма крупный инструмент даже по земным масштабам, а его разрешающая способность в десять раз превзойдет показатель «Спитцера». Первоначально предполагалось, что он обойдется в \$1,6 млрд и будет отправлен ко второй точке Лагранжа в 2011 году. Однако по последним прогнозам запуск состоится не ранее октября 2018 года, а стоимость этого совместного проекта НАСА, ЕКА и Канадского космического агентства приблизится к \$9 млрд и превзойдет цену Большого адронного коллайдера.

ПМ

На картинке представлены сравнительные размеры космического телескопа Hubble и инфракрасной орбитальной лаборатории James Webb (JWST), которая придет на замену ветерану орбитальной астрономии.



NASA/EASA