Por que a Viagem no Tempo Não é Possível

LT

Abstract

Neste artigo, apresentamos argumentos formais, baseados em relatividade restrita e geral, preservação da causalidade, condições de energia, conjectura de proteção cronológica e considerações de gravidade quântica, para demonstrar a inviabilidade da viagem no tempo. Incluímos equações fundamentais, cálculos de parâmetros relevantes e estimativas numéricas comparativas.

Contents

1 Introdução

A ideia de viajar no tempo fascina a imaginação humana há séculos. No entanto, apesar da popularização em obras de ficção científica, a possibilidade prática enfrenta limitações fundamentais impostas pela física moderna. Este artigo explora esses limites em diferentes níveis teóricos, apresentando argumentos matemáticos e físicos.

2 Relatividade Restrita

2.1 Transformações de Lorentz

As transformações de coordenadas entre dois referenciais inerciais S e S' que se movem com velocidade relativa v ao longo do eixo x são dadas por:

$$ct' = \gamma\,(ct - \beta x), \tag{1}$$
$$x' = \gamma\,(x - \beta ct), \tag{2}$$
$$y' = y, \quad z' = z, \tag{3}$$

onde $\beta = v/c$ e $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$.

2.2 Intervalo Invariável e Tempo Próprio

O intervalo espaço-temporal é invariante:

$$\Delta s^2 = -c^2\Delta t^2 + \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2. \tag{4}$$

O tempo próprio $\Delta\tau$ satisfaz:

$$\Delta\tau = \frac{\Delta s}{c} = \Delta t\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \tag{5}$$

Mesmo para velocidades arbitrariamente próximas de c, $\Delta\tau > 0$ e não há inversão temporal. Por exemplo, para $v = 0{,}9999\,c$, $\gamma \approx 70{,}7$, mas sempre $t' > t$ se $t > 0$.

3 Relatividade Geral

3.1 Equações de Campo de Einstein

A geometria espaço-tempo é descrita pelas equações de campo:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}, \tag{6}$$

onde $G_{\mu\nu}$ é o tensor de Einstein, $g_{\mu\nu}$ a métrica, $T_{\mu\nu}$ o tensor energia-impulso e Λ a constante cosmológica.

3.2 Métrica de Schwarzschild e Dilatação Gravitacional

Para uma massa M esférica e estacionária, a métrica de Schwarzschild é:

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)^{-1} dr^2 + r^2 d\Omega^2. \tag{7}$$

A dilatação temporal próxima à massa é:

$$\Delta\tau = \Delta t \sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}}. \tag{8}$$

Por exemplo, para $r = 3r_s$ (três vezes o raio de Schwarzschild $r_s = 2GM/c^2$), tem-se $\Delta\tau \approx 0{,}816\,\Delta t$, sem inversão.

3.3 Modelos com Curvas Temporais Fechadas

Soluções como a métrica de Gödel e cilindro de Tipler apresentam Curvas Temporais Fechadas (CTCs), mas exigem condições não-realistas (matéria com rotação uniforme infinita ou cilindros infinitos) e violam condições de energia.

4 Condições de Energia e Proteção Cronológica

4.1 Condições de Energia

Em relatividade geral, condições como a energia fraca e a energia dominante impedem densidades negativas de energia necessárias para manter CTCs:

$$T_{\mu\nu} u^\mu u^\nu \geq 0 \quad \text{(energia fraca)}. \tag{9}$$

Wormholes traversáveis e Alcubierre drive requerem violação dessas condições, demandando energia exótica.

4.2 Conjectura de Proteção Cronológica

Proposta por Hawking, sugere que flutuações quânticas divergentes impedem a formação de CTCs estáveis. Ainda sem prova formal, mas reforçada por evidências de teoria quântica de campos em espaços-tempos curvos.

5 Modelos Exóticos de Manipulação do Espaço-Tempo

5.1 Warp Drive de Alcubierre

A métrica proposta por Alcubierre é:

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + [dx - v_s(t) f(r_s) dt]^2 + dy^2 + dz^2, \tag{10}$$

onde $f(r_s)$ delimita a bolha. A densidade de energia associada à bolha é negativa:

$$\rho = -\frac{c^2}{8\pi G} \frac{v_s^2}{4} \left(\frac{df}{dr_s} \right)^2, \tag{11}$$

Estimativas apontam para $E \sim 10^{67}$ J para um raio de 100 m.

5.2 Wormholes de Morris–Thorne

A métrica é:

$$ds^2 = -e^{2\Phi(r)} c^2 dt^2 + \frac{dr^2}{1 - b(r)/r} + r^2 d\Omega^2, \tag{12}$$

com a condição de energia negativa:

$$T_{\mu\nu} k^\mu k^\nu < 0. \tag{13}$$

A energia exotica necessária é da ordem $E_{\text{exótico}} \approx -10^{44}$ J para um gargalo unidimensional de metros de diâmetro.

6 Estimativas Numéricas

7 Limitações da Mecânica Quântica e Gravidade Quântica

Na ausência de uma teoria completa de gravidade quântica, espera-se que efeitos de *back-reaction* quânticos e discretização do espaço-tempo impeçam

Modelo	Energia requerida (J)	Ordem de magnitude
Warp Drive	10^{67}	Bolha $R = 100\,\mathrm{m}$
Wormhole	10^{44}	Gargalo $d \approx 1\,\mathrm{m}$
Tipler Cylinder	∞	Cilindro infinito
Gödel Universe	–	Rotação global

Table 1: Comparação das energias envolvidas em modelos exóticos.

formações de CTCs. Exemplos em loop quantum gravity e string theory sugerem mecanismos de censura.

8 Paradoxos Cronológicos

Viagens no tempo implicariam paradoxos como o *paradoxo do avô* e o *bilhar quântico*, não resolvidos por nenhuma teoria física aceita. Princípios como o de consistência de Novikov propõem soluções formais mas não eliminam a necessidade de energia exótica.

9 Conclusão

Os cálculos e argumentos apresentados evidenciam que a viagem no tempo viola princípios fundamentais da física: conservação da causalidade, condições de energia e limitações quânticas. Portanto, permanece inviável com o conhecimento atual.

References

[1] S. W. Hawking, "Chronology protection conjecture", Phys. Rev. D 46, 603–611 (1992).

[2] M. Alcubierre, "The warp drive: hyper-fast travel within general relativity", Class. Quantum Grav. 11 (1994) L73–L77.

[3] M. Morris, K. Thorne, "Wormholes in spacetime and their use for interstellar travel: A tool for teaching general relativity", Am. J. Phys. 56 (1988) 395.