بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم پایه

عنوان:

گذار فاز نوکلئون به کوارک در ستاره های نوترونی

نگارش:

محسن مشایخی قلاطوییه

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر احمد رجبی

استاد مشاور:

جناب آقای دکتر مهدی سعادت

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

دررشته فیزیک

دی ماه ۱۳۸۹

دانشکده علوم پایه

عنوان:

گذار فاز نوکلئون به کوارک در ستاره های نوترونی

نگارش:

محسن مشایخی قلاطوییه

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر احمد رجبی

استاد مشاور:

جناب آقای دکتر مهدی سعادت

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

دررشته فیزیک

دی ماه ۱۳۸۹

شماره: ۴۲۰۲/۱۴
تاریخ: ۸۹/۱۲/۴
پیوست:

بسمه تعالی

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

صورتجلسهٔ دفاع پایان‌نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آقای **محسن مشایخی** رشتهٔ **فیزیک** تحت عنوان‌**گذار فاز نوکلئون به کوارک در ستاره‌های نوترونی**،که در تاریخ: **۸۹/۱۲/۴** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی برگزار گردید و نتیجه به شرح زیر می باشد.

☐ قبول (بادرجه ..عالی..... امتیاز ..۱۸/۵.....) ☐ دفاع مجدد ☐مردود

۱ ـ عالی (۲۰ – ۱۸)

۲ ـ بسیار خوب (۱۷/۹۹ – ۱۶)

۳ ـ خوب (۱۵/۹۹ – ۱۴)

۴ ـ قابل قبول (۱۳/۹۹ – ۱۲)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر احمد رجبی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر مهدی سعادت	استادیار	
استاد داور داخلی	دکتر یوسف فرزان‌نهاد	استادیار	
استاد داور خارجی	دکتر سهراب راهوار	دانشیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	حمید دهنوی	کارشناس‌ارشد	

دکتر ایوب اسماعیل پور
رئیس دانشکده علوم پایه
دانشگاه شهید رجائی

تهران،لویزان، کد پستی:۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸
صندوق پستی: ۱۶۳-۱۶۷۸۵
تلفن: ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰ فکس:۲۲۹۷۰۰۳۳
Email: sru@sru.ac.ir

باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **محسن مشایخی قلاطوییه** متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف(در هر زمان)مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی می باشد.

محسن مشایخی قلاطوییه

امضاء

تشکر و قدردانی :

ستایش می کنم خداوند را که برآرنده ی عالم و آفریننده ی بنی آدم ، کـه پادشـاهی او را سزاسـت و فرمانروایی او را رواست .

اکنون که در آستانه ورود به مرحله ای دیگر قـرار دارم بـر خـود واجـب و لازم مـی دانـم از تمـامی عزیزانی که مرا در به انجام رساندن این تحقیق یاری کرده اند و برایم همراهی دلسوز و مهربان بودند نهایت سپاس و قدردانی را به جا آورم.از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر احمد رجبی که با راهنمایی های ارزنده شان راه را برایم هموار ساختند و افقهای جدیدی را بـه رویـم گشـودند کمـال قدردانی را می نمایم.همچنین مراتب سپاس خود را از استاد مشاور محترم جناب آقای دکتـر مهـدی سعادت به جا می آورم.

و در نهایت از تمامی دوستانی که به هر نحو در انجام این پژوهش مرایاری رسانده اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

در این تحقیق یک ستاره کوارکی که از مرکز تا سطح خود از ماده کوارکی تشکیل شده است و همچنین یک ستاره نوترونی بدون در نظر گرفتن هسته کوارکی و یک ستاره نوترونی که شامل یک هسته متشکل از کوارک است در نظر گرفته شده است . برای ماده کوارکی از معادله حالتی که از مدل کیسه ای MIT برای ثابت کیسه با $B = 90mevfm^{-3}$ بدست آمده است استفاده می کنیم و برای بخش هادرونی ستاره نوترونی از معادله حالتی که از یک روش وردشی با پایین ترین مرتبه قید با در نظر گرفتن پتانسیل های ورودی AV18 و REID68 بدست آمده است استفاده می کنیم. در نهایت با استفاده از معادله حالت های حاصل شده ابتدا ساختار یک ستاره کوارکی خالص و سپس یک ستاره نوترونی بدون هسته کوارکی و در نهایت یک ستاره نوترونی که شامل یک هسته کوارکی است را بررسی می کنیم و جرم ماکزیمم و شعاع را برای هر کدام از آن ها بدست می آوریم.

کلمات کلیدی: ستاره نوترونی، ستاره کوارکی،جرم ماکزیمم ، شعاع

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱-تولد ستارگان..... ۲

۱-۲-ستاره نوترونی..... ۳

۱-۳-ساختار ستاره نوترونی..... ٤

۱-٤-راز اصلی ستاره نوترونی..... ۷

۱-۵-مدل های ستاره نوترونی..... ۸

۱-٦-میدان مغناطیسی ستاره نوترونی..... ۱۰

۱-۷-انگیزه و هدف تحقیق..... ۱۲

فصل دوم:ستاره کوارکی

۲-۱-ستاره کوارکی..... ۱۵

۲-۲-کوارک ها و خصوصیات آنها..... ۱٦

۲-۳-محاسبه انرژی کل ماده کوارکی با استفاده از مدل کیسه ای..... ۱۹

۲-۳-۱-مدل کیسه ای MIT..... ۱۹

۲-۳-۲-ثابت کیسه..... ۲۰

۲-٤-معادله TOV و محاسبه ساختار ستاره کوارکی..... ۲۱

۲-٤- ۱-معادله TOV ۲۱

۲-٤-۲-بررسی ساختار ستاره کوارکی..... ۲۳

فصل سوم: ستاره نوترونی

۳-۱-حالت زمینه پوسته خارجی..... ۲۸

۳-۲- حالت زمینه پوسته ی داخلی در $\rho \leq 10^{14} grcm^{-3}$..... ۳۵

۳-۳-روش LOCV..... ۳٦

۳-٤-محاسبه ساختار ستاره نوترونی..... ۵٤

فصل چهارم:ستاره نوترونی با هسته کوارکی

٤-١-فاز آمیخته..... ٦٠
٤-٢-محاسبه ساختار ستاره نوترونی با هسته کوارکی..... ٦٢

فصل پنجم:جمع بندی

٥-١-جمع بندی و مقایسه با سایر روش ها..... ٦٧

فهرست جدول ها

جدول ٢-١-جرم ماکزیمم و شعاع برای ستاره عجیب..... ٢٤
جدول ٣-١-جرم ماکزیمم و شعاع برای ستاره نوترونی..... ٥٥
جدول ٤-١-جرم ماکزیمم و شعاع برای ستاره نوترونی با هسته کوارکی..... ٦٣
جدول ٥-١-جرم ماکزیمم وشعاع برای ستاره نوترونی با استفاده از مدل پراکاش..... ٧١

فهرست نمودارها

نمودار ٢-١-جرم بر حسب چگالی مرکزی برای ستاره های عجیب..... ٢٥
نمودار ٢-٢-جرم بر حسب شعاع برای ستاره های عجیب..... ٢٦
نمودار ٣-١-جرم بر حسب چگالی مرکزی برای ستاره های نوترونی..... ٥٦
نمودار ٣-٢-جرم بر حسب شعاع برای ستاره های نوترونی..... ٥٧
نمودار٣-٣-شعاع بر حسب چگالی مرکزی برای ستاره های نوترونی..... ٥٨
نمودار ٤-١-جرم بر حسب چگالی مرکزی برای ستاره های نوترونی با هسته کوارکی.. ٦٤
نمودار٤-٢-جرم بر حسب شعاع برای ستاره های نوترونی با هسته کوارکی..... ٦٥
نمودار٤-٣-شعاع بر حسب چگالی مرکزی برای ستاره های نوترونی با هسته کوارکی.. ٦٦
نمودار٥-١- جرم بر حسب چگالی مرکزی برای ستاره نوترونی با مدل پراکاش..... ٧٢
نمودار٥-٢-جرم بر حسب شعاع برای ستاره نوترونی با مدل پراکاش..... ٧٣

فصل اول

(۱-۱)تولد ستارگان:

یک ستاره، کره عظیمی از گازهای بسیار گرم است که از تراکم مولکولهای گاز موجود درکهکشان ها به وجود می آید و از پیوست اتمهای سبک در مرکز ستاره، اتمهای سنگینتر تولید می شوند. روش جالب دیگر برای تشکیل یک ستاره، مرگ ستاره دیگری است، موج حاصل از ستاره ای که رمبش(فروپاشی) می کند عمل تراکم را در توده ابرهای کیهانی ایجاد کرده و به ناگاه هزاران ستاره در پی آن متولد می شوند و مقداری از جرم اتم هایی که در پیوست مذکور شرکت کرده اند، مبدل به پرتوهای نوری شده و در سطح ستاره منتشر *می شوند*.

انتشار این پرتوها ساطع شده عکس العملی در مقابل نیروی گرانش است زیرا نیروی گرانشی همواره سعی به متمرکز کردن ستاره دارد و برخلاف آن، انرژی حاصل از پیوست اتمها، همواره سعی در پراکنده کردن دارد .در مقابل عمل نیروی گرانش، عکس العمل پرتوها باعث به وجود آمدن یک حالت تعادل می شوند، که در طی آن ستاره در یک حالت استقرار و نسبتا پایدار قرار می گیرد. این حالت تعادل ممکن است میلیونها سال در مورد ستارگان بسیار حجیم و میلیاردها سال در مورد ستارگان متوسط نظیر خورشید ادامه یابد. خورشید ما در حال حاضر از ٤/٦ میلیارد سال پیش تاکنون در چنین حالت تعادلی است و تا زمانی که ذخیره سوخت دارد، در این حالت باقی خواهد ماند .با تخمینی که برای ذخیره سوختی خورشید زده می شود می توان پیش بینی کرد که این حالت تعادل تا حدود ٦ میلیارد سال دیگر ادامه خواهد یافت.

مادام که ذخیره سوختی ستاره تقلیل می یابد، نیروی گرانشی بر نیروی حاصل از واکنش هسته ای غالب آمده و ستاره را متراکم تر می سازد .در اثر این تراکم، ستاره تلاش جدیدی را برای مبارزه با نیروی گرانشی آغاز می کند . لذا در اثر فشردگی بسیار، دمای درونی ستاره بالا می رود و فرآورده های پیوست نخستین که هسته های اتم هلیم هستند، داغ و سوزان و نزدیک به یکدیگر، شروع به پیوست با هم کرده و اتمهای سنگین تر تولید می کنند .مثلاً از پیوست دو هسته هلیم با هم هسته اتم بریلیوم تولیدمی شود و از پیوست یک هسته هلیم دیگر با بریلیوم، هسته اتم کربن به وجود می آید . از پیوست دو اتم بریلیوم با هم هسته اتم اکسیژن تولید می شود، واکنشهای متعددی در توده مرکزی انجام می گیرد، تا عناصری بیش از پیش سنگینتر به وجود آید .عمل پیوست و یا به عبارتی دیگر، مبارزه ماده با جاذبه گرانشی ادامه خواهد یافت ولی به هر صورت عاقبت پیروزی با نیروی گرانشی است که سعی بر متمرکز کردن جهان در نقطه ای فشرده نظیر قبل از مهبانگ(انفجار بیگ بنگ) دارد . از بقایای ستارگان بعد از فروپاشی گرانشی کوتوله های سفید و کوتوله های سیاه و ستارگان نوترونی و در آخر هم سیاه چاله ها هستند.

(۱-۲) ستاره نوترونی:

ستاره های نوترونی نقش بی نظیری را در فیزیک ستاره شناسی بازی می کنند این ستاره ها نقطه پایانی تکامل[1] ستاره های سنگین با جرم هایی بزرگتر از هشت برابر جرم خورشیدی($M \gtrsim 8M_{\odot}$) هستند و در انفجارهای ابرنواختر به وجود می آیند و از لایه های مختلف با چگالی های متفاوتی تشکیل شده اند. ستاره نوترونی شامل ماده ای با چگالی کمتر از$1 \mathrm{gr cm^{-3}}$در سطح آن جایی که فشار در آن جا خیلی کم است تا جایی که در مرکز آن چگالی به$10^{15} \mathrm{gr cm^{-3}}$ می رسد و در آنجا به فشاری بیشتر از$10^{36} \mathrm{dyn cm^{-2}}$ نیاز داریم که این وابستگی فشار و چگالی (چگالی انرژی) معادله حالت[2] نامیده می شود . در چگالی انرژی های بالا دما در ستاره نوترونی جوان بیشتر از ۱۰^۹ کلوین تخمین زده می شود و همچنین میدان مغناطیسی آن ها بالای ۱۰^۱۵ گاوس (G) است . جرم ستاره های نوترونی در حدود۱/٤ برابر جرم خورشیدی و شعاع آن ها در حدود ۱۰ کیلومتر است. بنابراین جرم آن ها تقریبا به جرم خورشیدی($M_{\odot} = 1.989 \times 10^{33} \mathrm{gr}$) نزدیک است و شعاع آن ،10^{5} مرتبه از شعاع خورشیدی ($6.96 \times 10^{5} km$) کوچکتر است.علاوه بر این ستاره های نوترونی شامل یک انرژی گرانشی و g گرانشی سطحی خیلی بالاهستند .که انرژی گرانشی آن ها در حدود$5 \times 10^{23} \mathrm{erg}$و شتاب گرانش سطحی آن ها در حدود$2 \times 10^{14} \mathrm{cms^{2}}$ تخمین شود.چگالی یک ستاره نوترونی در حدود :

$$\rho = \frac{3M}{4\pi R^{3}} = 7 \times 10^{14} \mathrm{gr cm^{-3}} \approx (2-3)\rho_{0} \qquad (۱-۱)$$

که در این رابطه$\rho_{0} = 2.8 \times 10^{14} \mathrm{gr cm^{-3}}$ چگالی اشباع شده ماده هسته ای(ماده هسته‌ای یک سیستم فرضی بی‌نهایت بزرگ از نوکلئونهایی است که جهت ساده‌تر شدن مطالعه از برهمکنشهای الکترومغناطیسی بین نوکلئونها صرفنظر می‌شود. بنابراین ماده هسته‌ای به منظور فهم طبیعت برهمکنش قوی بین نوکلئونها در هسته مطالعه می‌شود. علاوه بر این ، مطالعه ماده هسته ای در فهم فیزیک مایعات کوانتومی ، برخورد یونهای سنگین و سیستمهای اختر فیزیکی چگال مثل ستاره‌های نوترونی و ابرنواخترها و...نیز راهگشاست.) نامیده می شود.در واقع چگالی مرکزی ستاره نوترونی خیلی بزرگتر این مقدار است در حدود ۱۰ تا ۲۰ برابر چگالی اشباع ماده هسته ای است. که همه این

1- Time evolution
2- Eos

ها نشان می دهند ستاره نوترونی به عنوان یک ستاره بسیار چگال و فشرده در جهان شناخته شده است .

(۱-۳)ساختار ستاره نوترونی:

بر طبق نظریه های رایج یک ستاره نوترونی می تواند به آتمسفرو چهار منطقه داخلی به صورت زیر تقسیم شود :

۱-پوسته خارجی ۲- پوسته داخلی ۳- هسته خارجی ٤- هسته داخلی

هر کدام از این مناطق می توانند خود به زیر مجموعه های کوچکتری تقسیم شوند.

آتمسفر :

یک لایه نازک پلاسما است جایی که طیف گرمایی- الکترومغناطیسی تابش ستاره نوترونی در آن صورت می گیرد که این طیف گرمایی و شعاع تابش وپلاریزاسیون ظاهر شده از تابش ستاره نوترونی می توانند در لایه آتمسفر تعیین شوند که این تابش ، می تواند شامل اطلاعات مهمی درباره پارامترهای لایه سطحی از جمله : دمای موثر لایه سطحی ، جاذبه سطحی ، موقعیت شمیایی ، قدرت و هندسه میدان مغناطیسی سطحی و جرم و شعاع ستاره نوترونی باشد. ضخامت آتمسفردر ستاره های نوترونی داغ با دمای موثر سطحی $T_S = 3 \times 10^6 K$ در حدود ۱۰ سانتی متر است در حالی که این پارامتر در ستاره نوترونی سرد با دمای $T = 3 \times 10^5 K$ کمتر از یک میلی متر است.از آنجایی که یک ستاره نوترونی خیلی سرد یا فرامغناطیسی ممکن است سطحی مایع یا جامد داشته باشد لذا مدل آتمسفر رایج برای ستاره نوترونی با دمای سطحی $T_S \leq 10^6 \mathrm{K}$ و میدان مغناطیسی قوی به بزرگی $B \geq 10^{11} \mathrm{G}$ به کار می رود .زیرا اگر شار تابشی ستاره خیلی قوی باشد نیروی تابشی فراتر از گرانشی می شود و باعث ناپایداری اتمسفر می شود[1].

پوسته خارجی :

این لایه از انتهای آتمسفر شروع می شود و از ماده ای با چگالی $\rho_{\mathrm{ND}} \approx 4 \times 10^{11} \mathrm{gr cm}^{-3}$ که (ρ_{ND} چگالیی است که در آن نوترون ها به دلیل چگالی بالا از هسته ها جدا می شوند و هسته ها را سرشار

از نوترون می کنند.) تشکیل شده است که ضخامت این لایه در بعضی اوقات کمتر از صد متر است این در حالی است که ضخامت این لایه نازک در ستاره های نوترونی داغ کمتر یا بیشتر از چند متر است. ماده تشکیل دهنده این لایه شامل پروتون و الکترون است که گاز الکترونی غیر تبهگنی را شامل می شود که در لایه های عمیق تر این الکترون ها یک حالت تبهگن[۳] قوی را تشکیل می دهند و به صورت یک گاز تقریباً ایده آل که در $\rho \gg 10^{6} grcm^{-3}$ فرا نسبیتی است،وجود دارند.اساساً فشار در ستاره به وسیله الکترون ها ایجاد می شود(از آنجا که فشار گاز را انرژی جنبشی ذرات تعیین می کنند در دمای معینی انتظار فشار بالاتری برای یک گاز نسبت به یک گاز کامل داریم زیرا انرژی های جنبشی ذرات تبهگن بسیار بیشتر از مقدار مربوط به توزیع ماکسولی است.در یک گاز کاملا تبهگن می توان نشان داد که انرژی جنبشی متوسط ذرات به چگالی الکترون ها وابسته است لذا فشار کلی گاز را که ناشی از فشار الکترون ها به اضافه فشار ناشی از ذرات سنگین است را می توان به دلیل انرژی جنبشی بالای الکترون ها تنها ناشی از فشار الکترونی دانست و نکته بسیار مهم این است که در واگنی کامل فشار الکترونی به دما بستگی ندارد و فقط تابع چگالی است.) که برای $\rho \geq 10^{4} grcm^{-3}$ اتم ها به طور کامل به وسیله ی این فشار الکترونی یونیزه می شوند که این امر باعث می شود که در لایه های خارجی آتمسفر یون ها گاز بولتزمن را تشکیل دهند اما در لایه های عمیق تر آن ها یک سیستم دو جفتی کولمبی مایع یا جامد را تشکیل می دهند که کسر بزرگی از این بسته ها جامد است همچنین با افزایش ρ انرژی فرمی الکترون ها زیاد می شودو فرآیند کاهش بتا در هسته های اتمی گیر می افتد که این امر باعث آزاد سازی نوترون ها می شود و باعث غنی شدن هسته های اتمی از نوترون می شود[1] .

پوسته داخلی :

این لایه از ستاره نوترونی ضخامتی در حدود یک کیلومتر دارد که از انتهای پوسته خارجی با چگالی ρ_{ND} شروع می شودوتا چگالی $\approx 0.5\rho_0$ در مرز پایینی ادامه دارد. ماده این لایه داخلی شامل الکترون ، نوترون های آزاد و هسته های اتمی سرشار از نوترون است که کسر نوترون های آزاد با افزایش ρ زیاد می شود . در لایه های پایینی پوسته، در چگالی $\frac{1}{3}\rho_0$ تا $\frac{1}{2}\rho_0$ ممکن است هسته ها از شکل کروی خارج شوند و یک حالت خمیده[۴] را شکل دهند که در این حالت نوترون های آزاد در پوسته داخلی و نوکلئون های محدود در هسته های اتمی می توانند در یک حالت ابر شاره[۵] باشند .

2- Degenerate
1- Mantle
2- Super fluid

هسته خارجی :

این لایه از ستاره نوترونی فضایی با چگالی $0.5\rho_0 \leq \rho \leq 2\rho_0$ را اشغال می کند و چندین کیلومتر ضخامت دارد که ماده تشکیل دهنده آن شامل نوترون با کسری از پروتون ، الکترون و میون ها هستند که به این وضعیت موقعیت$(npe\mu)$ می گویند. حالت این ماده به وسیله ی شرایط الکتریکی خنثی و تعادل بتا تعیین می شودو همچنین به وسیله ی مدل میکروسکوپیک برای بر هم کنش بین نوکلئون کامل می شود. که تعادل بتا هم در واقع همان تعادل بین کاهش بتا (میون) به نوترون ، و فرآیند معکوس است که در آن همه اجزای پلاسمایی $(npe\mu)$ به طرز قویی تبهگن هستند .

در این لایه الکترون ها و میون ها یک گاز فرمی تقریباً ایده آل را شکل می دهند و نوترون ها و پروتون ها با نیروهای هسته ای با هم بر هم کنش می کنند و یک مایع فرمی بر هم کنشی را تشکیل می دهند که می تواند در یک حالت ابر شاره باشد .

هسته داخلی :

فضای مرکزی یک ستاره نوترونی حجیم را با $\rho \geq 2\rho_0$ اشغال می کند و در ستاره هایی با جرم کم جایی که هسته ی خارجی تا مرکز امتداد دارد وجود ندارد . شعاع هسته داخلی می تواند به چندین کیلومتر برسد و چگالی در مرکز آن می تواند بین $(10-15)\rho_0$ باشد . بسیاری از ذرات تشکیل دهنده این بخش از ستاره نوترونی هنوز به صورت ناشناخته باقی مانده اند .که وجود این ذرات بیگانه بر پایه چندین فرضیه استوار هستند که هر کدام از این فرضیه ها وجود فرمیون ها یا بوزون های منقبض شده جدیدی را پیشگویی می کنند. چهار فرضیه ی اصلی در مورد این ذرات ناشناخته به صورت زیر است:

۱.وجود ذراتی که به شکل های Σ^- و Λ وهایپرون ها ظاهر می شوند.

۲.پیون های[۶] متراکم که به شکل بوزون متراکم ظاهر می شوند که این پیون ها با نرمالیزاسیون قوی و حالت های آمیخته نوکلئون برانگیخته میشوند.

۳.کائون های[۷] متراکم.

٤.یک گذار فاز ماده کوارکی که این کوارک ها به سه نوع s,d,u تقسیم می شوند و با مقدار کمی الکترون آمیخته هستند که در واقع این مقدار الکترون هم ممکن است اصلاً وجود نداشته باشد .

1- Pion
2- Kaon

پیون و کائون متراکم تاکنون در آزمایشگاه کشف نشده اند ولی بعضی از کوارکها ، درآزمایشی [1] در بر خورد های سنگین یونی نسبیتی کشف شده اند ، مدل های ۲ و ٤ اغلب مدل های عجیب[۸] متراکم نامیده می شوند علاوه بر این یک فاز جدید ممکن است فراترازنوع اول یا دوم که با یک معادله حالت متعادل همراه است، باشد[1] .

گروه دیگری از ستاره های چگال وجود دارند که ستاره های عجیب[۹] نامیده می شوند که این ستاره به صورت کلی یا اینکه بیشتر آنها شامل ماده کوارکی هستند در مدل های ستاره های بیگانه یک پوسته نرمال وجود دارد که از سطح لایه ی آن گسترش می یابد که این لایه عمیق تر از پوسته مدل ستاره نوترونی با ضخامت ρ_{ND} نیست و ضخامت آن خیلی کمتر است.

(۱-٤) راز اصلی ستاره نوترونی

فشار در ستاره نوترونی اساساً به وسیله ی فرمیونهای ، تبهگن تولید می شود و با فرض $T=0$ میتوان آنرا محاسبه کرد اگر چه هنوز بعضی از مسائل نظری به صورت حل نشده باقی مانده اند اما بر مبنای داده های آزمایش های واقعی از جمله پراکندگی نوکلئون ها و همچنین تئوری سیستم های زوجیتی کولمبی معادله حالت پوسته ستاره نوترونی با دقت زیاد بدست آمده است .این در حالی است که معادله حالت ستاره نوترونی را در $\rho \geq \rho_0$ در آزمایشگاه نمی توان تولید کرد که به جای مدل های تئوری دقیق در این مورد مدل های نظری زیادی وجود دارد که واقعیت این مدل ها با افزایش چگالی ρ کاهش می یابد و با عدم قطعیت هایی همراه می شوند بنابراین معادله حالت در هسته ی ستاره نوترونی هنوز ناشناخته مانده است که مسائل اساسی معادله حالت مواد چگال راز اصلی ستاره های نوترونی را تشکیل می دهد . مدل های معادله حالت به دسته های مختلفی می توانند تقسیم شوند که هر کدام از آن ها برپایه معادلات حالت خاصی استوار است.و برای هر کدام از آن هاحداکثر جرم پایداری برای ستاره نوترونی یعنی جرم ماکزیمم که در جرم های بالاتر از آن ستاره نوترونی از هم پاشیده می شود و به سیاه چاله تبدیل می شود و همچنین شعاع ستاره نوترونی مقداری مختلف بدست می آید زیرا جرم ماکزیمم ستاره نوترونی به طرز قویی به معادله حالت به کار رفته در چگالی های بالا وابسته است[1] .

3- Exotic
4- Strange stars

(۱-۵)مدل های ستاره نوترونی :

برای ستاره های غیر چرخشی محاسبات برای بررسی ساختار ستاره به وسیله ی حل معادله ای که در شرایط تعادل هیدروستاتیکی یعنی زمانی که جاذبه گرانشی ناشی از مواد تشکیل دهنده ستاره با فشار هسته ای ناشی از ذرات ستاره با هم در تعادل باشند انجام می شود که این معادله توسط تولمن-اپنهایمر و ولکوف[10] محاسبه شده است. علاوه بر این برای بررسی ستاره نوترونی یک گروه از مدل های پارامتری با چگالی مرکزی ρ_c وجود دارد که در این مدل ها جرم گرانشی را به صورت$M = M(\rho_c)$ و شعاع ستاره را با $R = R(\rho_c)$ نشان می دهند و همچنین محیط ستاره نوترونی را برابر با مقدار $2\pi R$ در نظر می گیرند . مدل های پایدارتر برای بررسی ستاره نوترونی با اندکی اختلال با بخشی از منحنی$M(\rho_c)$ هم ارز خواهند بود یعنی جایی که M با رشد ρ_cافزایش می یابد از طرفی از رابطه بین جرم بر حسب چگالی مرکزی یعنی $M(\rho_c)$و همچنین رابطه بین شعاع و چگالی مرکزی یعنی $R(\rho_c)$ رابطه بین شعاع و جرم M-R بدست می آید. علاوه بر این وجود شرایط پایدار منجر به وجود جرم ماکزیممی در حدود ۱/٤ تا ۲/۵ برابر جرم خورشیدی و همچنین جرم مینیممی در حدود ۰/۱ جرم خورشیدی برای ستاره های نوترونی می شود در مدل های ستاره های نوترونی رابطه بین جرم وشعاع وهمچنین جرم ماکزیمم به معادله حالت ماده متراکم بستگی دارد ، به گونه ای که هر گونه تغییر در معادله حالت باعث تغییر در جرم ماکزیمم برای ستاره نوترونی می شود. از طرفی مدل های ستاره های عجیب با مدل های ستاره نوترونی در $M \ll M_{\odot}$ متفاوت هستند که با مقایسه ستاره های نوترونی ، ستاره های عجیب (بیگانه) باید $M \ll M_{\odot}$ و شعاع آن ها $R \ll 10km$ داشته باشند[1] .

برای یک ستاره نوترونی اثرات نسبیتی عام می توانند به وسیله ی پارامتر های زیر تعریف شوند :

$$X_{GR} = \frac{r_g}{R} \qquad (۲-۱)$$

$$r_g = \frac{2GM}{c^2} \qquad (۳-۱)$$

که r_g شعاع شوارزشیلد[11] نامیده می شود و مقدار آن برابر با ۲/۹۵ کیلومتر است. و g گرانش سطحی و Z_{surf} تغییر مکان سرخ گرانشی[12] (منتقل شدن خطوط نوری یک منبع مشخص نور را به سمت

1- Tolman-Oppenheimer-Volkoff
1- Schwarzchild
2- Gravitional red shift

طول موج های سرخ را رد شیفت گرانشی گویند.) وR شعاع ستاره است. فرکانس فوتون هایی که از سطح ستاره ساطع می شوند می توان به صورت زیر بسط داد :

$$W_{\infty} = \frac{W_0}{(1+Z_{surf})} = W_0\sqrt{1-\frac{r_g}{R}} \qquad (٤-١)$$

$$g = \frac{GMR^{-2}}{\sqrt{1-\frac{r_g}{R}}} \qquad (٥-١)$$

که در (١-٤) W_0 فرکانس فوتون هایی است که در چارچوب مرجع موضعی[١٣] از سطح ساطع می شوند و W_{∞} فرکانس فوتون هایی است که به وسیله ناظری که در فاصله دور قرار دارد مشخص می شوند . که گاهی اوقات به جای R از رابطه زیر استفاده می شود

$$R_{\infty} = \frac{R}{\sqrt{1-\frac{r_g}{R}}} \qquad (٦-١)$$

که این مقدار برابر با شعاعی است که به وسیله ی این ناظر اندازه گیری می شود (اگر تلسکوپ بتواند ستاره را رصد کند). چنین مدل هایی با فرمول بندی بالا ، مدل های استاندارد[١٤] نامیده می شوند که به وسیله ی بعضی از نویسندگان استفاده می شوند از طرفی این مدل ها به هر معادله حالت خاصی پاسخ نمی دهند این در حالی است که مدل های چرخشی ستاره های نوترونی پیچیدگی بیشتری دارند.

(١-٦)میدان مغناطیسی ستاره های نوترونی:

بسیاری از ستاره های نوترونی میدان های مغناطیسی سطحی قوی دارند که این میدان ها کشف بسیاری از حقایق را درباره ی ستاره های نوترونی به دلیل آنکه این ستاره ها در رابطه با میدان های مغناطیسی شان رفتاری شبیه به پالسارها[١٥] در ارتباط با میدان مغناطیسیشان دارند ممکن ساخته است.که پالسارها ستاره های نوترونی دواری هستند که پرتو موجهای رادیویی را که در زمین به

3- Local
4- Canonical
1-Pulsar

صورت تپش دریافت می شوند را از خود منتشر می کنند به گونه ای که میزان تپش با میزان دوران ستاره همخوان است. مقایسه مشاهدات با مدل های تئوری تابش های پالسار نشان می دهد که میدان مغناطیسی سطحی پالسارها $B \approx 10^{11} - 10^{13} G$ است که ممکن است درپالسارهای رادیویی به $B \leq 10^{14}$ و $B \leq 10^{15}$ گوس برسد ، طبیعتاً میدان های مغناطیسی داخلی ستاره های نوترونی ممکن است از میدان های مغناطیسی سطحی آن ها بیشتر باشند .

در بعضی از موارد مدارک مستقیم میدان های مغناطیسی بر پایه مدل های تئوری که در این مدل ها اندازه گیری هایی مستقیم که بر پایه مشاهدات اشعه x خطوط سیکلوترونی الکترون در طیف ستاره ی نوترونی استوار است،بدست می آیند. اولین خط سیکلوترونی در سال ۱۹۷۸ به وسیله ی ترومپر[۱۶]کشف شد که طیف اشعه ایکس، برای چندین ستاره نوترونی دو یا سه هماهنگ سیکلوترونی ثبت شده است که در سال ۱۹۹۹ سانتاجلو[۱۷] چهارهارمونیک ناپایدار اشعه ایکس را مشاهده کرد که $B \geq 10^{12}$ گوس را تائید می کردند .بسیاری از مسائل پیچیده در مورد منشأ تکامل این میدان های مغناطیسی به وسیله بسیاری از نویسندگان مطالعه شده است این میدان ها ممکن است از ستاره های قبل از ابر نواختر[۱۸] گرفته شده باشند .و در طول فرو پاشی گرانشی که مالک بقای شار مغناطیسی است افزایش یافته باشند . این بحث ها منجر به پیشگویی بزرگی میدان ها در حدود $B \approx 10^{12}$ گوس قبل از کشف پالسار می شود اما به هر حال جزئیات فیزیکی در مورد فروپاشی بقای شار وجود ندارد[1].

متناوباً میدان های مغناطیسی ممکن است در طول انتشار های ابر نواختر یا در ستاره های جوان افزایش یابند . سیر تکاملی میدان های مغناطیسی ستاره های نوترونی به وسیله ی فاکتورهای مختلفی از جمله فرسایش اهمی تنظیم می شوند ، سیر تکاملی مغناطیسی با سیر تکاملی گرمایی در ارتباط هستند (زیرا رسانندگی الکتریکی و سرعت کاهش مقاومت اهمی به دما وابسته هستند .) در زمان فرسایش اهمی قدرت میدان مغناطیسی بیشتراز $B \leq 10^{12}$ گوس نیست که این زمان فرسایش در هسته های درخشان غیر ابر رسانا از سن جهان بیشتر است که این امر به دلیل رسانندگی بالای الکتریکی در هسته است . کاهش میدان های قویتر در هسته ممکن است به وسیله افزایش مقاومت الکتریکی در طول خطوط میدان سرعت گیرد .همچنین فرسایش اهمی میدان مغناطیسی پوسته به دلیل رسانندگی پایین پوسته و همچنین مقیاس زمانی کوتاهتر انتشار اهمی نسبت به هسته می تواند سریعتر باشد در حالت کلی . میدان های مغناطیسی پوسته و هسته می توانند ارتباط نزدیک با هم

2- Tromper
3- Santagelo
4- Pre super nova

داشته باشند و یا اینکه از یکدیگر مستقل باشند ، همچنین سیر تکاملی میدان مغناطیسی می تواند به وسیله ی اثر هال تاثیر بپذیرد[1] .

میدان مغناطیسی ماکزیمم در ستاره نوترونی چقدر است ؟

تخمین ها نشان می دهد که بزرگی میدان مغناطیسی نمی تواند $B \geq 10^{18} - 10^{19} G$ شود زیرا این میدان در بخش های ستاره به دلیل آنکه انرژی مغناطیسی در حدود:

$$\approx \frac{R^3 B^2}{6} \qquad (۷-۱)$$

است لذا بیشتر از انرژی گرانشی:

$$\approx \frac{3GM^2}{5R} \qquad (۸-۱)$$

می شود و علاوه بر این به دلیل اینکه میدان به صورت یک شکل هیدروستاتیکی ناپایدار معرفی می شود ،در نتیجه نمی تواند حفظ شود . که این تخمین ها با شبیه سازی عددی جزئی توافق و سازگاری دارند و تایید می کنند که میدان مغناطیسی داخلی یک ستاره نوترونی نمی تواند بیشتر از 10^{18} گوس شود.

(۱-۷)انگیزه و هدف تحقیق :

ماکزیمم جرم ستاره نوترونی یعنی حداکثر جرمی که یک ستاره نوترونی به ازای آن پایدار است موضوعی است که ستاره شناسان زیادی سعی در پیدا کردن آن دارند زیرا در جرم های کمتر از جرم ماکزیمم فشار تبهگنی ناشی از نوکلئون ها مانع از فروپاشی ستاره نوترونی و تبدیل شدن آن به سیاه چاله می شودو در جرم ها ی بالاتر از جرم ماکزیمم جاذبه گرانشی بر فشار تبهگنی نوکلئون ها غلبه کرده و باعث فروپاشی ستاره نوترونی می شود . در تعیین جرم ماکزیمم به روش های مشاهداتی خطاهای زیادی وجود دارد ولی اخیرا جرم ستاره های نوترونی با دقت بالا توسط پالسارهای رادیویی تعیین شده است ولی برای تعیین جرم ماکزیمم روش های نظری زیادی وجود دارد و هر کدام از آن ها با معادله حالت های مختلفی که بیان می کنند سعی در پیدا کردن جرم ماکزیمم دارند