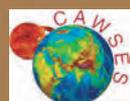


# Что такое СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР?

Автор: Науапон

Перевод: Рената Лукьянова





## Смотрим на невидимый солнечный ветер

Солнечная активность изменяется циклически с периодом примерно 11 лет. В годы активной фазы, которая называется «солнечным максимумом», на Солнце образуется самое большое количество пятен, а в спокойные годы «солнечного минимума» пятен на Солнце почти нет. Вместе с солнечной активностью изменяется и энергия солнечного излучения. Но вариация видимого излучения составляет всего лишь 0.1%, так что мы едва ли можем заметить, что Солнце становится ярче или бледнее в своем 11-летнем цикле.

В общем количестве энергии, исходящей от Солнца, самая большая часть приходится на излучение на разных длинах волн. Следующими идут нейтрино и солнечный ветер. За открытие нейтрино в 2002 г. была присуждена Нобелевская премия по физике. Данная элементарная частица обладает уникальным свойством не вступать ни в какие взаимодействия с другими объектами. И это позволяет нейтрино беспрепятственно пролетать сквозь земной шар. Хотя энергия нейтрино очень велика, их влияние на Землю пренебрежимо мало.

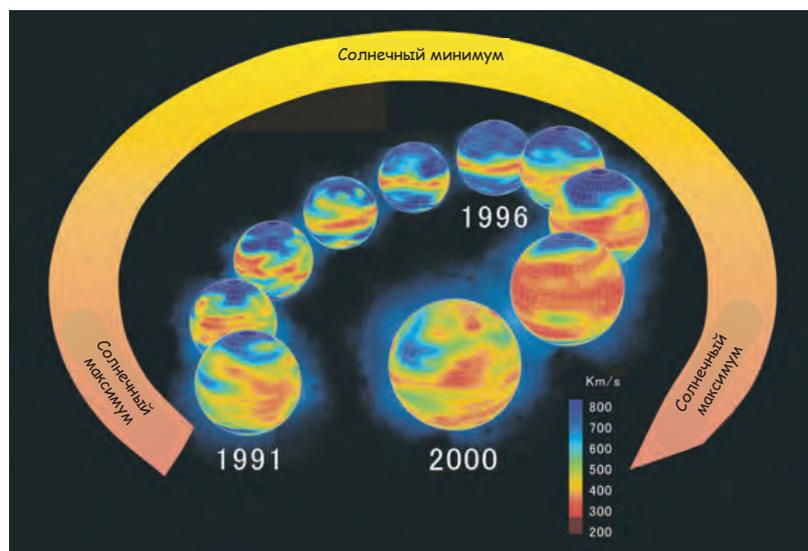
На долю солнечного ветра приходится всего лишь одна миллионная часть той энергии, которая переносится излучением. Но в отличие от излучения солнечный ветер очень динамичен и весьма существенно изменяется в ходе солнечного цикла.

Эволюция скорости солнечного ве-

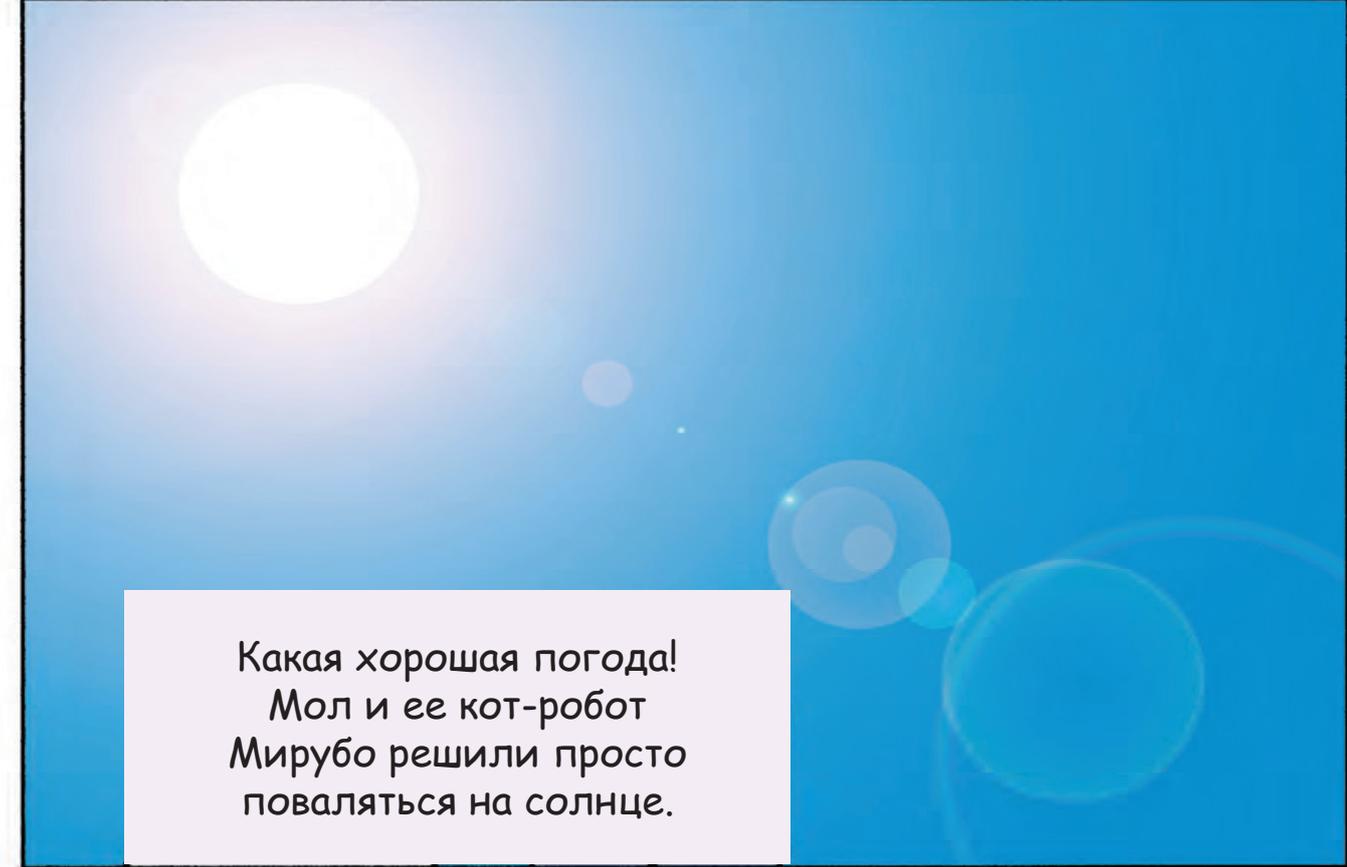
тра в 11-летнем цикле показана на рисунке. Эти карты построены по наблюдениям, о которых говорится в конце книжки. Высокоскоростные потоки, 700-800 км/с, обозначены темно-синим цветом, переход к темно-красному цвету соответствует меньшим скоростям. Медленный ветер имеет скорость 300-400 км/с. Каждое изображение солнечного диска соответствует среднегодовому распределению скорости исходящего от Солнца ветра в цикле 1991-2000 гг.

С 1991 г. (максимум цикла) солнечная активность (число солнечных пятен) уменьшается, достигает минимума в 1996 г. и затем опять растет вплоть до следующего максимума в 2000 г. Если посмотреть на изображение солнечного диска в 1996 г., то можно заметить, что самый высокоскоростной солнечный ветер исходит из узкой области вблизи экватора Солнца, тогда как в средних широтах и полярных областях ветер медленный. С ростом солнечной активности зона высоких скоростей расширяется на весь диск.

Солнечный ветер распространяется от Солнца далеко в космическое пространство. Как важный агент солнечной активности он оказывает большое влияние на планеты и межпланетную среду. Посмотрим, как солнечный ветер проявляет себя в нашей жизни.



Распределение скорости солнечного ветра по солнечному диску в 11-летнем цикле



Какая хорошая погода!  
Мол и ее кот-робот  
Мирубо решили просто  
поваляться на солнце.



Как  
классно!



Я тоже  
люблю нежиться  
на солнце.

Уфф!



Мол,  
не кажется  
ли тебе

удивительным,  
что свет и тепло  
приходят  
к нам из такой  
дали?

Ведь Солнце  
очень далеко.





Сначала я расскажу вам, что происходит на Солнце.

Внутри Солнца происходят процессы, которые называются ядерными реакциями. Четыре атома водорода превращаются в атом гелия.

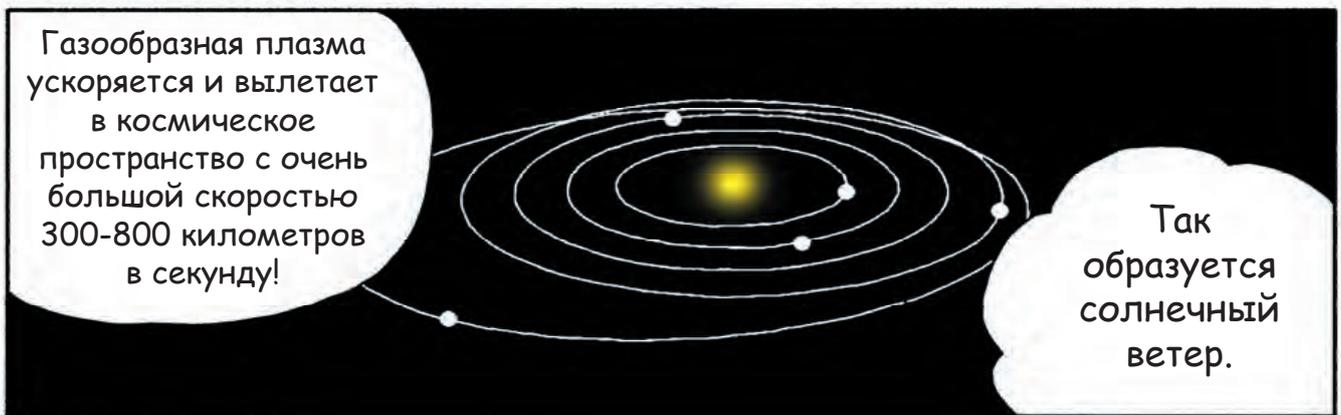
В этой реакции выделяется энергия, и она выходит к поверхности Солнца.



Вблизи поверхности атомы водорода разогреваются до миллиона градусов и разбиваются на электроны и протоны.

Эта смесь называется **плазмой**.

Высокое давление выталкивает газообразную плазму с поверхности Солнца.



Газообразная плазма ускоряется и вылетает в космическое пространство с очень большой скоростью 300-800 километров в секунду!

Так образуется солнечный ветер.





Я понял, почему это называют «ветер».

Это как бы ветер, но дующий в космосе.

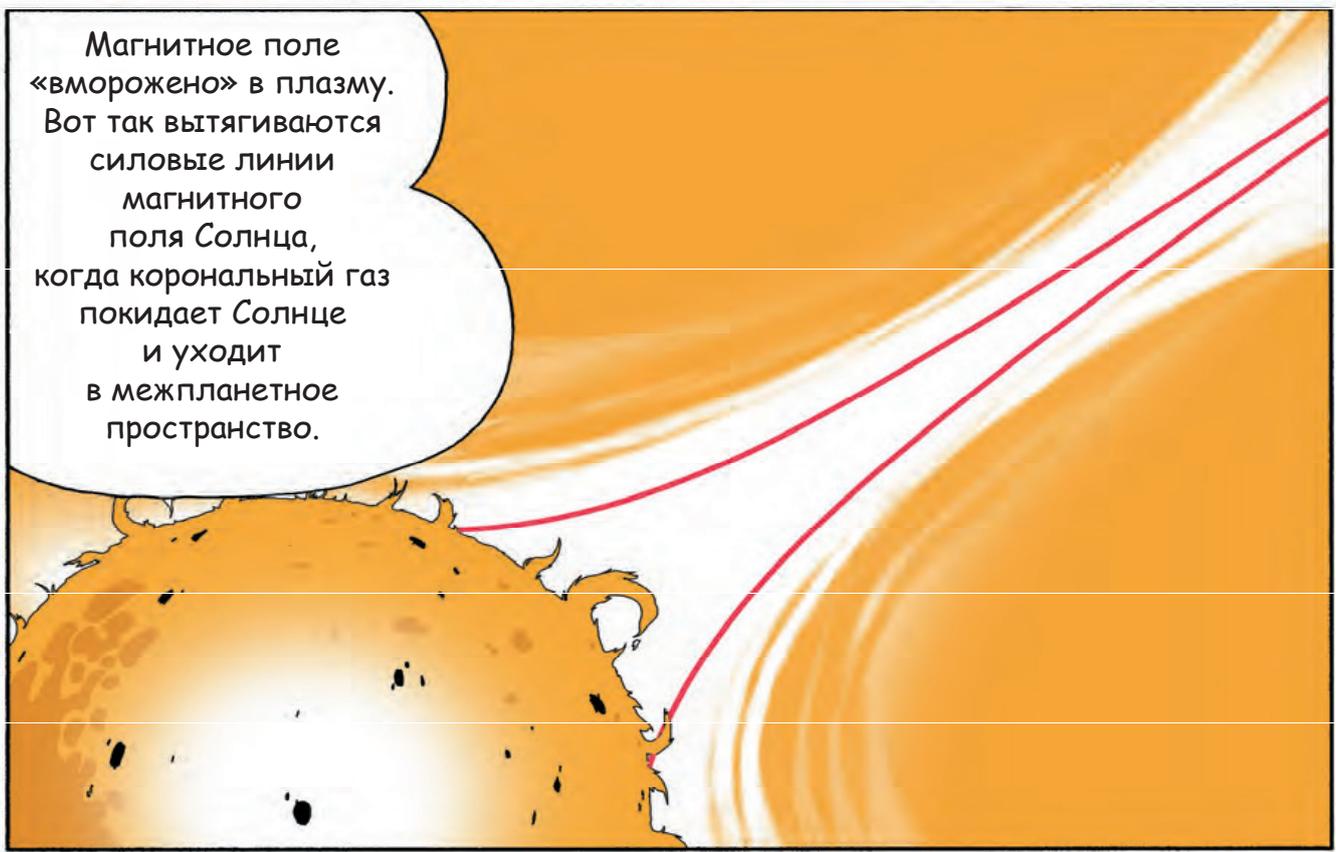
Так ведь?



От Солнца солнечный ветер несет с собой и еще кое-что.



Магнитное поле «встроено» в плазму солнечного ветра. Когда коронарный газ улетает от Солнца, он захватывает с собой магнитное поле. Линии магнитного поля вытягиваются.



Магнитное поле «вморожено» в плазму. Вот так вытягиваются силовые линии магнитного поля Солнца, когда корональный газ покидает Солнце и уходит в межпланетное пространство.



Полярное сияние - это именно то явление, которое происходит благодаря энергии Солнца.

Поток плазмы солнечного ветра вызывает свечение в верхней атмосфере, потому что электроны сталкиваются с атомами воздуха и возбуждают их.

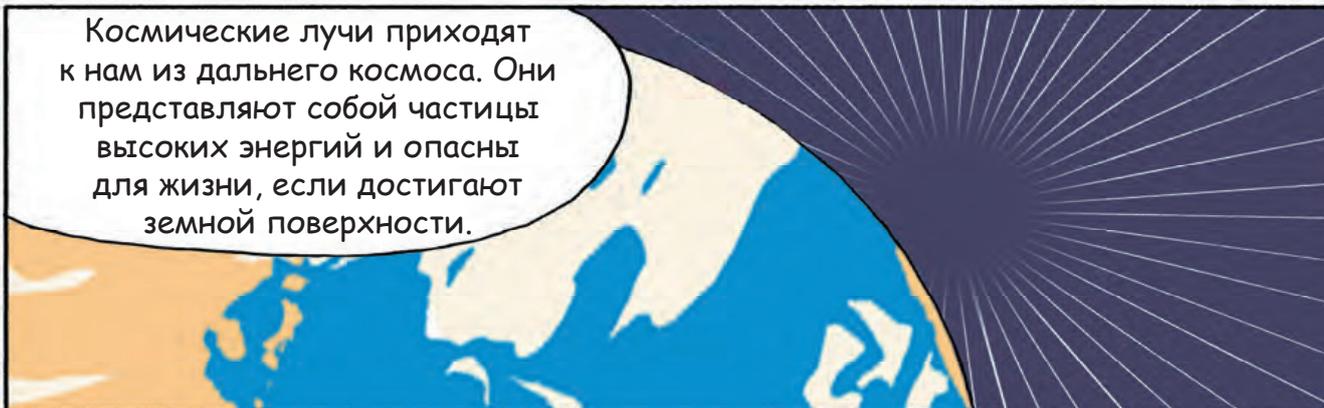
Параметры солнечного ветра могут изменяться очень резко и в широком диапазоне. Эти изменения могут повредить космические аппараты и даже вывести из строя наземные электрические системы из-за наведения в них паразитных электрических токов.

Хотя солнечный ветер невидим и не может быть прямо измерен с Земли,

его влияние на нашу жизнь и окружающую среду обнаруживается во многих вещах.

В основном, влияние солнечного ветра негативное.

Однако без него могло бы быть еще хуже!









Просто посчитаем.  
Нужно 70 триллионов лет, чтобы Солнце потеряло всю свою массу.

Снова удивительно!  
70 триллионов лет?!



Несмотря на такую величину потерь от солнечного ветра, Солнце не исчезнет. Солнце - оно такое!



Солнечный ветер дует и прямо сейчас.

Мол и Мирубо представляют, как солнечный ветер путешествует далеко от нас в бесконечном космосе.

# Что такое солнечный ветер?



Здравствуйте, Сэнсэй! У меня вопрос про солнечный ветер, который дует от Солнца. Можно ли его увидеть с космической станции?



Это ведь было великое открытие?



Вблизи земной орбиты в объеме солнечного ветра величиной с кусочек сахара содержится только 10 частиц. Это очень разреженный газ, почти вакуум, и он не может излучать достаточно света, чтобы его было видно невооруженным глазом.



В 1958 году американский ученый Юджин Паркер теоретически предсказал солнечный ветер. Он вычислил, что его скорость должна достигать нескольких сотен километров в секунду. Паркер придумал и само название - «солнечный ветер».



Когда открыли солнечный ветер? Как его обнаружили, если он невидимый? Мне ничего не приходит в голову.



Как далеко за орбиту Земли долетает солнечный ветер?



В 1900-х годах люди догадались, что к Земле от Солнца приходит не только свет, но и еще что-то, потому что через несколько дней после появления новых солнечных пятен и солнечных вспышек наблюдались возмущения геомагнитного поля и появлялись полярные сияния.



Он уходит дальше орбит Сатурна и Урана. Там он становится еще более разреженным, холодным и слабым. Граница гелиосферы находится там, где давление солнечного ветра и давление межпланетного газа уравниваются.



Продолжает ли дуть солнечный ветер, если на Солнце нет пятен?



А что за пределами гелиосферы?



Да, продолжает. Он дует всегда. В сущности, солнечный ветер - это сама солнечная атмосфера. В 1950-х годах немецкий ученый Байерман, изучая хвосты комет, выяснил, что солнечный ветер есть всегда, даже если на Солнце нет пятен.



Температура там довольно высокая, до 8000 К. Там присутствуют и ионизованные, и нейтральные атомы водорода, но их очень мало. Плотность составляет одну десятую плотности солнечного ветра вблизи орбиты Земли.



Кометный хвост напоминает флажок, трепещущий на ветру.



Считается, что гелиосфера, подобно комете, тоже имеет длинный хвост, вытянутый в межпланетном газе.



Когда солнечный ветер наблюдали непосредственно?



Теперь я убедился, что хвост - это важная штука. Посмотрите на мой хвост. Не хочешь тоже завести такой, Мол?



До 1959 года не было прямых доказательств, что солнечный ветер существует. Космическому аппарату «Луна-1» первому удалось измерить силу солнечного ветра.



Вообще-то не очень...

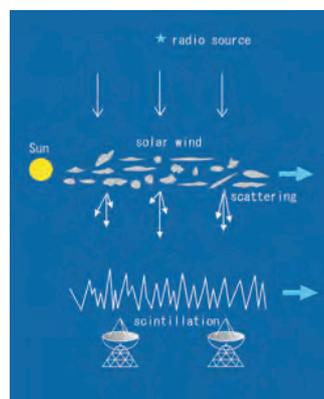


## Взглянуть на небо и увидеть солнечный ветер



Чтобы наблюдать солнечный ветер, было запущено много космических аппаратов. Однако их траектории лежали в плоскости орбиты Земли. Только один аппарат для исследования Солнца, который назывался «Улисс» и был запущен в 1990 г., сумел выйти из орбитальной плоскости. Наклонение его траектории было близко к 90 градусам. Этого удалось добиться благодаря использованию огромной гравитации Юпитера. Однако на «Улиссе» работало не так много приборов. И почти невозможно было получить полную картину того, как солнечный ветер распределен во всем космическом пространстве.

Дополнить спутниковые измерения солнечного ветра могут измерения с Земли. В 1964 г. ученые Кембриджского университета открыли, что радиоволны, приходящие из открытого космоса, могут становиться сильнее и слабее на секундном временном масштабе. Это как дрожание света звезды на ночном небе - явление, связанное с атмосферной турбулентностью. Звездный свет, пока проходит через

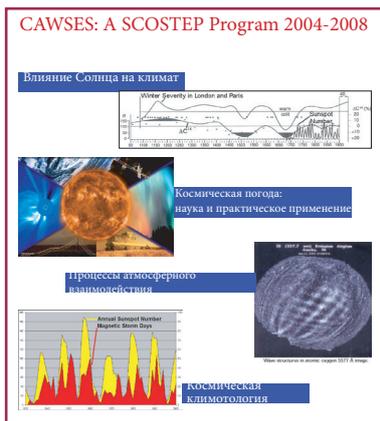


атмосферу, рассеивается в разных направлениях, и звезда видится слегка мигающей.

Для радиоволн, исходящих от радиоисточника, рассеивание обусловлено заряженными частицами, из которых состоит плазма солнечного ветра. Во Вселенной существует бесчисленное множество радиоисточников, чьи волны приходят к Земле. Измеряя и анализируя мерцание радиоволн наземными приборами, мы можем получить ключ к пониманию того, каковы параметры солнечного ветра вблизи и вдали от орбиты Земли.



Лаборатория солнечно-земных связей проводит наблюдения солнечного ветра с помощью радиотелескопов в четырех различных точках на территории Японии. Одна из них находится у подножия горы Фудзи. Антенна этого телескопа имеет длину 100 м и ширину 20 м. Параболические конструкции связаны тысячами отрезков тонкой проволоки из нержавеющей стали, что формирует гигантскую отражающую поверхность



## Климат и погода в системе Солнце-Земля (CAWSES)

CAWSES - международная программа, спонсируемая Научным комитетом по солнечно-земной физике (SCOSTEP). Целью программы является углубленное изучение космической окружающей среды и ее влияния на жизнь и общество. Среди основных задач CAWSES - содействие координации международных исследований, организации наблюдений, разработки моделей и теоретических подходов, расширение международного сотрудничества ученых, включая развивающиеся страны, создание образовательных программ для студентов всех уровней. Офис CAWSES расположен в Бостонском университете, США.  
<http://www.bu.edu/cawses/>  
<http://www.scostep.ucar.edu>



## Лаборатория солнечно-земных связей (STEL), университет Нагоя, Япония

STEL входит в японскую межуниверситетскую систему и работает в тесном взаимодействии с университетами всего мира. В лаборатории изучаются структура и динамика системы Солнце-Земля. Лаборатория состоит из четырех подразделений: Атмосфера, Ионосфера/Магнитосфера, Гелиосфера и Междисциплинарные исследования. В Лабораторию также входит геокосмический исследовательский центр, который осуществляет координацию комплексных проектов. Экспериментальную базу составляют семь обсерваторий, которые специализируются на измерении широкого спектра физических и химических параметров.  
<http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp>

### はやのん Hayanon

Хэянэн - японская писательница и мультипликатор. Закончила физический факультет университета Рюкю. Создала несколько серий научно-популярных комиксов, в которых она сумела соединить физически корректное изложение темы с приемами компьютерных игр. Благодаря особому авторскому стилю, образованию и любви к науке ее работы имели большой успех.  
<http://www.hayanon.jp>

### 子供の科学 Kodomo no Kagaku (Наука для детей)

Kodomo no Kagaku - японский ежемесячный журнал для детей, выпускаемый агентством Seibundo Shinkosha Publishing Co.,Ltd. С момента своего создания в 1924 г. журнал последовательно развивает научное образование, рассказывая о различных аспектах науки, начиная с их роли в повседневной жизни и кончая последними научными достижениями.  
<http://www.seibundo.net/>

"Что такое солнечный ветер?" опубликовано в кооперации с Kodomo no Kagaku. Мол, Мирубо и Сэнсей выражают благодарность Джо Аллену и Дэвиду Кэрриджу за помощь в подготовке английской версии их истории.

Оригинал создан Лабораторией солнечно-земных связей университета Нагоя и Научным комитетом по солнечно-земной физике в рамках программы CAWSES. Перевод на русский язык: Р.Ю. Лукьянова, ИКИ РАН, 2021 г.