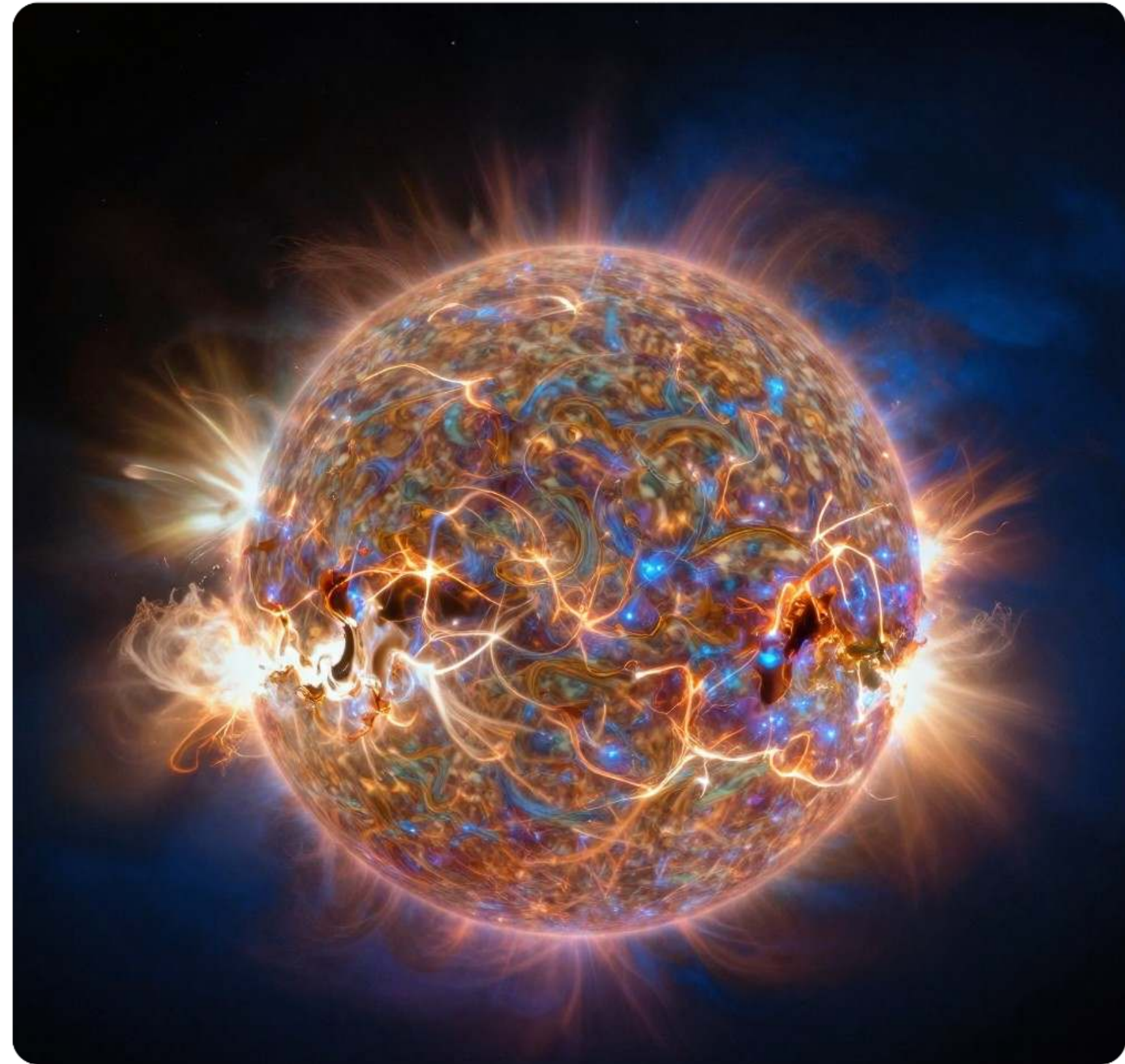


Обзор строения и значимости солнечной атмосферы

Солнечная атмосфера состоит из трёх основных слоёв, влияющих на Землю и космос.

История и важность изучения солнечной атмосферы

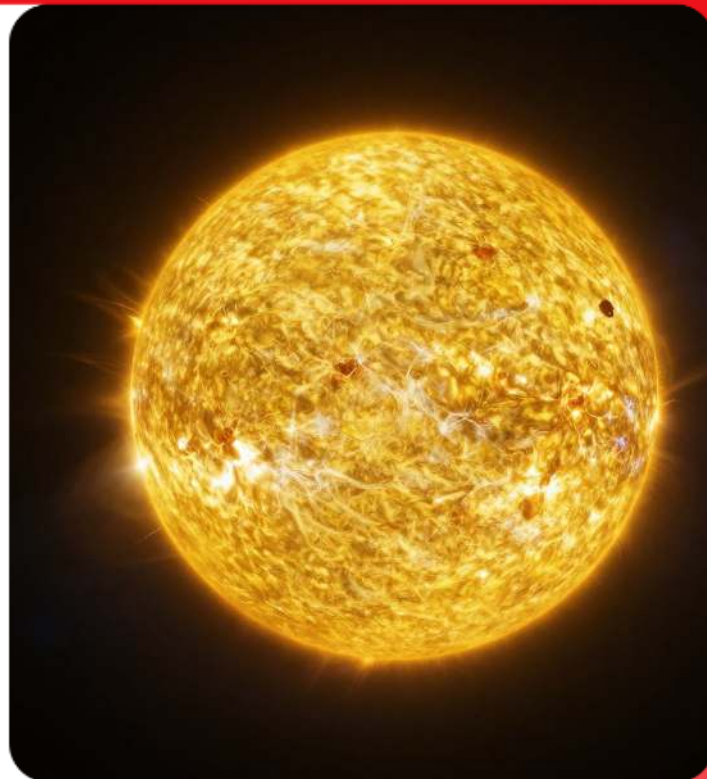
В XIX веке спектроскопия и наблюдения затмений открыли путь к изучению атмосферы Солнца. Эти исследования важны для понимания её влияния на климат, связь и безопасность космических полётов.



Фундаментальные параметры Солнца

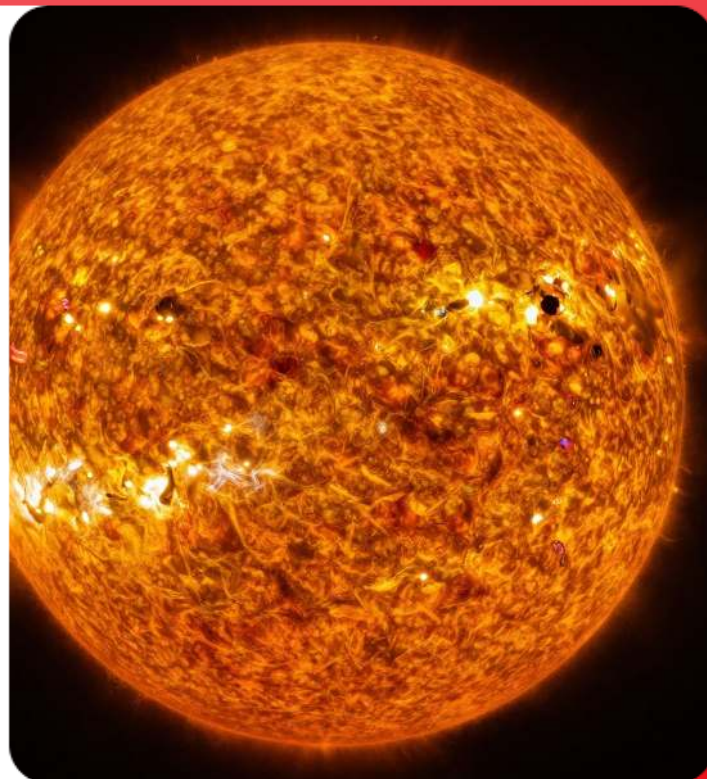
Масса и радиус Солнца

Солнце имеет массу около $1,989 \times 10^{30}$ кг и радиус 696 340 км, что делает его самой массивной и крупной звездой Солнечной системы.



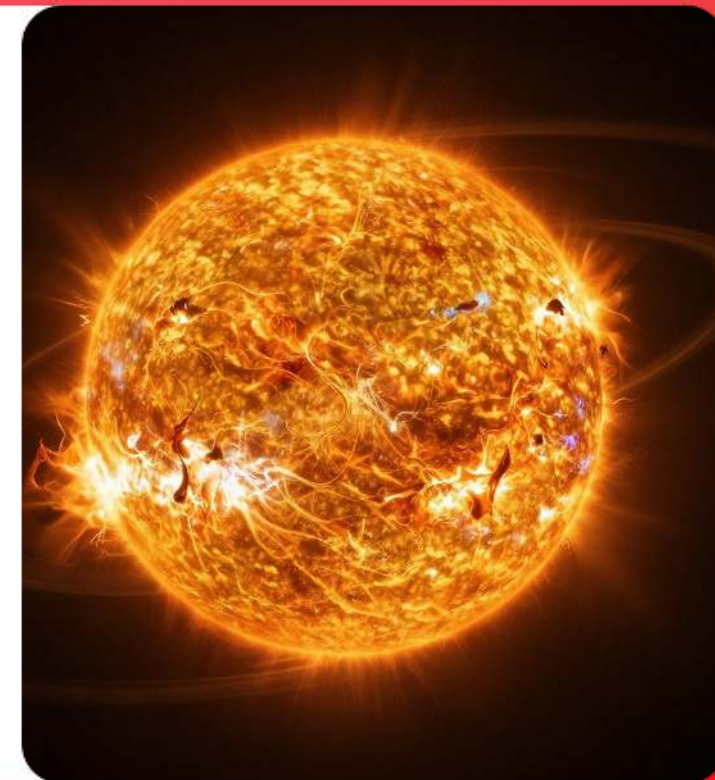
Температура видимой поверхности

Температура фотосферы, видимой поверхности Солнца, составляет примерно 5778 К, обеспечивая энергию для жизни на Земле.



Роль Солнца в Солнечной системе

Солнце занимает центральное место в системе, являясь основным источником света и тепла, управляющим движением планет и космических тел.



Определение и структура солнечной атмосферы

1

Солнечная атмосфера включает три основных слоя: фотосферу, хромосферу и корону, отличающихся температурой и плотностью.

2

Каждый слой характеризуется собственными физическими процессами, которые влияют на излучение и динамику атмосферы.

3

Атмосфера отвечает за формирование солнечного ветра и воздействие на магнитное окружение Земли и других планет.

Сравнительная характеристика слоёв солнечной атмосферы

Слой	Температура	Толщина
Фотосфера	$\approx 5778\text{ K}$	$\approx 500\text{ км}$
Хромосфера	$6000\text{--}20000\text{ K}$	до 3000 км
Корона	$>1\,000\,000\text{ K}$	миллионы км

Источник: NASA

Ниже представлены основные параметры основных слоёв солнечной атмосферы по температуре и толщине:

Температура растёт с высотой, достигая экстремальных значений в короне.

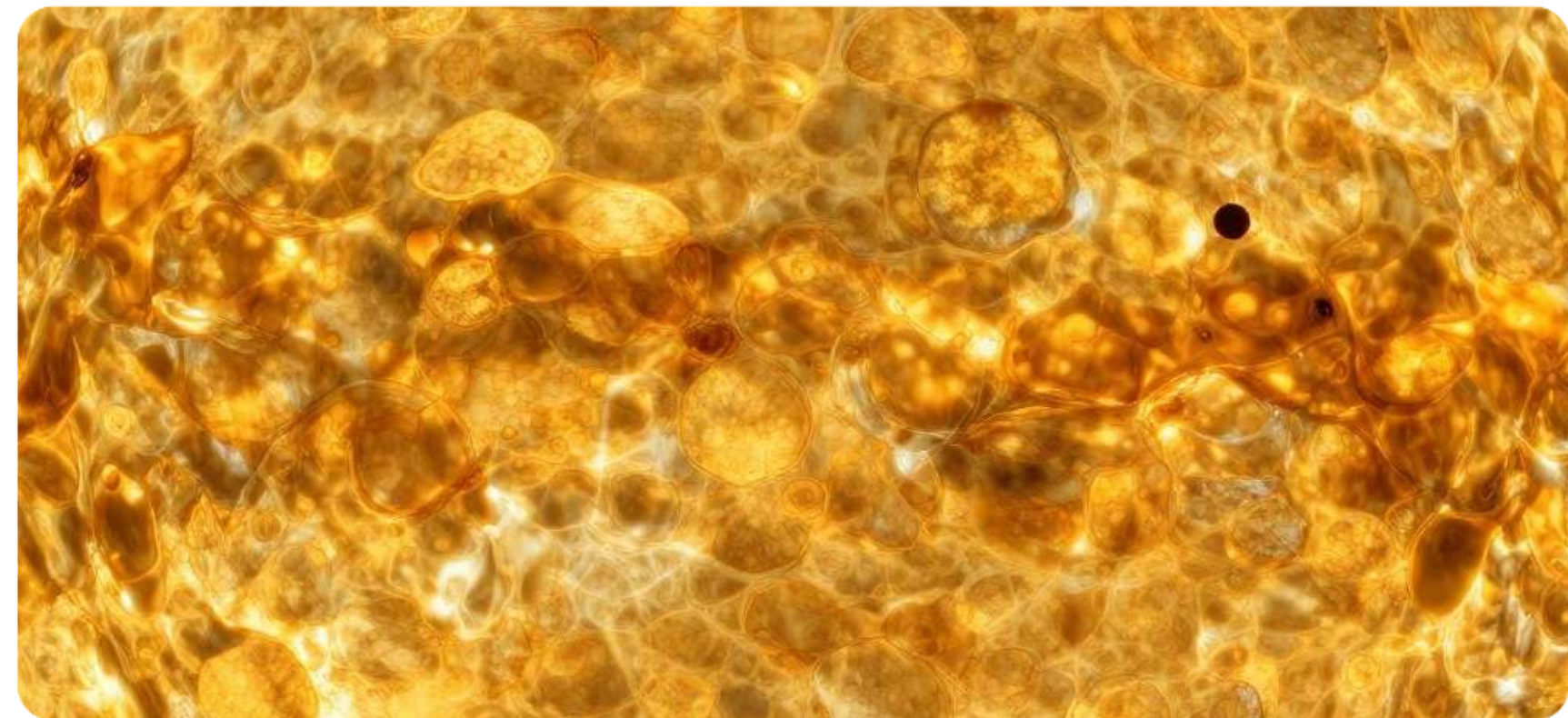
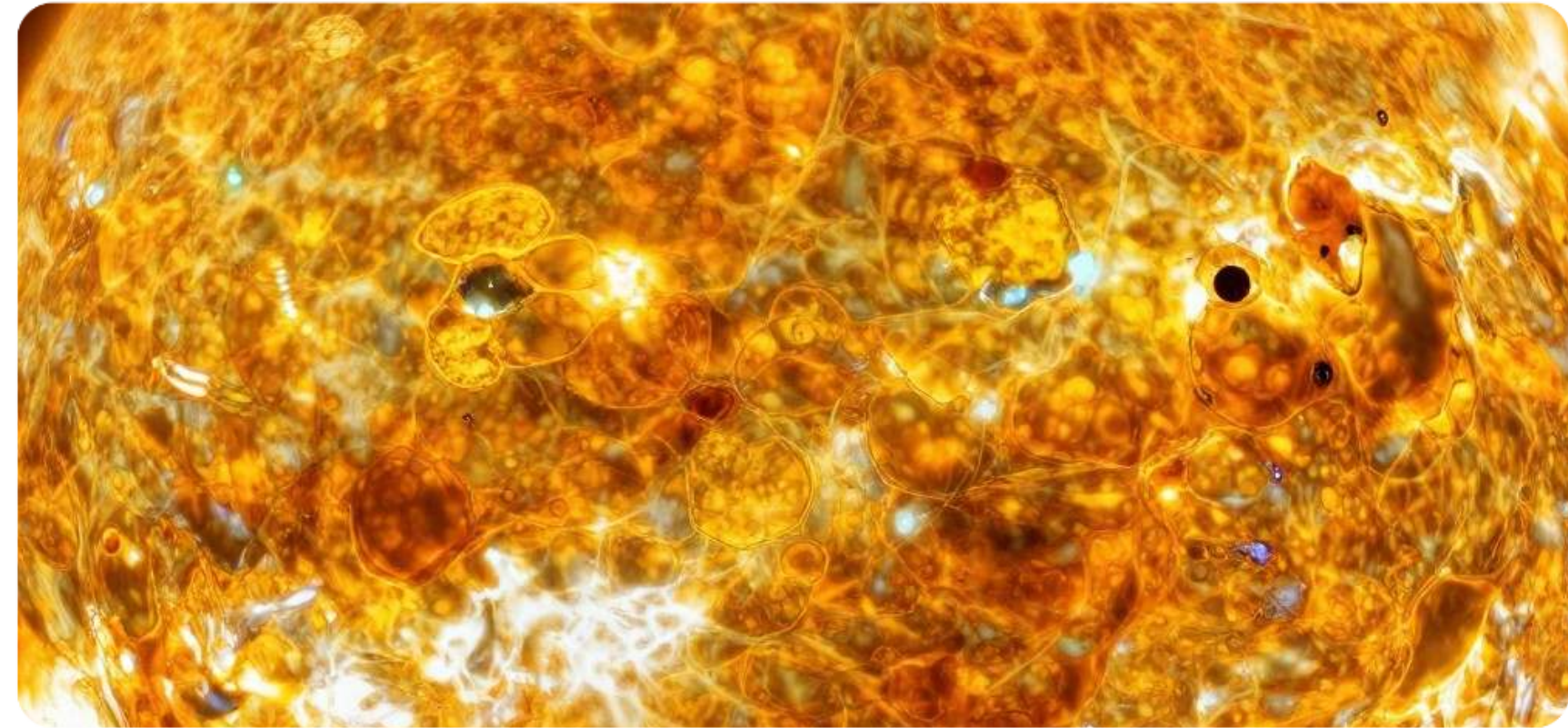
Фотосфера: особенности и строение

Видимая поверхность Солнца

Фотосфера является слоем толщиной около 500 км с температурой приблизительно 5778 К. Это основной источник видимого света, который мы видим с Земли.

Грануляция — признак конвекции

Структура фотосферы демонстрирует грануляцию — мелкозернистую ячеистую поверхность, отражающую движение горячей плазмы, поднимающейся и опускающейся в плотном слое.



Грануляция и солнечные пятна — структуры фотосферы

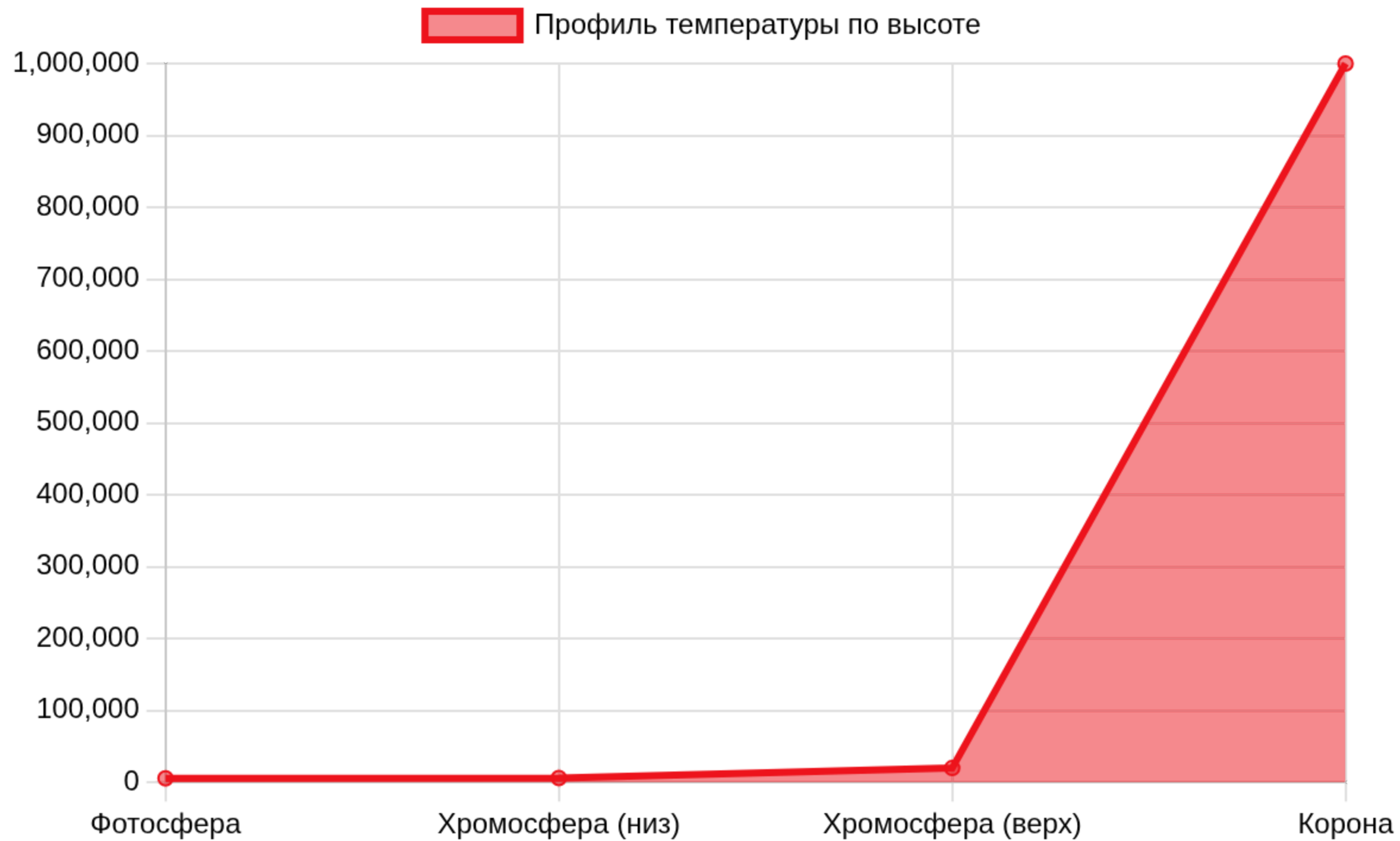
Грануляция — ячеистая структура фотосферы, отражающая конвективные потоки плазмы горячей температуры.

Солнечные пятна — области со сниженной температурой около 4000 К, локализованные сильным магнитным полем.

Пятна появляются и исчезают в ходе 11-летнего солнечного цикла, влияя на общее излучение и активность Солнца.

Изменения численности и размеров пятен влияют на климатические и магнитные процессы земной среды.

Профиль температуры по высоте в солнечной атмосфере



Температура сначала падает, затем резко возрастает, достигая миллионов градусов в короне.

Парадокс нагрева короны остаётся одной из главных загадок солнечной физики.

Строение и свойства хромосферы

Толщина и температурный диапазон

Хромосфера простирается на 2000–3000 км, с температурой от 6000 до 20000 К. Этот слой отличается возрастанием температуры с высотой и служит переходом к короне.

Спектральные особенности и визуализация

В спектре преобладают балмеровские линии водорода. Хромосфера видна во время полного солнечного затмения как тонкий красноватый ободок.



Факелы и протуберанцы — структуры хромосферы

Факелы — яркие участки с повышенной температурой, связанные с локальным усилением магнитных полей.

Протуберанцы — длинные плазменные волокна, достигающие сотен тысяч километров, удерживаемые магнитным полем.

Эти структуры играют важную роль в переносе вещества и энергии из хромосферы в корону и межпланетное пространство.

Корональный слой: экстремальные условия

- Корона — самая внешняя часть солнечной атмосферы, простирающаяся на миллионы километров и характеризующаяся крайне низкой плотностью и температурой свыше миллиона градусов Кельвина.
- Этот слой излучает в основном рентгеновские и ультрафиолетовые лучи и становится виден невооружённым глазом только во время полного солнечного затмения, когда Солнце закрыто Луной.



Корональные выбросы массы и солнечный ветер

Обнаружение корональных дыр

Впервые выявлены как регионы с низкой плотностью, они служат источниками быстрого солнечного ветра, изменяющего космическую погоду в окрестностях Земли.

Изучение CME

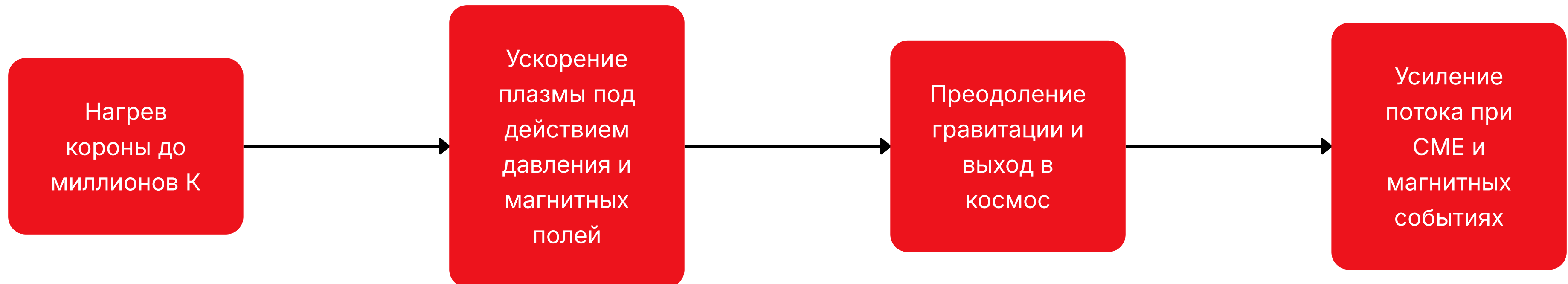
Корональные выбросы массы (CME) представляют собой мощные выбросы плазмы и магнитного поля, способные оказывать влияние на магнитосферу Земли и вызывать геомагнитные бури.

Влияние на космическую погоду

Взаимодействие солнечного ветра и выбросов с магнитосферой планет приводит к изменению условий космической погоды, влияя на радио-, навигационные и энергетические системы.

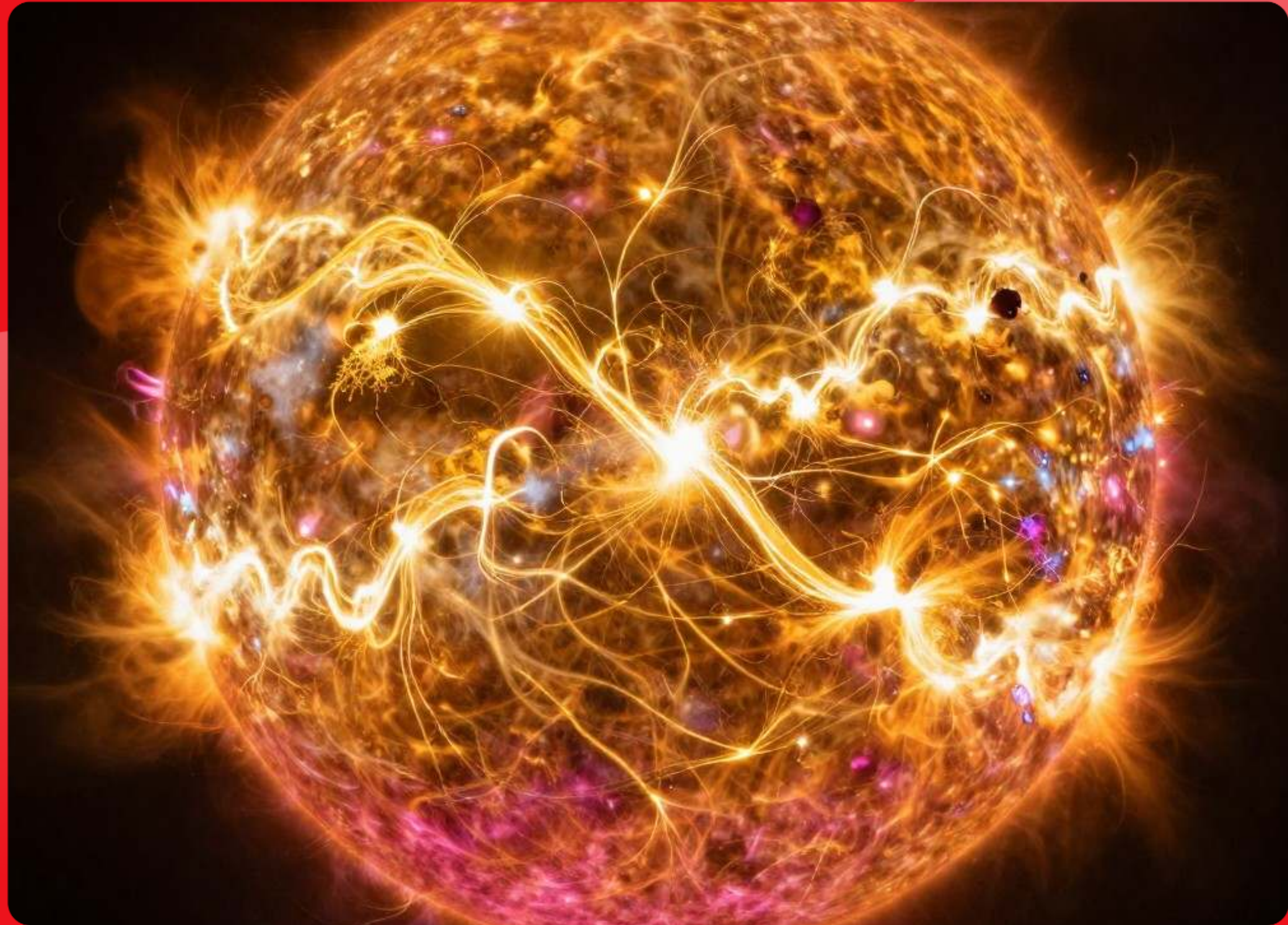
Образование и развитие солнечного ветра

Механизмы ускорения плазмы в короне и её выход в межпланетное пространство



Солнечные вспышки и их физический механизм

1. Солнечные вспышки возникают в хромосфере и короне вследствие быстрой перестройки магнитных полей, вызывая выброс огромной энергии и электромагнитного излучения в широком спектре.
2. Они классифицируются по мощности в диапазоне от А до Х, где Х — самые мощные, способные влиять на околоземные условия и технические системы.



Статистика вспышечной активности и солнечный цикл



Данные NASA, 2023

Интенсивность и количество вспышек заметно возрастают в периоды максимума 11-летнего солнечного цикла, снижаясь в фазах минимума.

Данные подтверждают корреляцию между солнечным циклом и вспышечной активностью, что важно для прогноза космической погоды.

Современные методы исследования солнечной атмосферы



Спектроскопия

Анализ спектров позволяет выявлять химический состав и физические условия в различных слоях атмосферы Солнца.



Фотометрия

Измерение яркости объектов помогает отслеживать изменения интенсивности излучения и активность солнечных явлений.



Поляриметрия

Изучение поляризации излучения даёт информацию о магнитных полях, управляющих атмосферными процессами.



Космические миссии

Обсерватории SOHO, SDO, Parker Solar Probe и Solar Orbiter проводят многодиапазонные наблюдения с высоким разрешением.

Влияние солнечной атмосферы на планеты и Землю

Происхождение полярных сияний

Полярные сияния возникают в результате взаимодействия заряженных частиц солнечного ветра с магнитосферой Земли, что приводит к излучению света в верхних слоях атмосферы.



Магнитные бури и земные технологии

Геомагнитные бури, вызванные солнечной активностью, могут нарушать работу спутников, радиосвязи и навигационных систем, создавая вызовы для современной инфраструктуры.



Космическая погода: последствия солнечной активности

Первое: магнитные бури вызывают значительные возмущения в магнитосфере, приводящие к сбоям электронных устройств и коммуникаций.

Второе: образование радиационных поясов увеличивает уровень вредного излучения, что негативно сказывается на здоровье космонавтов и пассажиров авиарейсов.

Третье: точный мониторинг и прогнозирование солнечной активности жизненно важны для защиты систем связи, навигации и обеспечения безопасности в авиации и космонавтике.

Последние достижения и перспективы исследований солнечной атмосферы

Использование данных SOHO и SDO значительно улучшило понимание динамики вспышек и изменений в солнечной короне.

Миссии Parker Solar Probe и Solar Orbiter предоставили беспрецедентные измерения параметров солнечного ветра ближе к источнику.

Существует необходимость в новых телескопах с расширенным спектральным диапазоном для детального изучения физических процессов в атмосфере Солнца.

Разработка высокоточных спектрометров позволит выявлять тонкие особенности излучения, расширяя научные горизонты и поддерживая инновации в астрофизике.

Заключение: значимость солнечной атмосферы для науки и жизни

Глубокое понимание солнечной атмосферы является ключом к прогнозированию активности Солнца и защите технологий, открывая пути для будущих научных и технологических прорывов.