

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

A NOVEL PARAMETRIZED DARK ENERGY MODEL IN A FLAT UNIVERSE

C.SIVAKUMAR

Received 30 May 2025

Accepted 10 September 2025

A novel dark energy model with an equation of state (EoS) given by: $\omega(z) = \omega_0 + \omega_1 z / (1 + \ln(1 + z))$ is proposed, which effectively captures the transition from deceleration to acceleration in the cosmic expansion. This model is motivated by recent observational measurements, all of which indicate a significant shift in the dynamics of the universe at intermediate redshifts ($z \approx 0.5$). By utilizing a logarithmic damping term, the model allows for a smooth, redshift-dependent transition between matter, dark energy, and radiation domination, and avoids the abrupt transitions often observed in simpler models. In particular, the parameters ω_0 and ω_1 govern the early and late-time evolution of the equation of state. ω_0 characterizes the late-time asymptotic behaviour, while ω_1 controls the rate of transition at intermediate redshifts. The model is further examined from multiple theoretical standpoints: we establish its correspondence with viscous and logotropic dark fluids, reconstruct its scalar field theoretical counterpart (quintessence-type), and derive the effective equation of state $\omega_{eff}(z)$, which confirms a smooth transition to an accelerating phase near $z \sim 0.5$. Furthermore, we perform a thermodynamic analysis to verify the validity of the generalized second law of thermodynamics (GSL) and ensure the model's stability. The speed of sound, which is essential for stability analysis, is computed and analysed to ensure it remains positive and stable across all redshifts, ensuring that the model adheres to physical constraints. We analysed the present model with updated observational Hubble parameter data from cosmic chronometers, performing a full chi-square minimization and model selection analysis using the Akaike Information Criterion (AIC). The resulting best-fit parameters indicate a close match with data, yielding a χ_{min} comparable to Λ CDM and CPL, and a ΔAIC that confirms the present model as a competitive phenomenological alternative within the current cosmological framework.

Keywords: *pressure parameter: dynamic dark energy: flat universe: deceleration parameter*

Department of Physics, Maharaja's College, Ernakulam (Affiliated to MG University, Kottayam), Kochi-682021, Kerala,
 India, e-mail: sivakumar@maharajas.ac.in

НОВАЯ ПАРАМЕТРИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ ТЕМНОЙ ЭНЕРГИИ В ПЛОСКОЙ ВСЕЛЕННОЙ

C.СИВАКУМАР

Предложена новая модель темной энергии с уравнением состояния (EoS) по формуле: $\omega(z) = \omega_0 + \omega_1 z / (1 + \ln(1 + z))$, которая эффективно фиксирует переход от замедления к ускорению в космическом расширении. Эта модель основана на недавних наблюдательных измерениях, которые указывают на значительный сдвиг в динамике Вселенной на промежуточных красных смещениях ($z \approx 0.5$). Используя логарифмический член затухания, модель позволяет обеспечить плавный, зависящий от красного смещения переход между материей, темной энергией и доминированием излучения, и позволяет избежать резких переходов, которые часто наблюдаются в более простых моделях. В частности, параметры ω_0 , ω_1 управляют ранней и поздней эволюцией уравнения состояния. ω_0 характеризует асимптотическое поведение в позднем времени, в то время как ω_1 контролирует скорость перехода на промежуточных красных смещениях. Далее модель рассматривается с нескольких теоретических точек зрения: устанавливается ее соответствие вязким и логотропным темным жидкостям, реконструируется ее теоретический аналог скалярного поля (типа квинтэссенции) и выводится эффективное уравнение состояния $\omega_{eff}(z)$, подтверждающее плавный переход в фазу ускорения вблизи $z \sim 0.5$. Кроме того, выполнен термодинамический анализ, чтобы проверить справедливость обобщенного второго закона термодинамики (GSL) и убедиться в стабильности модели. Скорость звука, которая имеет важное значение для анализа устойчивости, вычисляется и анализируется, чтобы убедиться, что она остается положительной и стабильной на всех красных смещениях, гарантируя, что модель соответствует физическим ограничениям. Настоящая модель проанализирована с обновленными данными о наблюдательных параметрах Хаббла от космических хронометров, выполнив полную минимизацию χ -квадрат и анализ выбора модели с использованием информационного критерия Акаике (AIC). Полученные параметры наилучшего соответствия указывают на близкое соответствие с данными, что дает χ_{min}^2 , сравнимое с Λ CDM и CPL, и Δ AIC, и подтверждает существующую модель как конкурентную феноменологическую альтернативу в рамках текущей космологической структуры.

Ключевые слова: *параметр давления: динамическая темная энергия: плоская Вселенная: параметр замедления*

REFERENCES

1. *A.G.Riess et al.*, *Astron. J.*, **116**, 1009, 1998.
2. *S.Perlmutter et al.*, *Astrophys. J.*, **517**, 565, 1999.
3. *D.N.Spergel et al.*, *Astrophys. J. Suppl.*, **148**, 175, 2003.
4. *D.J.Eisenstein et al.*, *Astrophys. J.*, **633**, 560, 2005.
5. *F.Beutler, C.Blake, M.Colless et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **416**, 3017, 2011.
6. *M.Tegmark et al.*, *Phys. Rev. D*, **69**, 103501, 2004.
7. *L.Fu et al.*, *Astron. Astrophys.*, **479**, 9, 2008.
8. *J.Simon, L.Verde, R.Jimenez*, *Phys. Rev. D*, **71**, 123001, 2005.
9. *M.Moresco, L.Verde, L.Pozzetti et al.*, *JCAP*, **08**, 006, 2012.
10. *P.A.R.Ade et al.*, *Astron. Astrophys.*, **594**, A13, 2016.
11. *N.Aghanim et al.*, *Astron. Astrophys.*, **641**, A6, 2020.
12. *V.Sahni, A.Starobinsky*, *Int. J. Mod. Phys. D*, **9**, 373, 2000.
13. *S.Weinberg*, *Rev. Mod. Phys.*, **61**, 1, 1989.
14. *T.Padmanabhan*, *Phys. Rep.*, **380**, 235, 2003.
15. *P.J.Steinhardt*, *Critical Problems in Physics* (Princeton: Princeton Univ. Press), 1997.
16. *L.M.Krauss, M.S.Turner*, *Gen. Rel. Grav.*, **27**, 1137, 1995.
17. *A.Avelino, R.P.Kirshner*, *Astrophys. J.*, **828**, 35, 2016.
18. *C.Wetterich*, *Nucl. Phys. B*, **302**, 668, 1988.
19. *R.R.Caldwell, R.Dave, P.J.Steinhardt*, *Phys. Rev. Lett.*, **80**, 1582, 1998.
20. *R.R.Caldwell*, *Phys. Lett. B*, **545**, 23, 2002.
21. *C.Armendariz-Picon, V.Mukhanov, P.J.Steinhardt*, *Phys. Rev. Lett.*, **85**, 4438, 2000.
22. *T.Chiba, T.Okabe, M.Yamaguchi*, *Phys. Rev. D*, **62**, 023511, 2000.
23. *A.R.Liddle, R.J.Scherrer*, *Phys. Rev. D*, **59**, 023509, 1998.
24. *K.M.Naseeba, S.Nelleri, P.Navaneeth*, *Phys. Rev. D*, **109**, 063528, 2024.
25. *A.Y.Kamenshchik, U.Moschella, V.Pasquier*, *Phys. Lett. B*, **511**, 265, 2001.
26. *M.C.Bento, O.Bertolami, A.A.Sen*, *Phys. Rev. D*, **66**, 043507, 2002.
27. *H.Sandvik, M.Tegmark, M.Zaldarriaga et al.*, *Phys. Rev. D*, **69**, 123524, 2004.
28. *M.Chevallier, D.Polarski*, *Int. J. Mod. Phys. D*, **10**, 213, 2001.
29. *H.K.Jassal, J.S.Bagla, T.Padmanabhan*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc. Lett.*, **356**, L11, 2005.
30. *B.Wang, Y.Gong, E.Abdalla*, *Phys. Rev. D*, **82**, 103006, 2010.
31. *S.D.Odintsov, D.S.C.Gomez, G.S.Sharov*, *Phys. Rev. D*, **101**, 044010, 2020.
32. *Y.Gong, A.Wang*, *Phys. Rev. D*, **75**, 043520, 2007.
33. *M.Gruber, J.Luongo*, *Phys. Rev. D*, **89**, 103506, 2014.
34. *T.P.Sotiriou, V.Faraoni*, *Rev. Mod. Phys.*, **82**, 451, 2010.
35. *R.Ferraro, F.Fiorini*, *Phys. Rev. D*, **75**, 084031, 2007.
36. *S.Nojiri, S.D.Odintsov*, *Phys. Rept.*, **505**, 59, 2011.
37. *A. De Felice, S.Tsujikawa*, *Living Rev. Rel.*, **13**, 3, 2010.

38. *G.Cognola, E.Elizalde, S.Nojiri et al.*, Phys. Rev. D, **73**, 084007, 2006.
39. *P.Mukherjee, N.Banerjee*, Phys. of Dark Universe, **36**, 100998, 2022.
40. *S.Dubey, S.Agrawal, A.Bheesham et al.*, Eur. Phys. J. Plus, **140**, 254, 2025.
41. *J.D.Bekenstein*, Phys. Rev. D, **9**, 3292, 1974.
42. *V.F.Cardone, N.Radicella, A.Troisi*, Entropy, **19**, 392, 2017.
43. *N.Komatsu*, Phys. Rev. D, **108**, 083515, 2023.
44. *G.W.Gibbons, S.W.Hawking*, Phys. Rev. D, **15**, 2738, 1977.
45. *L.Xu*, Phys. Rev. D, **87**, 043503, 2013.
46. *E.W.Kolb, M.S.Turner*, The Early Universe (California: Addison-Wesley), 1990.
47. *A.Guth*, Phys. Rev. D, **23**, 347, 1981.
48. *S.D.Odintsov et al.*, Ann. of Phys., **398**, 238, 2018.
49. *K.Bamba et al.*, Astrophys. Space Sci., **342**, 155, 2012.
50. *I.Brevik et al.*, Int. J. Mod. Phys. D, **26**, 1730024, 2017.
51. *P.H.Chavanis, C.Sire*, Physics A, **375**, 140, 2007.
52. *P.H.Chavanis*, Phys. Lett. B, **758**, 59, 2016.
53. *E.Gruneisen*, Annalen der Physik, **344**, 257, 1912.
54. *S.Capozziello, R.D.Agostino, O.Luongo*, Phys. Dark. Univ., **20**, 1, 2018.
55. *S.Nojiri, S.D.Odintsov, M.Sami*, Phys. Rev. D, **74**, 046004, 2006.
56. *S.Nojiri, S.D.Odintsov*, Int. J. Geom. Meth. Mod. Phys., **4**, 115, 2027.
57. *N.Komatsu, S.Kimura*, Phys. Rev. D, **93**, 043530, 2016.
58. *S.Odintsov, T.Paul, S.Sengupta*, Phys. Rev. D, **109**, 103515, 2024.
59. *R.K.Tiwari et al.*, Astrofizika, **68**, 95, 2025.
60. *D.Tamayo*, Rev. Mex. De Fis., **68**, 020704, 2022.
61. *M.Moresco et al.*, JCAP, **08**, 006 2012.
62. *C.Zhang et al.*, Res. Astron. Astrophys., **14**, 1221, 2014.
63. *J.Simon, L.Verde, R.Jimenez*, Phys. Rev. D, **71**, 123001, 2005.
64. *M.Moresco et al.*, JCAP, **05**, 014, 2016.
65. *A.L.Ratsimbazafy et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **467**, 3239, 2017.
66. *D.Stern et al.*, JCAP, **02**, 008, 2010.
67. *N.Borghi, M.Moresco, A.Cimatti*, Astrophys. J. Lett., **928**, L4, 2022.
68. *M.Moresco*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **450**, L16, 2015.
69. *S.Cao, B.Ratra*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **513**, 5686, 2022.
70. *S.D.Odintsov, D.S.C.Gomez, G.S.Sharov*, EPJC, **85**, 298, 2025.
71. *H.Akaike*, IEEE Trans. Autom. Contr., **19**, 716, 1974.