

ГРАНИЦА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Где-то за поясом Койпера влияние Солнца ослабевает – там и начинается граница Солнечной системы.

ПОЛЯРНОЕ СИЯНИЕ

Это удивительное световое явление – результат столкновения солнечного ветра и земной атмосферы – наглядно свидетельствует о влиянии Солнца на нашу планету.

Существует несколько вариантов определения границ Солнечной системы. Согласно одному из них, край Солнечной системы находится от нас на расстоянии двух световых лет. Другие ученые полагают, что влияние Солнца начинает ослабевать уже в нескольких световых часах от Земли.

Граница, где происходит торможение солнечного ветра, называется гелиопаузой.

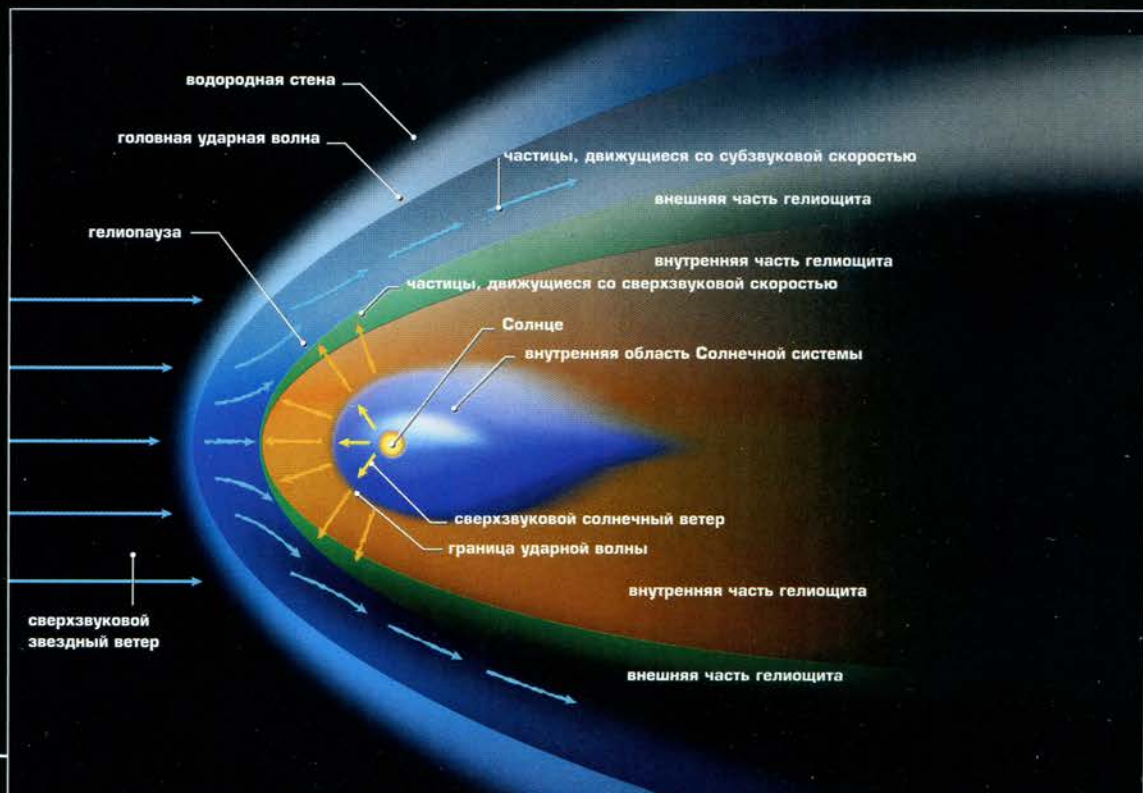
СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР

Солнце воздействует на нашу систему не только гравитацией, но и солнечным ветром. Этот постоянный поток частиц (см. «Наши сведения») летит с поверхности Солнца со скоростью до 3 млн км/ч, постепенно замедляясь и обдувая всю Солнечную систему.

Сталкиваясь с телами, имеющими магнитные поля, солнечный ветер меняет

КРАЙ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

На схеме показаны Солнечная система и ее взаимодействие с межзвездной средой. Поток сверхзвуковых звездных ветров возникает в результате вращения Солнечной системы в Галактике.



траекторию и направляется к магнитным полюсам, где, вступая во взаимодействие с молекулами газа верхних слоев атмосферы, вызывает удивительное по красоте световое явление – полярное сияние.

Если планета или спутник не имеет магнитного поля, потоки ветра проходят мимо объекта, захватывая с собой часть газа его атмосферы. Если атмосфера планеты слишком тонкая, частицы солнечного ветра бомбардируют ее поверхность, иногда изменяя химический состав и даже делая поверхность объекта радиоактивной.

МЕСТО ВСТРЕЧИ

Каждая планета, имеющая магнитное поле, словно отбрасывает тень в общем потоке ветра, т. н. магнитном хвосте. Солнечный ветер деформирует поле так, что его сторона, повернутая к Солнцу, уплощается, а противоположная половина вытягивается на большое расстояние.

Удаляясь от Солнца, солнечный ветер теряет свою силу – где-то за Нептуном она достигает порогового значения, что указывает на начало границы Солнечной системы. Среди планет ветер всегда движется со скоростью, превышающей скорость звука (см. «Глоссарий»), т. е. не менее 100 км/с. Однако когда его скорость падает, образуется ударная волна огромной силы. Ее можно сравнить с ударной волной, которая появляется, когда скорость сверхзвукового самолета опускается ниже скорости звука.



НАШИ СВЕДЕНИЯ РОЖДЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

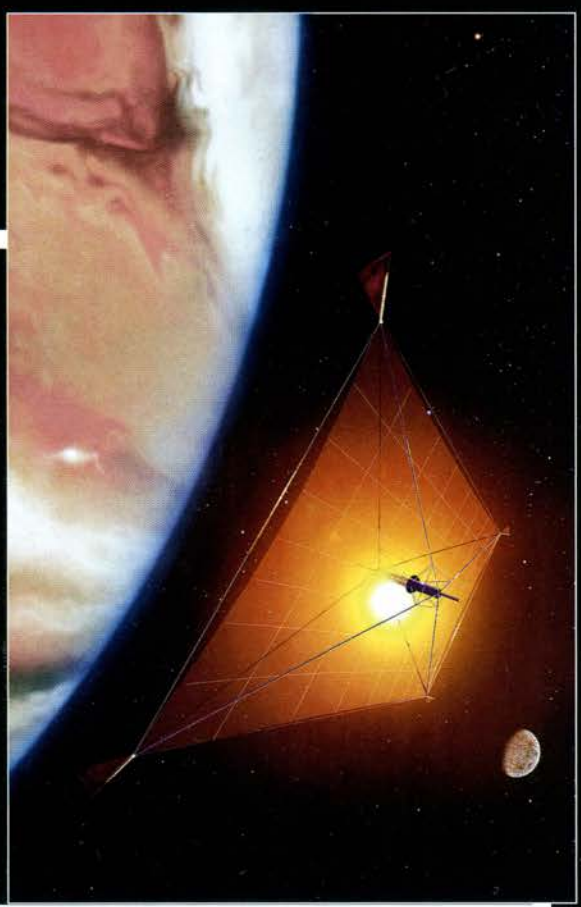
Солнечный ветер состоит из пары компонентов, возникающих в двух разных частях Солнца. Средняя скорость медленного солнечного ветра – 1,5 млн км/ч. Как правило, он рождается в солнечной короне (внешних слоях атмосферы Солнца), в области, находящейся выше экватора, в т. н. поясе стримеров. Однако иногда такой ветер может возникать и у полюсов Солнца в период солнечного минимума, когда его магнитное поле ослабевает до предела. Быстрый солнечный ветер движется со скоростью до 3 млн км/ч, зарождаясь в корональных дырах в магнитном поле Солнца, хорошо заметных в фотосфере (его видимой поверхности) как области пониженной яркости. Ветры состоят из отрицательных электронов и положительных ионов.

ТУРБУЛЕНТНЫЙ ВЕТЕР

По мнению ученых, которые следят за данными «Вояджеров», движущихся к пределам Солнечной системы, оба аппарата уже пересекли эту границу несколько лет назад (см. «Миссии»).

Граница ударной волны представляет собой точку, где солнечный ветер становится турбулентным: однородный поток распадается на множество клубящихся, медленно дрейфующих течений. Более то-

ГЛОССАРИЙ
Скорость звука – скорость движения любых колебаний в определенной среде. Объекты, движущиеся на сверхзвуковых скоростях, меньше подвержены турбулентности, поскольку возмущения, которые они оставляют в среде, не успевают их догнать.



НАУЧНАЯ ФАНТАСТИКА СОЛНЕЧНЫЕ ПАРУСА

В 1619 году немецкий астроном Иоганн Кеплер предположил, что однажды космические аппараты смогут «плыть» на солнечном ветре, однако лишь в 1920-х годах один из пионеров ракетной техники Фридрих Цандер выдвинул мысль, что благодаря одной только радиации Солнце оказывает еще большее (примерно в 5000 раз) давление, чем солнечный ветер. Это заложило основу современной концепции солнечного паруса – огромной зеркальной поверхности, которой оснащается космический аппарат: благодаря относительно слабому, но постоянному ускорению он сможет развить огромную скорость.

Короткий рассказ Артура Чарльза Кларка 1964 года («Солнечный ветер») стал одним из первых научно-фантастических произведений, популяризирующих эту концепцию.

Физик и писатель Роберт Л. Форвард развил идею светового паруса, который может удаляться от родной звезды на большие расстояния, подталкиваемый мощным лазерным лучом.

ПАРУСНИК На рисунке – парусный космический аппарат, проходящий мимо Юпитера.

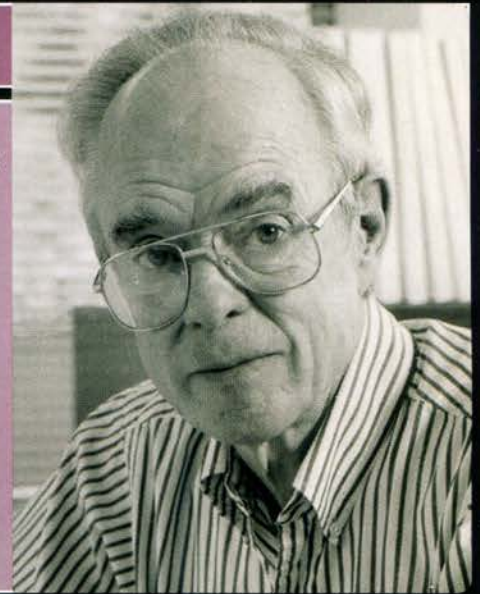


О том, что от Солнца исходят потоки заряженных частиц, пронизывая Солнечную систему, астрономы знали еще в 1850-х годах, однако только спустя сто лет американский астрофизик Юджин Паркер разработал модель солнечного ветра, используемую сегодня. Паркер обнаружил, что, несмотря на сильную гравитацию Солнца, тепла в его внешней короне (температура там, как правило, составляет 1 млн °С и более) достаточно для того, чтобы частицы газа смогли преодолеть гравитацию, вылетая в космос на сверхзвуковой

скорости. Возможно, этим объясняется такое явление, как хвосты комет, всегда развернутые в сторону от Солнца.

Теория Паркера, увидевшая свет в 1958 году, вызвала много споров (астрономы не знают, что именно нагревает солнечную корону до такой огромной температуры), однако она оказалась весьма своевременной – не прошло и года, как первые советские космические зонды «Луна» измерили солнечный ветер.

ПАРКЕР Его теория была подтверждена последующими космическими миссиями.



го, начиная с этого места, солнечный ветер испытывает направленное внутрь давление частиц из остальной части Галактики – межзвездного пространства (МП).

В целом, давление МП является постоянным (хотя оно и меняется по мере движения Солнца в космосе миллионы лет), а «соревнование» между направленным внутрь давлением и исходящим давлением солнечного ветра создает сложную пограничную зону – гелиощит.

ВСТРЕЧА С ГАЛАКТИКОЙ

Наконец, примерно в 130 а. е. от Солнца солнечный ветер становится слабее, чем давление МП, и прекращается на второй границе, называемой гелиопаузой. Она выражена менее четко, чем граница ударной волны, поскольку солнечный ветер и ветры межзвездного пространства смешиваются друг с другом, а субзвуковые частицы, летящие с Солнца, постоян-

ФРОНТ УДАРНОЙ ВОЛНЫ Звезда Мира проносится по Млечному Пути, оставляя за собой огромное скопление газа, или фронт ударной волны, а ее материя сдувается назад в виде длинного турбулентного хвоста.

но дрейфуют к МП и проникают в него. Предположительно, наибольшее значение имеет то, что данная область обозначает границу магнитного поля Солнца, воздействовавшего до этой поры на частицы солнечного ветра от центральной звезды.

Хотя гелиопаузу называют краем Солнечной системы, наше светило продолжает оказывать некоторое влияние на окружающий космос, поскольку граница ударной волны имеет свой эквивалент в МП. Вся наша Солнечная система вращается в центре широкой Галактики с периодичностью примерно 230 млн лет и скоростью 220 км/с. Это значит, что окружающие облака газа и пыли проносятся по нашей Солнечной системе на сверхзвуковых скоростях.

Газ и пыль МП, сталкиваясь с солнечным ветром, тоже замедляются, их скорость становится меньше скорости звука, в результате возникает скачок уплотне-

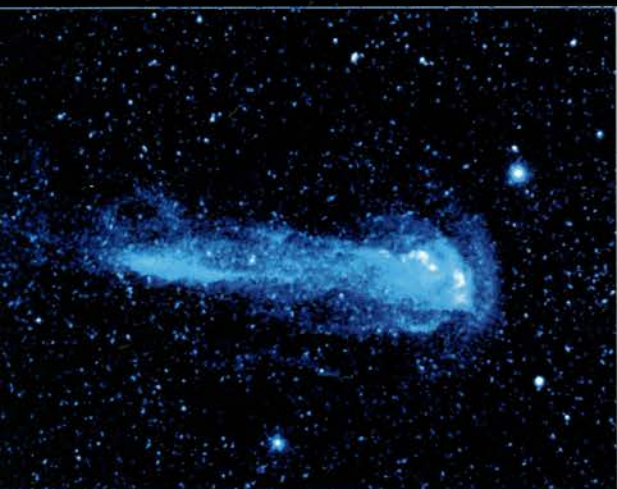


ния – фронт ударной волны. Его можно сравнить с рябью, образующейся вокруг носа быстро движущегося корабля в море.

КАРТА СТЕНЫ

Большинство астрономов считает, что ударная волна сопровождается формированием области горячего газа – водородной стены, образующейся по мере накопления и сжатия атомов газа у границы при одновременном столкновении с частицами из гелиосферы. Если водородная стена на самом деле существует, возможно, скоро мы сможем определить ее форму (см. «Технологии»).

Внешний край Солнечной системы в настоящее время для нас невидим, поскольку мы находимся внутри него, но мы можем представить, как он выглядит, если исследуем другие звезды. Несколько лет назад мощные телескопы вроде «Хаббла» позволили обнаружить ударные волны во-



ЗВУКОВОЙ ХЛОПОК

Реактивный самолет ВМФ преодолевает звуковой барьер – это явление напоминает эффект ударной волны в космосе.

круг звезд – красного гиганта Миры и молодой звезды LL Ориона.

В будущем астрономы надеются собрать больше информации об этой загадочной области с помощью наземных наблюдений или данных, полученных «Вояджерами» и «Новыми горизонтами», которые направляются за пределы Солнечной системы, туда, где находится МП.

В СЛЕДУЮЩЕМ ВЫПУСКЕ: НОВЫЕ ЗНАНИЯ О СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ, ПОЛУЧЕННЫЕ БЛАГОДАРЯ КОСМИЧЕСКИМ ЗОНДАМ.



ТЕХНОЛОГИИ

КАРТА ГЕЛИОПАУЗЫ

В октябре 2008 года НАСА запустило спутник, разработанный специально для исследования границ гелиосферы. IBEX («Исследователь межзвездных границ») – одна из миссий НАСА в рамках программы Small Explorer. Этот компактный космический аппарат должен найти ответы на определенные вопросы: каково распределение в пространстве и энергетические спектры частиц водородной стены вокруг границы ударной волны.

Спутник оснащен двумя детекторами, настроенными на разную энергетику выбросов энергичных нейтральных атомов. Подобные выбросы должны указать на форму и расстояние границы ударной волны и воздействие турбулентных газовых потоков в гелиошлите.

СБОРКА Техники работают над аппаратом IBEX на военно-воздушной базе Ванденберг, Калифорния, США.



ПРОДЛЕНИЕ ПРОЕКТА «ВОЯДЖЕР»

Завершив легендарное путешествие к внешним планетам, «Вояджеры» получили новое задание: отправиться туда, где еще не бывал ни один космический аппарат.

В 1989 году первоначальная миссия проекта завершилась облетом Нептуна, который совершил «Вояджер-2».

Полет двух космических аппаратов к внешним планетам Солнечной системы обошелся НАСА в 865 млн долларов США. После выполнения поставленных задач оба аппарата продолжали функционировать, поэтому



СТАТИСТИКА МИССИИ

НАЧАЛО НОВОЙ МИССИИ: Ноябрь 1980 («Вояджер-1»), июль 1989 («Вояджер-2»)

РАКЕТА-НОСИТЕЛЬ: Titan IIIE

ГЛАВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ: Первая миссия за пределы Солнечной системы

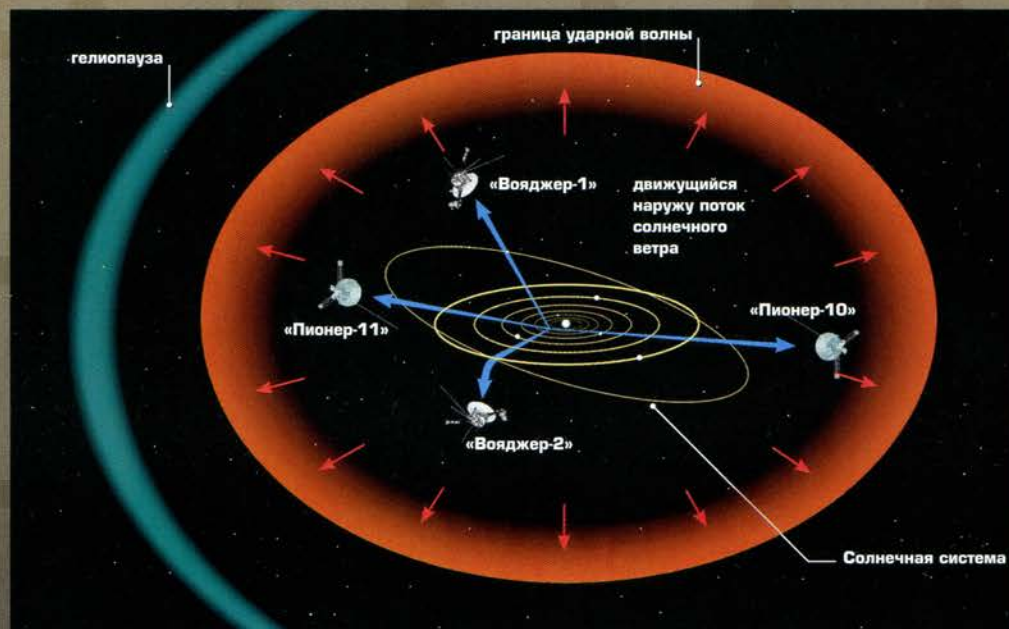
МАССА: 722 кг

НАСА выделило еще 30 млн долларов и продлило проект, получивший название «Межзвездная миссия „Вояджер“».

В ноябре 1980 года после сближения с Сатурном «Во-

ТРАЕКТОРИИ ВЫХОДА

На рисунке – маршруты «Вояджеров» и «Пионеров», приближающихся к гелиопаузе.



яджер-1» направился к границам Солнечной системы, двигаясь под углом примерно 35° к плоскости эклиптики со скоростью около 520 млн км в год. В августе 1989 года «Вояджер-2» приблизился к Нептуну и начал свой путь за пределы Солнечной системы под углом 48° к плоскости эклиптики со скоростью примерно 470 млн км в год.

СБОР ДАННЫХ

На борту каждого аппарата работают пять научных приборов, собирающих и анализирующих данные о магнитном поле Солнца; направлении, составе и энергетических спектрах частиц солнечного ветра и межзвездных космических лучей; интенсивности радиоизлучений, которые, предположительно, зарождаются





ТЕХНОЛОГИИ

ПОЭТАПНОЕ СВЕРТЫВАНИЕ ЗАДАЧ

По мере уменьшения энергии в целях ее экономии у аппаратов постепенно отключаются приборы. На таблице внизу показан поэтапный график сокращения расходования энергии.

Изменения в работе аппаратов	«Вояджер-1»	«Вояджер-2»
Окончание работы сканирующей платформы и УФ-оборудования	2010	1998
Остановка работы гироскопа	2016	2015
Прекращение работы цифрового устройства записи	2015	2007
Начало перераспределения энергии между инструментами	2020	2020
Завершение подачи энергии к инструментам	2025	2025

« МЫ ПОКИДАЕМ НАШИ ОКРЕСТНОСТИ, И „ВОЯДЖЕР“ – ПЕРВЫЙ И ЕДИНСТВЕННЫЙ СОЗДАННЫЙ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РУКАМИ ОБЪЕКТ, КОТОРЫЙ ПЕРЕСЕЧЕТ ЭТУ ГРАНИЦУ.»

Стаматос Кримигис, ведущий сотрудник проекта «Вояджер»

ТРИТОН

На картине: «Вояджер-2» встречается со спутником Нептуна, Тритоном, перед тем как отправиться за пределы Солнечной системы.

перераспределение энергии (см. «Технологии»).

К ГРАНИЦЕ

Оба аппарата движутся к внешней границе Солнечной системы, чтобы достичь гелиопаузы, которая, по оценкам ученых, находится на расстоянии 19 млрд км от Солнца.

В декабре 2004 года «Вояджер-1» пересек границу ударной волны, область, где солнечный ветер, т. е. поток частиц, летящих с Солнца со скоростью около 1,6 млн км/ч, замедляется примерно

до 400 000 км/ч. Это первый признак близкой гелиопаузы.

После границы ударной волны аппарат пройдет через гелиосферную мантию, зону турбулентности, расположенную примерно в 14 млрд км от Солнца. Там также преобладают магнитное поле Солнца и частицы, содержащиеся в солнечном ветре.

Толщина гелиосферы неизвестна, но предполагают, что через несколько лет аппараты достигнут гелиопаузы и войдут в пространство, где господствует межзвездный ветер.

ГЛОССАРИЙ

Гелиопауза – область, в которой воздействие Солнца ослабевает и начинается межзвездное пространство.

в гелиопаузе (см. «Глоссарий»); распределению водорода во внешней гелиосфере (области космоса, предшествующей гелиопаузе – см. стр. 6.)

По мере расходования энергии часть приборов отключается или происходит



НАШИ СВЕДЕНИЯ

СЕТЬ ДАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ НАСА

Основная часть информации, полученной приборами «Вояджеров», поступает на Землю со скоростью 160 бит/сек. На Земле сигнал улавливается антеннами принимающих станций сети дальней космической связи НАСА в Голдстоуне (Калифорния), неподалеку от Мадрида (Испания) и Канберры (Австралия). Станции

размещены на Земле так, чтобы обеспечивать постоянное наблюдение за аппаратами с учетом вращения Земли. Таким образом, эта сеть является наиболее чувствительной телекоммуникационной системой в мире (см. «Необъяснимо, но...»).

ЧАСТЬ СЕТИ Антенна следающей станции в Голдстоуне. Диаметр антенны – 70 м.



ЭФФЕКТ «ПИОНЕРА»

Астрономы обратили внимание на странное поведение космических аппаратов, находившихся у внешних пределов Солнечной системы. Что это: просчет в вычислениях НАСА или фундаментальная ошибка в известных нам законах физики?

Эффект (или аномалия) «Пионера» получил свое название в честь двух космических аппаратов – «Пионер-10» и «Пионер-11». Впервые он был выявлен после встречи «Пионеров» с Юпитером и Сатурном в 1973 и 1979 годах. Это были первые зонды, отправленные исследовать гигантские планеты и дальний космос. Аппараты оказались на неизвестной территории, поэтому ученые продолжали следить за «Пионерами» даже после облета планет (см. «Миссии»).

Однако в 1980-х, оставив позади планеты, оба «Пионера» начали отклоняться от запланированной траектории. Ученые знали, что они постепенно замедлят движение под воздействием гравитации Солнца, но, похоже, аппараты притягивала какая-то иная, неизвестная сила.

ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛИИ

По мере того как в космос стартовали другие аппараты, ученые получали новые данные, свидетельствующие о том, что во Вселенной происходит нечто странное. Направленный к Юпитеру «Галилео» и солнечный зонд «Улисс» продемонстрировали замедление – эффект «Пионера».

У других аппаратов эту аномалию отследить было сложнее в основном из-за того, что их ориентация в космосе регулировалась маневровыми двигателями. Кроме того, аппараты типа «Вояджер» в качестве источника энергии используют радиоизотопные термоэлектрические генераторы, или РИТЭГ (см. «Глоссарий»), а излучение термогенераторов также может непредсказуемо влиять на траекторию.

Специалисты миссии постарались найти объяснение этой аномалии.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОШИБКИ

В 2008 году команда ученых под руководством Вячеслава Турышева (см. «Звезды космоса») попыталась создать точную температурную модель аппаратов «Пионер». Они обнаружили, что аппараты излучали больше тепла в направлении движения, чем в противоположную сторону.

По другой гипотезе, эффект «Пионеров» объясняется ошибкой в анализе данных. Следить за движением аппаратов на таких больших расстояниях очень сложно (см. «Технологии»), кроме того, за долгий срок работы «Пионеров» методы сбора и анализа данных менялись несколько раз. В настоящее время запущен проект, направленный на преобразование всех данных по движению «Пионеров» в общий формат. Возможно, он поможет найти ответ на эту загадку.

ПЕРЕСМОТР ФИЗИКИ

Если дело не в самих аппаратах, астрономам и физикам придется признать: они упустили что-то важное.

Существует и менее революционное объяснение аномалии: наши модели внешней области Солнечной системы несовер-



«ПИОНЕР-10»
Запущенный 2 марта 1972 года, космический аппарат покидает Солнечную систему (см. рисунок вверху), двигаясь к Альдебарану в созвездии Тельца.

ГЛОССАРИЙ

РИТЭГ – источник энергии, используемый в космических аппаратах, значительно удаляющихся от Солнца. Эти генераторы вырабатывают энергию из радиоактивного источника, которого хватает на длительное время.



ЗВЕЗДЫ КОСМОСА

ВЯЧЕСЛАВ ТУРЫШЕВ

Вячеслав Геннадьевич Турышев в 1987 году окончил физический факультет МГУ, работает в Лаборатории реактивного движения НАСА (Пасадена, Калифорния, США), специализируется на релятивистских эффектах, связанных с теорией относительности Эйнштейна. Вместе с другими учеными пытался проверить точность теории Эйнштейна, чтобы включить ее в объединенную теорию всего.

Став директором проекта «Эффект «Пионера»» Планетарного общества, Турышев возглавил работу над выявлением истинной причины эффекта. Помимо всего прочего, она включала в себя изучение документов 40-летней давности и поиски инженеров, работавших над «Пионерами», чтобы построить температурную модель этих аппаратов.

Фото предоставлено В. Г. Турышевым



ТУРЫШЕВ Пытаясь найти решение загадки аномалии, этот ученый совместно с коллегами из Лаборатории реактивного движения создал компьютерную модель аппаратов «Пионер».

«...МЫ МОЖЕМ ЗАВЕРШИТЬ ДАННЫЙ ПРОЕКТ, РЕШИТЬ ЭТУ ЗАГАДКУ И, ВОЗМОЖНО, ИЗМЕНИТЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВСЕХ УЧЕНЫХ НА ЗЕМЛЕ ОБ ОСНОВАХ ФИЗИКИ.»

В. Г. Турышев

шенны. Возможно, там находится больше межпланетной материи, замедляющей движение аппаратов.

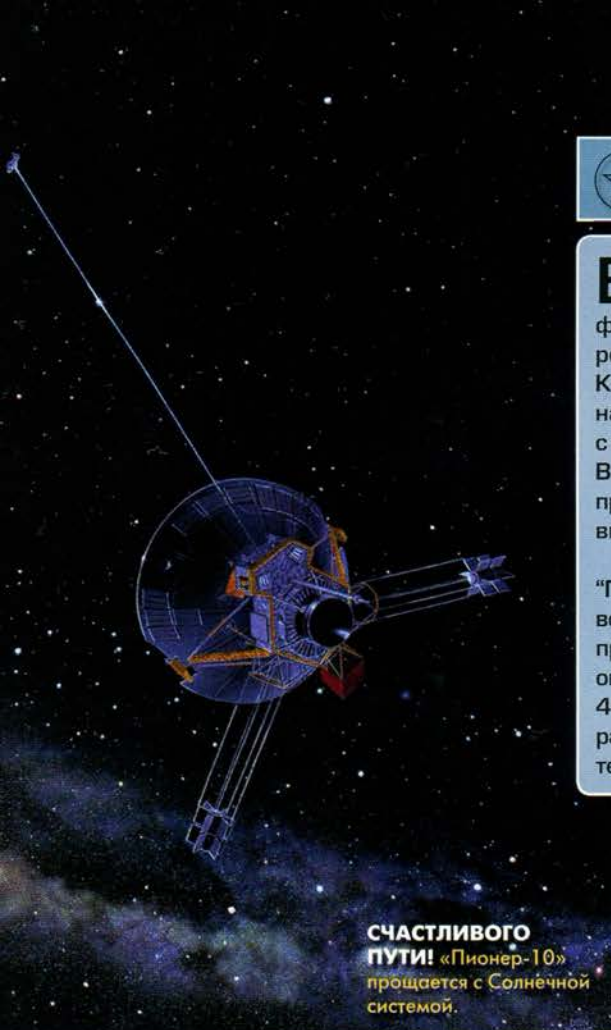
В таком случае традиционные методы не смогли выявить эту материю. Некоторые ученые предложили организовать специальную миссию для исследования данной гипотезы. Есть и более кардинальная версия: может быть, наше представление о природе гравитации ошибочно.

НОВЫЙ ЗАКОН?

Уже на протяжении нескольких десятилетий существуют альтернативы теории

тяготения, разработанной Ньютоном и дополненной Эйнштейном. Согласно т. н. модифицированной динамике Ньютона, на очень больших расстояниях гравитационная сила уменьшается более медленными темпами, чем предполагалось ранее.

Неужели аномалия «Пионеров» указывает на то, что законы физики нужно переписать?



СЧАСТЛИВОГО ПУТИ! «Пионер-10» прощается с Солнечной системой.



ТЕХНОЛОГИИ

ДАЛЬНЕЕ СЛЕЖЕНИЕ

Слежение за аппаратом, находящимся во внешней области Солнечной системы, осуществляется с помощью одного из самых впечатляющих ресурсов НАСА – целой сети радиоантенн, известной как сеть дальней космической связи. Размещенные от Испании до Австралии, наземные станции способны работать автономно или совместно, подключаться к другим радиотелескопам, улучшая их чувствительность. Вместе антенны могут транслировать высокоинтенсивные сигналы к расположенным на большом расстоянии аппаратам и улавливать их «шепот». Как и в случае с наземным радаром, промежуток времени, затраченный на возвращение сигнала, дает возможность рассчитать расстояние от космического аппарата до Земли. Кроме того, незначительные изменения частоты возвращающегося сигнала служат ориентиром для определения скорости движения аппарата относительно Земли.

КАНБЕРРА Радиоантенны австралийской станции сети дальней космической связи.

