



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

## **Determinação da massa do buraco negro no centro da Via Láctea**

Jean Carlo Feital Frazzoli

&

João Ramos Torres de Mello Neto

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Jean Carlo Feital Frazzoli, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro  
2012

# **Determinação da massa do buraco negro no centro da Via Láctea**

## **1. Objetivo da atividade.**

Determinar o valor da massa do buraco negro no centro da Via Láctea através de uma abordagem newtoniana. Além disso, determinar o raio de Schwarzschild segundo a mesma abordagem a partir do valor obtido para a massa. Por fim, comparar os resultados obtidos com os encontrados na literatura e em artigos (ver seção 5.7 do texto principal).

## **2. Enfoque Principal.**

Permitir ao aluno do ensino médio ter contato com uma situação de real aplicação dos conhecimentos adquiridos por ele, bem como motivar o entendimento do significado do raio de Schwarzschild para o mesmo.

## **3. Tema a ser trabalhado.**

Terceira lei de Kepler e raio de Schwarzschild.

## **4. Fenômeno a ser observado.**

Órbita da estrela S0-2 em torno da SgrA\*.

## **5. Desenvolvimento da atividade.**

### **5.1. Problema a ser levantado.**

Dada a órbita da estrela S0-2, calcular a massa do buraco negro em função da massa do Sol.

### 5.1.1. Problemas relacionados.

Com a presente atividade pode-se explorar o significado do raio de Schwarzschild.

## 5.2. Procedimento.

### 5.2.1. Obtenção da massa do buraco negro.

A figura 1 exibe a órbita da estrela S0-2 em torno da SgrA\* onde o comprimento do semieixo maior e o período da órbita valem  $a_{S02} = 919 \text{ UA}$  e  $T_{S02} = 15 \text{ anos}$ , respectivamente.

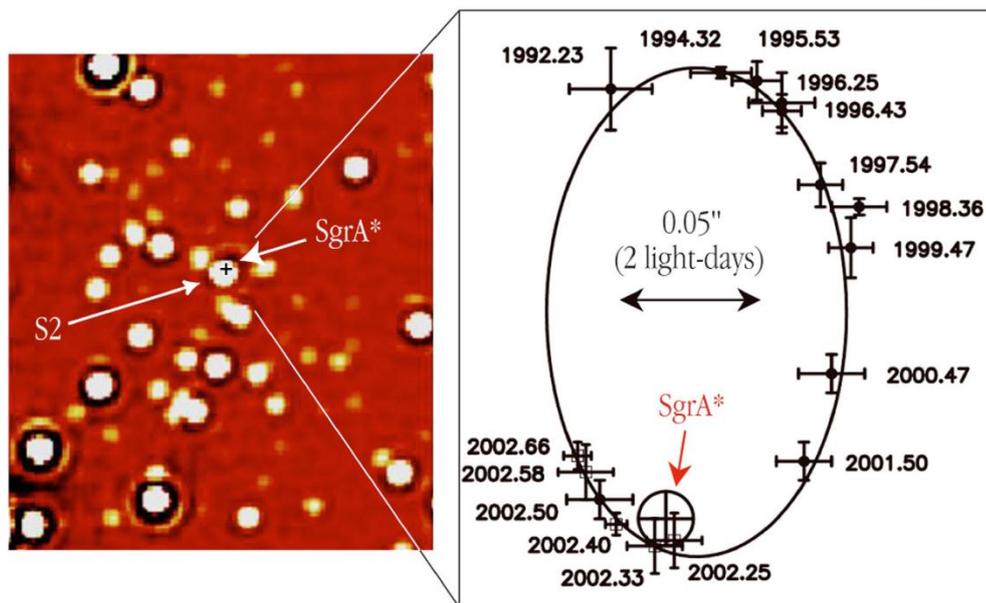


Figura 1: Órbita da estrela S0-2 em torno do suposto buraco negro no centro da Via Láctea.

Assim, para determinar a massa do suposto buraco negro deve-se fazer uso da terceira lei de Kepler e relacionar o semieixo maior da órbita da Terra e o seu período com os dados fornecidos para a estrela S0-2. A equação resultante das manipulações algébricas é dada por:

$$M_{BN} = \left( \frac{a_{S02}}{a_{Terra}} \right)^3 \left( \frac{T_{Terra}}{T_{S02}} \right)^2 M_{Sol}$$

Adicionalmente, pode-se determinar a equação para o raio de Schwarzschild através da equação da velocidade de escape como será visto na seção a seguir.

### 5.2.2. Calculo do raio de Schwarzschild para o buraco negro.

A equação para o raio de Schwarzschild pode ser obtida através da equação da velocidade de escape simplesmente adotando que  $v_{escape} = c$ , ou seja, a velocidade de escape é igual a velocidade da luz. Com isso temos:

$$v_{escape} = \left[ \frac{2GM}{R} \right]^{1/2} \Rightarrow c = \left[ \frac{2GM}{R} \right]^{1/2}$$

Logo:

$$R_{Shc} = \frac{2GM}{c^2}$$

Essa determinação naturalmente não é rigorosa, pois não considera os aspectos como a simetria da estrela ou sua rotação. Para uma determinação rigorosa do raio de Schwarzschild deve-se empregar a teoria da relatividade geral, tópico que foge aos propósitos desta atividade.

### 5.3. Resultado esperado.

Permitindo que os alunos procedam com os cálculos, espera-se que seja encontrado para a massa do buraco negro um valor de  $4 \times 10^6 M_{Sol}$ , onde estimativas mais precisas indicam um valor de  $4,1 \times 10^6 M_{Sol}$ . Para a o raio de Schwarzschild, o valor obtido por meio do artifício apresentado na seção 5.2.2 foi de  $0,08 UA$ .

**6. Referência ao texto principal.**

Esta atividade refere-se à seção 5.7, sendo recomendado a leitura completa dessa seção