



دانشکده علوم - گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش فیزیک نجوم

نوسانات حلقه-های تاج خورشید با مدل میدان مغناطیسی غیر یکنواخت

تریفه حداد

استاد راهنما

دکتر حسین صفری

دی ماه ۱۳۹۰

تقدیم به «پدر» بزرگواری به پاس
قلب بزرگش که فریاد رس است و
سرگردانی و ترس در پناهِش به شجاعت می‌گراید به
پاس محبت بی دریغی که فروکش نمی‌کند و انسانیتی
که در نبرد با ظلمت از پا در نمی‌آید،
تقدیم به «مادرم» به پاس عاطفه‌ی سرشارش
و تقدیم به «همسرم» به پاس تعبیر عظیم و انسانیش از کلمه
همسر و همراه.

سپاس

اسرار ازل را نه تو دانی و نه من

وین حرف معما نه تو خوانی و نه من

هست از پس پرده گفتگوی من و تو

چون پرده برافتد نه تو مانی و نه من

اکنون که به یاری و همراهی دوستان و همراهان بزرگووارم، در مرحله نهایی این دوره و نگارش پایان نامه قرار دارم، بر خود لازم می دانم از زحمات و راهنماییهای بی دریغشان قدر دانی نمایم. از استاد و معلم بزرگ زندگی ام، پدر عزیزم که بزرگ ترین درسهای زندگی را از او آموختم و مادر مهربانم که در سایه محبت بی بدیش لحظاتی زیبا را سپری نمودم صمیمانه سپاسگذارم. همین طور از خواهر و همسرم که همیشه در لحظات تلخ و شیرین زندگی یاری دهنده ام بودند. از استاد عزیز و گرانقدرم جناب آقای دکتر صفری که بزرگووارانه راهنما و روشنگر راهم بودند بی نهایت سپاسگذارم. و در نهایت از همکاران محترم شرکت خدمات بیمه ای آبیدر سبز استوار بالاخص مدیر کل محترم بیمه ایران استان کردستان، جناب آقای جمال یوسفی سپاسگذارم که در این مدت صبورانه از کاستیهای اینجانب چشم پوشی نمودند. ضروری است از کلیه دوستان عزیزم، خانمها تاران، مردمی، و قنبرزاده و نیز آقای دین محمدی که در طول دوره از هیچ گونه راهنمایی و یاری ای کوتاهی ننمودند قدر دانی نمایم و برای کلیه این عزیزان، آرزوی زندگی توأم با شادی و عشق را دارم .

چکیده

فصل اول این پایان نامه بررسی مختصری از ساختار خورشید و پدیده‌های آن می‌باشد. در فصل دوم بررسی امواج مغناطوهیدرودینامیکی و معادلات توصیف کننده‌ی این امواج را خواهیم داشت. در فصل سوم خصوصیات وجه سوسیسی و شرایط انتشار آن بررسی می‌گردد. در فصل چهارم نوسانات امواج مغناطوهیدرودینامیک در حلقه‌های تاج خورشید، در حضور لایه‌بندی چگالی و با در نظر گرفتن حالت میدان مغناطیسی غیر یکنواخت مورد مطالعه قرار گرفته است. چگالی در هر دو راستای شعاعی و طولی متغیر است. با حذف عوامل اتلافی و در نظر گرفتن معادلات MHD ایده‌آل به معادله‌ی بسل حاکم بر مؤلفه‌های طولی میدان دست می‌یابیم. سپس رابطه پاشندگی را نوشته و برای بدست آوردن فرکانسهای وجه سوسیسی ($m=0$) به طور عددی حل می‌شود. نتایج محاسبات عددی و نمودارهای بدست آمده آشکار می‌کند که:

۱- به دلیل حضور لایه‌بندی چگالی در لوله‌های شار، نسبت فرکانس نوسانات وجه برانگیخته به وجه پایه از ۲ کم‌تر می‌باشد و هرچه که پارامتر لایه‌بندی افزایش یابد اختلاف مقدار این نسبت از ۲ بیشتر خواهد بود.

۲- با افزایش طول لوله به پهنا فرکانس نوسانات افزایش می‌یابد.

۳- به دلیل فرکانس قطع که ناشی از چگالی و نسبت طول به پهنا می‌باشد، تعداد نوسانات سوسیسی در لوله‌های شار نسبت به سایر انواع نوسانات (کینک و پیچشی) کمتر است.

۴- با افزایش پارامتر لایه‌بندی فرکانس نوسانات وجه پایه و وجه برانگیخته افزایش می‌یابد.

فهرست

ت	چکیده
۱	فصل اول ساختار خورشید
۴	۱.۱ لایه‌های داخلی خورشید
۴	۱.۱.۱ هسته
۶	۲.۱.۱ ناحیه‌ی تابش
۶	۳.۱.۱ لایه‌ی گذار
۷	۴.۱.۱ لایه‌ی همرفت
۹	۲.۱ جو خورشید
۹	۱.۲.۱ شیدسپهر
۱۰	۱.۱.۲.۱ میدانهای مغناطیسی شیدسپهری
۱۱	۲.۱.۲.۱ لکه‌های خورشیدی
۱۳	۲.۲.۱ رنگین سپهر
۱۴	۳.۲.۱ لایه‌ی گذار
۱۶	۴.۲.۱ تاج
۱۸	۵.۲.۱ بادهای خورشیدی
۱۹	۳.۱ پارامتر بتای پلاسما

۲۰	۴.۱ میدانهای مغناطیسی خورشیدی
۲۴	۵.۱ گرمایش تاج
۲۵	فصل دوم: نوسانات مغناطوهیدرودینامیک
۲۶	۱.۲ مغناطوهیدرورینامیک
۲۷	۱.۱.۲ دلایل استفاده از تئوری مغناطوهیدرودینامیک در توصیف تاج
۲۸	۲.۲ معادلات مغناطوهیدرودینامیک
۲۹	۳.۲ خطی سازی معادلات مغناطوهیدرودینامیک
۳۱	۴.۲ معادله پاشندگی و قطبش
۳۱	۱.۴.۲ انتشار موازی
۳۵	۲.۴.۲ انتشار عمودی
۳۷	۳.۴.۲ انتشار کلی
۳۹	۵.۲ مغناطوهیدرودینامیک در حلقه‌های تاج
۳۹	۶.۲ انتشار امواج در لوله‌های شار مغناطیسی
۴۶	فصل سوم: نوسانات مد سوسیسی
۴۶	۱.۳ فرکانس قطع
۴۹	۲.۳ تناوب مدهای سوسیسی
۵۰	۳.۳ مشاهدات تصویری نوسانات سوسیسی
۵۲	۴.۳ مشاهدات غیر تصویری از نوسانات سوسیسی
	فصل چهارم: بررسی نوسانات تاج خورشید با مدل میدان مغناطیسی غیر یکنواخت و اثر

۵۶	لایه‌بندی چگالی بر نوسانات تاج خورشید
۵۸	۱.۴ تأثیر میدان مغناطیسی غیر یکنواخت بر روی نوسانات تاج خورشید
۵۸	۱.۱.۴ مدل و معادلات حرکت
۶۴	۲.۴ تأثیر لایه‌بندی چگالی بر روی نوسانات سوسیسی تاج خورشید
۶۵	۳.۴ تعیین رابطه پاشندگی
۶۵	۱.۳.۴ ویژه‌مدهای عملگر آلفن
۶۷	۲.۳.۴ ویژه‌مدهای سریع و حلقه‌های همگن شعاعی
۶۹	۴.۴ بسط خطی بر حسب پارامتر لایه‌بندی
۷۰	۵.۴ محاسبات عددی و نتیجه‌گیری

فهرست تصاویر

- شکل ۱: نمودار قدر رنگ ۲
- جدول ۱: خصوصیات اصلی خورشید ۳
- شکل ۲: لایه‌های داخلی خورشید ۳
- شکل ۳: امواج صوتی سطح خورشید ۹
- شکل ۴: لکه‌های خورشیدی ۱۳
- شکل ۵: پدیده‌های مشاهده شده در تاج خورشید ۱۵
- شکل ۶: نمودار دما بر حسب ارتفاع در جو ۱۶
- شکل ۷: نواحی آرام، فعال، و حفره‌های تاج ۱۹
- شکل ۸: مدل خطوط میدان مغناطیسی تاج خورشید ۲۱
- شکل ۹: میدان مغناطیسی در تقریب میدان دور دو قطبی مغناطیسی ۲۲
- شکل ۱۰: خطوط میدان مغناطیسی تک قطبی ۲۴
- شکل ۱۱: نمودار قطبی سرعت‌های فاز ۳۸
- شکل ۱۲: موقعیت تعادلی لوله شار مغناطیسی ۴۰
- شکل ۱۳: نمودار سرعت فاز امواج مغناطواکوستیک بر حسب عدد موج بدون بعد ۴۵
- شکل ۱۴: نمودار نسبت طول به پهناى حلقه بر حسب نسبت چگالیها ۴۸
- شکل ۱۵: نوسانات بر حسب زمان مشاهده شده در یک شراره ۵۱
- شکل ۱۶: نمودار بومباچ آلن ۵۴
- شکل ۱۷: نوسانات مد سوسیسی در حالت پایه و اولین حالت بر انگیزته ۵۵

شکل ۱۸: منحنی تغییرات فرکانس بی بعد وجه سوسیسی، مد پایه برای نسبت پهنا به طول ۰/۲ . ۷۲

شکل ۱۹: منحنی تغییرات فرکانس بی بعد وجه سوسیسی، اولین مد برانگیخته نسبت پهنا به طول ۰/۲ . ۷۳

شکل ۲۰: منحنی تغییرات فرکانس بی بعد وجه سوسیسی، مد پایه، نسبت پهنا به طول ۰/۲، پارامتر لایه بندی ۰/۰۱ . ۷۳

شکل ۲۱: منحنی تغییرات فرکانس بی بعد وجه سوسیسی، اولین مد برانگیخته، نسبت پهنا به طول ۰/۲، پارامتر لایه بندی ۰/۰۱ . ۷۴

شکل ۲۲: منحنی تغییرات فرکانس بی بعد وجه سوسیسی، مد پایه، نسبت پهنا به طول ۰/۳ . ۷۴

شکل ۲۳: منحنی تغییرات فرکانس بی بعد وجه سوسیسی، مد پایه، نسبت پهنا به طول ۰/۳، پارامتر لایه بندی ۰/۰۱ . ۷۵

شکل ۲۴: منحنی تغییرات فرکانس بی بعد وجه سوسیسی، اولین مد برانگیخته، نسبت پهنا به طول ۰/۳ . ۷۵

شکل ۲۵: منحنی تغییرات فرکانس بی بعد وجه سوسیسی، اولین مد برانگیخته، نسبت پهنا به طول ۰/۳، پارامتر لایه بندی ۰/۰۱ . ۷۶

شکل ۲۶: منحنی تغییرات فرکانس بدون بعد وجه سوسیسی، مد پایه، نسبت پهنا به طول ۰/۲، پارامتر لایه بندی ۰/۰۰۱ . ۷۶

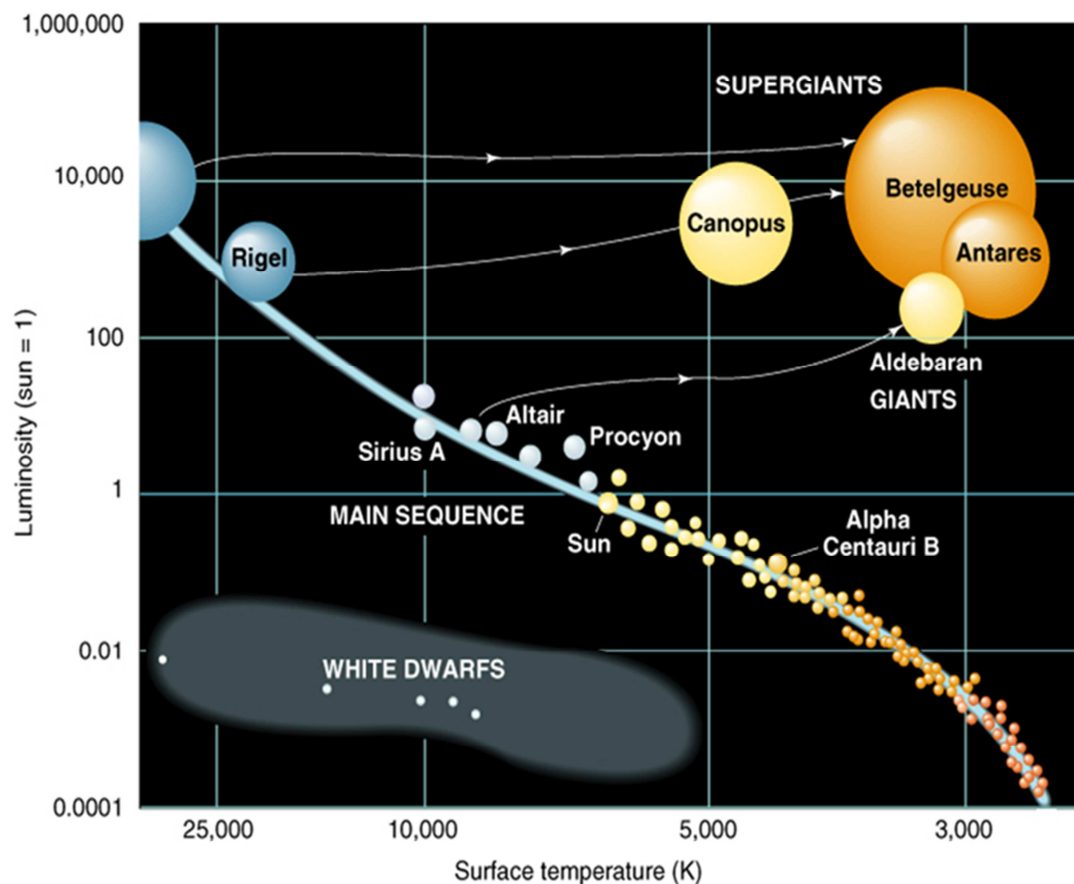
شکل ۲۷: منحنی تغییرات فرکانس بدون بعد شد وجه سوسیسی، اولین مد برانگیخته، نسبت پهنا به طول ۰/۲، پارامتر لایه بندی ۰/۰۰۱ .

فصل اول

ساختار خورشید

خورشید ما، ستاره کوتوله‌ی پرفلزی از رده طیفی $G2V$ (ستاره زرد رشته اصلی) است، شکل (۱). خورشید در مکانی پر از ماده میان ستاره‌ای، در فاصله بیست و شش هزار سال نوری از مرکز کهکشان راه شیری قرار گرفته است. اگر بسیار نزدیکتر از این می‌بود، احتمالاً زمین در معرض تابش‌های مضر از ابرنواخترها قرار گرفته، که مانع از تکامل جوی زیست دوست می‌شد، و یا در مکانی دورتر ممکن بود مقدار فلزات به اندازه کافی نبود، که سیاراتی مانند سیاره ما ایجاد شود. خورشید که در اثر انقباض یک سحابی پر انرژی به وجود آمد، درون بقایای چندین ابر نواختر قرار گرفته است، در حبابی از گاز هیدروژن یونیزه شده به وسعت تقریبی 600 در 1900 سال نوری، این محوطه که آن را به نام حباب محلی می‌شناسیم احتمالاً حدود 10 تا 15 میلیون سال پیش ازبادهای و فوران‌های حدود 20 ابر نواختر شکل گرفته است. خورشید جسم مرکزی و منبع انرژی منظومه خورشیدی ما که نزدیکترین ستاره و نماینده یک کره آتشین است دارای پیکره گازی داغ با شعاع 696×10^5 کیلومتر، جرم 1.98×10^{30} گرم و دارای تابندگی 3.8×10^{26} وات (جدول ۱)، با عمری در حدود 4×10^9 سال می‌باشد. این ستاره در بازوی مارپیچ کهکشان راه شیری واقع شده است و به دلیل نزدیکی آن به سیاره زمین آزمایشگاهی مناسب برای مطالعات پلاسمای اختر

فیزیکی، مغناطوهیدرودینامیک، فیزیک اتمی و فیزیک ذرات می باشد. با شناخت خورشید به عنوان ستاره‌ای متوسط در عالم می‌توان طیف عظیمی از ستارگان را شناخت. ۹۲٫۱ درصد از حجم این ستاره حیات بخش را هیدروژن ۷٫۸ درصد از آن را هلیوم و ۰٫۱ درصد مابقی آن را عناصر سنگینتر تشکیل می‌دهد. طیف تابشی آن در برگیرنده تمام طول موجها از اشعه گاما، اشعه ایکس سخت و نرم، اشعه ماورای بنفش، نور مرئی، مادون قرمز تا طول موجهای رادیویی می‌باشد. خورشید را به چهار قسمت اصلی (۱) هسته، (۲) ناحیه تابش، (۳) ناحیه همرفت و (۴) اتمسفر تقسیم می‌کنند. اتمسفر خورشید نیز خود از سه ناحیه تشکیل یافته است (شکل ۲).

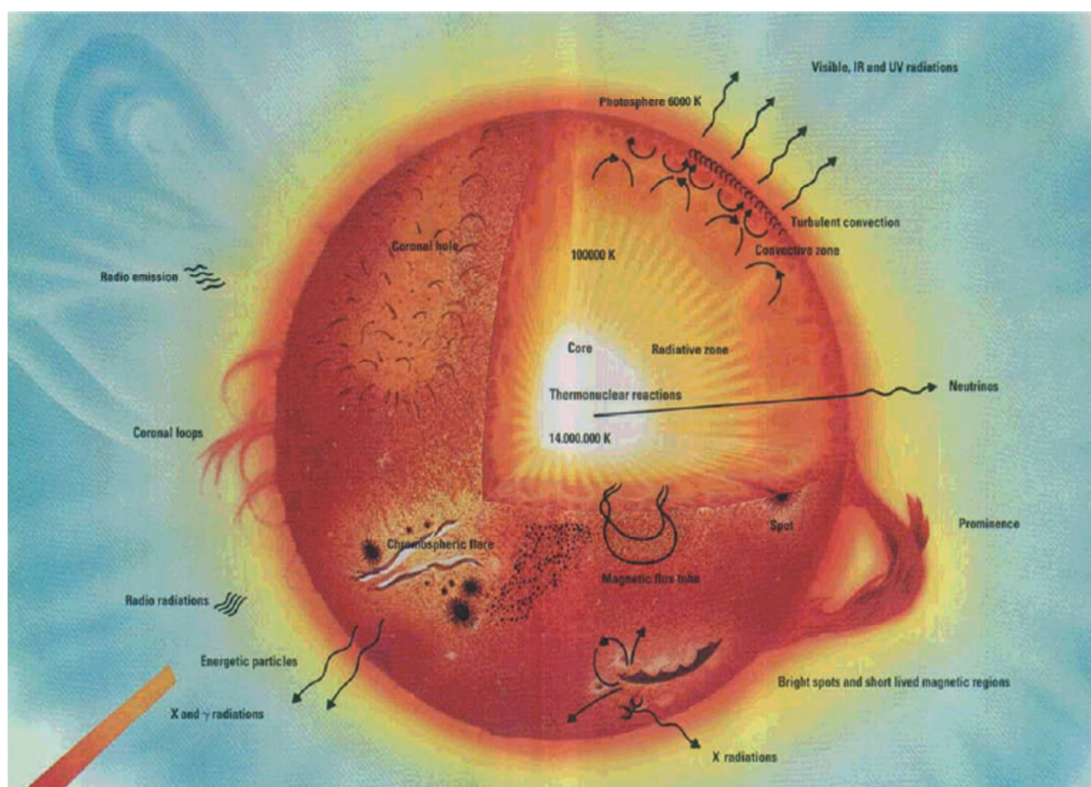


Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

شکل ۱: نمودار قدر رنگ [۱].

پارامترهای فیزیکی	مقادیر عددی
شعاع خورشید	690/000 km
جرم خورشید	$1/989 \times 10^{33}$ gr
چگالی متوسط	$1/409$ g cm ⁻³
گرانش سطحی خورشید	274 m s ⁻²
سرعت فرار در سطح خورشید	$617/7$ km s ⁻¹
دوره چرخش هلالی	P=27/3 (استوا)
دوره چرخش نجومی	P=25/4 (استوا)
متوسط فاصله از زمین	149,870,097 km
تابندگی خورشید	$3/844 \times 10^{26}$ w
عمر خورشید	$4/57 \times 10^9$ سال
دمای مرکز خورشید	$15/7 \times 10^7$ k
دمای سطح خورشید	6400 k

جدول ۱: مقادیر عددی پارامترهای خورشیدی: سن، شعاع، جرم، تابندگی و [۲].



شکل ۲: نمایش ساختار لایه‌های داخل خورشید [۲].

۱.۱ لایه های داخلی خورشید

بیان ساختار فیزیکی داخل خورشید اغلب بر پایه مدل‌های تئوری استوار است که مشتمل است بر:

(۱) کمیت‌های کلی مانند سن، شعاع، تابندگی و انرژی کل خروجی از خورشید.

(۲) اندازه گیری لرزه‌شناسی خورشیدی^۱.

(۳) شار جریان نوترینو^۲ که امروزه به عنوان یکی از عناصر دست نخورده خارج شده از داخل خورشید شناخته می‌شود که حاوی اطلاعات مهمی از داخل آن می‌باشد.

دو نوع مدل برای مطالعه داخل خورشید داریم: (۱) مدل تعادل هیدروستاتیکی^۳ که شامل تعادل بین فشار حرارتی و فشار گرانشی است. (۲) شبیه سازی وابسته به زمان تکامل خورشید.

۱.۱.۱ هسته

منبع انرژی خورشیدی در سال ۱۹۲۰ کشف شد. زمانی که هانس بس^۴ و جرج گامو^۵ یک زنجیره واکنش‌های هسته‌ای که تولید کننده انرژی خورشید بود را کشف کردند. تعریف ساده همجوشی عبارت است از فرورفتن هسته‌های چند اتم سبکتر و تشکیل یک هسته سنگینتر، واکنش‌های هسته‌ای اصلی یا همجوشی هسته‌ای واقع در هسته خورشید شامل تبدیل هیدروژن به هلیوم است.

^۱ Helioseismology

^۲ Neutrino

^۳ Hydrostatic equilibrium

^۴ Hans Bethe

^۵ George Gamow

این زنجیره واکنش هسته‌ای را زنجیره p-p^۱ می‌نامند، که از گدازش دو پروتون و تشکیل دوتریم، ^۳He، ^۶Li، ^۷Be و سر انجام ^۴He تولید می‌شود. در ستارگان رشته اصلی که خورشید ما هم جزو آن است از همجوشی هسته‌ای چهار اتم هیدروژن یک هسته اتم هلیم به وجود می‌آید، انجام این واکنش به دمای مرکز ستاره بستگی دارد. اگر دما کمتر از چند میلیون درجه باشد همجوشی روی نمی‌دهد. در دمای بین ۵ تا ۱۵ میلیون کلون همجوشی به صورت چرخه p-p رخ خواهد داد. در دماهای بالاتر فرآیند دیگری که به چرخه کربن مشهور است روی می‌دهد. مقدار انرژی که هر بار از تبدیل چهار اتم هیدروژن به یک اتم هلیم به دست می‌آید در مقایسه با ماده از دست رفته بسیار زیاد است. جرم هسته هیدروژن 1.67×10^{-24} گرم است، جرم حاصل از ترکیب چهار پروتون 6.68×10^{-24} گرم و جرم هلیم 4.00×10^{-24} گرم است. پس اختلاف بین این دو 0.05×10^{-24} گرم خواهد بود که تبدیل به انرژی شده و با توجه به فرمول $E=mc^2$ مقدار بزرگی خواهد بود. به طوری که در شکل گیری یک گرم هلیم 10^{19} گرم انرژی آزاد می‌شود. میزان کل انرژی تابشی خورشید 4×10^{33} گرم در ثانیه است. اگر حدود ۱ درصد جرم کلی خورشید در این فرآیند به انرژی تبدیل شود عمر مورد انتظار خورشید ۱۵۰ میلیارد سال است در واقع با محاسبه فرآیندهای جاری در مرکز ستارگان تنها حدود ۱۰ درصد هیدروژن می‌تواند به هلیم تبدیل شود زیرا همجوشی هسته‌ای تنها در دمای بالای مرکز ستاره به وقوع می‌پیوندد و تنها هسته مرکزی ستاره در اثر فرآیندهای هسته‌ای به هلیم تبدیل می‌شود از این رو عمر واقعی خورشید 10^{10} سال است. تراکم مواد در هسته ۱۵۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. دمای زیاد و تراکم زیاد باعث شده فشار در هسته ۲۰۰ میلیارد برابر فشار در مرکز زمین باشد. هسته تنها ۲ درصد حجم خورشید را دارا است اما تقریباً نیمی از جرم خورشید در هسته است.

۲.۱.۱ ناحیه‌ی تابشی

ناحیه بعد از هسته ناحیه‌ی تابش نامیده می‌شود. جایی که انتقال انرژی توسط جذب و گسیل صورت می‌گیرد فرآیندی که در آن پروتونها با انرژی اشعه ایکس^۱ جذب و گسیل می‌شوند. ناحیه تابشی ۳۲ درصد از حجم و ۴۸ درصد از جرم خورشید را شامل می‌شود. نام ناحیه تابشی از آنجا ناشی می‌شود که انرژی در این ناحیه از طریق تابش منتقل می‌شود فوتونها^۲ از هسته بیرون آمده و از لایه‌های پایدار گاز می‌گذرند، اما در میان ذره‌های چگال گاز پراکنده شده و معمولاً هر فوتون برای پیمودن این ناحیه می‌تواند 10^6 سال در راه باشد. به علت پایین‌تر بودن دما در این ناحیه تعدادی از اتمها دست نخورده باقی مانده‌اند این اتمها می‌توانند انرژی جذب کنند و برای مدتی در خود ذخیره نمایند سپس آن را به شکل تابشی جدید گسیل کنند و بدین ترتیب انرژی تولید شده در هسته توسط فرآیندهای متعدد جذب و گسیل مجدد در ناحیه تابش به طرز کاملاً کاتوره‌ای پخش می‌گردد یعنی فوتونی که هسته را ترک می‌کند به طور مستقیم به سطح نمی‌رسد بلکه دستخوش برخوردها، پراکندگی، جذب و گسیل می‌شود و در واقع انرژی اینگونه از اتمی به اتم دیگر منتقل می‌شود. چگالی این ناحیه ۲۲ گرم بر سانتی متر مکعب و درجه حرارت آن ۸ هزار کلوین می‌باشد. در بالای این ناحیه چگالی به $0/2$ گرم بر سانتی متر مکعب می‌رسد و حرارت کاهش می‌یابد. ساختار ناحیه تابشی از زمان تولد خورشید بسیار پایدار بوده است، همچنین درصد عناصر از بالای ناحیه تابش تا سطح خورشید تقریباً یکسان است.

X-ray^۱
Photon^۲

۳.۱.۱ لایه گذار^{۱۰}

لایه گذار ناحیه همرفت و تابش را از هم جدا می کند. با بررسی دقیق لکه های خورشیدی در عرضهای مختلف خورشید ثابت شد که سطح خورشید همانند جسمی صلب حرکت نمی کند. بررسیهای زمینی و مشاهدات سوهو^{۱۱} نشان می دهند که این چرخش دیفرانسیلی در انتهای منطقه همرفت متوقف می شود. خورشید در سرتاسر منطقه تابش و احتمالاً در هسته اش هر ۲۷ روز یک بار مثل جسم صلبی می چرخد، این برش یا تغییر ناگهانی در نوع چرخش و نحوه انتقال انرژی در لایه های نازک میان منطقه های تابش و همرفت اتفاق می افتد اگرچه لایه گذار بسیار نازک است و فقط ۲ درصد شعاع خورشید را در بر می گیرد، تصور می شود که این ناحیه محل تولید میدان مغناطیسی خورشید باشد. وجود این ناحیه در عرض جغرافیایی کم و در انتهای ناحیه همرفت قطعی است اما در عرض جغرافیایی بالا با قطعیت کمتری دیده می شود. تغییرات شیمیایی نیز در این ناحیه دیده می شود.

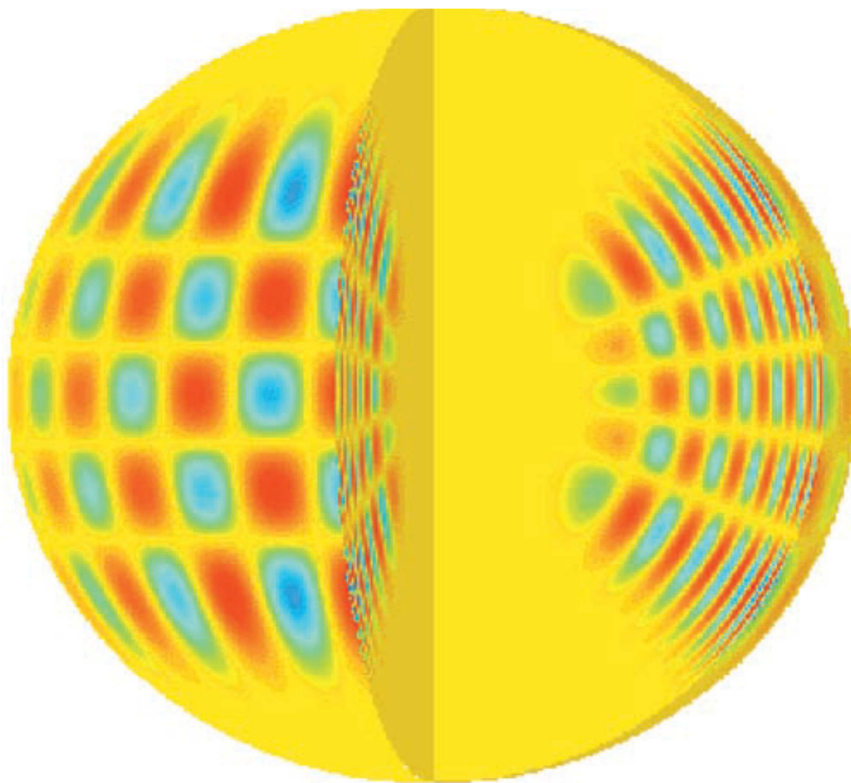
۴.۱.۱ لایه همرفت

این لایه از فضای ۰٫۷ شعاع خورشید تا سطح زیرین شیدسپهر^{۱۲} کشیده شده است. در این ناحیه پلاسمای خورشیدی به اندازه کافی داغ و پرچگال نیست به همین دلیل انتقال انرژی گرمایی از طریق تابش امکان پذیر نمی باشد در نتیجه همرفت گرمایی اتفاق می افتد که این همرفت به صورت ستون های گرمایی مواد داغ را به سطح خورشید حمل می کند به این ترتیب گازهای داغ به سمت بالا صعود می کنند. در خورشید بر اثر فعالیت منطقه ای همرفتی ارتعاشاتی صورت می گیرد و

Tachocline^۳
Solar and Heliospheric Observatory(SOHO)^{۱۱}
photospher^{۱۲}

این ارتعاشات سبب می‌شوند که کل خورشید به ارتعاش درآید. میلیونها موج صوتی در نور تابش شده از سطح خورشید انتقال‌های دوپلری جزئی ایجاد می‌کنند و به این شکل شناسایی می‌شوند. وقتی گاز بالا می‌آید، نور اندکی به سمت آبی طیف و هنگامی که گاز دوباره به پایین بر می‌گردد، اندکی به سمت قرمز انتقال می‌یابد (شکل ۳). امواج لرزه‌های خورشیدی سبب تغییر روند عادی حرکت و سرعت گاز درون خورشید می‌شود. این تغییرات جزئی در همرفت گاز به صورت جابه‌جایی دوپلری خطوط طیفی دیده می‌شود. امواج صوتی مثل یک وسیله دقیق اندازه‌گیری دما، ترکیبات شیمیایی و حرکتهای موجود تا هسته‌ی خورشید عمل می‌کنند. در منطقه همرفت انرژی با حرکات مختلف پلاسما منتقل می‌شود. گاز داغ‌تر به سمت سطح بالا می‌آید و گاز سردتر به سمت مرکز پایین می‌رود. سلولهای همرفتی که به آنها دانه می‌گویند با ابعادی بسیار بزرگ به سمت رنگین‌سپهر^{۱۳} بالا می‌آیند. دانه‌ها با سرعت ۱۶۰۰ کیلومتر بر ساعت به سمت بالا حرکت می‌کنند و به هنگام پدیدار شدن داغ و درخشانند و با از دست دادن انرژی به سرعت سرد و تیره می‌شوند. گازهای دانه پس از سرد شدن دوباره به درون خورشید می‌روند تا باز گرم شوند. خورشید بیش از ۱۰ میلیون درجه صوت مختلف را در آن واحد ایجاد می‌کند. ارتعاشات گازهای خورشیدی از نظر مکانیکی شبیه ارتعاشات صوتی می‌باشد. بیشتر امواج صوتی خورشید از سلولهای حرارتی موجود در توده‌های متراکم گاز در اعماق خورشید سرچشمه می‌گیرد. سلولها انرژی را تا سطح خورشید بالا می‌آورند در هنگام سقوط و پایین رفتن سلولهای حرارتی ارتعاش شدیدی به وجود می‌آید، این ارتعاش باعث می‌شود که امواج صوتی از درون سلولها خارج شوند. از آنجا که اتمسفر خورشید غلظت کمی دارد امواج صوتی نمی‌توانند در آن به جریان درآیند، در نتیجه وقتی که یک موج به سطح می‌رسد مجدداً به درون خورشید باز می‌گردد بنابراین قسمت کوچکی از سطح حرکت تند و سریعی به بالا و پایین پیدا می‌کند. دما در پایین این لایه ۲ میلیون کلوین و در بالای

لایه ۵۷۰۰ کلون می‌باشد. چگالی 2×10^{-4} گرم بر سانتی‌مترمکعب است. ۶۶ درصد حجم خورشید را این لایه تشکیل می‌دهد ولی ۲ درصد جرم خورشید را در خود دارد.



شکل ۳: نمایش تصنعی امواج صوتی سطح خورشید [۲].

۲.۱ جو خورشید

جو خورشید شامل ۵ ناحیه می‌شود:

۱.۲.۱ شیدسپهر

لایه مرئی دانه دانه خورشید است که ضخامت آن در حدود ۵۰۰ کیلومتر است. این لایه چگال‌ترین و سردترین قسمت جو خورشید است. شیدسپهر لایه سطحی خورشید است جایی که

تغییرات میدان مغناطیسی، نوسانات ارتعاشی، لکه‌ها و بسیاری چیزهای دیگر در آن مشاهده می‌گردد. دانسته‌های ما درباره شیدسپهر بیان می‌دارد که میدانهای مغناطیسی قوی در سطح این لایه به خوبی قابل مشاهده است. دما در شیدسپهر اساساً توسط تعادل بین گرمایش^{۱۴} و سرمایش^{۱۵} تعیین می‌گردد. تابش گرمایی (به دلیل ماهیت جذب فوتون توسط ماده) و تابش سرمایشی (به دلیل انتشار فوتون توسط ماده) صورت می‌گیرد. در مبحث شرایط تعادل تابشی J را خواهیم داشت که متوسط شدت میدان است که با S تابع منبع تحت شرایط فوق برابر خواهد بود. آهنگ گرمایش شبکه $J-S$ (گرمایش منهای سرمایش) می‌باشد بنابراین زمانی شیدسپهر در تعادل خواهد بود که این دو کمیت با هم برابر باشند. با استفاده از تقریب ادینگتون^{۱۶} برای تغییرات این دو کمیت خواهیم داشت:

$$J(\tau) = \frac{3}{4\pi} \sigma_R T_{eff}^4 \left(\tau + \frac{2}{3} \right) \quad (1-1)$$

$$S(T) = \sigma_R T^4 / \pi \quad (2-1)$$

از برابر قرار دادن این دو رابطه یک رابطه برای $T(\tau)$ خواهیم داشت. در نتیجه برای شیدسپهر

$$T = T_{eff} \approx 5770 \text{ و } \tau = \frac{2}{3} \text{ کلوین می باشد [۳].}$$

دما در پایین ترین بخش شیدسپهر ۶۴۰۰ کلوین و در بالای آن ۴۴۰۰ کلوین می‌باشد و به دلیل همین اختلاف دما، تصویری که از خورشید ظاهر می‌شود در مرکز درخشان تر از لبه‌ها می‌باشد، این پدیده به نام پدیده تاریکی لبه^{۱۷} شناخته شده است.

^{۱۴} Heating
^{۱۵} cooling
^{۱۶} Eddington approximation
^{۱۷} Limb darking

۱.۱.۲.۱ میدانهای مغناطیسی شیدسپهری

بیشتر آنچه ما درباره میدانهای مغناطیسی خورشیدی می‌دانیم از میدانهای مشاهده شده در شید-سپهر استنباط شده است که با استفاده از خطوط طیف تابشی اثر زیمن^{۱۸} در طول موجهای مرئی به دست آمده است. از طرح دو بعدی میدانهای مغناطیسی شیدسپهری وضعیت سه بعدی تاج، که منشاء آنها اجزای شارش یافته از سطح شیدسپهر به تاج می‌باشد را می‌توان پیش بینی کرد. به وجود آمدن شار مغناطیسی از لایه‌گذار در زیر لایه همرفت اتفاق می‌افتد جایی که میدانهای مغناطیسی به شکل لوله‌های شار مانند بر سطح شیدسپهر ظاهر می‌شوند. میدانهای مغناطیسی ظاهر شده بر سطح دارای قدرتهای زیاد در حد چند کیلو گوس^{۱۹} می‌باشند. میدانها با قدرت بالا به دلیل حرکت همرفتی اغلب بر روی نواحی فعال مشاهده می‌شوند.

۲.۱.۲.۱ لکه های خورشیدی

لکه ها از زمانی که در سال ۱۶۱۰ میلادی به وسیله گالیله^{۲۰} کشف شدند، پیوسته مورد مطالعه بوده‌اند. بیشتر لکه‌ها از دو بخش تشکیل شده‌اند که از حیث تیرگی با یکدیگر خیلی تفاوت دارند. قسمت داخلی که تیره‌تر است سایه نامیده می‌شود که اطراف آن را ناحیه‌ی نیمه تاریک نیم سایه احاطه کرده است. در واقع این لکه‌ها در کنار زمینه‌ی درخشان خورشید تیره به نظر می‌رسند. مغناطیس بسیار قوی خورشید از داخل خورشید بیرون می‌جهد و در نقطه ای که این توده بار مغناطیسی از خورشید خارج و سپس دوباره داخل آن می‌شود یک جفت لکه ایجاد می‌گردد. در واقع لکه‌ها مرکز تمرکز میدانهای مغناطیسی می‌باشند که شدت این میدان با اندازه لکه تغییر می-

^{۱۸} Zeeman effect
^{۱۹} Gauss
^{۲۰} Galileo