josif 2024
16ª JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA
13º SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO
DO IFSULDEMINAS
ISSN: 2319-0124
REALIZAÇÃO INSTITUTO FEDERAL Sul de Minas Gerais
APOIO CNPq FAPEMIG

ALÉM DA SINGULARIDADE: como se tornar um buraco negro

Pedro L. F. LIMA[1]; **Júlia G. M. PONTES**[2]; **Maria E. LIMA**[3]

RESUMO

Este artigo explora os buracos negros, entidades cósmicas cuja gravidade é tão intensa que nem mesmo a luz - corpo o qual possui velocidade máxima - consegue escapar de sua atração, e a reflexão metafórica de como transformar um ser humano em um buraco negro. Assim sendo, desenvolvemos um aplicativo que calcula qual deve ser o "tamanho" da pessoa para que ela se torne esse corpo denso. Para tal, serão explicados conceitos da física, como velocidade de escape e raio de Schwarzschild, os quais são usados no cálculo.

Palavras-chave:
Schwarzschild; Velocidade de escape; Relatividade.

1. INTRODUÇÃO

Os buracos negros são, sem dúvida, um dos fenômenos mais misteriosos e intrigantes do universo. Originados a partir da morte de estrelas massivas, esses corpos desafiam nossa compreensão da física ao concentrar enormes quantidades de massa em um ponto infinitamente pequeno, chamado de singularidade. Tais regiões do espaço-tempo vêm sendo estudadas desde o século XVII, porém um estudo mais preciso só foi possível com o advento da teoria da relatividade geral, formulada por Einstein em 1915.

Em menos de dois meses após sua publicação, o físico alemão Karl Schwarzschild encontrou uma solução para as equações de Einstein. Tal solução revela a existência de um raio crítico, denominado raio de Schwarzschild: objetos os quais possuem raio menor que esse são denominados buracos negros. Utilizaremos os conceitos apresentados no aplicativo para que ele possa "transformar" uma pessoa normal em um buraco negro.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para se construir a lógica de programação do aplicativo, deve-se entender o que é velocidade de escape e qual é sua relação com os buracos negros, tal reflexão culmina no entendimento do raio de Schwarzschild.

Imagine que você lance um objeto de massa m pra cima, inevitavelmente ele cairá, em virtude da força gravitacional da Terra. Surge o questionamento: qual deve ser a velocidade de

---

[1]Discente do Técnico em Informática Integrado, IFSULDEMINAS – *Campus* Machado. E-mail: pedro1.lima@alunos.ifsuldeminas.edu.br.
[2]Discente do Técnico em Informática Integrado, IFSULDEMINAS – *Campus* Machado. E-mail: julia.giovanini@alunos.ifsuldeminas.edu.br.
[3]Discente do Técnico em Informática Integrado, IFSULDEMINAS – *Campus* Machado. E-mail: maria4.lima@alunos.ifsuldeminas.edu.br.

lançamento para que o objeto consiga "vencer" essa força e sair da órbita terrestre?

Dessa forma, considerando a força gravitacional F, determinada pela lei da gravitação universal de Newton, temos:

$$F = -\frac{GMm}{x^2(t)},$$

em que G é a constante de gravitação, M_{kg} é a massa do planeta, m_{kg} é a massa do objeto lançado e $x(t)$ é a posição do objeto em relação ao planeta, variando em função do tempo e dada em metros. Além disso, no instante $t \to 0$: $x(0) = R \; e \; x'(0) = V_0$. Sabe-se, outrossim, que essa força gravitacional assume o papel de força resultante e, de acordo com a segunda lei de Newton, segue:

$$\text{(I) } mx''(t) = -\frac{GMm}{x^2(t)},$$

na qual, $x''(t)$ é a derivada segunda da posição, que é a aceleração do objeto de massa m. Dividindo ambos os membros de (I) por m, vem a equação diferencial do movimento:

$$x''(t) = -\frac{GM}{x^2(t)},$$

integrando ambos os lados desta expressão:

$$\int x''(t)dt = \int -\frac{GM}{x^2(t)}dt,$$

adotando o método de integração por substituição, chega-se em:

$$\int v dv = - GM \int w^{-2} dw$$

trivialmente, infere-se, portanto, a igualdade:

$$\frac{x'(t)^2}{2} + k_1 = \frac{GM}{x(t)} + k_2,$$

em que k_1 e k_2 são constantes arbitrárias de integração. Façamos $K = k_2 - k_1$, uma outra constante arbitrária:

$$\text{(V) } \frac{x'(t)^2}{2} = \frac{GM}{x(t)} + K,$$

no instante $t \to 0$, temos:

$$\frac{V_0^2}{2} = \frac{GM}{R} + K,$$

assim, pode-se definir o valor para K e substituir na equação (V), uma vez que são ditas as condições de contorno:

$$\frac{x'(t)^2}{2} = \frac{GM}{x(t)} + \frac{V_0^2}{2} - \frac{GM}{R}.$$

Para o caso particular em que o objeto seja lançado, valem as condições de contorno apresentadas anteriormente; assim sendo, vem que:

$$\frac{V_0^2}{2} - \frac{GM}{R} \geq 0 \Rightarrow V_0 \geq \sqrt{\frac{2GM}{R}} \quad ,$$

portanto, se o objeto for lançado com velocidade tal que consiga "vencer" a força gravitacional, este objeto nunca mais voltará. Por conseguinte, a velocidade de escape é definida pela igualdade entre os termos:

$$V_0 = \sqrt{\frac{2GM}{R}}.$$

Um exemplo extremo desse conceito é um buraco negro, em que a densidade do objeto, relação entre a massa M e o raio R, atinge valores tão altos que a velocidade de escape iguala ou supera a velocidade da luz. Isso ocorre quando uma estrela de grande massa colapsa, sendo confinada em um volume muito pequeno, fazendo com que a razão $\frac{M}{R}$ tenda ao infinito. Nessas condições, nem mesmo a luz consegue escapar, caracterizando o que chamamos de buraco negro. Assim sendo, vale:

$$\text{(VI) } c = \sqrt{\frac{2GM}{R}},$$

manipulando algebricamente a equação (VI) para se isolar R, vem:

$$R_s = \frac{2GM}{c^2},$$

em que R_s é o raio de Schwarzschild. Com essa equação podemos "transformar" qualquer pessoa em um buraco, a partir de sua massa. Por exemplo, se quisermos converter a terra em um buraco negro, bastaria colocar sua massa na equação (m) e, assim, acharíamos seu raio de Schwarzschild, que é de 9mm; ou seja, se a Terra tivesse 9mm de raio seria um buraco negro.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do aplicativo foi realizado utilizando a linguagem de programação Dart, junto do framework Flutter, os quais foram escolhidos por sua capacidade de criar interfaces de usuário multiplataforma e eficientes. O ambiente de desenvolvimento foi configurado utilizando o editor de códigos Visual Studio Code, com extensões específicas que otimizam o trabalho em Dart.

O objetivo do aplicativo é calcular o raio de Schwarzschild da pessoa, ao entrar na calculadora sua massa, em kg. Para tal, o backend conta com instrumentos de cálculo que obedecem à fundamentação teórica abordada. Assim, o aplicativo apresentará qual deve ser o "tamanho" dessa pessoa, com unidade de medida apropriada, para que ela seja um buraco negro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aplicativo desenvolvido foi capaz de calcular o raio de Schwarzschild para uma pessoa, utilizando a massa inserida pelo usuário como entrada. O resultado obtido para o raio é apresentado de forma clara e acessível na interface do usuário, com a devida unidade de medida.

Figura 01: Tela inicial do aplicativo.

Figura 02: Tela de informações.

Figura 03: Ícone “i” da tela anterior.

A aplicação da fórmula de Schwarzschild, portanto, demonstrou como conceitos complexos de física e relatividade podem ser traduzidos em ferramentas acessíveis ao público em geral, trazendo questionamentos intrigantes como “o que é um buraco negro?”, “posso me tornar um?”.. Isso reforça a importância de fazer com que a ciência esteja cada vez mais democratizada e acessível para o público em geral e também a importância de questionar, mesmo que seja uma dúvida considerada absurda.

5. CONCLUSÃO

O aplicativo desenvolvido mostrou-se um exercício valioso para a aplicação de conceitos complexos da física de maneira acessível e democrática. Utilizando as ferramentas Dart e Flutter aprendidas em sala de aula, foi possível não só exemplificar um dos pilares da relatividade, mas também integrar as ciências naturais com as ciências tecnológicas de forma educativa e acessível.

REFERÊNCIAS

EINSTEIN, A.; LORENTZ, H. A.; WEYL, H.; MINKOWSKI, H. *The Principle of Relativity*. New York: Dover Publications, 1952.

LOBO, M. P. No interior do horizonte de um buraco negro de Schwarzschild. *Physicae*, v. 6, p. 1, 2006.

LOBO, M. P. What is the meaning of the pullback Schwarzschild metric? *Open Journal of Mathematics and Physics*, v. 1, p. 13, 2019.