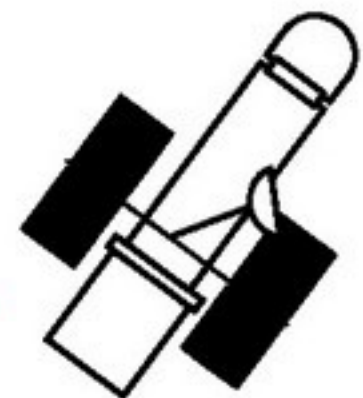




www.imgur.com

«КЕПЛЕР», «ХАББЛ»



*И ГАЛАКТИЧЕСКАЯ
МЕХАНИКА*

«На Церере обнаружили ингредиенты жизни», «Астрофизики открыли гигантскую радиогалактику»... Новости разделов о космосе выглядят как хроники будущего. Совсем недавно мы знали лишь о восьми планетах Солнечной системы, теперь же каждый год узнаем о новых астрономических объектах вне ее.

Подробнее об исследовании галактик «ММ» рассказала доцент кафедры астрофизики, старший научный сотрудник Лаборатории теоретической астрофизики СПбГУ **Наталья Сотникова**.

Н – Наталья Яковлевна, как изменилась астрономическая картина мира за последние несколько лет?

– Наверное, отсчет стоит вести от 1998–1999 годов, когда астрономы и физики стали наблюдать далекие сверхновые звезды. Тот тип сверхновых, которые они наблюдали, – «стандартные свечи». Это означает, что мы знаем их истинную мощность излучения. Сравнивая ее с наблюдаемым блеском, можно определить расстояние – так фонари одной мощности, расставленные вдоль дороги, своим блеском дают представление о том, насколько они далеко. Другую оценку расстояния можно было сделать, исходя из закона Хаббла. Выяснилось, что эти расстояния не согласуются друг с другом. Согласовать их можно было, только предположив, что Вселенная расширяется ускоренно и за это расширение отвечает космологическая постоянная, когда-то введенная Эйнштейном в его уравнения, а потом им отброшенная. Эту космологическую постоянную физики пытаются – пока безуспешно – связать с особым полем вакуума и называют темной энергией.

Вторая революционная вещь – результаты анализа анизотропии температуры реликтового излучения, доставшегося нам в наследство от тех времен, когда атомы рекомбинировали и излучение стало распространяться свободно. Это произошло примерно через 400 тыс. лет после Большого взрыва. Сегодня остывшее излучение имеет температуру около 3 К, но где-то она чуть больше, где-то чуть меньше. Эта разница составляет одну стомиллионную долю градуса. И она измеряется. Результаты работы трех спутников – COBE, WMAP и PLANCK, которые измеряли подобные флуктуации, дали основные параметры космологической модели, в первую очередь, долю объемного вещества, из которого мы состоим (не больше 5%), долю темного вещества,



▲ Наталья Сотникова
Фото из личного архива

**САМОЕ ГРОМКОЕ
ОТКРЫТИЕ ПРОШЛОГО ГОДА –
ПРЯМОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ
ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН
ОТ СЛИВАЮЩИХСЯ
СВЕРХМАССИВНЫХ
ОБЪЕКТОВ**

природа которого пока неясна (25%), и долю загадочной темной энергии (70% Вселенной). Компьютерное моделирование процессов формирования галактик в рамках современной космологической модели, учитывающей темное вещество, позволяет получать модели галактик со свойствами, которые реально наблюдаются.

Еще одна сенсационная область – открытие вне-солнечных планет. И, наконец, самое громкое открытие прошлого года – прямое детектирование гравитационных волн от сливающихся сверхмассивных объектов. Это триумф общей теории относительности, предсказавшей существование таких волн.

– **Всеми этими открытиями астрономия обязана телескопам «Кеплер» и «Хаббл». Как они работают?**

– «Кеплер» – это космический спутник НАСА с телескопом, который был предназначен для поиска планет за пределами Солнечной системы. Он проработал на орбите чуть больше трех лет и, увы, сломался в 2013 году. Данные обрабатываются до сих пор. Телескоп был снабжен сверхчувствительным фотометром, позволяющим обнаруживать малейшие изменения блеска звезды, когда перед ней проходила планета и заслоняла часть диска. Такой способ обнаружения планет называется методом проходов, или транзита. (Например, раз в сто лет на Земле можно наблюдать транзит Венеры по диску Солнца.)

ЭТО КАК УВИДЕТЬ ДЕСЯТИКОПЕЕЧНУЮ МОНЕТУ С РАССТОЯНИЯ В НЕСКОЛЬКО КИЛОМЕТРОВ

Телескоп этот недорогой – запуск и эксплуатация составили \$550 млн, но он совершил революцию в изучении внесолнечных планет, открыв их около тысячи (прежде они открывались наземными телескопами поштучно). Это сразу позволило навести статистику параметров планет: масс, расстояний от их звезд, эксцентриситетов орбит, наклонов. Мы лучше стали понимать, каковы должны быть условия для образования планет, в частности, планет земного типа.

ТЕЛЕСКОП «ХАББЛ» запущен в 1990 году и исправно работает до сих пор. (Один раз случились неполадки с главным зеркалом – их устраняли космонавты, выходя в открытый космос.) Вот этот проект дорогой, поэтому он является совместной работой НАСА и европейского агентства ЕКА. И телескоп здесь большой – диаметр зеркала 2,4 м. Но важен не столько сам телескоп, сколько аппаратура, которая на него навешена, в первую очередь, спектрографы, позволяющие исследовать химический состав объектов и получать лучевые скорости. Для обработки данных «Хаббла» в США создан специальный институт. Этот телескоп тоже совершил революцию в астрономии: взять хотя бы результаты исследования крупномасштабной структуры Вселенной. По наблюдениям пульсирующих звезд цефеид в скоплении Девы измерены расстояния до них, что позволило определить постоянную Хаббла – фундаментальный параметр, на котором держится современная космология. Именно «Хаббл» на ключевом этапе определения космологических параметров Вселенной присоединился к наблюдениям далеких сверхновых, что привело к открытию ускоренного расширения Вселенной. И до сих пор богатейший материал содержится в так называемых Глубоких и Сверхглубоких Полях Хаббла – в точечных проколах небесной сферы, которые позволяют видеть объекты на больших расстояниях и ранних стадиях Вселенной – галактики, сформировавшиеся меньше миллиарда лет после Большого взрыва.

– **Давайте обсудим один из самых странных феноменов в космосе – центр Галактики.**

– В центре Галактики находится массивный объект малых размеров, его масса составляет несколько миллионов масс Солнца. В центрах других галактик мы обнаруживаем подобные компактные объекты массой уже в миллиард масс Солнца. Вокруг этих объектов происходят процессы, сопровождающиеся мощным излучением, которое может менять интенсивность. Это явление мы называем активным ядром Галактики и связываем с процессами падения вещества на компактный массивный объект, которое сопровождается всплесками излучения в радио-, рентгеновском и оптическом диапазонах. Сам объект мы называем сверхмассивной черной дырой. То, что в центре Галактики находится именно черная дыра, практически вне сомнений. Здесь же в центре мы обнаруживаем компактный источник мощного радиоизлучения Sgr A*. Масса области, из которой идет радио-

Все началось с того, что английский астроном Вильям Гершель в конце XVIII века заинтересовался коротеньким списком туманностей своего французского коллеги Шарля Мессье – известного «ловца» комет. Мессье составил этот список, чтобы быстро отличать новые кометы от туманностей. Вильям Гершель вместе с сыном целенаправленно стали искать на небе туманности и составили каталог из 5000 объектов. Они одними из первых предположили, что эти туманности могут быть другими галактиками за пределами Млечного Пути, – мысль, которую в то же время развивал Иммануил Кант. Чтобы ее доказать, нужно было измерить расстояния хотя бы до ближайших туманностей. Это

сделал американский астроном Эдвин Хаббл в 1923 году, обнаружив в туманности Андромеды и ее спутниках переменные звезды – цефеиды. (Подробнее о достижениях Хаббла мы рассказывали в «ММ» № 7 за 2016 г. – Ред.) Эти звезды изменяют блеск закономерным образом, что позволяет определить их светимость. Разница между тем, как мы видим цефеиды, и насколько они яркие на самом деле, дает оценку расстояния до них. Определив расстояния до ближайших галактик, Хаббл раздвинул границы нашего понимания мира и себя в нем – мы больше не центр Вселенной. В честь астрофизика назван космический телескоп «Хаббл» – совместный проект NASA и Европейского космического агентства, автономная обсерватория, которая вращается по околоземной орбите и выдает астрономам детализированные снимки галактик. В 1929 году на хорошем наблюдательном материале он подтвердил: чем быстрее галактика удаляется от нас, тем дальше она находится. Эта закономерность получила название Закон Хаббла, а коэффициент пропорциональности в найденной зависимости – постоянной Хаббла. Открытие со временем привело к признанию модели расширяющейся Вселенной, которая следовала из уравнений общей теории относительности, сформулированной Эйнштейном. Закон Хаббла стал основой наблюдательной космологии.

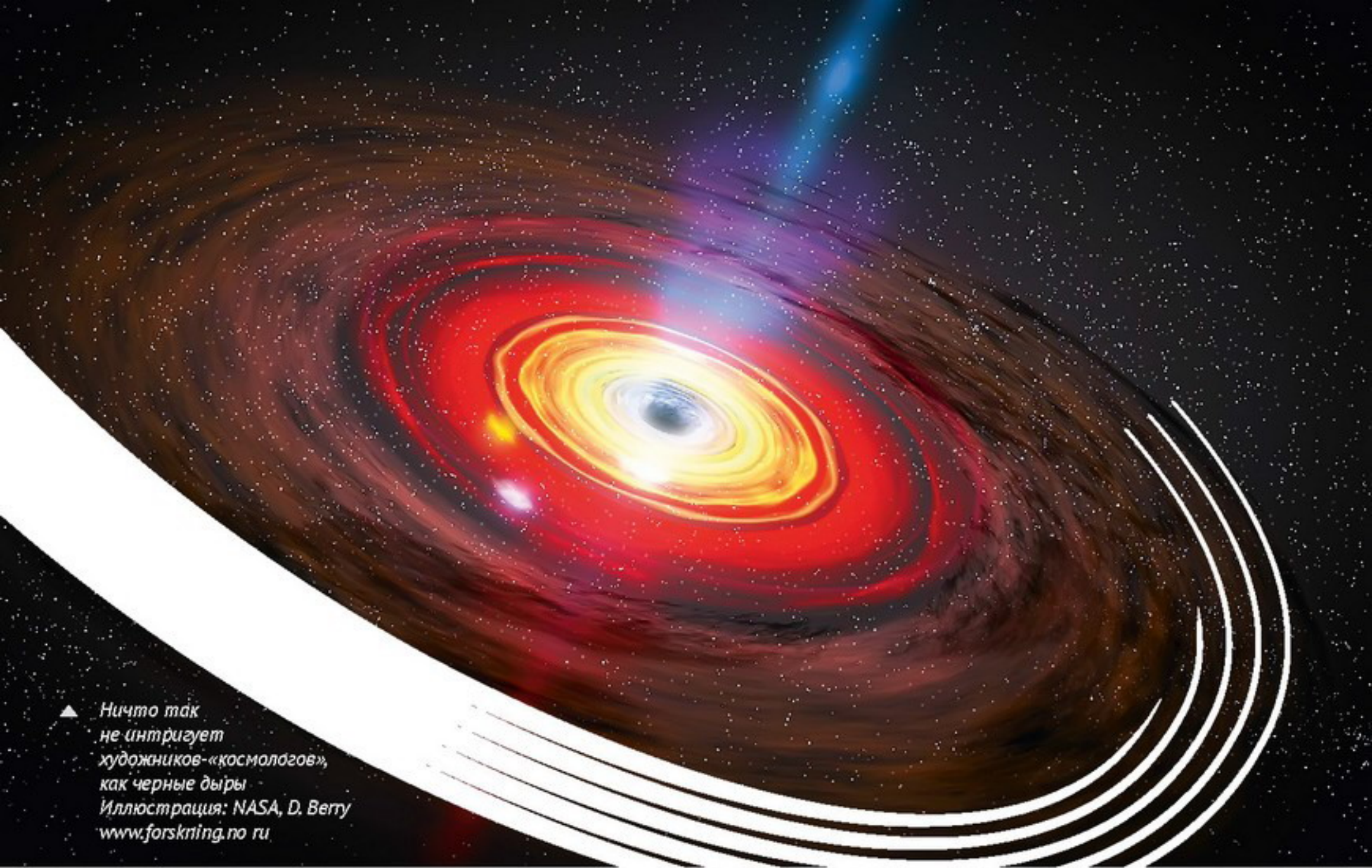
излучение, определена по движению ярких звезд в центральных областях Галактики. Орбиты звезд оказались эллиптическими, как у планет в Солнечной системе, а это первый признак того, что объект, вокруг которого звезды обращаются, очень маленького размера. Маленький размер, большая масса, чудовищные плотности – только черная дыра. Конечно, тень неуверенности есть, ведь мы не знаем размер этой области. Увидеть черную дыру нельзя, она ничего не излучает и не имеет поверхности, но можно подбраться к так называемому горизонту событий, за которым излучение не выходит из черной дыры. Размер этого горизонта сравним с размером тени от черной дыры, а вот ее можно увидеть.

В гравитационном поле черной дыры лучи от звезд, находящихся позади нее, отклоняются, и на видимом изображении фона должна быть область, из которой лучи света не могут приходить к наблюдателю. Эту область и называют тенью черной дыры. Если измерить размер этой тени и показать, что он сравним с предсказываемым размером горизонта черной дыры, то никаких сомнений не останется. Около шести лет в кос-

мосе работает отечественный радиотелескоп «Радиоастрон», который при поддержке наземных телескопов может измерять угловые размеры объектов с точностью до нескольких микросекунд. Это как увидеть десятикопеечную монету с расстояния в несколько километров. К сожалению, из-за рассеяния излучения на электронах тень сильно размыта, так что прямые наблюдения черной дыры еще впереди.

– А какой практический смысл несут астрономические исследования?

– Астрономия дает нам систему ориентации в пространстве и времени. Древние ориентировались по звездам, а мы – по квазарам, объектам большой светимости, которые обнаруживаем на огромных расстояниях и связываем с активными ядрами галактик и процессами в центральных областях галактик. Современная пространственно-временная система координат реализуется при помощи спутников GPS и ГЛОНАСС. При этом нужно знать расстояния от спутников до наземных опорных станций. А вот их положение



▲ Ничто так не интригует художников-«космологов», как черные дыры
Иллюстрация: NASA, D. Berry
www.forskning.no/ru

ние привязано к далеким квазарам, которые для нас неподвижны. При этом сами станции гуляют по поверхности из-за движения земных плит и неравномерности движения самой Земли. И в обычный автомобильный навигатор сейчас зашита вся астрономия: небесная механика, астрометрия, физика Солнца, радиоастрономия и даже общая теория относительности (без учета ее эффектов в сигнале, принимаемом со спутников, будут содержаться искажения волнового фронта под влиянием гравитационных полей Солнца, Луны и планет).

Это очевидная польза, а есть и опосредованная. Астрономия ставит амбициозные задачи, для их решения нужны новые технологии, которые потом переходят в обычную жизнь. Например, адаптивная оптика, исправляющая атмосферные искажения изображений астрономических объектов, применяется в офтальмологии для диагностики заболеваний сетчатки и лазерной коррекции зрения. И все изощренные астрономические пакеты обработки изображений давно подхвачены врачами и используются, например, в томографии.

– Согласно теории импактных событий, у нас есть шанс повторить судьбу динозавров, столкнувшись с астероидом или кометой. Что думают астрономы об этой теории?

– Сейчас она трансформировалась в более практическое понятие «Кометно-астероидная опасность», а в последнее время, чтобы не пугать людей, говорят о «Кометно-астероидной безопасности». Да, Солнечная система буквально набита малыми телами, часто большими «каменюками», которые роятся в нескольких местах, в частности, между орбитой Марса и Юпитера. Поскольку орбиты вытянуты, некоторые астероиды пересекают орбиту Земли. Под воздействием возмущений от планет они могут менять траектории и пролетать совсем близко от нас. Их называют «астероидами, сближающимися с Землей». Землю много раз бомбардировали малые тела, которые оставили на ее поверхности кратеры. Серьезную опасность представляют тела больше километра: при их падении возможна катастрофа планетарного масштаба.



▲ Художественное изображение структуры планетной системы TRAPPIST-1.
Иллюстрация: NASA/JPL-Caltech via AP, www.ru.wikipedia.org

Вероятность мала, но не равна нулю, и глобальные катастрофы на Земле уже происходили. Но даже встреча с небольшими телами не сулит ничего хорошего – они могут пробить обшивку спутников, на которых держится навигация, повредить внешнюю аппаратуру, вывести из строя солнечные батареи. Сейчас мы мало что можем сделать для защиты, только следить за потенциально опасными объектами. Важна еще теоретическая поддержка такого мониторинга – составление баз данных и расчет орбит опасных астероидов. В Петербурге над этим работают в Главной астрономической обсерватории (РАН), в Институте прикладной астрономии и в СПбГУ.

Но обнаружить опасный астероид – полдела. А как избежать катастрофы? Это уже сложная технологическая проблема, пока не решенная. Маленькие астероиды можно подорвать, а большие надо уводить с орбиты. Последняя задача наиболее интересная, она привела к всплеску идей, над которыми сейчас работают, – от возможности испарения части газов с поверхности кометы (чтобы под действием возникших реактивных сил она ушла с опасной орбиты) до забрасывания одной стороны астероида мелом, чтобы создать неравномерность прогрева его поверхности. В этом случае астероид, как подкрученный бильярдный шар, может уйти по неожиданной траектории.

– **Что произойдет, если ученые найдут следы жизни на других планетах?**

– На эту задачу работают и наземные телескопы, и космические. Самые впечатляющие результаты получены при помощи «Кеплера». Он целенаправленно искал только внесолнечные планеты и за время своей работы подтвердил существование более тысячи внесолнечных планет, а еще около 5 тысяч объектов назвал кандидатами. Далее нас должны интересовать планеты земного типа, в первую очередь, сравнимые с Землей по массе. Кроме этого, чтобы говорить о возможной

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА БУКВАЛЬНО НАБИТА МАЛЫМИ ТЕЛАМИ, ЧАСТО БОЛЬШИМИ «КАМЕНЮКАМИ»

жизни на планете, она должна находиться в зоне обитания – не слишком далеко от своего солнца и не слишком близко. Нужна вода, не очень молодой возраст и т.д.

Совсем недавно произошло сенсационное открытие маленькой солнечной системы из семи планет TRAPPIST-1. Это триумф нескольких групп астрономов. Сначала в 2016 году на телескопе TRAPPIST в Чили открыли три планеты в системе. Ее стали наблюдать еще на нескольких наземных телескопах, а в 2017 году к наблюдениям присоединился космический телескоп «Спитцер». Урожайный результат – семь планет, три из которых в зоне обитания. Сама система не похожа на нашу, ее звезда очень маленькая – раз в десять меньше Солнца, так называемый коричневый карлик. Таких звезд больше всего в Галактике, и они очень долго светят за счет энергии термоядерных реакций, что дает большой запас времени для возникновения жизни. Это наводит на мысль, что именно на планетах вокруг таких многочисленных и долгосветящихся звезд можно найти следы жизни. Что это даст? Мы уменьшим неопределенность коэффициентов в формуле американского радиоастронома Дрейка, которая дает вероятность обнаружить внеземной разум и зависит от частоты встречаемости жизни на планетах. Мы лучше станем понимать, каковы должны быть условия для зарождения жизни и почему жизнь возникла в Солнечной системе. И, наконец, мы начнем больше ценить сам феномен жизни. ■