دانشگاه زنجان

دانشکده علوم – گروه فیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

عنوان :

جستجوی پارامترهای تاج خورشید

کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی

ادریس تاج‌فیروزه

استاد راهنما: دکتر حسین صفری

بهمن‌ماه ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

چکیده

تصور بر این است که نانوشراره‌ها، انفجارهای کوچک ناگهانی انرژی، منبع اصلی گرمایش تاج خورشید هستند. اگرچه تخمین انرژی ورودی آن‌ها در حال حاضر، مورد جدل و مباحثه است، اما در کار حاضر، رویکرد ارزیابی و محاسبه سهم انرژی نانوشراره‌ها در گرمایش تاج ارائه شده است.

اگر توان در قانون توانی، مقداری بزرگ‌تر از دو باشد، آن گاه سهم نانوشراره‌ها در تعیین گرمایش تاج، عمده خواهد بود.

ما مدلی در نظر گرفتیم که سری های زمانی تابشی خطوط گسیلی فرابنفش دور مشاهداتی را با در نظر گرفتن این‌که گسیل فرابنفش دور زمینه‌ی خورشیدی ناشی از رویدادهای کوچک مقیاسی (نانوشراره ها) می‌باشد که توزیع انرژی آن‌ها به صورت قانون توانی می‌باشد و مقادیر تابشی، توزیعی به صورت لوگنرمال دارند، شبیه سازی کند. به منظور مقایسه‌ی سری‌های زمانی مشاهداتی و سری‌های زمانی شبیه‌سازی شده از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده کردیم. با مقایسه‌ی سری‌های زمانی ما می‌توانیم پارامترهای کلیدی (توان در قانون توانی، زمان افت و آهنگ تولید شراره‌ای) مربوط به هر کدام از سری‌های زمانی شبیه‌سازی شده را بیابیم. با این مقایسه ما همچنین خواهیم توانست در مورد این‌که سهم عمده‌ی گرمایش تاج مربوط به رویدادهای کوچک مقیاس است را بیابیم.

فهرست

فصل ۱: مقدمه‌ای بر شناخت خورشید ۱

۱-۲) تاج ۵
۱-۲-۱) تقسیم بندی تاج از لحاظ نوری ۵
۱-۲-۲) طیف تابشی تاج خورشید ۶
۱-۲-۳)تقسیم بندی تاج از لحاظ فعالیت ۹
فصل دوم: شراره‌های خورشیدی ۱۰
۲-۱) دیناموی خورشید، میدان مغناطیسی و لکه‌های خورشیدی ۱۰
۲-۲) شراره‌های خورشیدی ۱۲
۲-۳) باز اتصالی خطوط میدان مغناطیسی و شراره‌ها ۱۳
۲-۴) گرمایش تاج ۱۴
۲-۴-۱) دیدگاه موجی ۱۴
۲-۴-۲) دیدگاه شراره‌ای ۱۶
۲-۵) توزیع قانون توانی ۱۹
فصل سوم: ماهواره‌ی STEREO و تحلیل داده‌های فرابنفش دور ۲۱
۳-۱) ماهواره‌ی STEREO ۲۱
۳-۱-۱) بسته‌ی ابزاری سچی: ۲۲
۳-۱-۲) پیش‌پردازش و تطبیق سازی داده‌ها ۲۳
فصل چهارم: مدل و شبیه‌سازی ۲۶
۴-۱) مدل ۲۶
۴-۲) تابع توزیع لوگنرمال ۲۷
۴-۳) شبیه‌سازی ۲۸
فصل پنجم: شبکه‌های عصبی مصنوعی ۳۱
۵-۱) انسان و ماشین ۳۱
۵-۲) مدل‌سازی نرون ۳۲
۵-۳) فراگیری در نرون‌های ساده ۳۴
۵-۳-۱) محدودیت‌های پرسپترون ۳۷
۵-۳-۲) پرسپترون چند لایه‌ای ۳۸
۵-۴) شبکه‌های Radial Basis ۴۱

۵-۴-۱) توابع Radial Basis ۴۱
۵-۴-۲) معماری شبکه ۴۳
۵-۴-۳) شبکه‌های عصبی احتمالی(PNN)..... ۴۳
فصل ششم: نتایج و بحث‌ها ۴۵
۶-۱) نتایج ۴۵
۶-۲) نتیجه‌گیری..... ۴۹

فصل ۱: مقدمه‌ای بر شناخت خورشید

۱-۱) خورشید

خورشید نزدیکترین ستاره به ماست که در فاصله AU ۱[1] از زمین قرار گرفته است. این کره غول پیکر گازی با شعاع $6/96 \times 10^5\ km$ (۱۰۹ برابرشعاع زمین) که۹۸/۸٪ از جرم منظومه‌ی شمسی را تشکیل داده، دارای جرم $1/99 \times 10^{30}\ kg$ (۳۳۰ برابر جرم زمین) و تابندگی یا آهنگ انرژی معادل $3/86 \times 10^{26}\ W$ است.

با وجودی که هسته‌ی خورشید بسیار چگال است اما چگالی گاز از داخل به سمت خارج به صورت نمایی افت می‌کند. بدینسان در مجموع چگالی متوسط آن کمی از آب بیشتر است. مقداری در حدود $1400\ \frac{kg}{m^3}$.

عمده ترکیبات موجود در خورشید، گازهای هیدروژن و هلیوم بوده که فشار حرارتی ناشی از همجوشی هسته‌ای (تبدیل هیدروژن به هلیوم در راکتور مرکزی) در تعادل با فشار گرانشی، پایداری این ستاره را تضمین کرده است. به علت دمای بالای خورشید مواد تشکیل دهنده‌ی آن در حالت پلاسما قرار دارند.

دما، فشار و چگالی از سطح به مرکز خورشید، جایی که انرژی به وسیله واکنش‌های هسته‌ای آزاد می‌شوند افزایش می‌یابد. در اثر واکنش‌های هسته‌ای، مقادیر عظیمی از انرژی به صورت فوتون و حرکات گرمایی آزاد می‌شوند. فوتون‌ها پس از آنکه از طریق تابش فاصله‌ی منطقه‌ی تابشی[2] را طی کردند، وارد منطقه‌ی جابجایی[3] شده وتوسط حرکات جوشان، انرژی خودشان را منتقل می‌کنند. پس از منطقه‌ی جابجایی، سطح قابل

[1] 1AU=149598000 km
[2] Radiation zone
[3] Convection zone

روئیت خورشید با دمای حدود $5800\,K$ مشاهده می‌شود، جایی که تابش نسبت به نور مرئی شفاف است. ناحیه مذکور شید سپهر[1] خورشید است.

لایه‌های داخلی خورشید به این دلیل که نسبت به تابش الکترومغناطیسی کدر و غیر شفافند روئیت نمی‌شوند. اگرچه مستقیماً نمی‌توانیم داخل خورشید را ببینیم اما دو دسته مشاهدات وجود دارند که به ما اجازه می‌دهند در مورد ساختار داخلی خورشید اظهار نظر کنیم. یکی شار مشاهده شده‌ی نوترینویی است که فقط در حدود $\frac{1}{3}$ مقداری است که به وسیله‌ی مدل‌های نظری پیش‌بینی می‌شود. این کمبود در شار نوترینو فیزیکدانان و اختر فیزیکدانان را به پیشنهاد و تصحیحاتی در مورد توصیف مدل نظری خورشیدی و نظریه‌های جدید راجع به خصوصیات نوترینو می‌خواند. دیگری تجزیه و تحلیل حرکات گازی سطح خورشید است که به صورت تپ‌هایی از اطراف خورشید ساطع می‌شوند. این روش موسوم به پدیده‌ی لرزه شناسی خورشید است. از مطالعات لرزه شناختی خورشیدی نتیجه‌هایی درباره‌ی جزئیات ساختار لایه‌ی جابجایی، کدری گازها و همین طور فراوانی اتمی نسبی، مخصوصاً هلیوم و دینامیک داخلی خورشید بدست می‌آید.

پایه‌ی جو خورشیدی شید سپهر است. یک لایه‌ی نازک که بیشترین عمقی است که می‌توانیم آن را مشاهده کنیم و تابش قابل روئیت از آن منتشر می‌شود. لکه‌های خورشیدی[2] که دلیل محکمی بر فعالیت خورشیدی می‌باشند و از حرکات همرفتی گاز زیر شید سپهر نتیجه می‌شوند در این لایه از جو خورشید به چشم می‌خورند. لکه‌های خورشیدی لنگرگاههای[3] میدان‌های مغناطیسی قوی هستند (این را می‌توان با مشاهده اثر زیمان روی طیف‌های بدست آمده نتیجه گرفت) که تا فاصله‌های دوری از تاج ممکن است طاق بزنند. طبق موازنه‌ی فشار مغناطیسی و فشار حرارتی پلاسمای موجود در شید سپهر در حالت تعادل به این نکته پی می‌بریم که درون لکه‌ها باید سردتر از اطراف باشد. بنابراین به‌طور نسبی لنگرگاه‌ها تیره‌تر از اطراف دیده می‌شوند.

لایه‌ی خارجی بعدی، رنگین سپهر است که تا ارتفاع ۱۰۰۰۰ کیلومتری بالای شید سپهر ادامه دارد. از بالای رنگین سپهر ، زبانه‌های بسیار[4] زیبا و زائده‌های سیخی[5] نیز پدیدار می‌شوند. این لایه‌ی نازک که به رنگ قرمز است نتیجه‌ی گسیل بالمر هیدروژن (H_α) است که در هنگام کسوف کامل خورشیدی دیده می‌شود. در

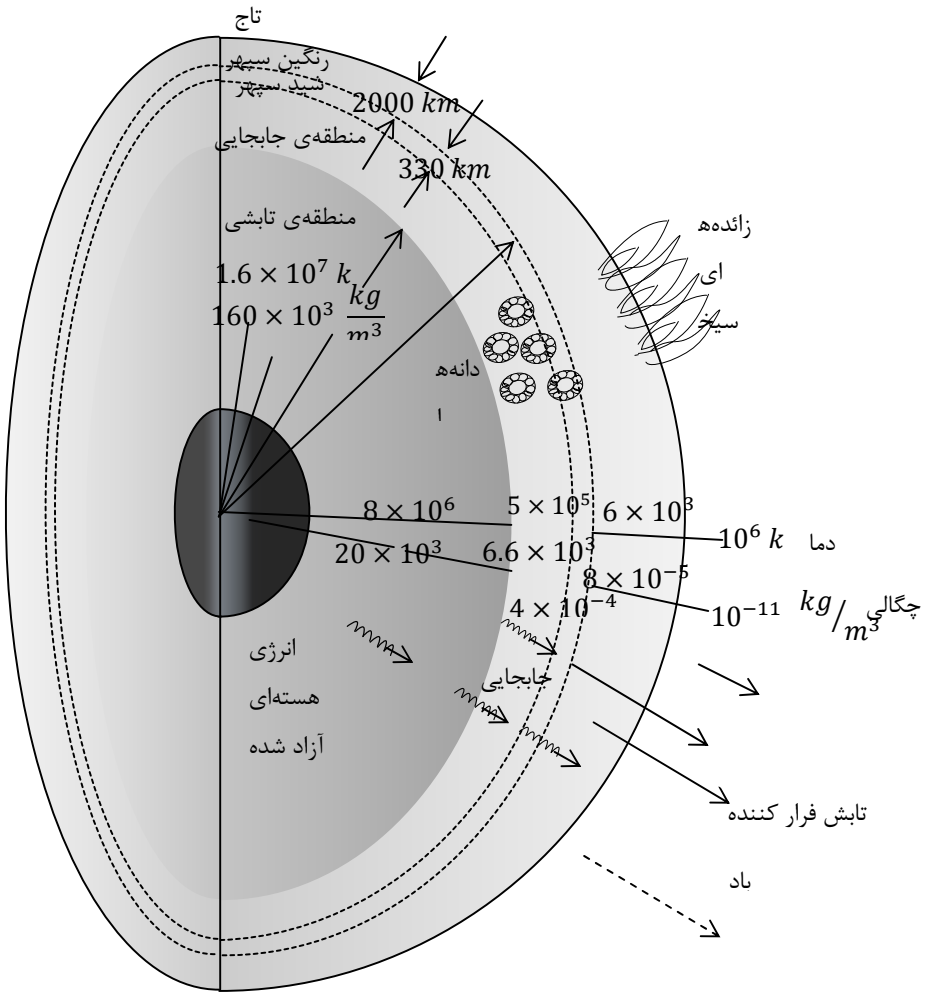
[1] Photosphere
[2] Sunspot
[3] Footpoint
[4] Prominence
[5] spicules

زائده‌های خورشیدی که در تابش H_α به خوبی مشاهده می‌شوند گازها در حدود ۲۰ تا ۲۵ کیلومتر بر ثانیه سرعت می‌گیرند. گرچه زائده‌های سیخی کمتر از 1٪ از منطقه‌ی سطح خورشید را اشغال می‌کنند و طول عمر ۱۵ دقیقه یا کمتر را دارند ولی احتمالاً نقش مهمی در تعادل توده‌ی رنگین سپهر، تاج[1] و باد خورشیدی دارند. زائده‌های سیخی قسمتی از شبکه‌ی رنگین سپهری در نواحی ابردانه‌ها[2] را تشکیل می‌دهند. بنابراین این زائده‌ها فقط در نواحی مغناطیسی قوی رخ می‌دهند. نتیجه‌ی تحقیقات بسیاری که در قسمت‌های بالای رنگین سپهر و ناحیه‌ی گذار رنگین سپهر- تاج صورت گرفته است اشکال طیفی ماوراءبنفش خورشیدی را به دمای بالای رنگین سپهری جهت می‌دهند.

دما به شدت از حدود ۱۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ در رنگین سپهر در خلال چند صد کیلومتر از منطقه‌ی گذار تا 10^6 درجه‌ی کلوین در تاج می‌رسد. طیف پیوسته‌ی شید سپهری در طول موج‌های کوتاهتر از $150\ nm$ به‌طور غیر قابل آشکاری کوچک می‌شود. به خاطر ضعیف بودن طیف پیوسته‌ی شید سپهری در انتهای ناحیه‌ی فرابنفش، برانگیختگی تابشی نمی‌تواند رخ دهد. لیکن در دماهای زیاد در قسمت‌های بالایی جو خورشید، اتمها و یون‌ها به‌صورت برخوردی برانگیخته می‌شوند و در برگشت به حالت‌های پایه‌شان خطوط نشری تولید می‌کنند. به علاوه می‌توانند در مقابل سطح خورشید مشاهده شوند زیرا توسط زمینه‌ی شید سپهری پوشانده نمی‌شوند.

ساختار منطقه‌ی گذار را می‌توان توسط خطوط نشری $C\ III$ در بالاتر از ۷۰۰۰۰ درجه‌ی کلوین و $N\ III$ در ۱۰۰۰۰۰ درجه‌کلوین و $O\ VI$ در ۳۰۰۰۰۰ درجه‌ی کلوین مطالعه کرد.

[1] corona
[2] supergranules



شکل ۱) ساختار خورشید. این نمونه، نواحی اصلی خورشید و مقادیر پارامترهای فیزیکی مهم را نشان می‌دهد. دانه‌ها و زبانه‌ها بدون رعایت مقیاس رسم شده‌اند.

۱-۲) تاج

خارجی‌ترین لایه‌ی خورشید تاج خورشید می‌باشد که در گرفتگی‌های خورشیدی با چشم غیر مسلح تا فاصله‌ی دوری از لبه‌ی خورشید که به‌صورت هاله‌ی سفید صدفی امتداد دارد روئیت می‌شود.

شکل ۲) تصویر تاج خورشید هنکام گرفتگی قرص کامل خورشید توسط ماه. گاز رسانای در حدود میلیون درجه‌ی کلوین به صورت اشعه‌های ظریف نوری متمرکز شده‌اند.

۱-۲-۱) تقسیم بندی تاج از لحاظ نوری

تابش پیوسته‌ی تاج در طول موج‌های نوری از دو قسمت تشکیل شده، در واقع خود تاج به دو بخش تاج K (نزدیک به سطح خورشید) و تاج F که تا چند برابر شعاع خورشید واضح است تقسیم می‌شود. قسمتی از طیف پیوسته‌ی تاجی، کم شدت با وابستگی طول موجی شید سپهر تطابق دارد. این امر به دلیل تفرق نور توسط الکترون‌ها است که تقریباً نیمی از چگالی ذرات در تاج K را تشکیل می‌دهد. براحتی می‌توان مؤلفه‌های F و K را از همدیگر جدا کنیم، زیرا که خطوط فرانهوفر جذبی فقط مختص تاج F می‌باشد.

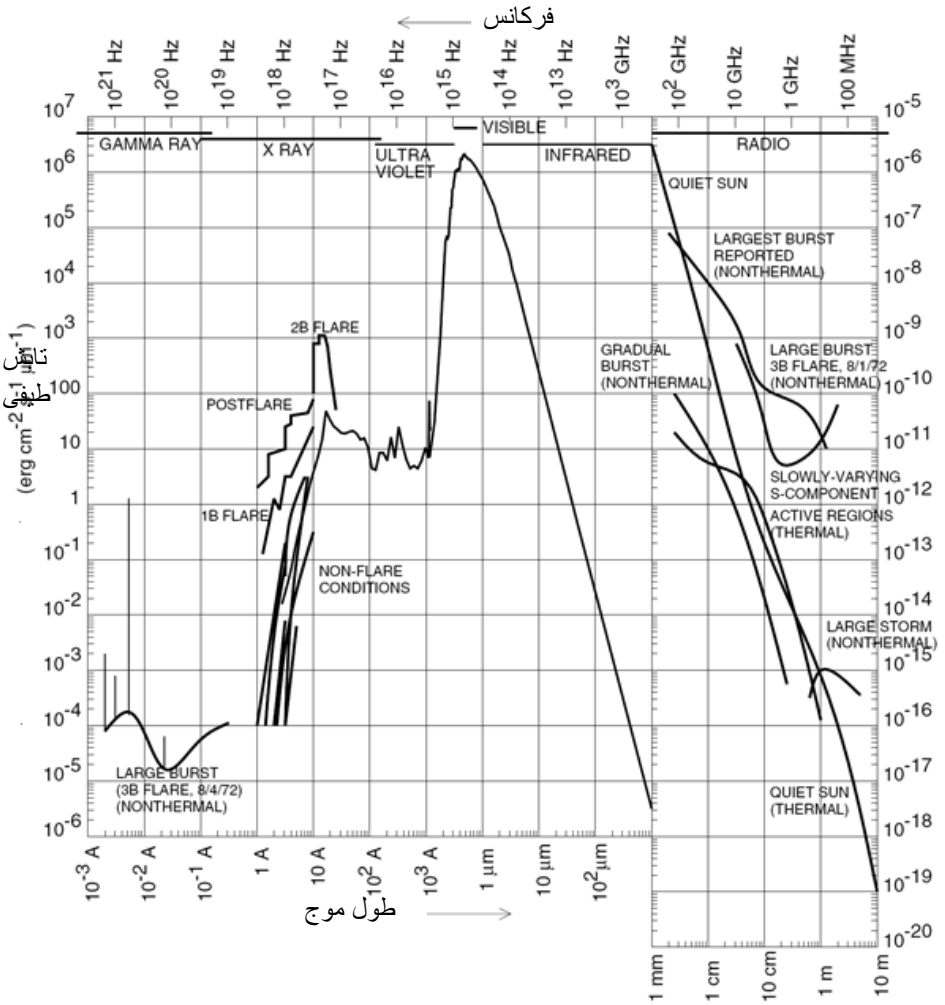
فعالیت خورشیدی به شدت ظاهر تاج K را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در بیشینه‌ی فعالیت خورشیدی، زمانی که تعداد لکه‌های خورشیدی زیاد هستند تاج بسیار روشن به‌طور یکنواخت در اطراف سطح خورشید نمایان می‌شود. اما در کمینه‌ی فعالیت خورشید تاج در استوای خورشیدی نسبت به قطب‌ها بیشتر ادامه می‌یابد و جریان‌های تاجی در استوا متمرکز می‌شوند.

۱-۲-۲) طیف تابشی تاج خورشید

کوچکترین گستره‌ی طول موج دریافتی از تاج، که فقط در فرایندهای با انرژی بسیار بالا گسیل می‌شود، گستره‌ی طول موج گاما[1] است. گستره‌ای در حدود $\lambda \approx 10^{-3} - 10^{-1}\text{Å}$ که متناظر با انرژی‌های $\epsilon \approx 100\ KeV - 10\ MeV$ می‌باشد. واضح است که این چنین تابشهایی با انرژی بالا فقط زمانی از خورشید گسیل می‌شوند که ذرات در شراره‌های خورشیدی با انرژی بسیار بالایی شتابدار شوند. آنچنانکه آن‌ها بتوانند با هسته‌های اتمی برهمکنش کنند. گسیل گاما زمانی اتفاق می‌افتد که ذرات در تاج تا انرژی‌های بسیار بالا شتابدار شوند، آن‌گاه با شتاب به سمت پایین (رنگین سپهر)، جایی که فرایندهای هسته‌ای تابش‌های گاما را تولید می‌کنند، حرکت کنند.

گستره‌ی طول موجی بعدی که متناظر با طول موج‌های $\lambda \approx 0/1 - 1\ \text{Å}$ با انرژی‌های $\epsilon \approx 10 - 100\ KeV$ گستره‌ی طول موجی تابش ایکس شدید[2] می‌باشد. این گستره‌ی انرژی متناظر با الکترون‌های میان نسبیتی[3] است (باجرم سکون $m_0c^2 = 511\ KeV$ و سرعت نسبی $\beta = {}^{v}/_{c} \approx 0/2 - 0/5$). و بنابراین الکترون‌هایی مورد نیاز است که در پلاسما شتاب‌دار شوند، به سمت ناحیه‌ی گذار و رنگین سپهر(که دارای چگالی بالاتری‌اند) ته‌نشین شوند و انرژی خودشان را در برخوردها از دست بدهند و به اصطلاح گسیل *electron-bremstrahlung* انجام دهند.

[1] Gamma ray
[2] Hard x-ray
[3] Middle- medium relativistic



شکل ۳) طیف تابشی خورشید از امواج گاما تا امواج رادیوئی. محور عمودی در $\boldsymbol{\lambda = 1\ mm}$، به اندازه‌ی ۱۲ مقدار بزرگی جابجا شده تا گستره‌ی دینامیکی طیف تابشی را در نمودار بگنجانیم.

گستره‌ی طول موجی ایکس نرم[1] که در حدود $\lambda \approx 1 - 100\ \text{Å}$ است متناظر با انرژی‌های حرارتی $\epsilon_{th} \approx 10 - 100\ KeV$ و دماهای پلاسمایی $T \approx 1/5 - 150\ MK$ می‌باشد. چنین دماهای پلاسمایی در نواحی فعال $(T \approx 1/5 - 10MK)$ و حلقه‌های شراره‌ها $(T \approx 10 - 40\ MK)$ یافت می‌شوند. گستره‌ی طول موجی $\lambda \approx 10 - 100\ \text{Å}$ را $X\text{-}EUV$ یا ایکس- فرابنفش می‌نامند.

[1] Soft x-ray

گستره‌ی طول موجی فرا بنفش دور (EUV)، طول موج‌های در محدوده‌ی $\lambda \approx 100 - 1000\ \text{Å}$ با دماهای $T \approx 0/15 - 1/5\ MK$ را پوشش می‌دهد، همچنانکه از توزیع اندازه‌گیری مختلف گسیلی (شکل۳) دیده می‌شود.

گسیل EUV نیز همانند تابش ایکس توسط گسیل آزاد-آزاد (چه قبل و چه بعد از برخورد، الکترون آزاد است.) صورت می‌گیرد. اما در گسیل EUV ، پراکندگی از یون‌های با دمای پایینتر (نظیر $Fe\ IX$ تا $Fe\ XV$) صورت می‌گیرد.

قله‌ی طیف تابشی به یقین در گستره‌ی طول موجی اپتیکی $\lambda \approx 3000 - 7000\ \text{Å}$ خواهد بود که برای چشم قابل آشکارسازی است. قسمت اعظم گسیل اپتیکی از خورشید از گسیل پیوسته در شید سپهر نشأت می‌گیرد. بنابراین اطلاعات زیادی از تاج در گستره‌ی نور مرئی قابل دسترسی نیست. فقط در هنگام خورشید گرفتگی کامل، زمانی که قرص خورشید توسط ماه پوشانده شده است، نور ضعیف پراکنده شده، بعضی ساختارهای تاج رقیق را در اختیار ما می‌گذارد.

دهه‌ی طول موجی دیگر در طیف طول موجی، فروسرخ است که در گستره‌ی $\lambda \approx 1\ \mu m - 1\ mm$ واقع شده است. گسیل فروسرخ خطوط زیادی را شامل نمی‌شود. برجسته‌ترین خط در این محدوده، خط He 10830 Å می‌باشد. بیشتر تابش فروسرخ، گونه‌های تحریک (با انرژی پایین) نظیر اتم‌ها و مولکول‌های خنثی (به عنوان مثال: مونواکسید کربن، هیدروکسیل و بخار آب) است. گسیل مذکور فقط در گاز نه خیلی داغ (نظیر شرایطی که در سلول‌های ابَردانه‌ای و سایه‌های لکه‌های خورشیدی پیش می‌آید.) اتفاق می‌افتد.

بلندترین گستره‌ی طول موجی، گستره‌ی طول موجی رادیویی می‌باشد که در حدود $\lambda \approx 1\ mm -$ $10\ m$ و متناظر با فرکانس‌های $30\ MHz$ تا $300\ GHz$ است. همانطور که می‌دانیم، در گازهای یونیزه‌ی جو خورشیدی، الکترون‌های آزاد، تابش رادیویی نشری و جذبی را فراهم می‌آورند. هر چه گاز چگال‌تر باشد، اندرکنش الکترون با یون یا اتم، پرانرژی‌تر و فراوان‌تر می‌باشد. این بیان توضیح می‌دهد که چرا تابش طول موج کوتاه (۱ تا $۲۰cm$)، رنگین سپهر و قسمت پایینی تاج را مشخص می‌کند و طول موج‌های بلندتر از $۱۰cm$ در قسمت‌های بیرونی تاج ظاهر می‌شوند. شایان ذکر است که سازوکارهای تابشی دیگری نیز وجود دارند که توسط ناپایداری‌های پلاسمایی به وجود می‌آیند.

۱-۲-۳) تقسیم بندی تاج از لحاظ فعالیت

تاج خورشید را از نظر فعالیت به سه قسمت: تاج فعال، تاج آرام و حفره‌های تاج دسته‌بندی می‌کنند. معیار فعالیت در تاج خورشید، پدیده‌های انفجاری و زودگذر، نظیر شراره‌های کوچک و بزرگ مقیاس، زبانه‌ها، پلاژها و غیره می‌باشند که همگی ریشه در میدان مغناطیسی تاج دارند.

حفره‌های تاج نواحی تاریک به خصوص در قطب‌های بالا و پایین و قسمت میانی خورشید می‌باشند. در این مکان‌ها گاز تاج بایستی دارای چگالی (۷٪ چگالی در حالت عادی) و دمای بسیار کمتر از معمول باشد. حفره‌های تاجی سطوحی را مشخص می‌کنند که در آن‌جا میدان‌های مغناطیسی به طرف خارج فضا ادامه دارند و به صورت حلقه به خورشید برنمی‌گردند. بنابراین گاز تاجی در این نواحی پایین نرفته و می‌تواند از خورشید به طرف خارج این حفره‌ها جریان یابد. این جریان باد خورشیدی را می سازد.

فصل دوم: شراره‌های خورشیدی

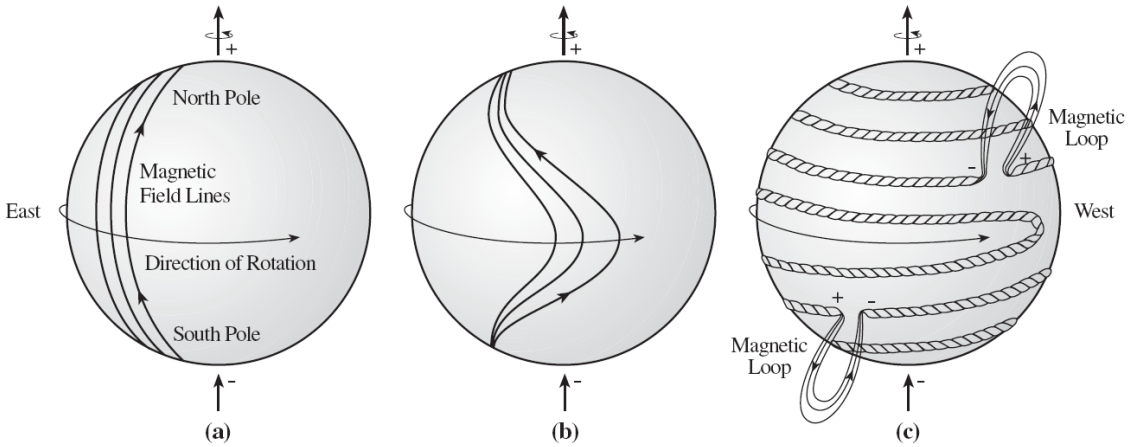
۲-۱) دینامو[1] خورشید، میدان مغناطیسی و لکه‌های خورشیدی

میدان مغناطیسی خورشید از کجا آمده است؟ چرا آن‌ها از نظر شدت و مکان فرق دارند؟ و چگونه برپا نگه داشته می‌شوند؟

گازهای داغ و رسانا که در داخل خورشید در حال چرخش‌اند جریان‌های الکتریکی بوجود می‌آورند که میدان مغناطیسی تولید می‌کنند. میدان مغناطیسی متغیربا زمان، خود میدان الکتریکی تولید می‌کند. از این‌رو الکتریسیته را فراهم می‌کند. درست همانند آنچه که یک دینام عمل می‌کند. بنابراین انرژی مکانیکی حرکت ذرات باردار گاز به انرژی مغناطیسی تبدیل می‌شود. میدان مغناطیسی زمین نیز توسط چنین دینامویی تولید می‌شود. میدان‌های مغناطیسی که توسط دینامو درونی خورشید تولید می‌شوند به دنبال گاز کشیده شده و در آن منجمد می‌شوند (چنانکه می‌دانیم پلاسما قویاً با میدان مغناطیسی جفت می‌شود). همچنان‌که آنها با گاز جابجا می‌شوند، میدان‌های مغناطیسی جاسازی شده تغییر شکل می‌یابند، در هم آمیخته می‌شوند، پیچ و تاب خورده و کشیده می‌شوند و مسیر خود را به سمت خارج خورشید، جهت تشکیل نواحی دو قطبی مغناطیسی[2] در شید سپهر می‌کشند (نواحی دو قطبی مغناطیسیف نواحی هستند که در آنجا علیرغم آنکه دوقطبی‌های مغناطیسی جهت‌گیری‌های متفاوتی دارند اما در کل ناحیه‌ی مذکور دارای قطبش مشخصی می‌باشد). اما دینامو موجود مبدأ میدان مغناطیسی را بیان نمی‌کند همچنین چگونگی تقویت و پابرجایی آن را توضیح

[1] Dynamo
[2] Bipolar

نمی‌دهد. فرایند تقویت میدان مغناطیسی به هیچ وجه تجمعی نیست. بنابراین یک دینامو می‌تواند میدان مغناطیسی قدرتمندی را از میدان اولیه بسازد.



شکل ۴) یک مدل ساده برای ایجاد تغییرات مکانی، جهت‌گیری و قطبش لکه‌های میدان مغناطیسیی . در شروع چرخه‌ی ۱۱ ساله‌ی فعالیت خورشیدی، هنگامی که لکه‌ها کمینه‌اند، میدان مغناطیسی، یک میدان دوقطبی است. همچنان‌که در قطبین خورشید دیده می‌شود(a). با گذشت زمان، ماده‌ی رسانای چرخان درون خورشید، میدان مغناطیسی درون خورشید را با خود می‌برد و آن را می چرخاند. به خاطر چرخش دیفرانسیلی، میدان مغناطیسی درونی به سمت بیرون کشیده شده و دور خورشید می‌پیچد و تغییر شکل می‌یابد. آنگاه میدان‌ها، متمرکز شده و مانند یک طناب در هم می‌پیچند (b,c).

یک مدل ساده‌ی مفهومی دینامو‌ی خورشید در سال ۱۹۶۱ توسط ببکوک[1] بیان شد که از مینیمم لکه‌های خورشیدی شروع می‌کرد، جایی که فقط یک میدان دوقطبی اولیه‌ی جنوب به شمال یا قطب به قطب وجود داشت (تصور بر اینست که میدان ابتدایی خورشید ناشی از میدان موجود در بقایای حاصل از انفجار ابرنواختری یک ستاره‌ی غول دیگر باشد). چرخش غیر عادی و دیفرانسیلی خورشید (که خود ناشی از این حقیقت است که استوای خورشیدی سریعتر از قطب‌ها می‌چرخد) به گازهای الکتریکی درونی یک تنش برشی وارد می‌کند. از این‌رو میدان‌های مغناطیسی به سمت خارج کشیده شده و به هم فشرده می‌شوند. مغناطیس موجود چنبره می‌زند، دسته‌ای شده و همچنانکه دور کره‌ی خورشید می‌چرخد تقویت می‌شود. آن‌چنان قوی می‌شوند که به سمت سطح خورشید بالا می‌آیند و در آنجا می‌شکنند (تشکیل نواحی فعال را می‌دهند).

[1] Horace w babcock

۲-۲) شراره‌های خورشیدی

در میان معمائی‌ترین، دیدنی‌ترین و پرانرژی‌ترین پدیده‌های مربوط به نواحی فعال، شراره‌های خورشیدی هستند. شراره‌های خورشیدی در واقع قدرتمندترین شتاب‌دهنده‌ها در سیستم خورشیدی‌اند. با وجودی که این انفجارات گذرا، مقدار فوق‌العاده‌ای از انرژی را آزاد می‌کنند، هنوز به درستی چگونگی منشأ آن‌ها را نمی‌دانیم. شراره‌ها فرکانس‌های زیادی از پرتوهای ایکس و گاما تا طول موج‌های بلند رادیویی را تابش می‌کنند. به علاوه، آن‌ها ذرات با انرژی بالا (پروتون‌ها، الکترون‌ها و هسته‌های اتمی) را که پرتوهای کیهانی خورشیدی می‌نامند گسیل می‌دارند. پرتوهای ایکس و فرابنفش تابش شراره‌ها، ارتباطات رادیویی کره‌ی خاکی ما را به وسیله‌ی ایجاد اغتشاش در یون سپهر زمین مختل می‌کنند. ابرهای ذرات با انرژی بالا، برای فضانوردانی که بدون حفاظ مناسبی هستند، کشنده است. این ذرات در مدت سی دقیقه به زمین می‌رسند، در حالی که ذرات با انرژی پایین و اغتشاشات در باد خورشیدی در مدت زمانی بین ۶ تا ۲۴ ساعت از خورشید به زمین می‌رسند. شراره‌ها معمولاً در پلاژها (نقاط روشن) همانند روشنی H_α ظاهر می‌شوند. در حقیقت خط H_α به صورت یک خط نشری در می‌آید که در ظرف ۵ دقیقه به بیشینه می‌رسد و در حدود ۲۰ دقیقه (برای بزرگترین شراره‌ها ۳ ساعت) متلاشی می‌شود. در حدود نصف انرژی شراره‌ها به صورت گسیل H_α است، نصف دیگر را موج ضربه‌ای دربر می‌گیرد و تنها یک در صد از آن به صورت پرتوهای کیهانی خورشیدی است.

اندازه‌ی شراره‌ها از ۱۰۰۰۰ کیلومتر تا بیش از ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر متغیر است. عموماً شراره‌های خورشیدی بزرگتر، پرانرژی‌ترند و عمر طولانی‌تری دارند. در قله‌ی چرخه‌ی خورشیدی، متوسط وقوع شراره‌های کوچک در حدود ساعت، و برای شراره‌های بزرگ در حدود ماه است. آن‌ها در واقع در کمینه‌ی خورشیدی وجود ندارند. در بعضی شراره‌ها، پرتوهای ایکس و امواج رادیویی سانتی‌متری با یکدیگر رخ می‌دهند. این تشعشعات احتمالاً از قسمت بالای رنگین سپهر یا تاج خورشیدی سرچشمه می‌گیرند. هر دو از دو مؤلفه تشکیل شده‌اند: (الف) یک مؤلفه‌ی آهسته که حدود سی دقیقه‌ای طول می‌کشد و (ب) یک مؤلفه‌ی آنی یا انفجاری که چند دقیقه به طول می‌انجامد. قسمتی از پدیده، انفجار غیرگرمائی (احتمالاً سینکروترون) می‌باشد، که به صورت پرتوهای ایکس با انرژی بیش از $20\,KeV$ و گسیل رادیویی متناظر با $8 \times 10^7 K$ صورت می‌گیرد و قسمتی گرمایی است که سبب یونیدگی فوق‌العاده می‌شود. مؤلفه‌های کند کم‌انرژی از گرم شدن تاج نتیجه می‌شوند و به دمای $4 \times 10^6\ K$ می‌رسند. چگالی‌های فشرده نیز گسیل در خطوط فرابنفش و غیر مجاز را تقویت می‌کنند. در ارتفاعات بالاتر در تاج، یک شراره انفجارات رادیویی سینکروترونی[1] را در طول موج‌های متری تولید می‌کند.

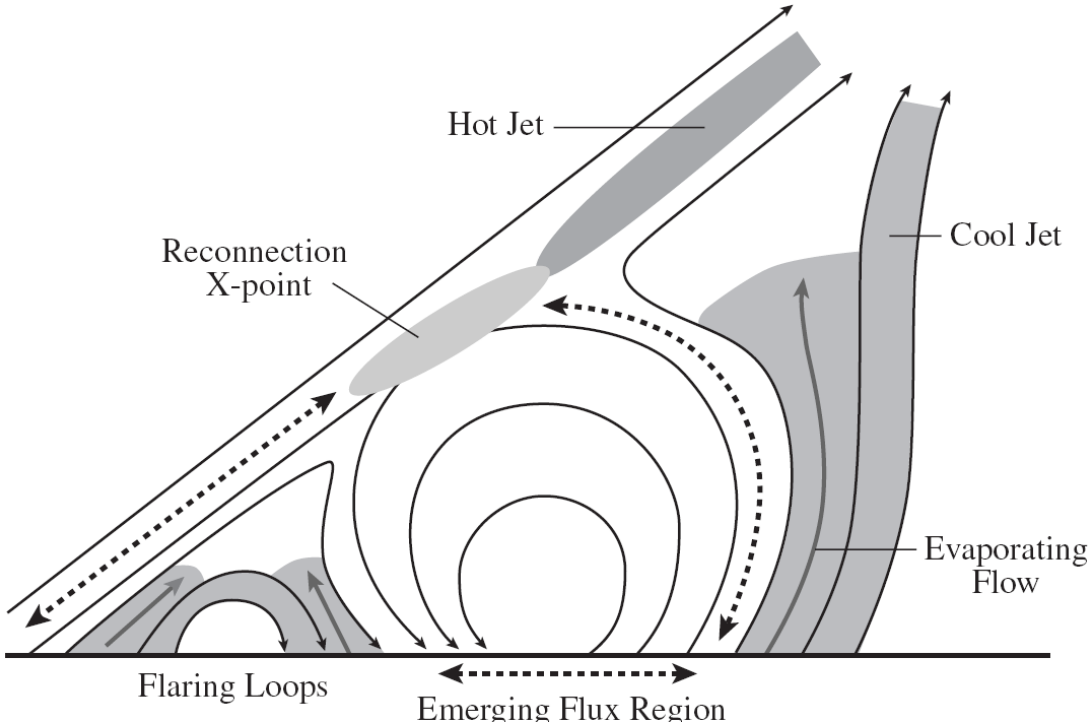
[1] Synchrotron

۲-۳) باز اتصالی[1] خطوط میدان مغناطیسی و شراره‌ها

تئوری باز اتصالی خطوط میدان در آغاز در ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ جهت تشریح آزاد سازی مقادیر عظیم انرژی شراره‌های خورشیدی مطرح شد. در این تئوری، خطوط میدان‌های مختلف‌الجهت با هم ترکیب می‌شوند و به طور مؤثری در ناحیه‌ای که با هم در تماس‌اند برش پیدا می‌کنند. خطوط اتصالی جدید، دارای انحنای تیزی می‌باشند. بنابراین یک تنش مغناطیسی قوی متحمل می‌شوند که باعث از هم گسیختگی آن‌ها می‌شود. این باعث می‌شود که ماده در جهت‌های مختلف شتاب پیدا کند. مثالی در این زمینه می‌تواند چلاندن و فشردن تیوب یک خمیردندان که دو انتهایش باز است، باشد.

الکترون‌های آزاد در گاز تاجی می‌توانند در امتداد خطوط میدان مغناطیسی، در صفحات نازک، جایی که میدان‌های مغناطیسی مختلف‌الجهت به همدیگر فشرده می‌شوند، (با همدیگر تماس پیدا می‌کنند) حرکت کنند. این خود باعث می‌شود تا جریان‌های بسیار بزرگ الکتریکی تولید شود که می‌توانند مغناطیس خود را مجدداً بوجود آورند و شکل مغناطیسی کلی را تغییر دهند. این جریان الکتریکی، گاز مقاوم را گرم می‌کند، درست به همان شیوه‌ای که جریان‌ها رشته‌های یک چراغ روشن را گرم نگه میدارند.

[1] Reconnection



شکل ۵) مدل بازاتصالی فوران‌ها (jets): در این مدل جت‌های تابش ایکس، یک میدان مغناطیسی بسته که از شید سپهر بالا آمده، با یک میدان مغناطیسی باز در تاج مواجه شده. میدان باز و بسته با هم ترکیب می‌شوند و در یک نقطه‌ی x شکل باز اتصالی می‌کنند، آن‌گاه انرژی خود را در قالب رویدادهای فورانی آزاد می‌کنند.

۲-۴) گرمایش تاج

پدیده‌ی گرمایش تاج بیش از ۵۰ سال است که بین پژوهش‌گران، جدل‌آمیز بوده است. اتفاق نظر بر آن است که منبع گرمایش تاج، مغناطیس است. اما طبیعت دقیق سازوکار آزادسازی انرژی غالب، هنوز هم مورد مجادله است. با بیان تاریخچه‌ای جزئی، دو دیدگاه متفاوت در مورد سازوکار گرمایش تاج را شرح می‌دهیم.

۲-۴-۱) دیدگاه موجی

شاتزمن[1] و شوارتزشیلد[2] و بیرمن[1] در ۱۹۴۸ و ۱۹۴۹ اولین بار گرمایش تاج توسط امواج صوتی را به طور مستقل ارائه دادند. در حال حاضر ما می‌دانیم که حرکات آشفته در ناحیه‌ی همرفتی، امواج صوتی را تولید

[1] Evry Schatzman
[2] Martin Schwartzschild

می‌کنند. در اواخر ۱۹۴۰ تصور می‌شد که حرکت رفت و برگشتی پیستون مانند سلول‌های همرفتی، دانه‌ها ، یک صوت رعدآسا در اتمسفر بالایی تولید می‌کند. از آن‌جایی که قسمت اعظم موج صوتی به قسمت داخلی شید سپهر بازتاب داده می‌شود و در آن‌جا به دام می‌افتد و قسمت کمی شانس فرار از شید سپهر و تخلیه‌ی انرژی در رنگین سپهر را دارند، که این خود منجر به تولید مقادیر عظیمی از انرژی در آن‌جا می‌شود، بنابراین رنگین سپهر پایین در واقع ممکن است توسط امواج صوتی که در ناحیه‌ی همرفتی بوجود می‌آید و توسط ضربه اتلاف می‌شود، گرم شود. اما در ۱۹۸۷، اثی[۲] و وایت[۳] مشاهداتی از *OSO*[۴] دریافتند که نشان می‌داد امواج صوتی مقدار کافی انرژی را به رنگین سپهر انتقال نمی‌دهند. این مشاهدات نشان می‌داد که ممکن است که امواج صوتی انرژی کافی برای گرمایش رنگین سپهر (در حدود ۱۰۰۰۰ درجه‌ی کلوین) را داشته باشند اما این مقدار خیلی کمتر از مقداری بود که برای گرمایش تاج مورد نیاز بود. این امواج با گذشت زمان به شدت میرا می‌شدند. آن‌ها می‌توانستند تا تاج پایین برسند اما نمی توانستند به سطوح بالاتر بروند. چرا که به خاطر گرادیان چگالی و دما در ناحیه گذار بازتاب می‌یابند. بدین منظور برای گرمایش تاج، گونه‌ی دیگری موج، باید معرفی می‌شد. یک موج مغناطیسی که بتواند به داخل تاج نفوذ کند و انرژی را به درون آن منتقل کند.

میدان مغناطیسی تاج خورشید، دائم به خاطر حرکات درونی خورشید در حال تغییر، پیچش، جنب و جوش و حرکت است. یک تنش، در مقابل حرکت مقاومت می‌کند و مانع آشفتگی میدان مغناطیسی می‌شود، که امواجی را تولید می‌کند که در طول میدان مغناطیسی انتشار می‌یابد. چیزی شبیه تار مرتعش. این امواج، ضربه ایجاد می‌کنند و به محض این‌که تولید شدند می‌توانند مسافت‌های زیادی را طی کنند و انرژی خود را در راستای میدان‌های مغناطیسی باز به تاج زیرین وارد می‌کنند. این امواج هم اکنون امواج آلفن نامیده می‌شوند که اولین بار در ۱۹۴۲ به طور ریاضی‌وار بحث شد و سپس در ۱۹۴۷ در مورد امکان گرمایش تاج، توسط آن بحث شد.. امواج آلفن، نوسانات تراکم ناپذیر عرضی هستند که در طول میدان‌های مغناطیسی منتشر می‌شوند. پارکر در ۱۹۸۷ اشاره کرد که امواج آلفن هیچ تمایلی برای از دست دادن انرژی را ندارند. همین عدم تمایل است که این امواج را از شید سپهر تا سطوح بالا می‌کشاند. سؤالی که این‌جا مطرح می‌شود این است که آیا این امواج، انرژی کافی برای گرم کردن تاج را دارند؟

---

[1] Lu Dwig Bierman
[2] R Grant Athay
[3] Oran R white
[4] Onsola Space Observatory