بسم الله الرحمن الرحیم

همه‌ی امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی‌سینا همدان تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی‌سینا (یا استاد یا استادان راهنمای پایان‌نامه) و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

دانشکده: **علوم**

گروه: **فیزیک**

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک (گرایش هسته‌ای)

عنوان:

محاسبه ی معادله حالت ستاره نوترونی

اساتید راهنما:

دکتر سعیده زریونی

دکتر محمد ملک جانی

استاد مشاور:

دکتر صفدر حبیبی

پژوهشگر:

آمینه رضایی

پائیز 89

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات پایان نامه تحصیلی

عنوان:

محاسبه ی معادله حالت ستاره نوترونی

نام نویسنده: آمینه رضایی

نام استاد راهنما: دکتر سعیده زریونی ، دکتر محمد ملک جانی

نام استاد مشاور: دکتر صفدر حبیبی

دانشکده : علوم پایه	**گروه آموزشی: فیزیک**	
رشته تحصیلی: فیزیک	**گرایش تحصیلی: هسته‌ای**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب:88/8/2	**تاریخ دفاع: 89/8/18**	**تعداد صفحات: 105**

چکیده:

در این پایان نامه با استفاده از مدل گاز فرمی غیرنسبیتی جرم و شعاع ستاره نوترونی را محاسبه کرده و مشاهده نموده ایم بیشینه جرم به دست آمده حدود 0/7 جرم خورشید است. سپس با استفاده از پتانسیل هایی مانند اسکرم، V_8، AV_{14} و $\widetilde{V}_{14}$ معادله حالت ستاره نوترونی را محاسبه و با حل معادله ی TOV برای گاز پلی تروپ جرم این ستاره را بین 1/1 تا 1/8 برابر جرم خورشید به دست آورده ایم. نتایج به دست آمده با مشاهدات رصدی سازگاری خوبی را نشان می دهند. سازگاری مقادیر به دست آمده با مشاهدات رصدی بیانگر آن است که این ستاره ها تحت تاثیر نیروهای هسته ای قرار دارند.

واژه های کلیدی: معادله ی حالت، ستاره نوترونی، گاز فرمی، گاز پلی تروپ

تشکر و قدردانی

سر برآستان جلال پروردگار بی‌همتا می‌نهم که دگر بار توفیق اندوختن دانشی هرچند اندک را روزیم فرمود. اینک که توفیق جمع آوری و تهیه این پایان‌نامه را یافته‌ام، بر خود واجب می‌دانم از تمامی عزیزان و سرورانی که در طی انجام این پژوهش، بنده را یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی نمایم.

بی‌تردید انجام این تحقیق بدون راهنمایی و مساعدت اساتید محترم سرکار خانم دکتر سعیده زریونی و دکتر محمد ملک‌جانی مقدور نبود. بر خود لازم می‌دانم تا از تلاش‌های بی‌شائبه‌ی ایشان در پایه‌ریزی و مشاورت در طول انجام این پروژه صمیمانه تقدیر و تشکر نمایم و از جناب آقای دکتر حبیبی که زحمت مشاوره‌ی این پایان‌نامه را بر عهده داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می-نمایم.

همچنین از جناب آقای دکتر درودی و جناب آقای دکتر خدام که زحمت قرائت و داوری این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند کمال تقدیر و تشکر را دارم.

از پدر و مادر بزرگوارم که همواره تکیه‌گاه و حامی من در کلیه مراحل زندگی‌ام بوده‌اند کمال سپاسگزاری و تشکر را ابراز می‌نمایم. از همسر عزیزم که همواره در تمام لحظه های تلخ و شیرین زندگیم همراه و پشتیبان من بوده است قدردانی می‌نمایم. از خواهران و برادر عزیزم که همراه همیشگی من در کلیه مراحل زندگی بوده‌اند، کمال تشکر را دارم. از تمام دوستانم که در طول مدت تحصیل مرا مورد لطف و عنایت خود قرار دادند صمیمانه سپاسگزارم.

آمینه رضایی

پائیز89

پدر بزرگوارم

پدرم، ای کاش توان آن را داشتم که از عرش تا فرش را برایت گلباران کنم و بر دستان پر از مهر و عاطفه ات که مظهر عشق و ایثار هستند بوسه بزنم. تو در تمام طول سالهای عمرم همچون خورشیدی روشنی بخش زندگی‌ام بوده‌ای.

مادر مهربان

مادرم، به پاس آنچه به من داده‌ای، به ستایش محبت‌های بی اندازه‌ات، و به وسعت همه خوبی‌هایت، دوستت دارم. به امید آنکه بتوانم قدردان زحماتت باشم.

همسر عزیزم

همسرم، دستانم تشنه‌ی دستانت، شانه‌هایم تکیه‌گاه خستگی‌هایت، به پاکی چشمانت قسم تا ابد با تو می‌مانم بی-آنکه دغدغه‌ی فردا را داشته باشم، چون می‌دانم فردا بیش از امروز دوستت خواهم داشت.

سرکار خانم دکتر زریونی

استاد گرامی‌ام، در سپیده ازل آن زمان که سازندگی کائنات آغاز می‌گردید و کتاب تکوین گشوده می‌شد نخستین کلمه‌ای که با قلم تقدیربر دیباچه‌ی قاموس هستی نقش بست واژه‌ی زیبای استاد بود و سر فصل این کتاب کهن به تعلیم وتربیت اختصاص یافت همیشه و در همه چیز استاد من هستید.

.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه 2

فصل اول: ستاره نوترونی و خواص آن

مقدمه 6

1-1- مراحل تشکیل ستاره نوترونی..... 7

1-2- ساختار ستاره نوترونی..... 10

1-3- خواص ستاره نوترونی..... 15

(TOV)فصل دوم: معادله ی تولمن -اوپن هیمر -ولکوف

مقدمه 23

2-1- معادله نیوتنی..... 24

2-2- معادله ی TOV با وارد کردن تصحیحات نسبیت عام (GR)..... 25

2-3- ساختار معادله ی (TOV) برای گاز پلی تروپ..... 26

2-4- روش حل معادلات کوپل شده ی غیر خطی..... 28

فصل سوم: پتانسیل هسته ای و خواص آن

مقدمه 31

3-1- خواص پتانسیل هسته ای..... 32

عنوان	صفحه

2-3- انواع پتانسیل های هسته ای 33

3-2-1-پتانسیل های حقیقی دو نوکلئونی 34

3-2-2-پتانسیل های پدیده شناختی دو نوکلئونی 36

3-3- پتانسیل برهم کنشی V_8 39

3-4- پتانسیل برهم کنشی V_{14} 41

3-5- پتانسیل بر هم کنشی اسکرم 45

فصل چهارم: محاسبه ی معادله حالت ستاره ی نوترونی

مقدمه 49

4-1- ماده ی هسته ای 50

4-1-1- ماده ی هسته ای متقارن 51

4-1-2- ماده ی هسته ای نامتقارن 53

4-2- معادله حالت با استفاده از مدل گاز فرمی 53

4-2-1-محاسبه‌ی جرم و شعاع کوتوله ی سفید با استفاده از گاز فرمی غیر نسبیتی 56

4-2-2-محاسبه‌ی جرم و شعاع کوتوله سفید با استفاده از گاز فرمی نسبیتی 57

4-2-3-محاسبه‌ی جرم و شعاع ستاره نوترونی با استفاده از گاز فرمی غیر نسبیتی 58

4-3- محاسبه‌ی جرم و شعاع ستاره نوترونی با اندر کنش نوکلئون-نوکلئون 59

4-4- .محاسبه‌ی جرم و شعاع ستاره نوترونی با استفاده از پتانسیل اسکرم 67

4-5- محاسبه‌ی جرم و شعاع ستاره نوترونی با استفاده از پتانسیل V_8 76

4-6- محاسبه‌ی جرم و شعاع ستاره نوترونی با استفاده ازپتانسیل AV_{14} 90

4-7- محاسبه‌ی جرم و شعاع ستاره نوترونی با پتانسیل $\tilde{V}_{14}$..... 92

4-8- نتایج و بحث..... 99

مراجع 102

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

فصل دوم: معادله ی تولمن-اوپن هیمر-ولکوف (TOV)

شکل(2-1): تعادل هیدروستاتیکی..... 24

فصل چهارم: محاسبه ی معادله‌ی حالت ستاره نوترونی

شکل(4-1): نمودارانرژی بستگی در ماده ی هسته ی متقارن
بر حسب نسبت چگالی به چگالی اشباع..... 61

شکل(4-2): نمودار فشار در ماده ی هسته ای متقارن
بر حسب نسبت چگالی به چگالی اشباع..... 62

شکل(4-3): نمودار انرژی بستگی در ماده ی نوترونی
بر حسب نسبت چگالی به چگالی اشباع..... 65

شکل(4-4): نمودار چگالی انرژی و فشار بر حسب نسبت
چگالی به چگالی اشباع در ماده‌ی نوترونی..... 65

شکل(4-5): نمودار فشار بر حسب چگالی انرژی در ماده‌ی نوترونی..... 66

شکل(4-6): نتیجه ی بر هم نهی با گاز پلی تروپ..... 66

شکل(4-7): نمودارانرژی بستگی ماده‌ی نوترونی مربوط به
پتانسیل های اسکرم (SKI3, SKI4,SIY6) بر حسب چگالی..... 70

شکل(4-8-الف):نمودار فشار و چگالی انرژی بر حسب چگالی نوترون ها
برای پتانسیل اسکرم SKI3..... 71

شکل(4-8-ب): فشار و چگالی انرژی بر حسب چگالی نوترون ها برای پتانسیل
اسکرمSKI4. 71

شکل(4-8-ج): فشار و چگالی انرژی بر حسب چگالی نوترون ها برای پتانسیل اسکرم SIY6 72
شکل(4-9): فشار بر حسب چگالی انرژی برای پتانسیل اسکرم SKI3 72
شکل(4-10): نتیجه برهم‌نهی با گاز پلی تروپ برای پتانسیل اسکرم SKI3 72
شکل(4-11): فشار بر حسب چگالی انرژی برای پتانسیل SKI4 73
شکل(4-12): نتیجه بر هم نهی با گاز پلی تروپ برای پتانسیل اسکرم SKI4 74
شکل(4-13): فشار برحسب چگالی انرژی برای پتانسیل اسکرم SIY6 75
شکل(4-14): نتیجه برهم‌نهی با گاز پلی تروپ برای پتانسیل اسکرم SIY6 75
شکل(4-15): نمودار چگالی انرژی برحسب چگالی نوترون ها برای پتانسیل V_8 88
شکل(4-16): نمودار چگالی انرژی برحسب فشار برای پتانسیل V_8 89
شکل(4-17): نتیجه ی بر هم نهی با گاز پلی تروپ برای پتانسیل V_8 89
شکل(4-18): چگالی انرژی و فشار بر حسب چگالی نوترون ها برای پتانسیل AV_{14} 90
شکل(4-19): فشار بر حسب چگالی انرژی برای پتانسیل AV_{14} 91
شکل(4-20): نتیجه‌ی برم نهی با گاز پلی تروپ برای پتانسیل AV_{14} 91
شکل(4-21): فشار و چگالی انرژی بر حسب چگالی نوترون ها برای پتانسیل $\widetilde{V}_{14}$ 97
شکل(4-22): فشار برحسب چگالی انرژی برای پتانسیل $\widetilde{V}_{14}$ 98
شکل(4-23): نتیجه ی برهم نهی با گاز پلی تروپ برای پتانسیل $\widetilde{V}_{14}$ 98

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

فصل سوم: پتانسیل هسته ای و خواص آن

جدول 3-1: ضرایب y_n^i راید 40

جدول 3-2: ضرایب $BJ\ y_n^i$ 41

جدول 3-3: قدرت پتانسیلی برای حالت های یکتایی پتانسیل V_{14} 44

جدول 3-4: قدرت پتانسیلی برای حالت های سه گانه پتانسیل V_{14} 44

جدول 3-5: کمیت های پتانسیل بر هم کنشی دو نوکلئونی V_{14} 45

جدول 3-6: پارامتر های نیرو های مختلف اسکرم 47

فصل چهارم: محاسبه‌ی معادله‌ی حالت ستاره نوترونی

جدول4-1: جرم و شعاع کوتوله سفید از مدل گاز فرمی غیر نسبیتی 57

جدول4-2: جرم و شعاع کوتوله سفید از مدل گاز فرمی نسبیتی 58

جدول4-3: جرم و شعاع ستاره نوترونی از مدل گاز فرمی غیر نسبیتی 59

جدول4-4: جرم و شعاع ستاره نوترونی با اندرکنش نوکلئون-نوکلئون 67

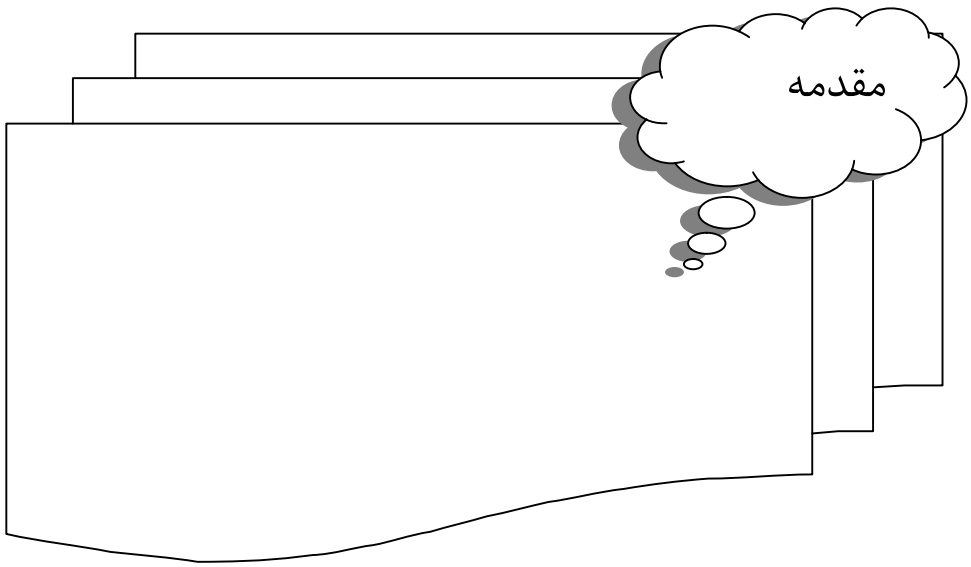
جدول4-5: جرم و شعاع ستاره نوترونی با استفاده از پتانسیل های اسکرم 76

جدول4-6: جرم و شعاع ستاره نوترونی با استفاده از پتانسیل V_8 90

جدول4-7: جرم و شعاع ستاره نوترونی با استفاده از پتانسیل AV_{14} 92

جدول4-8: جرم و شعاع ستاره نوترونی با استفاده از پتانسیل $\widetilde{V}_{14}$ 99

محاسبه‌ی معادله حالت ستاره نوترونی



مقدمه

شاید در دوران کودکی شنیده باشید که وقتی انسان متولد می شود، همراه او هم، ستاره‌ای به وجود می آید و وقتی که از دنیا می رود، آن ستاره هم از بین می رود. همیشه برایمان جالب بود بدانیم کدام یک از این ستاره‌ها ستاره‌ی ما است!؟. بعدها با مطالعه و تحقیقات انجام شده مشخص شد که این اعتقاد خرافه ای بیش نبود؛ زیرا میلیون‌ها سال طول می کشد تا ستاره ای به دنیا بیاید و میلیاردها سال طول می کشد تا این ستاره از بین برود.

تولد یک ستاره نوترونی منظره ای تماشایی و جالبی دارد. این ستاره‌ها از رمبش هسته‌های سنگین و انفجار ابرنواختر به وجود می آیند[1]. مطالعه‌ی معادله حالت این ستاره‌ها ارتباط بین فیزیک هسته‌ای، فیزیک ذرات بنیادی، فیزیک آماری و اختر فیزیک را نشان می دهد. جرم و شعاع ستاره نوترونی را می‌توان با حل معادله‌ی تولمن-اوپن هیمر-ولکوف[1] (TOV) به دست آورد. جرم و شعاع ستاره نوترونی را می توان با استفاده از نحوه‌ی تغییرات فشار در مجاورت چگالی تعادل ماده‌ی هسته ای تعیین کرد. تراکم ناپذیری و پارامتر عدم تقارن، کمیت‌های دیگری هستند که در تعیین جرم و شعاع ستاره تاثیر دارند[2]. مقادیر جرم و شعاع ستاره نوترونی را می‌توان با استفاده از مشاهدات رصدی نیز به دست آورد.

به عنوان مثال در سال 1995 کرک ویک[2] با استفاده از پرتو دوتایی ایکس (Vela X-1) جرمی در حدود ($1.9M_{\odot}$) را برای ستاره نوترونی به دست آورد. سپس در سال 1998 تورست و چاکرابارتی[3] با استفاده از پولسارهایی دوتایی رادیویی جرمی در حدود ($1.25M_{\odot} - 1.44M_{\odot}$) به‌دست آوردند. در سال 1999 اوراس و کول کرز[4] با استفاده از پرتو دوتایی ایکس Cyg X-2 جرم ستاره نوترونی را در حدود ($1.8 \pm 0.2)M_{\odot}$ تعیین کردند [3]. بالاخره هولس وتیلور[5] دقیق‌ترین جرم را که در حدود ($1.4411 \pm 0.00035)M_{\odot}$ [1] است برای این ستاره تعیین نمودند.

با استفاده از روش‌های مختلف نظری نیز می توان معادله حالت ستاره نوترونی و در نهایت مقادیر جرم و شعاع ستاره نوترونی را محاسبه کرد. به عنوان مثال ویتن[6] در سال 1984 با در نظر گرفتن اندرکنش قوی هسته‌ی کوارکی جرم ستاره‌ی نوترونی را محاسبه کرد. سپس موسر[7] در سال 1990 با وارد کردن اندرکنش نوکلئون–نوکلئون برای ماده‌ی نوترونی غیرنسبیتی و حل

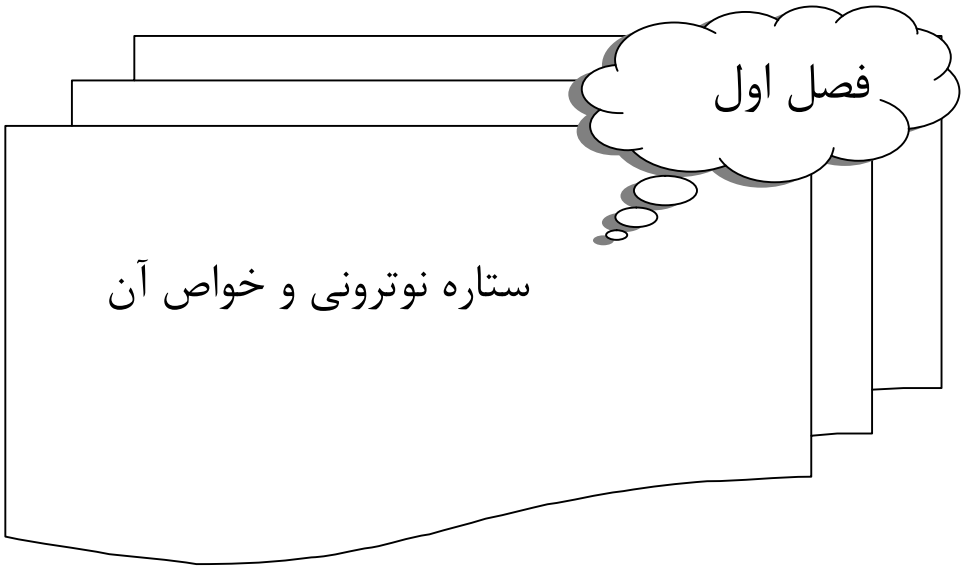
[1] Tolman-Oppenheimer-Volkoff
[2] Kerkwijk
[3] Thoresett-Chakrabarty
[4] Orosz-kuulkers
[5] Hulse-Taylor
[6] Witten
[7] Muther

معادله‌ی بروکنر-هارتری-فوک[1] (BHF) معادله حالت ستاره نوترونی را به دست آورد. در سال 1992 مجلید و بروکمن[2] با تعمیم معادله ی غیرنسبیتی بروکنر-هارتری –فوک به حالت نسبیتی دیراک[3]-بروکنر-هارتری-فوک (DBHF) و جایگزین نمودن معادله‌ی شرودینگر غیرنسبیتی با معادله‌ی دیراک نتایج بهتری را برای ماده ی نوترونی نسبیتی به دست آوردند. پس از آن موتو[4] در در سال 1993 و برون و تورسون[5] در سال 1994 اندرکنش ذراتی مانند کایون‌ها و پایون‌ها را نیز در ستاره نوترونی درنظر گرفتند و نتایج بهتری را برای جرم و شعاع ستاره نوترونی به دست آوردند[4و5].

در این پایان نامه با استفاده از روش ورودشی پائین‌ترین مرتبه‌ی قید (LOCV)[6] معادله حالت حالت ستاره نوترونی را با استفاده از تعدادی پتانسیل برهمکنش نوکلئون-نوکلئون مانند پتانسیل اسکرم، V_8، AV_{14} و $\widetilde{V}_{14}$ به دست آوردیم و جرم و شعاع ستاره‌ی نوترونی را محاسبه نموده‌ایم. به این ترتیب در فصل اول به بررسی خواص ستاره نوترونی می پردازیم. در فصل دوم معادله‌ی TOV را معرفی می کنیم. با حل این معادله می توانیم جرم و شعاع ستاره نوترونی را به دست بیاوریم. در فصل سوم به معرفی پتانسیل‌های هسته‌ای و خواص آن‌ها می‌پردازیم. و در نهایت در فصل چهارم جرم و شعاع ستاره نوترونی را با استفاده از مدل گاز فرمی غیربرهمکنشی و سپس با درنظر گرفتن اندرکنش‌های مختلف نوکلئون-نوکلئون مانند پتانسیل اسکرم و پتانسیل‌های V_8، AV_{14} و $\widetilde{V}_{14}$ به دست آوردیم.

[1] Bruckner-Hartree-Fock
[2] Machleid-Brokmann
[3] Dirac
[4] Muto
[5] Brown-Thorsson
[6] Lowest order constrained vartional

محاسبه‌ی معادله حالت ستاره نوترونی



مقدمه

برای آگاهی از ساختار درونی ستاره‌ی نوترونی و همچنین کمیت‌های مهمی مانند جرم و شعاع این ستاره‌ها باید مراحل تشکیل این ستاره‌ها و همچنین نیروهای موجود در آن‌ها را بشناسیم. از آنجا که این نیروها اغلب نیروهای هسته‌ای هستند، ما آن‌ها را به طور کامل نمی‌شناسیم؛ ولی بطور کلی دو نوع نیرو وجود دارد: 1- نیروی گرانش 2- نیروی گرادیان فشار

نیروی گرانش در یک ستاره همواره جاذبه است؛ این نیرو تمایل دارد که ذرات ماده را به هم نزدیک‌تر سازد، از آنجا که جرم یک ستاره خیلی زیاد است و حتی ممکن است یک میلیون بار بیشتر از جرم زمین باشد، درنتیجه گرانش درونی آن بسیار شدید است. لحظه‌ای اعماق خورشید را مجسم کنید، فشار آن در یک دهمی فاصله سطح تا هسته تقریبا یک میلیون بار بیشتر از فشار جو در سطح زمین است.

در یک ستـاره دما از مرکز به سمت سطح کاهش پیدا می‌کند، بنابراین با اختلاف دما روبرو می‌شویم و متناظر با اختلاف دما، اختلاف فشار به وجود می‌آید. به همین دلیل در فاصله‌ی کمی از سطح ستاره تا هسته‌ی آن با مقاومت گازهای تبهگن داخل ستاره روبرو می‌شویم. (گاز داخل ستاره یک گاز تبهگن است که در این حالت، معادله گاز کامل PV = NRT صادق نیست).

1-1 - مراحل تشکیل ستاره نوترونی

برای تشکیل یک ستاره بر اثر فعل و انفعالات داخل هسته، هیدروژن هسته، به هلیم و در مرحله بعد هلیم نیز به کربن تبدیل می‌شود. اگر جرم ستـاره زیاد باشد (مثلاً برای تشکیل ستـاره نوترونی، جرمی در حدود 8-10 برابر جرم خورشید لازم است) می‌تواند اتم‌های کربن هسته را تحت فشار و حرارت زیاد در مرکز هسته به عناصر سنگین‌تری مانند اکسیژن، منیزیم، گوگرد، سیلیکون و غیره و در نهایت به عنصر آهن تبدیل کند. عنصر آهن به عناصر سنگین‌تری گداخت نمی‌کند، زیرا آهن پایدارترین عنصر در طبیعت است. شکل (1-1) تبدیل عناصر مختلف داخل ستاره را نشان می‌دهد.

با متوقف شدن سوخت و ساز در هستـه تحت فشار زیاد، دما و فشار در مرکز ستاره ناگهان بالا می‌رود؛ در این دمای فوق العاده بالا، ذرات آهن به ذرات آلفا و تابش پرانرژی گاما تجزیه می‌شوند درنتیجه اختلاف فشاری در فاصله‌ی بین سطح ستاره و هسته‌ی آن به وجود می‌آید.