

# **Источники, концентраторы, приемники излучения**

## **Раздел I. Источники излучения для ФЭУ**

### **План раздела**

1. Спектрально-энергетические характеристики солнечного излучения (СИ)
2. Высокотемпературные плазменные источники ИК-УФ теплового излучения
3. Лазерные источники мощного излучения для ФЭУ

### **Лекция № ЭЛ 2**

#### **Солнечное излучение.**

#### **Спектрально-энергетические характеристики солнечных излучателей.**

#### **План лекции**

1. Спектрально-энергетические характеристики СИ
2. Оптико-геометрические характеристики СИ
3. Фотометрические характеристики СИ

#### **Ключевые слова**

Солнечное излучение, абсолютно черное тело (а.ч.т.), излучатель, тепловое широкополосное излучение, яркостная температура, спектрально-энергетические, оптико-геометрические и фотометрические характеристики солнечного излучения

# **Источники, концентраторы, приемники излучения**

## **Раздел I. Источники излучения для ФЭУ**

### **План раздела**

1. Спектрально-энергетические характеристики солнечного излучения (СИ)
2. Высокотемпературные плазменные источники ИК-УФ теплового излучения
3. Лазерные источники мощного излучения для ФЭУ

### **Лекция № ЭЛ 2**

#### **Солнечное излучение.**

#### **Спектрально-энергетические характеристики солнечных излучателей.**

#### **План лекции**

1. Спектрально-энергетические характеристики СИ
2. Оптико-геометрические характеристики СИ
3. Фотометрические характеристики СИ

#### **Ключевые слова**

Солнечное излучение, абсолютно черное тело (а.ч.т.), излучатель, тепловое широкополосное излучение, яркостная температура, спектрально-энергетические, оптико-геометрические и фотометрические характеристики солнечного излучения

## Основные понятия, определения и параметры

1. Яркостная температура **СИ** –  $T_{\text{я}} \sim 6 \text{ кК}$  (5,80 кК)
2. Солнечная постоянная (плотность мощности **СИ**) –
  - а. в Космосе на орбите ИСЗ  $\sim 1,5 \text{ [кВт/м}^2\text{]}$ ,
  - б. у поверхности Земли  $\sim 0,8\text{-}0,9 \text{ [кВт/м}^2\text{]}$
3. Спектр **СИ** сплошной (континуум) и близок к спектру излучения а.ч.т. при  $T \sim 6 \text{ кК}$

# 1. Спектрально-энергетические характеристики СИ

## 1.1. Общая характеристика

Солнце (С) астрономы относят к звездам-карликам спектрального класса G2. Параметры этой звезды (т.е. белого карлика класса G2) следующие:

- радиус С – в 109 раз больше радиуса Земли ( $R_C/R_3 \sim 109$ )
- Масса С – в 333000 раз больше массы Земли ( $M_C/M_3 \sim 333000$ )
- 99,86% всей массы солнечной системы приходится на массу С
- средняя плотность солнца  $\rho_C \sim 1,41 \text{ г/см}^3$  ( $\rho_C \sim 0,25 \rho_{\text{земли}}$ )
- плотность ядра С  $\rho_{\text{яС}} \sim 160 \text{ [г/см}^3\text{]}$ .
- состав С (68% - H<sub>2</sub>, 30% - He, 2% - остальные элементы)

## 1.2. Радиационные характеристики Солнца:

- Мощность излучения  $S - 3,8 \cdot 10^{26}$  [Вт]
- Интенсивность излучения с поверхности  $S - I_0 \sim 6 \cdot 10^7$  [Вт/м<sup>2</sup>],
- Яркостная температура поверхности  $S - T_p \sim 6$  [кК] (5830 [К])
- В центре  $S$  температура ядра составляет  $- T_c \sim 2 \cdot 10^7$  [К],

Термоядерные реакции являются основным источником энергии излучения  $S$ . Основные реакции:



где  $D$  – дейтерий,  $T$  – тритий,  $n$  - нейтрон

## 1.2. Радиационные характеристики Солнца:

- Мощность излучения  $S - 3,8 \cdot 10^{26}$  [Вт]
- Интенсивность излучения с поверхности  $S - I_0 \sim 6 \cdot 10^7$  [Вт/м<sup>2</sup>],
- Яркостная температура поверхности  $S - T_p \sim 6$  [кК] (5830 [К])
- В центре  $S$  температура ядра составляет  $- T_c \sim 2 \cdot 10^7$  [К],

Термоядерные реакции являются основным источником энергии излучения  $S$ . Основные реакции:



где  $D$  – дейтерий,  $T$  – тритий,  $n$  - нейтрон

Три вида характеристик Солнца как источника энергии:

- энергетические и спектральные
- геометрические
- фотометрические

а. Энергетические характеристики – это зависимости плотности потока солнечного излучения (**СИ**) от длины волны ( $\lambda$ ) и расстояния до Солнца ( $L_C$ ).

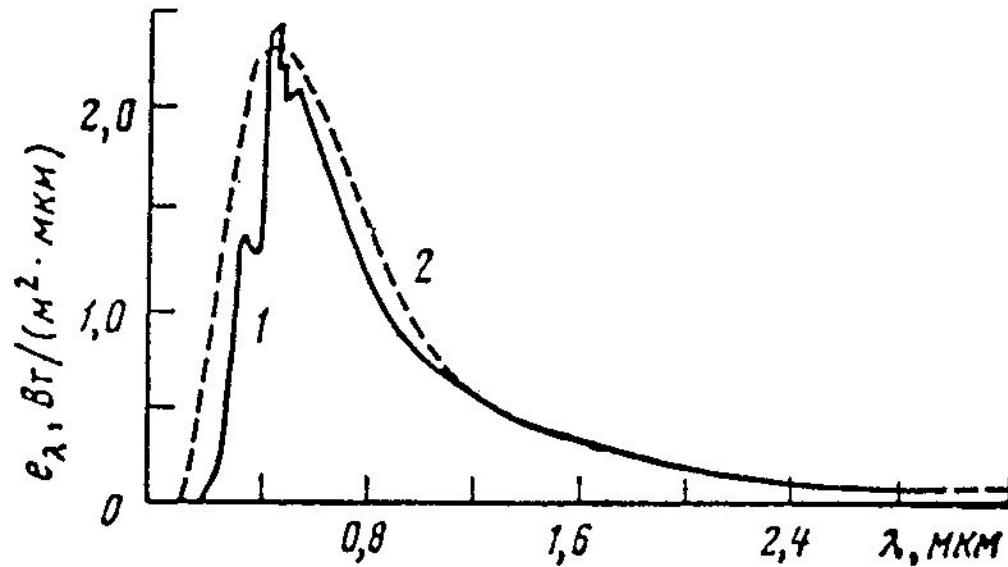


Рис. 1. (1) Спектр излучения Солнца и (2) спектр излучения абсолютно черного тела при температуре  $T_C \sim 5800 \text{ К}$ .



Спектральная плотность мощности излучения а.ч.т. выражается формулой Планка, которая в данном случае имеет вид:

$$I_{\lambda_C} = c_1 \lambda^{-5} / (\exp(c_2 / \lambda T_C) - 1), \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{м}} \right] \quad (1)$$

где  $\lambda$  – длина волны в метрах [м];  
 $c_1 = 3,742 \cdot 10^{-16}$  [Вт·м<sup>2</sup>]  
 $c_2 = 1,438 \cdot 10^{-2}$  [м·К] – радиационные постоянные Планка.

Тогда для спектральной облученности (т.е. плотности мощности) площадки, расположенной перпендикулярно направленного фотонного потока имеем:

$$E_{\lambda_C} = I_{\lambda_C} (R_C / L_C)^2, \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{м}} \right] \quad (2)$$

Среднее расстояние Солнца от Земли составляет  $L_C \sim 149,6 \cdot 10^6$  [км], и тогда

$$E_{\lambda_C} = 2,2 \cdot 10^{-5} I_{\lambda_C}$$

*Интегральная* (полная) *плотность потока СИ*, падающего нормально на поверхность приемника, определяется интегрированием спектральной плотности излучения  $E_{\lambda c}$  в диапазоне изменения длины волны  $\lambda$  от нуля до бесконечности :

$$E_C = \int_0^{\infty} E_{\lambda c} d\lambda, \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]. \quad (3)$$

Величину  $E_C$  называют солнечной постоянной.

Средние значения нормальной плотности солнечного излучения ( $E_C$ ) для некоторых планет приведены в таблице

Таблица 1

Энергетическая и геометрическая характеристики солнечного излучения

Параметр	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Сатурн
$E_C, [\text{Вт}/\text{м}^2]$	9250	2730	1373	610	15,4
$2\psi_C$	81	44	32	21	4

В качестве постоянной величины, не зависящей от расстояния до Солнца, для характеристики интенсивности **СИ** может быть принята величина  $P_C$  (т.н. угловая плотность мощности)

$$P_C = E_C / \alpha_0^2 = 1,62 \cdot 10^4, \quad [\text{кВт}/\text{м}^2\text{рад}^2] \quad (4)$$

где  $\alpha_0$  – видимый угловой размер Солнца в данной точке пространства (т.е. телесный угол солнечного диска).

Интегральная (полная) плотность потока **СИ**, падающего нормально на поверхность приемника, определяется интегрированием спектральной плотности излучения  $E_{\lambda c}$  в диапазоне изменения длины волны  $\lambda$  от нуля до бесконечности :

$$E_C = \int_0^{\infty} E_{\lambda c} d\lambda, \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]. \quad (3)$$

Величину  $E_C$  называют солнечной постоянной.

Средние значения нормальной плотности солнечного излучения ( $E_C$ ) для некоторых планет приведены в таблице

Таблица 1

Энергетическая и геометрическая характеристики солнечного излучения

Параметр	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Сатурн
$E_C, [\text{Вт}/\text{м}^2]$	9250	2730	1373	610	15,4
$2\psi_C$	81	44	32	21	4

В качестве постоянной величины, не зависящей от расстояния до Солнца, для характеристики интенсивности **СИ** может быть принята величина  $P_C$  (т.н. угловая плотность мощности)

$$P_C = E_C / \alpha_0^2 = 1,62 \cdot 10^4, \quad [\text{кВт}/\text{м}^2\text{рад}^2] \quad (4)$$

где  $\alpha_0$  – видимый угловой размер Солнца в данной точке пространства (т.е. телесный угол солнечного диска).

## 2. Оптико-геометрические характеристики СИ

б. Геометрической характеристикой излучателя – является зависимость видимого углового размера Солнца от расстояния до приемника.

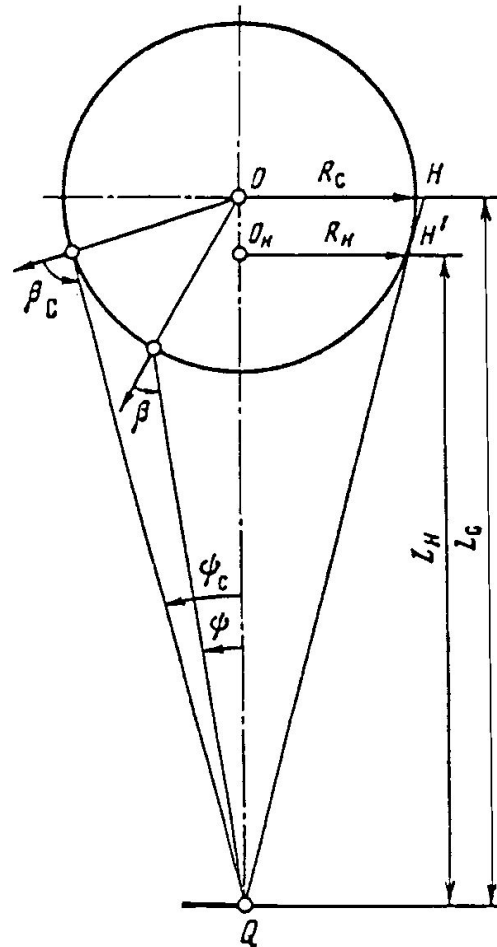


Рис. 2. К определению геометрических и фотометрических характеристик Солнца как излучателя.

Радиус эквивалентного круга (т.е. диска) не равен радиусу излучающей солнечной сферы и определяется из подобия треугольников  $QON$  и  $QO_H H'$  (рис. 2):

$$R_H \sim R_C (1 - (R_C / L_C)^2)^{0,5}. \quad (5)$$

Угловой размер (радиус) излучателя при наблюдении из точки  $Q$  определяется как

$$\psi_C \approx R_H / L_H = (R_C / L_C) / (1 - (R_C / L_C)^2)^{0,5}. \quad (6)$$

При большой удаленности от Солнца, характерной для планет солнечной системы, отношение  $R_C / L_C$  существенно меньше единицы, т.е.

$$R_C / L_C \ll 1$$

и угловой размер солнечного излучателя **СИ** с достаточной точностью определяется соотношением

$$\psi_C \sim R_C / L_C \quad (7)$$

В среднем интенсивность солнечного излучения и ее среднее значение на Земле ( $E_C^3$ ) составляет 70-90% от интенсивности **СИ** в Космосе ( $E_C^K$ ),

$$E_C^3 \sim (0,7 - 0,9) E_C^K \sim 10^3 \quad [\text{Вт/м}^2] \quad (8)$$

Радиус эквивалентного круга (т.е. диска) не равен радиусу излучающей солнечной сферы и определяется из подобия треугольников  $QON$  и  $QO_H H'$  (рис. 2):

$$R_H \sim R_C (1 - (R_C / L_C)^2)^{0,5}. \quad (5)$$

Угловой размер (радиус) излучателя при наблюдении из точки  $Q$  определяется как

$$\psi_C \approx R_H / L_H = (R_C / L_C) / (1 - (R_C / L_C)^2)^{0,5}. \quad (6)$$

При большой удаленности от Солнца, характерной для планет солнечной системы, отношение  $R_C / L_C$  существенно меньше единицы, т.е.

$$R_C / L_C \ll 1$$

и угловой размер солнечного излучателя **СИ**  $I_{\lambda_C}$  с достаточной точностью определяется соотношением

$$\psi_C \sim R_C / L_C \quad (7)$$

В среднем интенсивность солнечного излучения и ее среднее значение на Земле ( $E_C^3$ ) составляет 70-90% от интенсивности **СИ** в Космосе ( $E_C^K$ ),

$$E_C^3 \sim (0,7 - 0,9) E_C^K \sim 10^3 \quad [\text{Вт/м}^2] \quad (8)$$

### 3. Фотометрические характеристики СИ

в. Фотометрические характеристики излучателя – это распределение силы света и яркости по поверхности солнечной сферы и внутри пучка солнечных лучей, приходящих в каждую точку приемника (отметим, что угловые распределения относительных параметров излучения в центре и на краю – это т.н. *индикатриссы излучателя*).

1. Индикатриса излучения – это угловое распределение относительных яркостей (яркостей в центре  $B_0$  и на краю  $B$  излучателя), т.е.

$$B/B_0 \sim f(\beta);$$

где  $\beta$  – угол между выбранным направлением (в пучке солнечных лучей) и нормалью к поверхности излучателя (рис. 2).

2. Яркость – это плотность мощности излучения  $I_0$ , [Вт/м<sup>2</sup>] в фиксированном телесном угле  $\Omega$ , [стерадиан], или [стер]

$$B = \frac{I_0}{\Omega} \quad [\text{Вт/м}^2 \cdot \text{стер}]$$

3. Спектральная яркость – это плотность мощности излучения в фиксированном телесном угле в единичном спектральном интервале  $\Delta\lambda$ , [нм]

$$B_\lambda = \frac{I_0}{\Omega \cdot \Delta\lambda} [\text{Вт/м}^2 \cdot \text{стер} \cdot \text{нм}]$$

или

$$B_\lambda = \frac{B}{\Delta\lambda} \quad ,$$



Аппроксимационные зависимости для интегральных индикатрис яркости  $B(\beta)$  Солнца имеют следующий вид

$$f(\beta) = \frac{B}{B_0} = \frac{B_{\text{край}}}{B_{\text{центр}}} = (1 + 1,564 \cdot \cos\beta) / 2,564 \quad (9)$$

или

$$f(\beta) = B / B_0 = 0,513 + 0,487(\cos\beta)^{1,268} \quad (10)$$

где  $\beta$  – угол между выбранным направлением (в пучке солнечных лучей) и нормалью к поверхности излучателя (рис. 2).

Подобного рода зависимости существуют и для индикатрис спектральной яркости излучения  $B_\lambda / B_{\lambda 0} \sim f_\lambda(\beta)$ .

Индикатриса силы излучения для каждой точки излучающей поверхности  $f^*(\beta)$  Солнца определяется простым соотношением

$$f^*(\beta) = I / I_0 = f(\beta) \cdot \cos\beta \quad (11)$$

Для практики гелиотехнических расчетов обычно используют индикатрисы силы излучения ( $I$ ) и индикатрисы яркости ( $B$ ) в пучке солнечных лучей, падающем на поверхность приемника, в функции угла  $\psi$ , характеризующего направление луча в пучке и отсчитываемого от его оси (см. рис. 2)

Связь между углами  $\beta$  и  $\psi$  из геометрических соображений определяется выражением:

$$\beta = \arccos\sqrt{1 - (\psi/\psi_c)^2} = \arcsin(\psi/\psi_c) \quad (12)$$

Интегральная индикатриса СИ приведена на рис. 3.

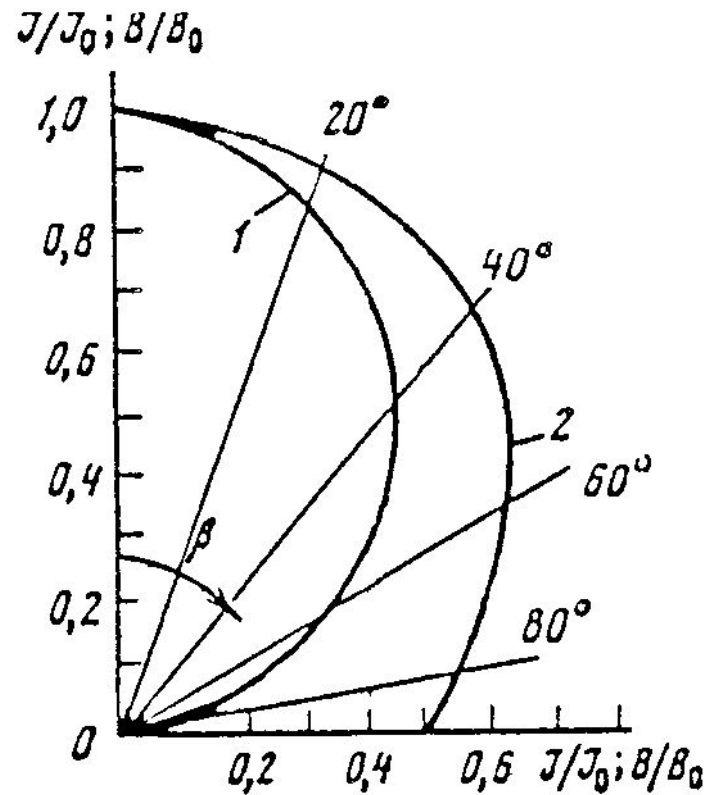


Рис. 3. Интегральные индикатрисы солнечного излучения: 1 – относительная сила излучения ( $I/I_0$ ) и 2 – относительная яркость излучения Солнца ( $B/B_0$ ).

$$\eta_{\text{С пред}} = 1 - \frac{4}{3} \frac{T_{\text{отв}}}{T_{\text{С}}} + \frac{1}{3} \left( \frac{T_{\text{отв}}}{T_{\text{С}}} \right)^2 \quad (13)$$

Зависимость кпд преобразования энергии СИ  $\eta_{\text{С пред}}$  от  $T_{\text{отв}}$  представлена на рис. 4, откуда следуют высокие предельные значения кпд преобразования СИ, т.е.  $\eta_{\text{С пред}} \sim 0,8-0,95$ .

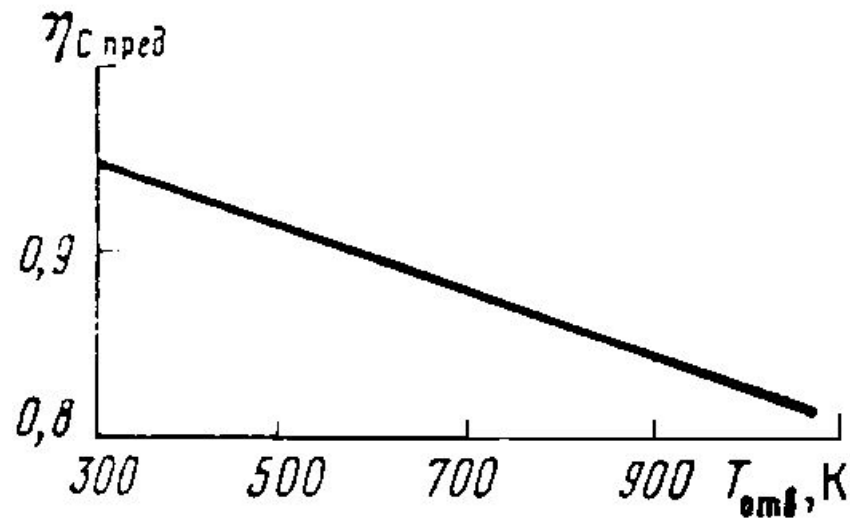


Рис. 4. Зависимость предельного теоретического кпд преобразователей солнечной энергии в космосе от температуры ТОА ( $T_{\text{отв}}$ )

Энергетическую эффективность  $\bar{\eta}_c$  любой технической системы преобразования энергии оценивают отношением ее *полного эффективного* (т.е. фактического) *кпд* к предельному, т.е. величиной

$$(14)$$

$$\bar{\eta}_c = \eta_{\text{эфф}} / \eta_{c \text{ пред}}$$

откуда следует преимущество *прямых преобразователей* энергии **СИ** по сравнению с преобразователями с *промежуточной стадией* получения тепла, где уровень *кпд* ограничен уровнем реализуемой в них максимальной температурой.

\Коэффициент концентрации, или концентрирующая способность (К) – отношение средней плотности сконцентрированного излучения к плотности лучистого потока, падающего на поверхность.

Максимальная фокальная облученность (т.е. облученность в фокальной плоскости (или плотность мощности излучения в точке фокусировки)) в любой концентрирующей системе с углом раскрытия  $\gamma_K$  не может превышать значения

$$E_F = \pi B \sin^2 \gamma_K \quad (15)$$

где  $B$  – энергетическая яркость источника излучения (предполагая, что источник излучает по закону Ламберта, т.е. как *точечный источник*).

$\gamma_K$  – угол раскрытия концентратора

Для солнечного излучения угловая яркость  $B_C$  определяется как

$$B_C = E_C / \pi \psi_C^2 \quad (16)$$

тогда облученность в фокусе оптически и геометрически идеального концентратора ( $E_F^{\text{ид}}$ ) имеет вид

$$E_F^{\text{ид}} = (\sin^2 \gamma_k / \psi_C^2) E_C, \quad (17)$$

а предельный коэффициент концентрации **СИ** ( $K_{\text{пред}}$ ) определяется выражением

$$K_{\text{пред}} = \sin^2 \gamma_k / \psi_C^2 \quad (18)$$

из которого следует, что он зависит лишь от угла раскрытия концентрирующей системы ( $\gamma_k$ ) и углового размера источника излучения ( $\psi_C$ ) – Солнца.

При максимальном угле раскрытия  $\gamma_{\text{к}} = 90^0$  в околоземном космосе -  $\psi_{\text{с}} = 16'$  и  $K_{\text{пред}} \sim 46160$ .

Этому максимальному значению  $K_{\text{пред}}$  соответствует и предельная температура нагрева а.ч.т., помещенного в фокусе концентратора **СИ**

$$T_{\text{и дää}} = \sqrt[4]{K_{\text{и дää}} E_{\text{с}} / \sigma_0} \sim 5770 \text{ Ê} \quad (19)$$

где  $\sigma_0 = 5,672 \cdot 10^{-8}$ , [Вт/см<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>] – постоянная Стефана-Больцмана.

Эта температура приблизительно равна эффективной радиационной (яркостной) температуре Солнца, что и соответствует законам термодинамики.



## • Резюме к лекции № 1

- . Яркостная температура **СИ** –  $T_{\text{я}} \sim 6 \text{ кК}$  (5,80 кК)
- . Солнечная постоянная (плотность мощности **СИ**) –
  - а. в околоземном Космосе на орбитах ИСЗ  $\sim 1,5 \text{ [кВт/м}^2\text{]}$ ,
  - б. у поверхности Земли  $\sim 0,8\text{-}0,9 \text{ [кВт/м}^2\text{]}$
- 3. Спектр **СИ** непрерывный, сплошной (континуум) и близок к спектру излучения а.ч.т. при  $T \sim 6 \text{ кК}$
- 4. Максимальная температура, до которой можно нагреть вещество с помощью **СИ** – не превышает 5,77 кК

## **Словарь понятий:**

- **СИ**, а.ч.т., излучатель, тепловое широкополосное излучение, яркостная температура, спектрально-энергетические, оптико-геометрические и фотометрические характеристики солнечного излучения

## **Задание к КСР № 1**

- Выписать в таблицы основные спектрально-энергетические, оптико-геометрические и фотометрические характеристики солнечного излучения

Пример его выполнения (оболочка) выдается старосте для всех студентов.

- **Темы рефератов по курсу**

Также выдаются старосте, который должен представить данные в таблицу успеваемости с указанием выбранной темы реферата. Темы не должны повторяться.

- **Домашнее задание**

1. Заполнить таблицу КСР № 1
2. Подобрать необходимую литературу по курсу
3. Выбрать тему реферата
4. Получить необходимую рекомендованную литературу по данному лекционному курсу

## Пример оболочки КСР № 1

В конспекте лекций, используя рекомендованную литературу, оформить таблицу, содержащую параметры и основные характеристики солнечных излучателей:

Спектрально-яркостные характеристики солнечного излучения (яркостная температура, расстояния/масштабы, геометрические характеристики, солнечная постоянная ...)

Таблица 1

Параметр	Формула/или график	Размерность	Величина

## Пример тем рефератов

### Курс «Источники, концентраторы, приемники излучения»

Темы рефератов	Студенты
1. Источники теплового мощного излучения – солнечные излучатели	
2. Источники теплового мощного излучения – газоразрядные лампы	
3. Источники теплового мощного излучения – омические нагреватели	
4. Источники мощного когерентного излучения – твердотельные лазеры	
5. Источники мощного когерентного излучения – газовые лазеры, полупроводниковые лазеры	
6. Источники мощного когерентного излучения – полупроводниковые лазеры	
7. Низкопотенциальные концентраторы солнечного излучения: фоконы, фоклины	
8. Высокопотенциальные системы концентрации СИ: поверхности второго порядка – параболоиды вращения, полусферы, гиперболоиды	
9. Высокопотенциальные системы концентрации СИ: линзы Френеля	
10. Конструкции концентраторов с пленочными покрытиями	
11. Комбинированные концентраторы и доуплотнители излучения	
12. Приемники излучения - приемники на основе внутреннего фотоэффекта: фоторезисторы	
13. Приемники излучения - приемники на основе внутреннего фотоэффекта: фотодиоды	
14. Приемники излучения на основе внешнего фотоэффекта – электровакуумные фотоэлементы, газонаполненные фотоэлементы	
15. Приемники излучения на основе внешнего фотоэффекта – фотоэлектронные умножители, электронно-оптические преобразователи	
16. Тепловые приемники излучения – термоэлементы	
17. Тепловые приемники излучения – болометры	
18. Тепловые приемники излучения – оптоакустические приемники	
19. Тепловые приемники излучения – радиационные калориметры	
20. Тепловые приемники излучения – пироэлектрические приемники	
21. Тепловые приемники излучения – приемники на основе термоупругого эффекта в кристаллах	

## *Требования к реферату:*

Реферат содержит – (30 – 50 стр. А4):

1. описание модуля – блок и функциональные схемы, принцип действия
2. основные энергобалансовые соотношения и КПД
3. области применения
4. схемные решения энергоустановок и комплексов на основе выбранного модуля ИКП ФЭУ
5. методики инженерного расчета и анализа энергетических характеристик модуля ИКП ФЭУ
6. список используемой литературы

## *Раздаточные материалы*

Дополнительные материалы к лекционному циклу, ссылки на сопряженные тексты в сети Интернет, электронные библиотеки; могут быть получены в УНЦ Фотонной энергетики (ауд. 204э).

Для ознакомления с предметом предлагаются на каждой лекции и иллюстративные материалы.

## *Рекомендуемая литература к лекции*

1. Грилихес В.А. Космические солнечные энергостанции. «Наука», М., 1994.
2. Кудрин О.Н. Солнечные высокотемпературные энергодвигательные установки. «Машиностроение», М., 1987.
3. Скребушевский Б.С. Энергетические установки с преобразованием солнечной энергии. «Машиностроение», М., 1992.
4. Протасов Ю.Ю. Физико-технические основы фотонных энергетических установок. Ч.1, МГТУ, М., 2000.

## *Заключение / выводы*

1. Яркостная температура **СИ** –  $T_{\text{я}} \sim 6 \text{ кК}$  (5,80 кК)
2. Солнечная постоянная (плотность мощности **СИ**) – а. в Космосе на орбите ИСЗ  $\sim 1,5 \text{ [кВт/м}^2\text{]}$ , б. у поверхности Земли  $\sim 0,8\text{-}0,9 \text{ [кВт/м}^2\text{]}$
3. Спектр **СИ** сплошной (континуум) и близок к спектру излучения ачт при  $T \sim 6 \text{ кК}$
4. Максимальная температура, до которой можно нагреть вещество с помощью **СИ** – не превышает 5,77 кК

## *Контрольные вопросы*

1. Спектрально-энергетические характеристики СИ
2. Оптико-геометрические характеристики СИ
3. Фотометрические характеристики СИ



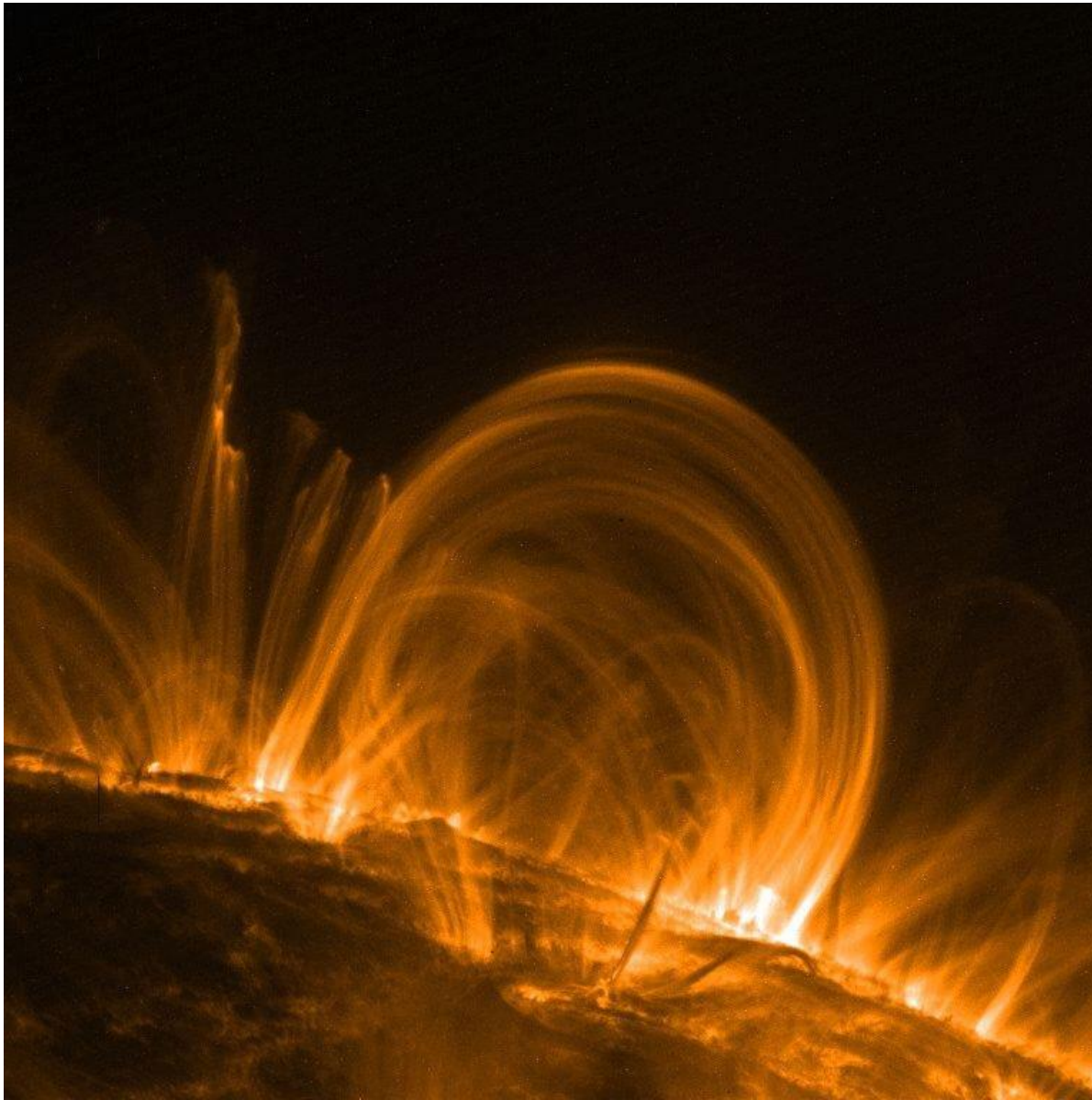


Рис. 1. Выброс излучающей плазмы из протуберанцев Солнца; температура поверхности – 6 кК

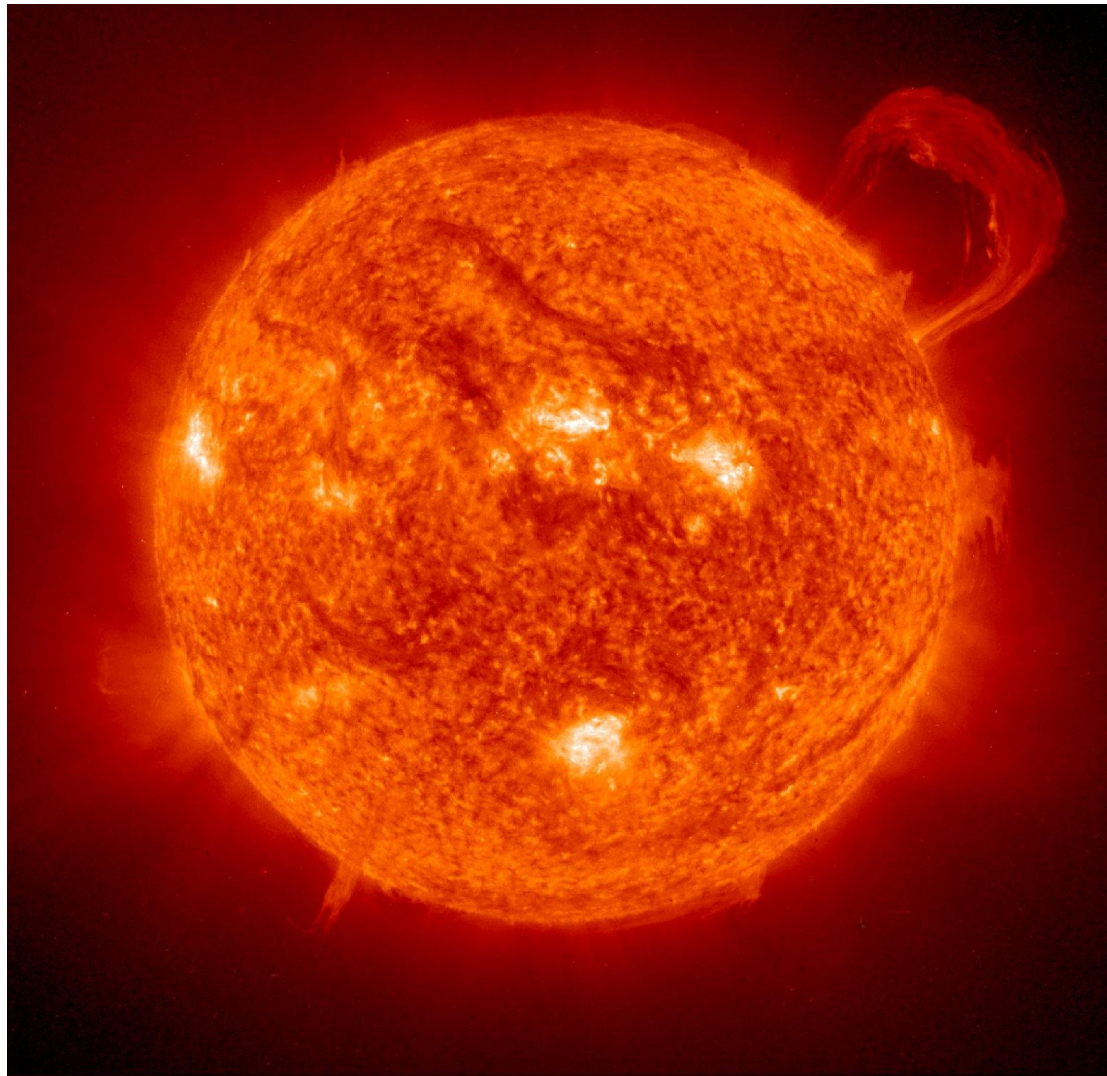
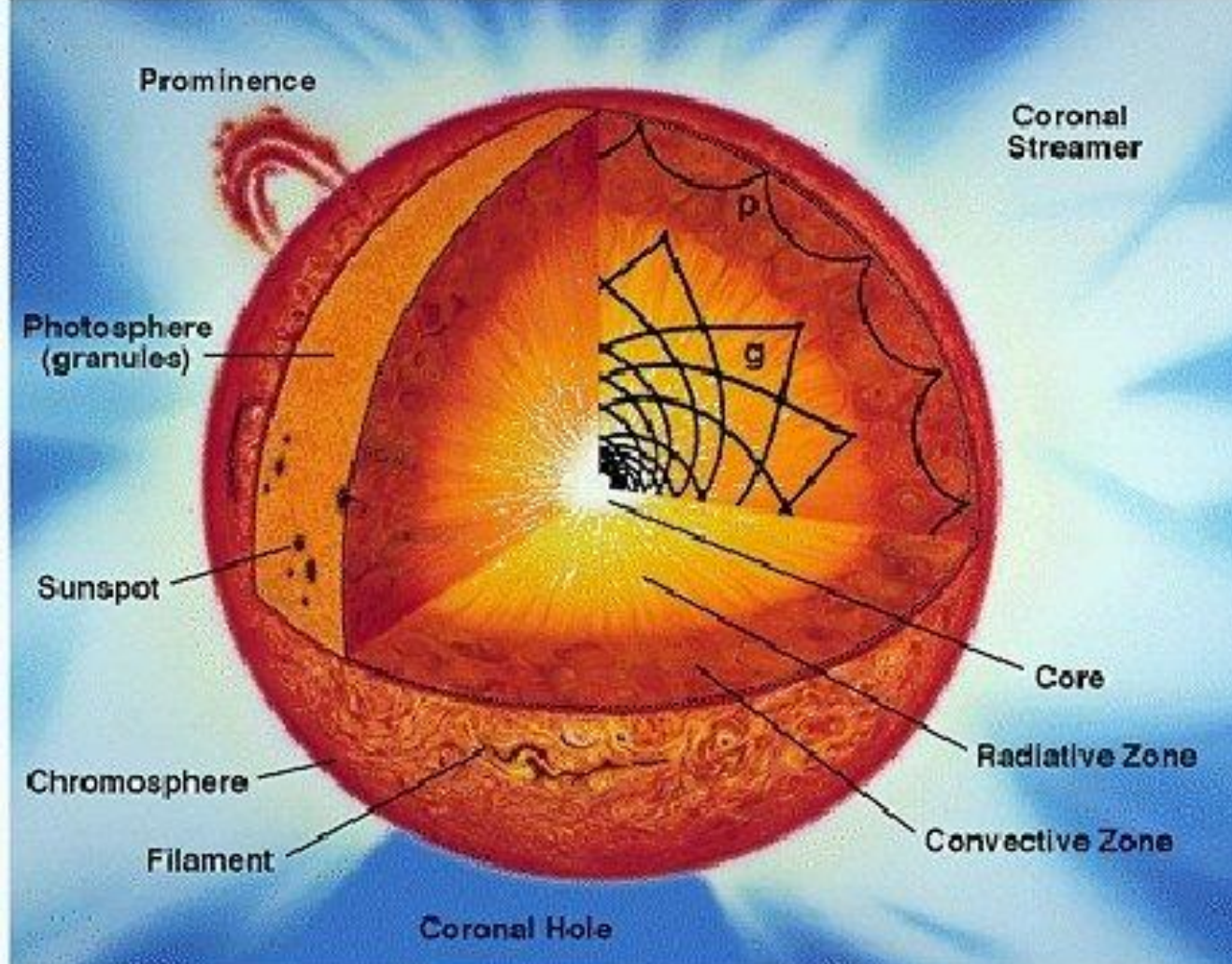


Рис.2. Солнечный диск, сфотографированный с помощью спутника Сохо в рентгеновском диапазоне



Протуберанцы  
фотосфера  
солнечные пятна  
хромосфера  
токовые филаменты  
(токовые слои)  
ядро  
излучающая область  
конвективная область  
солнечные вспышки

Рис. 3. Макроструктура Солнца, где показаны (традиционные для астрофизики):

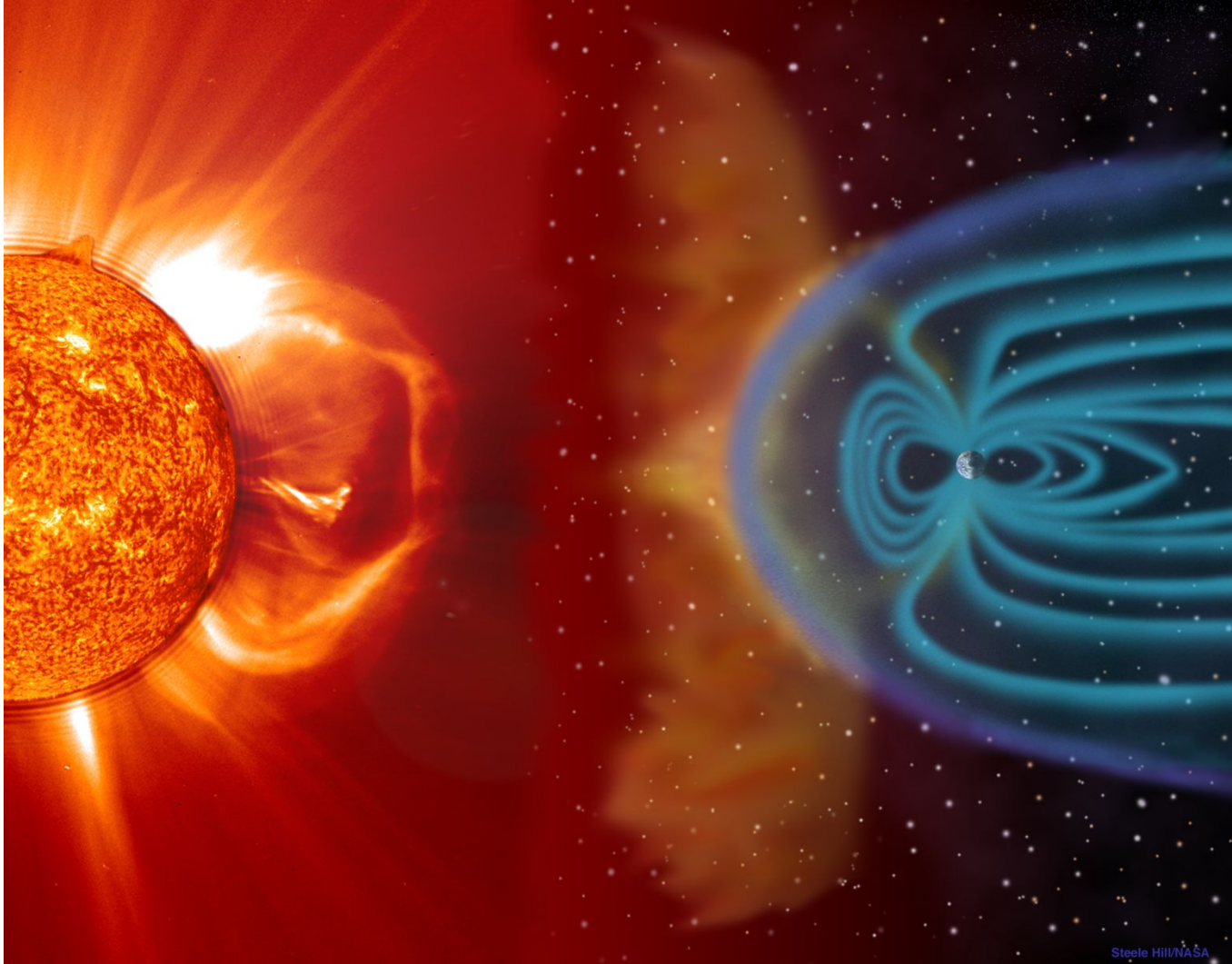


Рис. 4. Фотография областей генерации солнечной плазмы. Взаимодействие солнечной плазмы с магнитосферой Земли, приводящее к геомагнитным возмущениям. Масштаб областей возмущения  $\sim 10^6$  км.

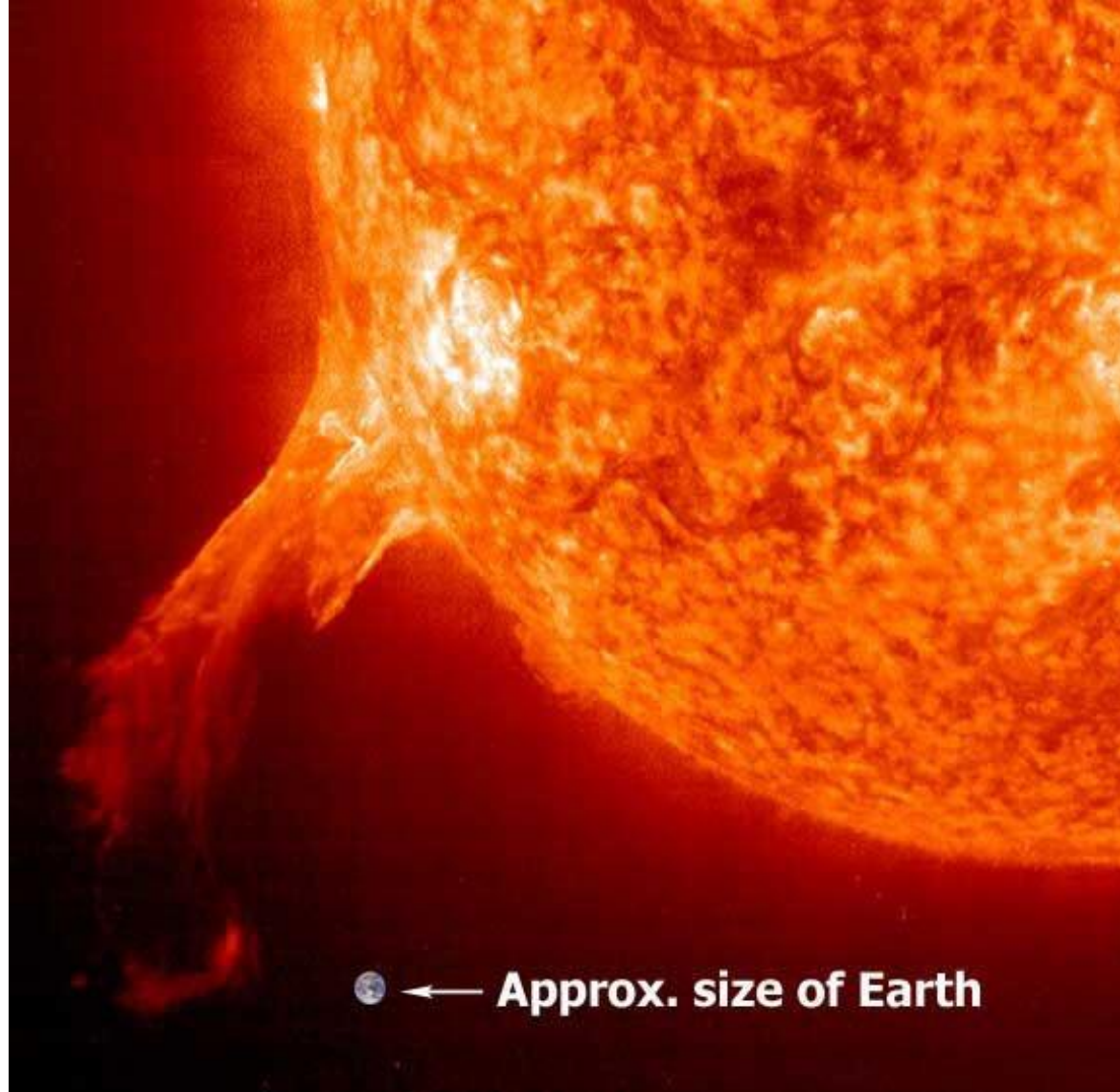
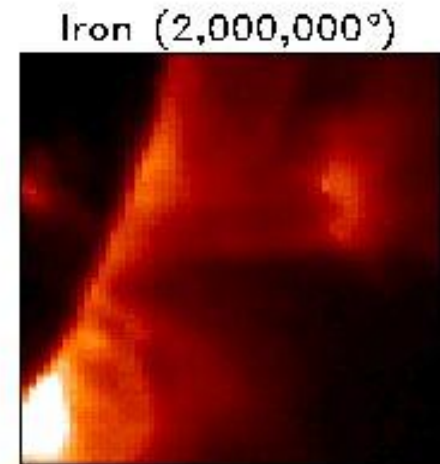
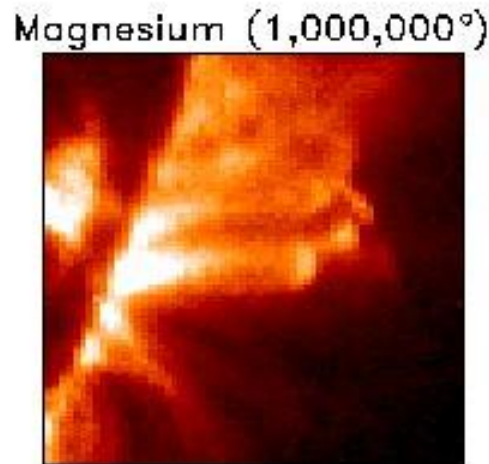
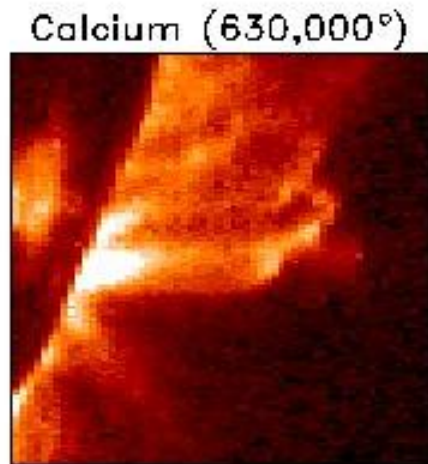
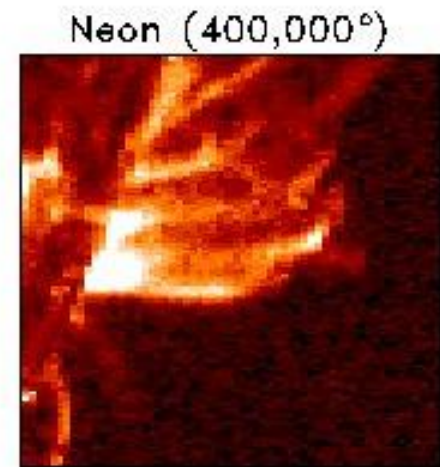
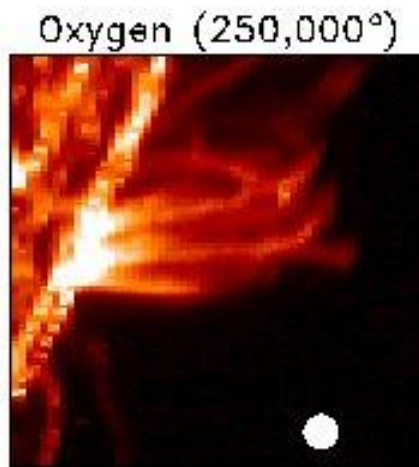
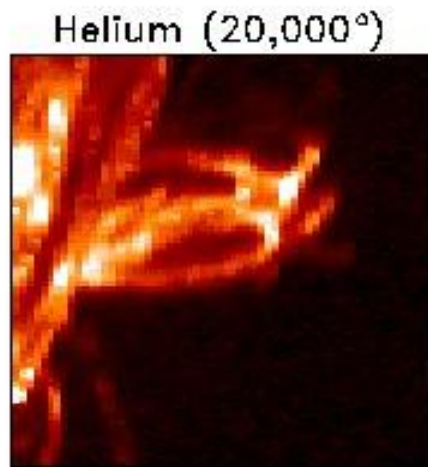


Рис. 5. Выброс излучающего вещества в солнечной короне



SOHO/CDS 23-Mar-1998

Loops of gas at different temperatures observed near the solar limb

Рис. 6. Распределение температуры в различных спектральных интервалах.

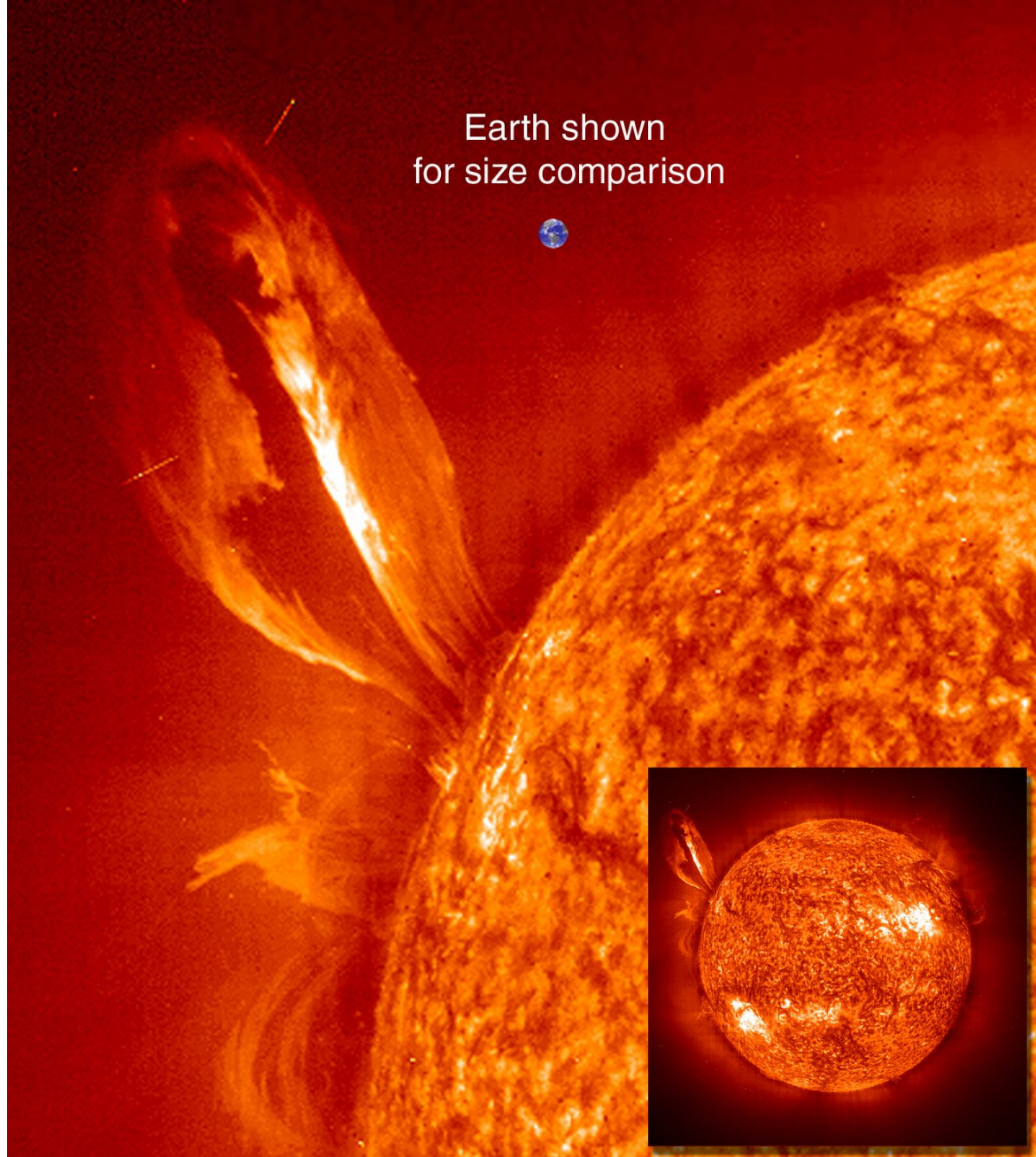


Рис. 7. Макроструктура излучающих зон Солнца

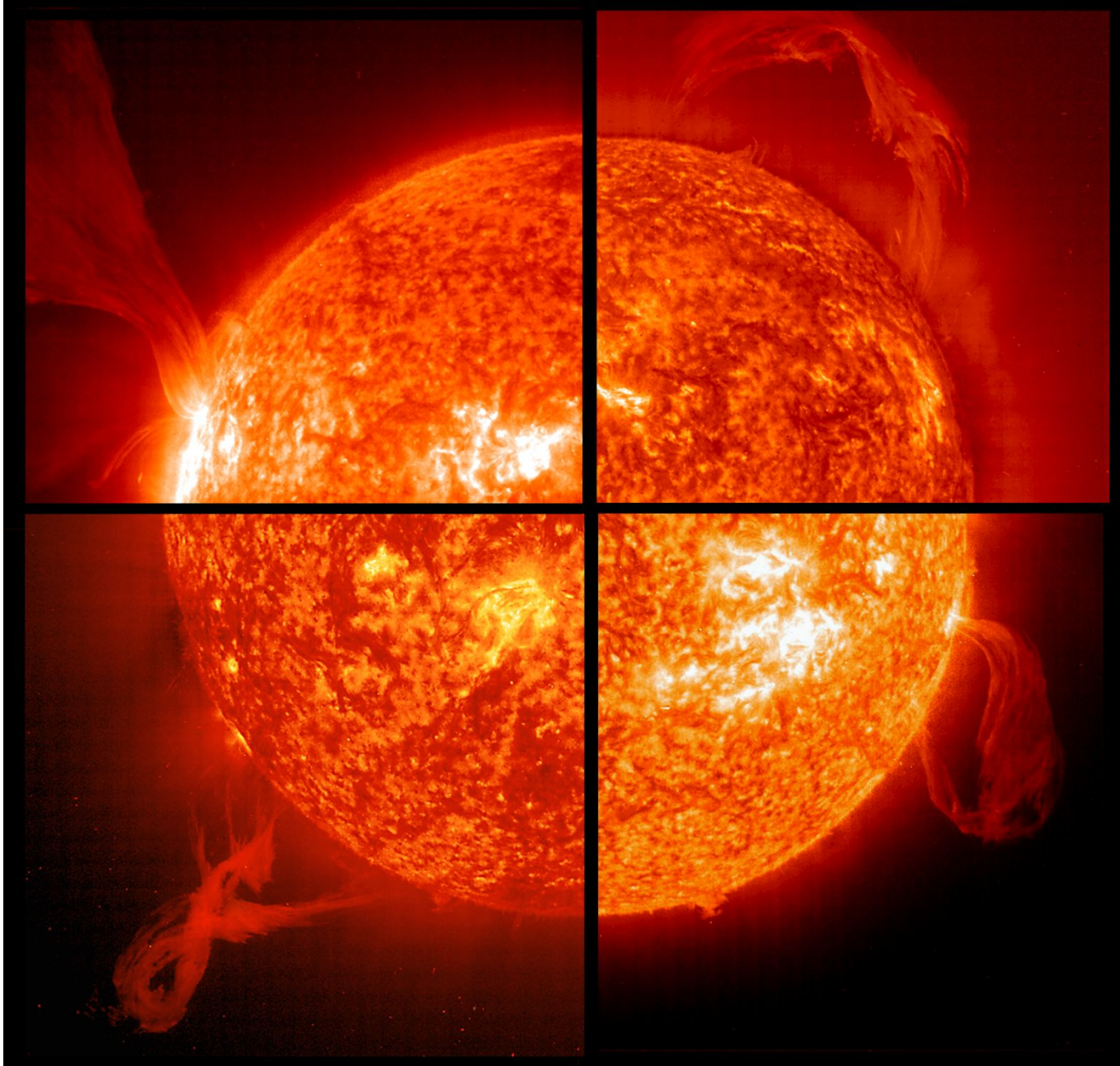


Рис. 8. Солнечные вспышки и выбросы в токовых слоях.