

# **Увод в хелиофизиката**

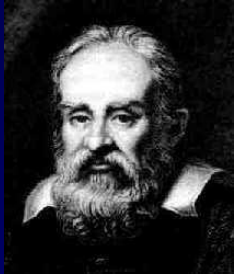
**М. Дечев**

**/19. 05. 2005г. София/**

## Съдържание:

3. Кратка история
4. Физически характеристики
5. Вътрешен строеж
6. Атмосфера
  - Фотосфера
  - Хромосфера
  - Корона
7. Протуберанси
8. Сл. избухвания
9. Основни МХД уравнения
10. Проблеми

# Кратка история



G. Galilee  
1564-1642



Scanned at the American Institute of Physics

G.  
Hale  
1868-1938

1223 BC – Затъмнение – глинена плочка, Сирия

200 BC – Аристарх – разстояние до Слънцето

968г. – Сл. Корона – Leo Diaconus

1185г. – Сл. Протуберанс – Новгородска хроника

1610 – Телескопични наблюдения на петна – Галилей

1817г. – Fraunhofer – тъмни линии в спектъра

1843г. – S. Schwabe – Сл. Цикъл

1848г. – R. Wolf – Число на Волф

1858г. – R. Carrington – диференц. Ротация

1859г. – Сл. Избухване 1.09.

1908г. – G. Hale – магнитна природа на петната

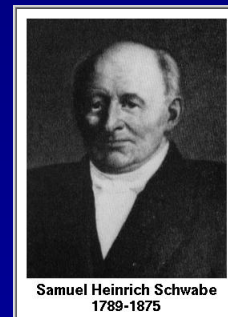
1931г. – V. Lyot - коронограф



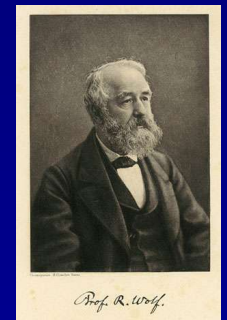
Scanned at the American Institute of Physics

Fraunhofer

S. Schwabe



Samuel Heinrich Schwabe  
1789-1875



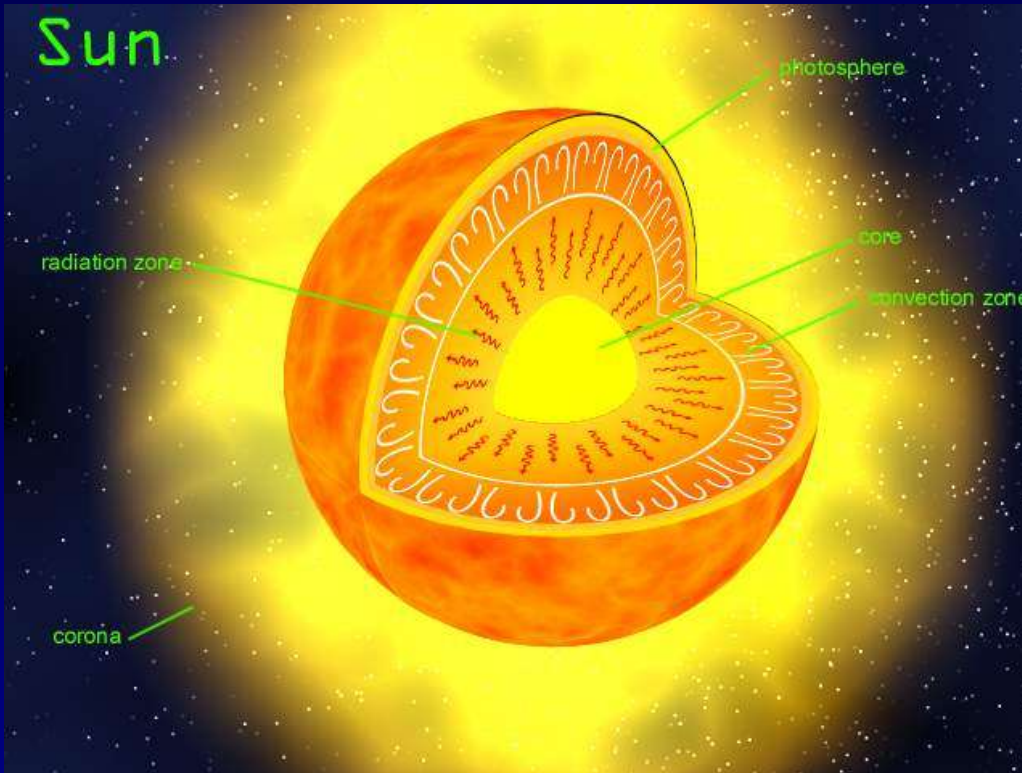
R. Wolf

1816-1893

## Физически характеристики

Клас	dG2V	Сплеснатост	$< 2 \times 10^{-5}$
Възраст	$4.3 \times 10^9$ yr	Екв. ускорение	$247 \text{ m/s}^2$
Маса	$1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$	Неутр. светимост	0.023L
Радиус	696 000 km	Фотонна светимост	$3.86 \times 10^{33} \text{ erg/s}$
Ср. плътност	$1.41 \text{ g/cm}^3$	Загуба на маса	$10^9 \text{ kg/s}$
Зв. величина	- 26.78	T в центъра	$15.6 \times 10^6 \text{ K}$
Температура	5708 K (фот.)	$\rho$ в центъра	$148 \text{ g/cm}^3$
P. на въртене	25.4 d (екв.)	% E от pp - верига	98.4
Сл. константа (65 км)	$1.99 \text{ cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$	% E от CNO цикъл	1.6
Ср. разст. до Земята	149 597 870 km		
V около галакт. център	$\sim 250 \text{ km/s}$		
T на магн. поле	22 yr		

## Вътрешен строеж



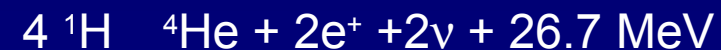
Хим. състав – 90% H, ~9.9 % He, 0.1% тежки елементи

Ядро:  $\frac{1}{4} R$  , 99% от енергията,  $\frac{1}{50}$  от обема,

$$T_c = 1.6 \times 10^6 \text{ K}$$

$$P_c = 250 \times 10^9 \text{ atm}$$

Термоядрени реакции:



Лъчиста зона:  $0.25 - 0.86 R$  ,  $t \sim 10^7 \text{ yr}$

Конвективна зона:  $0.86 - 1 R$  , 4 характерни мащаба на конвективни движения:

Грануляция, мезогрануляция, супергрануляция и гигантски конв. клетки,

1000 km – H, 5000 – 10 000 km – He, 30 000 - He

## Модел

$$dp / dr = \frac{MG}{r^2} \rho(r)$$

$$\frac{dM}{dr} = 4\pi r^2 \rho(r)$$

$$L(r) = \int_0^r \epsilon(r') 4\pi r'^2 \rho(r') dr'$$

$$\left( \frac{dT}{dr} \right)_{\text{radiative}} = - \frac{3}{16\sigma T^3} \frac{L}{4\pi r^2} \text{ K}$$

$$\left( \frac{dT}{dr} \right)_{\text{adiabat}} = \frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{T}{p} \frac{dp}{dr}$$

Условия на модела:

- хидростат. равновесие
- пренос чрез излъчване и конвекция
- енергията се генерира чрез ядрени реакции
- хим. състав се мени от ядрените реакции

Гранични условия:

$$r = 0: M = 0, L = 0$$

$$r = R: M = M, R=R, L=L \text{ за } 4.5 \times 10^9 \text{ yr.}$$

Стандартен модел:  $x = 0.708, y = 0.272, z = 0.02,$   
 $\rho_c = 158 \text{ g/cm}^3, T_c = 1.57 \times 10^7 \text{ K}$

# Фотосфера

100 km слой около  $\tau = 1$ , Лъчист поток –  $U = 6.5 \times 10^{10} \text{ erg}/(\text{cm}^2 \text{ s})$

$\lambda_{\text{max}} = 5500 \text{ \AA}$ ,  $T = 6700 \text{ K}$

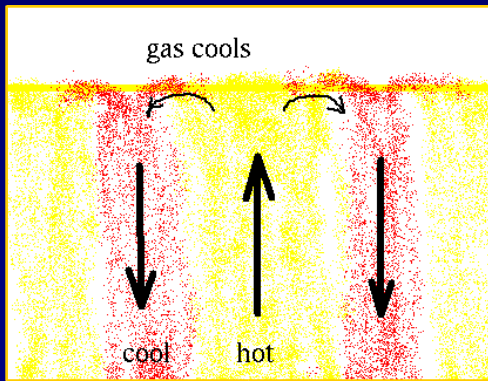
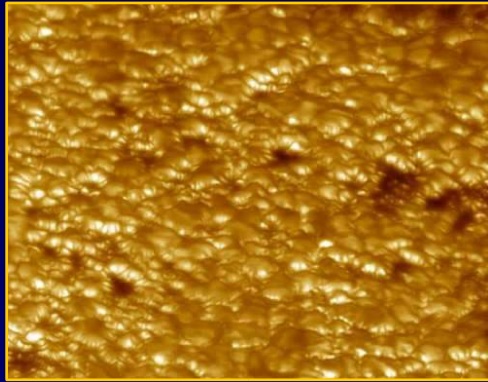
Гранули: 700 -1500 km,  $t \sim 10 \text{ min}$ ,  $V_i = 0.4 \text{ km/s}$ ,  $V_h = 0.25 \text{ km/s}$

Мезогранули: вертикални колебания, 5000 – 10 000 km, 0.5 km/s

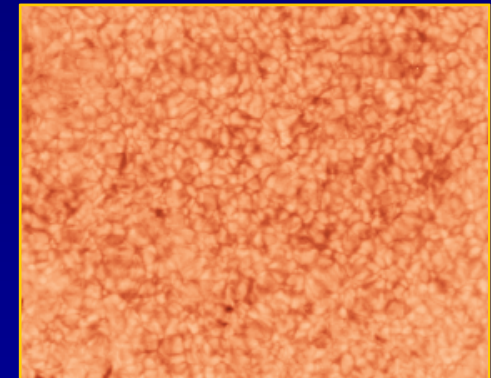
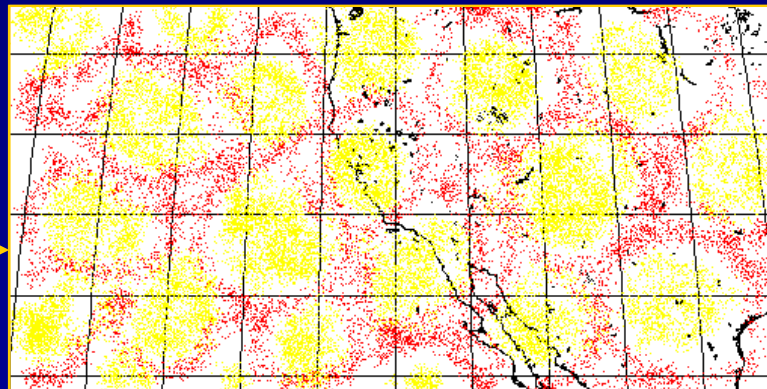
Супергранули: предимно хоризонтални дв-я,  $V_i = 0.1 \text{ km/s}$ ,

$V_h = 0.3 \text{ km/s}$ , ср. размер  $\sim 32\,000 \text{ km}$ ,  $t \sim 1 - 2 \text{ d}$

Гигантски конв. клетки: 300 000 km,  $V_h = 0.3 \text{ km/s}$ ,  $t \sim 14 \text{ m}$



Схематично  
представяне на  
гранулацията



# Сл. петна

Сянка:  $d = 10^4 - 2 \times 10^4 \text{ km}$ ,  $B = 2 - 3 \times 10^3 \text{Gs}$ ,  $I \sim 5 - 15\%$ ,  $T \sim 3700\text{K}$

Полусянка:  $d = 2.4d_u$ ,  $B = 1.5 \times 10^3 \text{Gs}$ ,  $I \sim 50\%$ ,

Време на живот: от няколко  $d$  до няколко  $m$

Групи: размери  $30 - 40^\circ$  по дължина,  $5 - 7^\circ$  по ширина

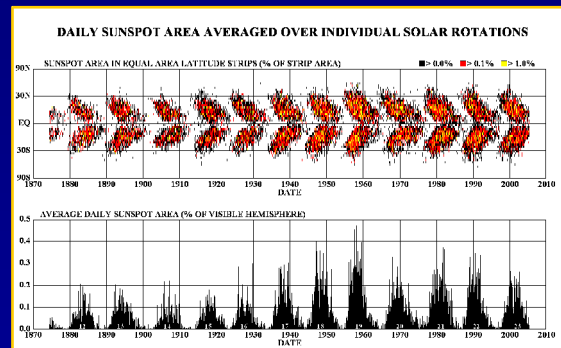
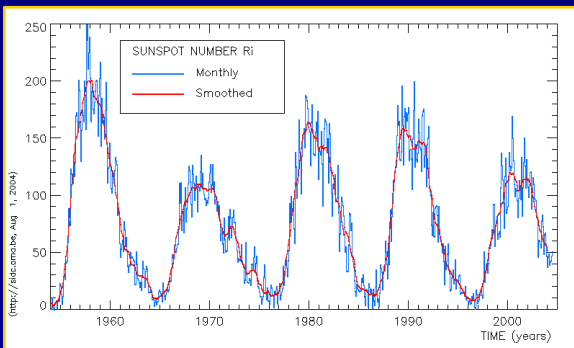
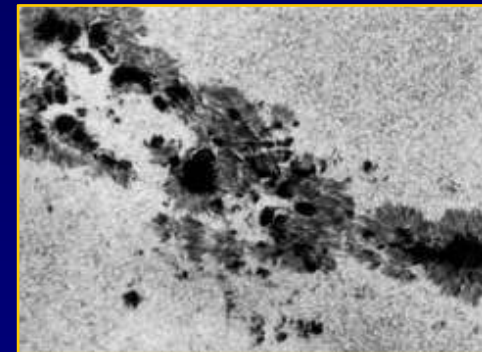
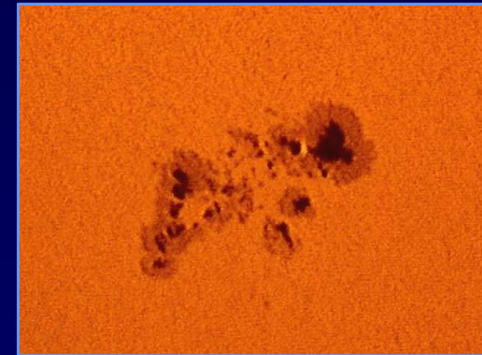
west – водещо, east – опашно

диапазон на поява – на ширини  $< 40 - 45^\circ$

Закон на Шпюрер:

в началото на цикъла –  $(\pm 20 - 25^\circ)$

в края на цикъла -  $(\pm 5 - 10^\circ)$



$$W = k(10G + N)$$

G – брой групи петна

N – пълен брой петна



# Хромосфера, преходна област

Спикули:  $V = 20 - 30 \text{ km/s}$ ,  $H$  до  $11\,000 \text{ km}$ ,  $t \sim 5 - 10 \text{ min}$ ,

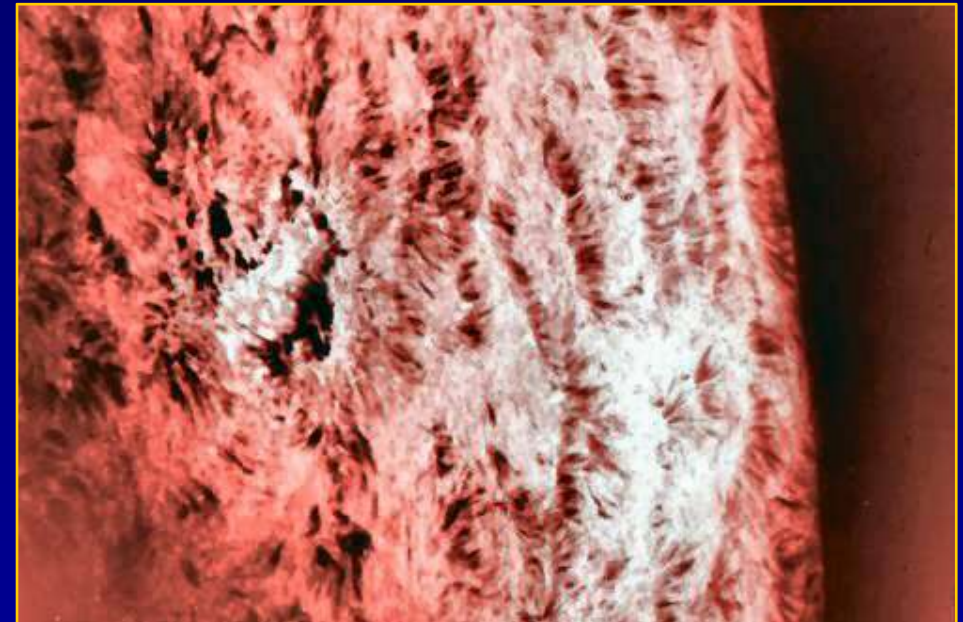
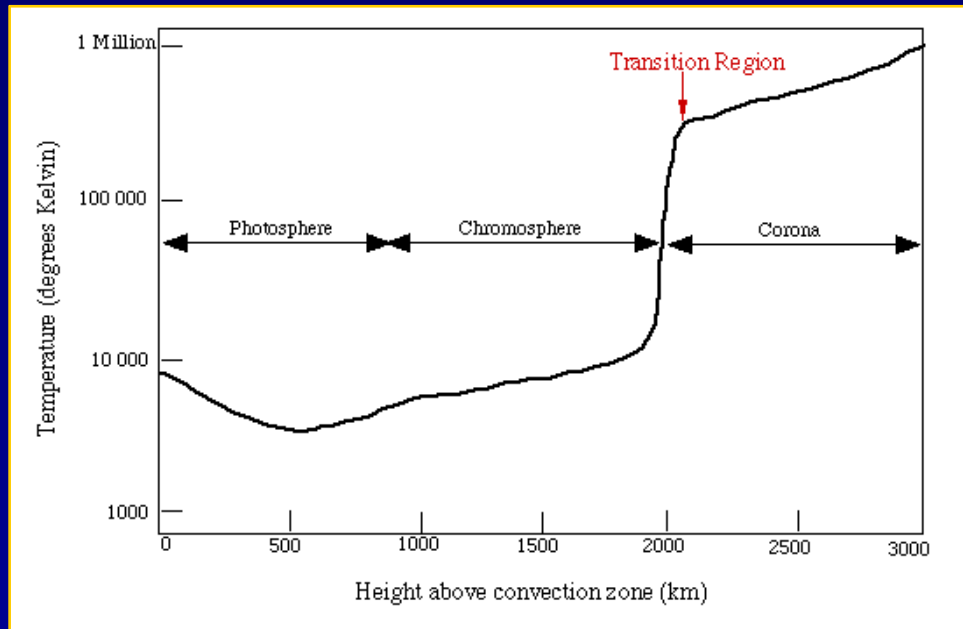
$\text{diam.} - 500 - 1200 \text{ km}$ ,  $\rho = 3 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$

1 супергр. клетка 30 спикули на  $H = 3000 \text{ km}$

1 спикула на  $H = 10\,000 \text{ km}$

Макроспикули:  $V = 10 - 150 \text{ km/s}$ , до  $H = 5 - 10''$ ,

$t \sim 5 - 15 \text{ min}$ ,  $\text{diam.} - 5 - 15''$



# Корона

К – корона – разсейване от  $e^-$ , до  $1.3 R$ , непр. спектър

F – корона – разас. от тежки частици  $m/u$  и Земята, Фраунх. линии, разм. –  $10 \mu m$

E – изл. в линиите на корон. газ в EUV и X,

3 зони: вътрешна – до  $1.3R$ , средна – до  $2.3R$ , външна

Сплеснатост:  $\epsilon = D_e/D_p - 1$

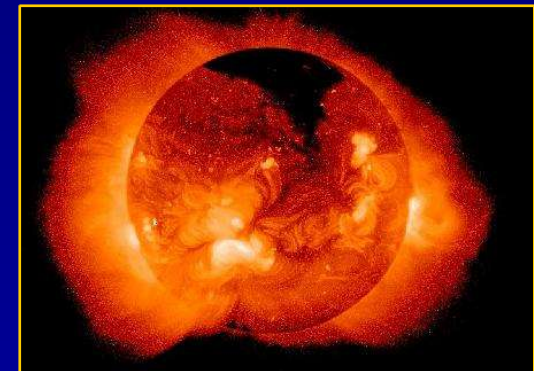
В Rö:

Коронални примки: свързват активни области,  $L \sim 700\,000\text{ km}$ ,  $T = 2-3 \times 10^6\text{ K}$ ,  $t \sim 1\text{ d}$

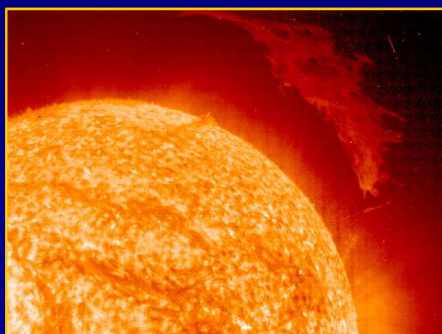
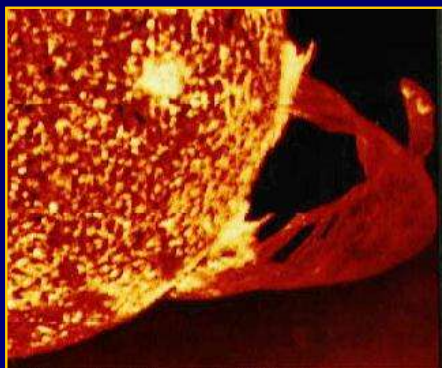
К. лъчи (стримери) –  $0.5-10R$ ,  $3-10\rho$ , където  $\rho \sim 10^{14}\text{ m}^{-3}$

К. дупки - понижена 3 пъти  $\rho$ , отворена конфиг. на магн. поле

Ярки Rö точки:  $\text{diam} \sim 22\,000\text{ km}$ , за  $1\text{ d} \sim 1500$ ,  $t \sim 8\text{ h}$ , по целия диск



# Протуберанси



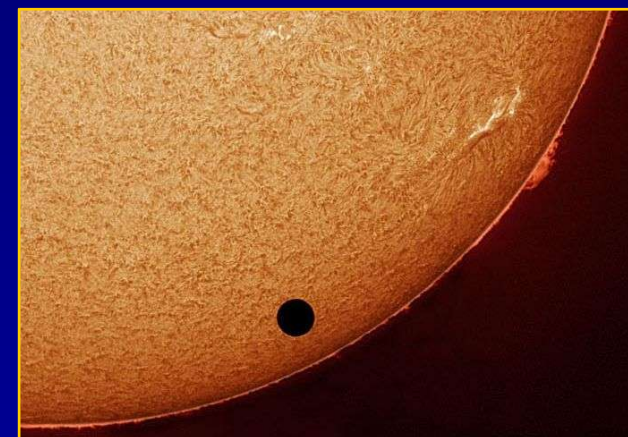
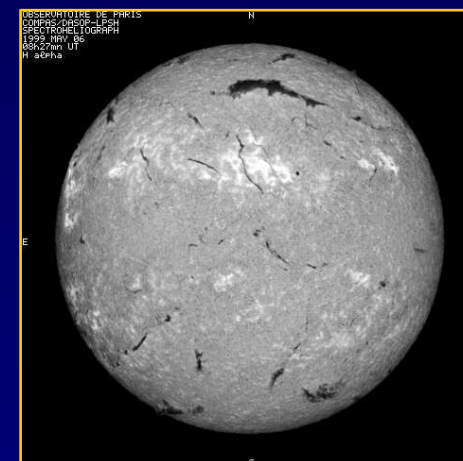
Физ. парам.	Активни протуберанси	Спокойни протуберанси
Te (K)	7000 - 20000	6500
$n_e$ (см <sup>-3</sup> )	$10^{11} - 10^{12.8}$	$10^{10.8}$
$n_{HII}/n_{HI}$	различни стойности	0.7
дължина на нишките (км)	?	5000
диаметър на нишките (км)	<1000	200 - 400
магнитно поле	100 - 300 G	3 - 30 G

Спокойни:

$L \sim 60\ 000 - 600\ 000\ km$

$H \sim 15\ 000 - 100\ 000\ km$

$D \sim 4000 - 15\ 000\ km$



# Слънчеви избухвания

2 гл. фази – флаш (3m – 1h) и главна (1h – 1d)

Отделена енергия –  $10^{22}$  J –  $3 \times 10^{25}$  J

WLF – емисия в конт., 2 - 15", 50% от фотосф. яркост,  $10^{30}$ erg.

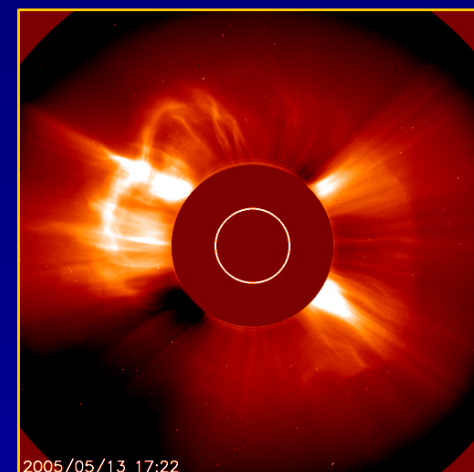
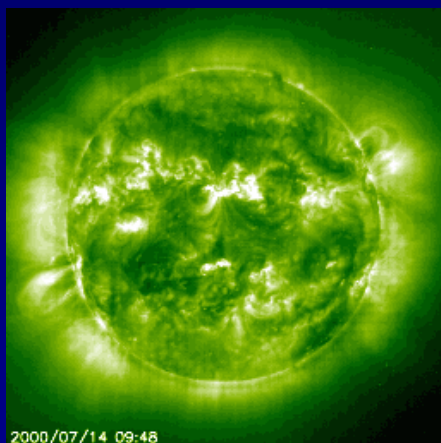
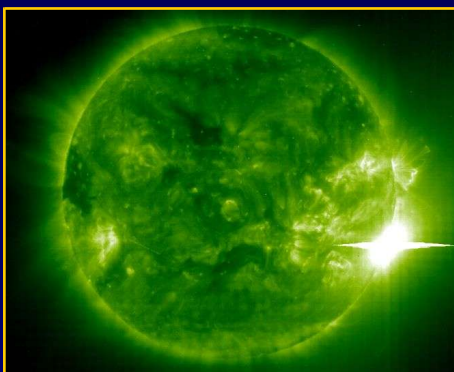
Класификации:

По бал

По  
енергия

B	$10^{-4}$ erg cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
C	$10^{-3}$ erg cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
M	$10^{-2}$ erg cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
X	$10^{-1}$ erg cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>

Бал	Площ
1- (S)	под 100
1	100 - 250
2	250 - 600
3	600 - 1200
3+ (4)	над 1200



# Основни МХД уравнения

3 типа: на ЕМ поле, плазмени, на енергията

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \times \vec{B} &= \mu_0 \vec{j} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{E} &= \rho^* / \epsilon \end{aligned}$$

У-ния на Максвел

Плазмени у-ния

$$\begin{aligned} \vec{j} &\equiv \sigma (\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B}) \\ \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} &= \vec{\nabla} \times (\vec{V} \times \vec{B}) + \eta \Delta \vec{B} \\ \vec{E} &= -\vec{V} \times \vec{B} + \vec{j} / \sigma \end{aligned}$$

$\epsilon$  - електр. проницаемост

$\sigma$  - спец. електр. проводимост

$$p = \frac{k_B}{m} \rho T$$

$$\begin{aligned} \frac{D\rho}{Dt} + \rho \vec{\nabla} \cdot \vec{V} &= 0 \\ \rho \frac{D\vec{V}}{Dt} &= -\vec{\nabla} p + \vec{j} \times \vec{B} + \vec{F} \end{aligned}$$

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \vec{V} \cdot \vec{\nabla}$$

У-ние на енергията

$$\frac{p^\gamma}{\gamma - 1} \frac{D}{Dt} \left( \frac{p}{\rho^\gamma} \right) = -\vec{\nabla} \cdot \vec{q} - L_r + J^2 / \sigma + H$$

## Проблеми на хелиофизиката

- Неутринна “катастрофа”

предсказани:  $(7.9 \pm 2.6)$  SNU

регистрирани:  $(2.1 \pm 0.9)$  SNU

$$\phi_{\text{obs}} / \phi_{\text{theor.}} = 0.45 \pm 0.15 -$$

- Нагряване на короната
- Коронални изхвърляния на маса
- Ерупция на протуберанси

$^{37}\text{Cl}$

$^8\text{B}$  Kamiokande

# Нещо повече

**Sector "SUN"**

Сектор "Слънце"

Сектор "Слънце" е създаден през 1985 от проф. д-р Владимир Дерменджиев като секция по Хелиофизика към тогавашния Департамент по Астрономия (сега **Институт по Астрономия**) при **Българска Академия на Науките**.

Секторът разполага с наблюдателна база (Слънчева кула), разположена в Националната Астрономическа Обсерватория - Рожен. В сектора работят 6 учени в тясно сътрудничество с наши и чуждестранни институции и научни звена.

**Слънчева Кула**

Разположение  
Дължина: 24° 44' 38"  
Ширина: 41° 41' 35"  
Надморска височина: 1759 m

**Оборудване**

През 1992-1993г. в НАО Рожен е построен 8-метровия купол на Слънчевата кула. Кулата е оборудвана с 15 см фотосферен телескоп. В процес на изработка е и 15 см Лио коронограф за коронални и протуберансови наблюдения. Надморската височина и условията в НАО предлагат добри възможности за наблюдения на диска и слънчевата корона.

**Наблюдения**

Слънчеви петна, активни области и мониторинг на избухванията

www.astro.bas.bg/sun

КРАЙ

Благодаря за вниманието !

