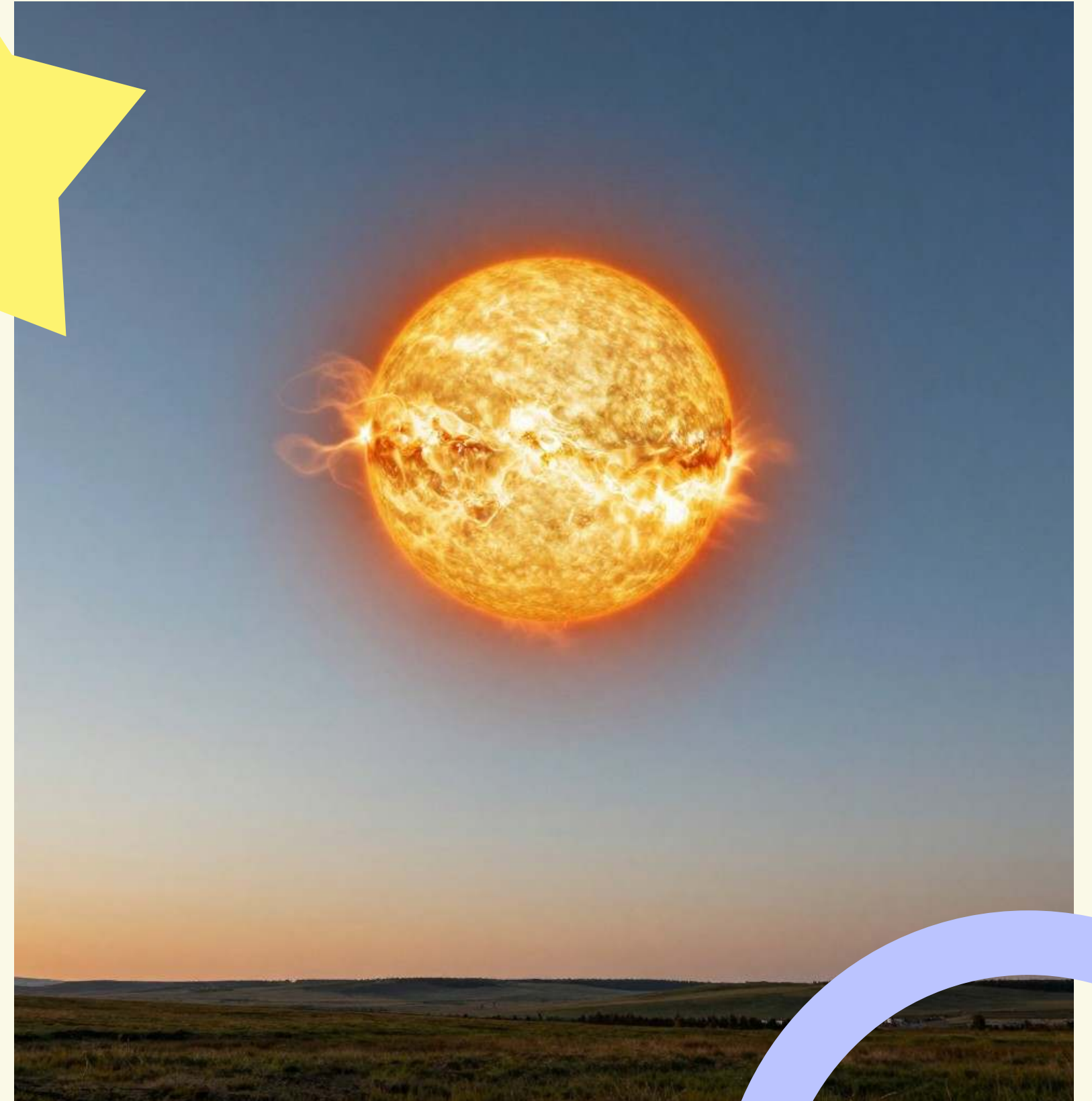


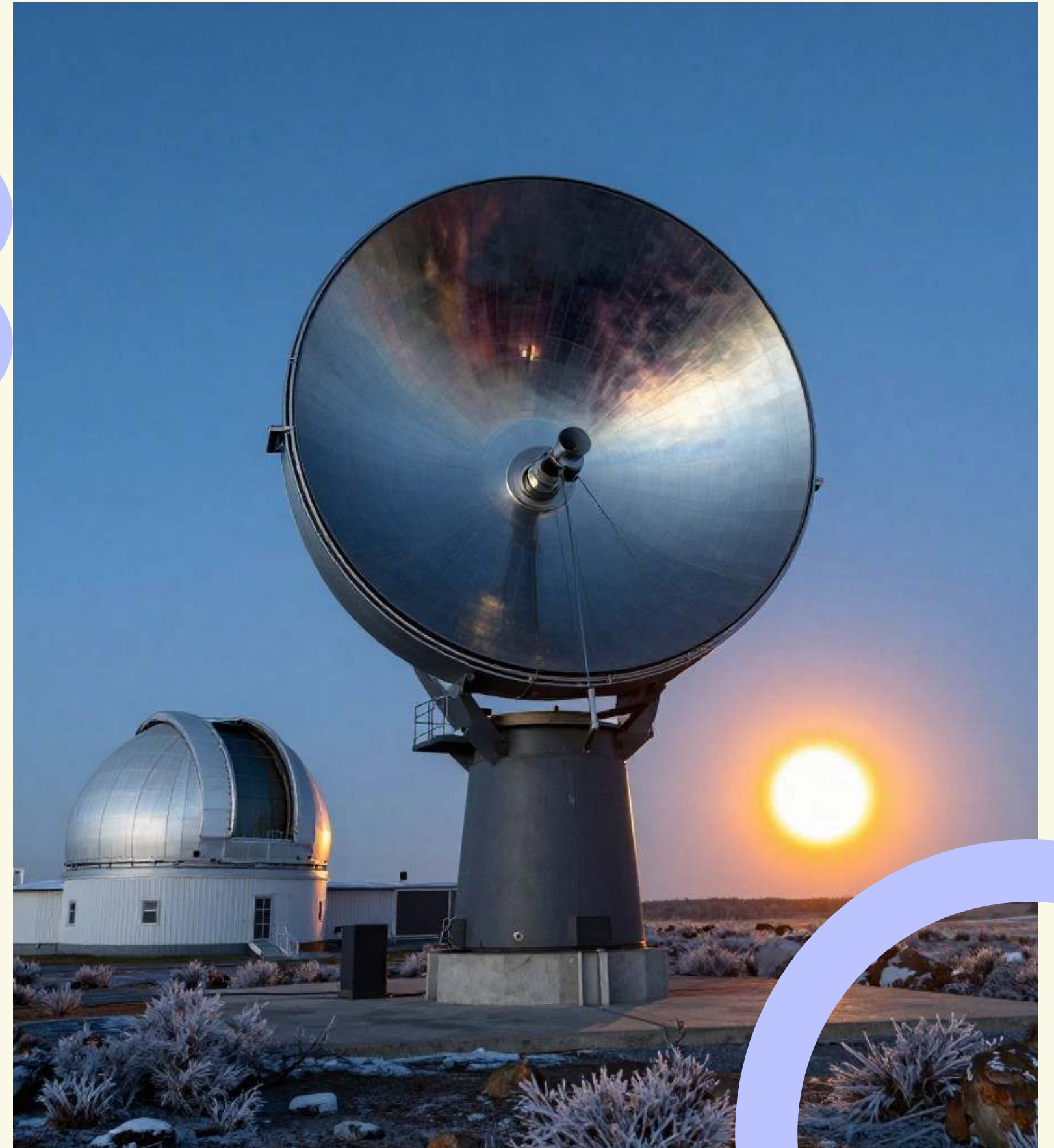
Состав и строение Солнца

Главная звезда, определяющая жизнь и ритм Земли.



Зачем изучать строение Солнца

Солнце задаёт условия для жизни на Земле и служит естественной лабораторией для изучения звёзд. По его излучению, колебаниям и спектру астрономы восстанавливают процессы, происходящие в недрах звёзд и их атмосферах.



Химический состав солнечной плазмы

Главные элементы

По массе Солнце почти целиком состоит из водорода и гелия: именно они определяют его общую природу и поведение как звезды.

Следы тяжёлых элементов

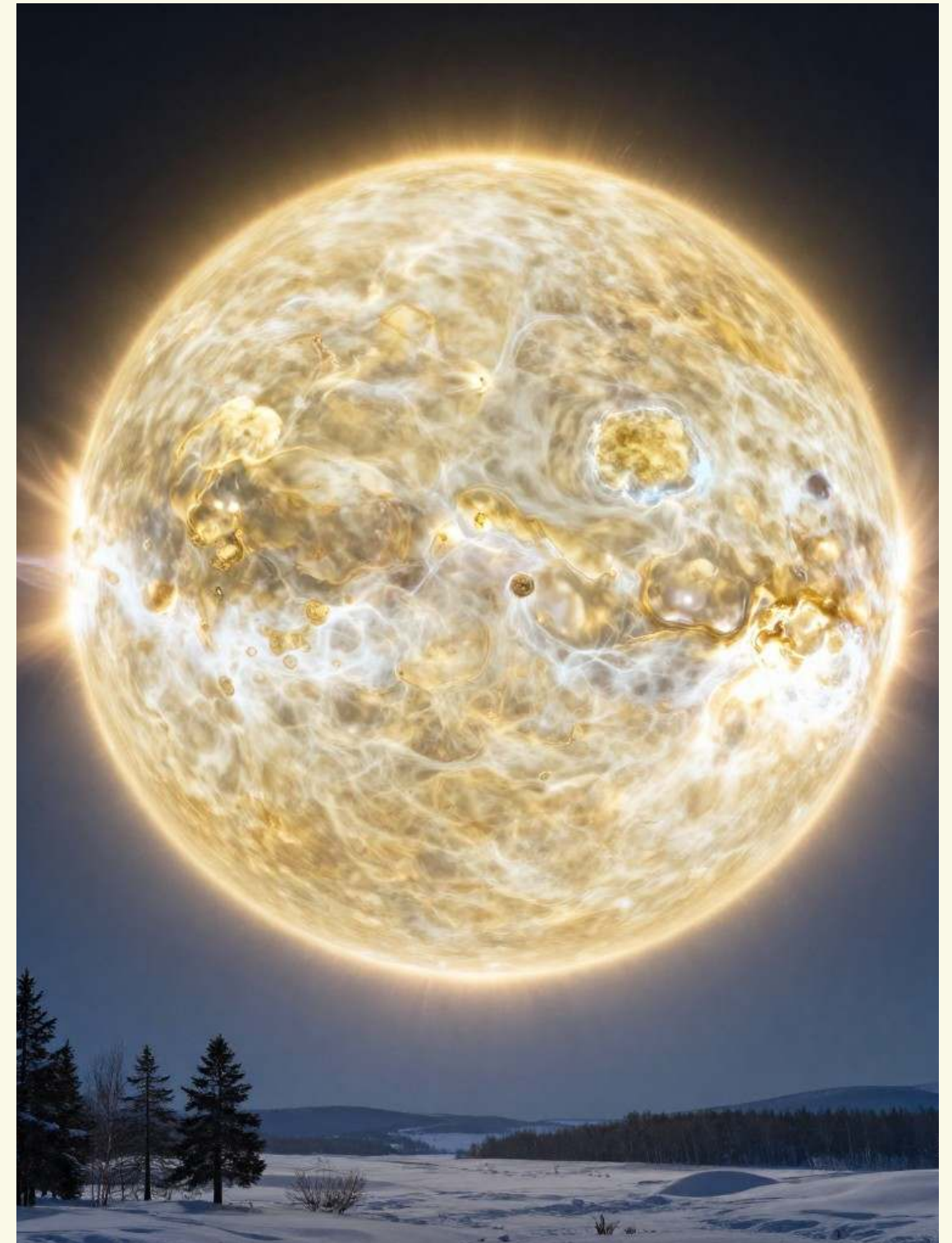
Кислород, углерод, неон, железо, кремний и магний содержатся в малых долях, но заметно влияют на спектр и физику внешних слоёв.

Что показывает спектр

Линии поглощения в солнечном спектре возникают из-за переходов атомов и ионов, поэтому по ним можно судить о составе плазмы.

Почему это важно

Химический состав помогает понять происхождение Солнца, особенности его эволюции и различия между внутренними и внешними областями звезды.



Основные физические параметры Солнца

Параметр	Значение	Единица
Масса	$1,989 \times 10^{30}$	кг
Радиус	696 340	км
Светимость	$3,83 \times 10^{26}$	Вт
Температура ядра	≈15 млн	К

Ключевые параметры Солнца позволяют оценить его масштаб, энерговыделение и внутренние условия.

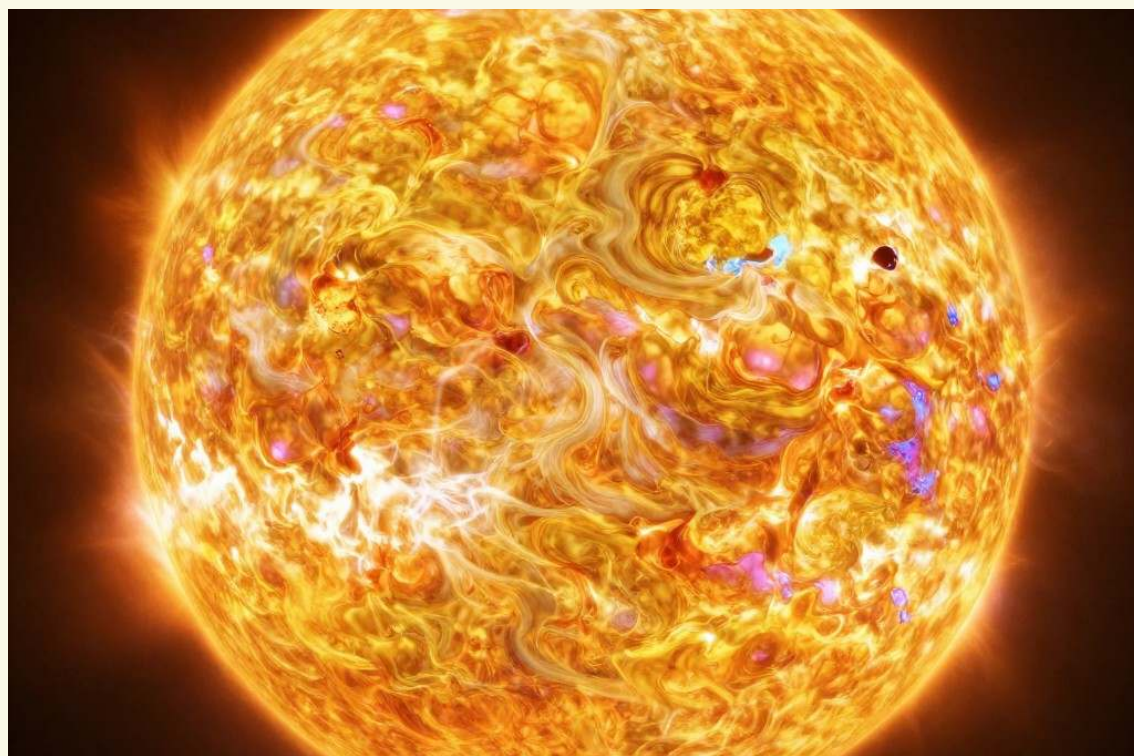
Почти вся энергия формируется в центральных областях, тогда как видимое излучение выходит из тонкого поверхностного слоя.

Астрономические справочные данные; значения, используемые в школьной и университетской астрономии

Солнце как огромный шар плазмы

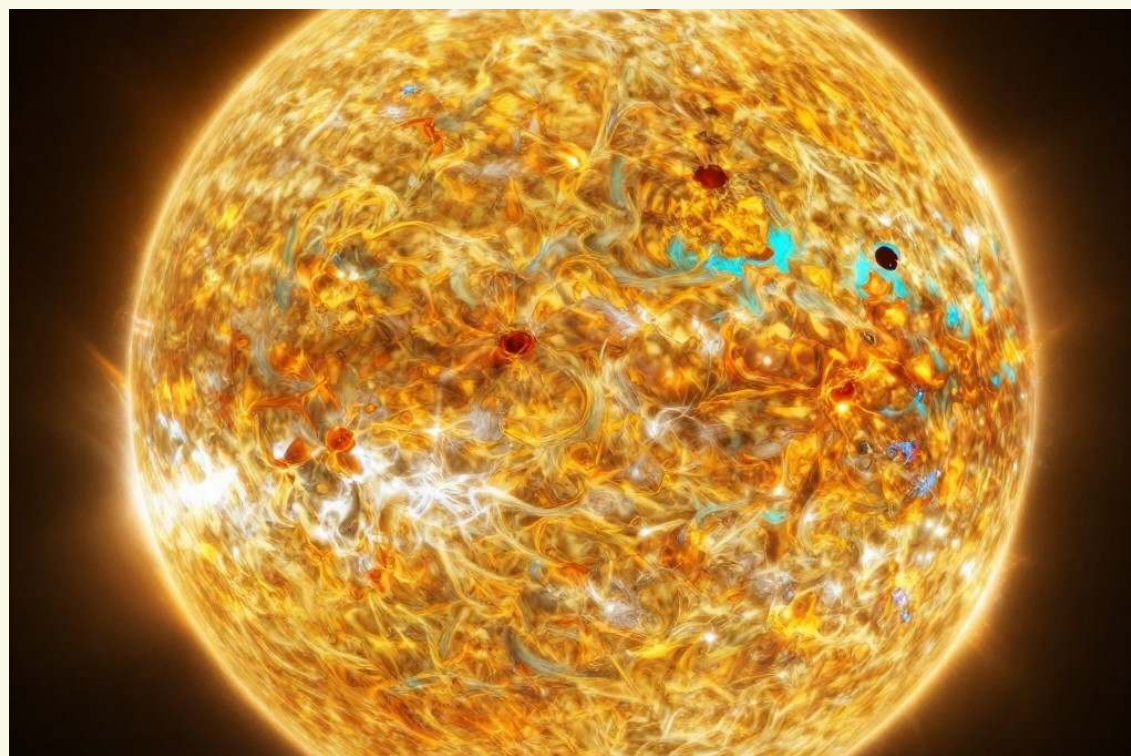
1 Нет твёрдой поверхности

Солнце нельзя рассматривать как обычный шар с твёрдой оболочкой. Его вещество находится в состоянии плазмы — ионизированного газа, удерживаемого собственной гравитацией. Поэтому граница звезды определяется не твёрдым краем, а слоем, откуда уходит основное излучение.



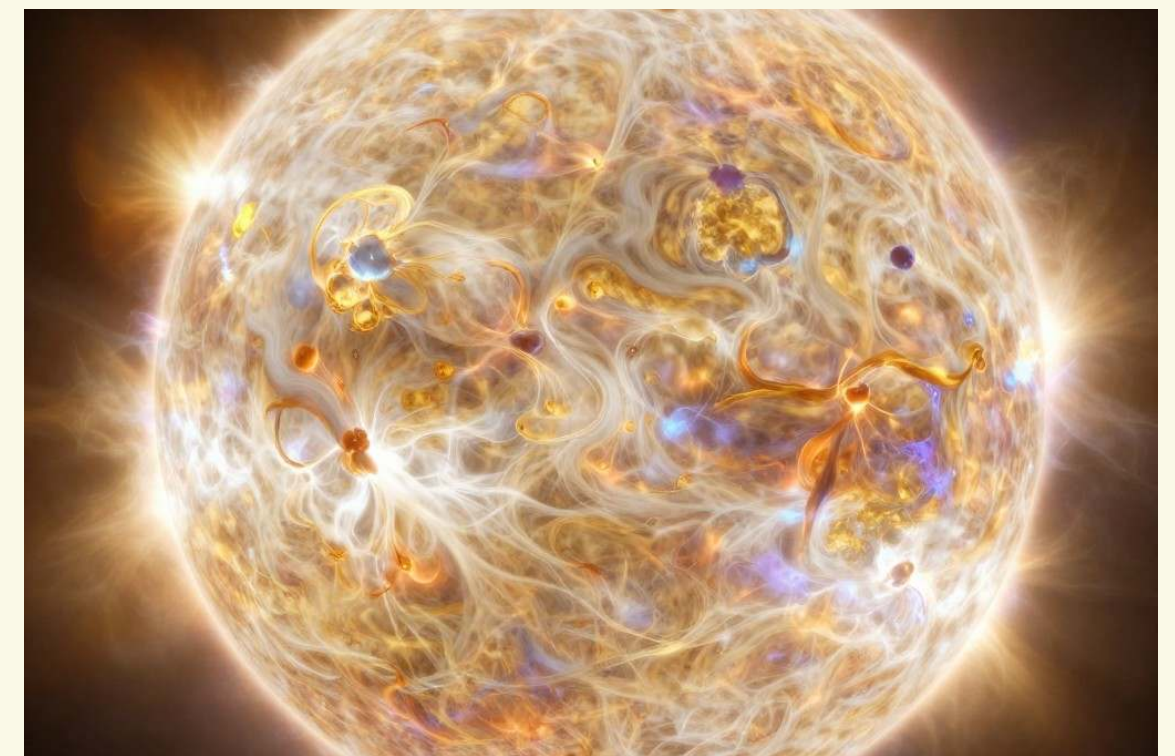
2 Что видно на диске

На изображениях заметны фотосфера, солнечные пятна и яркие факелы, а по краям диска — выступающие протуберанцы. Эти детали показывают, что внешние слои Солнца очень динамичны и тесно связаны с магнитными полями.



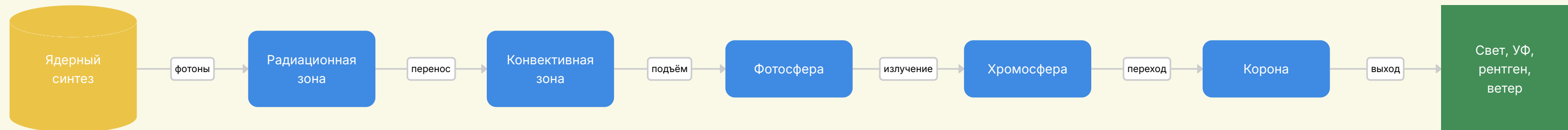
3 Атмосферные структуры

Выше фотосферы располагаются более разреженные области, где формируются корональные дуги и другие структуры. Именно они помогают увидеть, как энергия и вещество покидают звезду и переходят в межпланетное пространство.



Путь энергии от ядра к межпланетному пространству

Последовательность отражает основные физические процессы переноса энергии внутри Солнца и в его атмосфере.



15 млн K

такова температура, при которой в ядре
Солнца идут термоядерные реакции
и высвобождается энергия

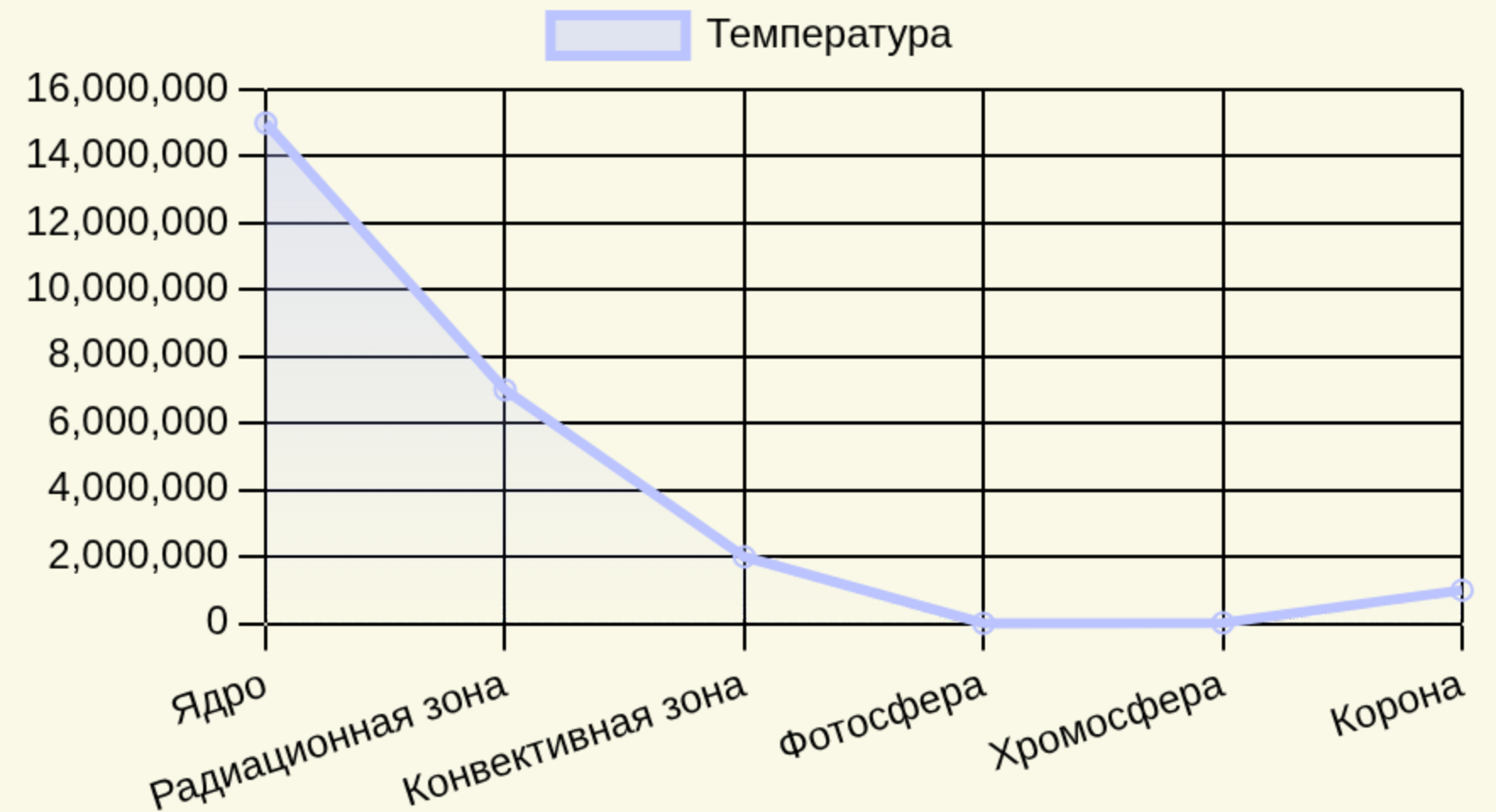
Обобщённые астрофизические данные о внутреннем строении
Солнца

Экстремальная температура
в центре делает возможным
протон-протонный цикл,
который поддерживает
излучение Солнца
на протяжении миллиардов лет.

Температура в слоях Солнца

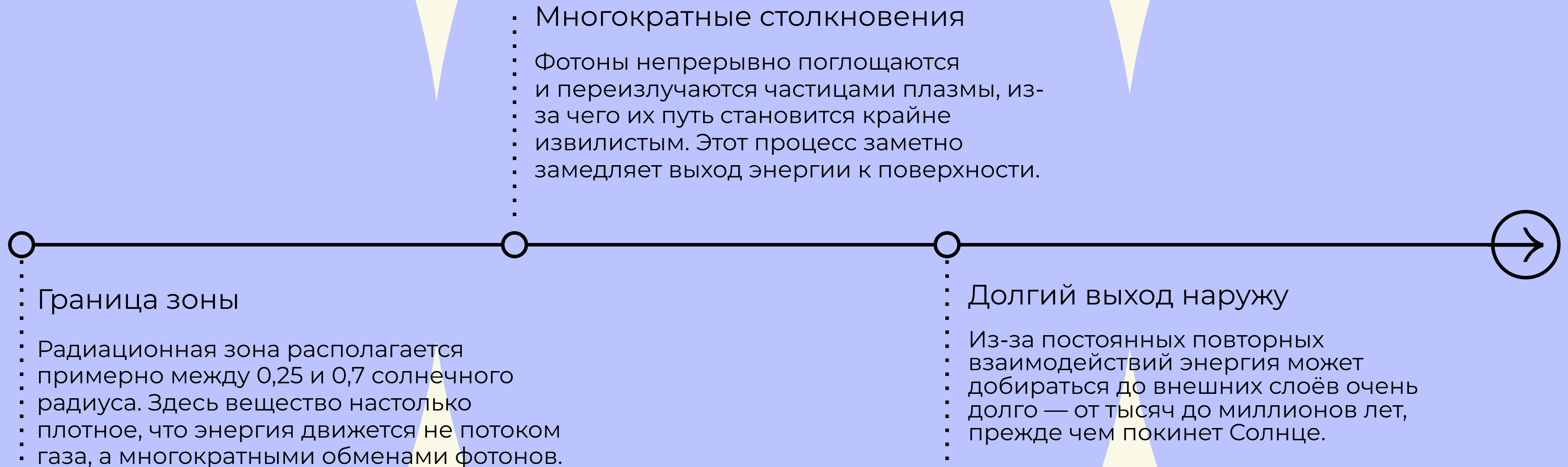
Внешние слои нагреваются
неравномерно: особенно необычна
корона, где температура резко
возрастает по сравнению с фотосферой.

Температура не убывает строго снаружи;
это указывает на сложную роль
магнитных полей и разреженной плазмы.



Астрономические справочные данные о температуре слоёв Солнца

Радиационная зона и перенос излучения



Конвективная зона и грануляция

1

Нагретая плазма поднимается

Во внешней части Солнца разогретое вещество становится менее плотным и устремляется вверх, перенося энергию к поверхности.

2

Остывание и возврат

Достигнув верхних слоёв, плазма охлаждается, теряет подъёмную силу и опускается обратно, образуя замкнутые конвективные ячейки.

3

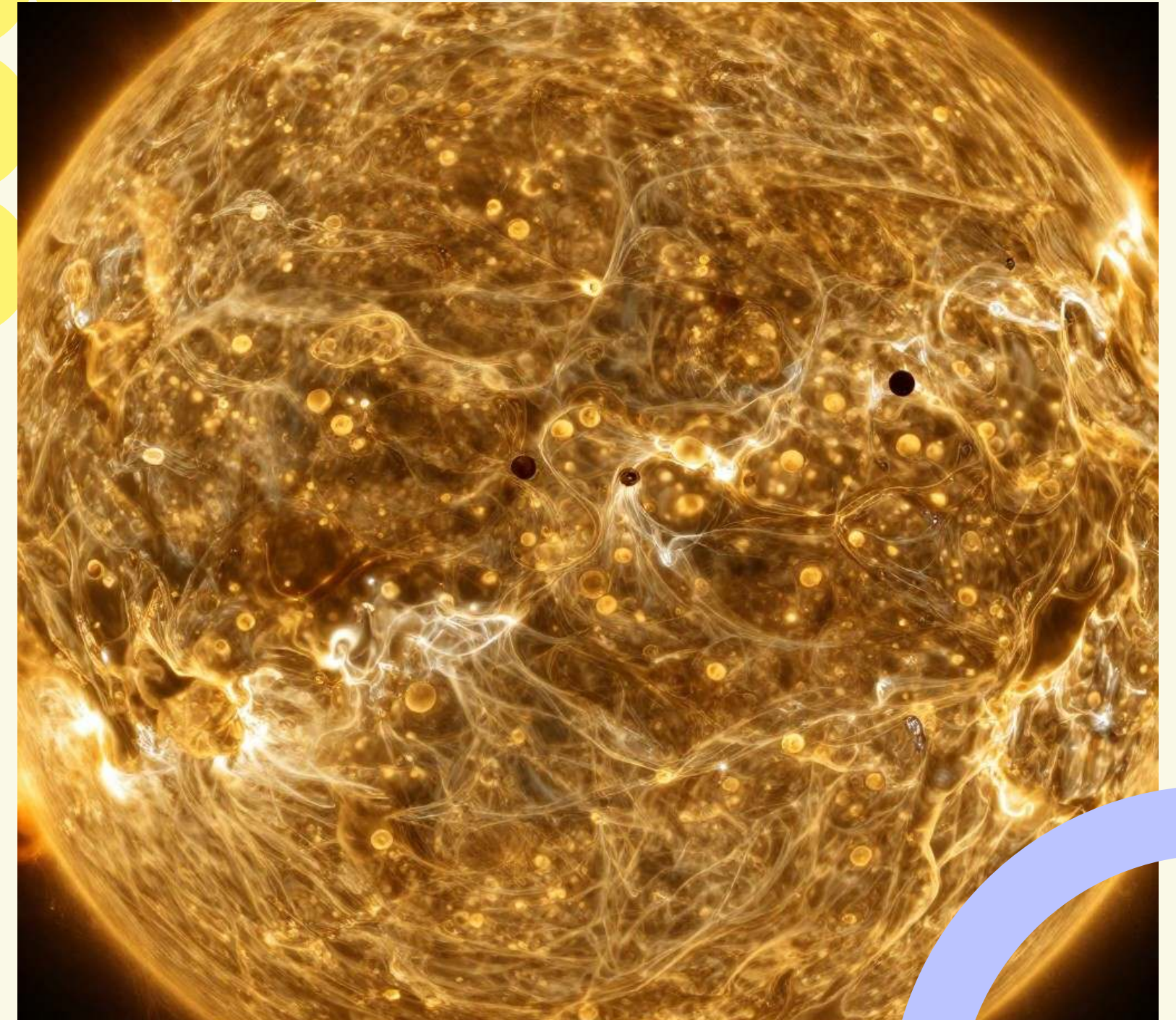
Гранулы на фотосфере

На видимой поверхности этот процесс проявляется как грануляция — светлые и тёмные участки размером около тысячи километров.

4

Быстрое обновление

Отдельные гранулы живут всего несколько минут, поэтому фотосфера выглядит постоянно меняющейся и свидетельствует о бурном движении вещества.

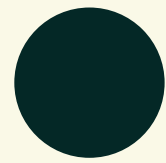


Фотосфера — видимая поверхность Солнца



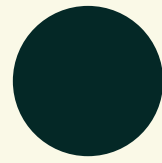
Тонкий светящийся слой

Фотосфера — это сравнительно тонкая оболочка толщиной лишь в несколько сотен километров. Именно из неё в основном выходит видимый свет, который мы наблюдаем с Земли.



Солнечные пятна

На фотосфере заметны тёмные пятна: они холоднее окружающих областей и обычно связаны с сильными магнитными полями, которые подавляют движение горячей плазмы.



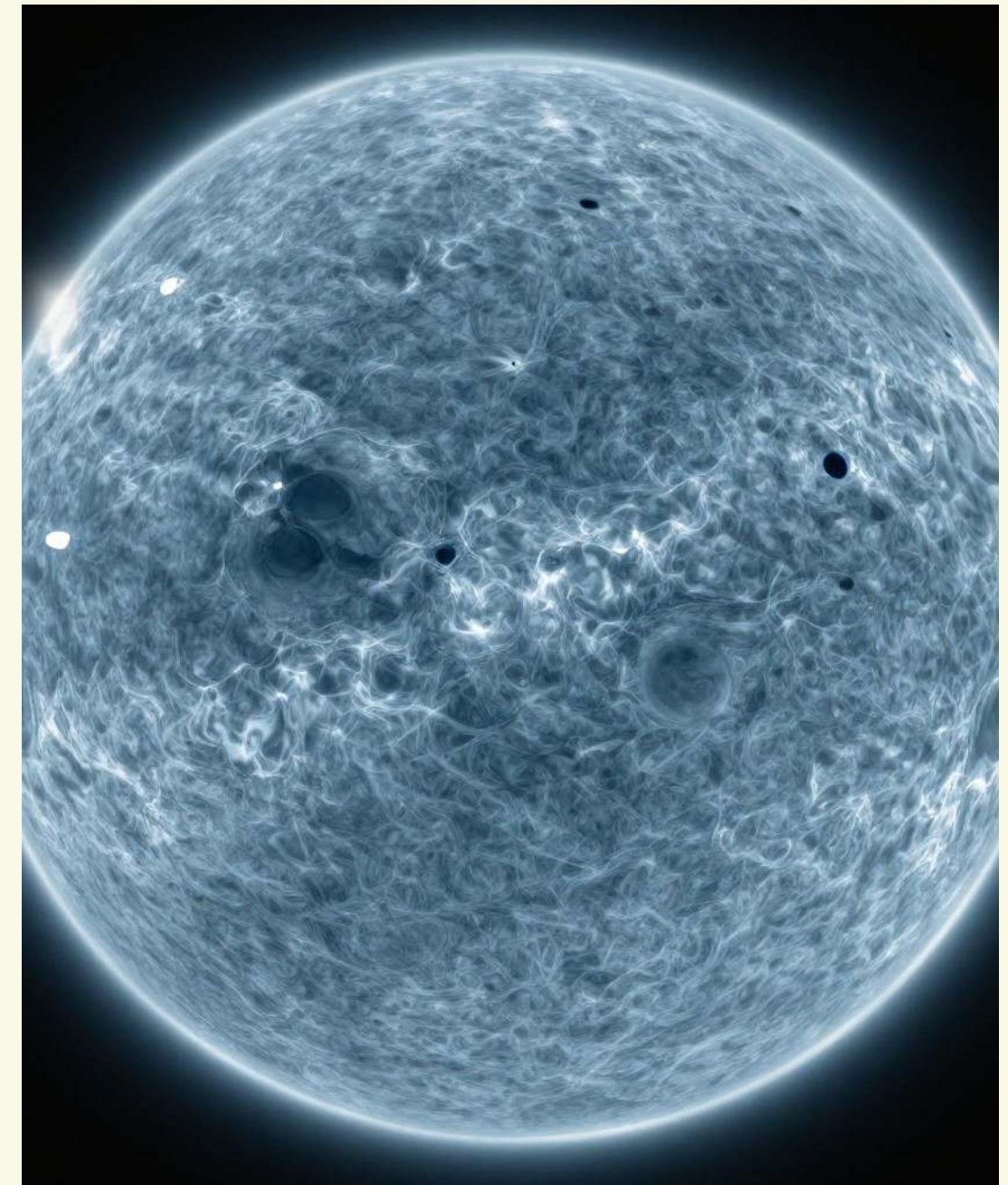
Факелы и контраст

Кроме пятен, здесь встречаются факелы — более яркие участки, особенно заметные у края солнечного диска. Они помогают увидеть неравномерность излучения и магнитную структуру поверхности.



Граница видимого диска

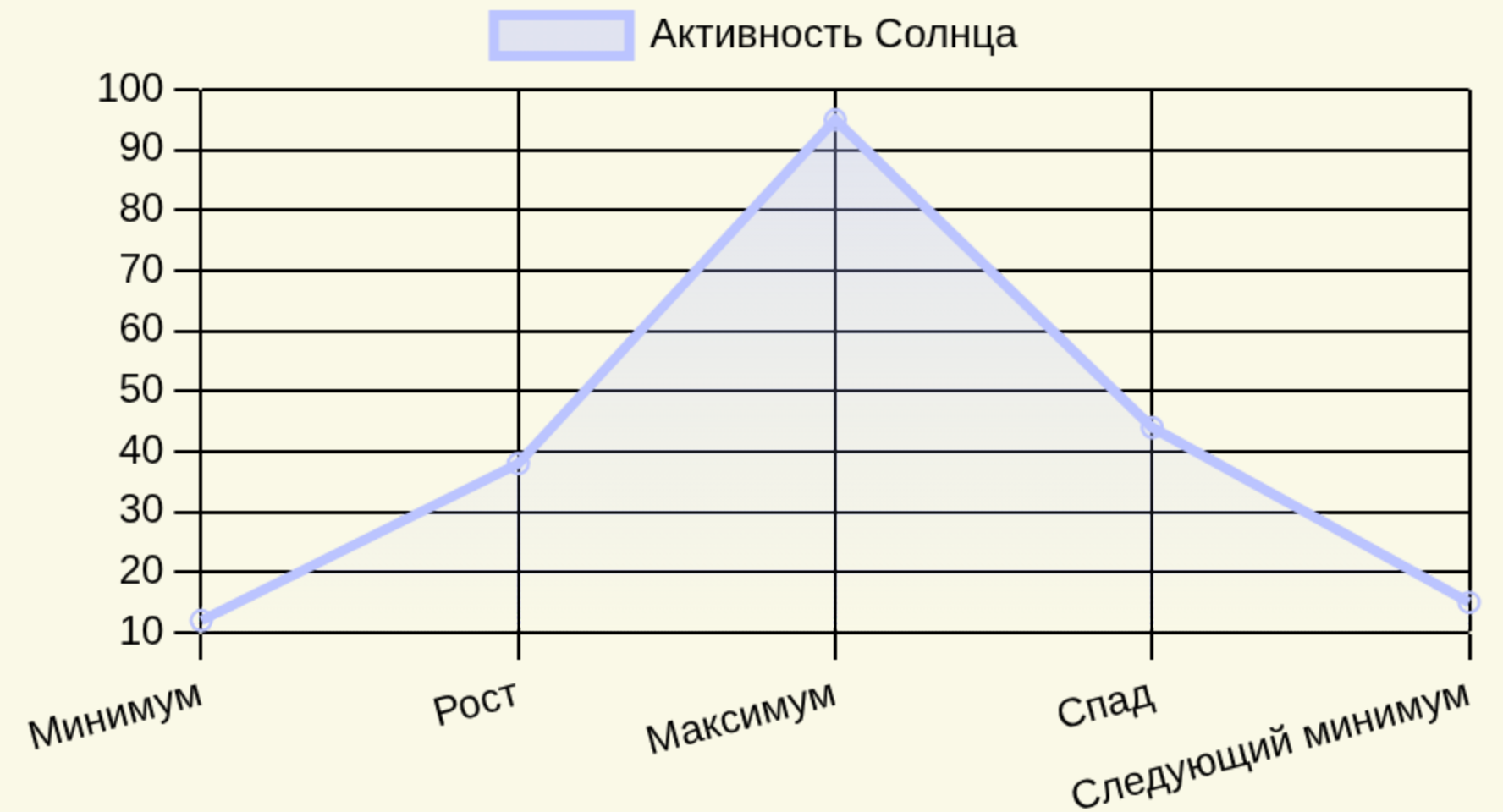
Именно фотосфера воспринимается как «поверхность» Солнца, хотя твёрдого основания у звезды нет. Ниже лежат более горячие слои, а выше начинается разрежённая атмосфера.



Солнечная активность и 11-летний цикл

Цикл отражает перестройку магнитного поля Солнца: вместе с пятнами меняются частота вспышек, радиоизлучение и вероятность геомагнитных возмущений.

Наибольшие риски для космической и наземной техники приходятся на максимум цикла, когда магнитная активность особенно высока.



Обобщение по данным наблюдений солнечных пятен и солнечной активности; средний 11-летний цикл

Хромосфера и переходный слой

1

Красноватый ободок

Хромосфера становится заметной во время полного солнечного затмения как тонкое красноватое кольцо вокруг диска. Этот эффект связан с излучением водорода, прежде всего линии Н-альфа.

2

Быстрый рост температуры

В хромосфере температура не просто возрастает, а делает это неравномерно: от значений, близких к фотосфере, до примерно 20 000 К. При этом вещество остаётся разрежённым.

3

Переход к короне

Переходный слой между хромосферой и короной очень тонок, но физически важен: здесь температура резко скачет, а плотность падает. Именно этот участок помогает понять природу нагрева верхней атмосферы.



Корона — самая разрежённая часть атмосферы Солнца

1

Протяжённая оболочка

Корона уходит далеко за пределы видимого солнечного диска и может простираться на миллионы километров. При этом вещество в ней настолько разрежено, что становится почти прозрачным.

2

Экстремальный нагрев

Несмотря на малую плотность, температура короны превышает миллион кельвинов. Это один из самых необычных фактов о Солнце: внешняя атмосфера горячее поверхности звезды.

3

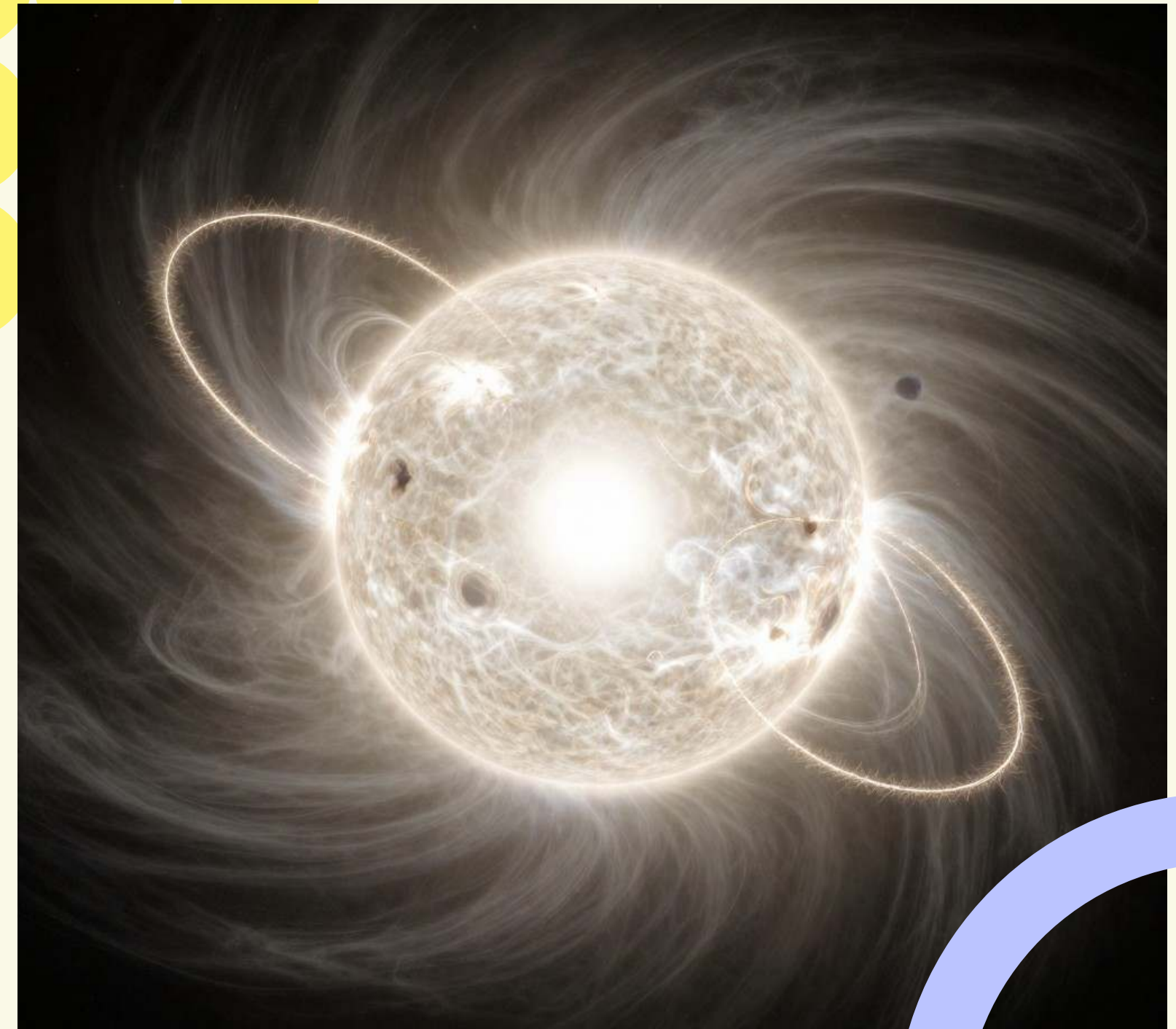
Структуры короны

В короне наблюдаются светящиеся петли, тёмные корональные дыры и крупные выбросы вещества. Их форма определяется магнитным полем, которое направляет движение плазмы.

4

Солнечный ветер

Именно из короны в межпланетное пространство уходит солнечный ветер — поток заряженных частиц. Он влияет на магнитосферы планет и формирует условия в Солнечной системе.



Сравнение основных слоёв Солнца

Таблица показывает, как меняются положение, температура, способ переноса энергии и внешние признаки от центра Солнца к его атмосфере.



Энергия рождается глубоко внутри, но наблюдаемая поверхность очень тонка; внешняя атмосфера, напротив, разрежена и связана с магнитной активностью.

Слой	Температура	Признак
Ядро	~15 млн К	Синтез
Фотосфера	~5800 К	Видимый свет
Корона	>1 млн К	Солнечный ветер

Обобщение данных по строению Солнца из школьного курса астрономии

Как исследуют строение Солнца

Схема объединяет наземные и космические методы, которые дополняют друг друга при изучении внутреннего строения и атмосферы Солнца.



Энергетический баланс Солнца

Излучение несёт свет и тепло к Земле, тогда как солнечный ветер влияет главным образом на магнитосферу и верхние слои атмосферы.



Основной перенос энергии от Солнца к Земле осуществляется через излучение; остальные каналы заметно меньше по доле.



Обобщённые данные по светимости Солнца и структуре солнечного потока; 2024

Влияние Солнца на Землю и технику



Спутники

Сильные вспышки и выбросы плазмы способны нарушать работу спутников, искажать навигационные сигналы и повышать радиационную нагрузку на аппаратуру.



Связь

Во время магнитных бурь меняются условия распространения радиоволн, поэтому возможны перебои дальней радиосвязи и ухудшение точности навигации.



Полярные сияния

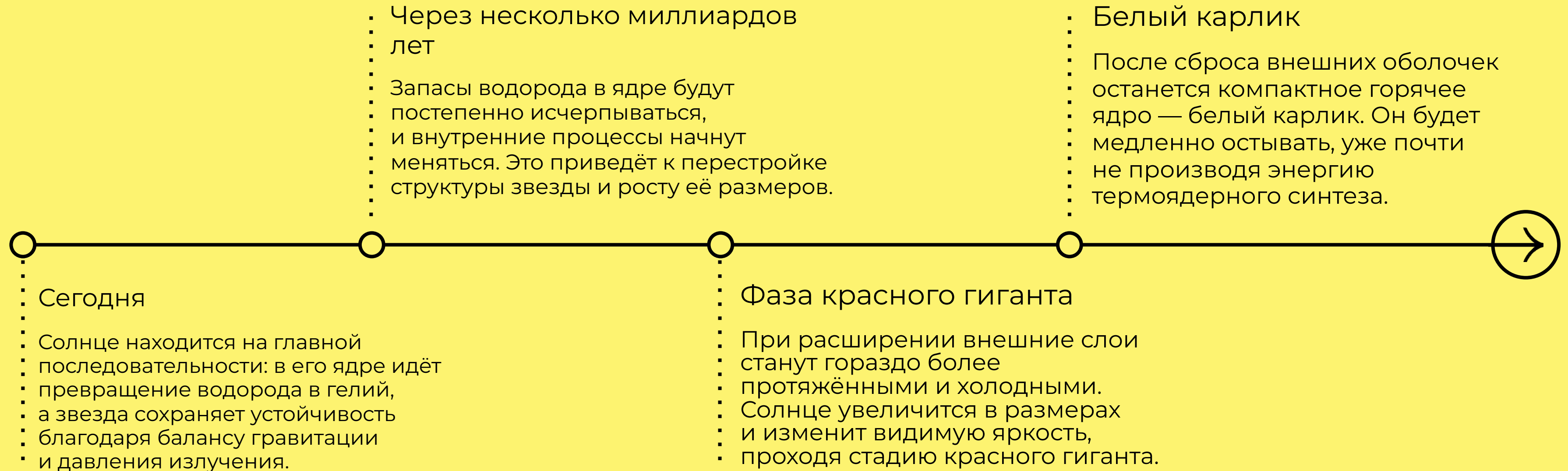
Когда частицы солнечного ветра попадают в магнитосферу Земли, они вызывают свечение верхней атмосферы. Так возникают полярные сияния, особенно заметные в высоких широтах.



Климат и биосфера

Долговременные изменения солнечного излучения влияют на климатические условия, режим освещённости и многие процессы в живой природе, поэтому Солнце остаётся ключевым фактором среды.

Этапы эволюции Солнца





Солнце: звезда, которая формирует наш мир

Строение Солнца показывает, как связаны физика, свет и жизнь: энергия рождается в ядре, проходит через слои звезды и определяет условия на Земле.

