

Testando teorias de gravitação modificada com lentes gravitacionais

Fernanda Araujo Oliveira

Observatório Nacional

Resumo

Resumo do pôster apresentado na segunda edição do evento As Astrocientistas, realizado entre os dias 7 e 10 de fevereiro 2023.

Abstract

Summary of the poster presented in the second edition of the As Astrocientistas event, held between 7 and 10 February 2023.

Palavras-chave: gravitação modificada, lentes gravitacionais, testes gravitacionais

Keywords: modified gravity, gravitational lens, gravitational tests

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v5nEspecial.44986](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v5nEspecial.44986)

1 Introdução

As teorias de gravitação modificada têm se mostrado alternativas interessantes para explicar e resolver os problemas em aberto do modelo Λ CDM, o mais usado para a descrição do Universo e que adota a Relatividade Geral como teoria gravitacional, se baseando nas hipóteses de isotropia e homogeneidade em grandes escalas - o Princípio Cosmológico [1, 2]. Em especial, as teorias escalares-tensoriais [3] costumam ser as mais usadas como alternativas à RG devido a sua simplicidade relativa. As teorias *Beyond Horndeski* [4] se encaixam na classe de teorias escalares-tensoriais e compreendem diversos modelos de energia escura sem a constante cosmológica Λ , o que torna seu estudo interessante, já que a energia escura ainda é uma questão em aberto do Modelo Cosmológico Padrão [5].

Uma das ferramentas que pode ser utilizada para testar a Relatividade Geral e as teorias alternativas são as lentes gravitacionais, formadas como resultado da deflexão da luz por um campo gravitacional [6]. Seu uso é diverso, com aplicações em várias áreas da astrofísica e cosmologia. Há outras diversas formas de se testar teorias alternativas à RG no regime de curvatura intermediária, porém as lentes gravitacionais abrangem um maior alcance em diferentes escalas [7]. Por isso, optamos por utilizá-las no nosso

trabalho.

O lenteamento gravitacional pode ser classificado de acordo com sua escala angular e de intensidade. No caso da escala angular, pode ser separado em micro ou macrolenteamento. No caso do microlenteamento, as escalas angulares típicas (forma das imagens, separação entre elas) são pequenas a ponto de não serem observáveis com a instrumentação atual. O que pode ser medido é o efeito da magnificação. Neste caso, os objetos lenteados são estrelas ou quasares e as lentes são planetas ou estrelas. Já no macrolenteamento, as deformações das imagens ou a separação entre elas podem ser medidas. Nesse caso, as lentes são galáxias ou aglomerados de galáxias.

Com relação à intensidade, o lenteamento gravitacional pode ser classificado em forte ou fraco. No regime fraco, há leves distorções na imagem do objeto lenteado e pequena variação no seu brilho. No caso forte, há grandes distorções nas imagens, gerando a formação de imagens múltiplas, grandes magnificações, arcos e anéis de Einstein. Este último caso é formado quando há alinhamento quase perfeito entre observador, lente e fonte. Neste trabalho, consideraremos objetos em escala galáctica no regime do lenteamento forte.

2 Metodologia

Realizamos um teste de teorias alternativas à Relatividade Geral, em especial as teorias *Beyond Horndeski*, utilizando a combinação do efeito forte de lente gravitacional com a dinâmica estelar de galáxias. Nestas teorias, a razão entre os potenciais Φ e Ψ , que aparecem como perturbações escalares na métrica de FLRW [8], é diferente de um. A diferença entre esses potenciais pode ser testada comparando a massa inferida a partir dos fótons - massa *lensing* - com a massa inferida do movimento de objetos luminosos - massa dinâmica. Neste trabalho consideramos, em particular, a medida da dispersão de velocidade estelar de galáxias - sensível apenas ao potencial Φ - e, simultaneamente, o efeito de lente gravitacional - sensível à soma dos dois potenciais [8]. Foram obtidas expressões para a dispersão de velocidades medida em espectros (ou seja, considerando os efeitos observacionais) e para a equação da lente com a inserção de termos oriundos das teorias *Beyond Horndeski*. Utilizando essas expressões, é possível obter limites sobre parâmetros das teorias de gravidade modificada.

3 Resultados

Por fim, obtivemos uma relação entre o parâmetro pós-Newtoniano γ [9] e os parâmetros Y_1 e Y_2 - oriundos das teorias *Beyond Horndeski*. Estes parâmetros adimensionais estão diretamente relacionados às derivadas dos potenciais associados às perturbações escalares da métrica - Φ e Ψ [10]. Logo, observouse que os limites obtidos para γ podem ser usados para colocar limites sobre uma combinação dos parâmetros Y_1 e Y_2 . O que obtemos então é que a análise encontrada neste trabalho para o caso das teorias *Beyond Horndeski* é equivalente à análise do parâmetro γ , ou seja, é equivalente ao caso da Relatividade Geral utilizando o formalismo PPN [11, 12].

Obtivemos que há uma degenerescência entre os parâmetros Y_1 e Y_2 das teorias *Beyond Horndeski*. Não é possível medi-los separadamente com os dados que possuímos [13], que utilizam a combinação do efeito de lenteamento gravitacional com a dinâmica estelar, pois estes dados possuem uma limitação para determinar melhor o perfil de densidade de massa da lente. Existem dados que combinam dinâmica e lentes gravitacionais que são muito mais detalhados do que estes [14, 15]. Com esses dados mais detalhados,

é possível que haja chances de determinar os parâmetros Y_1 e Y_2 separadamente.

Sobre a autora

Fernanda Araujo de Oliveira é bacharel em Física pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2020), licenciada em Física pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2023), mestre em Física pelo Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas na área de Cosmologia (2022), com foco em lentes gravitacionais, e doutoranda em Astronomia do Observatório Nacional na área de Cosmologia, com foco no estudo do crescimento de estruturas em modelos alternativos.

Referências

- [1] Y. Akrami et al., *Planck 2018 results. VII. Isotropy and Statistics of the CMB*, *Astron. Astrophys.* **641**, A7 (2020). [ArXiv:1906.02552](#).
- [2] F. Avila et al., *The angular scale of homogeneity in the Local Universe with the SDSS blue galaxies*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **488**(1), 1481 (2019). [ArXiv:1906.10744](#).
- [3] E. Berti et al., *Testing General Relativity with Present and Future Astrophysical Observations*, *Class. Quant. Grav.* **32**, 243001 (2015). [ArXiv:1501.07274](#).
- [4] J. Gleyzes et al., *Healthy theories beyond Horndeski*, *Phys. Rev. Lett.* **114**(21), 211101 (2015). [ArXiv:1404.6495](#).
- [5] M. Li et al., *Dark Energy*, *Commun. Theor. Phys.* **56**, 525 (2011). [ArXiv:1103.5870](#).
- [6] M. Makler, *Lentes gravitacionais: um rico recurso didático na ocasião da celebração dos 100 anos do eclipse de Sobral*, *Conexões Ciência e Tecnologia* **13**(2), p.21 (2019).
- [7] B. Jain e J. Khoury, *Cosmological Tests of Gravity*, *Annals Phys.* **325**, 1479 (2010). [ArXiv:1004.3294](#).
- [8] E. Bertschinger, *One Gravitational Potential or Two? Forecasts and Tests*, *Phil. Trans. Roy.*

- Soc. Lond. A **369**, 4947 (2011). [ArXiv:1111.4659](#).
- [9] J. D. Toniato e D. C. Rodrigues, *Post-Newtonian γ -like parameters and the gravitational slip in scalar-tensor and $f(R)$ theories*, [Phys. Rev. D **104**\(4\), 044020 \(2021\)](#). [ArXiv:2106.12542](#).
- [10] J. Sakstein et al., *Testing Gravity Using Galaxy Clusters: New Constraints on Beyond Horndeski Theories*, [JCAP **07**, 019 \(2016\)](#). [ArXiv:1603.06368](#).
- [11] S. Cao et al., *Test of parametrized post-Newtonian gravity with galaxy-scale strong lensing systems*, [Astrophys. J. **835**\(1\), 92 \(2017\)](#). [ArXiv:1701.00357](#).
- [12] J. Schwab, A. S. Bolton e S. A. Rappaport, *Galaxy-scale strong-lensing tests of gravity and geometric cosmology: constraints and systematic limitations*, [The Astrophysical Journal **708**\(1\), 750 \(2009\)](#).
- [13] S. Cao et al., *Cosmology With Strong-lensing Systems*, [Astrophys. J. **806**, 185 \(2015\)](#). [ArXiv:1509.07649](#).
- [14] T. E. Collett et al., *A precise extragalactic test of General Relativity*, [Science **360**, 1342 \(2018\)](#). [ArXiv:1806.08300](#).
- [15] G. B. Caminha et al., *Strong lensing models of eight CLASH clusters from extensive spectroscopy: accurate total mass reconstructions in the cores*, [Astron. Astrophys. **632**, A36 \(2019\)](#). [ArXiv:1903.05103](#).