



TÉCNICAS EXPERIMENTAIS PARA DETECÇÃO DE BURACOS NEGROS

CUNHA, Luis Vinicius de Alencar¹; **CARNEIRO**, Fernando Lessa²

RESUMO

Este trabalho aborda o estudo das técnicas experimentais para detecção de buracos negros, objetos astronômicos cuja detecção é desafiadora, pois não emitem luz visível. Através de uma revisão histórica, a pesquisa explora a evolução da compreensão da gravidade, desde Isaac Newton até a Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein, que redefine a gravidade como uma curvatura no espaço-tempo causada por massa e energia. O estudo também discute as singularidades e os horizontes de eventos como propriedades dos buracos negros, além de técnicas indiretas de detecção, como lentes gravitacionais e ondas gravitacionais. Conclui-se que as técnicas modernas de observação, como as usadas pelos detectores LIGO e Virgo, e o Telescópio de Horizonte de Eventos, têm permitido avanços significativos na detecção e estudo desses objetos, além de fornecer uma base sólida para futuras

¹ Voluntário do Programa de Iniciação Científica (PIVIC). Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT), Centro de Ciências Integradas. luis.cunha@ufnt.edu.br.

² Docente orientador do Programa de Iniciação Científica (PIVIC). Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT), Centro de Ciências Integradas. fernando.carneiro@ufnt.edu.br.



investigações.

Palavras-chave: Buracos Negros; Relatividade Geral; Estrela de Nêutrons..

I. INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA

No ano de 1915, Albert Einstein (1879-1955) propôs uma nova teoria que revolucionou a maneira de pensar sobre o universo chamada Teoria da Relatividade Geral (TRG). Antes a gravidade era descrita como uma força atrativa entre dois corpos, porém não explicava alguns fenômenos como a precessão anômala do periélio do planeta Mercúrio. A órbita de Mercúrio ao redor do sol é descrita por uma elipse e sofre uma precessão ou deslocamento ao longo do tempo. Ao tentar explicar esse fenômeno com as ferramentas matemáticas disponibilizadas pela gravitação newtoniana, apresentava-se uma discrepância que não era explicada pela teoria com cerca de 43 segundos de arco por século (Roseveare, 1982; Will, 2014).

Einstein, ao desenvolver a TRG, propôs que a gravidade não fosse uma força de atração em si, mas sim uma curvatura causada no espaço-tempo pela presença de massa e energia. Essa curvatura causada por esses objetos é o que gera os efeitos gravitacionais observados (Einstein, 1997).

Uma das previsões mais fascinantes da TRG é a existência de objetos extremamente compactos, conhecidos como buracos negros. Esses objetos



curvam o espaço-tempo de maneira tão intensa que nem mesmo a luz consegue escapar de sua atração gravitacional. A possibilidade teórica foi sugerida pelas descobertas de Karl Schwarzschild (1873-1916) no ano de 1916 após a publicação da TRG. Encontrou uma solução exata para as equações de Einstein para um corpo esfericamente simétrico e não rotativo. Sua solução descrevia uma região do espaço que a gravidade é tão forte que forma um horizonte de eventos, ou seja, um ponto sem retorno que além do qual toda a matéria e radiação seriam fortemente atraídas para o centro (Schwarzschild, 1916).

Outros objetos astronômicos grandiosos são as estrelas de nêutrons. São corpos extremamente densos que se formam a partir do colapso gravitacional de estrelas massivas com aproximadamente de 8 a 20 massas solares, o seu núcleo é tão compacto que é capaz de combinar prótons e elétrons formando nêutrons, criando uma estrela com um raio de apenas 10 a 20 quilômetros e com massa maior à do Sol (Shapiro; Teukolsky, 2008). Da mesma forma que buracos negros, as estrelas de nêutrons são remanescentes de estrelas massivas e não emitem luz visível, por esse motivo podem ser confundidos com buracos negros. Porém, as estrelas de nêutrons possuem uma superfície definida e podem emitir radiação em raios-x e ondas de rádio, principalmente quando estão em rotação (Hewish et al, 1968). A distinção entre esses objetos é feita geralmente por observações



indiretas como comportamento da matéria ao redor deles ou pela detecção de ondas gravitacionais como resultado de suas fusões (Abbott et al, 2016). Neste trabalho, foram explorados diversos aspectos relacionados às previsões da TRG e o estudo mais detalhado da teoria por trás das técnicas experimentais para a detecção de buracos negros.

II. BASE TEÓRICA

O desenvolvimento teórico para a detecção de buracos negros está fortemente enraizado na Teoria da Relatividade Geral de Einstein, que redefine a gravidade como a curvatura do espaço-tempo. A solução de Schwarzschild, apresentada logo após a publicação da TRG, é fundamental para descrever a geometria ao redor de buracos negros estáticos. A revisão bibliográfica inclui autores como Schwarzschild (1916), Einstein (1915), Hobson (2006) e contribuições recentes de alguns autores.

III. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é a familiarização das teorias das quais oriundam-se diversas técnicas experimentais empregadas na detecção de buracos negros, permitindo uma compreensão sólida dos fundamentos teóricos e práticos envolvidos. Por meio de uma abordagem passo a passo e acessível, o trabalho permite adquirir conhecimentos essenciais e habilidades práticas para investigar e explorar os buracos negros.

IV. METODOLOGIA



A pesquisa foi conduzida através de uma extensa revisão bibliográfica, abordando os principais conceitos teóricos da gravidade e das singularidades de espaço-tempo, além da teoria das técnicas experimentais para a detecção de buracos negros. Foram consultados artigos, livros de astrofísica e relatórios de colaborações científicas.

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisou-se uma estrela localizada próxima ao buraco negro Sagittarius A* (que está situado no centro da Via Láctea), essa estrela é conhecida como S2 e seu período orbital que se encontra mais próximo do Sagittarius A* é cerca de 17 horas-luz, que resulta em aproximadamente 117,5 UA (unidades astronômicas, que representa a distância da Terra até o Sol). A massa do Sagittarius A* foi calculada em aproximadamente $M = 4,1 \times 10^6 M_{\odot}$, M_{\odot} representa uma unidade de massa solar (Santos; Magalhães, 2020). O resultado obtido para o fator de desvio para o vermelho da estrela S2 foi de $z = 0,000345$.

VI. CONCLUSÃO

Buracos negros e estrelas de nêutron são objetos extremamente compactos que surgem do colapso de estrelas massivas, nesse contexto surge uma pergunta, podemos distinguir buracos negros de estrelas de nêutrons? Para responder precisamos analisar as características de cada



corpo, as estrelas de nêutrons possuem uma superfície rígida e também emitem radiação, como raio-x e ondas de rádio, já os buracos negros possuem um horizonte de eventos que se algo cai em sua direção, nenhuma partícula, nem mesmo a luz consegue escapar (Shapiro; Teukolsky, 1983). Entretanto, para os distinguirmos experimentalmente usando as técnicas estudadas, necessitar-se-ia uma aproximação do horizonte de eventos.

VII. REFERÊNCIAS

ABBOTT, Benjamin P.; et al. *Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger*. Physical Review Letters, vol. 116, no. 6, p. 061102, 2016.
HOBSON, Michael Paul; EFSTATHIOU, George P.; LASENBY, Anthony N. *General Relativity: An Introduction for Physicists*. Cambridge University Press, 2006.

EINSTEIN, Albert. *The Collected Papers of Albert Einstein, Volume 6: The Berlin Years: Writings, 1914-1917*. Princeton: Princeton University Press, 1997.

HEWISH, Antony; et al. *Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source*. Nature, vol. 217, p. 709-713, 1968.

ROSEVEARE, Nicholas T.; ABALAKIN, V. K. Mercury's perihelion from Le Verrier to Einstein. Mercury's perihelion from Le Verrier to Einstein.. NT Roseveare. Translated from the English edition. VK Abalakin (Editor). Mir, 1985.



SANTOS, Wytler Cordeiro dos; MAGALHÃES, Rafael dos Santos. *Efeito Doppler gravitacional na órbita da estrela S2 em torno do buraco negro massivo Sgr A no centro da Via Láctea**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 42, p. e20200336, 2020.

SCHWARZSCHILD, Karl. *Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie*. Sitzungsberichte der königlich preussischen Akademie der Wissenschaften, p. 189-196, 1916.

SHAPIRO, Stuart L.; TEUKOLSKY, Saul A. *Black Holes, White Dwarfs, and Neutron Stars: The Physics of Compact Objects*. John Wiley & Sons, 2008.

SHAPIRO, Stuart L.; TEUKOLSKY, Saul A. *Black Holes, White Dwarfs, and Neutron Stars: The Physics of Compact Objects*. John Wiley & Sons, 1983.

WILL, Clifford M. The confrontation between general relativity and experiment. Living reviews in relativity, v. 17, n. 1, p. 1-117, 2014.