

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

THEORETICAL INVESTIGATION OF DARK STARS ADMITTING THE CHAPLYGIN EQUATION OF STATE

P.TAMTA¹, P.FULORIA²

Received 10 October 2025

Accepted 17 December 2025

This study investigates the internal structure of compact stars models using the Chaplygin equation of state, a notable candidate for describing exotic matter due to its ability to manifest dark energy through an inverse pressure-density relationship. By integrating this equation of state into the framework of general relativity, we derive solutions that describe stable and physically realistic stellar configurations. The spacetime geometry within the stellar interior is governed by the Buchdahl metric potential, facilitating the construction of analytic models applicable to observed compact objects such as PSRJ1903 + 327, CenX - 3, and VelaX - 1, with respective masses of $1.667 M_{\odot}$, $1.49 M_{\odot}$, and $1.77 M_{\odot}$, and corresponding radii of 9.438 km, 9.178 km, and 9.56 km. To visualize the behavior of thermodynamic variables, two-dimensional contour plots are employed to illustrate the spatial variation of matter density and radial pressure, revealing centrally peaked distributions that decrease smoothly toward the boundary-consistent with expected stellar behavior. The model's validity is further examined using standard physical checks, including the satisfaction of energy conditions, causality constraints, and dynamical stability via the adiabatic index. The results support the Chaplygin gas as a compelling equation of state for describing compact astrophysical bodies and demonstrate the effectiveness of combining analytic methods with advanced graphical analysis in modeling relativistic stars.

Keywords: *dark stars: Chaplygin equation*

¹ Department of Physics, Government P.G.College Berinag Pithoragarh,
e-mail: prameshtamta09@gmail.com

² Department of Physics, S.S.J. University Almora, e-mail: p.fuloria@yahoo.com

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМНЫХ ЗВЕЗД С УЧЕТОМ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ЧАПЛЫГИНА

П.ТАМТА, П.ФУЛОРИЯ

В данном исследовании изучается внутренняя структура моделей компактных звезд с использованием уравнения состояния Чаплыгина, которое является одним из наиболее подходящих для описания экзотической материи благодаря своей способности проявлять темную энергию через обратную зависимость давления от плотности. Интегрируя это уравнение состояния в рамки общей теории относительности, получены решения, описывающие стабильные и физически реалистичные конфигурации звезд. Геометрия пространства-времени внутри звезды определяется метрическим потенциалом Бухдаля, что облегчает построение аналитических моделей, применимых к наблюдаемым компактным объектам, таким как PSRJ1903 + 327, CenX - 3 и VelaX - 1, с соответствующими массами $1.667 M_{\odot}$, $1.49 M_{\odot}$ и $1.77 M_{\odot}$, а также соответствующими радиусами 9.438 км, 9.178 км и 9.56 км. Для визуализации поведения термодинамических переменных используются двумерные контурные графики, иллюстрирующие пространственное изменение плотности вещества и радиального давления, которые показывают распределение с пиком в центре, плавно уменьшающееся к границе, что соответствует ожидаемому поведению звезд. Достоверность модели дополнительно проверяется с помощью стандартных физических проверок, включая соблюдение энергетических условий, ограничений причинности и динамической стабильности с помощью адиабатического индекса. Результаты подтверждают, что газ Чаплыгина является привлекательным уравнением состояния для описания компактных астрофизических тел, и демонстрируют эффективность сочетания аналитических методов с передовым графическим анализом при моделировании релятивистских звезд.

Ключевые слова: *темные звезды: уравнения Чаплыгина*

REFERENCES

1. *K.Cheng, Z.Dai, T.Lu*, International Journal of Modern Physics D, **7**, 139, 1998.
2. *E.Witten*, Phys. Rev. D, **30**, 272, 1984.
3. *R.Tikekar, K.Jotania*, Pramana, **68**, 397, 2007.
4. *S.Perlmutter et al.*, Astrophys. J., **517**, 565, 1999.
5. *A.G.Riess, A.V.Filippenko, P.Challis et al.*, Astron. J., **116**, 1009, 1998.
6. *P.Bhar*, Astrophys. Space Sci., **356**, 309, 2015.
7. *J.H.Oort*, Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands, **6**, 249, 1932.
8. *F.S.Lobo*, Classical and Quantum Gravity, **23**, 1525, 2006.
9. *F.Lobo*, Phys. Rev. D, **71**, 124022, 2005.
10. *S.Perlmutter, G.Aldering, G.Goldhaber et al.*, Astrophys. J., **517**, 565, 1999.
11. *A.G.Riess, R.P.Kirshner, B.P.Schmidt et al.*, Astron. J., **117**, 707, 1999.
12. *V.Sahni, A.Krasinski*, General Relativity and Gravitation, **40**, 1557, 2008.
13. *P.Paul, R.Sengupta*, Advances in High Energy Physics, **2020**, 1, 2020.
14. *E.Mottola, P.O.Mazur*, in APS April Meeting Abstracts, 2002, p.I12-011.
15. *O.M.Pawel, M.Emil*, Proc. Nat. Acad. Sci., **101**, 9545, 2004.
16. *F.Rahaman, M.Kalam, M.Sarker et al.*, Phys. Lett. B, **633**, 161, 2006.
17. *F.Rahaman, M.Kalam, B.Bhui et al.*, Physica Scripta, **76**, 56, 2007.
18. *F.S.Lobo*, Phys. Rev. D, **71**, 084011, 2005.
19. *F.Lobo*, Phys. Rev. D, **75**, 024023, 2007.
20. *F.Rahaman, S.Ray, A.K.Jafry et al.*, Phys. Rev. D, **82**, 104055, 2010.
21. *P.Bhar*, Astrophys. Space Sci., **356**, 365, 2015.
22. *P.Bhar*, The European Physical Journal C, **79**, 1, 2019.
23. *A.K.Yadav, F.Rahaman, S.Ray*, International Journal of Theoretical Physics, **50**, 871, 2011.
24. *M.Ruderman*, Ann. Rev. Astron. Astrophys., **10**, 427, 1972.
25. *R.Kippenhahn, A.Weigert, A.Weiss*, Stellar structure and evolution, Vol. 192, Springer, 1990.
26. *A.Sokolov*, Zhurnal Eksperimental'noj i Teoreticheskoy Fiziki, **49**, 1137, 1980.
27. *L.Herrera, N.O.Santos*, Phys. Rep., **286**, 53, 1997.
28. *P.S.Letelier*, Phys. Rev. D, **22**, 807, 1980.
29. *F.Weber*, Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, **25**, R195, 1999.
30. *R.L.Bowers, E.Liang*, Astrophys. J., **188**, 657, 1974; **188**, 657, 1974.
31. *L.Herrera*, Phys. Rev. D, **101**, 104024, 2020.
32. *L.Herrera, W.Barreto*, Phys. Rev. D, **88**, 084022, 2013.
33. *M.Kalam, F.Rahaman, S.Molla et al.*, Astrophys. Space Sci., **349**, 865, 2014.
34. *S.M.Carroll, V.Duvvuri, M.Trodden et al.*, Phys. Rev. D, **70**, 043528, 2004.
35. *S.Roy*, Phys. Lett. B, **567**, 322, 2003.
36. *A.Das, F.Rahaman, B.Guha et al.*, The European Physical Journal C, **76**, 1, 2016.
37. *P.Bhar*, The European Physical Journal Plus, **135**, 1, 2020.
38. *P.Bhar, S.Maurya, Y.Gupta et al.*, The European Physical Journal A, **52**, 312, 2016.
39. *S.Maurya, Y.Gupta, S.Ray*, The European Physical Journal C, **77**, 1, 2017.

40. *S.Maurya, Y.Gupta, B.Dayanandan et al.*, The European Physical Journal C, **76**, 1, 2016.
41. *M.Jasim, S.Maurya, A.S.M.Al-Sawaii*, Astrophys. Space Sci., **365**, 9, 2020.
42. *K.N.Singh, P.Bhar, N.Pant*, Astrophys. Space Sci., **361**, 1, 2016.
43. *K.N.Singh, N.Pant*, The European Physical Journal C, **76**, 1, 2016.
44. *K.Karmarkar*, in Proceedings of the Indian Academy of Sciences-Section A, Vol. 27, Springer, 1948, p.56-60.
45. *H.Benaoum*, Universe, **8**, 340, 2022.
46. *H.A.Buchdahl*, Phys. Rev., **116**, 1027, 1959.
47. *S.Chandrasekhar*, Phys. Rev. Lett., **12**, 114, 1964.
48. *R.Chan, L.Herrera, N.Santos*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **265**, 533, 1993.