

ВСЕЛЕННАЯ

в инфографике

МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО АСТ



УДК 52
ББК 22.6
П93

Охраняется законом об авторском праве. Воспроизведение всей книги или любой ее части запрещается без письменного разрешения издателя.
Любые попытки нарушения закона будут преследоваться в судебном порядке.

П93 **Вселенная** в инфографике / Б.Г. Пшеничнер, О.В. Абрамова. — Москва: Издательство АСТ, 2016. — 208 с. : ил. — (Все знания мира в инфографике).

Человек увлечен астрономией на протяжении многих веков, с тех пор как он в порыве любознательности впервые поглядел на небо...

Трудно вообразить себе масштабы Вселенной... Книга «Вселенная в инфографике» содержит интереснейшую информацию по астрономии, она познакомит вас с космическими объектами и покажет, как они связаны друг с другом, а также поможет тем, кто хочет начать самостоятельные исследования. Просто и наглядно о сложном – в инфографике!

УДК 52
ББК 22.6



ВВЕДЕНИЕ

В июне 2004 года учёные открыли астероид поперечником 250 метров, который двигался по орбите возможного сближения с Землёй. Астрономы занесли его в каталоги под именем «99 942 Aporhis» (предварительное наименование — 2004 MN4). Первые расчёты пути астероида показали, что он может врезаться в нашу планету в пятницу 13 апреля 2029 года. При ударе должна высвободиться энергия, эквивалентная взрыву 1600 мегатонн тротила. В прессе немедленно начали обсуждать возможные масштабы будущей катастрофы. А открытый небесный объект стали называть «Астероид-убийца».

Чтобы представить разрушительные последствия ожидавшегося удара, вспомнили о Тунгусской катастрофе, случившейся 30 июня 1908 года. Причиной того события в сибирской тайге стал взрыв небесного тела в 500 раз меньшего объёма. Но и этого оказалось достаточно, чтобы вырвать с корнем вековые деревья в радиусе около 40 километров. Рассчитано, что падение в океан такого астероида, как Апофис, могло бы вызвать огромные волны цунами и значительные разрушения на суше. К нашему счастью, последующие более точные наблюдения и расчёты орбиты Апофиса убедили учёных, что трагедии не произойдёт. Астероид в тот пока далёкий день 2029 года пронесётся вблизи Земли. В момент наиболее тесного соседства нас может разделять около 30 тысяч километров. Это в 13 раз меньше расстояния до Луны и на четверть меньше длины земного экватора. Дистанция по космическим меркам просто ничтожная. Искусственные спутники Земли на геостационарной орбите находятся выше.

Астрономы продолжают внимательно следить за движением Апофиса. Пока не ясно, как изменится его орбита в 2029 году под влиянием земного притяжения. Он может опасно приблизиться к нашей планете, когда снова вернётся к ней в 2036 году. Число подобных космических тел, сближающихся с Землёй и пересекающих её орбиту, измеряется десятками тысяч. Причём их значительная часть всё ещё остаётся неизвестной. Поэтому мы не знаем, когда и с какой стороны можно ожидать катастрофического удара астероида или ядра небольшой кометы.

**В ИЮНЕ 2004 ГОДА УЧЁНЫЕ ОТКРЫЛИ АСТЕРОИД
ПОПЕРЕЧНИКОМ 250 МЕТРОВ, КОТОРЫЙ ДВИГАЛСЯ
ПО ОРБИТЕ ВОЗМОЖНОГО СБЛИЖЕНИЯ С ЗЕМЛЁЙ.
АСТРОНОМЫ ЗАНЕСЛИ ЕГО
В КАТАЛОГИ ПОД ИМЕНЕМ
«99 942 APOPHIS».**

Кометно-астероидную опасность земная цивилизация осознала лишь в последние десятилетия. Были предприняты и практические шаги по защите Земли: определена стратегия, разработаны и обсуждаются проекты создания многоуровневой (эшелонированной) системы космической обороны, предложены средства перехвата и разрушения опасных космических объектов с использованием авиации, кораблей, ракет и ядерных зарядов. Особое внимание уделяется поиску потенциально опасных космических объектов. Невольно возникает аналогия с подготовкой военных оборонительных операций. Но если военные операции планируются в интересах отдельных стран и группировок, то создание системы космической защиты Земли необходимо каждому из нас и всему человечеству.

На страницах этого издания рассматривается вероятность катастрофических столкновений Земли с другими небесными телами, рассказывается о Солнечной системе, нашей Галактике, звёздных системах Вселенной. Вы узнаете о природе комет, метеоритов и астероидов, о тех из них, с которыми уже сталкивалась наша планета в недалёком прошлом, и о тех, которые ещё летают в безграничном космосе, представляя угрозу для Земли.

Авторы книги:

Борис Григорьевич Пшеничнер — заслуженный работник культуры РФ, академик Российской академии космонавтики, специалист в области астрономического и космического образования. Более 40 лет Борис Григорьевич возглавлял отдел астрономии и космонавтики Дворца творчества детей и юношества на Воробьёвых горах. Борис Григорьевич — талантливый популяризатор науки, автор многих учебных пособий и научно-популярных изданий по астрономии и космонавтике.

Оксана Викторовна Абрамова — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник отдела Внегалактической астрономии Государственного астрономического института имени Штернберга, автор многочисленных научных и научно-популярных статей по астрономии.



Часть I
ВСЕЛЕННАЯ.
ОБЪЕКТЫ И ПРОЦЕССЫ

ГЛАВА I

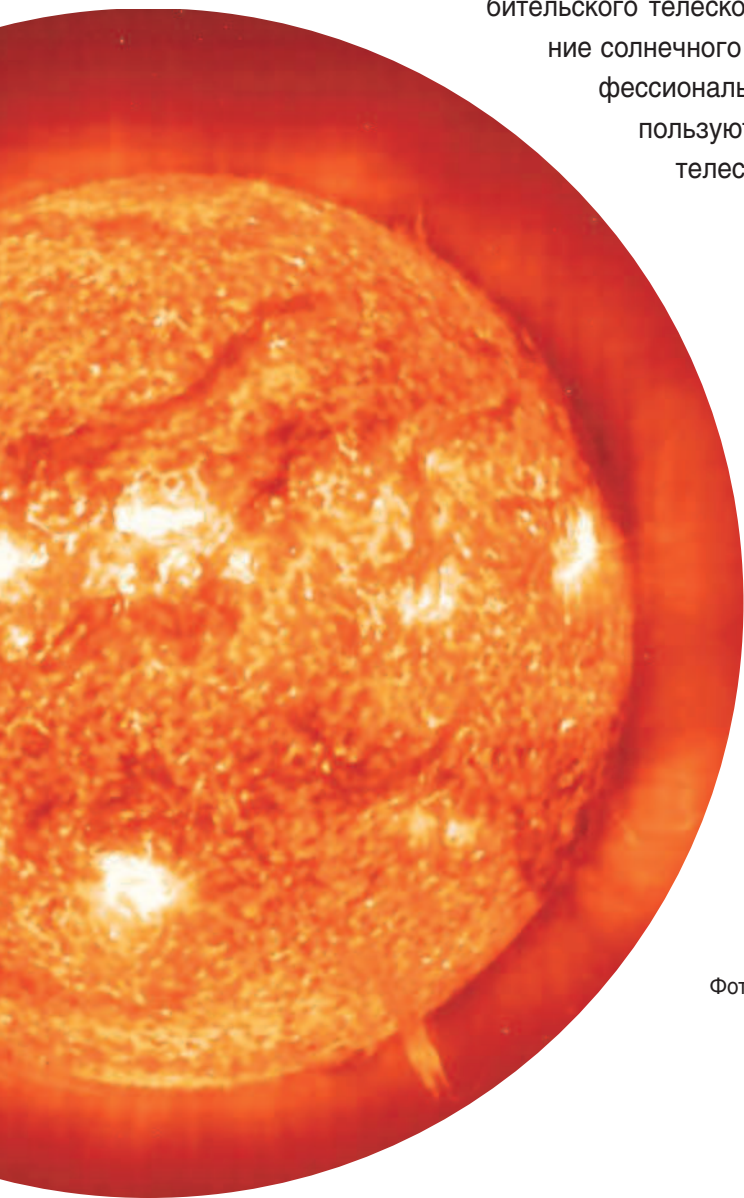
ЗВЕЗДА СОЛНЦЕ

Солнце — самая близкая к Земле звезда, дающая нам свет и тепло. Этот газовый шар не имеет чёткой границы, его плотность убывает постепенно. Почему же мы видим Солнце резко очерченным? Дело в том, что практически всё его видимое излучение исходит из очень тонкого слоя, который называют фотосферой (греч. «сфера света»). Её толщина не превышает 200–300 км, что очень мало по сравнению с радиусом Солнца. Именно тонкость этого слоя и создаёт у наблюдателя иллюзию того, что Солнце имеет «поверхность». Слои выше фотосферы прозрачны для видимого света, а ниже наш взгляд просто не проникает.

Каждому известно, что нельзя смотреть на Солнце невооружённым глазом, а тем более в телескоп без специальных, очень тёмных светофильтров или других устройств, ослабляющих свет. Пренебрегая этим запретом, наблюдатель рискует получить сильнейший ожог глаз. Самый простой способ рассматривать Солнце — спроецировать его изображение на белый экран. При помощи даже маленького любительского телескопа можно получить увеличенное изображение солнечного диска со множеством деталей. Однако профессиональные астрономы для изучения Солнца используют специальные инструменты — солнечные телескопы.

На первый взгляд диск Солнца кажется однородным. Однако, если приглядеться, на нём можно обнаружить много крупных и мелких деталей. Даже при среднем качестве изображения видно, что вся фотосфера состоит из светлых зёрен — гранул — и тёмных промежутков между ними. Размеры гранул невелики по солнечным масштабам, 1000–2000 км в поперечнике; тёмные межгранульные дорожки более узкие, примерно 300–600 км в ширину. На солнечном диске наблюдается одновременно около миллиона гранул.

Фотография Солнца в ультрафиолетовых лучах





Грануляция создаёт общий фон, на котором можно наблюдать гораздо более контрастные и крупные объекты — солнечные пятна и факелы. Солнечные пятна — это тёмные образования на диске Солнца. В телескоп видно, что крупные пятна имеют довольно сложное строение: тёмную область, называемую тенью, окружает полутень, диаметр которой в 2–3 раза превышает размер тени. Если пятно наблюдается на краю солнечного диска, то создается впечатление, что оно похоже на глубокую тарелку. Происходит это потому, что газ в пятнах прозрачнее, чем в окружающей атмосфере, и взгляд проникает глубже. По величине пятна бывают очень разными — от малых, диаметром примерно 1000–2000 км, до гигантских, значительно превосходящих размеры нашей планеты. Отдельные пятна могут достигать в поперечнике 40 тыс. км. Диаметр самого большого из наблюдавшихся пятен — 100 тыс. км. Установлено, что пятна — это места выхода в солнечную атмосферу сильного магнитного поля. Там, где поле сильнее, температура падает. Пятна холоднее окружающего их вещества, а следовательно, менее яркие. Вот почему на общем фоне они выглядят тёмными. Практически всегда пятна окружены светлыми ажурными полями, которые называют факелами или факельными полями. Особенно отчётливо они видны на краю солнечного диска и кажутся набором ярких волокон, образующих ячейки размером около 30 тыс. км. По-видимому, факелы тоже являются местами выхода магнитного поля в наружные слои Солнца, но это поле слабее, чем в пятнах.

СОЛНЕЧНЫЕ ПЯТНА – ЭТО ТЁМНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ НА ДИСКЕ СОЛНЦА.

Пятна и факелы вместе образуют активные области. Именно там происходят солнечные вспышки, и над ними в верхних слоях солнечной атмосферы висят протуберанцы. Все сложные процессы, происходящие в активных областях на Солнце, связаны с изменчивостью породившего их магнитного поля.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ СОЛНЦА

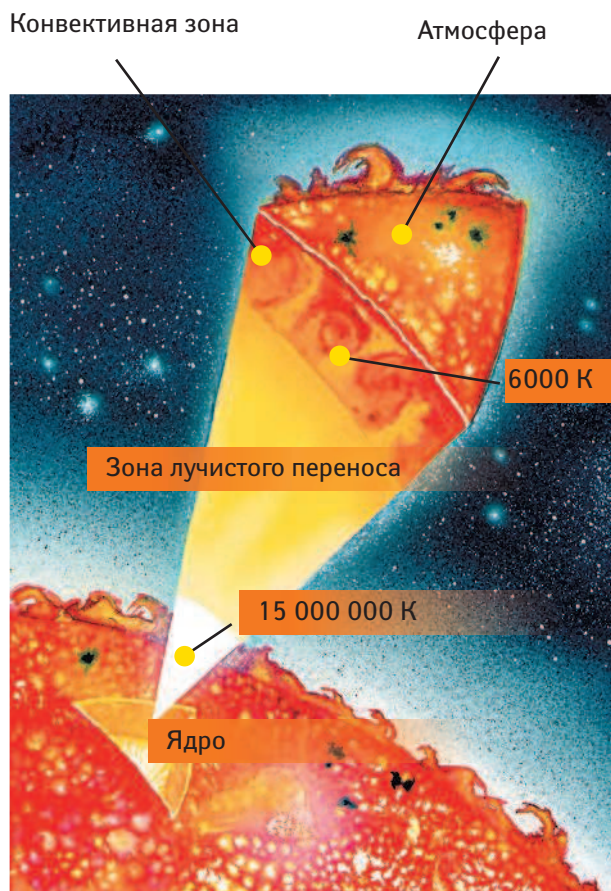
Солнце — огромный светящийся газовый шар, внутри которого протекают сложные процессы и в результате непрерывно выделяется энергия. В центральной части Солнца находится источник его энергии — та «печка», которая нагревает его и не даёт ему остыть. Эта область называется ядром. Под тяжестью внешних слоёв вещество внутри Солнца сжато, причём чем глубже, тем сильнее. Плотность его увеличивается к центру вместе с ростом давления и температуры. В ядре, где температура достигает 15 млн Кельвинов, происходит выделение энергии в результате слияния атомов лёгких химических элементов в атомы более тяжёлых.

Ядро имеет радиус не более четверти общего радиуса Солнца. Однако в его объёме сосредоточена половина солнечной массы и выделяется практически вся энергия, которая поддерживает свечение Солнца.

Вокруг ядра — зона лучистого переноса энергии, она распространяется путём поглощения и излучения веществом порций света — квантов. Плотность, температура и давление уменьшаются по мере удаления от ядра, и в этом же направлении идёт поток энергии. В целом процесс этот крайне медленный. Чтобы квантам добраться от центра Солнца до фотосферы, необходимы многие тысячи лет: ведь, переизлучаясь, кванты всё время меняют направление, почти столь же часто двигаясь назад, как и вперёд. Так что если бы «печка» внутри Солнца вдруг погасла, то мы узнали бы об этом только миллионы лет спустя.

СОЛНЦЕ – ОГРОМНЫЙ СВЕЯЩИЙСЯ ГАЗОВЫЙ ШАР, ВНУТРИ КОТОРОГО ПРОТЕКАЮТ СЛОЖНЫЕ ПРОЦЕССЫ.

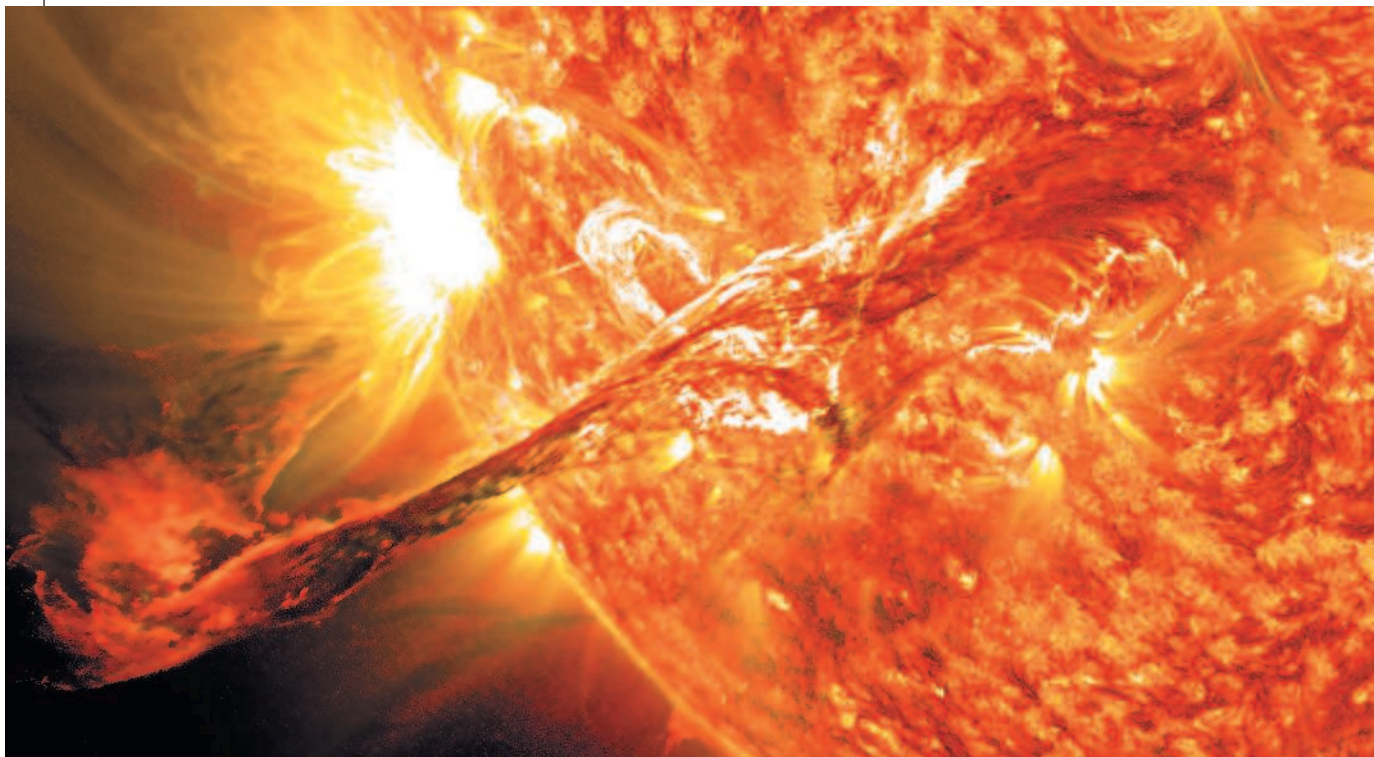
В конвективной зоне энергия передаётся уже не излучением, а конвекцией — перемешиванием. Огромные потоки горячего газа поднимаются вверх, где отдают своё тепло окружающей среде, а охлаждённый солнечный газ опускается вниз.



Внутреннее строение Солнца

Атмосфера Солнца — его внешние слои. Оттуда часть излучения беспрепятственно уходит в окружающее пространство. Атмосфера начинается на 200–300 км глубже видимого края солнечного диска. Самые глубокие слои атмосферы называют фотосферой. Поскольку их толщина составляет не более одной трёхтысячной доли солнечного радиуса, фотосферу иногда условно называют поверхностью Солнца.

Плотность газов в фотосфере примерно такая же, как в земной стратосфере, и в сотни раз меньше, чем у поверхности Земли, а температура среднего слоя, излучение которого мы воспринимаем, около 6000 К. Над фотосферой расположена хромосфера (греч. «сфера цвета»), которая названа так за свою красновато-фиолетовую окраску. Хромосфера весьма



Выброс корональной массы Солнца

неоднородна и состоит в основном из продолговатых вытянутых язычков (спикул), придающих ей вид горящей травы. Температура этих хромосферных струй в два-три раза выше, чем в фотосфере, а плотность в сотни тысяч раз меньше. Общая протяжённость хромосферы 10–15 тыс. км.

Часто во время затмений (а при помощи специальных спектральных приборов — и не дожидаясь затмений) над поверхностью Солнца можно наблюдать причудливой формы «фонтаны», «облака», «воронки», «кусты», «арки» и прочие ярко светящиеся образования из хромосферного вещества. Они бывают неподвижными или медленно изменяющи-

РАСПРОСТРАНЯЯСЬ ДАЛЕКО ЗА ПРЕДЕЛЫ ОРБИТ ЮПИТЕРА И САТУРНА, СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР ОБРАЗУЕТ ГИГАНТСКУЮ ГЕЛИОСФЕРУ.

мися, окружёнными плавными изогнутыми струями, которые втекают в хромосферу или вытекают из неё, поднимаясь на десятки и сотни тысяч километров. Это самые грандиозные образования солнечной атмосферы — протуберанцы.

Самая внешняя часть его атмосферы — самая разреженная и самая горячая. Добавим, что она и самая близкая к нам: оказывается, она простирается на миллионы километров

Солнце

1

На солнечном диске наблюдается одновременно около миллиона гранул.

Даже при среднем качестве изображения видно, что вся фотосфера состоит из светлых зёрен — гранул — и тёмных промежутков между ними.



2

Грануляция создаёт общий фон, на котором можно наблюдать гораздо более контрастные и крупные объекты — солнечные пятна и факелы.

По величине пятна бывают очень разными — от малых, диаметром примерно **1000—2000 км**, до гигантских, значительно превосходящих размеры нашей планеты.



Установлено, что пятна — это места выхода в солнечную атмосферу сильного магнитного поля. Там, где поле сильнее, температура падает. Пятна холоднее окружающего их вещества, а следовательно, менее яркие.

3

Практически всегда пятна окружены светлыми ажурными полями, которые называют факелами или факельными полями.

Пятна и факелы вместе образуют активные области. Именно там происходят солнечные вспышки, и над ними в верхних слоях солнечной атмосферы висят протуберанцы.

Факелы тоже являются местами выхода магнитного поля в наружные слои Солнца, но это поле слабее, чем в пятнах.



1
Размеры гранул невелики по солнечным масштабам, **1000—2000 км** в поперечнике.

← **1 392 000 000 км**

2
Отдельные пятна могут достигать в поперечнике **40 тыс. км.**

3
Особенно отчётливо они видны на краю солнечного диска и кажутся набором ярких волокон, образующих ячейки размером около **30 тыс. км.**



Почему же мы видим Солнце резко очерченным?
Дело в том, что практически всё его видимое излучение исходит из очень тонкого слоя, который называют фотосферой (греч. «сфера света»). Её толщина не превышает **200—300 км**.

71% H

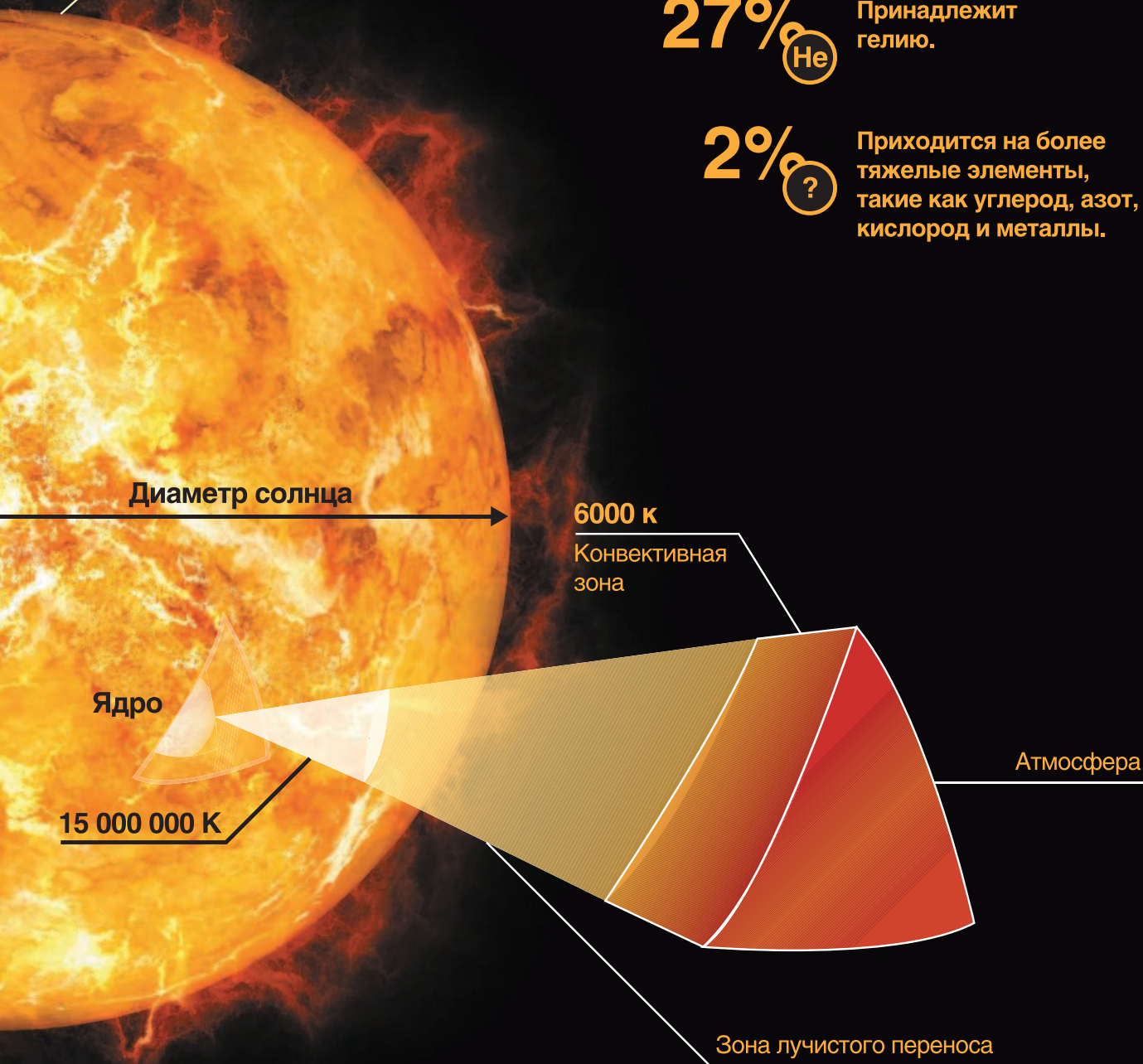
Всей массы светила приходится на водород.

27% He

Принадлежит гелию.

2% $?$

Приходится на более тяжелые элементы, такие как углерод, азот, кислород и металлы.



далеко от Солнца в виде постоянно движущегося от него потока плазмы — солнечного ветра. Вблизи Земли его скорость составляет в среднем 400–500 км/с, а порой достигает почти 1000 км/с.

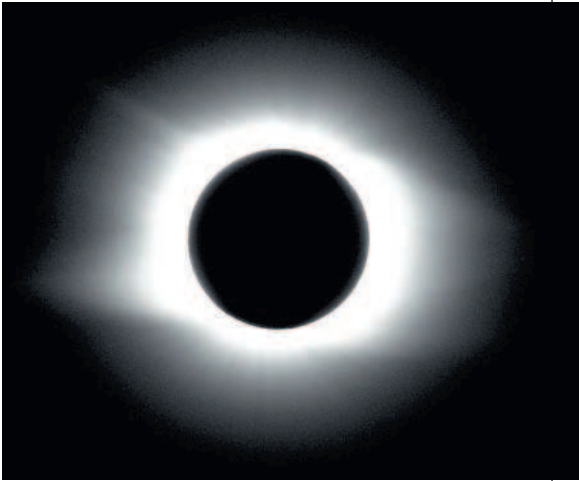
Распространяясь далеко за пределы орбит Юпитера и Сатурна, солнечный ветер образует гигантскую гелиосферу, граничащую с ещё более разреженной межзвёздной

средой. Фактически мы живём окружённые солнечной короной, хотя и защищённые от её проникающей радиации надёжным барьером в виде земного магнитного поля. Через корону солнечная активность влияет на многие процессы, происходящие на Земле.

Почему Солнце светит и не остывает уже миллиарды лет? Какое «топливо» даёт ему энергию? Ответы на эти вопросы учёные искали веками, и только в начале XX в. было найдено правильное решение. Теперь известно, что Солнце, как и другие звёзды, светит благодаря протекающим в его недрах термоядерным реакциям.

Если ядра атомов лёгких элементов сольются в ядро атома более тяжёлого

элемента, то масса нового ядра окажется меньше, чем суммарная масса тех ядер, из которых оно образовалось. Остаток массы превращается в энергию, которую уносят частицы, освободившиеся в ходе реакции. Эта энергия почти полностью переходит в тепло. Такая реакция синтеза атомных ядер может происходить только при очень высоком давлении и температуре свыше 10 млн градусов. Поэтому она и называется термоядерной.



Во время полного солнечного затмения хорошо видна солнечная корона

ОСНОВНОЕ ВЕЩЕСТВО, СОСТАВЛЯЮЩЕЕ СОЛНЦЕ, — ВОДОРОД, НА ЕГО ДОЛЮ ПРИХОДИТСЯ ОКОЛО 71% ВСЕЙ МАССЫ СВЕТИЛА.

Основное вещество, составляющее Солнце, — водород, на его долю приходится около 71% всей массы светила. Почти 27% принадлежит гелию, а остальные 2% — более тяжёлым элементам, таким как углерод, азот, кислород и металлы.

По-видимому, наиболее важной для большинства звёзд является протон-протонная термоядерная реакция, когда при тесном сближении ядер атомов водорода — протонов происходит ряд последовательных ядерных превращений и образуется ядро гелия, так



что главным «топливом» на Солнце служит именно водород. Из каждого грамма водорода, участвующего в реакции, выделяется $6 \cdot 10^{11}$ Дж энергии! На Земле такого количества энергии хватило бы для того, чтобы 1000 м³ воды (!) нагреть от температуры 0 °С до точки кипения.

Сейчас внутри Солнца гораздо больше гелия, чем на его поверхности. Естественно, возникает вопрос: что же будет с Солнцем, когда весь водород в его ядре выгорит и превратится в гелий и как скоро это произойдёт? Оказывается, примерно через 5 млрд лет содержание водорода в ядре Солнца настолько уменьшится, что его «горение» начнётся в слое вокруг ядра. Это приведёт к «раздуванию» солнечной атмосферы, увеличению размеров Солнца, падению температуры на поверхности и повышению её в ядре.

Постепенно Солнце превратится в красный гигант — сравнительно холодную звезду огромного размера с атмосферой, превосходящей границы орбиты Земли. Жизнь Солнца на этом не закончится, и оно будет претерпевать ещё много изменений, пока в конце концов не станет холодным и плотным газовым шаром, внутри которого уже не произойдёт никаких термоядерных реакций.

ГЕЛИОСФЕРА И МЕЖПЛАНЕТНЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

В конце 1950-х гг. американский астрофизик Юджин Паркер предположил, что газ солнечной короны непрерывно расширяется, заполняя Солнечную систему. Он основывался на том, что газ в солнечной короне имеет высокую температуру, которая сохраняется с удалением от Солнца. Результаты, полученные с помощью советских и американских космических аппаратов, подтвердили правильность теории Паркера.

В межпланетном пространстве действительно мчится направленный от Солнца поток вещества, названный солнечным ветром. Он представляет собой продолжение расширяющейся солнечной короны. Солнечный ветер состоит в основном из ядер атомов водорода (протонов) и гелия (альфа-частиц), а также электронов.

Солнечный ветер создаёт пузырь в межзвёздной среде, называемый гелиосферой. Внешняя граница солнечного ветра называется гелиопаузой, за ней солнечный ветер и межзвёздное вещество смешиваются, взаимно растворяясь. Гелиопауза находится примерно в четыре раза дальше Плутона и считается началом межзвёздной среды, она вытянута в противоположную движению Солнца сторону.

Благодаря исследованиям космических аппаратов «Вояджер» стало известно, что магнитное поле на границе Солнечной системы имеет структуру, похожую на пену. Каждый «пузырёк» этой «космической пены» составляет в поперечнике порядка 150 млн км, что соответствует расстоянию от Солнца до Земли! Возникают эти магнитные «пузыри» на границе Солнечной системы из-за того, что наша звезда вращается и её вращение приводит к тому, что линии магнитного поля «запутываются» и образуют самостоятельные структуры («пузыри»), отделившиеся от основного магнитного поля звезды.

В настоящее время «Вояджеры» вплотную приблизились к самой границе Солнечной системы, и ожидается, что в ближайшие годы человечество получит ценную информацию



Полярное сияние над Землёй

об условиях в местном межзвёздном облаке за её пределами, а также о том, насколько хорошо гелиосфера защищает Солнечную систему от космических лучей.

Частицы солнечного ветра летят со скоростями несколько сотен километров в секунду, удаляясь от Солнца на многие десятки астрономических единиц — туда, где межпланетная среда Солнечной системы переходит в разреженный межзвёздный газ. А вместе с ветром в межпланетное пространство переносится и солнечное магнитное поле.

СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР ВМЕСТЕ С «ВМОРОЖЕННЫМ» В НЕГО МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ФОРМИРУЕТ ГАЗОВЫЕ ХВОСТЫ КОМЕТ, НАПРАВЛЯЯ ИХ В СТОРОНУ ОТ СОЛНЦА.

Общее магнитное поле Солнца по форме линий магнитной индукции немного напоминает земное. Но силовые линии земного поля близ экватора замкнуты и не пропускают направленные к Земле заряженные частицы. Силовые линии солнечного поля, напротив, в экваториальной области разомкнуты и вытягиваются в межпланетное пространство, искривляясь подобно спиральям. Объясняется это тем, что силовые линии остаются связанными с Солнцем, которое вращается вокруг своей оси.



Солнечный ветер вместе с «вмороженным» в него магнитным полем формирует газовые хвосты комет, направляя их в сторону от Солнца. Встречая на своём пути Землю, солнечный ветер сильно деформирует её магнитосферу, в результате чего наша планета обладает длинным магнитным «хвостом», также направленным от Солнца. При этом магнитное поле Земли чутко отзывается на обдувающие её потоки солнечного вещества.

КАК СОЛНЦЕ ВЛИЯЕТ НА ЗЕМЛЮ?

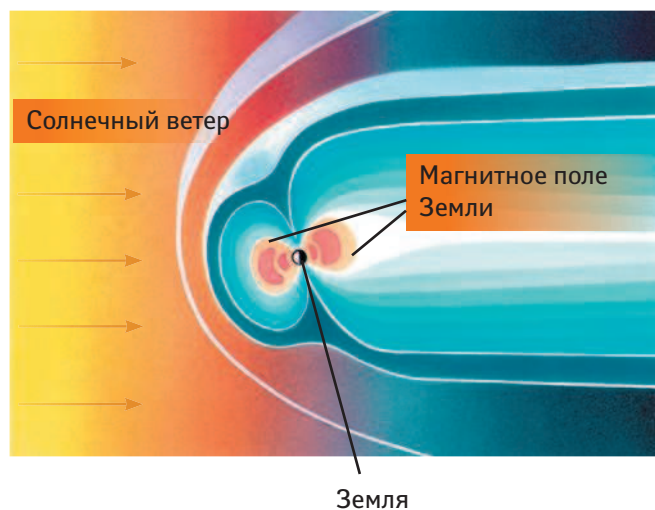
Солнце посылает на Землю электромагнитные волны всевозможной длины — от многокилометровых радиоволн до чрезвычайно коротковолновых гамма-лучей. Окрестностей Земли достигают также заряженные частицы разной энергии — как высокой (солнечные космические лучи), так и низкой и средней (потоки солнечного ветра, выбросы от вспышек), называемые солнечным ветром. Только очень малая часть заряженных частиц из межпланетного пространства попадает в атмосферу Земли (остальные отклоняет или задерживает геомагнитное поле).

Быстрые частицы вызывают сильные токи в земной атмосфере, приводят к возмущению магнитного поля нашей планеты и даже влияют на циркуляцию воздуха в атмосфере. Наиболее ярким и впечатляющим проявлением бомбардировки атмосферы солнечными частицами являются полярные сияния. Это свечение в верхних слоях атмосферы, имеющее либо размытые (диффузные) формы, либо вид корон или занавесей (драпри), состоящих из многочисленных отдельных лучей. Сияния обычно бывают красного или зелёного цвета.

Ионизацию земной атмосферы и нарушение связи на коротких волнах вызывают рентгеновские кванты, проникающие до высот 80–100 км от поверхности Земли. Они образуются при сильных всплесках солнечного рентгеновского излучения от хромосферных вспышек.

Часть наиболее длинноволнового ультрафиолетового излучения, которая доходит до земной поверхности, вызывает у людей загар и даже ожоги кожи при длительном пребывании на солнце. Основной же поток приходящих от Солнца губительных для всего живого ультрафиолетовых лучей задерживает «озонный экран», формирующийся на высоте 30–35 км над поверхностью Земли.

Излучение в видимом диапазоне поглощается слабо. Однако оно рассеивается атмосферой даже в отсутствие облаков, и часть его возвращается в межпланетное пространство. Облака, состоящие из капелек воды и твёрдых частиц, значительно усили-



Магнитосфера Земли отклоняет солнечный ветер