

The full version of the article is available on the website of the journal "Astrophysics":
<https://link.springer.com/journal/10511>

TEMPERATURE EFFECTS IN THE PROTO NEUTRON STAR PHASE OF PSR J0740+6620

XIAN-FENG ZHAO¹, WEN-BO DING², BIN TANG³

Received 4 July 2025

Accepted 10 September 2025

Temperature effect in proto neutron star (PNS) PSR J0740+6620 is studied by using relativistic mean field theory and considering baryon octet. The nucleon coupling constant is chosen as GM1, and the temperature of the PNS is set as $T = 7, 14, 21, 28, 35$ MeV, respectively. Our results show that under the constraint of mass $M = 2.08 M_{\odot}$ of the PNS PSR J0740+6620, the radius R increases with increasing temperature T . With respect to the same baryon density ρ , the field strength of mesons σ , ω , ρ and the chemical potential of neutrons μ_n decrease while the field strength of σ^* and ϕ increase with the increase of temperature T . The chemical potential of electron μ_e increases when the baryon density is less than $\rho = 0.3 \text{ fm}^{-3}$, but decreases when the baryon density is greater than $\rho = 0.3 \text{ fm}^{-3}$, companying with the increase of temperature T . Relative to the same baryon density ρ , the relative density of neutrons decreases while those of proton, Λ , Σ^+ , Σ^0 , Σ^- , Ξ^0 , and Ξ^- all increases with increasing temperature T . The central relative densities of neutrons decrease, while those of protons, hyperons Σ^+ , Σ^0 , Σ^- , Ξ^0 , and Ξ^- all increase with increasing temperature T . As for the relative density of hyperon Λ , it increases firstly, reaching a maximum value when the temperature is about $T = 20$ MeV, and then decreases with the increase of temperature T .

Keywords: *baryon: relativistic mean field theory: neutron star*

¹ School of Sciences, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China, e-mail: zhaopioneer.student@sina.com

² College of Physics and Electronic Information Engineering, Guangxi Minzu Normal University, Chongzuo 532200, China, e-mail: dingwenbo1980@163.com

³ School of Sciences, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China, e-mail: atangbin@126.com

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОТО-НЕЙТРОННУЮ ЗВЕЗДУ PSR J0740+6620

СЯНЬ-ФЭН ЧЖАО¹, ВЭНЬ-БО ДИН², БИН ТАН³

Влияние температуры на прото-нейтронную звезду (PNS) PSR J0740+6620 изучается с помощью релятивистской теории среднего поля и с учетом октава барионов. В качестве константы связи нуклонов выбрано GM1, а температура PNS установлена на уровне $T=7, 14, 21, 28, 35$ МэВ соответственно. Наши результаты показывают, что при ограничении массы $M = 2.08 M_{\odot}$ PNS PSR J0740+6620 радиус R увеличивается с ростом температуры T . При одинаковой плотности барионов ρ напряженность поля мезонов σ , ω , ρ и химический потенциал нейтронов μ_n уменьшаются, а напряженность поля σ^* и ϕ увеличивается с ростом температуры T . Химический потенциал электрона не увеличивается, когда плотность барионов меньше $\rho = 0.3 \text{ фм}^{-3}$, но уменьшается, когда плотность барионов больше $\rho = 0.3 \text{ фм}^{-3}$, сопровождаясь увеличением температуры T . При одинаковой плотности барионов ρ относительная плотность нейтронов уменьшается, а плотность протонов, Λ , Σ^+ , Σ^0 , Σ^- , Ξ^0 , и Ξ^- увеличивается с ростом температуры T . Центральные относительные плотности нейтронов уменьшаются, а плотность протонов, гиперонов Σ^+ , Σ^0 , Σ^- , Ξ^0 , и Ξ^- увеличивается с ростом температуры T . Что касается относительной плотности гиперонов Λ , то она сначала увеличивается, достигая максимального значения при температуре около $T=20$ МэВ, а затем уменьшается с увеличением температуры T .

Ключевые слова: *барион: релятивистская теория среднего поля: нейтронная звезда*

REFERENCES

1. *W.B.Ding, M.D.Cai, A.H.Chan et al.*, Int. J. Mod. Phys. A, **37**, 2250034, 2022.
2. *X.L.Mu, H.Y.Jia, Z.Zhou et al.*, Astrophys. J., **846**, 140, 2017.
3. *Y.X.Li, H.Y.Chen, D.H.Wen et al.*, Eur. Phys. J. A, **57**, 31, 2021.
4. *Z.F.Gao, N.Wang, H.Shan et al.*, Astrophys. J., **849**, 19, 2017.
5. *Z.L.Deng, Z.F.Gao, X.D.Li et al.*, Astrophys. J., **892**, 4, 2020.
6. *P.B.Demorest, T.Pennucci, S.M.Ransom et al.*, Nature, **467**, 1081, 2010.
7. *E.Fonseca, T.T.Pennucci, J.A.Ellis et al.*, Astrophys. J., **832**, 167, 2016.
8. *J.Antoniadis, P.C.C.Freire, N.Wex et al.*, Science, **340**, 448, 2013.
9. *H.T.Cromartie, E.Fonseca, S.M.Ransom et al.*, Nat. Astron., **4**, 72, 2020.
10. *E.Fonseca, H.T.Cromartie, T.T.Pennucci et al.*, Astrophys. J. Lett., **915**, L12, 2021.
11. *M.C.Miller, F.K.Lamb, A.J.Dittmann et al.*, Astrophys. J. Lett., **918**, L28, 2021.
12. *R.W.Romani, D.Kandel, A.V.Filippenko et al.*, Astrophys. J. Lett., **934**, L17, 2022.
13. *P.Routaray, A.Quddus, K.Chakravarti et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **525**, 5492, 2023.
14. *C.J.Xia, W.J.Xie, M.Bakhiet*, Phys. Rev. D, **110**, 114009, 2024.
15. *A.Issifu, D.P.Menezes, Z.Rezaei et al.*, J. Cosmol Astropart P, **2025**, 024, 2025.
16. *A.Burrows, J.M.Lattier*, Astrophys., **307**, 178, 1986.
17. *N.K.Glendenning*, Phys. Lett. B, **185**, 275, 1987.
18. *N.K.Glendenning*, Nucl. Phys. A, **469**, 600, 1987.
19. *X.F.Zhao, R.Huang, J.L.Huo*, Int. J. Mod. Phys. D, **31**, 2250062, 2022.
20. *X.F.Zhao, T.P.Liu*, Eur. Phys. J. C, **82**, 682, 2022.
21. *X.F.Zhao*, Int. J. Mod. Phys. E, **31**, 2250101, 2022.
22. *S.G.Zhou*, Phys. Scr., **91**, 063008, 2016.
23. *N.K.Glendenning*, Compact Stars: Nuclear Physics, Particle Physics, and General Relativity, Springer-Verlag, New York, Inc, 1997.
24. *J.Schaffner, C.B.Dover, A.Gal et al.*, Ann. Phys., **235**, 35, 1994.
25. *R.C.Tolman*, Phys. Rev., **55**, 364, 1939.
26. *J.R.Oppenheimer, G.M.Volkoff*, Phys. Rev., **55**, 374, 1939.
27. *S.J.Lee et al.*, Phys. Rev. Lett., **57**, 2916, 1986.
28. *N.K.Glendenning*, Astrophys. J., **293**, 470, 1985.
29. *N.K.Glendenning, S.A.Moszkowski*, Phys. Rev. Lett., **67**, 2414, 1991.
30. *B.G.Todd-Rutel, J.Piekarewicz*, Phys. Rev. Lett., **95**, 122501, 2005.
31. *T.Laura, C.Mario, R.Angels*, Publ. Astron. Soc. Aust., **34**, e065, 2017.
32. *X.F.Zhao*, Int. J. Theor. Phys., **58**, 1060, 2019.
33. *J.Schaffner-Bielich, A.Gal*, Phys. Rev. C, **62**, 034311, 2000.
34. *S.Weissenborn, D.Chatterjee, J.Schaffner-Bielich*, Nucl. Phys. A, **881**, 62, 2012.
35. *A.Gal, E.V.Hungerford, D.J.Millener*, Rev. Mod. Phys., **88**, 035004, 2016.
36. *C.J.Batty, E.Friedman, A.Gal*, Phys. Rep., **287**, 385, 1997.
37. *T.Harada, Y.Hirabayashi, A.Umeya*, Phys. Lett. B, **690**, 363, 2010.
38. *J.Schaffner, I.N.Mishustin*, Phys. Rev. C, **53**, 1416, 1996.