

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

حضورهای پرون هادر ماده ی ستارگان نوترونی

هانی نیاکیان^۱، مهدی غضنفری مجرد^۲

^۱دانشگاه تهران، دانشکده ی فیزیک، م. انقلاب، خ. کارگر شمالی

^۲دانشگاه کاشان، دانشکده ی فیزیک، بلوار قطب راوندی

چکیده

شاید بتوان مرکز به شدت چگال یک ستاره نوترونی را محملی مناسب برای حضور های پرون ها دانست چرا که در آنجا، افزایش پتانسیل شیمیایی نوکلئون ها به حدی می رسد که حضور های پرون ها را محتمل می سازد. بر این اساس در این مقاله نتایج مطالعات ماده ی های پرونی ستاره های نوترونی در چارچوب های مختلف محاسباتی، مورد بررسی قرار می گیرد. تاثیر برهمکنش نوکلئون-نوکلئون (NN)، نوکلئون-های پرون (NH) و های پرون-های پرون (HH) بر آستانه ی چگالی لازم جهت حضور های پرون ها در ماده ی ستاره ی نوترونی، در چند چارچوب متفاوت و با حضور پتانسیل های مختلف، مورد بررسی قرار می گیرد.

بدست آوردن معادله ی حالت بخش حائز اهمیت مطالعات ستاره های نوترونی محسوب می شود. این مهم در غالب روش های پدیده شناسی و یا روش های میکروسکوپیکی قرار می گیرد. این تقسیم بندی ناشی از نوع برهمکنش هایی است که در این روش ها به کار گرفته می شود. این موضوع که در محاسبه ی معادله ی حالت چه نوع پتانسیلی بین ذرات در نظر بگیریم مهم است، این پتانسیل ها به پارامترهای مختلفی وابسته هستند، که در محاسبات باید مورد توجه قرار گیرند. روش های مختلفی برای محاسبه ی معادله ی حالت وجود دارد که می توان به روش های BHF، LOCV، FHNC، TF و Variational اشاره نمود. در این بین تقریب توماس-فرمی یک روش میدان-میانگین نیمه کلاسیکی است، که در غالب روش های پدیده شناسی قرار می گیرد و بقیه روش های مورد اشاره، در گروه روش های میکروسکوپیکی قرار می گیرند. به عنوان نمونه، در این مقاله پتانسیل مورد استفاده در تقریب توماس-فرمی (TF)، پتانسیل مایرز می باشد، شکل کلی این پتانسیل بین باریونی به صورت زیر است :

$$V_{12} = -2G_{B1,B2}\rho_0^{-1} f\left(\frac{r_{12}}{a}\right) \left\{ \frac{1}{2}(1 \mp \xi)\alpha - \frac{1}{2}(1 \mp \zeta) \left[\beta \left(\frac{p_{12}}{p_b}\right)^2 - \gamma \frac{p_b}{|p_{12}|} + \sigma \left(\frac{2\bar{p}}{\rho_0}\right)^{\frac{2}{3}} \right] \right\} \quad (1)$$

در این رابطه، $G_{B1,B2}$ ثابت جفت شدگی برهمکنش باریون-باریون است. پارامترهای $\alpha, \beta, \gamma, \sigma, \zeta, \xi, a$ پارامترهای آزاد برهمکنش می باشند که با توجه به خواص نقطه ی اشباع هسته ای تعیین می گردند. در

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

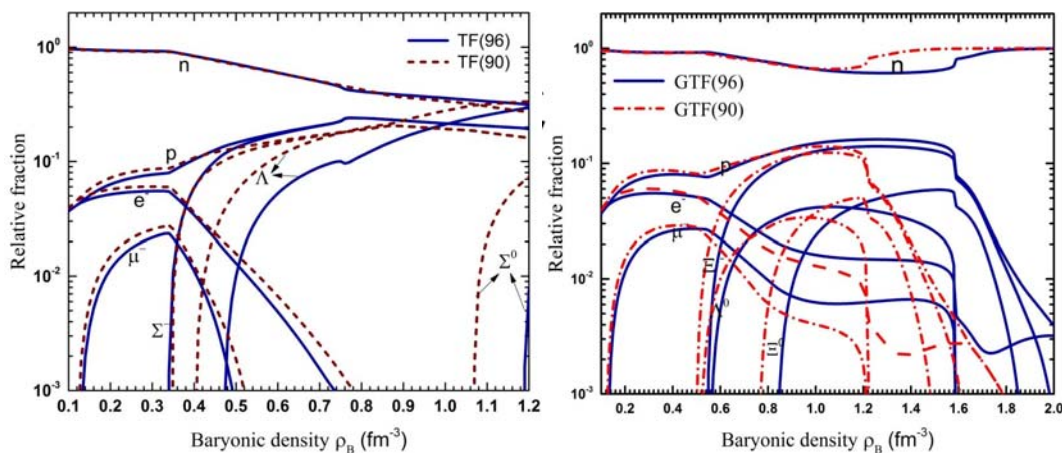
ادامه ی محاسبات، با توجه به مفهوم فضای فاز رابطه کلی انرژی پروانه را برای سیستم های مختلف ذرات بدست می آید. سپس جهت بررسی ماده ی هایپرئونی یک ستاره ی نوترونی باید به سراغ معادلات پایداری رفت. اینکه موضوع که چه تعداد ذره در محاسبات وارد می شود تعیین کننده ی شکل روابط شرایط پایداری یک ستاره ی نوترونی خواهد بود. در حالت کلی معادلات پایداری بتایی در ماده ی یک ستاره ی نوترونی، با حضور شش هایپرون، به صورت زیر است :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_e = \mu_{\mu^-} \\ \mu_e = \mu_n - \mu_p \\ \mu_{\Sigma^-} = \mu_{\Xi^-} = \mu_n + \mu_e \\ \mu_{\Lambda^0} = \mu_{\Sigma^0} = \mu_{\Xi^0} = \mu_n \\ \mu_{\Sigma^+} = \mu_p \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\rho_p + \rho_{\Sigma^+} = \rho_e + \rho_{\mu^-} + \rho_{\Sigma^-} + \rho_{\Xi^-} \quad (3)$$

$$\rho_b = \rho_n + \rho_p + \rho_{\Sigma^-} + \rho_{\Lambda^0} + \rho_{\Sigma^0} + \rho_{\Xi^-} + \rho_{\Sigma^+} + \rho_{\Xi^0} \quad (4)$$

بعد از حل این دستگاه معادلات به ازای یک چگالی باریونی مشخص ، تکانه و به عبارتی، چگالی ذرات بدست خواهد آمد و به این ترتیب آستانه ی حضور ذرات در ماده فوق العاده چگال یک ستاره نوترونی بدست می آید. به عنوان نمونه دو مورد از نتایج مربوط به تقریب توماس-فرمی که در آنها برهمکنش های نوکلئون-نوکلئون، نوکلئون-هایپرون و هایپرون-هایپرون وجود دارد، در شکل ۱ و ۲ آورده شده است.



شکل ۲: فراوانی ذرات در تقریب توماس-فرمی شامل برهمکنش های (NN) و (HN)

شکل ۱: فراوانی ذرات در تقریب توماس-فرمی شامل برهمکنش های (NN) ، (HN) و (HH)

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

نتایج مربوط به آستانه‌ی حضور میوتون و هایپرون‌ها در چارچوب‌های مختلف با حضور پتانسیل‌های پاریس، مایرز و AV18 در جدول ۱ آورده شده است و نتایج مربوط به سیستم ذرات آزاد نیز در ردیف ۱۰ این جدول قابل مشاهده است.

جدول ۱: آستانه‌ی حضور ذرات در ماده‌ی هسته‌ای ستارگان نوترونی در چارچوب‌های مختلف

NO	Framework	Type	Potential	Threshold density of particles ($1/fm^3$)						
				μ^-	Σ^-	Λ^0	Σ^0	Ξ^-	Σ^+	Ξ^0
1	BHF [4]	Micro	Paris- NN & Free H	0.18	0.42	0.81	—	—	—	—
2	BHF [4]	Micro	Paris- NN & HN	0.18	0.48	0.67	—	—	—	—
3	TF(90)	Pheno	Myers-NN & HN	0.13	0.34	0.41	1.07	—	—	—
4	TF(96)	Pheno	Myers-NN & HN	0.14	0.34	0.47	1.19	—	—	—
5	GTF(90)	Pheno	Myers-NN, HN & HH	0.13	—	0.51	—	0.50	—	0.77
6	GTF(96)	Pheno	Myers-NN, HN & HH	0.14	—	0.57	—	0.56	—	0.84
7	Variational[1]	Micro	AV18-NN Free H	0.14	0.39	0.57	—	—	—	—
8	Variational[1]	Micro	AV18-NN, HN & HH	0.14	0.76	0.42	—	—	—	—
9	LOCV [2]	Micro	AV18+TBF	0.12	—	—	—	—	—	—
10	Fermi Gas	—	Free	0.42	0.55	1.11	2.93	3.46	6.50	8.41

نتیجه‌گیری

همان‌طور در جدول ۱ مشاهده می‌شود، تازمانی که برهمکنش هایپرون-هایپرون (HH) در سیستم نداریم، (ردیف ۱ الی ۴ و ردیف ۷ و ۱۰) اولین هایپرونی که در سیستم ظاهر می‌شود، هایپرون Σ^- است. این در حالی است که هایپرون Λ^0 ، ذره‌ی سبکتری نسبت به Σ^- است. به عبارتی روند افزایشی پتانسیل شیمیایی در تمام این چارچوب‌ها به گونه‌ای است که وقتی در چگالی مشخصی، مجموع پتانسیل شیمیایی الکترون و نوترون به جرم سکون هایپرون Σ^- رسید، هنوز پتانسیل شیمیایی نوترون به جرم سکون هایپرون Λ^0 نرسیده است. نکته جالب توجه در موردی است که در آن برهم‌کنش هایپرون-هایپرون داریم (ردیف ۸ جدول، چارچوب Variational) در این مورد هایپرون Λ^0 در چگالی کمتری نسبت به هایپرون Σ^- در سیستم ظاهر می‌شود. در این محاسبه برهمکنش $\Lambda^0\Lambda^0$ لحاظ شده است. اما زمانی که در سیستم هیچ برهم‌کنشی نداریم، (ردیف ۱۰) آستانه‌ها بالاترین مقدار خود را دارند. شاید بتوان نتایج این بخش را سقف چگالی حضور هایپرون‌ها نامید. در چارچوب LOCV هنوز هایپرون‌ها وارد نشده‌اند ولی آستانه‌ی میوتون با حضور نیروی سه‌جسمی با تقریب خوبی با نتایج محاسباتی دیگر تطابق دارد.

با سپاسگذاری از: دکتر شولز از دانشگاه بارسلونا، دکتر مشفق و خانم گودرزی از دانشگاه تهران و دکتر توگاشی از مرکز فیزیک هسته‌ای ریکن.

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

مرجع‌ها

- [1] H. Togashi, E. Hiyama¹, Y. Yamamoto¹, and M. Takan, *Phys. Rev. C* **93**, **035808** (2016)
- [2] S. Goudarzi and H. R. Moshfegh, *Phys. Rev. C* **91**, **054320** (2015).
- [3] H.R. Moshfegh, M. Ghazanfari Mojarrad, *Eur. Phys. J. A* **49** (2013).
- [4] M. Baldo, G. F. Burgio, and H.-J. Schulze, *Phys. Rev. C* **61**, **055801** (2000)