

СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР

Постоянный поток частиц, исходящий от нашей звезды и распространяющий свое влияние по всей Солнечной системе, называется солнечным ветром.

Ежедневно Солнце излучает в межзвездное пространство невероятное количество вещества – примерно 6,7 млрд тонн. Тем не менее Солнце настолько огромно, что за время своего существования потеряло лишь одну тысячную своей массы. Проходя через окружающее пространство, солнечный ветер оказывает значительное влияние на планеты и другие тела, с которыми сталкивается, внося свой вклад в облик Солнечной системы.

Температура на видимой поверхности Солнца, фотосфере, «низкая» – 5500 °С. Однако этого достаточно, чтобы разбить

« ВЕСЬ КОСМОС ЗАПОЛНЕН ЭЛЕКТРОНАМИ И СВОБОДНЫМИ ИОНАМИ ВСЯКОГО РОДА... КАЖДАЯ ЗВЕЗДНАЯ СИСТЕМА В КОДЕ ЭВОЛЮЦИИ ВЫБРАСЫВАЕТ В КОСМОС ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ ».

Кристиан Биркеланд, физик

атомы, в основном водорода и гелия, на составляющие – отрицательно заряженные электроны и положительно заряженные ионы. Когда от водорода отделяется единственный электрон, остается положительно заряженная частица, называемая протоном.

УБЕГАЯ ОТ СОЛНЦА

На Солнце газы формируют электрически заряженную плазму, состоящую из электронов и протонов водорода и меньшего количества ядер гелия. Плазма является основой внешней атмосферы Солнца и солнечного ветра.

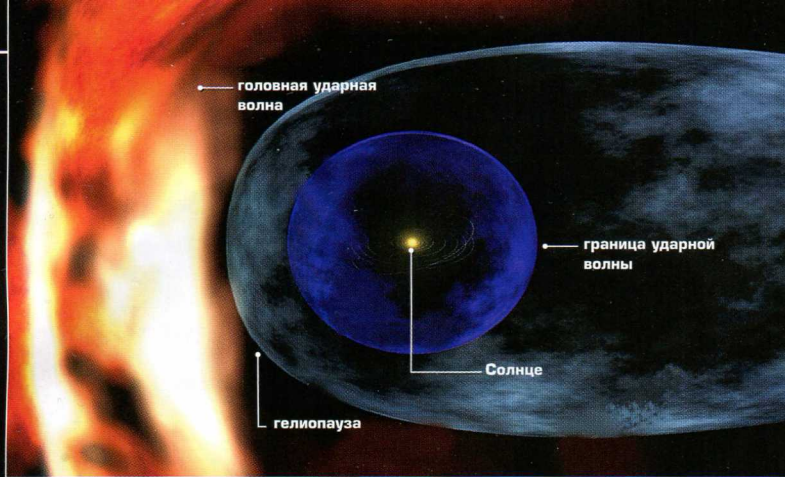


СИЯНИЕ ВЕТРА

Частицы солнечного ветра, ударяясь о верхнюю атмосферу Земли, создают в ночном небе Исландии светящиеся узоры.

Вокруг фотосферы гравитация Солнца настолько сильна, что частицы горячего газа не могут вырваться из нее. Но в тонком слое атмосферы, который называется переходной зоной, мало изученные процессы стремительно повышают температуру более чем до 1 млн °С – средней температуры солнечной короны (см. выпуск 76). Поскольку корона значительно горячее, частицы в ней двигаются быстрее, а некоторые из них достигают скорости, достаточной для преодоления гравитации Солнца.

В корону вещества попадают не только из фотосферы. Некоторых из них переносит петли магнитного поля Солнца, а других – огромные корональные выбросы массы, также связанные с изменениями в солнечном магнетизме.



ДАЛЬНЕЕ ПУТЕШЕСТВИЕ

На рисунке показаны структуры, сформированные вокруг нашей Солнечной системы солнечным ветром: от границы ударной волны до гелиопаузы.

С повышением температуры ионы в короне начинают двигаться быстрее. Так как гравитационное притяжение Солнца постепенно падает, они в конце концов набирают скорость, позволяющую им пересечь черту, за которой Солнце больше не может их удерживать, и разносятся по Солнечной системе в виде солнечного ветра.

ДВА ВЕТРА

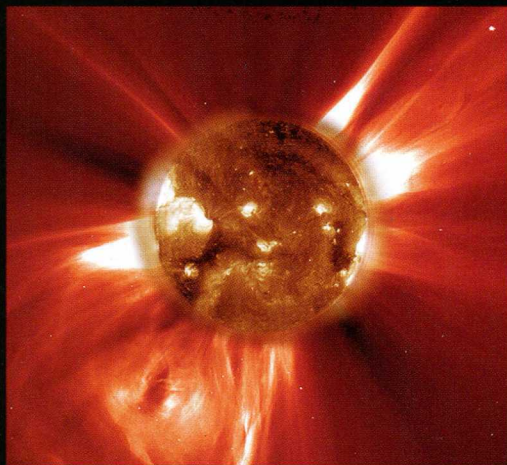
Замеры, произведенные различными космическими аппаратами, показали, что солнечный ветер делится на два класса. Медленный солнечный ветер (примерно 2/3 всех веществ ветра) перемещается со скоростью 400 км/с. Поскольку потоки направлены во внешнее пространство, вращение Солнца закручивает их в волнистые спирали, которые также влияют на изменчивое магнитное поле нашей звезды.

Быстрый солнечный ветер, имеющий скорость около 750 км/с, вырывается из воронок в короне, через которые вещества из фотосферы попадают наружу по открытым линиям магнитного поля. Корональ-

ные дыры, из которых исходит быстрый ветер, постоянно присутствуют в полярных областях Солнца, а источники и количество медленного ветра меняются в течение 11-летнего солнечного цикла (см. «Земля, Луна и Солнце», выпуск 75). В период солнечного минимума (время наименьшей солнечной активности) этот ветер исходит только из близких к экватору областей, но к следующему пику активности он может истекать со всей поверхности Солнца.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЕТРА

Солнечный ветер влияет на объекты, с которыми сталкивается. На бесплотных, безвоздушных телах со слабыми магнитными полями (таких как Меркурий и Луна) поток заряженных частиц меняет их химический состав и выбивает атомы с поверхности пород, формируя разреженную атмосферу.



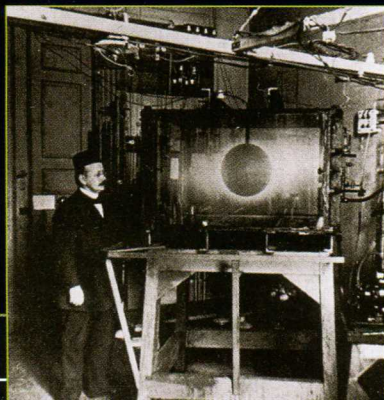
ЗВЕЗДЫ КОСМОСА

КРИСТИАН БИРКЕЛАНД (1867–1917)

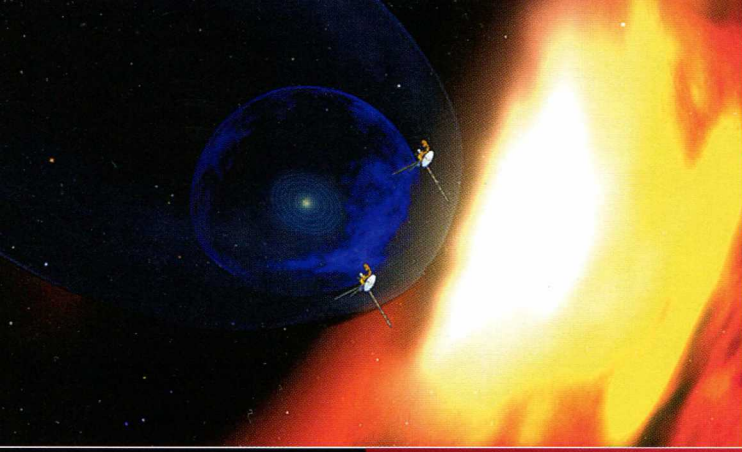
Норвежский ученый Кристиан Биркеланд первым объяснил природу солнечного ветра. Свою первую научную статью он написал в 18 лет, продемонстрировав необычайно широкие исследовательские интересы. Наряду с организацией полярных экспедиций для изучения полярных сияний он исследовал рентгеновское излучение, изобрел

электромагнитную пушку и придумал способ производства искусственных удобрений. Биркеланд предположил, что полярные сияния возникают в результате взаимодействия между магнитным полем Земли и заряженными частицами, излучаемыми Солнцем, но его теория оспаривалась до 1950-х годов до полета первых космических аппаратов.

СОЗДАВАЯ ВЕТЕР Кристиан Биркеланд с аппаратом для изучения полярных сияний – металлической сферой с магнитом (имитирует Землю) в вакуумной камере (космос). Когда электроны в сфере загорались, возникал эффект, подобный полярному сиянию.



ВЗРЫВ На фото со спутника SOHO, работающего на орбите вокруг Солнца, показан корональный выброс массы – витки вещества, которое извергается из активных областей солнечной поверхности в космос.



НАШИ СВЕДЕНИЯ РАЗДВИГАЯ ГРАНИЦЫ

Несколько космических аппаратов пересекли пояс астероидов и направились к границам Солнечной системы, чтобы выйти в межзвездное пространство. Беспилотные аппараты «Пионер-10» и «Пионер-11», запущенные в 1970-х годах к Юпитеру и Сатурну, вероятно, были первыми зондами, достигшими этой границы, но в 1990-х годах ученые потеряли связь с ними. Однако «Вояджер-1» и «Вояджер-2», которые в 1970-х годах отправились к внешним планетам, все еще функционируют. Данные различных экспериментов позволяют предположить, что в 2004 году «Вояджер-1» пересек границу ударной волны примерно в 94 а. е. от Солнца. Любопытно, что «Вояджер-2» пересек эту важную границу в августе 2007 года на расстоянии всего 84 а. е., доказав, что область, в которой доминирует солнечный ветер (гелиосфера), сжимается в космосе по направлению к движению Солнца.

ГЛОССАРИЙ

Астрономическая единица (а. е.) – единица измерения расстояния, равная среднему расстоянию от Земли до Солнца (примерно 150 млн км).

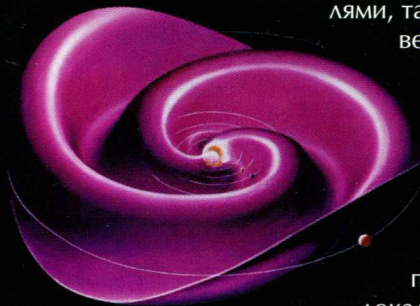
НА ВЫХОДЕ

На рисунке – «Вояджер-1» (внизу) и «Вояджер-2» после пересечения границы ударной волны во время полета за пределы Солнечной системы.

отправились к внешним планетам, все еще функционируют. Данные различных экспериментов позволяют предположить, что в 2004 году «Вояджер-1» пересек границу ударной волны примерно в 94 а. е. от Солнца. Любопытно, что «Вояджер-2» пересек эту важную границу в августе 2007 года на расстоянии всего 84 а. е., доказав, что область, в которой доминирует солнечный ветер (гелиосфера), сжимается в космосе по направлению к движению Солнца.

В ВОДОВОРОТЕ

Гелиосферный токовый слой – поверхность вдоль экваториальной плоскости Солнца до границ гелиосферы. Ее форма определяется воздействием на плазму вращающегося магнитного поля Солнца.



На планетах с атмосферой, таких как Марс и Венера, наблюдаются полярные сияния – свечение атмосферы, вызываемое столкновениями частиц солнечного ветра с атомами в ее верхнем слое. На орбите Венеры солнечный ветер настолько сильный, что выбивает газ из верхних слоев атмосферы, растягивая его в длинный хвост, который тянется до земной орбиты.

Планеты с сильными магнитными полями, такие как Земля и Юпитер, подвергаются наиболее ощутимому воздействию. Солнечный ветер вытягивает их магнитные поля в длинные невидимые хвосты, простирающиеся от Солнца.

Магнитное поле Земли пропускает вещества в атмосферу, собирая их над магнитными полюсами планеты. Так создаются локальные полярные сияния, намного

более впечатляющие, чем глобальные, наблюдаемые на Венере и Марсе.

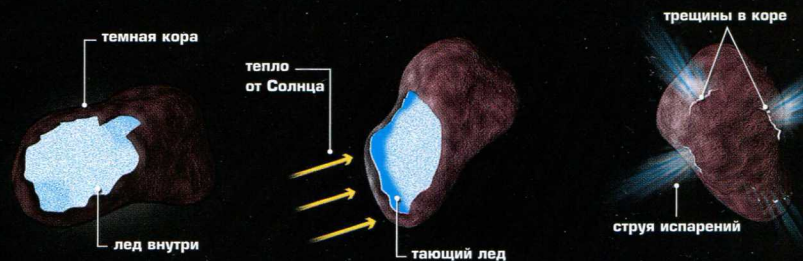
Возможно, наиболее эффективно солнечный ветер воздействует на хвосты комет. Газы, выделяемые этими маленькими шарами из грязного льда, когда они подходят близко к Солнцу, направляются солнечным ветром, часто открывая структуру кометы и показывая направление ее движения (см. «Как это работает»).

НА КРАЮ

Приближаясь к границам Солнечной системы, солнечный ветер медленно теряет скорость и становится менее плотным, пока постепенно не сливается с межзвездной средой. Многие астрономы считают, что граница, где происходит слияние, или гелиопауза, – настоящая граница Солнечной системы (хотя гравитационное воздействие Солнца распространяется далеко за ее пределы).

КАК ЭТО РАБОТАЕТ ХВОСТ КОМЕТЫ

Большую часть своего существования кометы находятся далеко от Солнца. Если по своим вытянутым эллиптическим орбитам они подходят близко к нашей звезде, их поверхность быстро нагревается. Зажатый в них лед тает и выходит через трещины, формируя вокруг ядра обширный ореол, кому. Взаимодействие с солнечным ветром ионизирует часть газа, вызывая его сияние и формируя длинный прямой хвост, который всегда указывает от Солнца. Также вытягивается второй хвост из пыли, сияющий только в отраженном солнечном свете. В отличие от прямого ионного хвоста он часто закручен.



1 ЛЕДЯНОЕ СЕРДЦЕ
У спящих комет под темной корой скрыто замерзшее ядро.

2 ТАЮЩАЯ СЕРЕДИНА
Приближаясь к Солнцу, комета поглощает тепло, и лед начинает таять.

3 РАСТРЕСКИВАНИЕ
Лед испаряется через трещины, формируя шлейф вокруг твердого ядра кометы.

В пограничной области солнечного ветра можно выделить несколько зон. Первая – граница ударной волны, где скорость солнечного ветра падает ниже местной скорости звука.

Примерно в 80–100 а. е. (см. «Глоссарий») в зоне, известной как гелиосферная мантия, солнечный ветер начинает взаимодействовать с межзвездной средой, в результате чего гелиосфера приобретает каплеобразную форму.

В гелиопаузе происходит окончательное торможение солнечного ветра и его

УДАРНАЯ ВОЛНА ВОКРУГ ЗВЕЗДЫ

Космический телескоп «Хаббл» заснял молодую звезду LL Orionis в туманности Ориона. Быстрый солнечный ветер сталкивается с медленным газом, создавая дуговую ударную волну.



смешение с межзвездным веществом. Некоторые ученые считают, что между головной ударной волной и гелиопаузой существует зона, заполненная горячим водородом, называемая водородной стеной. Но пока эта стена не обнаружена.

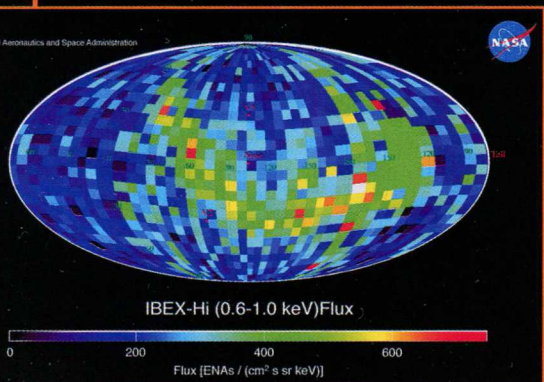
Последнюю зону, головную ударную волну, можно наблюдать и вокруг других звезд. В ней межзвездное вещество, замедляясь при столкновении с солнечным ветром, теряет сверхзвуковую скорость. По мнению экспертов, эта зона может находиться в 230 а. е. от Солнца.

В 2012 году гипотеза о том, что солнечный ветер образует головную ударную волну при столкновении с межзвездной средой, оказалась под вопросом, когда данные со спутника IBEX показали, что Солнечная система движется через межзвездную среду медленнее, чем предполагалось. Это открытие позволяет допустить, что нет никакого ударного столкновения звездного ветра с гелиопаузой, окружающей Солнечную систему, и, соответственно, никакая головная ударная волна на границах Солнечной системы не возникает.

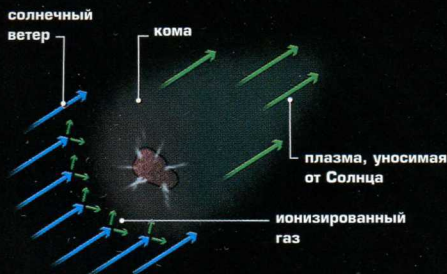
В СЛЕДУЮЩЕМ ВЫПУСКЕ: НАШЕ СОЛНЦЕ ПРОСУЩЕСТВУЕТ ЕЩЕ 5 млрд ЛЕТ. ЧТО СЛУЧИТСЯ ПОТОМ?

ВАЖНЫЕ ОТКРЫТИЯ ДОСТИЖЕНИЯ IBEX

В октябре 2009 года многие ранние представления о границах гелиопаузы были разрушены данными наблюдений спутника НАСА IBEX («Исследователь межзвездных границ»). Этот аппарат вращается по орбите вокруг Солнца. На нем установлены две камеры энергетически нейтральных атомов (ЭНА), то есть частиц, лишенных заряда. IBEX обнаружил длинную и узкую полосу из ЭНА на границе Солнечной системы, препятствующую проникновению в нее частиц с аномально высокой энергией. Эта полоса, по мнению экспертов, отражает взаимодействие магнитного поля Солнца с магнитным полем межзвездного пространства.



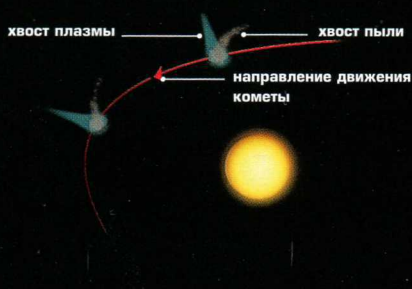
КАРТИРОВАНИЕ ЭНА На этой карте, составленной IBEX, красным отмечено наибольшее количество ЭНА, замеренное аппаратом, желтым и зеленым – меньше, а голубым и фиолетовым – наименьшее. ЭНА вокруг гелиопаузы образуются неравномерно.



4 КОМА Испарения формируют облако, называемое комой. Взаимодействие с солнечным ветром делает ее электрически заряженной.



5 ХВОСТ ПЛАЗМЫ Солнечный ветер выдувает плазму из комы, формируя хвост, который всегда направлен от Солнца.



6 ДВОЙНОЙ ХВОСТ Более тяжелая пыль также выдувается из ядра, но воздействие на нее солнечного ветра меньше, поэтому пылевой хвост изогнут вдоль орбиты кометы.