دانشکده علوم

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
فیزیک گرایش اخترفیزیک

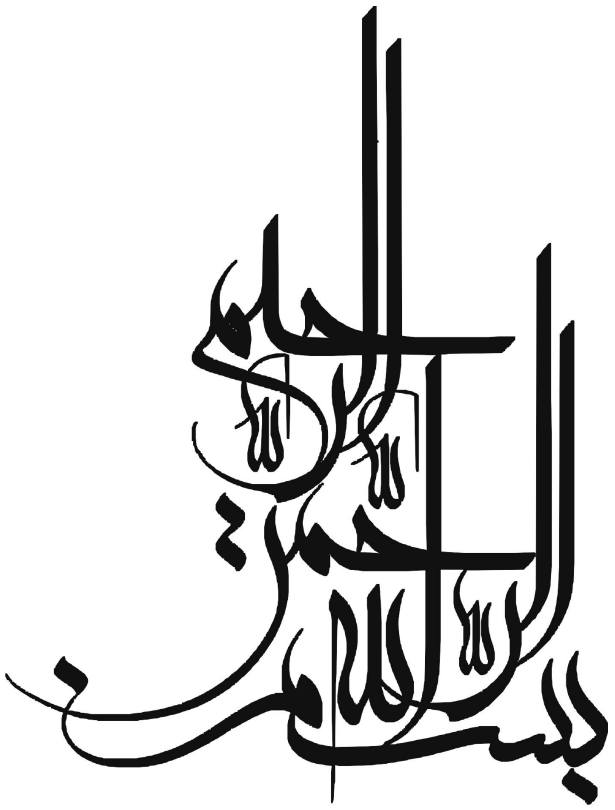
عنوان:

محاسبه خصوصیات ترمودینامیکی ستاره کوارکی پلاریزه در دمای معین و در حضور میدان مغناطیسی قوی

نگارش:
فاطمه کیانی خو

استاد راهنما:
دکتر غلامحسین بردبار

اعضا:
دکتر محمد حسین دهقانی
دکتر مهدی جهانمیری
دکتر احمد پوست فروش


بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب فاطمه کیانی خو (۸۸۰۵۱۴) دانشجوی رشته فیزیک، گرایش اختر فیزیک دانشکده علوم اظهار می کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظهار می کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: فاطمه کیانی خو

تاریخ و امضا:۰۸ /۱۱ /۹۰

به نام خدا

محاسبه خصوصیات ترمودینامیکی ستاره کوارکی پلاریزه در دمای معین و در حضور میدان مغناطیسی قوی

نگارش:

فاطمه کیانی خو

پایان نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:
فیزیک گرایش اختر فیزیک

از دانشگاه شیراز
جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه:

دکتر غلامحسین بردبار ، استادبخش فیزیک (رئیس کمیته) .....

دکتر محمد حسین دهقانی، استاد بخش فیزیک .....

دکتر مهدی جهانمیری، دانشیار بخش فیزیک .....

دکتر احمد پوست فروش، استادیار بخش فیزیک .....

بهمن ماه ۱۳۹۰

تقدیم به

همه ی آنهایی که همیشه به دنبال راههای جدید در مسیر علم هستند.

با سپاس فراوان از زحمات

استاد بزرگوارم، پروفسور غلامحسین بردبار که با نهایت دقت و ظرافت، در تمام مراحل تحقیق و نگارش صحیح این پایان نامه، مرا راهنمایی نمودند و خانواده عزیزم که در تمام مراحل تحصیل، پشتیبانم بودند.

شناخته ها محدودند، ناشناخته ها نامحدود. ما از نظر دانش و آگاهی، گویی در جزیره ای بسیار کوچک قرار گرفته ایم که در میان اقیانوس بیکرانی از ناشناخته ها وجود دارد. کار ما، در هر نسل، این است که ذره ی بیشتری از سرزمین شناخته شده را مدعی باشیم.

تی. اچ. هاکسلی

چکیده

محاسبه خصوصیات ترمودینامیکی ستاره کوارکی پلاریزه در دمای معین و حضور میدان مغناطیسی قوی

توسط

فاطمه کیانی خو

در این پایان نامه، به بررسی خصوصیات ترمودینامیکی ماده کوارکی پلاریزه موجود در ستاره کوارکی، در دمای معین و در حضور میدان مغناطیسی قوی پرداخته ایم. برای محاسبه انرژی و معادله حالت ماده کوارکی مذکور از مدل کیسه ای MIT استفاده نموده ایم و ماده کوارکی را متشکل از کوارک های d، u و s با اسپین های بالا و پایین در نظر گرفته ایم. محاسبات انرژی ماده کوارکی پلاریزه در حضور میدان مغناطیسی قوی یک حالت شبه پایدار را در هر چگالی نشان می دهد. همچنین محاسبات نشان می دهد که با افزایش دمای سیستم معادله حالت سخت تر می شود. در این پایان نامه همچنین، با استفاده از معادلات نسبیت عام TOV ساختار ستاره را محاسبه نموده ایم. از محاسبات دریافتیم که با افزایش دما و سخت تر شدن معادله حالت، جرم و شعاع ستاره کاهش می یابد. همچنین با وارد کردن میدان های مغناطیسی مختلف دریافتیم که با افزایش میدان مغناطیسی نیز جرم و شعاع ستاره کاهش می یابد. در نتیجه با افزایش دما و میدان مغناطیسی قویتر ستاره کوارکی پایدارتر می شود.

فهرست مطالب

۱ مقدمه **۱**

۱.۱ تحول ستاره ۱

۱.۱.۱ ستاره های با جرم متوسط ۲

۱.۱.۲ ستاره های کم جرم ۴

۱.۱.۳ ستاره های پر جرم ۴

۱.۲ ستاره نوترونی ۷

۱.۳ ستاره کوارکی و ماده کوارکی ۸

۱.۴ میدان مغناطیسی ستاره های فشرده ۱۰

۲ محاسبه خصوصیات ترمودینامیکی ماده کوارکی **۱۲**

۲.۱ روش های محاسباتی ۱۲

۲.۱.۱ مدل کیسه ای MIT ۱۳

۲.۲ انرژی و معادله حالت ماده کوارکی پلاریزه در دمای معین و در حضور میدان مغناطیسی ۱۴

۲.۲.۱ محاسبه چگالی کوارک ها در ماده کوارکی ۱۴

۲.۲.۲ محاسبه انرژی و معادله حالت ماده کوارکی پلاریزه در دمای معین ۱۶

۲.۲.۳ محاسبه انرژی مغناطیسی ماده کوارکی پلاریزه ۱۸

۲.۳ نتایج مربوط به محاسبه خصوصیات ترمودینامیکی ماده کوارکی پلاریزه در دمای معین و در حضور میدان مغناطیسی قوی ۱۹

۳ ساختار ستاره کوارکی پلاریزه در دمای معین **۲۶**

۱.۳ محاسبه ساختار ستاره کوارکی پلاریزه ۲۶

۲.۳ نتایج محاسبه ساختار ستاره کوارکی پلاریزه در دمای معین و در حضور میدان مغناطیسی ۲۷

۴ خلاصه و نتیجه گیری **۳۹**

لیست تصاویر

۱.۲ نمودار چگالی کوارک ها بر حسب چگالی کل ماده کوارکی در دماهای مختلف. ۲۰

۲.۲ نمودار کسر کوارک ها بر حسب چگالی کل ماده کوارکی در دماهای مختلف. . ۲۰

۳.۲ آنتروپی به صورت تابعی از چگالی سیستم در دماهای مختلف در میدان مغناطیسی $B = ۵ \times ۱۰^{۱۸} G$. ۲۱

۴.۲ حالت شبه پایدار به صورت تابعی از پارامتر قطبش برای چگالی های مختلف در سه دما. ۲۲

۵.۲ پارامتر قطبش در نقاط کمینه انرژی در حضور میدان مغناطیسی $B = ۵ \times ۱۰^{۱۸} G$ در دماهای مختلف. ۲۳

۶.۲ پارامتر قطبش در نقاط کمینه انرژی در حضور میدان های مغناطیسی مختلف و در دمای $T = ۳۰ MeV$. ۲۳

۷.۲ پارامتر قطبش به صورت تابعی از میدان مغناطیسی در دماهای مختلف. ۲۴

۸.۲ چگالی انرژی آزاد به صورت تابعی از چگالی سیستم در دماهای مختلف در میدان مغناطیسی $B = ۵ \times ۱۰^{۱۹} G$. ۲۵

۹.۲ معادله حالت به صورت تابعی از چگالی سیستم در دماهای مختلف در میدان مغناطیسی $B = ۵ \times ۱۰^{۱۸} G$. ۲۵

۱.۳ نمودار جرم ستاره کوارکی پلاریزه بر حسب چگالی انرژی در دماهای مختلف و در حضور میدان مغناطیسی $۵ \times ۱۰^{۱۸} G$ ۳۵

۲.۳ نمودار جرم ستاره کوارکی پلاریزه به صورت تابعی از شعاع در دماهای مختلف و در حضور میدان مغناطیسی $۵ \times ۱۰^{۱۸} G$ ۳۶

۳.۳ نمودار جرم ستاره کوارکی پلاریزه برحسب چگالی انرژی در دمای $T = ۳۰ MeV$
و در حضور میدان های مغناطیسی مختلف. ۳۷
۴.۳ نمودار جرم ستاره کوارکی پلاریزه به صورت تابعی از شعاع در دمای $T =$
$۳۰ MeV$ و در حضور میدان های مغناطیسی مختلف. ۳۸

لیست جداول

۱.۱ کوارک های شناخته شده و برخی از خصوصیات آنها ۹

۱.۳ داده های ساختار ستاره کوارکی پلاریزه در دمای صفر و در حضور میدان مغناطیسی $۵ \times ۱۰^{۱۸} G$. ۲۸

۲.۳ داده های ساختار ستاره کوارکی پلاریزه در دمای $T = ۳۰ MeV$ و در حضور میدان مغناطیسی $۵ \times ۱۰^{۱۸} G$. ۲۹

۳.۳ داده های ساختار ستاره کوارکی پلاریزه در دمای $T = ۷۰ MeV$ و در حضور میدان مغناطیسی $۵ \times ۱۰^{۱۸} G$. ۳۰

۴.۳ داده های ساختار ستاره کوارکی پلاریزه در دمای $T = ۸۰ MeV$ و در حضور میدان مغناطیسی $۵ \times ۱۰^{۱۸} G$. ۳۱

۵.۳ داده های ساختار ستاره کوارکی پلاریزه در دمای $T = ۳۰ MeV$ و در حضور میدان مغناطیسی $۵ \times ۱۰^{۱۹} G$. ۳۲

۶.۳ داده های ساختار ستاره کوارکی پلاریزه در دمای $T = ۳۰ MeV$ و در حضور میدان مغناطیسی در غیاب میدان مغناطیسی. ۳۳

۱.۴ جرم ماکزیمم و شعاع ستاره کوارکی پلاریزه در دماهای مختلف و درحضور میدان مغناطیسی $B = ۵ \times ۱۰^{۱۸} G$ ۴۱

۲.۴ جرم ماکزیمم و شعاع ستاره کوارکی پلاریزه در دمای $T = ۳۰ MeV$ و در حضور میدان های مغناطیسی مختلف. ۴۱

فصل ۱

مقدمه

در این بخش بعد از بررسی تحول ستاره ها، به بحث در مورد خصوصیات ستاره های فشرده می پردازیم.

۱.۱ تحول ستاره

دو فاکتور مهم، سن و جرم، ویژگی های یک ستاره را مشخص می کنند. این دو فاکتور به یکدیگر وابسته هستند، تحقیقات اخترفیزیکدانان نشان میدهد که طول عمر ستاره به جرم آن وابسته است. به طور کلی ستاره ها از نظر جرم به سه دسته تقسیم می شوند:

۱- ستاره های پر جرم، که جرمشان بیش از ۸ برابر جرم خورشید است.

۲- ستاره هایی با جرم متوسط، که جرمشان ۰/۵ تا ۸ برابر جرم خورشید است.

۳- ستاره های کم جرم، که جرم آن ها حدود ۰/۵ جرم خورشید می باشد.

از آنجا که ستاره ما، خورشید، در دسته ستاره های متوسط قرار دارد و اطلاعات اختر شناسان در مورد این دسته از ستاره ها بیش از گروه های دیگر است، ابتدا به بررسی تحول ستاره های با جرم متوسط می پردازیم.

۱.۱.۱ ستاره های با جرم متوسط

ستاره ها از متراکم شدن سحابی ها، ابرهای گازی و گرد و غبار بین ستاره ای تشکیل می شوند. در ابتدا ابر های متراکم شده در درون یک دیسک مسطح شروع به چرخیدن می کنند و همین طور منقبض و متراکم می شوند. جرم گازهای مرکزی این توده همچنان رشد میکند. این انقباض و تراکم حدوداً صد هزار سال به طول می انجامد، تا اینکه یک پیش ستاره را به وجود می آورد. درخشش پیش ستاره ممکن است تنها چند برابر یا چند هزار برابر خورشید باشد، دمای سطحی چنین پیش ستاره ای حدود ۴۰۰۰ کلوین می باشد. پیش ستاره تا میلیون ها سال به انقباض خود ادامه می دهد. در این مرحله تنها منبع تولید انرژی ستاره انرژی جنبشی ملکول های گازی می باشد. این انقباض تا زمانی ادامه خواهد داشت که انرژی گرمایی تولید شده در مرکز با نیروی گرانشی که باعث انقباض توده گاز می شود، به تعادل برسد. این مدت زمان به جرم ستاره بستگی دارد. در این زمان، گدازش هیدروژنی در مرکز ستاره، همه انرژی آن را تولید می کند و ستاره وارد طولانی ترین دوره عمر خود می شود، که به آن رشته اصلی می گوییم. هر ستاره، مادامی که که همه انرژی خود را از طریق گدازش هیدروژن در مرکز خود ایجاد کند، یک ستاره در رشته اصلی به حساب می آید. مدت زمانی که ستاره در این مرحله باقی می ماند، به جرم آن بستگی دارد. ستارگان با جرم بیشتر، هیدروژن خود را با سرعت بیشتری می سوزانند در نتیجه زمان کمتری در این مرحله باقی می مانند. یک ستاره با جرم متوسط می تواند بیلیونها سال در این رشته باشد.

وقتی همه هیدروژن موجود در هسته یک ستاره با جرم متوسط به هلیوم تبدیل شد، ستاره به سرعت دستخوش تغییر می شود. به دلیل اینکه دیگر انرژی ناشی از گدازش در هسته ستاره تولید نمی شود، گرانش بار دیگر دست به کار شده و منجر به انقباض شدید ستاره می گردد. به دلیل این انقباض سریع، دما به شدت در مرکز و مناطق اطراف آن بالا می رود. با بالا رفتن دما، هیدروژن موجود در پوسته اطراف مرکز شروع به سوختن می کند. انرژی حاصل شده از این گدازش حتی از انرژی که قبلاً در مرکز تولید می شد نیز بیشتر است. این انرژی مازاد، لایه های بیرونی ستاره را به شدت به بیرون هل می دهد، در نتیجه ستاره تا حد بسیار زیادی بزرگ می شود. با بزرگ شدن اندازه ستاره، لایه های بیرونی آن سرد می شوند، در نتیجه

رنگ ستاره سرخ می گردد. از طرفی با بزرگتر شدن سطح ستاره، درخشش آن نیز بیشتر می شود. در این مرحله ستاره به یک غول سرخ تبدیل شده است. در نهایت، دمای مرکز تا حد ۱۰۰ میلیون کلوین می رسد، یعنی دمای لازم برای آغاز فرایند سه – آلفا. با ادامه این فرایند، هسته ستاره بزرگتر می شود اما دمای آن کاهش می یابد. با کاهش این دما، از دمای لازم برای سوخت هیدروژن موجود در پوسته اطراف هسته نیز کاسته می شود. به دنبال آن، انرژی منتشر شده از این لایه نیز کم می شود و لایه های خارجی ستاره شروع به انقباض می نمایند. ستاره داغتر، کوچکتر و کم نورتر از زمانی می شود که یک غول سرخ بود. این تغییرات در یک دوره زمانی حدوداً ۱۰۰ میلیون ساله رخ می دهند. در پایان این دوره، ستاره در مرحله شاخه افقی قرار می گیرد. این مرحله به دلیل خط نمایشگر وضعیت ستاره در نمودار $H-R$ (هرسپرونگ - راسل) شاخه افقی نامیده می شود. ستاره به طور مداوم و پایدار هلیوم و هیدروژن می سوزاند بنابراین تغییر شایان ذکری در دما، ابعاد و درخشش آن روی نمی دهد. این مرحله تقریبا تا ۱۰ میلیون سال به طول می انجامد.

هنگامیکه سوخت هلیوم موجود در هسته به اتمام رسید، هسته منقبض و در نتیجه داغتر می شود. فرایند سه –آلفا، این بار در پوسته اطراف هسته آغاز می گردد و گدازش هیدروژن در لایه های بعدی آن صورت می گیرد. با افزایش آهنگ تولید انرژی در پوسته ها، لایه های بیرونی ستاره منبسط می شوند. ستاره بار دیگر به یک غول تبدیل می گردد اما این بار آبی تر و درخشانتر از مرحله قبل است. هسته یک غول جانبی بسیار داغ و نیروی گرانش بر لایه های خارجی ضعیف می باشد. در نتیجه لایه های بیرونی در قالب باد ستاره ای از ستاره جدا می شوند. با جدا شدن هر لایه از ستاره، نوبت به لایه داغتری می رسد. در نتیجه باد ستاره ای مرتب قویتر می شود. جریانات جدیدتر و سریعتر بادهای برخواسته از سطح ستاره، با بادهای قبلی که هنوز در فضای اطراف ستاره پرسه می زنند، برخورد می کنند. در نتیجه این برخورد، یک پوسته متراکم گاز به وجود می آید که برخی از آنها با سرد شدن به غبار تبدیل می شوند.

ظرف چند هزار سال، گدازش در هسته متوقف می گردد. هسته مرکزی باعث روشن شدن پوسته های گازی اطراف خود می شود. با تلسکوپ های اولیه که ستاره شناسان در سالهای

۱۸۰۰ برای رصد استفاده می کردند، این پوسته ها شبیه به سیارات به نظر می رسیدند به همین دلیل آنها این پوسته ها را سحابی سیاره ای نامیدند. پس از محو شدن سحابی سیاره ای، هسته باقیمانده به نام کوتوله سفید شناخته می شود. این نوع از ستارگان بیشتر حاوی کربن و اکسیژن هستند و دمای اولیه آنها حدود ۱۰۰۰۰۰ کلوین می باشد.

از آنجا که کوتوله های سفید سوختی برای گدازش ندارند، با گذشت بیلیونها سال پیوسته سردتر می شوند و در نهایت به یک کوتوله سیاه، جرمی بسیار کدر، تبدیل می گردند. کوتوله سیاه نماد پایان چرخه زندگی یک ستاره با جرم متوسط است.

۲.۱.۱ ستاره های کم جرم

ستارگانی که جرم آنها کم است یعنی در حدود ۳ برابر جرم خورشید، دمای سطحی معادل تقریبا ۴۰۰۰ کلوین دارند. درخشش آنها کمتر از ۲ درصد خورشید است. این ستارگان، هیدروژن درون خود را به آهستگی می سوزانند. آنها می توانند برای مدت ۱۰۰ بیلیون تا ۱ تریلیون سال در رشته اصلی باقی بمانند. این مدت حتی از عمر جهان که بین ۱۰ تا ۲۰ بیلیون سال تخمین زده می شود نیز بیشتر است. بنابراین هیچ ستاره ای در این گروه تا به حال به پایان عمر خود نرسیده است.

تحقیقات و مشاهدات اخترشناسان نشان می دهد که در ستاره های این گروه، فقط گدازش هیدروژن اتفاق می افتد. بنابراین اگر هم یکی از اعضای این گروه بمیرد، وارد مرحله غول سرخ نخواهد شد. در عوض آنها به طور تدریجی سرد می شوند تا اینکه به یک کوتوله سفید و سپس سیاه تبدیل گردند.

۳.۱.۱ ستاره های پر جرم

ستاره هایی با جرم بیش از ۸ برابر جرم خورشید در این گروه قرار می گیرند. این ستاره ها به سرعت شکل می گیرند و زندگی کوتاهی دارند. یک ستاره پر جرم ظرف ۱۰۰۰۰ سال تا ۱۰۰۰۰۰ سال از دل یک پیش ستاره شکل می گیرد. این نوع ستارگان در رشته اصلی بسیار داغ و آبی رنگ هستند. آنها ۱۰۰۰ تا ۱ میلیون بار درخشانتر از خورشید می باشند و

شعاع آنها تقریبا ۱۰ برابر شعاع خورشید است.

تعداد ستارگان پرجرم نسبت به ستارگان با جرم متوسط و ستارگان کم جرم کمتر است. با اینحال به خاطر درخشندگی زیاد، از فواصل بسیار دور نیز قابل رصد هستند و به همین خاطر تعداد زیادی از آنها شناخته شده است.

وقتی یک ستاره پر جرم رشته اصلی را ترک می کند، سوخت هیدروژن در لایه های بیرون هسته آغاز می شود. در نتیجه شعاع این ستاره، ۱۰۰ برابر شعاع خورشید می شود. با اینحال از درخشش آن اندکی کاسته می شود. در این مرحله ستاره تقریبا همان مقدار انرژی قبلی را از سطح بزرگتری منتشر می کند، بنابراین دمای سطح آن کاهش می یابد و در نتیجه گرایش به سرخ ستاره بیشتر می شود. با بزرگ شدن ستاره، دمای مرکز آن به ۱۰۰ میلیون کلوین، یعنی دمای لازم برای آغاز فرایند سه-آلفا می رسد. پس از تقریبا ۱ میلیون سال، سوخت هلیوم در مرکز به اتمام رسیده و نوبت به هلیوم موجود در لایه های بیرون هسته و هیدروژن موجود در لایه های بعد از آن می رسد. ستاره سنگین، در این مرحله تبدیل به یک ابرغول سرخ درخشان می شود. هنگامیکه انقباض هسته دمای آن را به حد کافی افزایش می دهد، با سوختن کربن؛ عناصر نئون، سدیوم و منیزیوم تولید می شوند. این مرحله تنها برای ۱۰۰۰۰ سال ادامه می یابد. پس از آن فرآیندهایی متوالی در هسته رخ می دهد. هر فرآیند عناصر مختلف را در بر می گیرد و نسبت به مرحله قبل مدت زمان کوتاهتری به طول می انجامد. وقتی عنصر جدیدی شروع به سوخت می کند، عنصر قبلی سوختن خود را در لایه های بالاتر آغاز می کنند.

این فرآیند ها همچنان ادامه می یابند تا زمانی که هسته آهنی در ستاره ایجاد شود. همان طور که می دانیم، سوخت آهن به جای تولید انرژی، انرژی مصرف می کند. در نتیجه ستاره دیگر نمی تواند برای حفظ تعادل با نیروی گرانشی، انرژی تولید کند. وقتی جرم هسته آهنی به ۱/۴ برابر جرم خورشید برسد، اتفاقی مهیب رخ می دهد. نیروی گرانش، هسته را متلاشی می کند. در نتیجه دمای هسته تا نزدیک ۱۰ بیلیون کلوین می رسد. در این دما هسته آهنی شکسته می شود و به هسته های سبک تر و سپس، پروتون و نوترون تجزیه می شود. با ادامه فشار، پروتون ها و الکترون ها با هم ترکیب می شوند و نوترون و نوترینو تولید می کنند.

نوترینو ها ذراتی هستند که به طور ضعیف با ذرات ماده برهمکنش می کنند و به سرعت سیستم را ترک میکنند. نوترینو ها به سادگی در فضا فرار می کنند و ۹۹ درصد از انرژی ایجاد شده را با خود حمل می کنند. در این مرحله هسته، یک توپ فشرده حاوی نوترون ها است. وقتی شعاع این توپ به ۱۰ کیلومتر برسد حالت ارتجاعی پیدا می کند، درست مانند یک توپ پلاستیکی که آن را فشرده و رها می کنیم.

همه این اتفاق ها، از رمبش هسته تا ارتجاعی شدن توپ نوترونی، تنها در مدت یک ثانیه رخ می دهد. بعد از آن، ارتجاع توپ نوترونی، یک موج کروی به بیرون از ستاره ارسال می کند. بیشتر انرژی حاصل از این موج صرف گدازش و در نتیجه، تولید عناصر جدید می شود. با رسیدن این موج به سطح ستاره، دما تا ۳۰۰۰۰۰ کلوین افزایش می یابد و ستاره منفجر می شود و موادی را در فضا با سرعت ۱۵۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه رها می کند. نام این انفجار، انفجار ابر نواختری نوع II است.

ابرنواختر ها فضا را آکنده از گاز و گرد و غبار می کنند که می تواند بستری برای تولد ستاره های جدید باشد. بعد از این انفجار، هسته ستاره باقی می ماند. در صورتی که جرم هسته باقی مانده کمتر از ۳ برابر جرم خورشید باشد، ستاره نوترونی ایجاد می شود و در صورتی که این جرم باقی مانده بیش از ۳ برابر جرم خورشید را داشته باشد تبدیل به یک سیاهچاله خواهد شد.

ابرنواختر

ابرنواختر ها به طور میانگین سه ، در هر قرن، در میانگین کهکشان ها رخ می دهند. احتمالاً، به نسبت مشابهی نیز در کهکشان ما رخ می دهند. آخرین ابرنواختر های مشاهده شده در کهکشان ما در سال ۱۶۰۴ بوده است. در ۲۳ فوریه ۱۹۸۷ ، در نزدیکی ما، اولین ابرنواختری که بتوان با ابزارهای نوین مطالعه شود اتفاق افتاد. در آن زمان یک غول سرخ، در ابر ماژلانی بزرگ، در فاصله ۱۷۰۰۰۰ سال نوری، منفجر شد. این ابرنواختر با چشم غیر مسلح قابل مشاهده بود. رمبش حدود ۳ ساعت قبل از مشاهده این ابرنواختر اتفاق افتاده بود و در حدود ۱۳ ثانیه نوترینو ها گسیل شدند. این نتیجه نشان می دهد که برای ۳ ساعت موج شوک

ارسال شده از هسته ارتجاعی، گسترش پیدا کرده و به سطح ستاره رسیده است. این رخداد شرایط را برای بررسی خصوصیات نوترینوها فراهم نمود. در باقی مانده انفجار ابرنواختری $۱۹۸۷A$ ، هنوز ستاره فشرده ای کشف نشده است.

در باقی مانده دیگر ابرنواختر ها، ستاره های فشرده ای یافت شده اند. به عنوان مثال سحابی خرچنگ و $CassiopiaA$ از این دسته اند. سحابی خرچنگ، از انفجار ابرنواختری که در سال ۱۰۵۴ اتفاق افتاد و اخترشناسان چینی آن را کشف کردند، ایجاد شده است. ستاره $CassiopiaA$ جوانترین باقی مانده انفجار ابرنواختری در کهکشان راه شیری است. که دقیقا مشخص نیست که در سال ۱۶۶۷ یا ۱۶۸۰ اتفاق افتاده است. این باقی مانده ابر نواختری قوی ترین چشمه امواج رادیویی در آسمان است و در سال ۱۹۴۷ با استفاده از منابع رادیویی توسط اخترشناسان رادیوئی کمبریج و انگلیس آشکارسازی شد. این منبع رادیویی ابتدا $CassiopeiaA$ نامگذاری شد و اخیراً، ۳c۴۶۱ فهرست شده است. البته سیستم های اپتیکی هنوز هیچ ردی از این ستاره بدست نیاورده اند [۱].

۲.۱ ستاره نوترونی

اگر جرم باقی مانده از انفجار ابرنواختری نوع II ۱/۴ تا ۳ برابر جرم خورشید باشد، تبدیل به یک ستاره نوترونی با شعاعی حدود ۱۰ کیلومتر خواهد شد. دمای اولیه ستاره نوترونی ۱۰ میلیون کلوین می باشد.

بعد از انفجار ابرنواختری، هسته باقی مانده مجدداً رمبش پیدا می کند، در این زمان همه عناصر موجود، به الکترون، پروتون و نوترون می شکنند. چگالی هسته ستاره نوترونی آنقدر زیاد است که پروتون ها و الکترون ها مجدداً در فرآیند نابودی بتا شرکت می کنند:

$$p + e \longrightarrow n + \vartheta \qquad (۱.۱)$$

چون ماده موجود در ستاره نوترونی یکنواخت است، نسبت به نوترینوها شفاف می باشد و بنابراین، به سرعت در فضا آزاد شده و بخش اعظمی از گرما و انرژی را از ستاره خارج می کند و باعث سرد شدن ستاره نوترونی می شود. این فرآیند را $Urca$ یا فرآیند خنک سازی

ستاره گویند.

به دلیل کوچک بودن شعاع ستاره و اینکه دیگر هیچ سوختی در ستاره اتفاق نمی افتد، دما و درخشندگی ستاره بسیار اندک است، چنان که حتی با تلسکوپ های فضایی نیز قابل رصد نمی باشد. اخترشناسان، پالس های رادیوئی این ستاره ها را تشخیص می دهند. گاهی از این ستاره ها ۱۰۰۰ پالس در ثانیه دریافت می شود. یک ستاره نوترونی دو موج رادیوئی متوالی را منتشر می کند. این دو موج در دو مسیر مختلف از ستاره دور می شوند. با چرخش ستاره، امواج در فضا مانند نورافکن پراکنده می شوند. اگر یکی از این امواج به صورت متناوب به زمین برسد، تلسکوپ های رادیوئی، یک سری پالس را تشخیص می دهند. این تلسکوپ ها به ازای هر دور گردش ستاره یک پالس دریافت می کنند. ستاره هایی که به این روش شناسایی می شوند، تپ اختر نامیده می شوند.

۳.۱ ستاره کوارکی و ماده کوارکی

گروه دیگری از ستاره های فشرده که اخیراً اخترشناسان به وجود آن پی برده اند، ستاره کوارکی نامیده می شود. این گروه از ستاره ها، چگالتر از ستاره نوترونی بوده و جرم و شعاع آن ها از ستاره های نوترونی کوچکتر است. قبل از اینکه به مفهوم ستاره کوارکی بپردازیم، لازم است که مفهوم کوارک و ماده کوارکی را مطرح نماییم.

کوارک ها و ماده کوارکی

در سال ۱۹۶۳ گلمن و زویگ دریافتند که هادرون ها را می توان متشکل از اجزای ریزتری دانست که گلمن آنها را کوارک نامید [۲، ۳]. کوارک ها فرمیون هستند و دارای اسپین نیم صحیح می باشند و همچین دارای بار الکتریکی کسری و یک عدد کوانتومی جدید به نام رنگ هستند. این عدد کوانتومی جدید برای برقراری اصل طرد پائولی برخی هادرون ها در نظر گرفته شده است. به هر کوارک یکی از سه رنگ قرمز، آبی و سبز نسبت داده می شود که ترکیب این سه رنگ یک ذره بدون رنگ را تشکیل می دهد. به طور کلی ۶ کوارک و پاد کوارک شناخته شده است.کوارک ها ۳ حالت رنگ و ۲ حالت اسپینی دارند و بنابراین