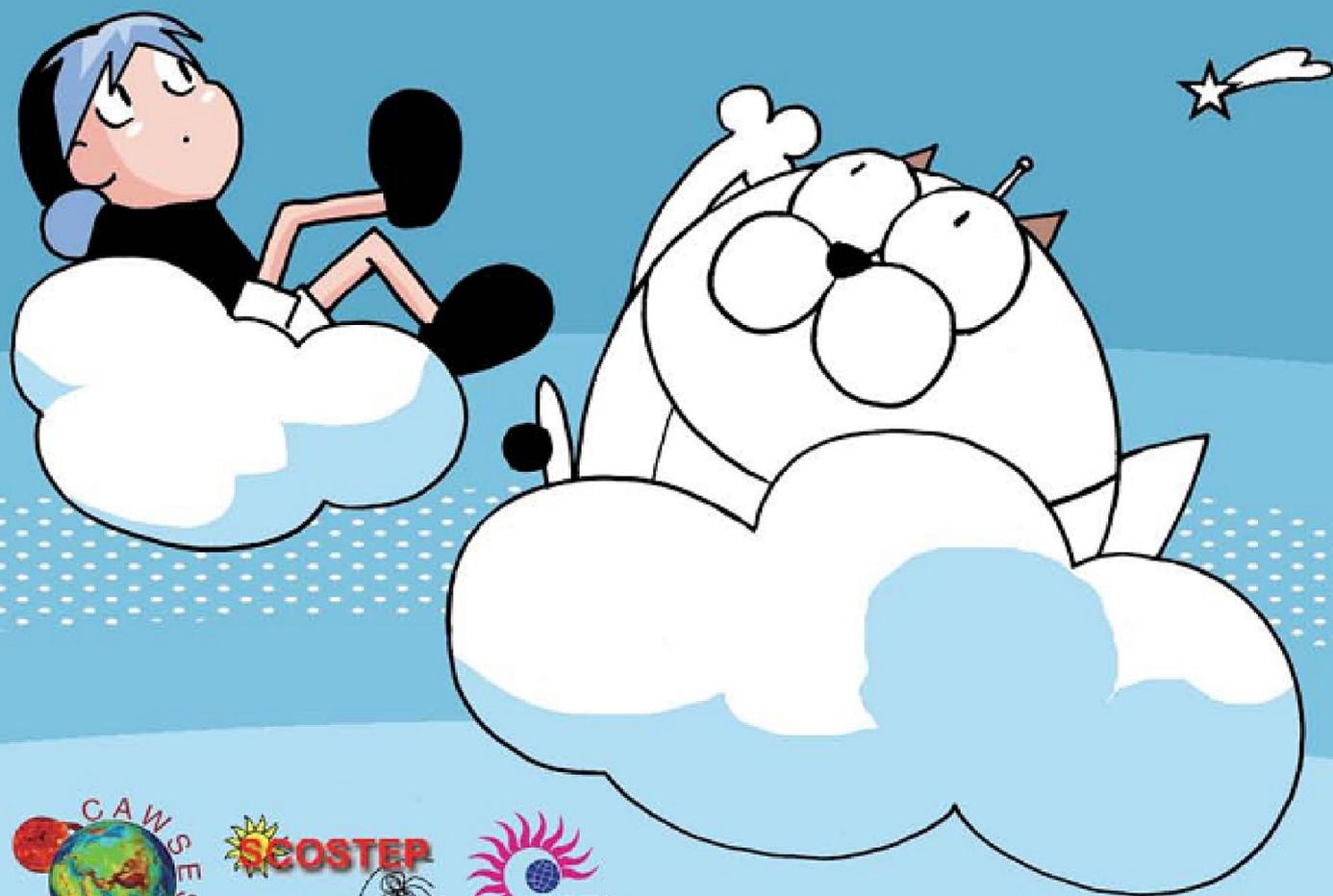


Что такое верхняя атмосфера?

By Hayanon

Перевод: Р. Лукьянова



Почему на большой высоте воздух становится более разреженным?

Известно, что чем выше мы поднимаемся, тем менее плотным становится воздух. Поэтому в высокогорной местности дышать труднее. Например, на вершине горы Фудзи (3776 м) плотность воздуха на треть меньше, чем на уровне моря. А вот почему с воздухом происходит такое?

Причиной является земное притяжение - гравитация. Хотя воздух и легкий, гравитация тянет его вниз. Почему же он тогда не оседает на землю? А потому, что молекулы воздуха быстро двигаются в разных направлениях и постоянно сталкиваются друг с другом. Сила, с которой молекулы давят на единицу площади поверхности - это атмосферное давление. На уровне моря атмосферное давление равно 1 кг/см^2 . Несмотря на это, мы не расплющиваемся по земле, потому что в теле равное давление действует изнутри наружу.

Наша жизнь проходит на дне воздушного резервуара. На земной поверхности воздух спрессованный, плотный, а на большой высоте он разреженный. Плотность воздуха уменьшается с высотой. Свойства разреженного высотного воздуха отличаются от свойств приземного. На большой высоте у воздуха меняется состав, появляется электрический заряд, и он даже может излучать свет. Верхняя атмосфера - это место, где проходит граница между земной атмосферой и космосом.

На этот раз Мол и Мирубо будут изучать верхнюю атмосферу. Присоединимся к ним.



Ох, какая
тяжесть...

Нынче у нас каникулы.

Ля-ля-ля.



Юная исследовательница Мол и ее кото-робот Мирубо - в хорошем настроении, они любуются на небо.

Красивое сегодня небо, правда?

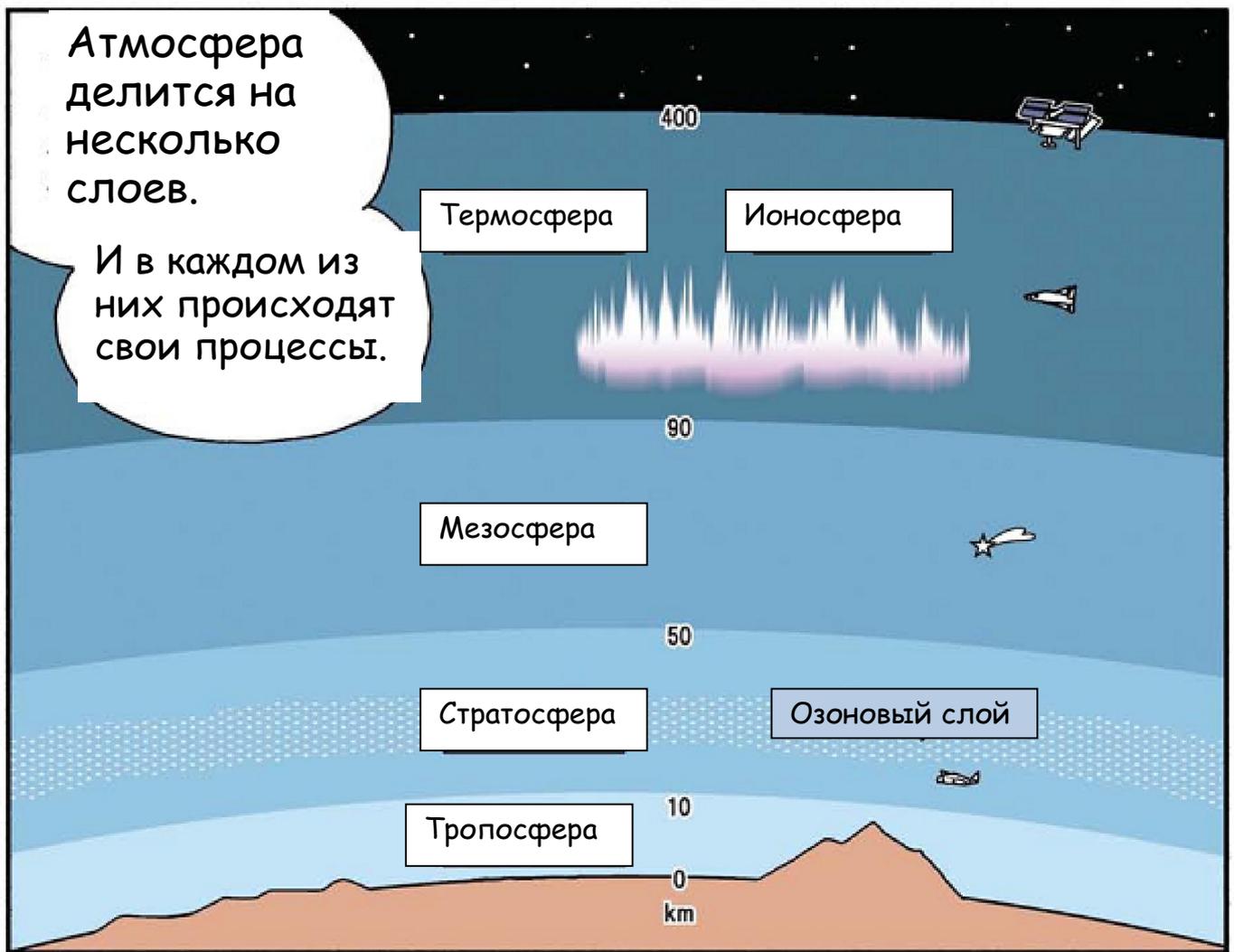
Ясное небо всегда красиво.

Мирубо, как ты думаешь, как выглядит самая верхняя часть неба?

Его крыша?

Ну да. То, что выше облаков, но ниже космоса

.Хм...
Где-то на их границе?





Ой, здесь все холоднее

Так все знают, что когда поднимаешься высоко в горы, то там холодно.

В тропосфере, до высоты 10 км, температура постепенно понижается.

Точно так, Мол. Выше 50 км, в мезосфере, озона опять становится меньше, и температура здесь опять понижается с высотой.

На верхней границе мезосферы - минус 90°C.

И это самое холодное место в земной атмосфере.



А еще выше, в стратосфере, в воздухе увеличивается содержание озона.

Да, теперь немного теплее.

Озоновый слой нагревает воздух, правда?



Еще выше, в термосфере, другие вещества, не озон, поглощают солнечное ультрафиолетовое излучение и нагревают воздух.

Там температура достигает 1000°C.



1000°?!

Нет уж, туда мы не полетим. Я не хочу поджариться.



Не волнуйся! Хотя 1000° - очень жарко, на самом деле мы этого не заметим.

Потому что плотность воздуха там очень низкая. Несмотря на то, что температура каждой молекулы 1000°, как целое воздух не ощущается как горячий.

Температура этой молекулы 1000°C.



Солнечная активность и разница условий днем и ночью вызывают...

...изменения температуры от 500 до 2000°C.

Чем выше я поднимаюсь, тем ветер становится все сильнее и сильнее.

В мезосфере его скорость - уже несколько десятков метров в секунду.

Но я не чувствую вообще никакого ветра.
Почему??

Причина та же, что и с температурой. Низкая плотность воздуха.

Поэтому ветер и не чувствуется в такой же степени, как на Земле.

На разной высоте существуют разные типы ветра.

Один из таких типов - это **атмосферные приливы**.

Они подобны суточному подъему и спаду уровня воды в океане.

А в термосфере - все сто.

В термосфере приливный ветер дует с дневной стороны на ночную.

Это потому, что на стороне Земли, повернутой к Солнцу, атмосфера нагревается и расширяется.

Получается, что утром воздух переносится с востока на запад....



запад

восток

... а вечером - в запада на восток.



восток

запад

Еще есть **планетарные волны**. Гребни этих воздушных волн опоясывают Землю.

Их периоды составляют от нескольких дней до полумесяца, а длина волны очень велика.



Во многом именно планетарные волны определяют чередование теплых и холодных дней в данной точке на глобусе.



Еще есть колебания воздуха с относительно коротким периодом: от десятков минут до нескольких часов. Они называются **атмосферными гравитационными волнами**.

Например, когда образуются кучево-дождевые облака, или когда ветер дует в гору, каждый маленький объем воздуха поднимается.

По мере подъема он расширяется, так как давление вокруг уменьшается. Но раздутые частицы, поднявшись, очень скоро начнут оседать, потому что при расширении их температура уменьшается, а плотность, соответственно, увеличивается.

Достигнув своей первоначальной высоты, частицы по инерции проскакивают равновесное положение и оказываются ниже него.

Тогда они опять будут подниматься, так как оказались слишком легкими для той высоты, на которую они попали.

Процесс повторяется, и воздух совершает колебательные движения вверх и вниз.

Гравитационные волны достигают верхней мезосферы. Там они разрушаются, и при этом выделяется энергия.

Этой энергии так много, что разрушение гравитационных волн изменяет систему крупномасштабных ветров.

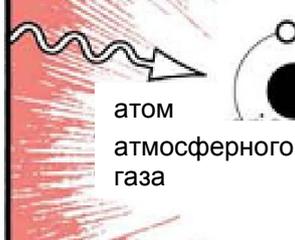
Теперь -
выше, в
ионосферу!



Теперь - выше,
в ионосферу!

Да, так и
есть!!

Мирубо,
видишь, как
рождаются
новые частицы?



атом
атмосферного
газа

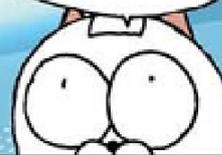
электрон

ион

Этот процесс
называется
ионизацией.

А газ, состоящий из
ионов и электронов,
называется **плазмой**.

А-а,
потому и
ионосфера!



Ионизация может
происходить и
вблизи
поверхности
Земли. но...

так как
плотность
воздуха здесь
большая...

разделившиеся ионы и
электроны моментально
рекомбинируют.

РЕКОМБИНАЦИЯ



А в ионосфере
плотность очень
маленькая,...

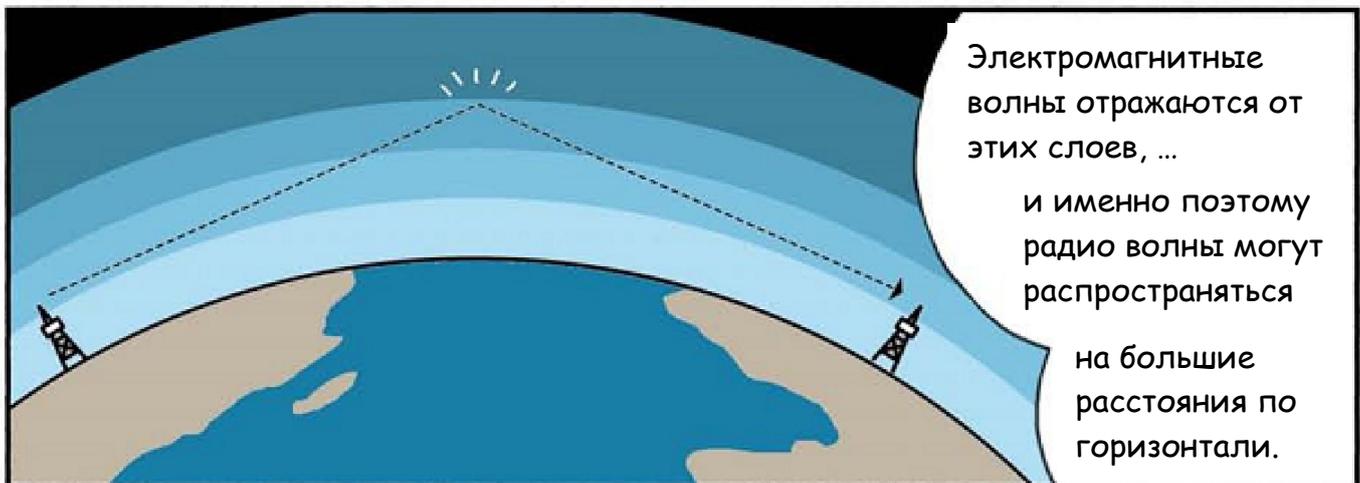
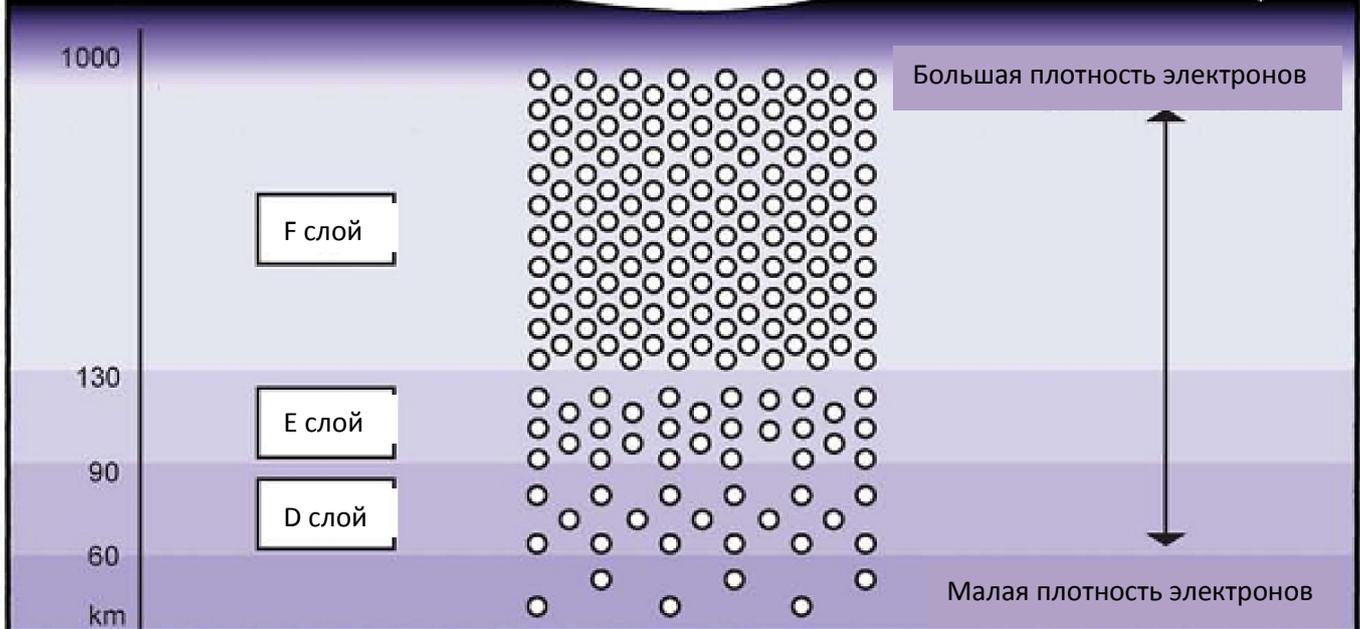
так что плазма
может
существовать
здесь долго.



В ионосфере
можно выделить
несколько
слоев...

с разной электронной
плотностью.
Основные слои - это
Е и F.

На этих высотах
электронная
плотность больше,
и там текут
электрические
токи.



Я понял.
Ионосфера - это
электрический
атмосферный
слой.

Благодаря ионосфере
мы можем слушать
радио.

И в этом - ее
польза.

Ионосфера сильно влияет на нашу повседневную жизнь. Когда в ней происходят возмущения, как те, про которые я только что говорил.

может нарушиться радиосвязь и GPS сигналы. Важно изучать ионосферу...

...чтобы предотвратить сбои радиотехнических и навигационных систем

Но ведь это совсем не просто - изучать верхнюю атмосферу.

Почему же?

Космические аппараты могут летать только выше 300 км, потому что ниже этой высоты сопротивление воздуха слишком велико.

А для воздушных шаров и самолетов воздух там слишком разреженный, чтобы они могли летать.

Так что не так-то просто получить данные с этих высот.



Космические аппараты выше 300 км

300

Термосфера

Ионосфера

90

Мезосфера

50

Баллоны ниже 50 км

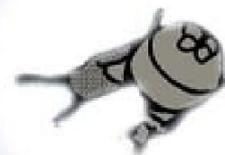


Самолеты ниже 20 км

0 км

Хорошо бы закинуть приборы прямо туда, на высоту. Тебе-то нетрудно было бы это сделать, Мирубо.

Но для нас...



И как же это делается?

Тем не менее, в настоящее время мониторинг верхней атмосферы проводят и с земли, и из космоса.

Спутники имеют большой пространственный обзор, но они летят слишком быстро, для того, чтобы зафиксировать изменения наблюдаемого параметра во времени.

Зондирующие ракеты измеряют атмосферные параметры в месте пролета.

Мы можем видеть полярное сияние потому, что атомы воздуха поглощают электромагнитные волны.

Thermosphere

Ionosphere

Ветры и температуру можно измерить с помощью наблюдений радио отражений от метеоров.

Высокочувствительные оптические камеры могут измерять слабое свечение атмосферы.

Mesosphere

Радары видят неоднородные структуры в атмосфере и ионосфере.

Лазерные лучи используются для определения ветра,

Почему же ученые настойчиво продолжают проводить исследования

... этой части атмосферы, несмотря на такие сложности с измерениями?

Помнишь, что я говорил про ионосферу?

Вся верхняя атмосфера очень важна для нас.



Еще вот что. В то время как в нижней атмосфере - тропосфере усиливается глобальное потепление, верхняя атмосфера становится холоднее.

Модельные расчеты показывают, что при удвоении углекислого газа температура верхней атмосферы уменьшится. В мезосфере - на 10° , а в термосфере - на 50° . И это очень много.

Глобальное потепление даже легче заметить в верхней атмосфере, чем на уровне земли.



И не забывай, термосфера - это та область, где летают космические шатлы и международная космическая станция.

Когда люди в будущем обживут ближний космос,...

... мы сможем видеть плазменные структуры прямо за ... а внизу - красивое полярное сияние.



Звучит заманчиво. Верхняя атмосфера становится все более близкой.

Не могу дождаться, когда мы узнаем об атмосфере все-все-все.

Что такое верхняя атмосфера?



Привет. Сэнсей.

Мне хотелось бы узнать, как выглядит самый верх атмосферы.



И я тоже. Можно там увидеть какой-нибудь потолок?



Конечно, нет. Есть протяженная область верхней атмосферы. Это граница между земной атмосферой и открытым космосом, в котором нет воздуха.



А как можно разделить атмосферу на слои, чтобы выделить «верхнюю»?



А вот так.

Толщина атмосферы - всего несколько сотен километров. Это совсем мало по сравнению с радиусом Земли. Атмосфера похожа на тонкую оболочку, окружающую планету. Хотя она вроде бы такая тонкая, на разных высотах свойства воздуха сильно различаются.



Теперь я понимаю.

И какие свойства у верхней атмосферы?



Прежде всего, сюда входит ионосфера, в которой воздух частично ионизован. Ионосфера отражает электромагнитные волны, излучаемые наземными радиопередатчиками. Это свойство позволяет использовать радары для наблюдения верхней атмосферы.



А как в атмосфере может существовать электричество?



Солнечное УФ излучение и заряженные частицы отрывают от атомов их электроны, и воздух становится ионизованным. Поскольку в ионосфере плотность воздуха мала, электронам нужно много времени, чтобы рекомбинировать. Воздух остается постоянно электрически заряженным.



И можно на этом электричестве

что-нибудь поджарить?



Если бы собрать всю Электрическую энергию, запасенную в верхней атмосфере, ты смог бы жарить бесконечно.



А зачем изучать верхнюю атмосферу? Мы что, зависим от нее?



Нестабильная ионосфера вызывает нарушение спутниковой связи и навигации, а также распространение радиоволн. С другой стороны, для радиосвязи ионосфера очень важна.



Тебе есть о чем беспокоиться, Мирубо. Без GPS ты ничего не сможешь делать, сразу потеряешь ориентацию.



Вот уж нет! Хотя, в общем, да.



А еще, ребята, в верхней атмосфере, в озоновом слое, поглощается вредный солнечный ультрафиолет. И полярные сияния возникают тоже в верхней атмосфере.



Полярные сияния можно видеть только у полюсов?



в целом, да. Но когда происходят магнитные бури, полярные сияния бывают видны и в более низких широтах.



И в Японии тоже бывают?



За последние 10 лет было больше 20 случаев. Иногда сияние было очень ярким, невооруженным глазом видно.



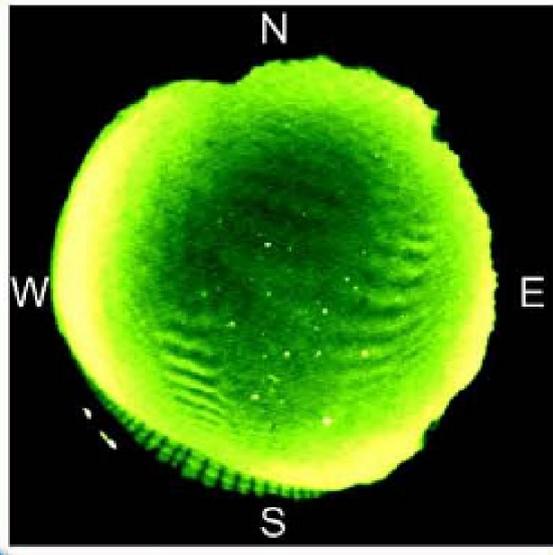
Я буду следить постоянно, может, увижу. Мне-то спать не обязательно, а тебе, Мол, уже пора.



Так не честно!!

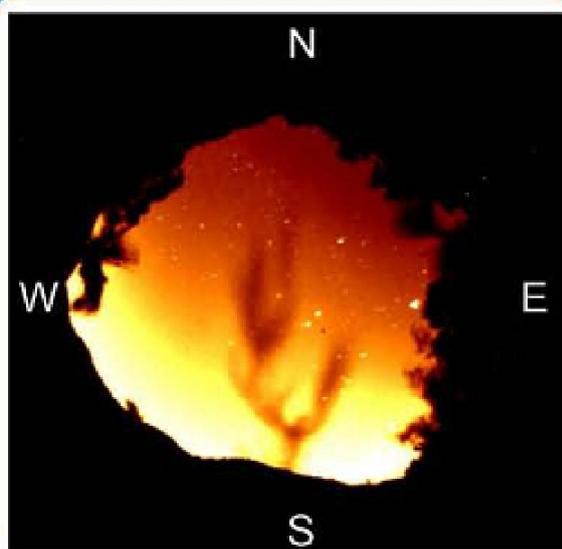
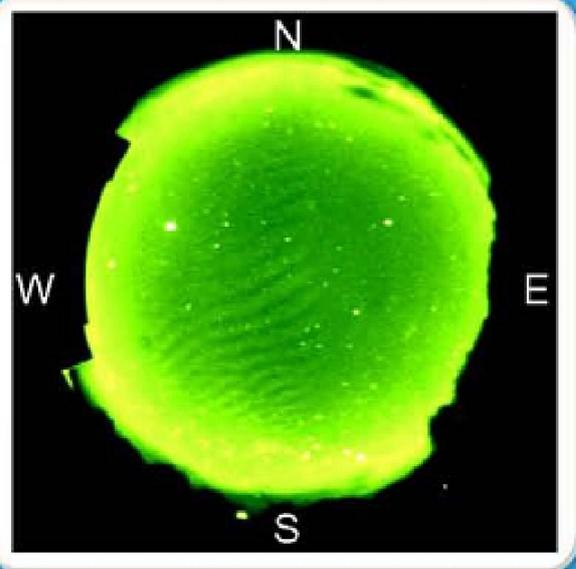
Ленточные структуры в верхней атмосфере

Верхняя атмосфера излучает слабый, едва видимый свет, который называется свечением. С помощью высокочувствительных оптических камер можно получить двумерные изображения свечения атмосферы. И таким способом обнаружить разные виды возмущений, которые генерируются гравитационными волнами и плазменными пузырями. Это сейчас очень актуальная тема

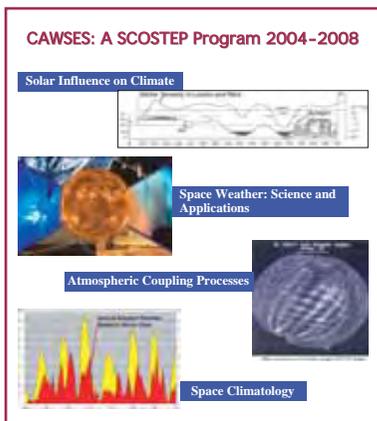


Пример изображения полос размером 20-30 км, которые образуются из-за гравитационных волн. Изображение получено камерой всего неба на длине волны 557.7 нм (зеленый свет), который излучается атомами кислорода на высоте 90-100 км, т.е. в мезосфере. Время экспозиции 105 секунд. Камера расположена в Обсерватории Университета Киото, Япония.

Аналогичное изображение гравитационных волн, полученное камерой, расположенной на острове Суматра в Индонезии.



Пример изображения плазменных пузырей (выглядят как дерево) в верхней атмосфере. Это изображение сделано камерой всего неба в красном свете (длина волны 630 нм), который излучается атомами кислорода на высоте 200-300 км.



Климат и погода в системе Солнце-Земля (CAWSES)

CAWSES - это международная программа, спонсируемая SCOSTEP (Научный Комитет по Солнечно-Земной Физике). Целью программы является углубленное изучение космической окружающей среды и ее влияния на жизнь и общество. Среди основных задач CAWSES - способствование координации международных исследований, наблюдательных кампаний, 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 изучается структура и динамика системы Солнце-Земля. Лаборатория состоит из четырех подразделений: Атмосфера, Ионосфера/Магнитосфера, Гелиосфера и меж дисциплинарные 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

Хэянан - японская писательница и мультипликатор. Закончила физический факультет Университета Рику. Создала несколько серий научно-популярных комиксов, в которых она сумела соединить физически корректное изложение вопросов и приемы 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 - это 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 верхняя атмосфера?" опубликовано в кооперации с Kodomo no Kagaku.

Мол, Мирубо и Сэнсей выражают благодарность Алану Барнсу за помощь в подготовке английской версии их истории.

Оригинал произведен Лабораторией солнечно-земных связей Университета Нагоя и Научным Комитетом по Солнечно-Земной Физике в рамках программы CAWSES.

Февраль 2008

Все права защищены.