

Introdução à relatividade

1 Introdução

Isaac Newton acreditava que o espaço e o tempo eram entidades completamente separadas: o tempo fluiria igualmente para todos os observadores e as distâncias espaciais seriam idênticas independentemente do que esses observadores fizessem. A **Dinâmica Newtoniana**, consolidada na publicação de seu livro *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687), funciona muito bem para fenômenos cotidianos, como para descrever movimentos simples (carros, corredores, trajetória de uma bola de futebol) [6].

Entretanto, no início do século XX a **Teoria da Relatividade** surgiu, revolucionando a Física existente até o momento [1]. Noções de que o espaço e o tempo seriam partes de uma entidade única e fundamental, o espaço-tempo, nortearam o desenvolvimento da **Relatividade Especial** (RE) [2, 3]. Essa teoria impunha que as leis da Física seriam as mesmas em todos os referenciais inerciais e que a velocidade da luz seria um limite natural independente do referencial em questão. Dessa forma, ela confrontava as tão bem estabelecidas **Leis de Newton**, porque, segundo as mesmas, a interação gravitacional agiria instantaneamente. Assim, a ideia de unir a RE à gravitação foi uma das bases para o desenvolvimento da **Relatividade Geral** (RG).

Em 1915 Albert Einstein propôs uma série de equações que consolidaram a RG [4]. A RG pode ser descrita como uma teoria da gravitação que proporciona uma nova conotação para a gravidade: ela não seria mais considerada como uma força entre dois corpos, como na teoria Newtoniana, mas sim uma manifestação da curvatura do espaço-tempo. Além disso, essa teoria mantinha as noções de causalidade e localidade da RE. Diversos testes e experimentos foram e ainda são feitos com essa teoria, a saber: o avanço no periélio de Mercúrio, a deflexão e o desvio espectral da luz e, mais recentemente, as ondas gravitacionais, obtendo extrema precisão experimental. Em 1916, a primeira solução para as equações de Einstein foi criada por Karl Schwarzschild [5] e após muita relutância, ela foi o ponto de partida para a teoria dos buracos negros.

2 Relatividade especial

A RE ou **Relatividade Restrita** é o estudo das propriedades geométricas do espaço-tempo na ausência de *campos gravitacionais* e de seus efeitos nos fenômenos físicos que nele se desenvolvem.

Observadores/referenciais inerciais são sistemas de coordenadas baseados em três eixos mutuamente ortogonais, de coordenadas, por exemplo, x , y e z no espaço, e um sistema de relógios sincronizados no repouso para esse sistema, que fornece um tempo t . Esse sistema é construído de modo que o movimento de uma partícula formulado para esse sistema assegura a *primeira lei de Newton*.

Os postulados fundamentais da RE podem ser descritos como:

1. A velocidade da luz c é a mesma em todos os referenciais inerciais;
2. As leis da natureza são as mesmas em todos os referenciais inerciais;

2.1 Transformações de Lorentz

Dados dois referenciais inerciais K e K' .

2.2 Contração espacial

2.3 Dilatação temporal

2.4 Dinâmica relativística: conservação de energia e momentum

2.5 Notação covariante

3 Relatividade geral

3.1 Espaço-tempo e a notação tensorial

3.2 Tensor de Riemann

3.3 Tensor de Ricci

3.4 Escalar de Ricci

3.5 Equações de Einstein

3.6 Solução de Schwarzschild

Referências

- [1] PIRES, A. S. T., **Evolução das idéias da física**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.
- [2] EINSTEIN, A., Zur elektrodynamik bewegter körper. **Annalen der Physik**, v. 322, n. 10, p. 891–921, 1905.
- [3] MARTINS, R. d. A. A dinâmica relativística antes de einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 11 – 26, 2005.
- [4] MARTIN, J. K.; KOX, A. J.; SCHULMAN, R., **The Collected Papers of Albert Einstein: Volume 6 - the berlin years: Writings 1914 - 1917**. New Jersey: Princeton University Press, 1996. v. 6.
- [5] SCHWARZSCHILD, K. On the gravitational field of a mass point according to einstein's theory. **Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Berlin (Math.Phys.)**, v. 3, p. 189–196, 1999. Tradução por Antoci, S. and Loinger, A.
- [6] J. Foster and J. D. Nightingale, *A Short Course in General Relativity* (Springer, New York, 2006).