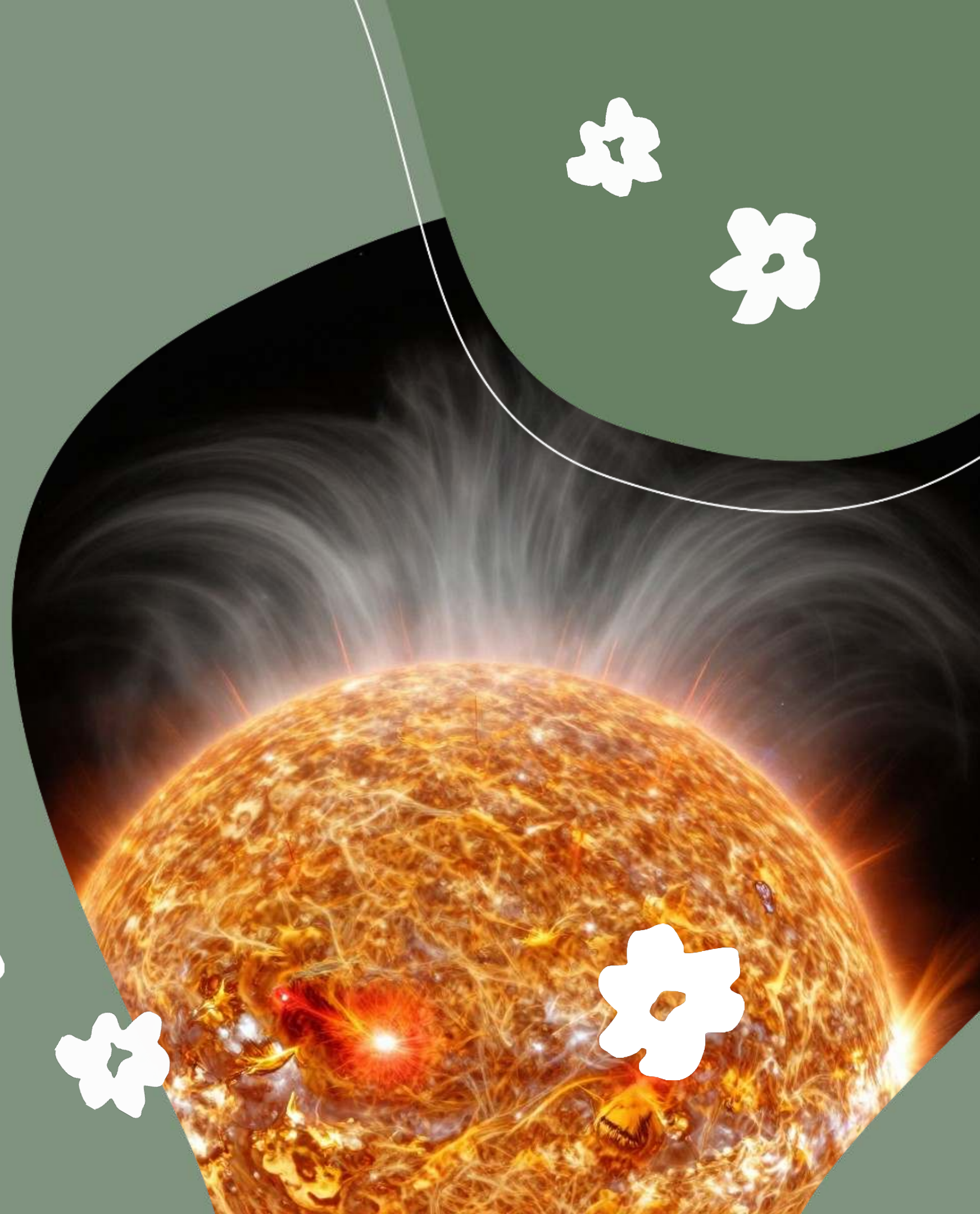


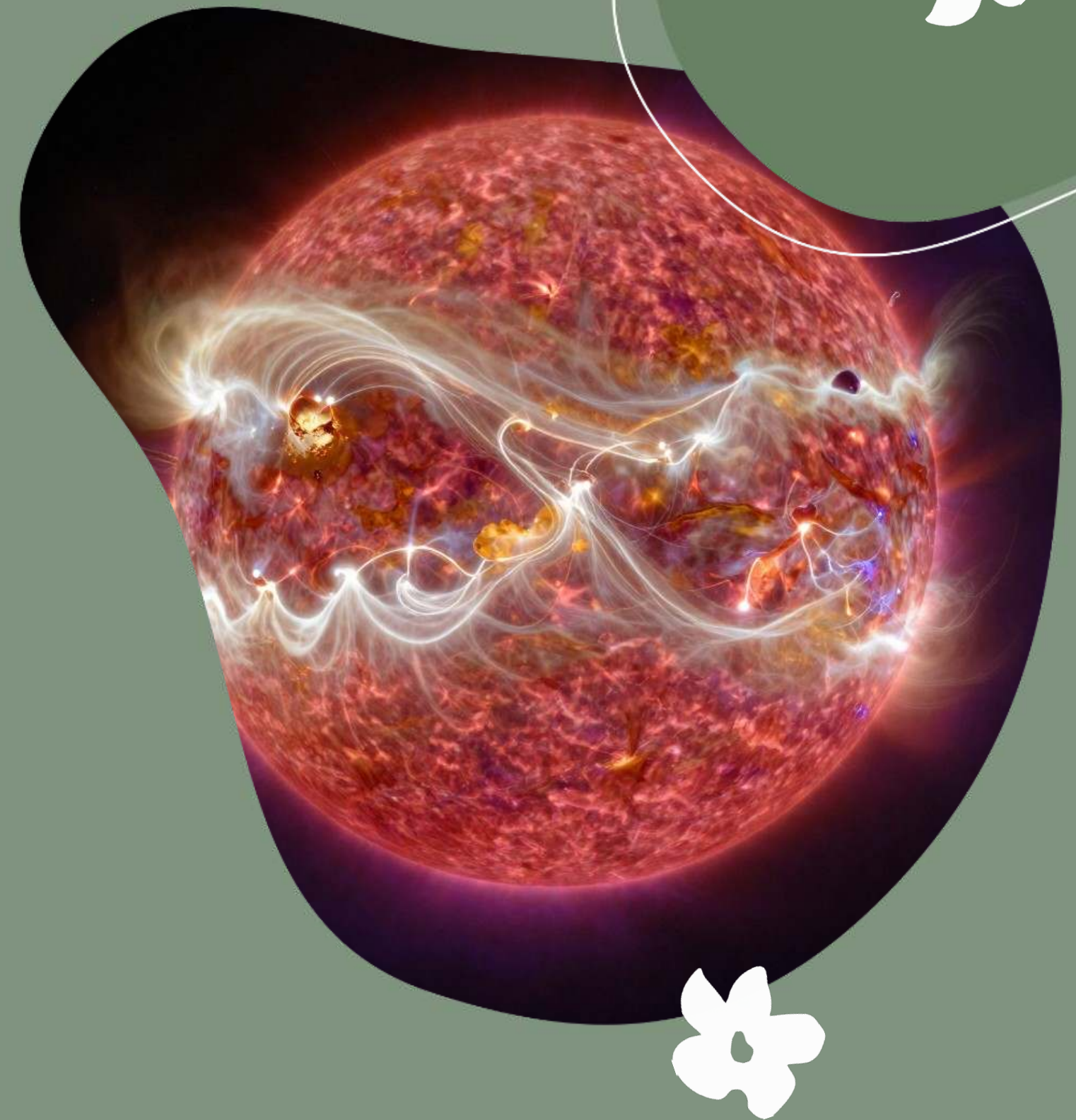
Обзор структуры и значения атмосферы Солнца

Атмосфера Солнца состоит из нескольких слоёв с уникальными физическими характеристиками.



История и методы исследования солнечной атмосферы

Спектроскопия XIX века открыла химический состав Солнца, а современные миссии, как SOHO и Parker Solar Probe, подробно изучают структуру и магнитные поля его атмосферы.



Фотосфера — видимая поверхность Солнца

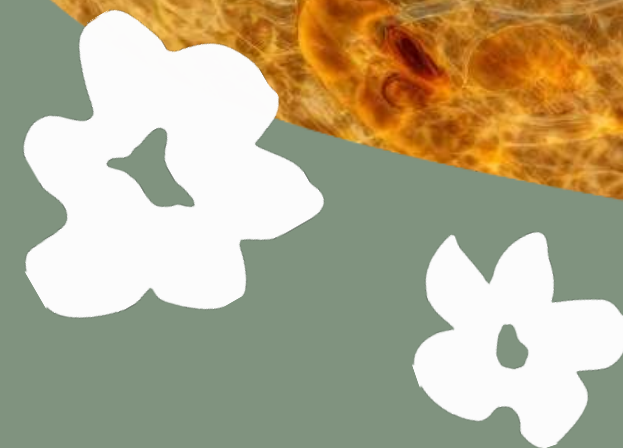
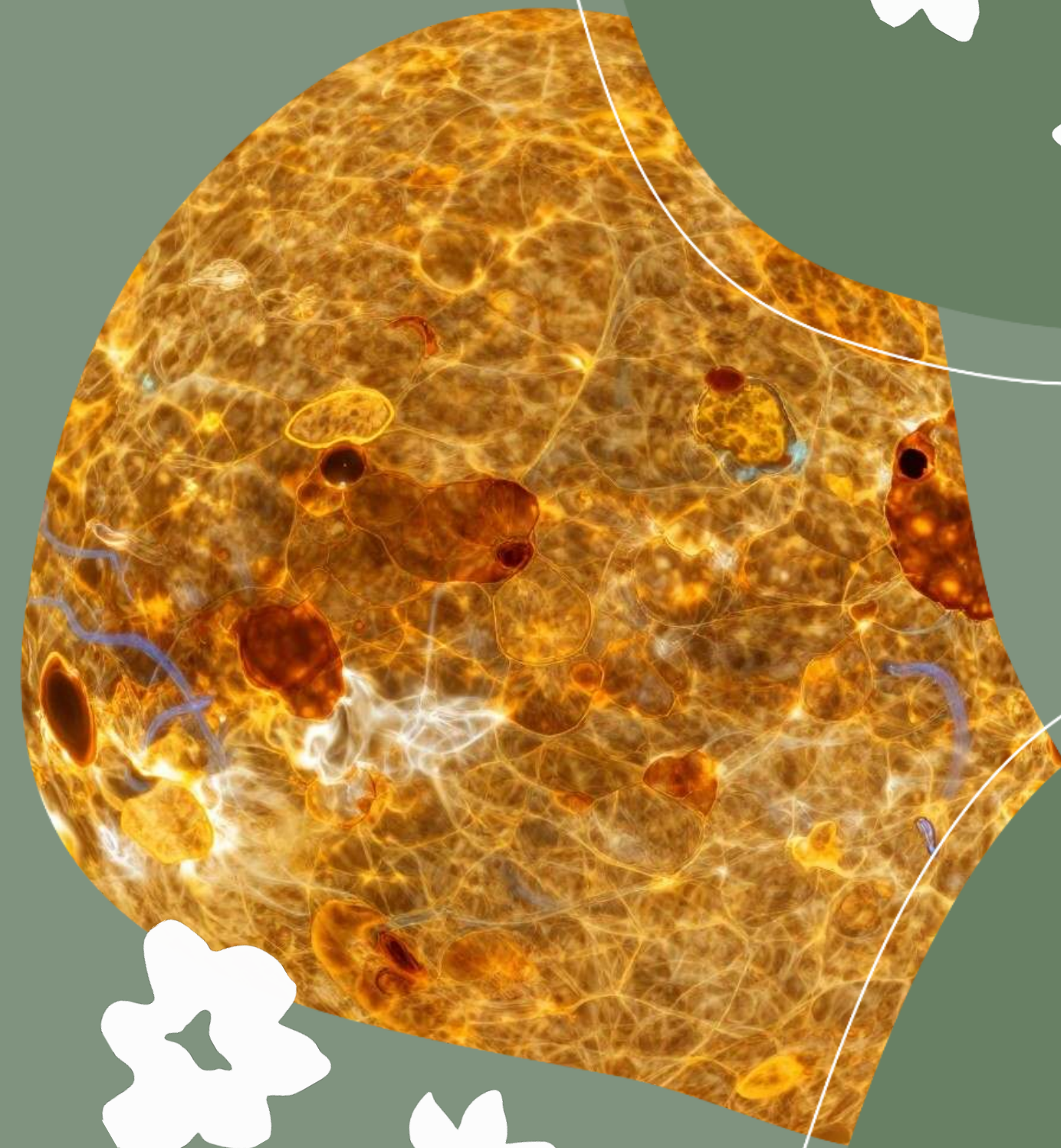
Фотосфера представляет собой самый нижний и плотный слой солнечной атмосферы с температурой порядка 5800 К, доступный наблюдению невооружённым глазом.

Её толщина около 500 км, здесь формируются солнечные пятна — области с изменённой температурой и магнитными свойствами.

Характерная особенность фотографий фотосферы — грануляция и линии Фраунгофера, отражающие внутренние процессы света и вещества.

Грануляция фотосферы и солнечные пятна

- Грануляция создаётся конвекцией горячей плазмы, образуя клетки размером около 1000 км, отражая движение энергии из внутренних слоёв Солнца.
- Солнечные пятна — области с усиленным магнитным полем и пониженной температурой около 4000 К, достигающие диаметра до 50 тысяч километров.



Хромосфера — средний слой атмосферы

Толщина хромосферы варьируется от 2 до 10 тысяч километров и отличается постепенным ростом температуры от 4000 до 25 000 К.

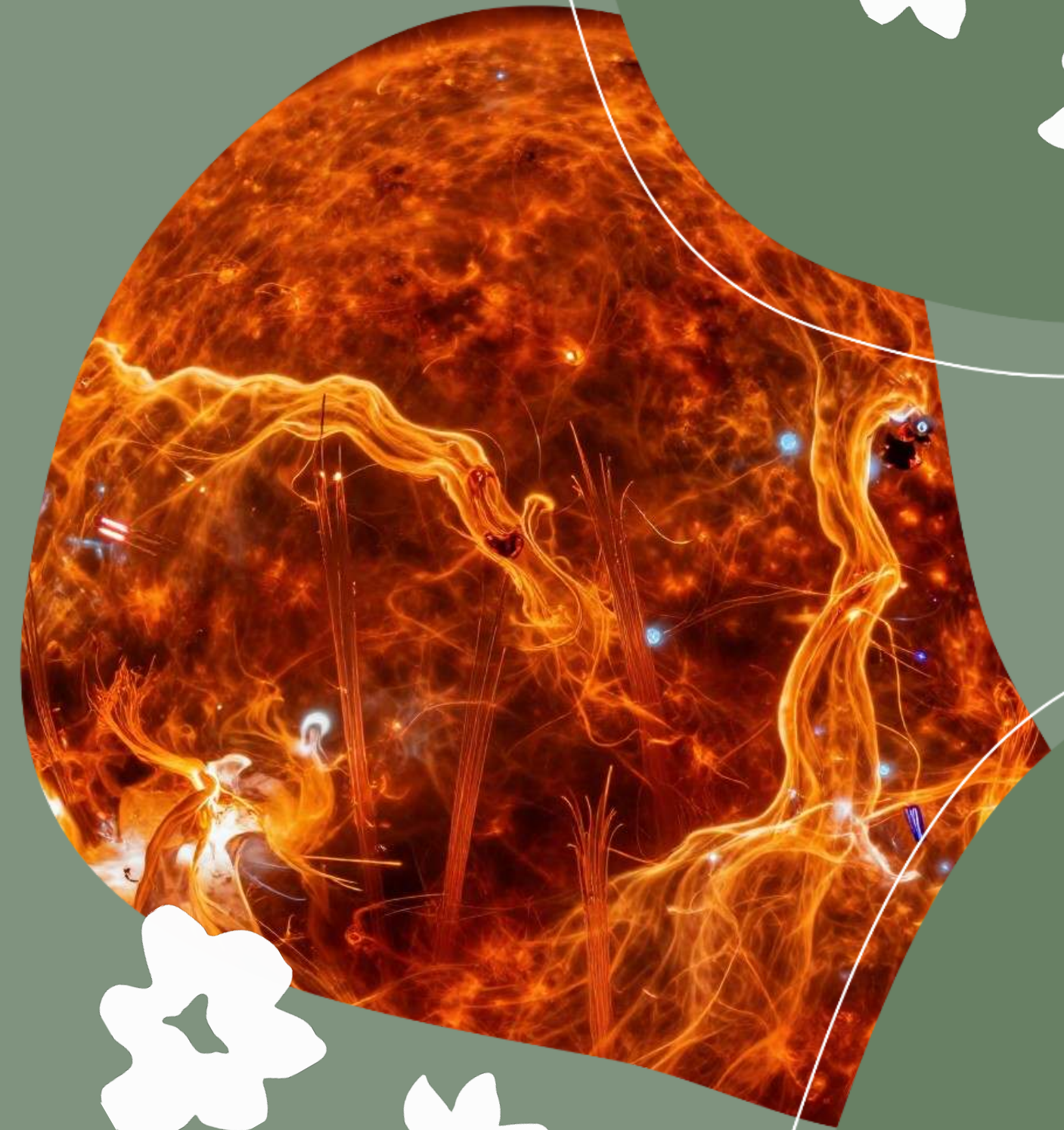
Основные структуры включают спикеры — узкие столбцы плазмы, устремляющиеся вверх с высокой скоростью.

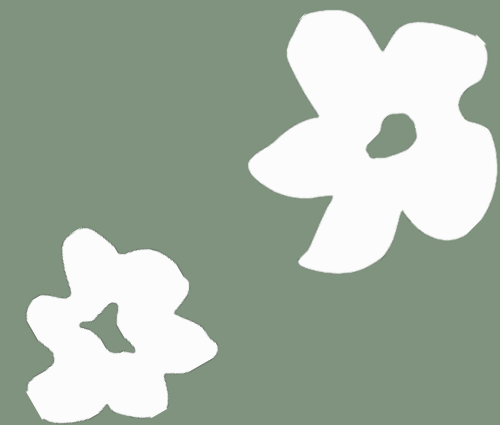
Протуберанцы представляют собой большие выбросы холодной плазмы, удерживаемые магнитным полем, видимые во время затмений.

Также вокруг пятен видны яркие факельные области, отражающие активность и нагрев верхних слоёв атмосферы.

Протуберанцы и спикулы в хромосфере

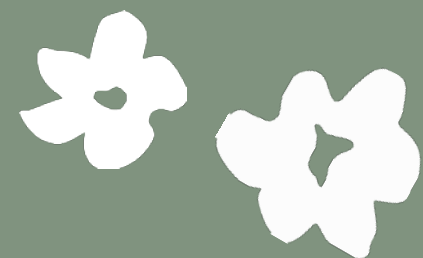
- Протуберанцы — массивные структуры плазмы, поднимающиеся на сотни тысяч километров, их существование может длиться от нескольких дней до недель.
- Спикулы — динамичные узкие струи диаметром сотни километров, поднимающиеся со скоростью около 20 км/с, существующие лишь несколько минут.





Этот узкий слой играет важнейшую роль в формировании высокого температурного градиента и излучательных процессов Солнца.

NASA



~ 100 км

ширина переходного слоя, где температура возрастает с 25 000 К до миллиона и более, обеспечивая источник ультрафиолетового излучения.



Структура солнечной короны

Общая характеристика короны

Корона — внешний, разрежённый и очень горячий слой — распространяется на миллионы километров, с температурами около 1–2 миллионов Кельвинов.

Основные компоненты корональной структуры

В неё входят магнитные петли и плазменные потоки, заметные во время полных солнечных затмений как светящиеся структуры.



Обнаружение элементов в атмосфере Солнца

Спектроскопические методы выявили водород, гелий, кальций, железо, натрий и другие элементы в разных слоях атмосферы Солнца.

Линия гелия впервые была обнаружена в спектре Солнца в 1868 году, задолго до открытия самого элемента на Земле.

Химический состав атмосферы важен для понимания термоядерных реакций и магнитных процессов, определяющих активность звезды.

График температурных изменений по слоям атмосферы

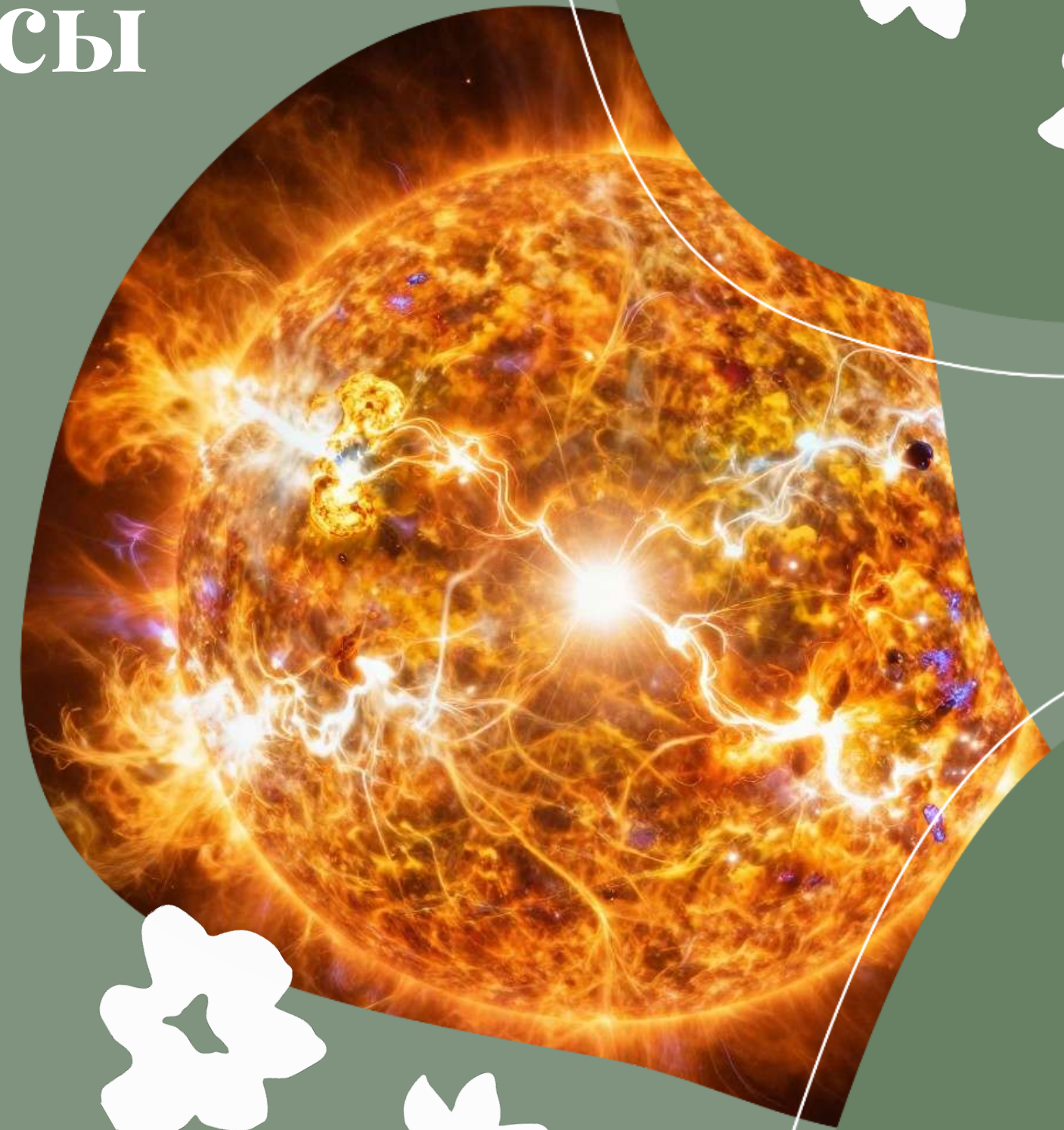
Резкий скачок температуры наблюдается в переходном слое, что связано с изменением физических процессов.

Температура короны значительно выше фотосферы, что указывает на присутствие уникальных механизмов нагрева.

NASA, 2023

Солнечная активность: вспышки и выбросы массы

- Солнечные вспышки вызываются резкими перестройками магнитных полей, в результате чего возникает интенсивное электромагнитное излучение во всех диапазонах. Эти явления происходят на активных участках атмосферы — в короне и хромосфере.
- Корональные выбросы массы представляют собой огромные объемы плазмы, выбрасываемые в межпланетное пространство. Они способны достигать скорости свыше 1000 км/с и существенно влиять на околоземное пространство и технику.



Влияние солнечной атмосферы на земную техносферу

Полярные сияния возникают из-за взаимодействия частиц солнечного ветра с магнитосферой Земли, создавая световые эффекты в высоких широтах и указывая на усиленную солнечную активность.

Радиопомехи и сбои в работе спутников связаны с ионизацией верхних слоёв атмосферы под воздействием солнечных вспышек, что нарушает связь и навигацию.

Геомагнитные бури, вызванные выбросами массы, способны вызвать повреждения электросетей. В 1989 году буря вывела из строя энергосистему провинции Квебек на несколько часов.

Сравнительная таблица параметров слоёв атмосферы Солнца

Основные физические характеристики слоёв солнечной атмосферы, включая температуру и толщину, демонстрируют значительные различия в параметрах каждого слоя.

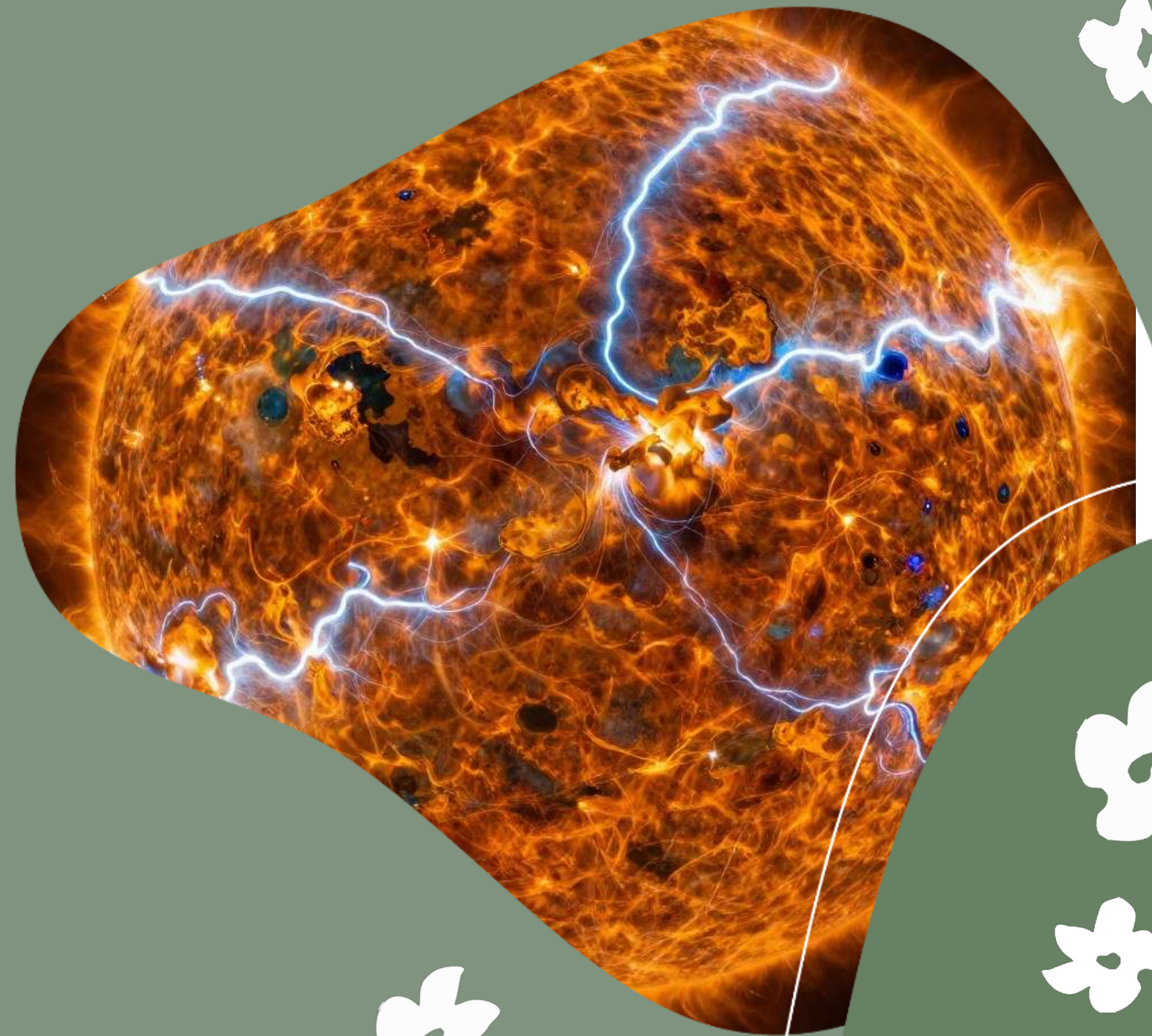
Каждый слой атмосферы характеризуется уникальными температурами и размерами, отражающими специфические физические процессы.

Слой	Температура (К)	Толщина (км)
Фотосфера	~5800	~500
Хромосфера	до 25000	до 10000
Корона	1–2 млн (до 10 млн)	до 2 000 000

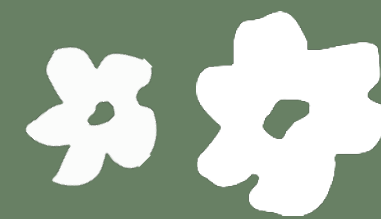
ESA, 2022

Магнитные поля в атмосфере Солнца

1. Солнечные магнитные поля формируют структуру атмосферных явлений, таких как пятна и корональные петли. Их интенсивность в пятнах в тысячи раз превышает земное поле, достигая до 0,4 тесла.
2. Динамические изменения магнитных линий приводят к возникновению вспышек, контролируя циклы солнечной активности и определяя уровень активности влияния на Землю.



Современные космические обсерватории и их вклад в изучение атмосферы



SOHO (1995)

Запуск спутника SOHO обеспечил непрерывные наблюдения солнечной короны и солнечного ветра, улучшив понимание процессов в верхних слоях атмосферы.

SDO (2010)

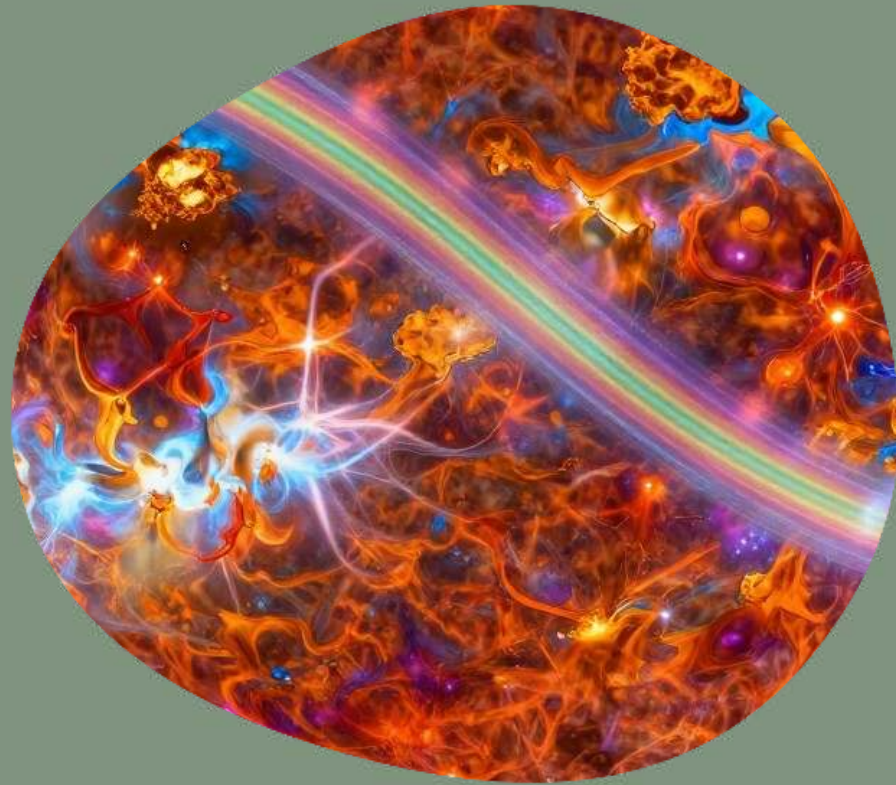
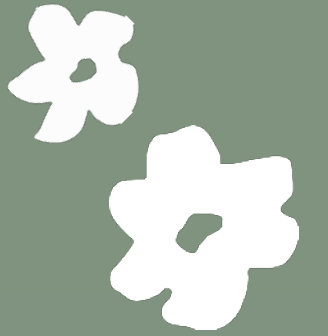
Solar Dynamics Observatory предоставил изображения с высоким разрешением, позволив детально исследовать динамику и структуру солнечных явлений.

Parker Solar Probe (2018)

Parker Solar Probe приблизился к короне рекордно близко – до 10 миллионов километров, собрав уникальные данные о температуре и магнитных полях.



Спектроскопические наблюдения атмосферы Солнца



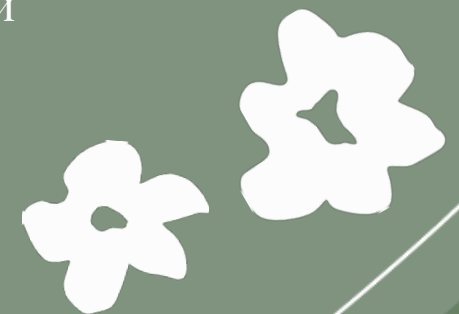
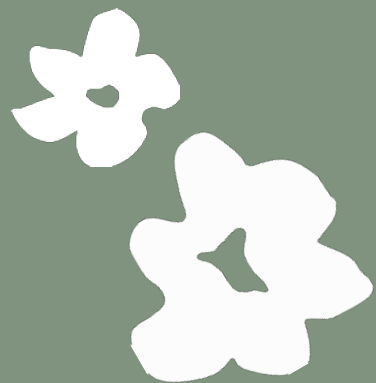
Разнообразие химических элементов в солнечной атмосфере

Спектроскопический анализ выявляет водород, гелий, железо и многие другие элементы, включая их ионизационные стадии. Это помогает определить процессы, происходящие в солнечной атмосфере.



Измерение динамики плазмы с помощью Hinode

Спектрограф Hinode позволяет фиксировать скорости плазменных потоков и изучать структуру магнитных петель, что важно для понимания механизмов солнечной активности.



Теории нагрева солнечной короны

Основная гипотеза — перенос энергии альвеновскими волнами с нижних слоёв атмосферы, обеспечивающими поступление энергии к короне для её нагрева.

Другой важный механизм — магнитное переподключение, при котором происходит резкое высвобождение магнитной энергии, способствующее быстрым локальным нагревам.

Современные модели объединяют эти процессы, показывая, что суммарная энергия достаточно велика для поддержания миллионных температур в короне.

Будущее изучения солнечной атмосферы

Миссия Solar Orbiter расширит спектр наблюдений за счёт уникальных ракурсов и новых инструментов для изучения солнечной короны и магнитных полей.

Разработка новых рентгеновских спектрометров позволит детальнее анализировать излучение и выявлять скрытые процессы в атмосфере звезды.

Компьютерное моделирование солнечных процессов способствует прогнозированию активности и пониманию динамики атмосферы на основе данных наблюдений.

Внедрение искусственного интеллекта поможет повышать точность прогнозов космической погоды и оценивать влияние солнечной активности на земные технологии.

Значение атмосферы Солнца для астрофизики и жизни на Земле



Защита Земли

Атмосфера Солнца формирует солнечный ветер, создающий магнитосферу, которая защищает планету от потока космических лучей и опасных частиц.



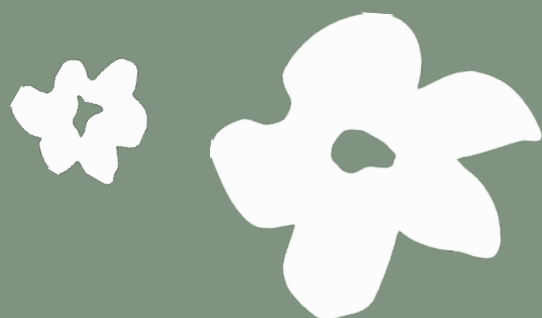
Влияние на биосферу

Солнечная активность влияет на климатические процессы и экосистемы, оказывая влияние на урожайность и здоровье живых организмов.



Воздействие на технологии

Колебания в атмосфере Солнца вызывают геомагнитные возмущения, влияющие на работу спутников, связь и энергосети на Земле.



Солнце и его атмосфера — ключ к будущему знаний

Атмосфера Солнца остаётся объектом интенсивных исследований, раскрывая новые явления и углубляя знания о взаимодействии звезды с планетами и технологическими системами Земли.

