



دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده‌ی علوم

گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد

عنوان:

مطالعه‌ی شراره‌های خورشیدی در باند رادیویی

نگارش:

نفیسه توحیدی

استاد راهنما:

دکتر حبیب‌اله عصاره

استاد مشاور:

دکتر عبدالمحمد قلمبر دزفولی

شهریور 1389

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به ...

پدر و مادر مهربان

و

برادران عزیزم

با سپاس بیکران از تمامی اساتیدی که طی این چند سال خالصانه راه تحصیل علم را برایم هموار ساختند و دانش جویی را به من آموختند و تقدیر ویژه از استاد دلسوزم، جناب آقای دکتر عصاره، که صبورانه همراه شدند و در آخر از جناب آقای دکتر قلمبر دزفولی، استاد مشاور گراتقدم که صمیمانه در کنارم بودند، نیز کمال تشکر را دارم.

فهرست مطالب

فصل اول: خورشید و فعالیت‌های آن

1	1-1 مقدمه
2	2-1 مدل استاندارد خورشید
2	1-2-1 هسته
4	2-2-1 منطقه تابش
5	3-2-1 منطقه همرفت
7	3-1 فوتوسفر
7	1-3-1 لکه‌های خورشیدی
11	4-1 کروموسفر
12	1-4-1 سیخک‌ها
13	2-4-1 پلاژها
14	5-1 تاج خورشیدی
16	1-5-1 دلایل افزایش دمای تاج
19	2-5-1 زبانه
20	3-5-1 شراره
21	4-5-1 خروج جرمی تاج
21	5-5-1 باد خورشیدی

فصل دوم: ساختار شراره

23	1-2 مقدمه
24	2-2 مراحل ایجاد شراره
25	3-2 آزاد سازی انرژی شراره
27	4-2 مدل‌های شراره

30	..... 5-2 دمای شراره
31	..... 6-2 میدان مغناطیسی شراره
31	..... 7-2 تشعشعات شراره
33	..... 1-7-2 شراره‌های SXR,HXR
35	..... 2-7-2 شراره‌های نورسفید
37	..... 3-7-2 تشعشعات رادیویی شراره‌ها
39	..... 8-2 دسته بندی شراره‌ها
40	..... 9-2 شراره‌های دونواری
42	..... 10-2 تأثیرات شراره روی زمین

فصل سوم: بررسی داده‌های رادیویی شراره

44	..... 1-3 مقدمه
47	..... 2-3 نجوم رادیویی
49	..... 3-3 مکانیزم تشعشع امواج رادیویی
49	..... 1-3-3 تابش حرارتی
51	..... 2-3-3 تابش غیرحرارتی
52	..... 4-3 خورشید رادیویی و بررسی داده‌ها
72	..... 4-4 نتیجه‌گیری
74	..... منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل 1-1: سطح قابل رویت خورشید (فوتوسفر) و دانه‌های برنجی 7
- شکل 1-2: لکه خورشیدی، ساختار سایه و نیم سایه‌ی آن و مقایسه ابعاد آن با زمین 9
- شکل 1-3: تصویر با کیفیت سیخک‌های لبه خورشید که توسط (SST) گرفته شده است 13
- شکل 1-4: پلاژها، نواحی فعال کروموسفر 14
- شکل 1-5: تصویر تاج خورشیدی در طول موج EUV که توسط TRACE گرفته شده است 15
- شکل 1-6: طرح شماتیک فرآیند بازترکیب مغناطیسی که توسط پارکر پیشنهاد شد 18
- شکل 1-7: زبانه‌ی حلقوی (چپ)، زبانه‌ی فورانی (راست) 19
- شکل 1-8: شراره خورشیدی گرفته شده توسط ماهواره Yohkoh 20
- شکل 1-9: بادهای خورشیدی و تأثیر آن روی زمین 22
- شکل 1-2: طرحی شماتیک از بازترکیب مغناطیسی در مدل پسچک 27
- شکل 2-2: طرحی شماتیک از ایجاد بازترکیب مغناطیسی در ورقه‌های جریان. (الف) طرح پیشنهادی استورک، (ب) طرح پیشنهادی هیورتز 28
- شکل 2-3: تصویر X-Ray شراره که 13 ژانویه 1992 توسط YOHKOH گرفته شده است. تصویر شراره در SXR (چپ) و تصویر شراره با کنتورهای HXR (راست) 30
- شکل 2-4: انواع تشعشعات شراره 32
- شکل 2-5: مکان HXR در فوت پوینت‌های حلقه‌های مغناطیسی نشان داده شده است. این تصویر از شراره‌ای که در 15 نوامبر 1991 رخ داده توسط YOHKOH گرفته شده است 36
- شکل 2-6: انواع تشعشعات رادیویی شراره 39
- شکل 2-7: پیشرفت شراره دو نواری 28 اکتبر 2003 که در NOAA نشان داده شده است 41
- شکل 2-8: انفجار سریع و زیبای حلقه‌های همان شراره (28 اکتبر 2003) که توسط سفینه TRACE در EUV مشاهده شده است 42
- شکل 2-9: تصویری از شفق قطبی 43
- شکل 1-3: بازه طیف الکترومغناطیسی بر حسب فرکانس و طول موج 45
- شکل 2-3: خورشید در طول موج رادیویی که توسط تلسکوپ VLA گرفته شده است 53
- شکل 3-3: تصویر گرفته شده از NORH. نشان دهنده شراره 2000/9/16 در باند رادیویی (راست) 67
- شراره 2000/11/25 در باند رادیویی (چپ) 67

فهرست نمودارها

- نمودار 1-1: نمودار پروانه‌ای لکه‌های خورشیدی (بالا)، درصدی از سطح قابل رویت خورشید که توسط لکه‌های خورشیدی پوشانده شده است، بر حسب تابعی از زمان (پایین)..... 11
- نمودار 3-1: تغییرات تعداد لکه‌های خورشیدی براساس روز از سال‌های 1994-2009..... 55
- نمودار 3-2: تغییرات شار رادیویی خورشید بر اساس روز از سال‌های 1995-2009..... 56
- نمودار 3-3: مقایسه شار رادیویی خورشید و تعداد لکه‌های خورشید برای سال‌های 1995-2009..... 58
- نمودار 3-4: تغییرات شار رادیویی خورشید نسبت به تعداد لکه‌ها برای سال‌های 1994، 1999، 2001..... 59
- نمودار 3-5: تغییرات شار رادیویی خورشید بر اساس روز برای سال‌های 1994، 1999، 2001..... 59
- نمودار 3-6: تشعشعات رادیویی شراره 2003/6/10 مشاهده شده با Phoenix-2 (بالا) و HXR مشاهده شده توسط RHESSI (پایین)..... 62
- نمودار 3-7: مقایسه تغییرات شار رادیویی شراره، تغییرات شار رادیویی خورشید و تعداد لکه‌های خورشیدی در سال 2000..... 63
- نمودار 3-8: نمودار شار رادیویی شراره 2000/9/16 (راست). نمودار شار رادیویی و X-Ray شراره 2000/11/25 (چپ)..... 67
- نمودار 3-9: مقایسه تغییرات شار رادیویی شراره، تغییرات شار رادیویی خورشید و تعداد لکه‌های خورشیدی در سال 2001..... 68
- نمودار 3-10: تغییرات شار رادیویی شراره و تعداد لکه‌ها بر اساس روز برای ماه آوریل 2001..... 71

فهرست جداول

- جدول 1-1: برخی مشخصات خورشید..... 1
- جدول 1-2: مشخصات هسته خورشید 4
- جدول 1-2: دسته بندی شراره‌ها..... 40
- جدول 1-3: فرکانس های مختلف امواج رادیویی..... 47
- جدول 2-3: مقایسه چند شراره قوی سال 2000..... 65
- جدول 3-3: مقایسه چند شراره قوی سال 2001..... 69
- جدول 3-4: داده‌های اخذ شده از NORP، NOAA برای ماه آوریل 2001..... 70

چکیده پایان نامه:

نام خانوادگی دانشجو: توحیدی	نام: نفیسه
عنوان پایان نامه: مطالعه‌ی شراره‌های خورشیدی در باند رادیویی	
استاد راهنما: دکتر حبیب‌اله عصاره	استاد مشاور: دکتر عبدالمحمد قلمبردزفولی
درجه‌ی تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک
	گرایش: نجوم
محل تحصیل: دانشگاه شهید چمران اهواز	دانشکده: علوم
تاریخ فارغ التحصیلی: شهریورماه 1389	تعداد صفحات: 75
کلید واژه‌ها: خورشید، شراره‌های خورشیدی، تشعشعات رادیویی	
Sun, Solar flares, Radio emission	
<p>در این تحقیق، پس از توضیح ساختار، مکانیزم ایجاد شراره و تشعشعات ناشی از آن، به بررسی این فوران‌های خورشیدی در باند رادیویی و ارتباط شار رادیویی ساطع شده از آن با تعداد لکه‌ها در سال‌های اوج فعالیت خورشید پرداخته شده است.</p> <p>برای بررسی این ارتباط، به مقایسه تعداد لکه‌ها، شار رادیویی خورشید و شار رادیویی شراره در سال‌های اوج فعالیت خورشید در چرخه 23، یعنی سال‌های 2000 و 2001 میلادی پرداخته و نمودارهای مربوط به این پارامترها با استفاده از داده‌های بدست آمده از NOAA و NORP برای این دو سال بطور جداگانه رسم گردیده است. با مقایسه این نمودارها، به نظر می‌رسد، شار رادیویی خورشید با تعداد لکه‌ها رابطه مستقیم دارد. البته این ارتباط با شار رادیویی ساطع شده از شراره‌ها نیز در برخی از روزها دیده می‌شود. بطوریکه در ماه آوریل سال 2001، بیشترین ارتباط شار رادیویی شراره با تعداد لکه‌ها و شار رادیویی خورشید وجود دارد. با رسم نمودار شار رادیویی شراره برای این ماه و مقایسه این نمودار با داده‌های ثبت شده، به نظر می‌رسد، اگرچه در مقیاس بزرگ، بین تعداد لکه‌ها و شار رادیویی شراره وابستگی دیده می‌شود ولی در مقیاس کوچک، مثلاً در یکم و دهم آوریل 2001 این همخوانی وجود ندارد.</p>	

فصل اول

خورشید و فعالیتهای آن

۱-۱ مقدمه

خورشید یکی از 10^{12} ستاره تشکیل دهنده کهکشان راه شیری می‌باشد که به دلیل نزدیکی آن به زمین و تاثیری که روی زندگی بشر دارد، همواره مورد توجه و مطالعه آدمی بوده است. به گونه‌ای که در عصر باستان به عنوان قدرت مطلق طبیعت مورد پرستش قرار می‌گرفته اما با گذشت زمان، دیدگاه‌ها نسبت به آن عوض شده و به تدریج با پیشرفت علوم مختلف و اختراع انواع تلسکوپ، مطالعات درباره خورشید منسجم‌تر شده است و امروزه مطالعه خورشید و ساختار آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

خورشید، کره‌ای عظیم و گازی است که منبع اصلی تمام انرژی‌های روی زمین می‌باشد. خورشید در طبقه‌بندی ستارگان نمودار H-R یک ستاره متوسط از نوع G2 است و قدر مطلق و قدر ظاهری آن به ترتیب $+4/8$ و $-26/7$ می‌باشد. فاصله خورشید تا زمین به طور متوسط 1 Au (یعنی حدود $150.000.000$ کیلومتر) است. در حالیکه فاصله نزدیکترین ستاره بعدی (آلفا قنطورس) از مرتبه 10^0 Au می‌باشد [۱]. این ستاره عمدتاً شامل گازهای هیدروژن و هلیوم است، به طوریکه درصد جرمی این عناصر در حدود 71% هیدروژن، $27/1\%$ هلیوم و حدود $1/8\%$ آن از عناصر سنگین‌تر (کربن، نیتروژن، اکسیژن) تشکیل شده است [۲]. جدول زیر برخی از مشخصات خورشید را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱: برخی مشخصات خورشید

جرم	درخشندگی	دمای سطح	دمای مرکز	عمر	شعاع
$1,9 \times 10^{30} \text{ kg}$	$3,8 \times 10^{33} \text{ kw}$	$5700-5800 \text{ K}$	$15 \times 10^6 \text{ K}$	$4,7 \times 10^9 \text{ year}$	796.000 km

در مورد خورشید و سایر ستارگان دیگر که دور از دسترس ما می‌باشند، بهترین راه مطالعه، بررسی طیف و مطالعه تعداد فوتون و نوترینوهای رسیده از آنها به سطح زمین می‌باشد. طیف تابشی خورشید شامل همه طول موج‌ها از امواج γ تا طول موج رادیویی می‌باشد. (در خورشید آرام بیشتر طول موج‌های مرئی دیده می‌شود) [۱].

۲-۱ مدل استاندارد خورشید

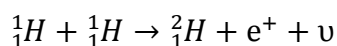
برای مطالعه و بررسی اجزای درون خورشید از مدل استاندارد استفاده می‌شود. طبق این مدل قسمت درونی خورشید به سه ناحیه تقسیم می‌شود: هسته، منطقه تابش، منطقه همرفتی [۳].

۱-۲-۱ هسته

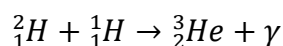
هسته، ناحیه مرکزی یا کوره خورشید، در حدود ۲۵٪ شعاع خورشید را به خود اختصاص داده است [۶]. فشار فوق العاده زیاد، دما و چگالی بسیار بالای هسته باعث می‌شود، اتم‌ها با سرعت‌های بسیار بالا و با شدت به هم برخورد کنند، طی این برخوردها اتم‌ها همه الکترون‌های خود را از دست می‌دهند و گازهای یونیده‌ای که عمدتاً شامل پروتون‌ها و الکترون‌های سریع می‌باشند تشکیل می‌شوند. این قسمت در واقع منشأ تولید انرژی خورشید می‌باشد. همان طور که می‌دانیم همه ستارگان از انقباض ابرهای گاز و غبار میان‌ستاره‌ای پدید می‌آیند. این توده‌ها بر اثر گرانش منقبض شده و بخشی از انرژی پتانسیل گرانشی به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود. اما این انرژی نمی‌تواند مبنای اصلی انرژی خورشید باشد، چون اگر تنها منبع انرژی ستاره همین گرمای حاصل از انقباض باشد، در مقیاس نجومی تابندگی چندان دوام نیاورده و ستاره در حدود ۳۰

میلیون سال بعد خاموش می‌شود، پس باید منبع انرژی دیگری وجود داشته باشد. واکنش‌های همجوشی هسته‌ای به عنوان مهمترین منبع تأمین انرژی پیشنهاد شده است [۵]. برای ایجاد همجوشی هسته‌ای به محیطی داغ و چگال نیاز است. نواحی مرکزی خورشید خیلی سریعتر از قسمت‌های بیرونی فرو می‌ریزند و یک تراکم کوچک در مرکز شکل می‌گیرد. سرانجام بخش مرکزی آنقدر داغ می‌شود که واکنش‌های همجوشی هسته‌ای از جمله $p-p$ (پروتون - پروتون) آغاز می‌گردند.

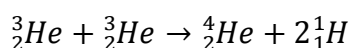
در اولین مرحله فرآیند $p-p$ دو هسته هیدروژن به هم جوش می‌خورند و هیدروژن سنگین و پوزیترون تولید می‌گردد.



البته در شرایط عادی دو پروتون یکدیگر را دفع می‌کنند. اما در شرایط دما و فشار زیاد حاکم بر هسته خورشید، نیروی اتصال هسته‌ای بر نیروی دافعه غلبه می‌کند، در نتیجه پروتون‌ها یکدیگر را جذب می‌کنند و ایزوتوپ یا عنصر جدیدی تشکیل می‌شود. دومین مرحله هنگامی روی می‌دهد که دو تریتم با هسته هیدروژن دیگری جوش می‌خورد و در این واکنش ${}^3_2\text{He}$ و پرتو گاما آزاد می‌شود.



در مرحله سوم این فرآیند، دو هلیوم سبک ${}^3_2\text{He}$ به هم جوش می‌خورند و یک هسته هلیوم معمولی ${}^4_2\text{He}$ تشکیل می‌گردد.



با در نظر گرفتن دو پروتونی که آزاد شده‌اند، مجموعاً ۴ پروتون برای تشکیل هسته به کار رفته است. اگر در این واکنش جرم ۴ پروتون با جرم هلیوم مقایسه شود، مقداری کسری جرم وجود دارد. جرم هلیوم $6,64 \times 10^{-27} \text{ kg}$ است. در حالی که جرم چهار اتم هیدروژن $6,69 \times 10^{-27} \text{ kg}$ می‌باشد. بدین ترتیب در این واکنش $0,05 \times 10^{-27} \text{ kg}$ از بین می‌رود. طبق رابطه $E = mc^2$ ، جرم شکل دیگری از انرژی است و هر جسمی به جرم m انرژی معادل E را در خود نهفته دارد. به همین ترتیب در سیکل $p-p$ ، جرم از بین رفته به انرژی تبدیل می‌شود.

$$E = mc^2 = 0,05 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2 = 4,5 \times 10^{-12} \text{ J} \quad (1-1)$$

این انرژی ناچیز است و خورشید برای تأمین انرژی خود که از مرتبه 10^{26} ژول است، نیاز به حدود 10^{38} واکنش شبیه به آن در ثانیه دارد و این معادل تبدیل ۴/۵ میلیون تن جرم به انرژی است. جدول زیر برخی مشخصات هسته خورشید را نشان می‌دهد [۶].

جدول ۱-۲: مشخصات هسته خورشید

چگالی	فشار	دما
$1,5 \times 10^9 \text{ kg/m}^3$	$2,5 \times 10^{11} \text{ atm}$	$15,6 \times 10^6 \text{ K}$

۲-۲-۱ منطقه تابش

طبق مدل استاندارد، در بالای هسته خورشید منطقه تابشی قرار دارد، ضخامت ناحیه تابشی

$0,05 R_{\odot}$ یا تقریباً 348000 km می‌باشد [۴]. دما و چگالی آن به ترتیب $7 \times 10^6 \text{ K}$ و 1500 kg/m^3

است. در مرکز خورشید، دما آنچنان بالاست ($15,6 \times 10^6 \text{ K}$) که اتم‌ها با سرعت‌های بسیار زیاد

حرکت می‌کنند، این اتم‌ها به شدت با هم برخورد می‌کنند و غالباً کل الکترون خود را از دست می‌دهند. چون الکترون‌های هر اتم فوتون را جذب و سپس گسیل می‌کنند، به این قسمت ناحیه تابشی می‌گویند.

۱-۲-۳ منطقه همرفت

در منطقه تابشی تمام فوتونها جذب می‌شوند. حال این سوال پیش می‌آید که انرژی فوتونها چه می‌شود؟ انرژی جمع شده در انتهای منطقه تابش به صورت همرفت به سطح خورشید منتقل می‌شود. گازهای داغ به بیرون صعود می‌کنند و پس از گسیل انرژی، سرد شده و به پایین بر می‌گردند. این ناحیه از لایه‌هایی از سلول‌های همرفتی که روی هم قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است. در هر سلول، انرژی به صورت چرخه‌ای از پایین به بالا منتقل می‌شود. اندازه این سلول‌ها در تمام لایه‌ها یکسان نیستند. ابعاد سلول‌هایی که در عمق پایین قرار دارند به 30000 km می‌رسد. به تدریج هر چه بالاتر می‌رویم از ابعاد این سلول کاسته می‌شود و در سطح به 1000 km می‌رسد، که به دانه‌های برنجی (گرانول‌ها)^۱ معروفند. در واقع این دانه‌ها همان سلول‌های همرفتی‌اند که به سطح خورشید رسیده‌اند. مواد داغی که به سمت بیرون می‌آیند با گسیل انواع ذرات و امواج الکترومغناطیسی سرد شده و به درون خورشید برمی‌گردند. این دانه‌ها پس از چند دقیقه ناپدید می‌شوند و در هر لحظه چندین میلیون از این دانه‌ها سطح خورشید را می‌پوشانند، این دانه‌ها را می‌توان به حباب‌های آب جوش در ظرف آب تصور کرد. قطر آنها حدود 1800 km و طول عمر متوسطشان تقریباً ۷ دقیقه است. تعدادی از این گرانول‌ها که از لحاظ ابعاد بزرگترند و قطر آنها به

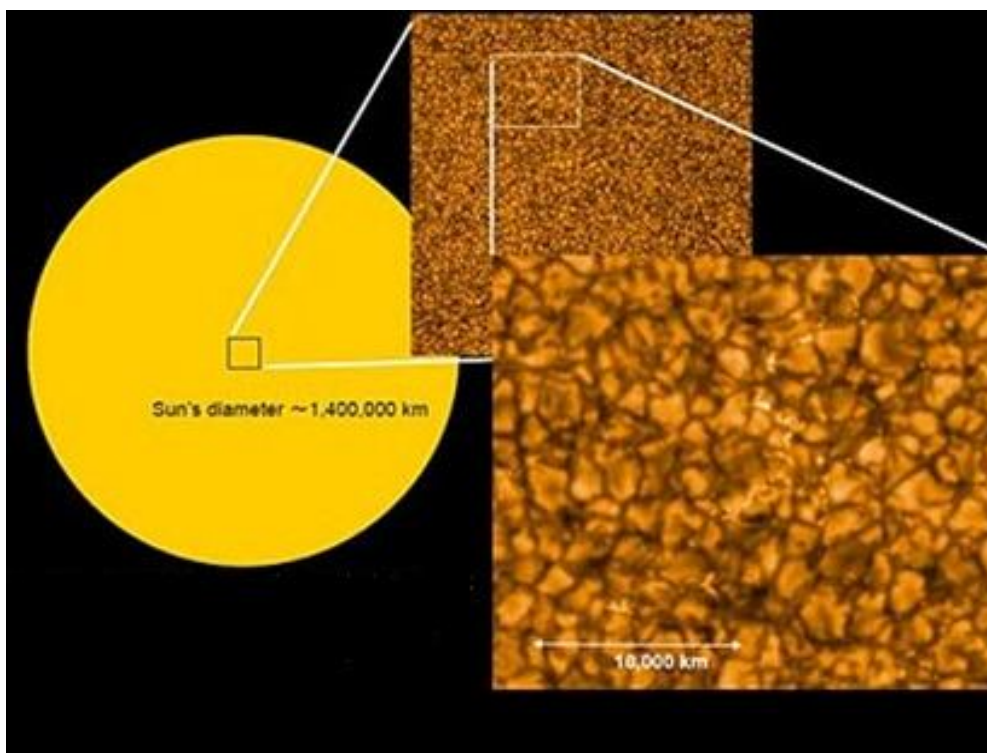
^۱ Granules

30000 km می‌رسد، سوپرگرانول‌ها^۱ نامیده می‌شوند که سرعت صعود آنها 0.1 km/s و طول

عمرشان حدود ۲۰ ساعت است [۸].

شکل (۱-۱) تصویر دانه‌های برنجی سطح خورشید است که توسط *swedish solar observatory*

گرفته شده است.



شکل ۱-۱: سطح قابل رویت خورشید (فوتوسفر) و دانه‌های برنجی

¹ *Super Granules*

جو خورشید

جو خورشید که تحولات و فعالیت‌های خورشیدی در آنجا روی می‌دهند، شامل لایه‌های بالای منطقه همرفتی خورشید می‌باشد. این لایه‌ها عبارتند از: فوتوسفر^۱، کروموسفر^۲ و تاج خورشیدی^۳.

۳-۱ فوتوسفر

اولین لایه بعد از منطقه همرفتی می‌باشد. این لایه که حدود 100 km و دمای آن در حدود 6000 K است، از زمین به صورت سطح مرئی خورشید دیده می‌شود [۴]. وقتی در نور سفید عکس می‌گیریم، سطح آن سیمای خالدار را نشان می‌دهد که آن را سطح دانه‌دانه‌ای فوتوسفر یا همان گرانول می‌گویند که ناشی از فعالیت‌های ناحیه همرفتی می‌باشد. در این لایه، علاوه بر گرانول‌ها، فعالیت دیگری نیز رخ می‌دهد که به لکه خورشیدی^۴ معروف است.

۱-۳-۱ لکه‌های خورشیدی

لکه‌های خورشید شامل گازهایی هستند که از محیط اطرافشان سردترند. معمولاً هر لکه خورشید از یک بخش مرکزی تاریک که سایه^۵ نام دارد تشکیل شده و اطراف آن را بخش روشن‌تری به نام نیم‌سایه^۶ احاطه کرده است. علت سیاهی لکه‌های خورشید، پایین‌تر بودن دمای

¹ Photosphere

² Chromosphere

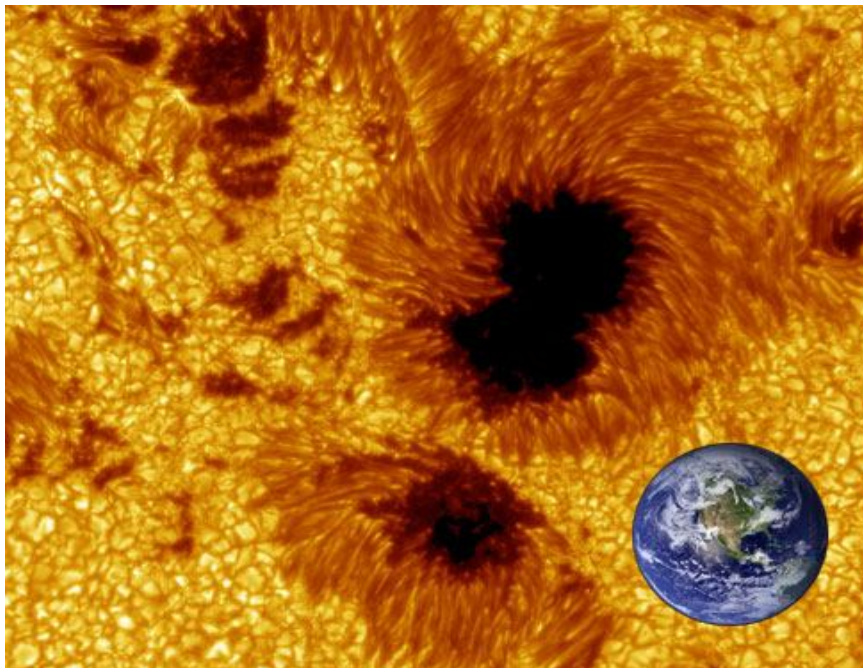
³ Corona

⁴ sunspot

⁵ umbra

⁶ penumbra

آن در مقایسه با دمای فوتوسفر است. دمای قسمت سایه لکه حدود 4000 K و دمای نیم‌سایه K 5600 می‌باشد [۱]، در حالیکه دمای فوتوسفر حدود 6000 K است. ابعاد لکه‌ها متفاوت است، قطر برخی آنها حدود چند صد کیلومتر است و بدون نیم‌سایه‌اند که روزنه^۱ نامیده می‌شوند. گاهی ابعاد لکه‌های بزرگ به 150000 km می‌رسد. لکه‌های بزرگتر هنگام ماکزیمم فعالیت خورشید دیده می‌شوند. در شکل (۱-۲) نمایی از لکه خورشیدی و مقایسه آن با ابعاد زمین نشان داده شده



شکل ۱-۲: لکه خورشیدی، ساختار سایه و نیم‌سایه‌ی آن و مقایسه ابعاد آن با زمین

است. رخ دادن لکه‌ها باعث کاهش 0.1% درخشندگی خورشید در زمان اوج لکه می‌شود [۱]. طول عمر لکه‌ها متغیر است. اکثراً طول عمری کمتر از یک روز دارند ولی لکه‌های بزرگتر می‌توانند تا هفته‌ها و ماه‌ها دوام داشته باشند.

^۱ pore