

新生中子星的性质与三体核力效应*

左维^{1,2,3;1)} 李昂³ 罗培燕^{1,2} 雍高产^{1,2}

1 (中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

2 (中国科学院研究生院 北京 100049)

3 (兰州大学物理科学与技术学院 兰州 730000)

摘要 在 Brueckner-Hartree-Fock 理论框架内, 研究了新生中子星的状态方程和性质, 计算了新生中子星的最大质量和新生中子星中质子占总核子数的丰度, 特别是讨论了三体核力和中微子束缚效应的影响以及三体核力和中微子束缚效应的相互影响. 结果表明, 无论是否考虑三体核力, 中微子束缚对新生中子星的状态方程和质子丰度均有明显影响. 中微子束缚导致新生中子星物质中的质子丰度显著增大. 三体核力的贡献是使新生中子星的状态方程变硬并导致新生中子星中质子丰度明显增大. 束缚在中子星物质中的中微子显著减弱了三体核力对于中子星物质中质子丰度的影响.

关键词 新生中子星 三体核力 中微子束缚 BHF 理论

1 引言

新生中子星是重质量星体引力塌陷的产物. 在新生中子星内部, 中微子是束缚在其中的^[1]. 中微子自由度对新生中子星的性质, 组分粒子相对丰度以及演化均有重要影响^[1-3]. 例如, 新生中子星在发射中微子和去轻子化过程中有可能变得不稳定, 从而塌陷为黑洞. 发生不稳定性的条件是: 如果丰轻子的热的物态方程能够支持的最大质量大于相应的冷的退轻子化的物质能够支持的最大质量, 而且如果新生中子星的质量在这两个最大质量之间. 由于核子间的强相互作用对于新生中子星和中子星物质的状态方程起着关键性的作用^[4-19], 因而对于新生中子星的演化至关重要. 近年来, 许多作者采用各种不同的理论模型对中子星和新生中子星的性质和演化进行了广泛的研究和讨论^[1-18]. 在文献[2]中, Prakash 等利用简单的唯象参数化核势模型和建立在 Walecka 模型基础上的相对论场模型仔细研究了新生中子星的结构和组分性质, 结果表明, 中微子束缚对新生中子星的性质有重要影响, 而与有限温度相联系的热效应的影响则很小. 文献[5-8]中, 作者研究了各种不同的中

子星物质状态方程对中子星最大质量的影响, 指出了高密度核物质状态方程对中子星最大质量理论预言的重要性. 在文献[9-11]中, 作者利用相对论平均场理论方法研究了各种不同的平均场参数对核物质状态方程和中子星性质的影响. 在文献[16,17]中, 作者利用相对论平均场理论方法研究了新生中子星物质的状态方程和新生中子星的性质, 并着重讨论了中微子束缚的影响. 文献[18]中, Vidana 等利用 Brueckner-Hartree-Fock (BHF) 方法考虑超子自由度的贡献并采用 Heiselberg 等提出的参数化核物质状态方程来考虑核子相互作用部分, 研究了中微子束缚和超子自由度对新生中子星性质的影响, 表明中微子束缚和超子自由度的共同效应将导致低质量黑洞的形成.

在文献[12]中, 作者利用 BHF 方法研究了三体核力对中子星最大质量的影响, 特别是讨论了采用微观三体核力和唯象三体核力所预言的中子星最大质量的差别, 结果表明, 由于在高密度区域三体核力对于中子星物质状态方程具有很强的排斥贡献, 从而导致理论预言的中子星最大质量显著增大. 在本文中, 我们将进一步在 BHF 理论框架内着重研究微观三体核力和唯象三体核力对新生中子星物态方程, 最大质量和

2005-11-28 收稿

* 国家自然科学基金(10575119, 10235030, 10175082), 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KJ951-A1-01), 国家重点基础研究发展规划(G2000077400), 国家科技部重大前期研究专项基金(2002CCB00200)和国家自然科学基金委创新群体项目资助

1) E-mail: zuowei@impcas.ac.cn

各组分粒子相对丰度的影响,特别是我们将讨论和分析束缚在新生中子星物质中的中微子的作用与三体核力效应之间的相互影响以及利用微观三体核力与唯象三体核力所得到的理论结果间的差异.

2 中子星和新生中子星的性质和组分

中子星和新生中子星通常被看作处于流体静力学平衡的各向同性的球体^[6]. 中子星的整体性质由重力和内部压强之间的广义相对论性流体静力学平衡方程即 TOV(Tolman-Oppenheimer-Volkov) 方程决定^[19]

$$\frac{dP(r)}{dr} = -\frac{G}{r^2}\varepsilon(r)M(r) \left[1 + \frac{P(r)}{M(r)}\right] \times \left[1 + \frac{4\pi r^3 P(r)}{\varepsilon(r)}\right] \left[1 - \frac{2GM(r)}{r}\right]^{-1}, \quad (1)$$

其中 G 是万有引力常数, $P(r)$ 和 $\varepsilon(r)$ 分别表示压强和能量密度, $M(r)$ 是半径 r 内的引力质量, 满足下述方程:

$$\frac{dM(r)}{dr} = 4\pi\varepsilon(r)r^2. \quad (2)$$

通常中子星的核物质芯部分可以看作是由中子、质子、电子和 μ 子组成的处于零温度下的弱相互作用平衡的体系^[6], 被称为 (n, p, e, ν, μ) 物质或 β 稳定中子星物质. 由于在新生中子星内部中微子是束缚的, 因此新生中子星物质由处于弱相互作用平衡的中子、质子、电子、 μ 子和中微子组成, 被称为 $(n, p, e, \nu, \mu, \nu_e, \nu_\mu)$ 物质. 在中微子束缚的中子星物质内部, 总能量密度 ε 和压强由 3 部分组成, 可表示为

$$\varepsilon = \varepsilon_{NN} + \varepsilon_l + \varepsilon_{\nu_l}, \quad P = P_{NN} + P_l + P_{\nu_l}, \quad (3)$$

其中 ε_{NN} 是核子-核子相互作用的贡献, ε_l 是轻子的贡献, 而 ε_{ν_l} 则是中微子的贡献. 采用同位旋相关的 BHF 方法^[20] 计算核子-核子相互作用对能量密度的贡献 ε_{NN} . BHF 方法的基本出发点是有效相互作用 G 矩阵. 对于非对称核物质, G 矩阵同时依赖于核子数总密度和同位旋非对称度 β , 并满足下述同位旋相关的 Bethe-Goldstone (BG) 方程^[20]:

$$G(\rho, \beta; \omega) = v_{NN} + v_{NN} \sum_{k_1 k_2} \frac{|k_1 k_2\rangle Q(k_1, k_2) \langle k_1 k_2|}{\omega - e(k_1) - e(k_2) + i\eta} \times G(\rho, \beta; \omega), \quad (4)$$

其中 v_{NN} 是现实核子-核子相互作用, ω 是起始能量, $k \equiv (\mathbf{k}, \sigma, \tau)$ 表示单核子动量以及自旋和同位旋第三分量. 同位旋非对称度参数定义为 $\beta = (\rho_n - \rho_p)/\rho$, 这里 ρ_n , ρ_p 和 ρ 分别表示中子数密度, 质子数密度和总

核子数密度. 单粒子能量定义为 $e(k) = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} + U(k)$,

其中 $U(k)$ 为辅助势. 在计算中, 对辅助势采用了连续性选择. 研究表明在连续选择下, 能量空穴线展开的收敛速度要快得多^[21], 而且这一好的收敛性可以保持到很高的密度^[22]. 在计算中采用完全的 Argonne V_{18} 势^[23] 作为微观两体现实核力. 我们采用的微观三体核力模型是根据介子交换流方法建立的. 关于该三体核力模型的具体物理考虑和分析, 详见文献[24]. 这一微观三体核力模型中的参数(包括介子相互作用常数, 动量截断因子)是利用核势的单玻色子交换模型通过符合所采用的两体现实核力来加以确定的, 具体数值已在文献[25]中给出. 因而, 我们所采用的三体核力是微观意义上的且完全由所采用的两体现实核力决定. 为了避免求解三体 Bethe-Faddeev 问题, 通常采用的方法是通过对第三个粒子自由度作平均将三体核力约化为一个密度相关的等效两体核力^[24-26]. 对于具有给定核子总密度和非对称度的核物质, 利用上述包含三体核力的 BHF 方法通过标准的 BHF 自洽迭代方案可以计算出 G 矩阵, 进而由 G 矩阵可计算出非对称核物质的能量密度. 由于轻子以及中微子的相互作用对于能量密度的贡献远小于其动能部分的贡献, 因而它们可以被看作无相互作用的自由费米气体, 它们对中子星能量密度和压强的贡献由其费米动量决定, 可以采用标准的费米气体模型方法得到.

在中子星物质中, 化学平衡是通过下列弱相互作用过程来达到的

$$n \leftrightarrow p + l + \nu_l, \quad (5)$$

其中 l 表示轻子, 即 $l = e, \mu$. 对于中微子自由的中子星物质, β 平衡条件为: $\mu \equiv \mu_n - \mu_p = \mu_l$. 对于给定核子数密度 ρ , 处于 β 平衡的中微子自由的中子星物质中各组分粒子的相对丰度由 β 平衡条件和电中性条件 $\rho_p = \rho_e + \rho_\mu$ 决定. 根据微观理论计算^[20], 非对称核物质的能量密度随非对称度 β 的变化在整个同位旋非对称范围内 ($0 \leq \beta \leq 1$) 满足下述二次方规律, 即

$$\varepsilon_{NN}(\rho, \beta) = \varepsilon_{NN}(\rho, \beta = 0) + E_{\text{sym}}(\rho)\rho\beta^2, \quad (6)$$

其中 $E_{\text{sym}}(\rho)$ 为对称能. 因此可以得到

$$\mu_n - \mu_p = 4E_{\text{sym}}(\rho)\beta. \quad (7)$$

上式表明对于具有任意给定核子数密度 ρ 和质子比例 $Y_p \equiv \rho_p/\rho$ 的非对称核物质, $\mu_n - \mu_p$ 完全由对称能决定. 对于中微子束缚的中子星物质, 需要考虑中微子对平衡过程的贡献, β 平衡条件变为

$$\mu \equiv \mu_n - \mu_p = \mu_l - \mu_{\nu_l}. \quad (8)$$

在新生中子星中, 由于中微子束缚在其中, 各种轻子数均守恒, 即 $Y_{L_i} = Y_i + Y_{\nu_i} = \text{const.}$. 关于重质量星体引力塌陷的计算表明^[27]: 在中微子束缚的初始阶段, 电子轻子数占强子数的比例大约为 $Y_{L_e} = Y_e + Y_{\nu_e} \approx 0.4$. 由于在中微子束缚的初始阶段新生中子星中不存在 μ 轻子, 因而有 $Y_{L_\mu} = Y_\mu + Y_{\nu_\mu} = 0$.

3 计算结果与讨论

3.1 新生中子星物质中质子丰度

在图1中, 给出了处于 β 平衡中子星物质和新生中子星物质中质子占总核子数的相对丰度. 由图中结果可以看到, 无论是否考虑三体核力, 中微子对处于 β 平衡的中子星物质中质子的相对丰度均有十分显著的影响. 三体核力的作用是导致中子星和新生中子星物质中质子丰度明显增大, 而且采用微观三体核力所预言的质子丰度要比采用唯象三体核力得到的结果大. 这主要是由于三体核力的贡献使高密度对称能及其随密度而增大的速度大大增加^[28], 而且采用微观三体核力预言的高密度区域的对称能要高于利用唯象三体核力得到的结果^[12]. 与中微子自由的情形相比, 在中微子束缚的中子星物质(即新生中子星物质)中, 质子数所占比例明显变大; 尤其是当密度不是特别高时, 中微子束缚的中子星物质中质子丰度要远远高于相应的中微子自由中子星物质中的质子丰度. 这一结果可理解如下: 当中微子束缚在中子星物质中时, 需要考虑中微子对弱相互作用平衡过程的贡献, 由于轻子数守恒, 电子必须保持在足够高的丰度以满足 β 平衡条件.

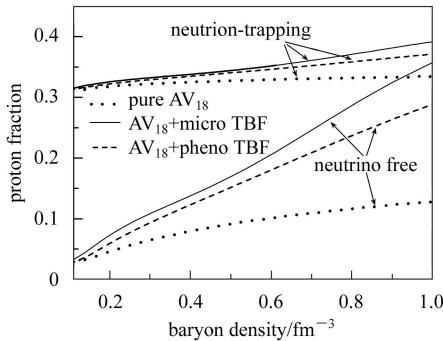


图1 中子星和新生中子星物质中质子占总核子数的比例

由图中还可以看到: 与中微子自由的情形相比, 在中微子束缚的中子星物质中, 质子丰度随核子数密度增大而增加的速度明显变缓. 值得注意的是: 束缚在新生中子星物质中的中微子显著减弱了三体核力对于中子星物质中质子丰度的影响, 这表明束缚的中微子减

弱了对称能及其密度依赖性对于质子丰度的影响, 结果导致中微子束缚的中子星物质中质子丰度对于对称能的敏感程度明显低于中微子自由的情形.

3.2 新生中子星物质的状态方程与新生中子星的最大质量

图2给出了在考虑和不考虑三体核力两种情况下, 处于 β 平衡的中子星物质和新生中子星物质的状态方程. 由图中显而易见, 三体核力对高密度区域的状态方程的贡献具有很强的排斥性, 而且三体核力的排斥贡献随密度增大而增强, 使高密度区域中子星物质的不可压缩性大大增强. 当密度较低 ($\rho \leq 0.4 \text{ fm}^{-3}$) 时, 微观三体核力和唯象三体核力对中子星物质状态方程的贡献差别较小; 但在高密度区域, 微观三体核力的排斥性明显要比唯象三体核力强, 因而利用微观三体核力预言的状态方程要比利用唯象三体核力得到的状态方程硬得多. 上述结果与文献[12]中的结论相一致. 比较图中的实线与相应的虚线可知: 当密度较低时, 束缚在中子星物质中的中微子将导致中子星物质状态方程变硬; 而当密度足够高时, 中微子的作用是使中子星物态方程变软. 中微子自由中子星物态方程与中微子束缚中子星物质的状态方程的差异由两方面因素相互竞争引起: 一方面, 束缚在中子星物质中的中微子和由于电子丰度的增加对能量密度的贡献将使物态方程变硬; 另一方面, 在中微子束缚的中子星物质中, 质子丰度变大, 由于质子数和中子数比例的不对称性导致的对物态方程的贡献(即核物质状态方程中与对称能相联系的同位旋矢量部分的贡献)变小, 从而使中子星物质状态方程变软. 当密度较低时, 对称能较小, 前一个因素起主导作用; 而随着密度的升高, 后一个因素变得越来越重要; 当密度足够高时, 后一因素的作用将超过前一因素, 结果导致中微子束缚和中微子自由中子星物质状态方程的软硬程度发生反转. 正如图2所示, 由于三体核力的贡献显著加快了对称能随密度增加而增大的速度, 因而大大降低了发生这一反转的密度.

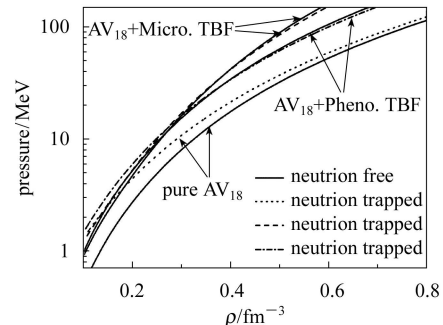


图2 中子星和新生中子星物质的状态方程

表 1 给出了 3 种不同情况下理论预言的中子星和新生中子星最大质量以及相应的半径. 由表中可以看到: 如果在计算中考虑三体核力, 则得到的中子星和新生中子星的最大质量远大于不考虑三体核力时得到的结果, 这是由于三体核力对高密度状态方程具有很强的排斥贡献. 由于微观三体核力对高密度状态方程的排斥贡献比唯象三体核力大, 因而采用微观三体核力得到的最大质量明显大于采用唯象三体核力得到的相应结果. 当密度足够高时, 中微子束缚的作用导致中子星物质状态方程变软, 因此当采用相同的核子相互作用时, 计算得到的新生中子星最大质量略小于相应的中微子自由中子星的最大质量. 表中结果还表明: 当不考虑三体核力时, 中微子束缚对最大质量的影响较小, 约为 1%; 三体核力增强了中微子束缚对中子星最大质量的影响, 例如, 当采用微观三体核力时, 计算得到的新生中子星的最大质量要比相应的中子星的最大质量小 4% 左右. 另外, 当不考虑三体核力时, 具有最大质量的中子星和新生中子星的半径均显著小于考虑三体核力情形下得到的结果. 这是由于三体核力对高密度区域状态方程的强排斥贡献能够提供额外的内部压强以平衡引力作用. 由表 1 还可以看到, 三体核力对中子星最大质量的影响远大于中微子束缚的影响.

表 1 中子星(NS)和新生中子星(PNS)最大质量和相应半径(以太阳质量 M_{\odot} 为单位)

	$M_{\max}(M_{\odot})$	R/km
NS		
AV ₁₈ +micro. TBF	2.293	10.572
AV ₁₈ +pheno. TBF	1.940	9.829
pure AV ₁₈	1.580	8.023
PNS		
AV ₁₈ +micro. TBF	2.200	10.158
AV ₁₈ +pheno. TBF	1.894	9.450
pure AV ₁₈	1.568	8.079

图 3 给出了计算得到的中子星和新生中子星的质量半径关系. 可以看到, 中微子束缚不仅对中子星最大质量有一定的效应, 而且对中子星的质量半径关系有更为显著的影响. 由图中可以看到, 当半径较小时, 中子星的质量大于相应的新生中子星的质量; 而当半径较大时, 新生中子星的质量大于相应的中子星的质量. 根据中微子束缚对状态方程的影响, 上述结果是容易理解的. 对于半径较大的中子星, 其内部物质处于相对较低的密度区域, 而当密度较低时, 中微子束缚的中子星物质的状态方程比相应的中微子自由的中子星物质的状态方程硬; 对于半径较小的中子星, 其内部特别是中心的物质处于密度较高区域, 而当密度足够高时, 中微子束缚的中子星物质的状态方程变得

比相应的中微子自由的中子星物质的状态方程软. 这也恰恰反映了中微子束缚对中子星物质状态方程密度依赖性的影响(见图 2). 由图 3 还可以看到, 利用微观方法考虑三体相互作用情况下计算得到的不考虑中微子囚禁的中子星的质量与半径之间的关系为不单调关系, 这也进一步反映了中微子囚禁的重要作用, 关于这一问题将另文作深入细致的研究和分析.

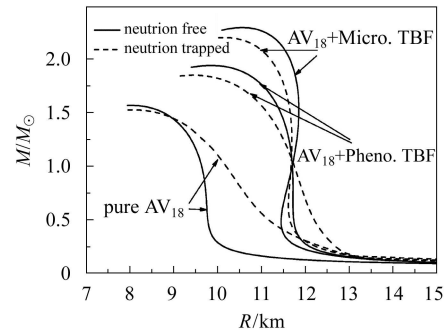


图 3 中子星和新生中子星的质量半径关系

4 总结

在同位旋相关的 BHF 理论框架内, 研究了新生中子星物质的状态方程和质子的相对丰度, 并计算了新生中子星的最大质量, 着重讨论了三体核力和中微子束缚的影响. 结果表明, 三体核力对中子星和新生中子星物态方程的贡献是随核子密度增大而迅速增强的排斥作用, 从而导致高密度区域中子星物质和新生中子星物质的不可压缩性大大增强. 当考虑三体核力的贡献时, 计算得到的中子星和新生中子星最大质量远大于不考虑三体核力时得到的结果. 在高密度区域, 微观三体核力带来的排斥性明显要比唯象三体核力的排斥性强, 因而利用微观三体核力预言的状态方程要比利用唯象三体核力得到的状态方程硬许多. 无论是否考虑三体核力, 中微子对处于 β 平衡的中子星物质中质子的相对丰度均有十分明显的影响. 在中微子束缚的中子星物质中质子丰度要显著高于相应的中微子自由中子星物质中的质子丰度. 三体核力的作用是导致中子星和新生中子星物质中质子丰度明显增大, 而且采用微观三体核力所预言的质子丰度要比采用唯象三体核力得到的结果大. 束缚在新生中子星物质中的中微子显著减弱了三体核力对于新生中子星物质中质子丰度的影响, 这表明束缚的中微子减弱了对称能及其密度依赖性对于质子丰度的影响, 结果导致中微子束缚的中子星物质中质子丰度对于对称能的敏感程度明显低于中微子自由的情形.

参考文献(References)

- 1 Burrows A, Lattimer J M. *Astrophys. J.*, 1986, **307**: 178
- 2 Prakash M et al. *Phys. Rep.*, 1997, **280**: 1
- 3 Pons J A et al. *Astrophys. J.*, 1999, **513**: 780
- 4 Lattimer J M, Prakash M. *Phys. Rep.*, 2000, **333**: 121
- 5 Arnett W D, Bowers R L. *Astrophys. J.*, 1977, **33**(Suppl.): 415
- 6 Bombaci I. Neutron Star Structure and Nuclear Equation of State. In *Nuclear Methods and the Nuclear Equation of State*. Baldo M Ed. Singapore: World Scientific, 1999. 381
- 7 Lattimer J M, Prakash M. *Astrophys. J.*, 2001, **550**: 426
- 8 Engvik L et al. *Astrophys. J.*, 1996, **469**: 794
- 9 Bednarek I, Manka R. *Nucl. Phys.*, 2003, **A719**: 322c
- 10 SUN Bao-Xi, JIA Huan-Yu, MENG Jie et al. *HEP & NP*, 2000, **24**(Suppl.): 69 (in Chinese)
(孙宝玺, 贾焕玉, 孟杰等. *高能物理与核物理*, 2000, **24**(增刊): 69); JIA Huan-Yu, LÜ Hong-Feng, MENG Jie. *HEP & NP*, 2002, **26**: 1050 (in Chinese)
(贾焕玉, 吕洪凤, 孟杰. *高能物理与核物理*, 2002, **26**: 1050); JIA Huan-Yu, MENG Jie, ZHAO En-Guang et al. *HEP & NP*, 2003, **27**: 200 (in Chinese)
(贾焕玉, 孟杰, 赵恩广等. *高能物理与核物理*, 2003, **27**: 200); BAN S F et al. *Phys. Rev.*, 2004, **69**: 045805
- 11 SHEN H. *Phys. Rev.*, 2002, **C65**: 035802
- 12 ZHOU X R et al. *Phys. Rev.*, 2004, **C69**: 018801
- 13 Bombaci I et al. *Nucl. Phys.*, 1995, **A583**: 623
- 14 Menezes D P, Providencia C. *Phys. Rev.*, 2004, **C69**: 045801
- 15 Mornas L. *Eur. Phys. J.*, 2005, **A24**:293
- 16 Santos A M S, Menezes D P. *Phys. Rev.*, 2004, **C69**: 045803
- 17 Panda P K, Menezes D P, Providencia C. *Phys. Rev.*, 2005, **C69**: 025207
- 18 Vidana I et al. *Astron. Astrophys.*, 2003, **399**: 687; *Nucl. Phys.*, 2003, **A719**: 173
- 19 Tolman R C. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 1934, **20**: 3; Oppenheimer J R, Volkov G M. *Phys. Rev.*, 1939, **55**: 374
- 20 ZUO W, Bombaci I, Lombardo U. *Phys. Rev.*, 1999, **C60**: 024605; ZUO Wei et al. *HEP & NP*, 2002, **26**: 703(in Chinese)
(左维等. *高能物理与核物理*, 2002, **26**: 703)
- 21 SONG H Q, Baldo M, Giansiracusa G et al. *Phys. Rev. Lett.*, 1998, **81**: 1584
- 22 Baldo M, Fiasconaro A, SONG H Q et al. *Phys. Rev.*, 2002, **C65**: 017303
- 23 Wiringa R B, Stoks V G J, Schiavilla R. *Phys. Rev.*, 1995, **C51**: 28
- 24 Grange P et al. *Phys. Rev.*, 1989, **C40**: 1040
- 25 ZUO Wei et al. *Nucl. Phys.*, 2002, **A706**: 418
- 26 Baldo M. The Nuclear Many-Body Theory and the Nuclear Equation of State. In *Nuclear Methods and the Nuclear Equation of State*. Baldo M Ed. Singapore: World Scientific, 1999. 1
- 27 Bethe G E et al. *Nucl. Phys.*, 1979, **B348**: 345
- 28 ZUO W et al. *Euro. Phys. J.*, 2002, **A14**: 469; ZUO Wei et al. *HEP & NP*, 2002, **26**: 1238 (in Chinese)
(左维等. *高能物理与核物理*, 2002, **26**: 1238)

Properties of Proto-Neutron Star and Effect of Three-Body Forces^{*}ZUO Wei^{1,2,3;1)} LI Ang³ LUO Pei-Yan^{1,2} YONG Gao-Chan^{1,2}

1 (Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

2 (Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

3 (School of Physics and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract Within the Brueckner-Hartree-Fock framework, the equation of state and the properties of newborn neutron stars are investigated by adopting a realistic nucleon-nucleon interaction AV_{18} supplemented with a microscopic three-body force or a phenomenological three-body force. The maximum mass of newborn neutron star and the proton fraction in the newborn beta-stable neutron-star matter are calculated. The neutrino-trapping and the three-body force effects are discussed, and the interplay between the effects of the trapped neutrino and the three-body force are especially explored. It is shown that neutrino trapping considerably affects the proton abundance and the equation of state of the newborn neutron star in both cases with and without the three-body forces. The effect of neutrino trapping remarkably enhances the proton abundance, and the contribution of the three-body force makes the equation of state of the newborn neutron star much stiffer at high densities and consequently increases the proton abundance strongly. The trapped neutrinos significantly reduce the influence of the three-body force on the proton abundance in newborn neutron stars.

Key words newborn neutron star, three-body force, neutrino trapping, BHF theory

Received 28 November 2005

^{*} Supported by National Natural Science Foundation of China (10575119, 10235030, 10175082), Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Science (KJ CX2-SW-N02), Major State Basic Research Development Program (G2000077400) and Important Pre-research Project of the Chinese Ministry of Science and Technology (2002CCB00200)

1) E-mail: zuowei@impcas.ac.cn