

Basic data about the Sun and the solar activity

Tsvetan B. Georgiev

New Bulgarian University, BG-1618 Sofia, Bulgaria

Institute of Astronomy, BG-1784 Sofia, Bulgaria

Abstract

The most important data and facts about the Sun and the solar activity are presented. The contemporary concepts about the solar structure and evolution, the elements of the solar activity, as well as the basic particularities of the 11 years cycle of activity are regarded. The behavior of the solar activity tends today to an epoch of solar minimum like to that in 1640 – 1710. Therefore, in the next decades very small number of solar spots, as well as and decreasing of the solar irradiation by about 1.5 % may be expected. If the global warming is neglected, cold winters and decreasing of the mean ground temperature by about 0.5 K may be expected too.

Key words: Sun – solar activity

Основни данни за Слънцето и слънчевата активност

Цветан Б. Георгиев

Нов български университет, департамент „Природни науки“

Институт по астрономия, БАН

Резюме

Представени са най-важните данни и факти за Слънцето и слънчевата активност. Обхванати са съвременните схващания за строежа и еволюцията на Слънцето, за елементите на слънчевата активност и за основните особености на 11-годишния цикъл на активност. Съвременното поведение на слънчевата петно-образователност клони към епоха на слънчев минимум, подобен на този от периода 1640 – 1710 г. Следователно, пред следващите десетилетия може да се очаква незначителен брой слънчеви петна и намаляване на общото слънчево лъчение с около 1.5 %. Ако се пренебрегне глобалното затопляне, би трябвало да се очакват студени зими и понижение на средната приземна температура с около 0.5 К.

Увод

В тази статия са описани накратко най-важните явления и процеси на Слънцето, заедно с тяхната приблизителна интерпретация. Основните данни и факти за Слънцето са много. Тук са приведени само най-важните от тях, със закръглени числени стойности. Отделено е внимание на строежа и еволюцията на Слънцето, на елементите на неговата активност и на характеристиките на 11 годишния цикъл на активност. Накрая е приведена съвременната прогноза за слънчевата активност в следващите десетилетия. Повече информация може да бъде намерена в цитираната литература и в Интернет.

Темата е твърде обширна, а в множество нейни аспекти съвременните изследвания са на предния край на хелиофизиката. Но поради желателния неголям обем на статията

въпросите около спектъра на лъчението и магнитното поле на Слънцето, както и историята на изследванията на Слънцето и слънчевата активност, не са засегнати.

1. Основни данни за Слънцето

Слънцето е гигантско плазмено кълбо и гравитационен център на Слънчевата планетна система. То е и неголяма нормална звезда от спектрален клас G2V, с температура на повърхността (фотосферата) 5800 K. **Диаметърът** на Слънцето, 1.4 млн. км, е 117 пъти по-голям от диаметъра на Земята (12.8 хил. км) и 109 пъти по-малък от разстоянието Слънце – Земя (150 млн. км). Слънчевата светлина достига Земята за 8.3 мин. **Масата** на Слънцето, 2×10^{30} кг, е 333 000 пъти по-голяма от масата на Земята (6×10^{24} кг). Слънцето е по-масивно от $\frac{3}{4}$ от звездите в Галактиката. (Броят на звездите в Млечния път, Нашата галактика, е 200-300 млрд.) Масата на всички други тела и среди в Слънчевата система е само около 1/1000 от масата на Слънцето. Средната плътност на Слънцето, 1.4 г/см³, почти 4 пъти по-ниска от земната (5.5 г/см³) и близка до юпитеровата (1.3 г/см³). **Химическият състав** на слънчевата фотосфера е 74 % водород, 25 % хелий и 1 % други химически елементи. Слънцето се върти диференциално с период при екватора 25 дн. Км високи хелиографски ширини периодът на въртене клони към 30 дн.

Светимостта на Слънцето, 3.85×10^{26} Вт, е по-голяма от светимостите на 4/5 от звездите в Галактиката. Днес се мяза, че слънчевата енергия произхожда от термоядрен синтез в централната част на Слънцето, при който всяка секунда 620 млн. т водород се превръщат в хелий. Теоретично температурата в центъра на Слънцето е 16 млн. K, плътността е 150 г/см³, а налягането е 2.5 млрд. атм.

Слънчевата константа е мощността на лъчистата енергия от Слънцето, достигаща до единица площ извън земната атмосфера. Тя се оценява на 1370 Вт/м² или на 1.99 кал/см²/мин. След 1980 г слънчевата константа се мери много точно и е установено, че поради слънчевата активност тя се мени в рамките на ± 0.05 %. Увеличение от 0.1 % е регистрирано при максимума на Слънчева активност през 2001 г. До земната повърхност достига около 1/2 от слънчевата енергия, защото 1/3 се отразява, а около 1/6 се поглъща от атмосферата. В настоящата епоха вариациите на слънчевата константа и земното алbedo (коефициента на отражение на Земята) са пренебрежими за метеорологичното време и климат. Основната причина за стабилността или променливостта на приземните време и климат е състоянието на Световния океан – огромен акумулатор на топлина.

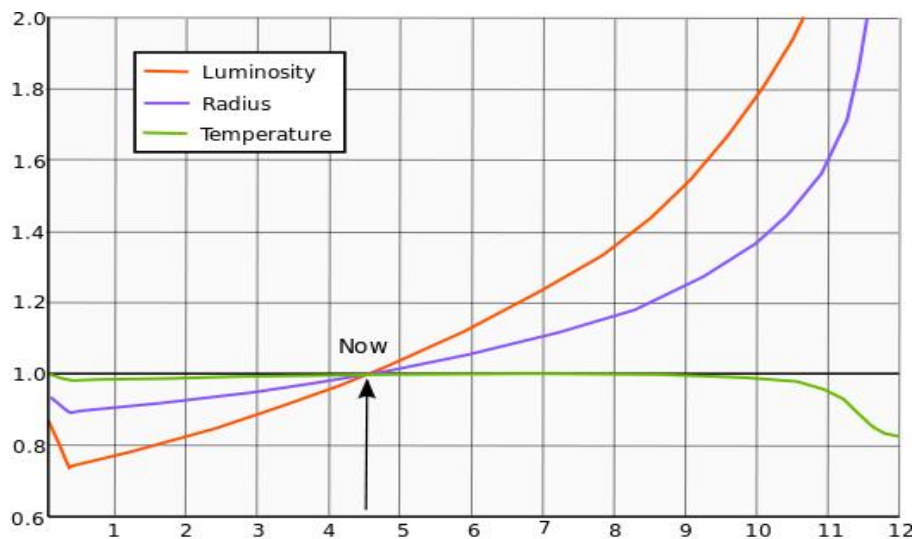
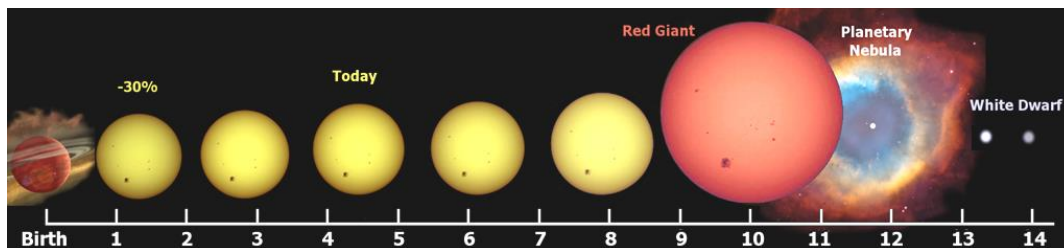
Еволюцията на Слънцето и на подобните нему нормални звезди се смята за изяснена (фиг.1, горе). Слънцето и Слънчевата система са възникнали при гравитационен колапс на междузвезден газово-прахов облак преди около 4.5 млрд. г. Смята се, че Слънцето има „гориво“ за още поне 3 млрд. г. В течение на еволюцията си като нормална звезда Слънцето е увеличавало бавно своите радиус и светимост, без да изменя съществено повърхностната си температура (фиг.1, долу). Преди 2 и преди 1 млрд. г светимостта на Слънцето е била съответно с 16 % и 10 % по-малка, а след 1 и 2 млрд. г тя следва да се увеличи съответно с 10 % и 20 %. По-нататък Слънцето следва да се раздува и увеличава светимостта си все по-бързо.

След изчерпването на водорода в централната част на Слънцето, термоядреният синтез на хелий от водород следва да продължи в тънък сферичен слой с постепенно увеличаващ се радиус. Температурата и налягането в центъра на Слънцето, доминиран от хелий, следва да се повишат значително и да създадат условия за следващи, по-високо

енергетични термоядрени реакции. Тогава тялото на Слънцето, получавайки откъм недрата си повече енергия, следва да се разширява и разрежда, като повърхността му се увеличава и изстива.

По-късно „горенето“ на водорода, а по късно евентуално и на хелия, следва да приключат и в центъра да има инертен въглерод. Тогава разредената около 10^6 пъти и охладена до 2000-3000 К фотосфера на Слънцето ще се разпротре отвъд земната орбита, поглъщайки междуременно Меркурий, Венера и Земята. Така Слънцето ще се превърне в звезда от тип червен гигант и ще започне да се разсейва в околното пространство във вид на планетарна мъглявина.

Същевременно, след изчерпване на възможните термоядрени реакции в центъра, мощното вътрешно лъчисто налягане ще секне и гравитацията ще сгъсти още повече въглерода в центъра. Атомните ядра ще се доближат максимално и плътността ще нарасне многократно. След разсейването на външните слоеве в околното пространство в течение на около 1 млрд.г, от бъдещото Слънце – звезда от тип червен гигант – ще остане само неговото ядро – звезда от тип бяло джудже. Такава звезда голяма примерно колкото Земята, но има повърхностна температура около 50 хил. К и плътност около 60 т/см^3 . Бялото джудже, останало от Слънцето, следва да излъчва в околното пространство и да се охлажда безпроблемно в течение на милиарди години, превръщайки се накрая в мъртва звезда от тип черно джудже.



Фиг.1. Съвременни представи за еволюцията на Слънцето за милиарди години.

Горе: Основни етапи – възникване, нормална звезда, червен гигант, планетарна мъглявина, бяло джудже (<https://kishukishan.wordpress.com/category/space-science/>);

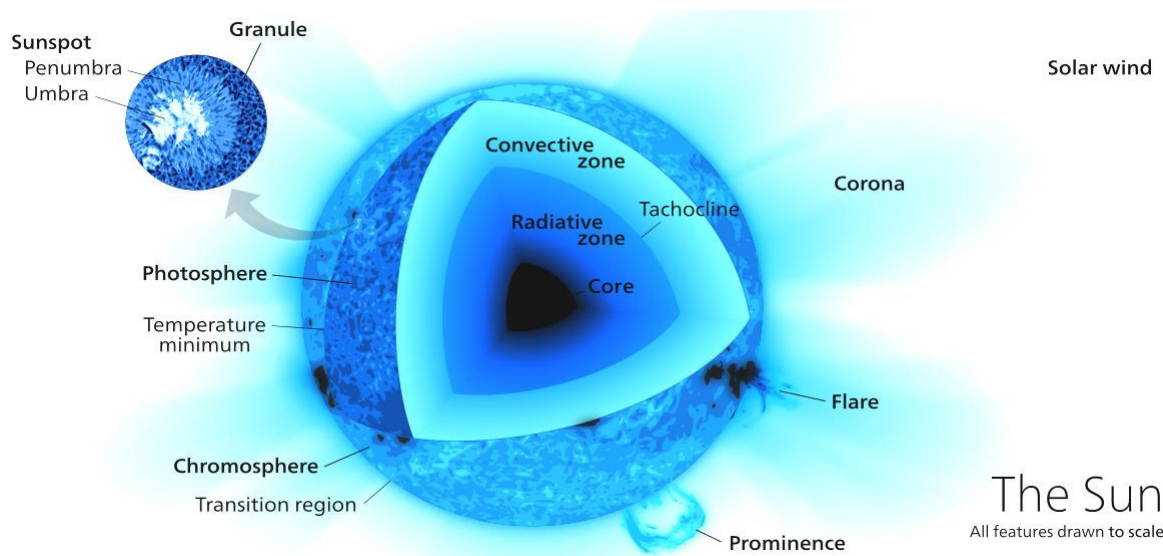
Долу: Относително изменение на светимостта, радиуса и температурата в сравнение със съвременните стойности (http://speculativeevolution.wikia.com/wiki/Future_geography).

Съвременната астрофизика съществува само около 100 години. Дали учените могат да се изкажат уверено за процеси при Слънцето и звездите, продължаващи милиарди години? Да. Дърветата в една гора живеят стотици години, но сред тях има млади, стари и мъртви. Затова не е необходимо гората да бъде изучавана векове. Достатъчно е да се разбира от дървета. Звездите са несравнимо по-прости дърветата (вж. по-долу) и се наблюдават във всички фази на еволюция. Затова съвременните представи за строежа и еволюцията на звездите се смятат за добре обосновани. (За повече информация вижте напр. [Николов и Калинков, 1988; Дерменджиев, 1997; Кюркчиева, 204].)

Обаче, има съществен проблем – регистрираният поток неутрино от слънчевите недра продължава да изглежда съществено по-нисък от о очаквания и съвременният модел за произхода на слънчевата енергия се доуточнява.

2. Строеж на Слънцето

Слънцето и звездите изглеждат най-простите тела в неживата природа, защото техните строеж и еволюция (при наблюдавания почти еднакъв химичен състав) зависят практически само от техните начални маси. Различията в химическия състав на звездите са малки и слабо влияещи на еволюцията.



Фиг.2. Строеж на Слънцето: ядро (core), радиативна зона (radiative zone), преходна линия (tachokline), конвективна зона (convective zone), фотосфера (photosphere), хромосфера (chromosphere), корона (corona) и слънчев вятър (solar wind). Показани са и елементи на слънчевата активност, наблюдаеми в оптичния диапазон: гранула (granule), петно (spot),

избухване (flare), протуберанс (prominence).

(https://en.wikipedia.org/wiki/Sun#/media/File:Sun_poster.svg).

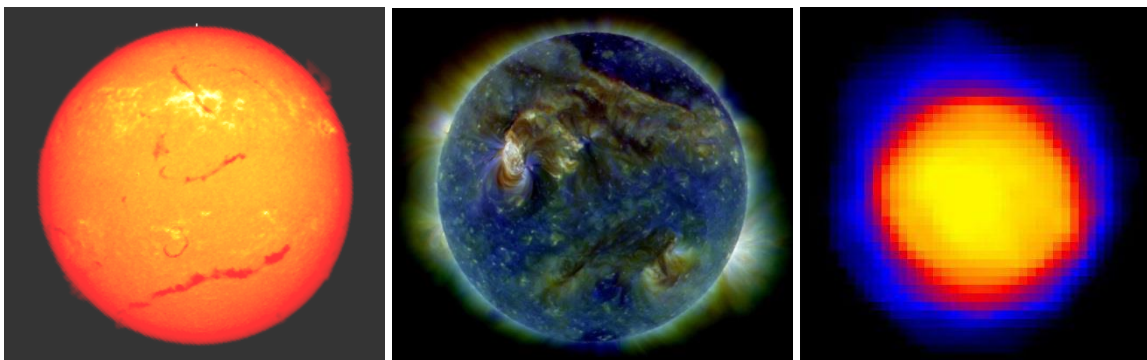
Строежът на Слънцето (фиг.2) изпъква най-ясно при проследяване на радиалния ход на температурата. В недрата на Слънцето температурният ход е предполагаем, а в слънчевата фотосфера и атмосфера – наблюдаем. В строежа на Слънцето различават **сърнчево тяло**, включващо ядро, радиативен слой, конвективен слой и фотосфера, както и **слънчева атмосфера**, включваща хромосфера, корона и слънчев вятър.

Слънчевото ядро е най-вътрешната част от Слънцето, имаща радиус около 1/4 от радиуса на Слънцето и температура 16 – 15 млн. К. Слънчевата енергия, във на лъчение, се генерира в ядрото чрез термоядрени реакции. Светлинните кванти, фотоните, породени в ядрото се произлъчват многократно и достигат до повърхността около 1 млн. г. Понататък фотоните продължават през слънчевата атмосфера практически без поглъщане. **Радиативният слой** има дебелина около 1/2 от радиуса и температура 15 – 2 млн. К. В него енергията се пренася отвътре навън чрез произлъчване. **Конвективният слой** има дебелина около 1/4 от радиуса. В него температура пада от около 2 млн. К до само около 6 хил. К. В този слой енергията се пренася отвътре навън главно чрез вертикални конвективни движения на плазмата.

Слънчевата фотосфера е ярко светещият най-външен слой или на слънчевото тяло, имащ дебелина около 500 км и с температура около 5800 К и (фиг.1 в средата; фиг.2). (Дебелината на фотосферата се отнася за оптична дълбочина единица, т.е. дълбочината, от която лъчението излиза отслабено e -пъти.) Плътноста на фотосферата, 2×10^{-4} кг/м³, е около 600 пъти по-ниска от тази на приземната атмосфера (1.2 кг/м³). Фотосферата е слой, в който възникват слънчевите избухвания.

Видът на слънчевия диск зависи от дължината на вълната на наблюдението.

Във визуални лъчи (550 ± 50 нм, фиг.1, горе, в средата) към **лимба** (края) на слънчевия диск яркостта бавно намалява, а лъчението леко почервява. Причината е, че към периферията на диска лъчът на клони към допирателна към слънчевото тяло оптичната дълбочина единица съответства на по-горни и по-хладни фотосферни пластове. Лимбът изглежда рязко очертан защото там оптичната дълбочина единица за визуални лъчи се отнася най-горния и най-хладен фотосферен слой, който е много тънък.



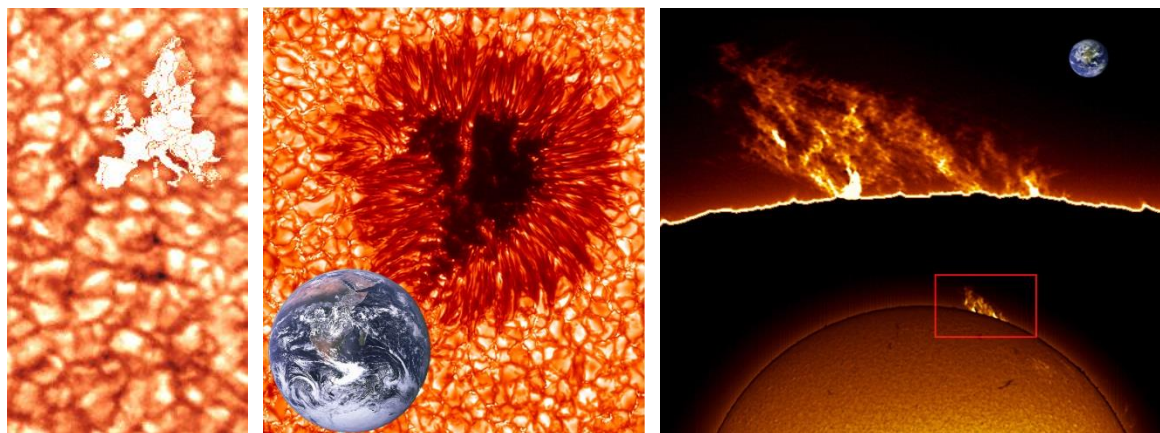
Фиг.3. Слънчевият диск. *В ляво:* В $\text{H}\alpha$ лъчи, с петна, потъмняване към лимба, протуберанси и активни области (<http://casswww.ucsd.edu/archive/public/tutorial/Sun.html>); *В средата:* В ултравиолетови лъчи, при хромосферни избухвания – горе в средата и долу вдясно, на лимба (https://en.wikipedia.org/wiki/Sun#/media/File:Sun_-_August_1,_2010.jpg); *В дясно:* В радиолъчи, със силно потъмняване към лимба и с радиоизлъчването от долната корона (<http://www.hartrao.ac.za/news/030828nassp/>).

В червена светлина, в лъчите на водородната линия $\text{H}\alpha$ (на 656.3 нм, фиг.3, в ляво), потъмняването към лимба е по-силно, а лимбът е размит, защото за червени лъчи оптичната дълбочина единица съответства на по-дебел излъчващ пласт. Край лимба се виждат в профил неголеми протуберанси. Тъмните ленти (влакна) по диска са проекции на големи протуберанси, които, бидейки по-хладни от околността си, изглеждат по-тъмни. Големите ярки петна са активни области, които изпъкват като по-горещи от околността си.

В ултравиолетови лъчи (на 100 нм, фиг.3, в средата) лимбът е обхванат от ярък обръч и дифузен пръстен, дължащи се на относително по-силното ултравиолетово лъчение от най-долната слънчевата корона. Светлите и тъмните петна съответстват на области с повишена и понижена хромосферна активност. Сложната структура в диска (горе, в ляво) и яркия проблясък на лимба (долу, в дясно) се дължат на слънчеви избухвания.

В радио-лъчи (на 2.5 см, фиг.3, в дясно) слънчевият диск има плавно намаляваща яркост към лимба и е обхванат и силно излъчващата долна корона, (фиг.2, в дясно). Изображението е с ниска разделителност, защото е синтезирано от множество точкови радио-измервания. (При радиотелескопите двумерни изображения се получават след компютърна обработка на данните.)

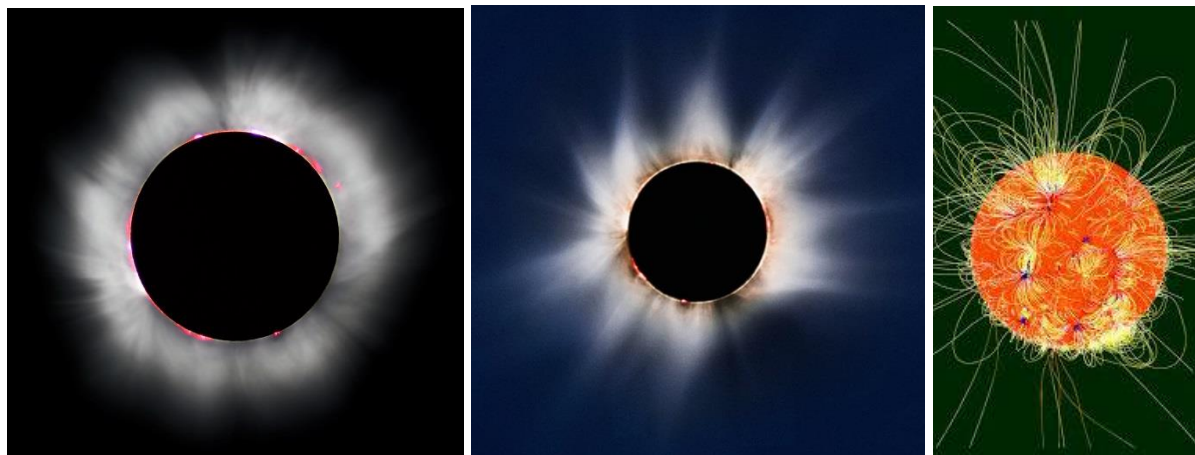
Слънчевата фотосфера има **гранулярна структура**, приличаща на кипящ мармалад (фиг.4, в ляво и в средата). *Гранулите*, с размери около 1000 км и време на съществуване около 20 мин са фотосферни клетки. В техните по-горещи и ярки центрове се издига гореща плазма, а в техните по-хладни и тъмни периферии се спуска охладена плазма. При наблюдение на лимба с висока разделителност лимбът изглежда назъбен, а над гранулите могат да се наблюдават плазмени езици, а (фиг.4, в дясно).



Фиг.4. Размери на слънчевите детайли. *В ляво*: Фотосферни гранули и Западна Европа (<https://cnes.fr/en/web/CNES-en/6985-corot-detects-oscillations-in-3-distant-stars.php>); *В средата*: Слънчево петно и Земята (<http://www.isf.astro.su.se/highlights/downflows/index.html>); *В дясно*: Малък слънчев протуберанс и Земята (<http://imgarcade.com/1/solar-prominence/>).

Слънчевата хромосфера (червена сфера) е най-долният атмосферен слой, с дебелина около 10 – 15 хил. При пълно слънчево затъмнение хромосферата се вижда като тънък червен пръстен около черния лунен диск (фиг.5, в ляво и в средата). В хромосферата, на около 2000 км над фотосферата, се достига минималната за Слънцето температура, 4500 К. До горната граница на хромосферата, която не е добре дефинирана, температурата расте плавно до около 6000 К. По-нагоре, в долната корона, температурата нараства рязко. Хромосферата е слой, в който се развиват слънчевите избухвания.

Слънчевата корона е горната част на слънчевата атмосфера (фиг.2, фиг.5). Яркостта на короната е над 10^6 пъти по-ниска от яркостта на слънчевия диск. Поради това короната се наблюдава само при пълни слънчеви затъмнения или чрез телескоп – коронограф. От хромосферата нагоре плътността на короната бързо пада, но температурата бързо расте и на височина около $\frac{1}{2}$ слънчев радиус става около 2×10^6 К. След това температурата бавно пада, но на разстояние 2 радиуса тя е все още около 10^6 К. Тази температура съответства на средната кинетична енергия на електроните. Обаче електронната концентрация там е крайно ниска, около 10^7 cm^{-3} . За сравнение, концентрацията на приземния въздух е $2.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, около 4×10^{12} пъти по-висока(!). С отдалечаване от Слънцето короната става все по-разредена и хладна, но се проследява уверено до над 20 слънчеви радиуса.



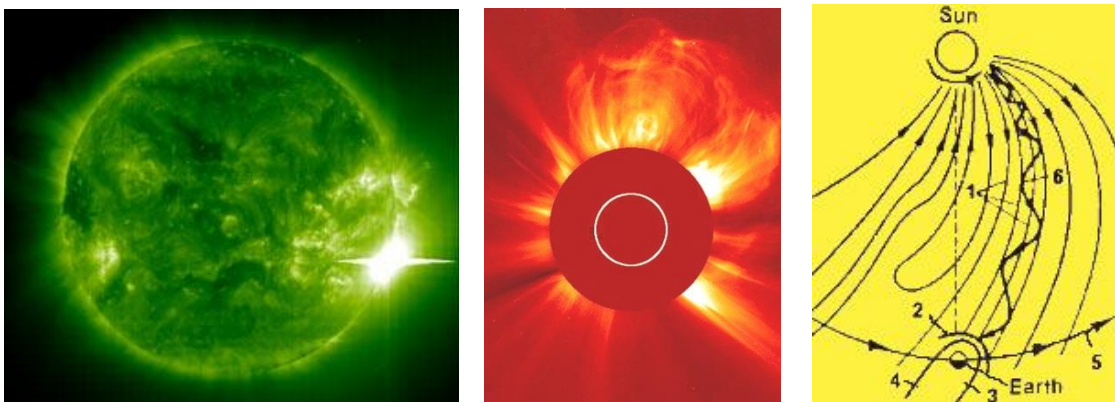
Фиг. 5. *В ляво*: Хромосфера и корона при затъмнение на активно Слънце;
В средата: При затъмнение на спокойно Слънце (<https://en.wikipedia.org/wiki/Corona>);
В дясно: Магнитни силови линии в активните области и в слънчевата корона (https://www2.mps.mpg.de/de/projekte/solar-corona3d/index_print.html)

При активно Слънце короната е голяма и приблизително правилна (фиг.5, в ляво). При спокойно Слънце короната е малка и разпокъсана, с изпъкващи лъчисти образувания, наричани *стримери* (фиг.5, в средата). (Короната в ляво изглежда относително по-малка защото е онагледена само най-ярката ѝ вътрешна част).

В слънчевата хромосфера и корона се наблюдават хаотично разположени локални магнитни полета. (фиг.5, в дясно). Ролята на магнитните полета за структурите и еволюциите на детайлите в слънчевата корона се изучава интензивно.

Причините за високата температура на короната не са доизяснени. Изглежда при радиуса на минимума на слънчевата температура, непосредствено над фотосферата, се реализира най-висока ефективност на охлаждането, което пък от своя страна подпомага подгръването на короната. Обаче, днес се смята че короната се подгръва главно от хромосферните избухвания и съпровождащите ги процеси на изхвърляне плазмена маса в слънчевата атмосфера (фиг.6, в ляво и в средата).

Слънчевият вятър е непрекъснато разширяващата се слънчева корона (фиг.2, фиг.6, в дясно). Той е радиален поток от слънчева плазма, запълващ междупланетното пространство до около 100 а.е. (1 астрономична единица (а.е.) е средният радиус на земната орбита, около 150 млн.км.). Енергията на слънчевия вятър се носи главно от протони с концентрация около 10 cm^{-3} . Температурата на слънчевия вятър, съответната кинетичната енергия на неговите частици, е 5-10 хил. К, а магнитното му поле има индукция около 10^{-5} Гс. Хелиевите ядра (α -частиците) са малко, а електроните, които са около 2000 пъти по-леки от протоните, не носят значима кинетична енергия. (За повече информация вижте напр. [Николов и Калинков, 1988; Дерменджиов, 1997; Кюркчиева, 204; Георгиев и др. 2007ab; Комитов [2008]].)



Фиг. 6. В ляво: Мощно избухване (на лимба в дясно) и активна област край избухването, в ултравиолетови лъчи (http://www.windows2universe.org/sun/atmosphere/solar_flares.html); В средата: Мощно изхвърляне на маса в короната, наблюдавано с телескоп – коронограф (http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Solar_storm_heading_toward_Earth); В дясно: Изкривяване на междупланетното магнитно поле, носено от слънчевия вятър, съответно на Архимедова спирала: 1 – магнитно-силови линии, 2 – ударна вълна, 3 – земна магнитосфера, 4 – граница на магнитосферата, 5 – орбита на Земята, 8 – траектория на заредената частица (<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Solar+Winds>).

Поради въртенето на Слънцето, с линейна скорост на екватора 2 км/с, пространствените елементи на слънчевия вятър се отдалечават от Слънцето със скорост около 400 км/с по Архимедови спирали, т.е. с равномерно увеличаване на разстоянието и постоянен ъгъл на отклонение (фиг.6, вдясно).

3. Елементи на слънчевата активност

Слънчевата активност е съвкупност от прояви на нестационарни явления в слънчевата фотосфера и атмосфера, състоящи се във възникване и изчезване на активни области, петна, протуберанси, хромосферни избухвания, коронални изхвърляния на маса и др. Промените на ултравиолетовото, рентгеновото и радио-лъчението също са прояви на слънчева активност. Процесите и явленията при слънчевата активност са свързани помежду си и се разглеждат като следствия глобални и локални промени на слънчевото магнитно поле.

Слънчевите петна са образувания във фотосферата с по-ниска температура, поради което те изглеждат по-тъмни от околността си (фиг.2, в ляво, горе; фиг.4, в средата). Те имат диаметри до десетки хиляди километри, температури около 4000 К и време на съществуване до десетки денонощия. Петната се появяват най-често на групи, в които отделните петна се появяват и изчезват, но групата може да съществува години. Петната са тясно свързани с магнитни явления в конвективния слой на Слънцето. Те имат магнитни полета с индукции около 2000 Гс, докато магнитната индукция в „спокойната“ фотосферата е 1-2 Гс. (На земната повърхност магнитната индукция е около 0.6 Гс.)

Слънчевите протуберанси са листовидни образувания над фотосферата, най-често съставени от отделни арки (примки) или нишки (фиг.2, долу, вдясно фиг. 4, вдясно). Те са около 100 пъти по-плътни от обкръжаващата ги корона и много по-хладни. Протуберансите имат температури около 5000 К в среда температура около 1млн. К. Преди да се разсеят в короната те могат да растат до стотици хиляди километри и да съществуват до стотици дни. Протуберансите се наблюдават обикновено над активните области, като светят главно в линиите на йонизирания водород. Те се поддържат в квазистационарно състояние от арковидни магнитни полета с индукция 10 – 100 Гс.

Слънчевите избухвания са хромосферни процеси, траещи от минути до часове. Те се наблюдават като локални повишения на яркостта на Слънчевия диск (фиг.3, в ляво и в средата; фиг.6, в ляво). Всъщност 90 % от лъчението на избухването е ултравиолетово и рентгеново. Избухванията са най-мощните, взривни прояви на слънчевата активност, с енергия до 10^{25} Дж за 1000 с. За сравнение, енергиите на най-мощните вулкани, земетресения, както и на едномегатонните ядрени бомби са съответно 10^5 , 10^6 и 10^8 пъти по-малки. Избухването стана обикновено в активна област, където се наблюдават голямо петно или група петна.

Слънчевите избухвания се делят на няколко класа по оптически характеристики, рентгеново излъчване, поток високо енергетични частици и т.н. Те се подчиняват на закона на фликершума, т.е. за определен интервал време зависимостта между енергията на избухването и броя избухвания с дадена енергия е линейно намаляваща в log-log координати. (Тази зависимост е подобна на известния а в сеизмологията закон на Гутенберг-Рихтер за сила и повтораемост на земетресенията.)

Освен чрез лъчение, при слънчевите избухвания енергия се отнася още чрез изхвърляне на плазма в короната (фиг.6, в средата) и на чрез потоци заредени частици в между-планетното пространство, като добавка към слънчевия вятър.

При избухване към слънчевия вятър се добавя поток с няколкократно по-висока концентрация на протони и скорост около 1000 км/с. В полето на слънчевия вятър е „замразено“ магнитно поле. Добавеният поток взаимодейства с това поле, предизвиквайки

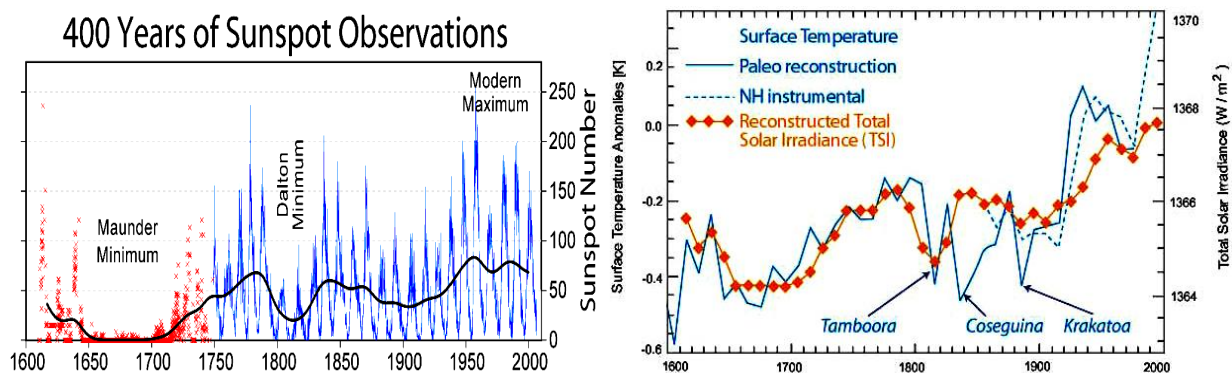
ударни вълни които деформират земната магнитосфера и предизвикват магнитни бури на Земята (фиг.6, в дясно). Поради въртенето на Слънцето линиите на междупланетното магнитно поле също имат форма на Архимедови спирали и корпускулярните потоци атакуват земната магнитосфера под ъгъл 50° на запад от направлението към Слънцето (фиг.5, вдясно). Корпускулярният поток има начална скорост и посока, но неговата траектория в пространството е променлива. Затова предсказването на геомагнитни бури, предизвикани от слънчеви корпускулярни, потоци е сложно и не винаги успешно. (За повече информация вижте [Дерменджиев, 1997; Кюркчиева, 204; Георгиев и др., 2007ab; Комитов, 2008].)

4. Цикличности на слънчевата активност

Слънчевият цикъл е периодичен процес на поява, еволюция и изчезване на активни области по слънчевата повърхност, свързани с излизането във фотосферата и хромосферата на силни магнитни полета. Такъв процес засяга цялата повърхност и атмосфера, но е по-силно изявен в отделни техни части. Традиционно за активността или фазата на процеса се съди по общата площ на слънчевите петна.

Единадесет годишният цикъл е основният и най-добре изразен цикъл на активните области, включващ и смяната на полярността на общото магнитно поле на Слънцето. Той има средна продължителност 11.2 г (фиг. 7, в ляво). Ходът (фазата) на слънчевия цикъл се характеризира чрез множество корелиращи помежду си индекси, най-използваните от които са три: число на Волф, характеризиращо площта на слънчевите петна, мощност на радио-лъчението на 10.7 см и мощност на рентгеновото излъчване на 0.2-0.8 нм. Наблюдения и зарисовки на слънчеви петна са започнати след откриването им от Галилей, през 1610 г. (фиг.7, червени символи), а системни данни има от 1749 г. (фиг.7, сини данни).

В началото на цикъла активните области и слънчевите петна се появяват на хелиографски ширини около $\pm 30^\circ$, а с течение на цикъла зоната на максимална активност се премества към екватора. Заедно с това активните области се оказват част от комплекси, които съществуват до няколко години. Намерени са векови и свръхвекови цикли. Множество данни и подробности за циклите на Слънчевата активност са изложени и коментирани от Дерменджиев [1997] и Комитов [2008].

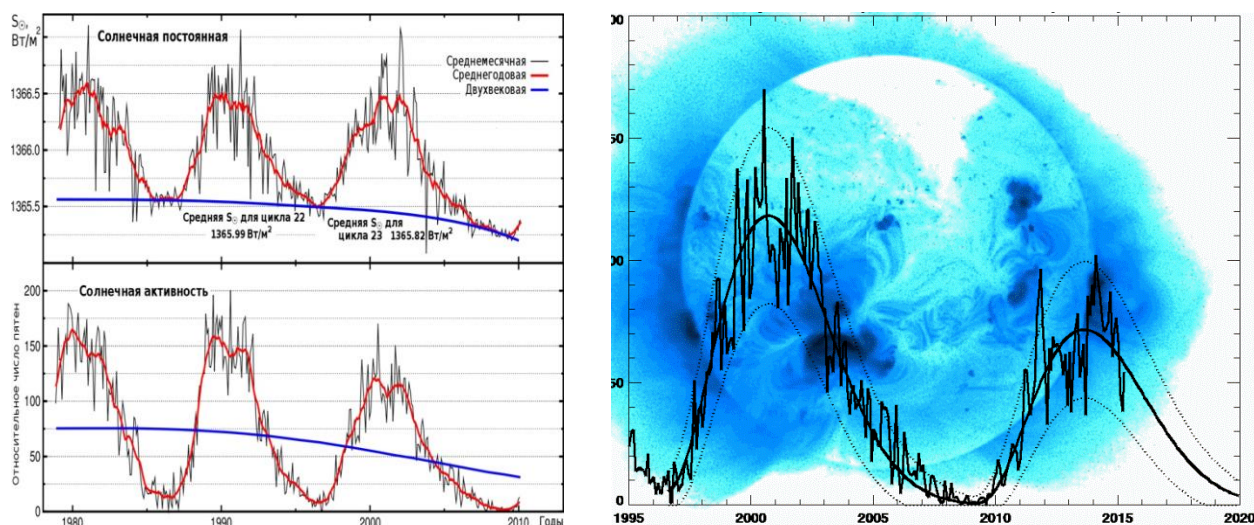


Фиг.7. Слънчевата активност и приземната температура от 1600 до 2010 г. В ляво: Ход на индекса на Волф в детайли (червени кръстчета и крива) и след изглаждане (черна крива) (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sunspot_Numbers.png) В дясно: Ход на общото

слънчево лъчение (оранжеви символи), във $\text{Вт}/\text{м}^2$, (дясна ордината) и изменението на средната приземна температура (сини отсечки), спрямо 2001 г, в градуси (лява ордината) (http://lasp.colorado.edu/images/science/solar_infl/Surface-Temp-w-paleo.jpg, <https://www.skepticalscience.com/solar-activity-sunspots-global-warming.htm>).

Поведението на Слънчевата активност през последните векове се представя чрез изгладения ход на числото на Волф (фиг.7, в ляво, черна крива). Числото на Волф се мени ежегосно неправилно и значително, заемайки стойности между 5 и 100 (фиг.7, в ляво, синя крива). В интервала 1640 – 1710 г., известен като минимум на Маундер, слънчевата петно-образователна активност е била необикновено ниска. Незначителни минимума на активността се виждат и около 1810 г, 1900 г и 1970 г. (фиг.7, в ляво, черна крива). Интересно е, че Маундеровият минимум е известен и като “малък ледников период”. Тогава в Европа са регистрирани множество рекордно студени зими и хладни лета. Тогава река Дунав се е покривала с наколкометров лед, върху който са се случвали конни сражения. (Вижте напр. [Комитов, 2008]).

Днес средните ходове на общото слънчево лъчение и приземната температура през последните векове са известни по косвени данни (фиг.7, в дясно, оранжева и синя линия). Там трите тесни и дълбоки и минимума на температурата в средата и в дясно дължат на мощните вулканични изригвания: Тамбора (1815г., Индонезия), Косегуина (1859 г., Никарагуа) и Каракатау (1883 г., Индонезия). Обаче, широкият минимум на температурата в ляво съответства точно на отслабването на слънчевото лъчение по време на минимума на Маундер. За този минимум, по косвени данни, са характерни отслабване на слънчевото лъчение с около 1.5 %, намаляване на средната приземна температура с около 0.5° и множество рекордно студени зими. Известни са и други времеви интервали в миналото, когато ниска слънчева активност е съответствала на хладен климат (вижте [Комитов, 2008]).



Фиг. 8 . Съвременен ход на 11 годишните цикли. В ляво: До 2010 г, вкл. цикъл 23. Горе – намаляване на стойността на слънчевата константа с около 0.03 %; Долу – намаляване на мощността на цикъла около 2 пъти; . В дясно: До 2015 г, след максимума на цикъл 24, чрез който наблюдава продължаващо намаляване на мощностите на слънчевите цикли, а след 2015 г се очакват съвсем малко петна. (<http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>)

Фигура 8 илюстрира съвременният ход на Слънчевата активност, индикиран чрез площта на слънчевите петна. Наблюдава се десетилетно намаляване на амплитудата и общата мощност на 11 годишния цикъл, добре видимо при циклите 21, 22, 23 и 24. Фигура 8, в дясно, показва и предполагаемия ход на площта на слънчевите петна до края на цикъл 24, до около 2020 г (вижте [Комитов, 2008]).

Съвременните високо-точни измервания показват, че в интервала 1980-200 г слънчевата константа е намалила стойността си с около 0.03 % (фиг.8, в ляво, горе). Същевременно е мощността на слънчевата, оценена по изменението на площта на петната, е намаляла около 2 пъти (фиг.8, в ляво, долу).

Заклучение

Изследванията на Слънцето през последния век се намират непрекъснато на предния край на науката. Основните проблеми са доуточняването на модела на източника на слънчевата енергия и изясняване произхода, еволюцията и ролята на слънчевото магнитно поле, глобално и локално. Заедно с това съвременните данни насочват множество изследователи към определена прогноза хода на слънчевата активност и зависещата от нея компонента на изменението на приземната температура.

В близките десетилетия, около средата на ХХІ век, може да се очаква настъпване на десетилетен минимум на слънчевата активност от маундеров тип. По аналогия, той би могъл да се прояви чрез намаляване на мощността на слънчевото лъчение с около 1.5 %, намаляване на средната приземна температура с около 0.5° и протичането на множество студени зими и хладни лета.

Тази прогноза, която не произхожда от автора на тази статия, а и лесно се вижда в множество интернет-сайтове, се отнася само за слънчевото влияние върху метеорологичното време и климат. Възможно е, обаче, глобалното затопляне да надделее.

ЛИТЕРАТУРА

- Георгиев Ц.Б.**, Дешев Б., Духлев П., Илчев Л., Комитов Б., Недялков П., Паров И., Янкова Г., 2007а, Космическият климат: 1. Фактори и въздействия върху технологичните системи. Астрономически календар на Института по астрономия при БАН, Академ. издат. „М. Дринов“, София, 2007, 104-116
- Георгиев Ц.Б.**, Дешев Б., Духлев П., Илчев Л., Комитов Б., Недялков П., Паров И., Янкова Г., 2007б, Космическият климат: 2. Предпоставки за радио-астрономичен мониторинг. Астрономически календар на Института по астрономия при БАН, Академ. издат. „М. Дринов“, София, 2007, 117-134
- Дерменджиев В., Спокойното и активно Слънце, Академ. издат. „М. Дринов“, София, 1997, 92-267
- Комитов Б., Въздействието на слънчевата активност върху климата в миналото и съвременността: Следствия за България, Алфамаркет - ООД, Стара Загора, 2008, http://www.astro.bas.bg/~komitov/bk_dwnl.htm
- Кюркчиева Д., Астрофизика, Унив. издат. „Еп. К. Преславски“, Шумен, 2004, 3-27
- Николов Н., Калинков М., Астрономия, Унив. издат. „Св. Кл. Охридски“, София, 1988, 134-146