بسم الله الرحمن الرحيم
بسم الله الرحمن الرحيم
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران مرکزی
دانشکده علوم پایه

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد(M.Sc.)

گرایش: فیزیک اتمی مولکولی

عنوان:

مطالعه میرائی امواج آلفن در اثر اختلاط فازی در حضور ناحیه انتقال : سیخکهای خورشیدی

استاد راهنما :
آقای دکتر حسین عبادی

استاد مشاور:
آقای دکتر داود درانیان

پژوهشگر:
معصومه یوسف زاده

زمستان :۱۳۹۱

تشکر و قدردانی :

ضمن سپاس بیکران از خداوند بر خود لازم می دانم از جناب آقای دکتر حسین عبادی که با ارائه راهنمایی های مدیرانه و دلسوزانه خود، نظارت و سرپرستی این پایان نامه را بر عهده دا شته اند صمیمانه تشکر و قدردانی کنم. همچنین از زحمات آقای دکتر داود درانیان به عنوان استاد مشاور تشکر می‌کنم و از خانم دکتر شمس الزمان فرامرزی که زحمت داوری این پروژه را قبول کردند سپاسگزارم.

زمستان ۱۳۹۱

تعهد نامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب. معصومه یوسف زاده دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد نا پیوسته به شماره دانشجویی ۸۸۰۸۳۸۲۴۶۰۰ در رشته فیزیک که در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۳ از پایان نامه خود تحت عنوان: مطالعه میرائی امواج آلفن در اثر اختلاط فازی در حضور ناحیه انتقال : سیخکهای خورشیدی

با کسب نمره ودرجه دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می شوم:

۱- این پایان نامه حاصل تحقیق وپژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده ودر مواردی که از دستاوردهای علمی وپژوهشی دیگران(اعم از پایان نامه، کتاب ، مقاله و.....) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه های موجود، نام منبع مورد استفاده وسایر مشخصات آن را در فهرست ذکر ودرج کرده ام.

۲- این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی(هم سطح،پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها ومؤسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و.... از این پایان نامه داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

۴- چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط ومقررات رفتار نموده ودر صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام ونام خانوادگی:

تاریخ وامضاء:

بسمه تعالی

در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۳

دانشجـوی کارشناسی ارشد خانم معصومه یوسف زاده از پایان نامه خود دفـاع نمـوده و

بـا نمـره بحـروف و بـا درجـه مورد تصویـب قـرار گرفت.

امضاء استاد راهنما

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده

فصل اول :مقدمه و تعاریف

۱-۱:خورشید ۱۲
۱ -۱-۱: لایه های داخلی خورشید ۲
۱-۱-۲:لایه های سطحی و جو خورشید ۳
۱-۱-۳: پارامتربتا(β) در جو خورشید ۵
۱-۲:مسئله ی گرمایش تاج خورشید ٦
۱-۲-۱:گرمایش بوسیله ی امواج صوتی ٦
۱-۲-۲:نقش میدان مغناطیسی و امواج آلفن ۷
-اتصال مجدد مغناطیسی ۸
-جذب تشدیدی ۸
-اختلاط فازی ۹
۱-۳:اسپیکول ها(سیخک ها) ۹
۱-۳-۱:ویژگی های فیزیکی و ظاهری اسپیکولها ۱۲
قطر ۱۲
طول ۱۳
دما و چگالی ۱۳
حرکات و طول عمر ۱٤
تعداد ۱۵
۱-٤:فیزیک امواج آلفن ۱٦
۱-٤-۱:امواج آلفن برشی ۱۸
۱-٤-۲:آشنائی باروش اختلاط فازی امواج آلفن برشی ۱۸

فصل دوم:مدل نوسانات در اسپیکول ها و اختلاط فازی

۲-۱:نظریه ی مغناطو هیدرودینامیکMHD ۲۰
۲ـ ۱ـ۱ معادلات ماکسول ۲۰
۲-۱-۲:قانون آمپر ۲۱
۲-۱-۳:قانون اهم ۲۱
۲-۱-٤:معادله ی القای مغناطیسی ۲۲
۲-۱-۵:معادلات مغناطوهیدرودینامیک ایده آل ۲۳
۲-۲:رابطه ی پاشندگی امواج مغناطو هیدرودینامیک ۲٤

۲-۳:نوسانات در اسپیکول ها ۲۸
۲-۳-۱:نمونه های پدیده های نوسانی در اسپیکول ها ۲۹
-بررسی های گادزیف و نیکولسکی ۳۰
-بررسی های کوخیانیدزه و همکاران ۳۲
-بررسی های بارت دی پونتیه و همکاران ۳٤
۲-۳-۲:بررسی نوسانات در اسپیکول ها بااستفاده از داده های هینوده ۳٦
۲-٤:مدل آلفن برای نوسانات در اسپیکول ها ۳۸
۲-۵:تعبیرهای ممکن از نوسانات اسپیکول ها: کینک وجه ها یا امواج آلفن ٤۲
۲-٦:اختلاط فازی امواج آلفن ٤٦
۲-٦-۱:اختلاط فازی در امواج رونده ٤۹
۲-۷:مروری بر کارهای انجام شده ۵۰

فصل سوم:اختلاط فازی امواج آلفن در اسپیکول ها

۳-۱:مدل فیزیکی حاکم بر اسپیکول ها ۵٤
۳-۲:معادلات توصیف کننده ی مدل ۵۵
۳-۳:حل عددی معادلات و بررسی نمودارها و نتایج ۵۹
۳-٤:خلاصه ی نتایج ۷۳

فهرست منابع و مأخذ

منابع ۷٤
چکیده ی انگلیسی

فهرست جدولها

شماره ی جدول صفحه

جدول ۱-۱: دماوچگالی الکترونی اسپیکول ها در ارتفاعات مختلف ازسطح خورشید ۱٤

جدول ۱-۲: خلاصه ی نتایج بررسی رصدی نوسانات دراسپیکول ها..... ۳۷

فهرست شکلها

نام شکل — صفحه

شکل۱-۱: تصویری از اسپیکول های لبه خورشید که در طیف $ca\ II\ H$ ۱۰

شکل۱-۲:تصویری از اسپیکو ل های قرص خورشید..... ۱۱

شکل:۱-۳:آمواج آلفن:(Aغیرتراکمی(عرضی)وB) تراکمی(طولی) ۱۷

شکل۲ـ ۱:نمودارقطبی سرعت فازامواج مغناطو-صوتی برای $\frac{c_S}{v_A}=0.7$ ۲۸

شکل۲-۲:تغییرات زمانی سرعت های دوپلری و عرضی V_t , V_r ۳۰

شکل۲-۳:مسیرحرکت ۹اسپیکول از ۱۵ اسپیکول مطالعه شده،Tجابجائی عرضی..... ۳۱

شکل۲-٤:توزیع مکانی انتقال دوپلری برای یکی از سری های زمانی ۳۳

شکل ۲- ۵ : مقایسه ی سرعت های دوپلری مشاهده شده ۳۳

شکل ۲-٦ : تصویری برگزیده برای نشان دادن رفتار تناوبی..... ۳۷

شکل ۲ – ۷ : تغییرات دامنه ی جابجائی محور اسپیکول بر حسب ارتفاع ۳۸

شکل ۲ – ۸ : نمونه ای از جابجائی عرضی محور اسپیکول ها . A) ۳۹

شکل ۲ – ۹ : (A) تصویری از لبه ی خورشید که از رصدهای ذکر شده به دست آمده است ٤۰

شکل ۲ – ۱۰ : مقایسه بین جابجائی های عرضی و دامنه های سرعت مشاهده شده و شبیه سازی شده ٤۱

شکل ۲ – ۱۱ : تصویری از شبیه سازی انجام شده در خصوص انتشار امواج آلفن ۴۲

شکل ۲ – ۱۲ : نمودار جابجائی پلاسما در یک موج رونده با فرکانس ثابت ۴۸

شکل۲-۱۳:مدل فیزیکی برای بررسی اختلاط فازی امواج رونده..... ٤۹

شکل ۳ـ۱: ناحیه انتقال از رنگین سپهر به تاج را نشان میدهد شکل گویای..... ۵۷

شکل ۳-۲:شکل زیر پالس اولیه در صفحه (x-z) را نشان می دهد ٦۲

شکل ۳-۳: میدان مغناطیسی اختلالی اولیه در صفحه (x-z) نشان داده شده است..... ٦۲

شکل ۳-٤: تغییرات زمانی سرعت اختلالی را در نقطه x=1000km و z=1300km نشان می دهد..... ٦۳

شکل۳-۵: تغییرات زمانی سرعت اختلالی را در نقطه $x=1000km$ و $z=4000km$ نشان می دهد..... ٦۳

شکل۳-٦: تغییرات زمانی سرعت اختلالی را در نقطه x=1000km و z=6700km ٦٤

شکل۳-۷:تغییرات زمانی میدان مغناطیسی اختلالی را در نقطه $x=1000km$ و $z=1300km$ نشان میدهد..... ٦٤

شکل ۳-۸ تغییرات زمانی میدان مغناطیسی اختلالی را در نقطه $x=1000km$ و $z=4000km$ ۶۵

شکل۳ـ۹: تغییرات زمانی میدان مغناطیسی اختلالی را در نقطه $x=1000km$ و $z=6700km$..... ٦۵

شکل۳ـ۱۰: سرعت اختلالی در صفحه (x-z) برای زمان τ t=۱۰ نشان داده شده است..... ٦٦

شکل۳ـ۱۱: سرعت اختلالی در صفحه (x-z) برای زمان τ t=۳۰ نشان داده شده است..... ٦۷

شکل۳ـ۱۲: سرعت اختلالی در صفحه $(x\text{-}z)$ برای زمان t=۱۰۰ τ نشان داده شده است.....۶۷
شکل۳ـ۱۳: میدان مغناطیسی اختلالی در صفحه $(x\text{-}z)$ برای زمان t=۱۰ τ نشان داده شده است.....۶۷
شکل۳ـ۱٤: میدان مغناطیسی اختلالی در صفحه (x-z) برای زمان t=۳۰ τ نشان داده شده است.....۶۸
شکل۳ـ۱۵: میدان مغناطیسی اختلالی در صفحه $(x\text{-}z)$ برای زمان t=۱۰۰ τ نشان داده شده است.....۶۹
شکل۳-۱۶:نمودار تغییرات زمانی انرژی جنبشی(نرمالیزه شده به انرژی کل اولیه).....۷۰
شکل ۳-۱۷:نمودار تغییرات زمانی انرژی مغناطیسی(نرمالیزه شده به انرژی کل اولیه.....۷۰
شکل۳-۱۸:تغییرات زمانی انرژی کل(نرمالیزه شده به انرژی کل اولیه).....۷۱

.

فصل اول

مقدمه

در این فصل به معرفی مختصر جو خورشید می پردازیم و ضمن مطرح کردن مسئله ی گرمایش تاج، برخی از ساز و کارهائی را که تا کنون برای حل این مسئله مطرح شده است مرور می-کنیم. در ادامه عوارضی موسوم به اسپیکول ها (سیخکها) را معرفی و خصوصیات فیزیکی آن ها را بررسی می‌کنیم. سپس به معرفی امواج آلفن و آشنایی اولیه با روش اختلاط فازی می پردازیم.

۱-۱:خورشید

خورشیدیکی از میلیاردها ستاره ی موجود درکهکشان راه شیری و نزدیکترین ستاره به ماست بطوری که تنها ۸/۲ دقیقه طول می کشد تا نورخورشید به زمین برسد. قطرخورشید۱۳۹۲۰۰۰ کیلومتر (حدود ۱۰۹ برابر قطر زمین) و جرم آن ۲×۱۰^{۳۳} کیلوگرم (۳۳۰۰۰۰برابرجرم زمین) است. حدود ۹۹/۹۸درصد جرم کل منظومه ی شمسی درخورشید متمرکز شده است. از نظرترکیب شیمیائی، حدود سه چهارم خورشید از هیدروژن تشکیل شده است و مابقی آن تقریبا هلیوم است و تنها کمتر از۲ درصد این ترکیب شامل عناصرسنگین تر مانند اکسیژن، کربن، نئون و آهن است.

خورشید ستاره ای در رده ی طیفی G2 است و بنابراین دمای سطح برابر با۵۷۷۸ کلوین دارد. انرژی خورشید از طریق همجوشی هیدروژن- هلیوم درهسته اش تولیدمی شود، بطوری که در هر ثانیه بیش از ۶۰۰ میلیون تن هیدروژن در هسته ی خورشید می سوزد . با این توصیف، خورشید از بیش از ۸۳ درصد انواع ستاره های موجود در کهکشان روشن تر است. قدر مطلق خورشید ۴/۸و قدر ظاهری آن برای ناظر زمینی،۲۶/۷- است.

۱-۱-۱:لایه های داخلی خورشید

داخل کره ی خورشید را می توان بر اساس خصوصیات فیزیکی و رفتار پلاسما، به سه لایه تقسیم بندی کرد. از مرکز تا ۲۵ درصد شعاع خورشید را به عنوان هسته در نظر می‌گیریم که به منزله ی راکتو هسته ای خورشید و محل تولید انرژی است. چگالی هسته بسیار بالاست،۱۵۰ گرم برسانتیمتر مکعب (۱۵۰برابر چگالی آب). دمای این ناحیه ۱۳/۶میلیون کلوین است.

از ۲۵ درصد تا۷۰ درصد شعاع خورشید، ناحیه ای است که در آن انرژی تولید شده در هسته از طریق فرآیند تابش به لایه های بالاتر انتقال می یابد. این ناحیه به ناحیه ی تابشی موسوم است. در داخلی ترین قسمت این ناحیه دما ۷ میلیون کلوین است در حالی که این مقدار در بالاترین بخش ناحیه به ۲ میلیون کلوین کاهش می یابد. چگالی نیز در این فاصله حدود ۱۰۰برابر کاهش می یابد و ماده ی داخلی خورشید شفاف تر می شود.

از۷۰ درصدشعاع تا سطح خورشید، ناحیه ای است که انرژی بصورت همرفت منتقل می شود (ناحیه ی همرفتی). سلول های عظیم پلاسمای داغ، انرژی را از بالای لایه ی تابشی به سطح خورشیدآورده، سرد می شوند و دوباره به داخل خورشید منتقل می شوند و این فرآیندادامه می یابد. اثراین سازوکار را ما در سطح خورشید بصورت دانه دانه شدن سطح می بینیم.

۱-۱-۲:لایه های سطحی و جو خورشید

سطح مرئی خورشید، یعنی قسمتی از خورشید که از زمین در نور مرئی قابل رویت است، لایه ای از سطح است که در زیر آن پلاسمای خورشیدبرای عبورفوتونهای نور مرئی کدرمی شود. این لایه را با نام نورسپهر[1] خورشید می شناسیم. نورسپهر چند صد کیلومتر ضخامت دارد و چگالی و ترکیب آن به گونه ای است که از هوای موجود در جو زمین نیز شفاف تراست.چگالی عددی ذرات (الکترونها وپروتونها) در حدود $۱۰^{۲۳}$ بر مترمکعب است و این مقدار۰/۳۷ درصد چگالی ذرات جوزمین درسطح دریاست، هر چند که ذرات تشکیل دهنده ی جو، بیش از ۸۰ بار سنگینتر از ذرات سازنده ی نورسپهر خورشیداند . نور سپهر محل قرار گیری برخی از عوارض و ساختارهای مهم خورشید است، مثل لکه ها وسلولها یا دانه های همرفتی. این عوارض نشاندهنده ی سرنخ هائی ازفعالیت های داخلی خورشیدند و بررسی دقیق آنها می تواند به مدلسازی بهتر فرآیند های داخلی خورشید و همچنین به شناخت بیشتر و دقیقتر شرایط آب و هوائی زمین منجر شود.

[1] Photosphere

لایه ی بعد از نورسپهر، رنگین سپهر[1]نام داردکه تا ارتفاع۲۰۰۰ کیلومتری بالای نورسپهرامتدادمی یابد. این لایه، با دمای ۱۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰کلوین، تنها درگرفت های کلی خورشید قابل مشاهده است. برخی از ساختارهای عمده درجو خورشید مثل زبانه ها، سیخکها وشراره ها بیشتردر این لایه اتفاق می‌افتند. از این رو رنگین سپهر بسیار پویا و فعال است، با این حال به دلیل محدودیت های فنی و دقت ابزارها و رصد خانه های زمینی وفضائی، کمتر موردمطالعه قرار گرفته است.

بعداز رنگین سپهر تا ضخامت ۲۰۰۰کیلومتر، ناحیه ای قراردارد که درآن دما از ۲۰۰۰۰ کلوین در بالای رنگین سپهربه حدودیک میلیون کلوین درپائین تاج افزایش می یابد.این ناحیه راناحیه ی گذار[2] می نامیم. ناحیه گذاردرنورمرئی قابل رویت نیست، اما در طول موجهای فرابنفش و فرابنفش دور، توسط ابزارهائی که قابلیت آشکارسازی این طول موجها را دارند، مشاهده پذیر است.

ناحیه ی بعدی به تاج[3] معروف است. این لایه ازجو خورشیدتا چندین برابر شعاع خورشید امتداد می یابد و محل اصلی شکل گیری بادخورشیدی و عوارضی از قبیل لوله های تاجی، فوران های ماده وغیره است. دما در تاج، علی رغم چگالی پائین(10^{15} ذره بر متر مکعب) بسیار بالاست؛ یک تا دو میلیون کلوین! این موضوع که به مسئله ی گرمای تاج معروف است، از جمله ی اسرارگشوده نشده ی فیزیک خورشید است که تاکنون پاسخ قطعی به آن داده نشده است. هر چندسازوکارهای مختلفی درمقاطع زمانی مختلف مطرح شده است(که برخی از مهمترین آن ها را در ادامه مرور خواهیم کرد)، با این حال هیچ کدام از این سازوکارها تا کنون نتوانسته است توجیه کننده-ی چنین افزایش دمای غیر عادی باشد.

اگر بخواهیم تمام فضائی را که از خورشید تاثیرمی پذیرد لحاظ کنیم، می توانیم لایه ی بیرونی تری به نام خورشید کره[4] تعریف کنیم. این ناحیه که از حدود ۲۰ برابر شعاع خورشید آغاز می شود، ناحیه ای است که در آن ذرات متعلق به باد خورشیدی حضور دارند و برمنظومه ی شمسی تاثیر

[1] Chromsphere
[2] Transition Region
[3] Corona
[4] Heliosphere

می گذارند. خورشید کره بسیار گسترده فرض می شود، بطوری که تا مرزهای منظومه ی شمسی در نزدیکی مدارسیاره ی نپتون نیز می رسد،هرچند که شدت، سرعت و اثر گذاری باد خورشید در همه ی قسمت های این ناحیه یکسان نیست.

۱-۱-۳ : پارامتر بتا (β) در جو خورشید

میدان مغناطسی خورشید بر ذرات متحرک در جو آن، نیروی لورنتس وارد می کندکه باعث می شود این ذرات در یک مسیر مارپیچی حول خطوط میدان حرکت کنند. تنهادر دماهای بالایا میدان‌های مغناطیسی ضعیف که انرژی جنبشی ذرات از انرژی مغناطیسی بیشتر می شود، این ذرات می‌توانند از مسیر مارپیچیشان خارج شوند و در عرض خطوط میدان مغناطیسی نفوذ یابند.

پارامتری که ارتباط بین این دو حالت را برقرار می کند،پارامتر بتای پلاسما نام دارد و به صورت نسبت فشار حرارتی به فشار مغناطیسی تعریف می شود [۱] . بر حسب پارامترهای فیزیکی پلاسما، می توان بتا رابصورت زیر تعریف کرد:

$$\beta = \frac{p_{th}}{p_m} = \frac{2\xi n_e k_b T_e}{b^2/8\pi} \approx \frac{0.07\xi\left(\frac{n_e}{10^9}cm^{-3}\right)\left(\frac{T}{10^6}K\right)}{\left(\frac{B}{10^6}G\right)} \qquad (۱_۱)$$

که در آن ξ نسبت یونیزاسیون است که در تاج خورشید مقدار آن۱= ξ و در نورسپهر۰/۵= ξ است.K_B ثابت بولتزمن ، n_e چگالی الکترونی و T_eدمای الکترونی است.

بسیاری ازقسمت های تاج خورشیددارای بتای کوچکترازواحدهستندکه بین دوناحیه ی رنگین سپهر پائین و تاج خارجی خورشید($\beta>1$)محدودشده اند.ذرات دراین نواحی بصورت مغناطیسی مقید شده اند ودرحرکت خود مسیرخطوطمیدان رادنبال می کنند.برای ناحیه ای که اسپیکول ها در آن قرار دارند، با فرض مقادیرξ =0.6 ، $n_e=12.7\times10^{10}$ ، T=8000K و B=10G مقدار این پارامتر برابر با β=0.04 بدست می آید. بنابراین شرط β <1 برای ناحیه ای که اسپیکول ها قرار دارند با دقت بسیار خوبی برقرار است.

۱-۲:مسئله ی گرمایش تاج خورشید

اگر روند تغییرات دمای خورشید را از هسته به طرف سطح و پس ازآن تالایه های خارجی جو بررسی کنیم، روند نسبتا نا متعارفی را خواهیم یافت.دما در هسته ۱۵ میلیون کلوین است، بادور شدن از هسته دما کاهش می یابد وبه دمای سطحی ۵۸۰۰ کلوین در نورسپهرخورشید می رسد. با ورود به جو بیرونی خورشید، این روند بر عکس می شود و با افزایش دمائی مواجه می شویم که در لایه های بالای رنگین سپهر، مقدارش به ۱۰۰۰۰کلوین نیز می رسد. در این ارتفاع از سطح خورشید، در ناحیه ای موسوم به ناحیه ی گذار، دما به یکباره به مقادیری از مرتبه چند میلیون کلوین صعود می کند. این دما در سراسر تاج خورشید حاکم است، بطوری که بیرونی ترین و رقیق ترین لایه ی جو خورشید همواره دارای چنین دماهای بالائی است. این مسئله به گرمایش تاج خورشید معروف است و موضوعی است که علی رغم مطرح شدن سناریوهای مختلف، تاکنون پاسخ قطعی و روشنی به آن داده نشده است [۲].

تاج خورشید بین دو ناحیه با دمای پائین تر واقع شده است: نورسپهر و فضای میان سیاره ای . در چنین شرایطی تاج خورشید انرژی خود را بطور پیوسته از طریق تابش،رسانش و باد خورشیدی از دست می دهد. برای اینکه دمای تاج کماکان بالا باشد لازم است منبع مناسبی از انرژی برای گرمایش آن فراهم باشد. این منبع نمی تواند حرارتی باشد،زیرا به دلیل هدایت گرمائی زیاد تاج، دما به سرعت متعادل می شود. منبع تابشی نیز تاثیر کافی ندارد، زیرا یونهای هیدروژن ، هلیوم، آهن، کلسیم، نیکل و کبالت موجود در تاج نمی توانند تابش رسیده از نورسپهر را جذب کنند. بنابراین باید منبع حرکات مکانیکی یا میدان های مغناطیسی، و یا ترکیبی از این دو سبب فراهم شدن انرژ ی لازم باشند.

۱-۲-۱:گرمایش بوسیله ی امواج صوتی

اولین نظریه ای که برای حل این مسئله مطرح شد، گرمایش توسط امواج صوتی منتشر شده در جو خورشید بود. [۳] منشاء این امواج حرکات ناحیه ی همرفتی در نورسپهر خورشید است که در ادامه به امواج صوتی وضربه ای تبدیل شده ودرجوخورشید انتشار می یابند. با این حال اکنون مشخص شده است که این امواج انرژی کافی برای گرم کردن تاج ندارند و نهایتا می توانند در جو

پائین خورشید ، در نورسپهر سبب افزایش نسبی دما شوند.در واقع این انرژی چندین مرتبه ی مقداری از انرژی لازم برای گرم شدن تاج کمتر است. امواج صوتی با دوره ی کوچکتر از دوره ی قطع (حدود۲۰۰الی ۳۰۰ ثانیه) می توانند نورسپهر را گرم کنند. امواج صوتی با دوره ی ۴۰ تا۶۰ ثانیه در نور سپهر پائین، و امواجی با دوره های بیشتر مثل ۳۰۰ثانیه ، در نورسپهر بالاپراکنده می شوند و اصلا به ناحیه ی تاج وارد نمی شوند [۱].

۱-۲-۲:نقش میدان مغناطیسی و امواج آلفن

مدل های امروزی گرمایش تاج بر اساس میدان مغناطیسی خورشید تنظیم شده اند.از ویژگیهای حضورچنین میدانی در یک محیط پلاسمائی، وجود امواجی موسوم به امواج آلفن است. این امواج با سرعت آلفن در محیط منتشر می شوند. مدت زمانی که طول می کشد تا این امواج در یک ساختار مغناطیسی(مانند حلقه های تاجی) منتشر شوند زمان آلفن نامیده می شود. اگر زمان لازم برای وقوع پدیده های فیزیکی جو خورشید، مثلا حرکات نورسپهری که منجر به واپیچیدگی لوله های شار مغناطیسی می شود، از زمان آلفن بیشتر باشد امواج مغناطو هیدرودینامیکی تولید می شوند و میتوانند در ادامه طی فرآیندهائی سبب گرمایش تاج شوند.

در صورتی که بازه زمانی فوق ، از زمان آلفن کمتر باشد، حرکات سطح خورشید سبب ایجاد میدان های جریانی- مغناطیسی می شوند و این میدان ها به تاج خورشید نفوذ می کنند و در آنجا خطوط میدان با متصل شدن به همدیگراز طرف قطبهای مخالف،سبب آزاد شدن انرژی می شوند. به این ترتیب انرژی مغناطیسی به انرژی جنبشی ماده ی بالا رونده تبدیل می شود. این انرژی جنبشی از طریق فرآیندهای چسبندگی و اصطکاک، منجر به گرم شدن تاج می شود. (این فرآیند به اتصال مجدد مغناطیسی[1] معروف است). با این حال به دلیل اینکه امواج آلفن به سختی میرامی شوند [۴]، روشهای غیرمستقیم برای دادن انرژی این مواج به محیط تاجی مطرح شده است. در زیرچند نمونه از این روشها را مرور می کنیم.

[1] Magnetic Reconnection

- اتصال مجدد مغناطیسی

یکی از مکانیزم هائی که اخیرا در مورد گرمایش تاج خورشید مطرح شده است ، اتصال مجدد خطوط میدان مغناطیسی در رنگین سپهر خورشید است که ازطریق فرآیندهای ثانویه ای مانند تولید امواج ضربه ای مغناطو- صوتی یا ایجاد جریان های رو به بالای پلاسمای داغ ، سبب گرم شدن تاج می شود. دراین فرآیند، خطوط میدان با قطبشهای مغناطیسی مخالف که به صورت کاتوره ای در حرکت هستندبه هم برخورد می کنند و انرژی حاصل از این بر خورد در محیط آزاد می شود. به نظر می رسد درخششهائی که بصورت نقاط روشن درتصاویر اشعه ی ایکس خورشید ظاهر می شوند، نمود ظاهری این پدیده باشند. شبیه سازیهای انجام شده در مورد پدیده ی اتصال مجدد نشان می دهد که ایجاد لوله های شار کوچکتر و قطعه قطعه شده، جریان های الکتریکی قوی، امواج مغناطو صوتی سریع و جریانات بالا رونده ی پلاسما از جمله ی آثار رخ دادن چنین پدیده ای هستند. امواج ضربه ای ایجاد شده می توانند باسایر لوله های شار مغناطیسی برخورد کنند و سبب ایجاد امواج آلفن سطحی در آن ها شوند.

برخوردهای بین ساختارهای مغناطیسی کوچک مقیاس نتایج پیچیده تری به دنبال دارد و می تواند سبب ایجاد امواج ضربه ای با جبهه ی موج خمیده(غیر صفحه ای)شود که با انتشار یافتن در محیط، این خمیدگی بیشترمی شود.چنین جبهه های موج خمیده ایمتحمل گرادیان های بزرگ شتاب می شوند و برخوردهای بعدی بین آن ها سبب گرمایش موضعی و وران ماده به ناحیه ی تاج می شود.

- جذب تشدیدی[1]

یکی از ویژگیهای مهم امواج آلفن در محیط ناهمگن این است که خطوط میدان مغناطیسی مجاور می توانند با فرکانس خاص خودنوسان کنند. بنابراین یک نوسان کلی درمنطقه ی وسیعی از جو خورشید که شامل ناهمگنی درمیدان یاچگالی باشد، می‌تواند با یکی از این فرکانسهای موضعی در تشدید باشد و فرکانس نوسان این دوموج یکسان شود. به این ترتیب انرژی نوسانات بزرگ

[1] Resontant Absorption

مقیاس، به نوسانات موضعی منتقل می شود وطول مقیاسهائی ایجادمی شودکه درآن اتلاف انرژی امواج امکان پذیر می شود [۵].

در واقع انرژی این امواج از طریق چسبندگی و مقاومت محیط به انرژی گرمائی تبدیل می شود. این فرآیند در گرم شدن حلقه های تاجی بسیار موثر است [۱]و[۳].

-اختلاط فازی[1]

زمانی که امواج آلفن برشی(عرضی) در محیطی منتشر می شوند که شامل گرادیان های بزرگی در سرعت امواج آلفن است، که به دلیل ساختار لایه بندی شده ی چگالی در صفحات مجاور در محیط اتفاق می افتد،نوسانات امواج در این صفحات متحمل اصطکاک می شود، زیرا این امواج دارای سرعت های فاز مختلف هستند. این فرآیند را اختلاط فازی می نامند [۶].

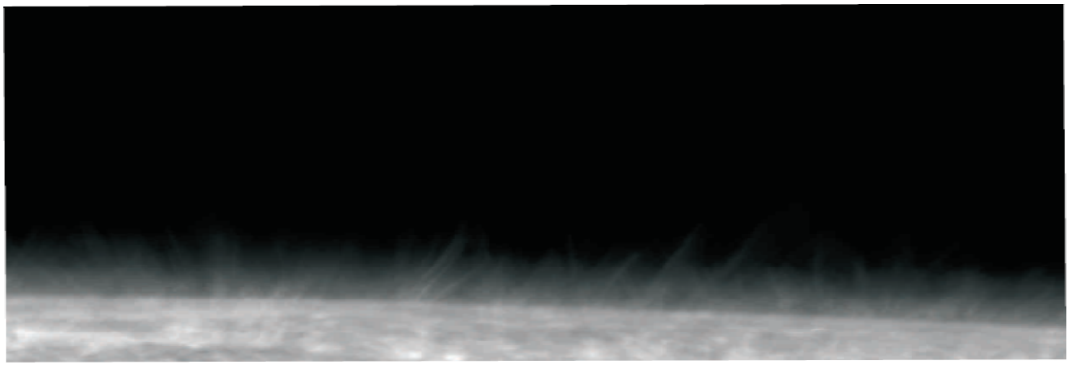
اختلاط فازی مکانیزم محتملی برای پراکندگی انرژی امواج آلفن در حلقه های بسته ی تاج و نیز در ساختاهای مغناطیسی بازی است ک ضریب بازتاب خوبی برای امواج آلفن داشته باشند، اگر اثر لایه بندی چگالی ناشی از گرانش را در حلقه های مغناطیسی تاج در نظر بگیریم، چگالی با ارتفاع کاهش می یابد و طول موج نوسانات نیز بیشتر می شود و در نتیجه اثر اختلاط فازی ضعیف تر می شود از اینرو اثراختلاط فازی بستگی زیادی به دامنه ی امواج آلفن برانگیخته شده، ساختار هندسی محیط مغناطیسی و ارتفاع مقیاس چگالی دارد و در محلی که چگالی های صفحات مجاور بیشترین اختلاف را داشته باشند شدیدتر است [۱].

۱-۳:اسپیکول ها[2](سیخک ها)

"اسپکول ها"عوارض سیخکی شکل و علف مانندی در جو پایین خورشید هستند که در خطوط طیفی رنگین سپهر خورشید در لبه ی خورشید مشاهده شده اند. این عوارض در سال ۱۸۷۷توسط"سچی [3]کشف شده و در سال ۱۹۴۵توسط روبرتز[4] به این اسم نامگذاری شدند [۷]. این

[1] Phase Mixing
[2] Spicules
[3] Secchi
[4] Roberts

عوارض باریک و کشیده، در تصاویر مرئی جو پایین خورشید قابل مشاهده اند و معمولا درخطوط طیفی$H\alpha$ (۶۵۶۲آنگستروم) و Ca ll H(۳۹۶۸آنگستروم) که خطهای نشری قوی در نورسپهر هستند قابل آشکارشکاری می باشند.



شکل۱-۱: تصویری از اسپیکول های لبه خورشید که در طیف***ca ll H*** توسط تلسکوپ نوری خوکرشیدی سوار برهینوده[1] گرفته شده است. این تصویر را از پردازش داده های هینوده بانرم افزار ***SSW***[2] بدست آورده ایم.

اسپیکول ها بعنوان جت های دینامیکی ماده با سرعت های حدود ۲۰ تا ۲۵ کیلوتر برثانیه از سطح نورسپهر تا رنگین سپهر و تاج پائین خورشید رانده می شوند و عموما شار جرمی حدود دو برابر باد خورشیدی را به جو پائین خورشید وارد میکنند. به این ترتیب بخش زیادی ازتابش انرژی در رنگین سپهر بالا و تاج پائین خورشید از اسپکول های خورشید ناشی می شود [۸].

[1] Hinode
[2] SSW (Solar Soft Ware)