دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

ناپایداری همرفتی در خوشه های کهکشانی

مریم خالصی

پایان‌نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد اختر فیزیک

استاد راهنما

دکتر مهدی خواجوی- دکتر محسن شادمهری

بهمن ۹۰

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم،

همسر فداکارم

و همه آنهایی که دوستشان دارم

سپاس خدایی را که یادش همیشه باعث آرامشم است؛

سپاس خدایی را که در همه مراحل زندگی پشتیبانم بوده و هست؛

سپاس خدایی را که داده‌هایش از روی رحمت است و نداده‌هایش از روی حکمت.

از استاد گرانقدر و فرهیخته‌ام آقای دکتر شادمهری، نهایت تشکر و قدردانی را دارم. برای ایشان و خانواده محترمشان آروزی سلامتی، سعادت و موفقیت دارم. همچنین از آقای دکتر خواجوی به خاطر راهنمایی هایشان نهایت تشکر را دارم.

از استاد ارجمند آقای دکتر عباسی که داوری پایان‌نامه را قبول کردند و آقای دکتر خالصه که دعوت مرا برای شرکت درجلسه دفاع قبول کردند، کمال تشکر را دارم.

از دوستان عزیزم خانم زهرا عنایتی و خانم آسیه یعقوبی که مرا در به پایان رساندن این پایان نامه کمک زیادی کردند، نهایت تشکر را دارم.

خالصی

بهمن ۹۰

چکیده

مطالعات اخیر نشان می دهند که هسته های فعال کهکشانی و پرتوهای کیهانی، همرفت رادر یک محیط میان کهکشانی تحریک می کنند؛ و همرفت، گاز میان کهکشانی یک خوشه راگرم می کند. در این تحقیق، ناپایداری همرفتی رادر محیط میان کهکشانی یک خوشه کهکشانی بررسی می کنیم. گاز محیط میان کهکشانی کم-برخورد است و درنتیجه، گرما فقط در راستای خطوط میدان مغناطیسی هدایت می شود. ما تحلیل های قبلی را با وارد کردن پرتوهای کیهانی و سرمایش سامانه بسط می دهیم. پایداری حالت تعادلی ای رابررسی می کنیم که در آن شتاب گرانشی در راستای $z-$ و میدان مغناطیسی در صفحه $(x-z)$ است و فشارمغناطیسی بسیار کمتر از فشار گرمایی $(\beta \gg ۱)$ است. براین اساس رابطه پاشندگی برای ناپایداری همرفتی در این سامانه ها را به دست می آوریم.

کلمات کلیدی: همرفت، خوشه های کهکشانی، محیط میان خوشه ای، ناپایداری ها، معادلات مغناطوهیدرودینامیک MHD، پلاسماها

مقدمه

گروه هایی پر تعداد از کهکشانها؛ موسوم به خوشه های کهکشانی همواره مورد توجه اخترشناسان بوده اند. به ویژه ساختار دینامیکی و گرمایی خوشه های کهکشانی از اهمیت بسزایی برخوردارند. اگر آهنگ سرمایش یک خوشه ی کهکشانی را محاسبه کنیم، به نظر می رسد از سایر مقیاس های زمانی مهم؛ کمتر باشد. این بدان معنی است که باید جریان های عظیم سرد شونده در یک خوشه ی کهکشانی شکل گیرند. ولی مشاهدات چنین چیزی را نشان نمی دهند. این مساله که به معمای جریان های سردشونده در خوشه های کهکشانی مشهور است، هنوز هم کاملاً حل نشده است و یکی از زمینه های هیجان انگیز تحقیقات معاصر محسوب می شود. سازوکارهای مختلفی برای فرایندهایی که چنین سامانه ای را گرم می کنند تا از شکل گیری جریان های عظیم سردشونده جلوگیری شود؛ پیشنهاد شده اند. از جمله می توان به گرمایش ناشی از پرتوهای کیهانی، فوران های هسته های کهکشانی فعال و یا جریان های عظیم تلاطمی اشاره کرد. محیط میان کهکشانی، از نظر فیزیک پلاسما، یک شاره ی یونیده برخوردی- ضعیف محسوب می شود. در چنین شرایطی گرما فقط در راستای خطوط میدان مغناطیسی شارش می یابد. طی چند سال اخیر توجه زیادی به این ناهمسانگردی شارش گرما می شود؛ زیرا می توان نشان داد که در چنین شرایطی سامانه می تواند از نظر همرفتی ناپایدار باشد و جریان های همرفتی؛ و در نهایت، تلاطم در سامانه شکل گیرد. این سازوکار نه تنها می تواند بخشی از انرژی یک خوشه را به ناحیه های بیرونی تر منتقل کند، بلکه تلاطم ایجاد شده می تواند به گرمایش سامانه بیانجامد و این موضوع به حل مساله ی جریان های سردشونده کمک می کند. در حالی که طی سال های اخیر اخترشناسان به دنبال یافتن معیار درست برای بررسی پایداری همرفتی یک خوشه ی کهکشانی هستند، گروه های دیگر با انجام شبیه سازی های عددی این مساله را بررسی می کنند. جالب اینجاست که این شبیه سازی ها نیز نتایج بررسی های تحلیلی را تایید می کنند. اما مطالعه ی یک سامانه ی برخوردی-ضعیف پلاسمایی، کار بسیار دشواری است. برای مثال در سالهای ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱، نکراسوف و شادمهری به بررسی ناپایداری همرفتی در چنین سامانه هایی پرداختند منتها شاره را چند مولفه ای در نظر گرفتند؛ یعنی دینامیک الکترون ها و یون ها را جداگانه و به کمک معادلاتی جفت شده در نظر گرفتند. همچنین برخی دیگر از محققین، نقش عوامل دیگر؛ نظیر تاثیر دینامیکی پرتوهای کیهانی را در نظر گرفتند. با این حال هنوز برخی دیگر از جنبه های این مساله بررسی نشده است که در این تحقیق به دنبال چنین تحلیلی هستیم. در این تحقیق، رابطه پاشندگی برای حالتی که سرمایش سامانه و پرتوهای کیهانی را در نظر بگیریم، به دست می آوریم.

این پایان نامه در چهار فصل تدوین شده است. در فصل اول ساز و کارهای مختلف انتقال انرژی و انواع ناپایداری ها را بررسی می کنیم و بیشتر به بررسی ناپایداری همرفتی در محیط میان خوشه ای و تاثیری که می تواند در گرم کردن پلاسمای میان خوشه ای و در نتیجه؛ جلوگیری از بروز فاجعه سرمایش داشته باشد می پردازیم. در فصل دوم پلاسمای محیط میان خوشه ای را، که یک پلاسمای مغناطیده ضعیف و کم برخورد است، شامل یک رسانش گرمایی ناهمسانگرد که اساسا در راستای خطوط میدان مغناطیسی منتشر می شود؛ در نظر می گیریم و مدهای ناپایدار در چنین سامانه ای را، به دست می آوریم. در فصل دوم، اثر پرتوهای کیهانی بی دررو را وارد می کنیم و سامانه را به صورت دو شاره ای در نظر می گیریم که در آن، فرض می کنیم رسانش گرمایی و انتشار پرتوهای کیهانی تقریبا به طور کاملی در راستای خطوط میدان مغناطیسی اتفاق می افتند و مدهای ناپایدار سامانه را؛ در چنین شرایطی نیز، به دست می آوریم. در فصل چهارم، اثر سرمایش تابشی را، بدون در در نظر گرفتن نقش پرتوهای کیهانی، وارد سامانه می کنیم و می بینیم که، فوق پایداری های تحریک شده توسط gمدها؛ در سامانه شکل خواهند گرفت که حتی در شرایطی که ناپایداری های همرفتی از بین می روند، این فوق پایداری ها می توانند وجود داشته باشند .

خالصی

بهمن۹۰

فهرست مطالب

۱ ساز و کار های مختلف انتقال انرژی **۱**

۱.۱ رسانش ۲

۲.۱ همرفت ۲

۳.۱ تابش ۳

۴.۱ ناپایداری ۴

۵.۱ ناپایداری در اخترفیزیک ۴

۱.۵.۱ ناپایداری کلوین هلمهولتز ۵

۲.۵.۱ ناپایداری رایله تیلور ۵

۳.۵.۱ ناپایداری گرمایی ۶

۴.۵.۱ ناپایداری گرانشی ۶

۵.۵.۱ ناپایداری همرفتی ۶

۶.۱ ناپایداری همرفتی در سامانه‌های زمینی ۷

۷.۱ ناپایداری همرفتی در سامانه‌های اخترفیزیکی ۸

۱.۷.۱ درون ستارگان ۹

۲.۷.۱ کوتوله های سفید و ستاره‌های نوترونی ۱۰

۳.۷.۱ جریان های برافزایشی داغ ۱۱

۴.۷.۱ خوشه‌های کهکشانی و محیط میان کهکشانی(ICM) ۱۱

۸.۱ خوشه های کهکشانی ۱۲

۱.۸.۱ فیزیک محیط میان خوشه ای ۱۴

۲ رسانش گرمایی ناهمسانگرد در خوشه های کهکشانی ۱۷
۱.۲ معادلات پایه ۱۸
۲.۲ معادلات اختلالی ۲۰
۱.۲.۲ دما در جهت گرانش افزایش یابد ۳۲
۲.۲.۲ دما در جهت گرانش کاهش یابد ۳۴
۳.۲ بحث و نتیجه گیری ۳۷

۳ همرفت به علت پرتوهای کیهانی بی دررو و رسانش گرمایی ناهمسانگرد ۳۸
۱.۳ معادلات پایه ۴۰
۲.۳ معادلات اختلالی ۴۲
۱.۲.۳ معادلات خطی شده اختلال ۴۳
۳.۳ بحث و نتیجه گیری ۵۳

۴ اثر سرمایش تابشی در پلاسمای میان خوشه ای ۵۴
۱.۴ معادلات پایه ۵۵
۲.۴ معادلات اختلالی ۵۷
۳.۴ معیار پایداری ۶۷
۱.۳.۴ ناپایداری مدهای موج به وسیله یک گرادیان گرمایی مثبت ۷۰
۲.۳.۴ ناپایداری مدهای موج به وسیله یک گرادیان گرمایی منفی ۷۲
۴.۴ خلاصه ۷۳
۵.۴ بحث و نتیجه گیری ۷۴

۵ بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۷

مراجع ۷۸

لیست تصاویر

۱.۰.۱ سازو کارهای مختلف انتقال انرژی. ۱
۱.۴.۱ مفهوم کلاسیکی پایداری و ناپایداری. ۴
۱.۶.۱ همرفت در شوفاژ. ۷
۲.۶.۱ همرفت از طریق کولر. ۸
۱.۷.۱ همرفت در درون ستارگان. ۹
۲.۷.۱ همرفت در ستاره های نوترونی. ۱۰
۳.۷.۱ همرفت در شاره های برافزایشی داغ. ۱۱
۴.۷.۱ همرفت در خوشه های کهکشانی. ۱۲

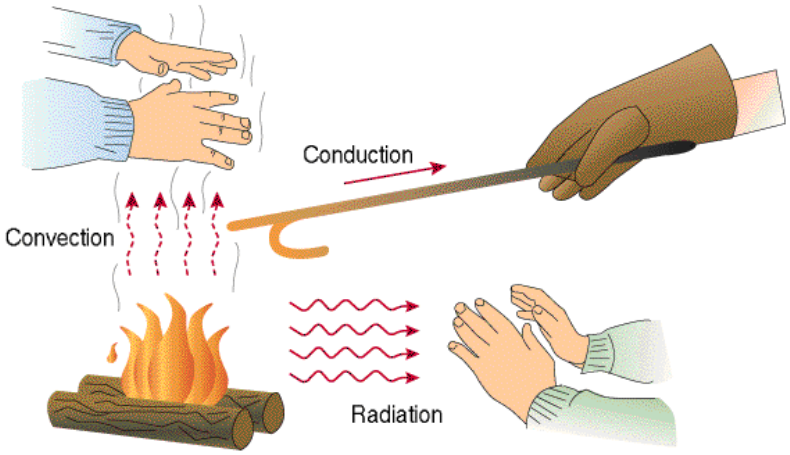
۱.۲.۲ طرحی از شرایط اولیه در سامانه. ۲۱
۲.۲.۲ ناپایداری مغناطیسی گرمایی. ۳۳
۳.۲.۲ ناپایداری همرفتی تحریک شده توسط شار گرمایی. ۳۵

۱.۵.۴ نقشه‌ای کلی از ناپایداری ها و فوق پایداری ها. ۷۵

فصل ۱

ساز و کار های مختلف انتقال انرژی

گرما صورتی از انرژی است که در اثر اختلاف دما، از جسم سرد به جسم گرم منتقل می شود.
سه راه برای انتقال گرما(انرژی) وجود دارد: ۱)رسانش ۲)همرفت ۳)تابش



شکل ۱.۰.۱ : سازو کارهای مختلف انتقال انرژی.

۱.۱ رسانش

رسانش، انتقال گرما از طریق تماس مستقیم ذرات ماده است. اگر سر يك ميله فلزي را در كنار يك جسم گرم قرار دهيم، طرف ديگر ميله نيز شروع به گرم شدن می کند. علت گرم شدن ميله آن است كه مولكول هاي مجاور منبع گرم، گرم شده و با دامنه ي بيش تري ارتعاش مي يابند، در نتيجه هر مولكول به مولكول مجاور خود ضربه زده و دامنه ارتعاش آن را بيش تر مي كند، و به اين ترتيب گرما در داخل جسم منتشر مي شود.
نكته ای كه وجود دارد اين است كه در رسانش ماده ثابت است و انتقال گرما به وسيله مولكول ها، اتم ها و الكترون هاي آزاد يك جسم، به مولكول ها و اتم هاي ديگر آن جسم صورت می گيرد. رسانش در هر سه حالت جامد، مايع و گاز صورت مي گيرد، اما انتقال گرما در جامدات بيش تر صورت مي گيرد زيرا هر چه مولكول ها به هم نزديك تر باشند، گرما با سرعت بيش تري در ماده منتقل مي شود.

۲.۱ همرفت

عملي كه در آن انتقال گرما از راه انتقال مولكول ها صورت مي گيرد، همرفتي يا جابه جايي ناميده مي شود. بابد توجه داشته باشيم كه، هر سيالی كه دمای قسمت پايين آن؛ بيشتر از دمای قسمت بالايش باشد نمی تواند از طريق همرفت، انتقال گرما انجام دهد. برای تشكيل همرفت، اول از همه لازم است كه سيال در يک محيط گرانشی (شتاب دار) قرار داشته باشد يعنی محيطی كه به دليل گرانش، فشار يا نيرويی به آن وارد می شود، تا اگر قسمتی از سيال منبسط شد، به خاطر اصل ارشميدس (همان اصلی كه باعث می شود حباب از درون آب بالا بيايد) بتواند به بالا صعود كند و همرفت رخ دهد.
با برقراری چنين شرطی، همرفت اين گونه اتفاق می افتد كه؛ آن قسمتی از سيال كه به دليل افزايش دما چگالی اش كم شده؛ بعد از رقيق شدن، به صورت كاملا ايزوله (كاملا مستقل از اطراف و حباب وار) و به خاطر اصل ارشميدس به سمت بالا صعود می كند و در طی صعود خود، دمايش را به خاطر انبساط بی دررو از دست می دهد و در نتيجه به دنبال اين كم شدن دما چگالی اش هم كم می شود.
شرط دوم شكل گرفتن همرفت اين است كه اندازه ی تغييرات چگالی سيال (به خاطر انبساط بی دررو اش هنگام صعود) بيشتر از اندازه ی تغييرات چگالی محيط اطراف باشد، كه در اين صورت روند بالا رفتن حباب ادامه پيدا كرده و به اصطلاح اختر فيزيكی ناحيه ی همرفت پايدار شكل می گيرد.
مي خواهيم ظرف آبي را به وسيله چراغي گرم كنيم، اگر شعله به يك قسمت از ظرف آب نزديك باشد، پس از مدتي مشاهده خواهيم كرد تمام آب به جوش مي آيد. علت اين پديده آن است كه آب در مكاني كه گرما

مي گيرد چگالی اش کاهش يافته ، منبسط شده و به طرف بالا حرکت مي کند و آب سرد که سنگين تر است، جاي آن را مي گيرد. اين عمل آن قدر ادامه مي يابد تا آن که همه ي آب گرم شده و سرانجام به جوش آيد. بايد توجه داشته باشيم که در انتقال گرما به روش همرفت، خود ماده از طريق جابه جا شدن، گرما را منتقل مي کند.

۳.۱ تابش

انتقال حرارت به روش تابش را می توان سودمند ترین و سریعترین روش، برای انتقال گرما فرض کرد چون نیازی به حضور ماده ندارد و در خلا نیز، می تواند انجام گیرد. انرژی خورشید به وسیله ی امواج الکترو مغناطیسی به زمین می رسد و ما از آن استفاده می کنیم.

هنگام استفاده از اتو، اگر دستتان را جلوی اتوی داغ بگیرید؛ گرمای اتو را حس خواهید کرد. شاید بگویید هوای اطراف اتو داغ است و این گرما؛ به خاطر هوای داغ است اما به یاد داشته باشید که هوا در صورت گرم شدن سریعا دچار همرفت می شود و همچنین رسانای خوبی هم برای گرما نیست!! بنا بر این تنها راه توجیه این است که بگوییم گرمای اتو به وسیله ی تابش به دست ما رسیده است.

اما سازو کار تابش در حالت خلا، کاملا متفاوت از دو ساز و کار دیگر است، به این صورت که؛ یک جسم داغ، به خاطر جنبش ملوکولها، امواج الکترومغناطیسی تابش می کند (همان تابشی که به تابش جسم سیاه معروف است) که این تابش در فضا طی طریق می کند و نهایتا به (مثلا) زمین می رسد و سطح زمین با جذب این تابش گرم می شود. تابش در حضور ماده نیز، تقریبا به همان صورت منتقل می شود. یعنی مثلا در مورد یک گاز داغ، قسمتی از گاز که بسیار داغ است شروع به تابش الکترومغناطیس می کند و این تابش (اگر گاز غلیظ و کدر باشد) سریعا توسط گازهای سرد اطراف جذب شده و آن ها را گرم می کند و گازهای سرد اطراف هم که گرم شده اند، باز تابش کرده و گازهای سرد تر و دورتر را گرم می کنند الی آخر.

میزان گرمای منتقل شده از روش تابش، به دو عامل بستگی دارد : دمای جسم و رنگ آن

هرچه دمای یک جسم بیشتر باشد میزان گرمای تابش شده از آن بیشتر است و اگر دمای آن کم باشد بیش از آن که گرما را تابش کند؛ دریافت می کند. رنگ نیز در میزان تابش اثر دارد اجسامی که سیاه هستند نسبت به سایر رنگ ها انرژی گرمایی بیشتری را تابش می کنند و در عوض رنگ نقره ای از همه رنگ ها تابش کمتری دارد؛ به همین دلیل است که بالن هایی که برای پروازهای طولانی مدت ساخته شده اند، رنگ نقره ای دارند تا هوای گرم داخل بالن زود گرمای خود را منتقل نکند.

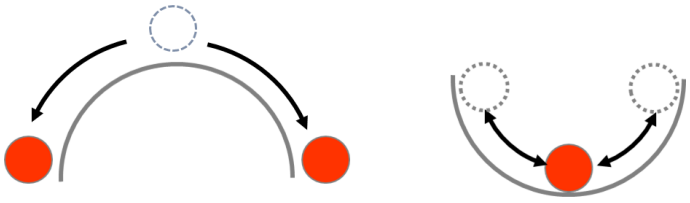
هر کدام از این روش های انتقال گرما، با وارد کردن انرژی در محیط و یا بر هم زدن حالت تعادل محیط،

می توانند باعث ایجاد ناپایداری شوند. در ابتدا مفهوم ناپایداری و انواع مختلف آن، که می توانند در محیط شکل بگیرند، را به طور مختصر معرفی کرده و سپس به بررسی ناپایداری همرفتی در خوشه های کهکشانی می پردازیم.

۴.۱ ناپایداری

همواره اخترشناسان در تلاش بوده اند تا نحوه تشکیل ساختارهای مختلف در جهان و آهنگ رشد آن ها را، مورد مطالعه و بررسی قرار دهند. آن ها با تکیه بر مفاهیم اخترفیزیکی، ناپایداری‌ها را علت اصلی تشکیل ساختارهای مختلف در جهان می دانند.

اخترشناسان نشان دادند که هر کدام از ناپایداری ها در شرایط فیزیکی خاصی به وجود می آیند و به عوامل مختلفی بستگی دارند. بنابراین ناپایداری ها در اخترفیزیک از اهمیت ویژه ای برخوردارند. ابتدا یک مفهوم ساده و کلاسیکی از پایداری و ناپایداری ارائه می کنیم. همان طور که در شکل (۱.۴.۱) می بینید، اگر جسمی را در داخل یک فرورفتگی قرار دهیم و نیرویی را به آن وارد کنیم، جسم شروع به نوسان حول نقطه تعادل خود می کند و بعد از مدتی به حالت تعادل اولیه اش باز می گردد، در این حالت جسم در حالت تعادل پایدار است. حال اگر جسم را بر روی یک برآمدگی قرار دهیم و به آن نیرو وارد کنیم، جسم از حالت تعادل خود خارج شده و دیگر به مکان اولیه اش باز نمی گردد که در این حالت می گوییم، جسم در حالت تعادل ناپایدار است



شکل ۱.۴.۱ : مفهوم کلاسیکی پایداری و ناپایداری.

۵.۱ ناپایداری در اخترفیزیک

از جمله ناپایداری هایی که در اخترفیزیک وجود دارند، عبارتند از:

ناپایداری کلوین هلمهولتز

ناپایداری رایله تیلور
ناپایداری گرانشی
ناپایداری گرمایی
ناپایداری همرفتی
هر کدام از این ناپایداری ها در شرایط خاصی اتفاق می افتند که توضیح مختصری در مورد آن ها ارائه می دهیم.

۱.۵.۱ ناپایداری کلوین هلمهولتز

این ناپایداری زمانی اتفاق می افتد که دو سیال، که در تماس با یکدیگر هستند، در مرز مشترکشان دارای حرکت نسبی باشند. این حرکت نسبی باعث می شود که انرژی و تکانه از محیط دارای سرعت بیشتر به محیطی که دارای سرعت کمتری است، منتقل شود و حرکت گردابه مانندی را در مرز بین دو محیط تشکیل دهد که به چشم گربه معروف است. این ناپایداری را می توان در سامانه های متنوع زمینی و اخترفیزیکی مشاهده کرد. مثلا، امواج دریا در طبیعت به خاطر رشد این ناپایداری به وجود می آیند. همچنین علت تشکیل ابرهایی موسوم به ابرهای کلوین هلمهولتز (که در زمان کوتاهی در پهنه آسمان دیده می شوند) نیز، رشد این ناپایداری است.
سامانه های اخترفیزیکی بسیاری نیز وجود دارند که امکان رشد این ناپایداری در آن ها وجود دارد از جمله: جتها و فوران ها[۳۰]، دنباله دارها[۲۹]، بادهای خورشیدی [۳۱]و....

۲.۵.۱ ناپایداری رایله تیلور

وقتی در حضور میدان گرانش، یک شاره‌ی سنگین بر روی یک شاره سبک قرار می گیرد، ناپایداری رایله تیلور اتفاق می افتد که باعث می شود شاره سبک به سمت شاره سنگین شتاب گرفته و شکل قارچ مانند ناپایداری رایله تیلور را به وجود آورد. از جمله سامانه های زمینی که ما در آن ها شاهد ناپایداری رایله تیلور هستیم، ابرها می باشند به طوری که وقتی در اثر اختلالات جوی، هوا بر روی بخار آب قرار می گیرد؛ شرایط لازم برای این ناپایداری به وجود می آید و باعث شکل گیری ابرهای قارچ مانند می شود.
در انفجار بمب اتمی نیز، ما شاهد شکل گیری ابرهای قارچ مانند در پهنه آسمان می شویم که علت آن، ناپایداری رایله تیلور است.
از جمله سامانه های اخترفیزیکی که ناپایداری رایله تیلور در آن ها نیز اتفاق می افتد، عبارتند از:

بقایای ابر نواخترها[۳۳]، اعماق غول سرخ[۳۲] و محیط میان ستاره ای[۳۴].

۳.۵.۱ ناپایداری گرمایی

ناپایداری گرمایی به دلیل فرایندهای سرمایشی و گرمایشی، که اغلب از طریق رسانش گرمایی به هم مربوط می شوند، به وجود می آید. این ناپایداری یکی از عوامل موثر در شکل گیری ساختارهای محیط میان ستاره ای می باشد و اغلب در اجسام تابانی که؛ مقدار زیادی گرما از دست داده اند، دیده می شود.
سرمایش گازهای اخترفیزیکی، زمانی اتفاق می افتد که الکترون ها و مولکول ها از حالت برانگیخته به حالت های با انرژی کمتر می روند و فوتون گسیل می کنند. الکترون ها ممکن است به اتم مقید؛ یا این که آزاد باشند و برانگیختگی نیز می تواند به وسیله برخورد ذرات با هم و یا از طریق تابش، صورت گیرد.
فرایندهای گرمایشی در محیط میان ستاره ای، شامل گرمایش توسط پرتوهای کیهانی و تابش فرابنفش ستارگان داغ است.[۲۰]

۴.۵.۱ ناپایداری گرانشی

ناپایداری گرانشی بیان می کند که؛ چگونه اختلالات بسیار کوچک در توزیع ماده و انرژی در عالم، منجر به شکل گیری ساختارهای کیهانی می شود. این ناپایداری در هنگام تشکیل ستارگان و سیارات و همچنین در مقیاس های بزرگتر، یعنی هنگام تشکیل کهکشان ها و خوشه ها، اهمیت پیدا می کند. ناپایداری گرانشی را می توان در دو سطح بررسی کرد. در سطح اول، به بررسی این ناپایداری از طریق مکانیک کلاسیک می پردازیم. البته باید توجه داشت که کاربرد این سطح، به مقیاس های کهکشانی محدود می شود و مطالعه در این سطح، بیشتر مورد علاقه اخترفیزیک دانان است. در سطح دوم، به مطالعه کل جهان و در تمام مقیاس ها می پردازیم. برای مطالعه در این سطح، از نسبیت عام استفاده می کنیم که مورد علاقه کیهان شناسان است.[۲۸]

۵.۵.۱ ناپایداری همرفتی

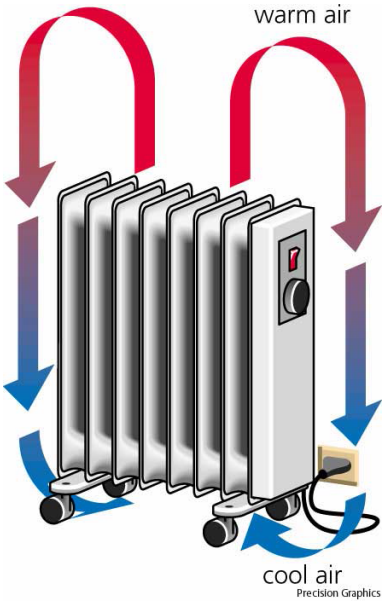
همانطور که قبلا گفتیم همرفت یکی روش های انتقال گرما است و از آن جا که با برهم زدن تعادل محیط، می تواند باعث ایجاد ناپایداری در آن شود، آن را به عنوان ناپایداری همرفتی نیز می شناسیم. ناپایداری همرفتی می تواند بر حسب شرایط، درسامانه‌های های زمینی و اختر فیزیکی اتفاق بیافتد.

۶.۱ ناپایداری همرفتی در سامانه‌های زمینی

از تجربه ي عادي در زندگي روزمره مي دانيم كه پديده همرفت در مكان هايي كه گراديان دما زياد است، ظاهر مي شود براي مثال در يک روز آفتابي در تابستان، می توان اين پديده را بر روي آسفالت خيابان كه در اثر جذب تابش خورشيد؛ گرم شده است، مشاهده كرد. هواي روي آسفالت در اثر گرم شدن، نسبت به هواي اطراف؛ چگالي كمتري پيدا كرده و به محض اين كه، شروع به بالا رفتن مي كند وارد محيطي با چگالي بالاتر و هواي سردتر مي شود. در نتيجه، تا زمانی که اندازه اختلاف چگالی آن نسبت به هوای اطراف بیشتر باشد، به دليل نيروي بالا برنده، به بالا رفتن ادامه مي دهد و جايش را به هوای سرد ميدهد.

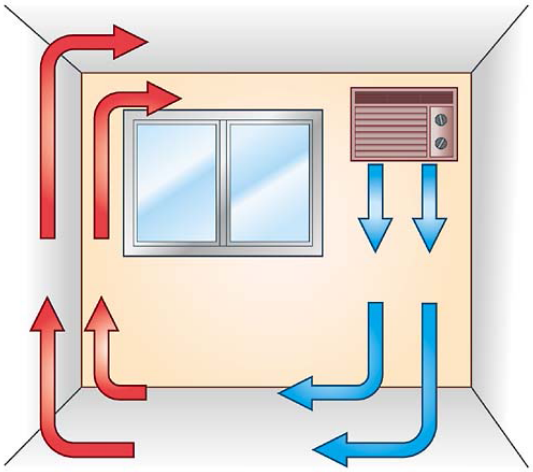
هنگام استفاده از شوفاژ در زمستان نيز، دو جريان همرفتي به وجود مي آيد: الف- جريان همرفتي در آب درون لوله هاي شوفاژ ب- جريان همرفتي در هواي اتاق.

با تداوم اين جريان های همرفتی، مولکول های هوایی که در نزدیکی شوفاژ هستند، با دریافت گرمای حاصل از شوفاژ؛ گرم شده و چگالی شان کاهش می یابد، در نتیجه می توانند به سمت بالا حرکت کنند و جای خود را به مولکول های سردتر دهند. بدین ترتیب هوای اتاق در تابستان سرد می شود.



شکل ۱.۶.۱: همرفت در شوفاژ.

هنگام استفاده از کولر در تابستان نیز، باید توجه داشته باشیم که کولر، از طریق به راه انداختن جریان های همرفتی در اتاق؛ باعث سرد شدن هوای اتاق می شود، به این ترتیب که مولکول های هوایی که در نزدیکی کولر هستند با دریافت سرمای ناشی از کولر، دمای شان کاهش یافته و چگالی شان افزایش می یابد. در نتیجه سنگین می شوند و به سمت پایین حرکت می کنند و جای خود را به مولکول های گرم تری که چگالی کمتری نیز دارند، می دهند. با ادامه این فرایند سرد شدن، به تدریج تمام فضای اتاق سرد می شود.
چون در جریانات همرفتی، شاره باید از پایین گرم یا از بالا سرد شود به همین دلیل در خانه‌ها، بخاری یا شوفاژ را نزدیک کف اتاق قرار می دهند در حالی که کولر را در قسمت بالای اتاق نصب می کنند.



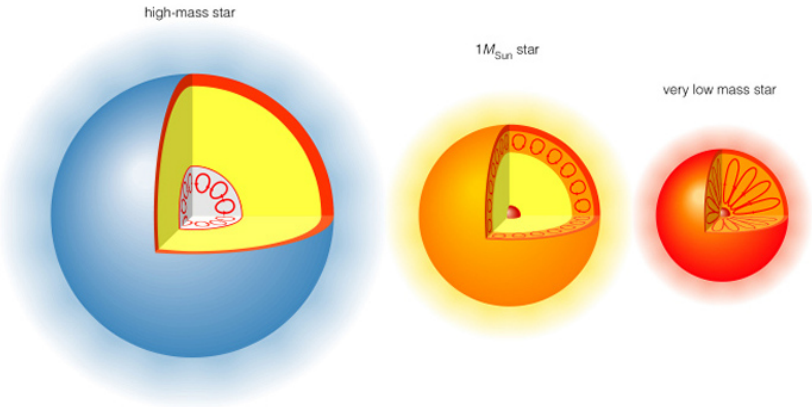
شکل ۲.۶.۱: همرفت از طریق کولر.

دستگاه آب گرم کن (شوفاژ)، دودکش کارخانه ها، لامپ هاي گازي و .... نمونه های دیگری از سامانه های زمینی هستند که بر اساس همین پدیده همرفت عمل مي کنند.

۷.۱ ناپایداری همرفتی در سامانه‌های اخترفیزیکی

در سامانه‌های اختر فیزیکی گوناگونی نیز، از جمله، درون ستارگان [۳۵]، کوتوله های سفید و ستاره‌های نوترونی [۲۴]، جریانات برافزایشی داغ [۳۶]، خوشه‌های کهکشانی و محیط میان کهکشانی(ICM) [۴، ۵] ناپایداری همرفتی می تواند اتفاق بیافتد که در زیر به طور خلاصه در مورد آن ها توضیح می دهیم.

۱.۷.۱ درون ستارگان



شکل ۱.۷.۱ : همرفت در درون ستارگان.

برگرفته از http://fa.wikipedia.org/wiki

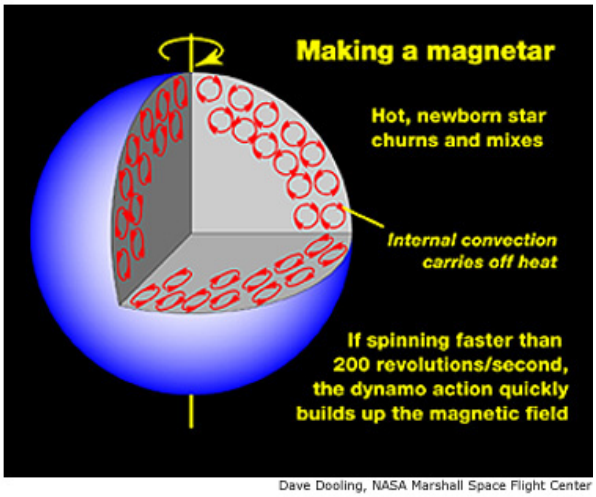
در ستاره ها، به خاطر فاصله ی زیاد بین ذرات گاز(که نتیجه ی جنبش زیاد آنهاست)، انتقال گرما از طریق رسانش قابل صرف نظر کردن است. پس می ماند همرفت و تابش! در روش تابش، به خاطر این که مقدار کمتری از سیال و پارامترهای ترمودینامیکی آن درگیر فرایند انتقال بسته ی انرژی است، کارآمد تر محسوب می شود ولی مزیت همرفت بر تابش در این است که مقدار زیادتری از انرژی را در مدت زمان کمتری منتقل می کند. این که کدام روش انتقال در ستاره ها صورت می گیرد به جرم ستاره وابسته است (مثل اکثر دیگر ویژگی های فیزیکی ستاره ها). برای ستاره های خیلی کم جرم (عموما از رده ی طیفی M) انتقال انرژی از مرکز به سطح، به طور کلی با همرفت صورت می گیرد.

در ستاره های پر جرم تر مانند خورشید، انتقال انرژی در حوالی مرکز ستاره از طریق تابش و بعد از آن با همرفت صورت می گیرد، به این ترتیب که، فوتون ها که بسته های حامل انرژی الکترومغناطیسی تولید شده توسط هم جوشی در مرکز هستند، طی فرایندی طولانی؛ مسیری از مرکز تا نزدیکی های سطح ستاره را طی می کنند و بعد از آن این انرژی توسط روش انتقال همرفت به سطح ستاره منتقل شده و سپس فوتون های حامل انرژی از سطح ستاره به فضا گسیل می شوند. اما در این حالت، چون سرعت همرفتی بسیار بالاست، مواد بیرونی به سمت مرکز ستاره (مواد داخلی) فرو می روند.

برای ستاره های پرجرم تر (رده ی طیفی F به بعد)، ترتیب پوش تابش برعکس می شود به این شکل که، ابتدا

انرژی توسط همرفت به لایه های بالایی منتقل شده و سپس با تابش به سطح ستاره می رسد. علت سوخت و ساز سریع این ستاره های پرجرم (و در نتیجه عمر کم آن ها) همین همرفتی بودن انتقال انرژی در مرکز (که کارخانه ی تولید انرژی ستاره است) می باشد چون، همرفت سریع ترین روش انتقال انرژی بوده و در نتیجه باعث تسریع در فرایند سوخت رسانی و هم جوشی و در نتیجه تولید انرژی می شود.[۱]

۲.۷.۱ کوتوله های سفید و ستاره‌های نوترونی



شکل ۲.۷.۱ : همرفت در ستاره های نوترونی.

برگرفته از http://fa.wikipedia.org/wiki

پلاسمای موجود در کوتوله های سفید[۲] و ستاره های نوترونی[۳]، برخوردی هستند یعنی فرکانس برخوردی الکترون در مقایسه با فرکانس سیکلوترونی آن، بزرگ است و هر چند رسانش گرمایی در این مکان ها، تا حد زیادی همسانگرد است اما دارای ناهمسانگردی کوچکی نیز می باشد. این ناهمسانگردی ناچیز، می

[۱] http://forum.avastarco.com/forum/showthread.php

[۲] white dwarfs

[۳] neutron stars