



دانشکده فیزیک

گروه نظری و اختر فیزیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک

گرایش اختر فیزیک

عنوان:

آیا اسپیکولهای حفره تاجی می توانند به دمای تاج برسند؟

استاد راهنما

دکتر حسین عبادی

استاد مشاور

دکتر زهرا فاضل مراغه

پژوهشگر

فاطمه رحمانی

شهریور ۹۳

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونان شد و به بهمنشینی رهروان علم و دانش
مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیام ساخت. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری
و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت یاریاید. لذا اکنون که در سایه بنده نوازی هایش پایان نامه
حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگیشان نبود، هرگز این
پایان نامه به انجام نمی رسید.

اساتید گرانقدری چون

جناب دکتر عبادی که مراد انجام این تحقیق صبورانه و مشفقانه راهنمایی کرده و از محضر علمیشان مستفیض گردانیده اند

خانم دکتر فاضل که زحمت مشاوره این پایان نامه را متحمل شدند

جناب دکتر عجب شیر زاده که علاقه من به اخترفیزیک در کلاسهای ایشان شکل گرفت،

جناب دکتر حور که در کلاسهای ایشان می توان دشواری فیزیک با تعمق در عالم هستی به جان پذیرفت و تشنه آموختن شد و

در برابر عظمت خالق خاشع گشت.

و سایر اساتید و معلمان که نکته ای به من آموخته اند.

از سرکار خانم مهندس خوشترنگباف نهایت تشکر را دارم چرا که بدون لگها و راهبسیهای ایشان تا این پایان نامه بسیار مشکل بود.

از همسر و خانواده اش که اگر حمایت و لگهای آنها نبود امکان ادامه تحصیل برایم همیانی شد، بسیار سپاسگزارم.

الهی ای مهربانتر از ما، از تومی خواهیم همه کسانی را که حتی ذره ای در انجام این امر ماریاری نموده اند، در سایه لطف و محبت بی

کرانت، سلامت، شادکام و موفق بداری.

تقدیم به

مادرم که آرامشم را به آسایشش ترجیح داد،

پدرم که خیلی زود از میان ما رفت،

همسرم که بدون او طی این مسیر رویایی میش نبود،

و به پسر کلم علیسا

نام خانوادگی: رحمانی حاجی آقا	نام: فاطمه
عنوان پایان نامه: آیا اسپیکولهای حفره تاجی می توانند به دمای تاج برسند؟	
استاد راهنما: دکتر حسین عبادی	
استاد مشاور: دکتر زهرا فاضل مراغه	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	
رشته: فیزیک	
گرایش: اخترفیزیک	
دانشگاه: تبریز	
دانشکده: فیزیک	
تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ۱۳۹۳ تعداد صفحه: ۹۹	
کلید واژه: طیف سنجی، اسپیکولهای خورشیدی، گرمایش تاج	
<p>چکیده: اسپیکولها ساختارهای ریزی هستند که از نورسپهر تا تاج خورشید ادامه دارند. رصدهای انجام شده تا به حال نشانگر این هستند که محور آنها نوسانات عرضی دارد که می تواند ناشی از انتشار امواج مگنتوآکوستیکی در آنها باشد. در مطالعه حاضر با استفاده از داده های طیف سنج Hinode/EIS و SoHO/SUMER این نوسانات آشکارسازی شدند. پهنای خطوط در ارتفاعات مختلف از اسپیکولها، نسبت به خط مرجع محاسبه گردیده، تغییرات پهنای خط با زمان بررسی شد. با استفاده از آنالیز موجک دوره های تناوبی محتمل استخراج شدند. این دوره ها برای مد پایه ۹۰ تا ۲۵۰ ثانیه و برای هارمونیک اول ۳۲ تا ۱۲۰ ثانیه محاسبه گردید و نسبت دوره مد پایه به هارمونیک اول از ۱/۶۹ تا ۳ بدست آمد که با رصدهای قبلی سیخکها در توافق کامل است. این نوسانات گویای آن هستند که سیخکها می توانند انرژی را از نورسپهر گرفته و به تاج منتقل کنند و باعث گرمایش آن شوند.</p>	

۱.....	افصل اول.....	
۱.....	مقدمه.....	۱-۱
۱.....	خورشید.....	۲-۱
۲.....	لایه های داخلی خورشید.....	۱-۲-۱
۳.....	لایه های خارجی خورشید.....	۲-۲-۱
۴.....	تاج.....	۳-۱
۵.....	تاریخچه.....	۱-۳-۱
۵.....	ساختار تاج.....	۲-۳-۱
۶.....	گرمایش تاج.....	۳-۳-۱
۸.....	سیخک.....	۴-۱
۹.....	معرفی سیخک.....	۱-۴-۱
۱۰.....	دینامیک سیخکها.....	۲-۴-۱
۱۱.....	ویژگیهای ظاهری سیخکها.....	۳-۴-۱
۱۱.....	قطر سیخکها.....	۱-۳-۴-۱
۱۲.....	طول سیخکها.....	۲-۳-۴-۱
۱۲.....	دما و چگالی.....	۳-۳-۴-۱
۱۴.....	طول عمر و حرکت.....	۴-۳-۴-۱
۱۵.....	سیخکها و میدان مغناطیسی.....	۴-۴-۱
۱۶.....	ساختارهای سیخک مانند.....	۵-۴-۱
۱۷.....	نحوه شکل گیری سیخکها.....	۵-۱
۱۸.....	گرانولها بعنوان منبع انرژی سیخکها.....	۶-۱
۲۰.....	شبیه سازی سیخکها.....	۷-۱
۲۱.....	مدلهای شبیه سازی استرلینگ.....	۱-۷-۱
۲۲.....	مدل پالس قوی در اتمسفر پائین.....	۱-۱-۷-۱
۲۳.....	مدل پالس ضعیف در اتمسفر پائین.....	۲-۱-۷-۱
۲۵.....	مدل پالس فشار در رنگین سپهر بالا.....	۳-۱-۷-۱
۲۶.....	مدل موج آلفونی.....	۴-۱-۷-۱
۲۸.....	امواج آلفون.....	۸-۱

II

۲۹	مدل دیگری برای سیخکها	۹-۱
۳۲	نوسانات در سیخکها	۱۰-۱
۳۳	تاریخچه بررسی نوسانات سیخکها	۱-۱۰-۱
۳۷	تفسیر نوسانات مشاهده شده	۲-۱۰-۱
۴۲	فصل دوم	۲
۴۳	مقدمه	۱-۲
۴۳	هینوده	۲-۲
۴۳	همکاران هینوده	۱-۲-۲
۴۴	اهمیت کار هینوده	۲-۲-۲
۴۵	تاریخچه	۳-۲-۲
۴۷	مشخصات کلی	۴-۲-۲
۴۸	مشخصات مدار	۵-۲-۲
۴۹	اهداف علمی هینوده	۶-۲-۲
۵۰	آرشیوهای هینوده	۷-۲-۲
۵۱	ابزارهای هینوده	۸-۲-۲
۵۲	تلسکوپ نوری خورشیدی (SOT)	۳-۲
۵۳	تلسکوپ اشعه ایکس (XRT)	۴-۲
۵۵	طیف سنج تصویری ماوراء بنفش دور (EIS)	۵-۲
۵۵	اجزای EIS	۱-۵-۲
۵۸	کار اجزای EIS	۲-۵-۲
۶۰	دقت EIS	۳-۵-۲
۶۱	همکاران EIS	۴-۵-۲
۶۱	اهداف EIS	۵-۵-۲
۶۳	خطوط نشری EUV در مطالعات EIS	۶-۵-۲
۶۴	نحوه دسترسی به اطلاعات EIS	۷-۵-۲
۶۵	طیف سنج سومر	۶-۲
۶۶	نرم افزار SSW	۷-۲
۶۶	آنالیز موجک	۸-۲
۶۸	انواع موجک مادر	۱-۸-۲
۶۹	مزیت تبدیل موجک به تبدیل فوریه	۲-۸-۲

۶۹.....	کاربرد تبدیل موجک	۳-۱-۲
۷۱.....	فصل سوم	۳
۷۲.....	مقدمه	۱-۳
۷۳.....	پیوند نسبی P_1/P_2	۲-۳
۷۴.....	کار با داده های EIS و پردازش داده ها	۳-۳
۷۸.....	کار با داده های سومر	۴-۳
۸۰.....	پردازش داده های سومر	۱-۴-۳
۸۱.....	تعیین لبه خورشید	۲-۴-۳
۸۷.....	رسم نمودارها با استفاده از آنالیز موجک	۳-۴-۳
۹۲.....	تحلیل نمودارهای آنالیز موجک	۴-۴-۳
۹۳.....	بحث و نتیجه گیری	۵-۳
۹۵.....	منابع	۴

فهرست شکلها

۳.....	شکل ۱-۱: لایه های خورشید [AVASTARCO]
۴.....	شکل ۲-۱: تصویر تاج در کسوف [NASA]
۶.....	شکل ۳-۱: نمودار تغییرات دمای لایه های خارجی خورشید [SOLAR.PHYSICS]
۹.....	شکل ۴-۱: تصویر سیخکها [ESA, NASA]
۱۲.....	شکل ۵-۱: تصویری از سیخکها در خط HA و CA II H [Hinode]
۱۸.....	شکل ۶-۱: گرانولها. قسمتهای تیره مرزهای گرانولی با میدانهای قوی و محل تشکیل سیخکها هستند [SOT]
۱۹.....	شکل ۷-۱: تصویر شماتیکی از تحریک موج در سیخکها توسط گرانولها [۷،۲۲]
۲۳.....	شکل ۸-۱: نمودار اجمالی مدل اسپیکول تولید شده بوسیله پالس فشار در کروموسفر پائین [۸]
۲۴.....	شکل ۹-۱: نمودار اجمالی مدل شوک جهشی برای اسپیکول [۸]
۲۶.....	شکل ۱۰-۱: نمودار اجمالی مدل اسپیکول تولید شده بوسیله یک پالس فشار در کروموسفر میانی [۸]
۲۹.....	شکل ۱۱-۱: امواج آلفونی منتشر شده در راستای خطوط میدان
۳۱.....	شکل ۱۲-۱: شبیه سازی تشکیل سیخک در یک میدان مغناطیسی قائم [۲۰]
۳۱.....	شکل ۱۳-۱: شبیه سازی تشکیل سیخک در یک میدان مغناطیسی مایل [۲۰]
۳۶.....	شکل ۱-۱۴: توان فوریه بیان شده بعنوان تابعی از فرکانس و ارتفاع برای دو اسپیکول مختلف،

- شکل ۱-۱۵: حرکت ماریچی تیوپ شار مغناطیسی در اثر برهم نهی پالسهای مختلف در آن [۷،۲۱]..... ۳۹
- شکل ۱-۱۶: نشت P مدها به لایه گذار و تشکیل اسپیکول در اثر لرزشهای این لایه [۲۵]..... ۳۹
- شکل ۲-۱: نحوه ارسال داده هینوده به کاربران [ESA]..... ۴۶
- شکل ۲-۲: مراحل ارسال داده هینوده به کاربران [ESA]..... ۴۶
- شکل ۲-۳: هینوده در حد فاصل شب و روز زمین به دور آن می چرخد [JAXA]..... ۴۸
- شکل ۲-۴: هینوده و ابزارهای سوار بر آن [NASA]..... ۵۱
- شکل ۲-۵: تصویری از SOT [NASA]..... ۵۳
- شکل ۲-۶: تصویری از XRT [NASA]..... ۵۴
- شکل ۲-۷: تصویری از EIS [NASA]..... ۵۵
- شکل ۲-۸: نحوه قرارگیری اجزای EIS [NAOJ]..... ۵۶
- شکل ۲-۹: تصویر EIS و اجزای آن [JAXA]..... ۵۶
- شکل ۲-۱۰: مثالهایی از بررسی محل تصویر "۲۴۰×۲۴۰" با شکافهای مختلف [JAXA]..... ۵۹
- شکل ۲-۱۱: تغییر میدان دید با حرکت آینه [۳۶]..... ۶۰
- شکل ۲-۱۲: تلسکوپ فضایی سوهو و ابزارهای سوار بر آن [NASA]..... ۶۵
- شکل ۲-۱۳: ساختمان طیف سنج سومر [NASA]..... ۶۵
- شکل ۲-۱۴: انتقال یک موجک..... ۶۷
- شکل ۲-۱۵: اثر فاکتور مقیاس روی یک موجک [۵]..... ۶۸
- شکل ۲-۱۶: انواع موج مادر..... ۶۸
- شکل ۳-۱: تغییرات شبه پریودیک در موقعیت مرکز خط ناشی از جریان گرمایی..... ۷۴
- شکل ۳-۲: تصحیح طول موجی داده خام..... ۷۵
- شکل ۳-۳: تصحیح طول موجی داده کالیبره شده..... ۷۵
- شکل ۳-۴: نتایج برازش پروفایل خط [۳۶]..... ۷۶
- شکل ۳-۵: هیستوگرامهای مربوط به خط 195 \AA FE XII [۳۶]..... ۷۶
- شکل ۳-۶: نمودارهای شدت بر حسب طول موج برای خط 195.12 \AA FE XII در موقعیتهای فضایی مختلف..... ۷۷
- شکل ۳-۷: نمودار حاصل از انتگرالگیری شدت در راستای X و Y خورشید..... ۷۷
- شکل ۳-۸: تصویر اسپیکول و ناحیه مورد مطالعه [SOHO/EIT]..... ۷۹
- شکل ۳-۹: نمودار شدت بر حسب پیکسل طول موجی برای خط SI IV با طول موج $1122/49 \text{ \AA}$ ۸۰

- شکل ۳-۱۰: نمودار شدت برحسب طول موج برای خط SI IV با طول موج $1122/49 \text{ \AA}$ ۸۱
- شکل ۳-۱۱: نمودار شدت برحسب پیکسل فضایی برای خط SI IV با طول موج $1122/49 \text{ \AA}$ ۸۲
- شکل ۳-۱۲: منحنی شدت برحسب پیکسل طول موجی برای پیکسل های فضایی ۷۹ تا ۹۸ ۸۳
- شکل ۳-۱۳: نمودار شدت برحسب پیکسل طول موجی برای خط O VI با طول موج $1031/91 \text{ \AA}$ ۸۳
- شکل ۳-۱۴: نمودار شدت برحسب طول موج برای خط O VI با طول موج $1031/91 \text{ \AA}$ ۸۳
- شکل ۳-۱۵: نمودار شدت برحسب پیکسل طول موجی برای خط O VI با طول موج $1037/61 \text{ \AA}$ ۸۴
- شکل ۳-۱۶: نمودار شدت برحسب طول موج برای خط O VI با طول موج $1037/61 \text{ \AA}$ ۸۴
- شکل ۳-۱۷: نمودار شدت برحسب پیکسل فضایی برای خط O VI با طول موج $1031/91 \text{ \AA}$ ۸۵
- شکل ۳-۱۸: نمودار شدت برحسب پیکسل فضایی برای خط O VI با طول موج $1037/61 \text{ \AA}$ ۸۵
- شکل ۳-۱۹: آنالیز موجک مربوط به پیکسل ۷۵ خط SI IV با طول موج $1122/52 \text{ \AA}$ ۸۸
- شکل ۳-۲۰: آنالیز موجک مربوط به پیکسل ۹۳ خط SI IV با طول موج $1122/52 \text{ \AA}$ ۸۸
- شکل ۳-۲۱: آنالیز موجک مربوط به پیکسل ۱۱۶ خط SI IV با طول موج $1122/52 \text{ \AA}$ ۸۹
- شکل ۳-۲۲: آنالیز موجک مربوط به پیکسل ۹۰ خط O VI با طول موج $1037/61 \text{ \AA}$ ۸۹
- شکل ۳-۲۳: آنالیز موجک مربوط به پیکسل ۹۶ خط O VI با طول موج $1037/61 \text{ \AA}$ ۹۰
- شکل ۳-۲۴: آنالیز موجک مربوط به پیکسل ۱۱۴ خط O VI با طول موج $1037/61 \text{ \AA}$ ۹۰
- شکل ۳-۲۵: آنالیز موجک مربوط به پیکسل ۹۰ خط O VI با طول موج $1031/93 \text{ \AA}$ ۹۱
- شکل ۱-۲۶: آنالیز موجک مربوط به پیکسل ۹۶ خط O VI با طول موج $1031/93 \text{ \AA}$ ۹۱
- شکل ۳-۲۷: آنالیز موجک مربوط به پیکسل ۱۱۲ خط O VI با طول موج $1031/93 \text{ \AA}$ ۹۲

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: برخی مشخصات سیخکها گردآوری شده توسط زاگارا شویلی [۷] ۱۳
- جدول ۲-۱: خلاصه نتایج بررسیهای نوسانات و امواج در سیخکها [۷] ۳۴
- جدول ۱-۲: مشخصات هینوده [۵۵] ۴۷
- جدول ۲-۲: ویژگیهای اجزای EIS [۵۴] ۵۷
- جدول ۳-۲: خطوط نشری EUV در EIS [۴۶،۴۵] ۶۳

افصل اول

بررسی منابع

۱-۱ مقدمه

در این فصل با یادآوری مختصری درباره خورشید و لایه های داخلی و خارجی آن، به مسئله گرمایش تاج و عوامل دخیل در آن، مخصوصاً نقش سیخکها در این زمینه، از دیدگاه اخترفیزیکدانان مختلف، می پردازیم.

۲-۱ خورشید

خورشید یکی از میلیاردها ستاره کهکشان راه شیری، نزدیکترین ستاره به زمین و سرچشمه اصلی نور، گرما و زندگی بر روی زمین است. این ستاره قطری نزدیک به 1392000 کیلومتر دارد که نزدیک به 109 برابر قطر زمین است و جرم آن 330 هزار برابر جرم زمین (برابر با $10^{30} \times 2$ کیلوگرم) می باشد. به این ترتیب $99/86\%$ جرم کل منظومه خورشیدی از آن خورشید است.

خورشید در رده بندی طیفی ستارگان در رده G2 قرار دارد، یعنی دمای سطح خورشید نزدیک به 5778 کلوین (5505 درجه سانتیگراد) است. خورشید مانند بیشتر ستارگان، یک ستاره رشته اصلی است، در نتیجه انرژی خود را از راه همجوشی هسته ای هیدروژن - هلیوم فراهم می کند و در هر ثانیه، در هسته خود، 620 میلیون تن هیدروژن را می سوزاند.

بزرگی قدر مطلق خورشید $4/83+$ و قدر ظاهری آن $26/74-$ است. فاصله متوسط خورشید از زمین نزدیک به $149/6$ میلیون کیلومتر (یک واحد نجومی) است. البته این فاصله در هنگامه های گوناگون حرکت زمین به دور خورشید (در نقطه های اوج و حضیض) در ماه های ژانویه تا ژوئیه فرق می کند. در این فاصله میانگین، برای نور 8 دقیقه و 19 ثانیه زمان برده می شود تا از خورشید تا زمین سفر کند [۴،۳].

۱-۲-۱ لایه های داخلی خورشید

داخل خورشید از سه لایه هسته، ناحیه تابشی و ناحیه همرفتی تشکیل شده است.

هسته^۱: از مرکز تا ۲۵ درصد شعاع خورشید را بعنوان هسته و محل تولید انرژی در نظر می گیریم. شعاع این منطقه تقریباً ۲۰۰۰۰۰ کیلومتر، چگالی حدود ۱۵۰ گرم بر سانتیمتر مکعب (۱۵۰ برابر چگالی آب) و دما حدود ۱۵ میلیون کلوین است. شرایط و مواد مناسب در هسته باعث وقوع همجوشی هیدروژن هلیوم و تولید انرژی بسیار زیاد می شود.

ناحیه تابشی^۲: از ۲۵ تا ۷۰ درصد شعاع خورشید (حدود ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر)، ناحیه تابشی است که در آن انرژی تولید شده در هسته از طریق فرآیند تابش به لایه های بالاتر منتقل می شود. مواد در این لایه بسیار گرم و چگالند و انتقال انرژی از طریق تابش و جذب فوتون توسط یونهای هیدروژن و هلیوم رخ می دهد.

ناحیه همرفتی^۳: از ۷۰ درصد شعاع خورشید تا سطح آن، کاهش دما و چگالی باعث باز ترکیب الکترونها با یونها می شود و محیط کدر می گردد، لذا روش تابشی متوقف شده و مواد خود با حرکت همرفتی اقدام به انتقال انرژی می کنند. اثر این انتقال به صورت دانه های روشن (گرانولها^۴) در سطح خورشید دیده می شود. دما در خارجی ترین قسمت این لایه تا ۵۷۷۸ کلوین افت می کند [۴].

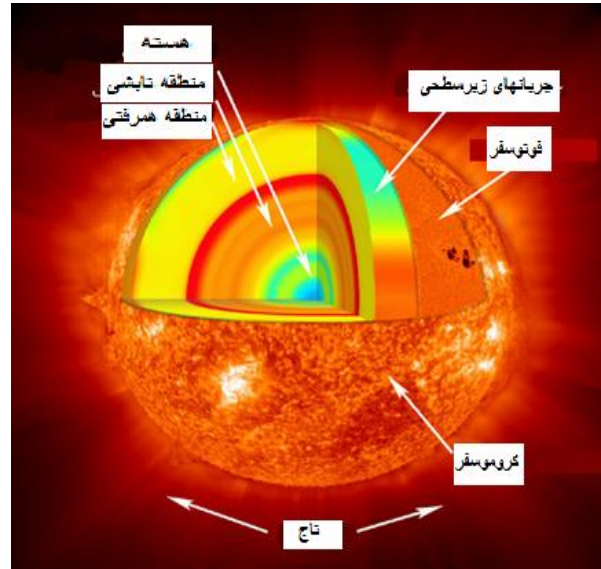
این لایه ها به همراه لایه های خارجی در شکل ۱-۱ مشخص شده اند.

¹ Core

² Radiation zone

³ Convection zone

⁴ Granule



شکل ۱-۲: لایه های خورشید [avastarco]

۲-۲-۱ لایه های خارجی خورشید

لایه های خارجی اتمسفر خورشید عبارتند از:

نور سپهر یا فوتوسفر^۱: سطح مرئی خورشید، لایه ای از سطح است که در زیر آن پلاسمای

خورشید برای عبور فوتونهای نور مرئی کدر می شود. این لایه که حدود ۵۰۰ کیلومتر قطر دارد، نور سپهر

نامیده می شود. کاهش دما و چگالی مواد خورشیدی در این ناحیه هم ادامه می یابد، طوریکه دما در قسمتهای

انتهایی این لایه به کمترین مقدار خود (۴۲۰۰ کلوین) می رسد.

رنگین سپهر یا کروموسفر^۲: دومین لایه از اتمسفر خورشید، رنگین سپهر، با قطر حدود ۱۵۰۰

کیلومتر می باشد. این لایه با دمای ۱۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ کلوین تنها در گرهتهای کلی خورشید دیده می شود.

برخی از ساختارهای رایج در جو خورشید مثل زبانه ها^۳، سیخکها^۴ و شراره ها^۵ بیشتر در این لایه اتفاق می

افتند.

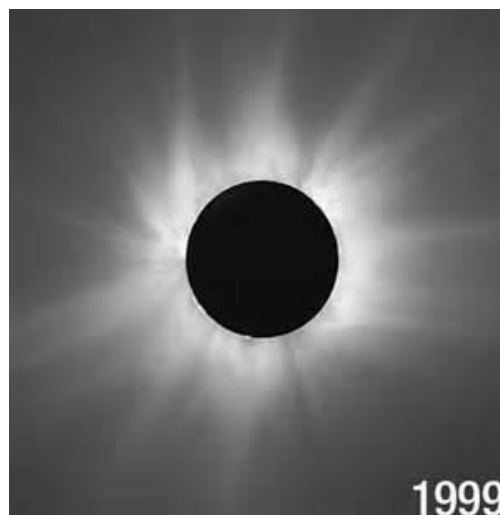
¹ Photosphere
² Chromosphere
³ prominence
⁴ spicule
⁵ flare

ناحیه گذار^۱: ناحیه گذار لایه نازکی است که در آن گرادیان دما بیشترین مقدار را داراست. طوریکه در این لایه، دما از ۲۰۰۰۰ کلوین در بالای رنگین سپهر به حدود یک میلیون در پائین تاج افزایش می یابد. بسیاری از حوادث ریزمقیاس در این لایه مشاهده شده اند [۴،۳].

تاج^۲: لایه خارجی اتمسفر خورشید تاج است که به دلیل ارتباط این لایه به بحث ما آن را در ادامه به صورت مفصلتر توضیح می دهیم:

۳-۱ تاج

کرونا یا تاج اتمسفر بیرونی خورشید است که تا چندین برابر شعاع خورشید امتداد می یابد و محل اصلی شکل گیری باد خورشیدی و عوارضی از قبیل لوله های تاجی، فورانهای ماده و ... است. این لایه فقط در خورشید گرفتگی (طبیعی یا مصنوعی) قابل مشاهده است. دما در تاج علیرغم چگالی پائین بسیار بالاست: یک تا دو میلیون کلوین! علت این دمای بالا، نامعلوم است. این مسئله که به گرمایش تاج^۳ معروف است یکی از مسائل حل نشده فیزیک خورشید است [۶،۴،۳].



شکل ۱-۲: تصویر تاج در کسوف [NASA]

^۱ Transition zone

^۲ Corona

^۳ Coronal heating

۱-۳-۱ تاریخچه

طبیعت تاج تا سال ۱۸۴۲ مورد شک بود، تا اینکه در سال ۱۸۶۰ با ضبط تصاویری از زبانه‌ها تأیید شد. زمان زیادی طول کشید تا دانشمندان بفهمند که تاج چقدر داغ است. آنها در سال ۱۹۴۰ از طریق مطالعه خطوط طیفی توانستند به دمای بالای تاج پی ببرند.

نور سفید تاج، نور کروموسفری پراکنده شده بوسیله الکترونهاى آزاد و یونهاست. نور تاج محدوده طول موجی از نور مرئی تا اشعه ایکس را در برمی گیرد. اولین بار در کسوف سال ۱۸۶۹ چند خط اپتیکی مشاهده شدند که بوسیله پلاسمای تاج نشر شده بودند. ۷۰ سال بعد (۱۹۳۹) در سایه پیشرفتهای فیزیک اتمی، آنها به عنوان نشرهایی از یونهاى منفرد سنگین، مثل آهن ۹ بار یونیزه، یا کلسیم ۱۴ بار یونیزه تشخیص داده شدند. این کشف اثبات آشکاری بود برای اینکه مشخص شود، تاج دمایی حدود چند میلیون کلوین یا بیشتر دارد. با مشاهدات ابزارهای فضایی کنونی مشخص شده است که اتمهای بسیار یونیزه خطوط ماوراء بنفش گسیل می کنند، در حالیکه الکترونهاى بسیار داغ، تابش ترمزی اشعه ایکس گسیل می کنند و همه اینها در تاج دیده شده اند.

قبلاً تاج خورشید در موقع کسوف کامل قابل مشاهده بود، ولی از وقتی که کروناگراف (تاج نگار) توسط لیوت^۱ اختراع شد، مشاهده تاج به راحتی امکانپذیر شده است [۱۰].

۱-۳-۲ ساختار تاج

مشاهدات تاج در سال ۱۹۷۳ نشان داد که کل ساختار تاج بوسیله میدان مغناطیسی احاطه شده است. جایی که چگالی متوسط تاجی بیشتر است، نشر تابش ترمزی قویتر می باشد. گاز کروناىی در نواحی با میدان مغناطیسی بسته چگالتر است و در نواحی با میدان مغناطیسی باز که حفره تاجی^۲ نامیده می شود، ناچیزتر است. حفره های تاجی، نواحی تاریکی با دمای نسبتاً پائین، چگالی بسیار کم و خطوط میدان مغناطیسی باز هستند که

^۱ B. Lyot

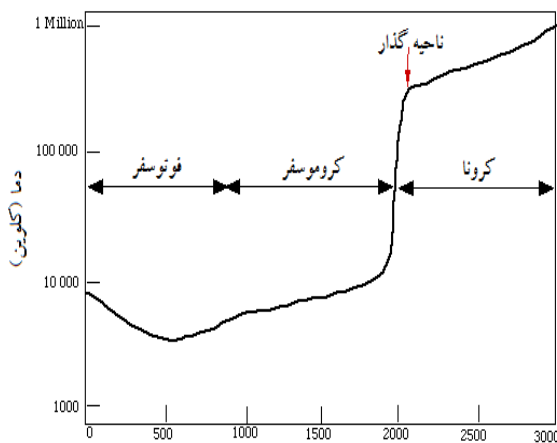
^۲ Coronal hole

محل سرچشمه باد خورشیدی با سرعت بالا می باشند.

تصویربرداری در طول موج فرابنفش بوسیله ماموریت‌های فضایی اخیر نشان داده است که چگالی تاج یکنواخت است و به همین دلیل میدان مغناطیسی حرکت الکترونها و یونها را به صورت شعاع چرخشی^۱ از خطوط میدان محدود می کند. این شعاع برای یک پلاسما ی داغ یک میلیون کلونی، در یک میدان یک گاوسی، حداکثر یک متر خواهد بود [۱۰].

گسترده‌گی نور مرئی تاج با سیکل چرخشی خورشید متغیر است. این موضوع به علت تغییر در تعداد لکه ها بر روی خورشید است که یک دوره ۱۱ ساله را دنبال می کند. هنگامی که بیشترین لکه ها بر روی خورشید نمایان باشند (بیشینه فعالیت خورشید)، تاج در تمام جهات گسترده بوده و در عکس حالت آن (مینیمم فعالیت خورشید)، تاج غالباً در نواحی استوایی خورشید گسترده است [۱۰، ۳].

۳-۳-۱ گرمایش تاج



ارتفاع از بالای ناحیه همرفتی (کیلومتر)

شکل ۳-۱: نمودار تغییرات دمای لایه های خارجی خورشید [solar.physics]

همانطور که اشاره شد، دما در حین عبور از ناحیه گذار بطور ناگهانی افزایش می یابد. نمودار مقابل هم این تغییر ناگهانی دما را نشان می دهد. از آنجا که تاج بین دو ناحیه با دمای پائین قرار دارد، باید انرژی خود را پیوسته از طریق رسانش و تابش و باد خورشیدی از دست بدهد. لذا برای اینکه دمای تاج همواره بالا باشد، بایستی منبع انرژی مناسبی برای گرمایش آن فراهم باشد [۴].

¹ gyroradius

از همان سالهای اول کشف، ساز و کارهای مختلفی برای توجیه دمای بالای تاج مطرح شد:

اولین پیشنهاد، امواج آکوستیکی حاصل از حرکات ناحیه همرفتی بود. این امواج ضمن حرکت رو به بالای خود، در اتمسفر خورشید پراکنده شده و انرژی خود را به صورت گرما به محیط اطراف می دهند. ولی با اندازه گیری شار انرژی آنها معلوم شد که شار گرمای تولید شده از این طریق، برای گرمایش تاج تا دمای فوق، کافی نیست. با شناخت ناتوانی امواج صوتی در گرمایش تاج، تحقیقات روی مکانیسمهای مغناطیسی متمرکز شد، نظری که با تصاویر skylab مبنی بر شواهدی از احاطه مغناطیسی تاج مستحکمتر شد [۱۰].

در گرمایش مغناطیسی در اثر اتصال مجدد خطوط میدان موازی و ناهمسوی تیوپهای شار، انرژی مغناطیسی آزاد شده و به انرژی جنبشی و گرمایی تبدیل می شود. چنین فرآیندی بصورت شراره های خورشیدی و رویدادهای مشابه نمود پیدا می کند.

مدلهای امروزی گرمایش تاج عمدتاً براساس میدان مغناطیسی عظیم و پیچیده خورشید تنظیم شده است. عبارت ساده تر میدان مغناطیسی خورشید نقش اساسی در این میان بر عهده دارد. البته تا همین اواخر نسبت دادن گرمایش تاج به میدان مغناطیسی مشکلات جدی در پی داشت. پلاسمای تاج خورشید یک محیط هادی با هدایت الکتریکی خیلی بالاست، لذا تبدیل انرژی مغناطیسی به انرژی گرمایی مستلزم پخش شدن خطوط میدان مغناطیسی در محیط است که با توجه به انجماد میدان در اثر مقاومت الکتریکی کم غیرممکن بنظر می رسید. در واقع علت انجماد خطوط میدان، بالا بودن عدد رینولد مغناطیسی برای ساختارهای بسیار بزرگ و سرعتهای بالاست. قبلاً تصور می شد که تاج خورشید یک محیط همگن با ابعاد چند برابر شعاع خورشید است و لذا عدد رینولد بزرگی بدست می آمد، ولی کشف ساختارهای تیوپ شار در تاج خورشید این تصور و تفکر را عوض کرد [۱۰، ۶، ۴].

در امتداد خطوط میدان مغناطیسی امواجی موسوم به آلفون^۱ قابلیت انتشار دارند. امواج آلفون مثل همه امواج انرژی حمل می کنند و اگر بتوانند انرژی خود را در محل مناسب و به شیوه موثر به محیط تاجی اطراف بدهند، می توانند بخشی از انرژی لازم برای افزایش دمای تاج را فراهم کنند [۲۸،۲۶،۴]. مشاهدات جدید با ابزارهای تصویری، طیف سنجی و پلاریمتری، شواهد خوبی از حضور امواج پر انرژی آلفون در تاج را نشان می دهد [۲۸].

انفجارهای شراره‌ای، زبانه‌ها، اتصال مجدد خطوط میدان مغناطیسی، سیخکها و ... از جمله پدیده‌هایی هستند که می‌توانند موجب گرم شدن تاج خورشید شوند. هم اکنون روشن نیست که کدام یک از این پدیده‌ها، چنین گرمایی را در تاج خورشید پدید می‌آورند. شاید همه این پدیده‌ها با هم عامل گرمایش تاج باشند! ما در این پایان نامه نقش سیخکها را در این زمینه بررسی می‌کنیم.

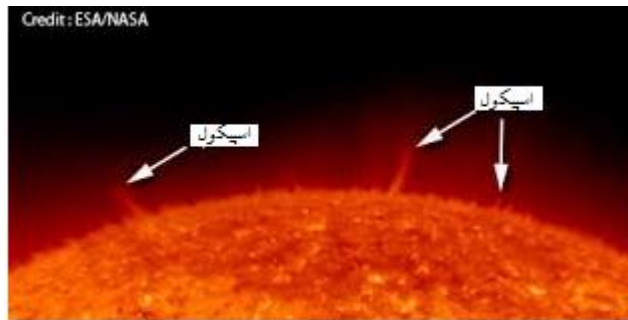
۴-۱ سیخک

آشکار است که انرژی مکانیکی حرکات نور سپهری به نوعی به تاج منتقل شده است که آزاد شدن آن منجر به گرمایش محیط پلاسما می‌شود. یک روش ممکن برای توجیه این پدیده این است که حرکات همرفتی و نوسانات خورشید می‌تواند امواج مگنتوهیدرودینامیکی^۲ (MHD) را در نور سپهر تحریک کند و آنها با انتشار خود، انرژی را از رنگین سپهر به تاج برسانند.

بیشتر تابش رنگین سپهری از سیخکها نشأت می‌گیرد که ساختارهای چمن مانندی هستند که در خطوط طیفی رنگین سپهر در لبه خورشید دیده می‌شوند، پیش بینی شده است که اثر انتقال انرژی بوسیله امواج MHD می‌تواند در دینامیک سیخکها آشکار شود.

^۱ Alfvén waves

^۲ magnetohydrodynamic



شکل ۱-۴: تصویر سیخکها [ESA, NASA]

۱-۴-۱ معرفی سیخک

تعاریف سیخک از دیدگاه افرادی که در این زمینه کار کرده اند:

- سیخکها اساسی ترین مولفه های رنگین سپهر خورشید هستند، جتهایی از گاز که در خطوط $H\alpha$ و سایر خطوط طیفی رنگین سپهری لبه خورشید مشاهده شده اند. آنها شار جرمی صد برابر باد خورشیدی را با خود رو به بالا حمل می کنند [۸].
- سیخکها ساختارهای جت ماندی هستند که از رنگین سپهر خارج می شوند و در لبه خورشید به صورت ساختارهای روشنی در زمینه تاریک تاج خورشید، در تصاویر $H\alpha$ و $Ca II$ دیده می شوند [۹، ۱۶].
- سیخکها ساختارهای جت مانند طولی هستند که در خطوط نشری رنگین سپهری هیدروژن (مخصوصا خط $H\alpha$ با طول موج ۶۵۶ نانومتر)، کلسیم یونیزه (مخصوصا خطوط H و K با طول موجهای ۳۹۳ و ۳۹۷ نانومتر) و خطوط هلیوم (مخصوصا خطوط هلیوم طبیعی با طول موج ۵۸۸ و ۱۰۸۳ نانومتر) مشاهده شده اند [۱۷].
- سیخکها ساختارهای تیز چمن مانند، نازک و طولی هستند که در تصاویر اتمسفر پائین خورشید ظاهر می شوند و معمولا در خطوط $H\alpha$ ، $D3$ و $Ca II H$ آشکارسازی می شوند. آنها شار جرمی دو برابر باد خورشیدی را به تاج خورشید می برند [۸، ۲۰].