مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

نرم شدگی ماده ی هسته ای و جرم بیشینه ی ستاره نوترونی

هانی نیاکیان[۱] ،سمیه گودرزی[۲]

[۱،۲]دانشگاه تهران ، دانشکده فیزیک/ تهران، م. انقلاب ، خ. کارگر شمالی

چکیده

در این مقاله معادله ی حالت ماده ی هسته ای در دمای صفر برای سیستم های مختلف از ذرات آزاد ،از جمله سیستم ها ی باریونی و هایپرونی، محاسبه می شود. آستانه ی حضور ذرات در چنین سیستمی بدست می آید ، ساختار ستاره های نوترونی تحت این معادلات حالت بدست آمده وتاثیر اضافه شدن ذرات بر جرم بیشینه ی یک ستاره ی نوترونی مورد بررسی قرار می گیرد و همچنین مشاهده ی نرم شدگی معادله ی حالت هسته ای با ورود ذرات جدید به سیستم نیز یکی دیگر از اهداف این مقاله است .

بعداز پایان دوران طولانی مدت زندگی یک ستاره و خاموش شدن واکنش های هسته ای ، ستاره کم کم آماده ی تجربه ی روزهای بعد از مرگ خود خواهد بود، فروریزش گرانشی به درون، آغازی پرقدرت و زیبا بر پایان حیات درخشان یک ستاره است .این فرآیند، ستاره ی غول پیکر را به جسمی فوق العاده چگال با شعاعی در حدود چند کیلومتر تبدیل خواهد کرد. این جسم بسیار متراکم می تواند ویژگی های یک ماده ی هسته ا ی ایده ال را در خود داشته باشد ، شاید بتوان برقراری حد ترمودینامیکی در یک ستاره نوترونی و ناچیز بودن برهم کنش کولنی در آن را دلیلی بر این مدعا دانست. بر این اساس در محاسبه ی ساختار یک ستاره نوترونی بدست آوردن معادله حالت ماده ی هسته ای بسیارحائز اهمیت خواهد بود. در چگالی های پایین و در حد چگالی اشباع هسته ای $\rho_0=0.16\frac{1}{fm^3}$ انتظار می رود که ماده ی هسته ای شامل نوترون و پروتون و الکترون باشد.[1] با افزایش چگالی سیستم، پتانسیل شیمیایی ذرات افزایش یافته و کم کم شاهد حضور ذرات جدید در ماده هسته ای خواهیم بود. برای شرایط پایدار بتایی، با توجه به واکنش های هسته ای شناخته شده،از رابطه ی کلی $\mu_i=b_i\,\mu_n-q_i\,\mu_e$ برای پایستگی پتانسیل شیمیایی استفاده می کنیم. دراین رابطه b_i عدد باریونی و q_i بار الکتریکی ذره مورد نظر است.[2] اگر در کنار روابط مربوط به پتانسیل شیمیایی، خنثی ای بار و پایستگی عدد باریونی را نیز قرار دهیم در این صورت معادلات لحظه ی پایداری بتایی سیستم را در اختیار خواهیم داشت. برای یک سیستم هسته ای با حضور شش هایپرون، داریم :

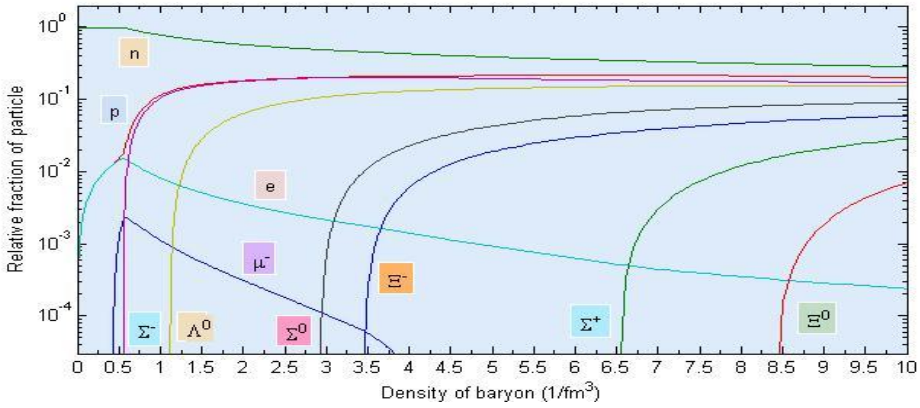
$$\begin{cases} \mu_e=\mu_{\mu^-} \\ \mu_e=\mu_n-\mu_p \\ \mu_{\Sigma^-}=\mu_{\Xi^-}=\mu_n+\mu_e \\ \mu_{\Lambda^0}=\mu_{\Sigma^0}=\mu_{\Xi^0}=\mu_n \\ \mu_{\Sigma^+}=\mu_p \end{cases} \qquad (۱)$$

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

$$\rho_p+\rho_{\Sigma^+}=\rho_e+\rho_{\mu^-}+\rho_{\Sigma^-}+\rho_{\Xi^-} \quad (۲)$$

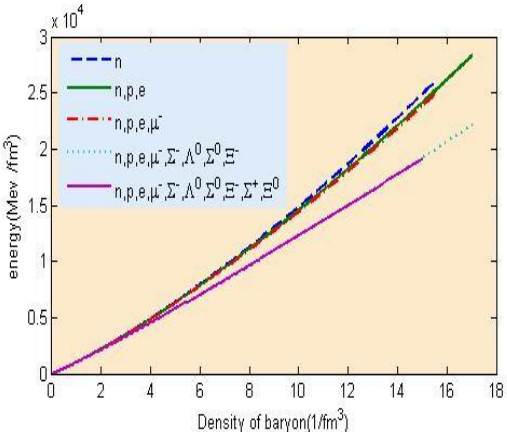
$$\rho_b=\rho_n+\rho_p+\rho_{\Sigma^-}+\rho_{\Lambda^0}+\rho_{\Sigma^0}+\rho_{\Xi^-}+\rho_{\Sigma^+}+\rho_{\Xi^0} \quad (۳)$$

با حل این معادلات برای یک سیستم از ذرات آزاد ، آستانه ی حضور میوئون و شش هایپرون بدست آمد.(شکل ۱)

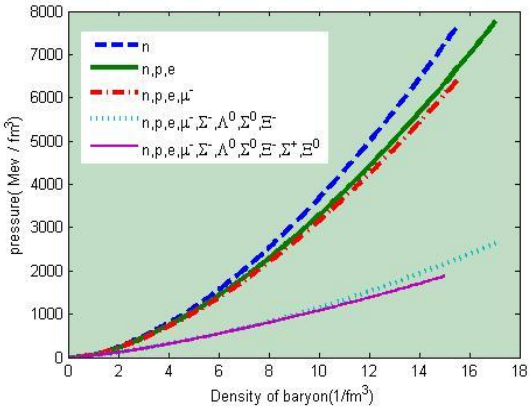


شکل ۱ : منحنی های فراوانی نسبی ذرات در سیستم فرمیونی ذرات آزاد

با بدست آمدن چگالی ذرات و یا به عبارتی دیگر تکانه ی فرمی ذرات ، انرژی کل لحظه ی پایداری به ازای یک چگالی باریونی مشخص ، قابل محاسبه خواهد بود. برای این منظور از مفهوم فضای فاز و تابع توزیع فرمی- دیراک در دمای صفر، بهره می بریم.به این ترتیب با وجود چگالی و انرژی ،فشار سیستم نیزمحاسبه می شود.[3](شکل ۲و۳)



شکل ۲ : نمودار انرژی-چگالی



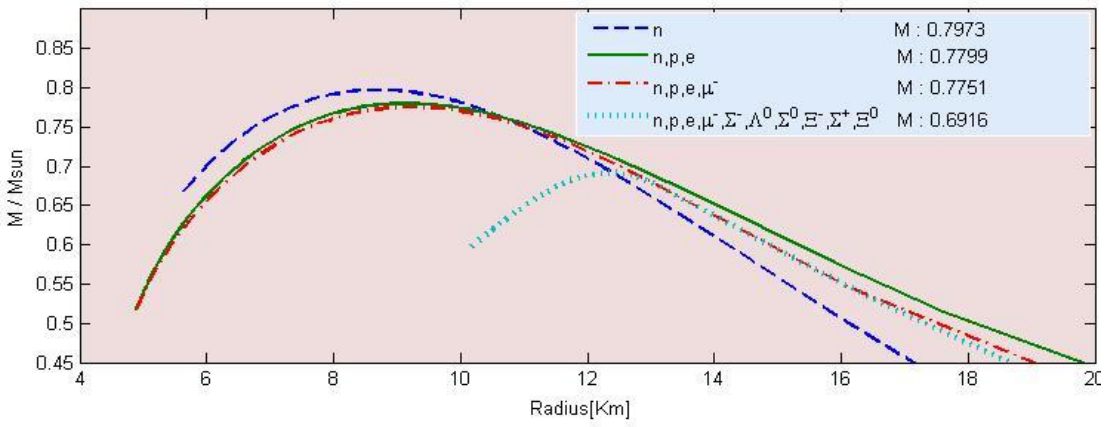
شکل ۳ : نمودار فشار-چگالی

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

زمانی که معادله حالت ماده ی فرضی را در اختیارداریم، می توانیم به سراغ محاسبه ی ساختار ستاره با استفاده از **معادلات** TOV برویم. TOV ، معادلاتی برای یک سیستم هیدرواستاتیکی کروی هستند. با استفاده از این معادلات می توان جرم و شعاع نهایی یک ستاره ی نوترونی را تخمین زد. در اصل جرم گرانشی نهایی که برای ستاره بدست می آید ، بیشترین میزان جرمی است که نیروی گرانش حاصل از آن می تواند به وسیله ی فشار حاصل از ماده ی چگال درون ستاره تحمل شود، تا همچنان سیستم هیدرواستاتیک باقی بماند. این معادلات به صورت زیر هستند :

$$\begin{cases} \frac{dp}{dr} = \frac{-GM(r)}{c^2 r^2}\epsilon(r)\left[1+\frac{P(r)}{\epsilon(r)}\right]\left[1+\frac{4\pi r^3 P(r)}{c^2 M(r)}\right]\left[1-\frac{2GM(r)}{c^2 r}\right]^{-1} \\ \frac{dM}{dr} = \frac{4\pi r^2}{c^2}\epsilon(r) \end{cases} \qquad (٤)$$

نتیجه بدست آمده برای جرم و شعاع برای چهار سیستم مختلف از ذرات آزاد در شکل ٤ آورده شده است.



شکل ٤ : منحنی جرم-شعاع ستاره

نوترونی مربوط به چهار سیستم مختلف از ذرات آزاد

نتیجه گیری

در این مقاله سقف نهایی چگالی مورد نیاز برای حضورمیونون و شش هایپرون محاسبه شد.و ترتیب ورود ذرات به سیستم ، با توجه به واکنش های هسته ای و جرم سکون ذرات ، بدست آمد. (شکل ۱) که این نتیجه می تواندمرجعی برای بررسی صحت نتایج سیستم های دارای برهمکنش تقریبی باشد.با ورود برهمکنش به سیستم، پتانسیل شیمیایی ذرات اولیه، نسبت به چگالی باریونی با سرعت بیشتری افزایش خواهند یافت وآستانه حضور ذرات جدید ،در چگالی کمتری خواهد بود. در ادامه ، محاسبه ی معادله ی حالت با اضافه نمودن ذرات در پنج مرحله انجام شد. اضافه شدن ذرات و تقسیم چگالی باریونی بین ذرات بیشتر، باعث کاهش سطح انرژی شد، که کاهش سطح فشار در سیستم را نیز در پی داشت. (شکل ۲و۳) به بیانی دقیق تر اضافه شدن ذرات به سیستم نرم شدگی در معادله ی حالت هسته ای را درپی خواهد داشت وتاثیر این نرم شدگی در کاهش جرم بیشینه ی ستاره نوترونی به وضوح مشاهده شد. (شکل ٤)

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

با سپاسگزاری از: دکتر غضنفری (دانشگاه کاشان) ودانشجویان دکتری آقای حسین زاده(دانشگاه شریف)وخانم خانمحمدی(دانشگاه تهران)

مرجع ها

[1] I. Vidana, A. Polls, and A. Ramos/arXiv : Nucl-th/9912016v1 8 Dec 1999

[2] Compact Stars /Norman K . Glendenning/page237/Second Edition/Springer 2000

[3] Ch.CMoustakidis and C.P Panos / PHYSICAL REVIEW C 79, 045806 (2009)