

Продолжение. См. № 17–20/05

Проф. **Б.И.ЛУЧКОВ**, МИФИ, г. Москва

# Элементарная астрофизика и космология

## ДЛЯ ШКОЛЬНОГО КУРСА ФИЗИКИ

### Учебный план курса

№ газеты	Лекция
17	<b>Лекция 1.</b> Наш космический дом: Солнце, планеты, Земля
18	<b>Лекция 2.</b> Энергетика звёзд. Галактики, скопления галактик
19	<b>Лекция 3.</b> Эволюция звёзд – от протозвёзд до Сверхновых. <b>Контрольная работа № 1</b> (срок выполнения – до 15 ноября 2005 г.)
20	<b>Лекция 4.</b> Образование элементов (таблица Менделеева)
21	<b>Лекция 5.</b> Иные миры (экзопланеты, проблема <i>SETI</i> )
22	<b>Лекция 6.</b> Космологические модели. Вселенная Большого взрыва. <b>Контрольная работа № 2</b> (срок выполнения – до 30 декабря 2005 г.)
23	<b>Лекция 7.</b> Эхо из прошлого – реликтовое излучение. Стандартная модель Вселенной
24	<b>Лекция 8.</b> Нерешённые проблемы: чёрные дыры, тёмная материя, тёмная энергия, антропный принцип, барионная асимметрия мира
<p><b>Итоговая работа.</b> В качестве итоговой работы засчитывается разработка занятий по одной из тем, рассматриваемых в рамках данного курса. На основе этой разработки слушателем должен быть проведён урок (уроки). Краткий отчёт о его (их) проведении в виде конспекта мероприятия на трёх листах А4, фотографий с места событий и справка из учебного заведения (акт о внедрении) должны быть отправлены в Педагогический университет не позднее 28 февраля 2006 г.</p>	

### ЛЕКЦИЯ 5. ИНЫЕ МИРЫ (ЭКЗОПЛАНЕТЫ, ПРОБЛЕМА *SETI*)

В далёком созвездии Тау Кита  
Всё стало для нас непонятно...  
*В.Высоцкий*

Пылкие мечтатели давно мысленным взором видели их. Греческий философ *Эпикур* полагал, что других миров, как атомов, бесконечно много. С ним не был согласен *Аристотель*, считавший Землю центром мира, а потому уникальной. Его авторитет сдерживал романтиков два тысячелетия, пока Коперник не обнаружил свою гелиоцентрическую систему, в которой Земле отвёл скромное третье место в семье солнечных планет. А вскоре *Галилео Галилей* увидел в телескоп подобие иной планетной системы – четыре спутника Юпитера. Если даже планеты имеют собственные спутниковые хозяйства, почему их не иметь другим звёздам? *Джордано Бруно* был настолько в этом уверен, что даже угрозы

святой инквизиции не остановили его. В XX в. *Фрэнсис Дрейк*, уже не боясь никакой инквизиции, ввёл в свою формулу поиска цивилизаций коэффициент, учитывающий образование планет, к сожалению, самый неопределённый.

В наше время вопрос об обитаемых мирах стал научно изучаемым. Не всё вещество газового облака сжимается в центральную звезду, остаётся «строительный материал» для протопланетного диска. Из него под воздействием звезды и центробежных сил формируются планеты. Надо показать, что первое необходимое условие существования других миров – наличие удобных для жизни планет – есть установленный факт. Искать – у ближайших звёзд, и, если нужны обитаемые планеты, около звёзд солнечного типа: одиночных, спокойных, не очень массивных и не очень горячих. Спектральный класс Солнца G2. Вот и надо обследовать G-звёзды, а заодно F и K (несколько более горячие и более холодные). Поиск планет у звёзд дал неожиданные результаты.

#### 1. Внесолнечные планеты (экзопланеты)

На пыльных тропинках далёких планет  
Останутся наши следы...

*В.Войнович*

Ближайшие звёзды – на расстоянии 5–50 пк. Разрешающая способность современных крупных телескопов не позволяет воочию увидеть планету вблизи звезды. На помощь пришёл спектральный анализ. По закону Кепле-

\*Редакция приносит извинения читателям за допущенные по её вине неточности. Следует читать:

– № 17, с. 16, правая колонка, 2-й абзац: ...TRACE и SOHO (обе NASA, ESA)...

– № 18, с. 15, правая колонка, формула 2:  $4^1\text{H} \rightarrow 4^2\text{He} + 2e^+ + Q$ ;

– № 18, с. 16, левая колонка, последний абзац: ...изотопы лития ( ${}^7_3\text{Li}$ )...

ра, звезда и планета обращаются вокруг общего центра тяжести. Прямыми наблюдениями заметить движение звезды невозможно. Но оказалось доступным измерить его – по смещению линий излучения в спектре звезды (эффект Доплера). Движение звезды по «ненаблюдаемой» орбите вызывает периодическое смещение линий в спектре, что указывает на присутствие планеты. По измерению смещения линий и периоду определяют массу  $M$  планеты, но неоднозначно, т.к. неизвестна плоскость орбиты планеты. Вычисления дают  $M \cos \alpha$ , где  $\alpha$  – угол между плоскостью орбиты и лучом зрения. Найденные значения будут несколько меньше реальных масс планет, но для начала и они представляют огромный интерес. Именно так были открыты в 1990-х гг. десятки экзопланет. Но «первые ласточки» планетной весны появились неожиданно.

**Планеты у пульсаров.** Пульсары – быстро вращающиеся нейтронные звёзды, регистрируемые по периодическим радиосигналам. Их пульсирующее излучение выдерживается с удивительной точностью – это природные хронометры, малейшие уходы и сбои которых связаны с процессами в их окрестностях. И вот у двух пульсаров обнаружили малые биения периода. Гармонический анализ выявил их периодичность, из чего следовало, что у этих нейтронных звёзд есть планеты, обладающие определёнными массами и орбитами (полуось, период, эксцентриситет). Высокая точность временных измерений позволила «засечь» планеты очень малых масс, что не под силу другим методам. У пульсара PSR 1257+12 обнаружено 4 планеты массами  $(0,02 \div 100)$  масс Земли ( $M_3$ ). Целая планетная система.

Сторонники множественности миров могли быть в восторге. Но не тут-то было! Это неожиданное открытие поставило в тупик. Дело в том, что нейтронная звезда образуется при взрыве Сверхновой, и совершенно непонятно, как могли его перенести планеты. Может, пульсарные планеты нечто совсем другое – сгустки выброшенного вещества? В любом случае такие планеты совершенно непригодны для жизни. Обратимся лучше к тем, которые были найдены вблизи спокойных звёзд.

**Горячие «юпитеры» и «сатурны».** Метод, основанный на анализе звёздных спектров, постепенно совершенствуясь, привёл к открытию планет у ближних звёзд. Он оказался настолько удачным, что число экзопланет стало быстро расти (сейчас их более 120). От ближних звёзд перешли к более далёким, а их число растёт как  $r^2$ , что обеспечивает быстрый прирост семьи «опланетённых» звёзд. Лидер поиска экзопланет – Южная европейская обсерватория (Чили) со спектрографом *HARPS*.

Экзопланеты имеют большие массы, до десяти масс Юпитера ( $M_{Ю}$ ), что неудивительно, т.к. влияние тяжёлой планеты на звезду заметить легче. Неожиданно другое: «экзояпитеры» расположены очень близко к звёздам. Их периоды обращения – сутки и месяцы (период нашего Юпитера 11,8 года). Ближние массивные экзопланеты совсем непохожи на солнечные: они горячие и страшно активные. Своим гравитационным воздействием они возмущают всю планетную систему. Если учесть их вытянутые орбиты (эксцентриситет  $e = 0,3 \dots 0,7$ , в то время как у наших он не превышает 0,1),

воздействие настолько сильно, что малые планеты будут выкидываться из системы. Земле не грозит такая участь, в частности потому, что орбита Юпитера, главного нашего возмутителя, почти круговая, и он достаточно далёк.

За «юпитерами» были открыты «сатурны» и «ураны» (масса самой лёгкой экзопланеты  $14M_3$ ) – менее массивные, но столь же близкие, с короткими периодами (десять дней) и температурой в тысячи градусов. О пыльных тропинках на таких планетах можно забыть. Раскалённая земная пустыня просто райский уголок по сравнению с ними.

Пока у звёзд обнаружены только одиночные планеты (только у звезды  $\nu$ And найдена система из трёх планет), но это самое начало. Нет сомнения, что более точные наблюдения откроют целые планетные системы. Экзопланеты демонстрируют большое разнообразие физических свойств и параметров орбит. Природа, как бывало и раньше, оказалась богаче наших предположений. Самая далёкая внесолнечная планета, на расстоянии  $1,5 \cdot 10^4$  св. лет (полрадиуса Галактики), открыта методом микролинзирования – ещё один перспективный путь исследования. Это тоже далёкий «юпитер».

**Внесолнечные «земли».** Чувствительность спектрального метода пока недостаточна для их обнаружения. Первая «экзоземля» была «увидена» совсем по-другому – методом покрытия центральной звезды. С 1994 г. американские астрономы вели наблюдения за звездой  $\epsilon$  Дракона. Для непрерывности наблюдений использовалась сеть из десяти телескопов на разных континентах. Было обнаружено небольшое уменьшение блеска звезды, вызванное, как полагали, прохождением тёмного тела (планеты) перед её диском (как Меркурия по диску Солнца). Выходит, нам здорово повезло: наблюдатель находится практически в плоскости планетной орбиты. Из полученных данных следует, что диаметр планеты составляет примерно два диаметра Земли. Этот важный результат будет проверен на больших телескопах, только тогда можно будет с уверенностью сказать, что далёкая сестра Земли действительно найдена.

**Возможности новых телескопов.** Фронт исследований далёких планет очень широк. Лавина открытий будет нарастать. Очевидно, скоро будут получены достоверные данные об экзопланетах земного типа, и списки других миров (с пыльными тропинками, стадами неведомых зверей) будут мелькать на экранах. Только не надо забывать, что полученные свидетельства по экзопланетам – косвенные и не очень точные. А что если измененное  $M \cos \alpha$  даст массу не Юпитера, а небольшой звезды (тело массой  $M > 10M_{Ю}$  – уже звезда, в недрах которой идёт термоядерный синтез)? В таком случае большинство сенсационных открытий – лишь тесные двойные звёзды, и мечта о далёких мирах так и остаётся мечтой. Нужны прямые свидетельства планет у ближних звёзд, столь же ясные, как хрестоматийные наблюдения Галилеем четырёх спутников Юпитера. Научная общественность давно это понимала. Новое поколение телескопов-гигантов, в настоящее время заполняющих обсерватории, готово выполнить задачу прямого поиска экзопланет. В списке дел этих загрузочных аппаратов обязательно стоит пункт обзора ближайших звёзд с точнос-

тью не хуже 0,1", что достаточно, чтобы увидеть планету. Особый интерес – к новому космическому телескопу *JWST* (диаметр 6,5 м), запуск которого ожидается в 2011 г. Среди приоритетных задач – наблюдение планет типа Юпитера у всех одиночных звёзд до  $r = 8$  пк. Стоимость *JWST* – 2 млрд долларов. Воплощение мечты о далёких мирах дорого стоит! Идёт подготовка миссии «Кеплер» по поиску планет около старых звёзд, где больше вероятность найти развитую цивилизацию.

## 2. Внеземные очаги жизни

После эпохи Великих географических открытий, принёсших новые виды флоры и фауны, Земля полностью исчерпала показ своего биологического богатства. Все расы и племена известны, растительный и животный мир изучен. Нет больше таинственных островов и затерянных миров. Поиски легендарной Шамбалы и неуловимого снежного человека – последние аккорды великой эпохи (если не бесплодные попытки её реанимации). Но Земля – лишь песчинка в космическом океане. Неужели земным миром исчерпываются все формы живой материи во Вселенной?

Самое простое, технически доступное средство связи с далёкими мирами даёт радиоастрономия. В 1960-х гг. появилась программа *SETI* (*Search for Extraterrestrial Intelligence* (поиск внеземного разума), начало которой положил проект «Озма» *Ф.Дрейка*. За 40 лет были разработаны методы и проведены наблюдения многих объектов (более 1500 звёзд, 117 планетных систем). Несмотря на значительные силы, не найдено ни одного радиосигнала, который сошёл бы за информационную посылку развитой цивилизации или подслушанный разговор обитаемых миров. В настоящее время проводится проект «Циклоп», в котором участвуют 1000 радиотелескопов, исследуются все звёзды Галактики на длинах волн атомарного водорода ( $\lambda = 21$  см) и радикала ОН ( $\lambda = 18$  см), наверняка известных братьям по разуму. Пока можно заключить: космос не забит сигналами инопланетных радиостанций.

Другое направление – поиски в Солнечной системе внеземных очагов жизни, которые можно исследовать космическими аппаратами.

**Марс.** По климатическим условиям Марс наиболее схож с Землёй, находится в 1,5 раза дальше от Солнца и получает в 2,25 раза меньше солнечной энергии. Климат Марса даже в экваториальных районах очень суровый. Средняя температура – около  $-40^\circ\text{C}$  (на Земле  $+15^\circ\text{C}$ ). Летом дневная сторона планеты прогревается до  $20^\circ\text{C}$ , зимней ночью температура опускается до  $-125^\circ\text{C}$ . Резкие колебания температуры в течение суток обусловлены сильной разреженностью марсианской атмосферы, в 150 раз менее плотной, чем земная. Из-за малой плотности атмосферы часто дуют сильные (до 100 м/с) ветры, вызывая длящихся месяцами пылевые бури. Атмосфера планеты почти лишена кислорода, без чего жизнь (в земных формах) невозможна. Кислорода в марсианской атмосфере меньше 1%, зато много углекислого газа (95%), есть азот и аргон (4%). Для человека и животных этот состав убийствен, но некоторые простейшие формы могли бы существовать. Отметим ещё почти полное отсутствие на Марсе открытой воды, малую (в 3 раза меньше

земной) силу тяжести и почти замершую вулканическую и сейсмическую активность. Раньше планета была, напротив, очень активной, о чём говорят потухшие вулканы – самые большие в Солнечной системе. Рекордсмен Олимп (высота 27 км, диаметр кратера 90 км) – одно из чудес мира. Заметно присутствие водяного пара в атмосфере – по редким наблюдаемым облакам и туманам в марсианских ущельях. Климат Марса миллионы лет назад был совсем другим, что видно по многим косвенным признакам (отсутствие старых кратеров, высохшие реки). Погода на Марсе капризна и изменчива. Замечено, что марсианский климат становится всё суше и холоднее.

И всё же Марс считается основным очагом внеземной жизни в Солнечной системе. *Дж.Свифт*, *Г.Уэллс*, *А.Толстой* так вдохновенно описывали загадочный мир марсиан, что не поверить было просто невозможно. А тут ещё подоспела загадка марсианских каналов.

*Страсти по каналам.* Первым их увидел итальянский астроном *Дж.Скиапарелли* во время Великого противостояния 1877 г.: тончайшую сеть линий, покрывающих всю планету и едва различимую глазом. Рисунки, сделанные во время сеансов, показали множество линий, названных *каналами*, сходящихся в узлах и расходящихся не хаотично, а, казалось, по определённом плану. Каналы походили на искусственные образования. Вскоре их заметили другие наблюдатели. Особое рвение проявил американец *П.Ловелл*, построивший специальную обсерваторию для изучения Марса. Он «подвёл базу»: каналы – это ирригационные сооружения для перевода воды из полярных широт в засушливые районы. Его не смутили размеры этих циклопических арыков, ширина которых, если учесть расстояние до Марса, составляла сотни километров. Он предположил, что сами каналы не различимы, а наблюдаемые линии – это полосы орошаемой земли, покрытые густой растительностью. Марс не просто обитаемая планета – это очаг высокоразвитой цивилизации, способной на такую титаническую деятельность. История с каналами тянулась вплоть до 1960-х гг., когда наши «Марсы» и американские «Маринеры» вышли на прицельное расстояние, с которого каналы должны были предстать во всей красе. Потрясение было неожиданным и сильным – их просто не оказалось! Детальные снимки «Маринера-4» (1965 г.), показали, что сеть линий – оптическая иллюзия, вызванная цепочками кратеров, разломами и другими деталями ландшафта. Спускаемые американские КА «Викинги» передали панораму марсианской поверхности – безжизненной красноватой пустыни, где только камни и песок (рис. 1). Миф об Аэлите и племени могучих марсиан оказался сказкой.

Не дали положительных результатов пробы марсианского грунта, проведённые «Викингами» в месте посадки. Все тесты на биологическую активность (следы фотосинтеза, характерные химические реакции на содержание бактерий) ничего не дали. Живых организмов, даже самых примитивных, в марсианском грунте не обнаружили (по крайней мере на глубинах до 10 см).

*Марсианские хроники.* Марсианская программа исследований знала и громкие успехи, и досадные неудачи. По числу пропавших космических аппаратов Марс намного опережает другие планеты – программа «Бермудский треугольник Солнечной системы». Только за пос-

ледние 15 лет были по разным причинам потеряны «Фобос-1» и «Фобос-2» (1988 г.), «Mars Observer» (1992 г.), «Марс-96», «Mars Climate Orbiter», «Mars Polar Lander» (1999 г.). Срывались планы, гибла уникальная аппаратура – Марс цепко охранял свои тайны. Но шаг за шагом программа продвигалась вперёд.

Большой успех выпал на долю миссий «Mars Global Surveyor» (MGS) и «Mars Pathfinder» (MP), несколько лет проводящих исследования на марсианской орбите. MGS снял карты всей планеты, его снимки высокого разрешения позволили сделать много открытий. В частности, была снята завеса с тайны «марсианского Сфинкса», снимка, полученного «Викингом», на котором просматривалось человеческое лицо рядом с объектом, похожим на пирамиду. Тот же участок на снимке MGS оказался бесформенной грудой камней – «Сфинкс» оказался оптическим обманом (см. «Физику» № 1/04. – *Ред.*). Лазерный высотомер на борту КА позволил получить изображение полярных шапок планеты с точностью до 5 м. Аппарат MP выполнил уникальную операцию – высадил на поверхность планеты марсоход «Sojourner» («Посетитель»), который определял состав камней и грунта. Марсианские породы оказались близки нашим базальтам. Геологическое строение этого места очень похоже на земную каменистую пустыню (см. рис. 1).

Исследования показали, что в прошлом вода на Марсе была в большом количестве. Снимки высохших рек в сотни километров похожи на наши равнинные реки (рис. 2) и бурные горные потоки. В северном полушарии Марса, обширной равнине, по-видимому, существовал водный океан. К такому выводу пришли исследователи, сравнивая видимые структуры по краям равнины с предполагаемой линией воды. Наличие океана должно было отразиться на составе и плотности атмосферы. Очевидно, климат древнего Марса был более влажным и тёплым, а атмосфера – более насыщенной кислородом. В связи с этим – вопросы: существовала ли раньше на Марсе жизнь? сохранилась ли она до сих пор в глубинах планеты? какая катастрофа изменила климат и уничтожила биосферу? Ответы на них имеют отношение не только к истории Марса – они важны, чтобы ясно понимать, что может ожидать Землю.

*Посланец Красной планеты.* Не только мы шлём аппарат за аппаратом к Марсу; есть встречное движение – от Марса на Землю. Время от времени в земную атмосферу вторгаются метеориты, и некоторые из них прилетают с Красной планеты. То, что они именно оттуда, определяется по ана-

лизу оставшихся внутри газов, которые имеют характерный марсианский состав, сейчас хорошо известный. Таких посланцев более десяти.

Как они попали на Землю? Очень просто. Какой-то шальной астероид врезался в марсианский грунт (разреженная атмосфера не может защитить) и выбил с поверхности камень. Если скорость камня больше второй космической, он уйдёт из зоны

притяжения планеты и станет космическим странником. Проблуждав миллионы лет, может пересечься с Землёй и выпасть метеоритом. Так и случилось с камнем ALH 84001 (2 кг), который подобрали в Антарктиде. Анализ показал, что он покинул Марс 16 млн лет назад, долго блуждал в космосе, упал на Землю и пролежал здесь 13 тыс. лет. Интерес к нему проявили специалисты по палеобиологии – новой науке, занимающейся исследованием останков древних микроорганизмов в минералах. Для земных образцов разработаны надёжные методы анализа палеобактерий. Их применили к марсианскому камню. В срезах под электронным микроскопом нашли следы древних микроорганизмов (рис. 3): углеродно-кремниевые глобулы размером несколько меньше, чем земные аналоги. Возможность засорения земными бактериями исключена, т.к. число останков увеличивалось с удалением от поверхности метеорита.

Если поверить сообщению, на Марсе миллионы лет назад существовала жизнь в самых зачаточных формах. Что стало с ней? Прошла ли она, как земная, эволюционный путь или оборвалась на каком-то этапе? Дискуссия об ALH 84001 не утихает до сих пор. Несомненно, всё, что найдено внутри камня, – марсианского происхожде-



Рис. 2. Высохшая марсианская река Ниргал



Рис. 1. Панорама марсианской поверхности – каменистая пустыня

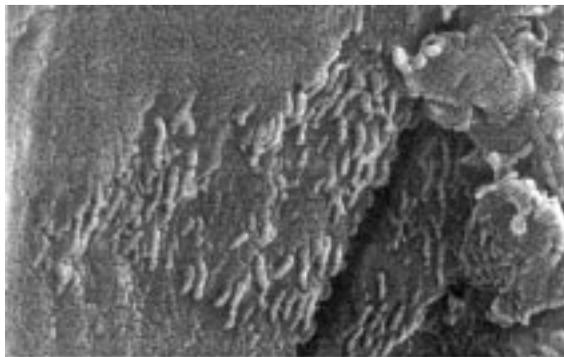


Рис. 3. Снимок среза метеорита ALH 84001 в электронном микроскопе. Видны образования, напоминающие следы палеобактерии

ния. Но являются ли глобулы останками микроорганизмов? Не возникли ли они в результате нагрева камня при ударе астероида? По-видимому, это всё же следы бактерий, т.к. рядом с ними нашли микрокристаллы, вырабатываемые только живыми организмами. Кроме того, магнитные исследования (остаточной поляризации) показали, что температура внутри не была выше 40 °С.

Надо продолжить исследования – с образцами, взятыми на Марсе сейчас и доставленными на Землю. Такая операция требует больших усилий, в первую очередь со стороны создателей КА. Экспедицию планируют провести не ранее, чем через 10 лет. Намного проще было бы привезти образцы со спутника Фобос. В 1988 г. КА «Фобос» были направлены для обследования спутников Марса. «Фобос-2» настолько сблизился с марсианским тѣжкой, что стал его спутником, – уникальный случай в космонавтике. Экспедиция должна была завершиться посадкой аппарата на спутник для анализа его пород, самых древних на Марсе. Они могли бы поведать о ранней истории планеты, о «семенах жизни», блуждающих в космосе. Но с КА была потеряна связь, и главная часть программы осталась невыполненной.

**Фобос и Деймос.** Марс полон загадок. Чрезвычайно загадочны его спутники. Необычно, что их два и они находятся на близких орбитах, что затрудняет наблюдение. Оба были открыты в 1877 г. американским астрономом Холлом как две слабые «звѣздочки», вращающиеся вокруг Марса. Быть может, автора поразило их быстрое движение напереконки друг за другом, и он назвал «парочку» *Страхом* и *Ужасом* (таковы их имена в переводе с греческого).

Следующая загадка ещё удивительнее. За 150 лет до открытия Фобос и Деймос были известны *Дж.Свифту*, который так описал их в путешествии Гулливера в страну Лапуту: «Кроме того, они (лапутские астрономы) открыли две маленькие звезды, или два спутника, обращающиеся около Марса. Ближайший удалѣн от центра планеты на расстояние, равное трѣм его диаметрам, второй находится от неё на расстоянии пяти таких же диаметров». Это просто фантастика! Орбиты указаны очень точно (с ошибкой всего 30%), спутников действительно два, и они на самом деле выглядят слабыми звѣздочками! Жаль, что лапутяне заодно не поведали Гулливеру, есть ли жизнь на Марсе, и если есть, то в какой форме. Нам бы это сейчас очень помогло. Однако, если поду-

мать, ничего сверхъестественного в сообщении Свифта нет. Он был вдумчивым человеком, хорошо знал астрономию – и правильно предугадал спутники Марса.

Близкое расположение Фобоса к планете вызвало его слабое, но заметное торможение на остаточной атмосфере, на основании чего *И.С.Шкловский* выдвинул гипотезу об искусственном происхождении спутников, подробно рассмотренную им в книге «Вселенная, жизнь, разум». Согласно автору, спутники имеют малый удельный вес, и следовательно, большую поверхность, что и вызывает торможение ближайшего из них. А малый удельный вес просто потому, что они полые внутри, т.е. искусственные. Это космические станции, созданные высокоразвитой цивилизацией с целью освоения космоса. Действительность, однако, опровергла заманчивую идею: Фобос и Деймос, снятые космическими аппаратами, оказались естественными телами, усеянными кратерами, а торможение Фобоса – просто ошибкой наблюдений. Увы, не было развитой цивилизации на Марсе, которая могла сотворить гигантские искусственные спутники.

**Вода на Марсе.** Новый посланец – КА «Одиссей» (NASA) в октябре 2001 г. завершил полѣт к Красной планете и стал её спутником. Состав научной аппаратуры: фотокамеры видимого и ИК-диапазонов, дозиметр, гамма-спектрометр, нейтронные детекторы. Один из них – детектор нейтронов высоких энергий *HEND*, главная цель которого – получение изображения Марса в «нейтронном свете», что даст сведения о составе марсианских пород. Нейтроны вырываются из ядер в результате бомбардировки поверхности космическими лучами. Быстрые нейтроны испытывают упругое рассеяние, при котором они замедляются до тепловой энергии, и захватываются ядрами среды с возбуждением и последующим испусканием гамма-излучения, строго индивидуального для каждого элемента. Спектр гамма-линий определяет состав марсианских пород. Отдельная задача *HEND* – сопоставление потоков нейтронов разных энергий. В состав детектора входят сѣтчички, регистрирующие тепловые (0,4–1 эВ), промежуточные и быстрые (1 кэВ–10 МэВ) нейтроны. Замедление нейтронов в основном происходит на лёгких ядрах, наиболее эффективно – на ядрах водорода. Это связано с тем, что протон и нейтрон имеют одинаковые массы ( $m_p \approx m_n = m$ ). В общем случае после рассеяния нейтрона энергией  $E$  на ядре массы  $M$  он может иметь энергию от  $E_{max} = E$  до  $E_{min} = E(M - m)^2 / (M + m)^2$ . В среднем он теряет (передает ядру)  $\Delta E = (E_{max} - E_{min}) / 2$ , откуда следует, что на протоне ( $M = m$ ) потеря составит 50%, на углероде ( $^{12}\text{C}$ ) – 14%, на тяжѣлом ядре ( $M \gg m$ ) – 0 (как горох об стенку). Там, где много водорода (подземной воды), поток тепловых нейтронов будет доминировать, а там, где водорода нет, будет больше нейтронов высокой энергии.

Детектор, облетающий Марс по круговой орбите, «сканирует» потоки нейтронов, выходящих из слоя глубиной в нескольких метров, и по соотношению быстрых и медленных нейтронов определяет места, где много воды (льда). Избытки тепловых нейтронов найдены в южном полушарии, в интервале широт от  $-30^\circ$  до  $-50^\circ$ , в области Терра Арибия. С большой вероятностью там – скрытые резервуары воды. Отдельные очаги тепловых нейтронов видны в других местах планеты, даже в рай-

оке экватора. Что они представляют собой, пока неясно. (Может быть, нефть?) Избыток тепловых нейтронов у подножия полярных шапок – дело водяного льда в местах вечной мерзлоты. Обнаруженные аномалии нейтронных карт Марса сулят новый захватывающий этап исследований. Они указывают, где надо проводить поиск живых организмов.

В поиск воды включились марсоходы «*Spirit*» и «*Opportunity*» (ещё один, «*Beagle-2*», разбился при посадке). Воду искали в местах, где по полученным картам её следовало ожидать (ущелья, глубокие кратеры). За 2 года поисков не было найдено открытой воды, даже следов грязи.

Ещё один интересный (и тревожный) результат: поверхность Марса, по данным бортового дозиметра, радиоактивна. Это следствие той же незащищённости от космических лучей и образования потоков нейтронов в грунте. Становится понятным отсутствие каких-либо форм жизни в поверхностном слое, где проводились первые поиски. Там жизнь подавлена радиацией. Если она где-то существует, то только глубоко под поверхностью.

Радиоактивность надо учитывать при планировании космической экспедиции с высадкой космонавтов на Марс (около 2020 г.). Марс, хоть и является лучшей резервной планетой, где человек может находиться со сравнительно простыми средствами жизнеобеспечения, конечно же, не сравнить с Землёй. Жизнь поселенцев на Марсе будет намного труднее и опаснее, чем в радиационной Чернобыльской зоне.

### Европа – спутник Юпитера

Вторым «очагом жизни», как это ни странно, может оказаться спутник Юпитера – Европа. Юпитер и его свита из семнадцати спутников слишком далеки от светила, получают мало света и тепла, их мир жутко холоден и, казалось бы, непригоден для жизни. Тем не менее именно там она могла зародиться и просуществовать до наших дней.

*Хозяйство Юпитера.* Самые крупные спутники планеты открыл Галилей в 1610 г., проведя первые наблюдения в телескоп. Он назвал их *Ио*, *Европа*, *Ганимед* и *Каллисто*. Галилеевы спутники Юпитера – тела размером с Луну и Марс. Другие спутники, открытые в наше время, очень малы.

Физические условия на галилеевой четвёрке определяются Юпитером, притяжение которого вызывает огромные приливные силы, формирующие их внутреннее строение и внешний вид. Большое влияние оказывают магнитное поле Юпитера, его мощный радиационный пояс и порождаемое им жёсткое излучение. По мере удаления от «хозяина» спутникам уделяется все меньше внимания – они становятся более застывшими. Ио (по мифологии, первая возлюбленная Зевса) подвержен наибольшему влиянию. Его внутренние слои под воздействием мощных приливных сил находятся в расплавленном состоянии, а на поверхности наблюдается постоянная вулканическая и сейсмическая деятельность. Известны 80 действующих вулканов Ио, извергающихся непрерывно (за 30 лет наблюдений), – явление совершенно несопоставимое с земным вулканизмом. Видны мощные потоки лавы, огромные облака пепла и дыма. Шлейф самого

большого вулкана Прометей тянется на сотни километров. Разряды молний показывают огромные, напряжением до 400 кВ, электрические поля. По оценкам, всего действующих вулканов более 300. Более адскую картину трудно представить. Жизнь на Ио невозможна.

Европа гораздо спокойнее. Она тоже не обойдена вниманием (бог когда-то высмотрел её и увёз к себе на Крит), приливные силы разогревают её центральное ядро, но всё же не в такой степени. Большой вулканической активности не замечено. Европа и следующие Ганимед и Каллисто полностью покрыты льдом, что неудивительно из-за большого расстояния от Солнца, световой поток которого у Юпитера в 25 раз меньше, чем на Земле. Там царит вечная суровая неземная зима. И всё же условия на этих спутниках очень разнятся. Если Ганимед и Каллисто – мёртвые тела, у которых практически нет внутренней энергии, Европа, разогреваемая Юпитером, ещё «жива». Под её ледяной оболочкой что-то происходит, должен быть выход энергии, может быть, есть скрытые вулканы. Первыми обследовали мир Юпитера два «Пионера». Они проследовали без задержки, телекамеры передали изображения спутников со сравнительно большого расстояния, не очень чёткие. В 1976 и 1979 гг. систему Юпитера посетили «Вояджеры», снимки которых оказались на порядок лучше. Были открыты вулканы на Ио, ледяные панцири остальных спутников, детали их поверхности. Удивительной предстала Европа – ни больших гор, ни глубоких впадин, гладкий ледяной шар, практически без метеорных кратеров. На Ганимеди и Каллисто их очень много, на Европе почти нет. Почему? Метеорные потоки не могут обойти Европу стороной. Значит, следы их падения здесь недолговечны. Ледяная поверхность Европы быстро обновляется, затягивая раны, – она подвижна в отличие от застывшей поверхности «мёртвых» спутников, веками накапливающей метеорные следы. Было предположено, что это следствие наличия воды подо льдом. Вся Европа – сплошной «Ледовитый океан», покрытый толстой коркой льда, который находится в постоянном движении. А жидкий океан подо льдом – результат выделения внутренней энергии через извержения подводных вулканов.

Картину прояснил КА «Галилео», который в 1995 г. стал спутником Юпитера и мог проходить вблизи его лун. Вот тут появились их снимки самым крупным планом. За годы работы на орбите «Галилео» много раз сближался с четвёркой спутников (до 1000 км и менее). Обнаружены новые вулканы на Ио, открыты собственные магнитные поля спутников, показавшие, что их недра не совсем застыли, наблюдались полярные сияния на Ио. Всё это очень интересно, но наибольшее внимание – к Европе: есть ли подлёдный океан?

*Ледяные поля Европы.* Характерный снимок Европы показан на с. 1. Обращают на себя внимание параллельные полосы протяжённостью в сотни километров. С большого расстояния они казались искусственными образованиями (опять иллюзия марсианских каналов), но, снятые вблизи, отчётливо показали свою суть. Не такие уж они прямые и параллельные. Их появление можно объяснить совместным действием приливных сил Юпитера и процессов осаднения подлёдной воды. Большая приливная волна выгибает ледяную кору по длин-

ной дуге и образует трещину, сквозь которую просачивается вода. Температура на поверхности  $-130^{\circ}\text{C}$ , вырвавшаяся вода сразу замерзает, образуя ледяные гребни по сторонам трещины. Они нарастают до тех пор, пока своей тяжестью не продавливают лёд. Возникает вторая подобная трещина, потом ещё. Процесс повторяется несколько раз. Смещение приливной волны создаёт ряд длинных трещин и ледяных гребней на соседних участках. Недавно возникшие структуры чётко видны, они почти прямые. Старые – изогнутые, заплывшие, что указывает на деформацию поверхности. Ледяной ландшафт Европы напоминает паковые льды Арктики в период весеннего дрейфа: хаотическое нагромождение торосов и ледяных террас. Анализ одних и тех же участков, увиденных в разное время, показал заметные изменения. «Лёд тронулся!» – сказал бы Великий комбинатор. И мог бы добавить: «А это значит, господа присяжные заседатели, что под ним – вода!»

Два последних года «Галилео» продолжал наблюдения, изменив орбиту на более близкую к Юпитеру. Это было рискованно – при приближении к радиационному поясу могли повредиться электронные блоки зонда. Сближения со спутниками стали настолько тесными (до 200 км), что на снимках Европы можно различать детали размером до 1 м! Холмистая равнина со множеством ландшафтных деталей, среди которых бурые пятна в низинах. Бортовой спектрометр показал, что это соль  $\text{MgSO}_4$ , обычный компонент земных морей. Выдавливаемая вода – не пресная, – ещё одно доказательство, что там океан. Гравиметрические измерения дали оценку толщины льда – всего 10 км (вместо первоначальных 50–100 км). Какой мир скрывается в океане под ледяной корой?

*Жизнь во мраке.* Ещё в 1980 г. американский астрофизик Хогланд по первым снимкам ледяного шара Европы высказал предположение о возможности жизни в подлёдном океане. На раннем этапе развития климат Европы мог быть более тёплым и, как на Земле, там существовал водный океан, в котором могла зародиться жизнь. Потом условия стали более суровыми, но времени было достаточно, чтобы живые организмы приспособились к ним, – к жизни без света в глубинах океана, вблизи источников тепла и корма.

Подобные формы известны на Земле. Глубоко в океане обнаружены колонии организмов, от простейших до развитых (крабы-альбиносы, трубчатые черви). Солнечный свет до них не доходит, живут они за счёт тепла и минеральных ресурсов, поставляемых термальными источниками. Подобная жизнь может скрываться на дне океана Европы. В последний год работы, когда КА стал проходить на близких расстояниях, ИК-спектрометр отметил большое количество органических молекул вблизи трещин, но органика – это ещё не жизнь, а необходимая предпосылка её возникновения. Есть ли жизнь в этом «затерянном мире», должны ответить будущие исследования. Понятно, какое колоссальное значение для всей науки имело бы открытие биосферы в таком необычном природном оазисе. Сейчас установлено, что на Каллисто и Ганимеде тоже есть подлёдные океаны.

*Планы и фантазии.* КА «Галилео» сделал своё дело, он может уйти. Однако возникла трудность. Перед запуском аппарат не был стерилизован. Если на Европе

существует жизнь, его нельзя оставлять на произвол судьбы, – упав на поверхность спутника, он может загрязнить его земными бактериями. В NASA долго бились над проблемой и в конце концов сумели спустить аппарат на Юпитер.

Загадка Европы породила новые космические планы. Проект «Ледяной Клиппер» (США) предполагает запуск аппарата, который станет спутником Европы, снизится до высоты 50 км и опустит на привязи надувной шар, скользящий по поверхности. Поднимутся облака снега и пыли, в которых могут оказаться микроорганизмы. Приборы на борту спутника соберут образцы и капсулу с ними отправят на Землю. Более радикальный проект – посадка аппарата на поверхность Европы, проникновение внутрь льда специальных «кратов», анализ образцов, их подъём на орбитальный модуль. Во льду будут размещены звуковые датчики, которые уловят шумы движения ледяной коры и звуки из глубин океана. Земные «жучки» будут подслушивать тайны Европы. Наконец, совсем фантастический проект мини-субмарины «Cryobot», которая опустится на лёд, протопит себе путь в его толще и, достигнув воды, начнёт автономное плавание в подлёдном океане. Полученная информация будет передаваться на командный орбитальный модуль. Прототип прибора проходил испытания в Антарктиде на озере «Восток» и углубился в лёд на 1 км. Не такая уж и фантастика!

Какие из предложенных проектов будут приняты, ещё не решено. Исследования Европы будут обязательно продолжены. Совершенно необходимо выяснить, существует ли подлёдный океан, бесплоден он или населён. Как хочется найти соседние обитаемые миры! Наверное, для того, чтобы не чувствовать себя одинокими в безбрежной, бесчувственной космической пустыне. И решить один из главных вопросов мироздания – о множественности миров во Вселенной.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Какие существуют способы поиска внесолнечных планет?
2. Около каких звёзд обнаружены экзопланеты? Каковы их массы?
3. Почему до сих пор не могут найти внесолнечные «земли»?
4. Что указывает на существование в прошлом на Марсе больших резервуаров воды?
5. Почему поверхность Марса радиоактивна?
6. В чём особенность Европы (спутника Юпитера) и почему она рассматривается как возможный очаг жизни?

#### *Литература*

- Ефремов Ю.Н.* Молчание Вселенной как вызов научному знанию. – Земля и Вселенная, 2003, № 1.
- Жарков В.Н., Мороз В.И.* Почему Марс? – Природа, 2000, № 6.
- Кардашев Н.С.* Космология и проблемы SETI. – Земля и Вселенная, 2002, № 4.
- Лучков Б.И.* Внеземные очаги жизни. – Физика («ПС»), 2001, № 23, 30.
- Лучков Б.И.* Водные ресурсы Марса. – Физика («ПС»), 2002, № 30.