

Título em Português: Reconstrução de modelos radiativos de fontes de raios gama na região do Centro Galáctico

Título em Inglês: radiative model reconstruction of gamma rays sources in the galactic center region

Autor: Daniel Cecchin Momesso

Instituição: Universidade de São Paulo

Unidade: Instituto de Física de São Carlos

Orientador: Aion da Escossia Melo Viana

Área de Pesquisa / SubÁrea: Física das Partículas Elementares e Campos

Agência Financiadora: FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

Reconstrução de modelos radiativos de fontes de raios gama na região do Centro Galáctico

Autor: Daniel Cecchin Momesso

Orientador: Aion da Escóssia Melo Viana

Universidade de São Paulo (IFSC/USP)

daniel.cecchin@usp.br

Objetivos

Entre todos os ambientes de alta energia de nossa Galáxia, a região do Centro Galáctico é definitivamente a mais rica. Abriga uma grande quantidade de emissores de alta energia, incluindo o buraco negro supermassivo mais próximo, um Pevatron cósmico, nuvens moleculares densas, forte atividade de formação de estrelas, múltiplos remanescentes de supernova e nebulosas de vento pulsar, estruturas de rádio em forma de arco, bem como a base do que podem ser fluxos galáticos em grande escala. A fonte de raios gama mais brilhante nesta região é a sua fonte central, chamada HESS J1745-290. No entanto, sua origem ainda é desconhecida. É posicionalmente compatível com o buraco negro supermassivo SgrA*. No entanto, uma nebulosa de vento pulsar de fundo nas proximidades descoberta por Chandra [1] (e dentro do erro de apontamento do telescópio HESS) torna difícil dizer se a emissão que vemos está relacionada à acumulação de buracos negros, a um vento prolongado ou mesmo a um pico de aniquilação matéria escura. Neste projeto investigamos a possibilidade de que a fonte central de raios gama esteja ligada ao Pevatron descoberto nesta região [2]. Neste cenário, a aceleração estocástica de prótons (até energias PeV) interagindo com o campo magnético turbulento nas proximidades de Sgr A * poderia produzir um fluxo de saída de prótons relativísticos que se difundem para fora [3] e se espalham com o gás do ambiente denso próximo ao GC interagindo com as nuvens moleculares que

circunda essa região [4] produzindo o sinal de raios gama observado.

Portanto nosso objetivo é reconstruir modelos radioativos de interação dos raios cósmicos com as nuvens moleculares que possam nos indicar se tal hipótese que temos é corroborada ou não.

Métodos e Procedimentos

Depois de aprender os fundamentos dos processos físicos não térmicos de alta energia, uma atenção especial será dada ao aprendizado de softwares astronômicos avançados para lidar com dados de raios gama, como Astropy, Gammapy, CTools e bibliotecas numéricas que podem gerar não radiação térmica de uma população de partículas relativísticas, como Naima ou Gamera. Esses softwares serão usados para modelar a fonte central de raios gama e para testar as capacidades do futuro Cherenkov Telescope Array (CTA) em desemaranhar os diferentes mecanismos não térmicos que poderiam explicá-lo.

Resultados

O estudo até o presente momento nos levou a equação de difusão [3]:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{D}{R^2} \frac{\partial}{\partial R} R^2 \frac{\partial f}{\partial R} + \frac{\partial}{\partial E} (Pf) + Q \quad (1)$$

Cuja solução advém de uma função de Green dada por:

$$Q(E, R, t) = N_0 f_{inj}(E) \delta(R) \delta(t) \quad (2)$$

A partir dessa solução estudamos duas possibilidades de aceleradores de partículas. O primeiro se trata do caso de uma fonte impulsiva, dado pela equação abaixo, onde essencialmente nesta situação temos que a maior parte dos prótons é acelerados durante um intervalo de tempo Δt muito menor que a idade do acelerador.

$$f(E, R, t) \approx \frac{N_0 E^{-\alpha}}{\pi^{3/2} R_{dif}^3} \exp\left(-\frac{(\alpha - 1)t}{\tau_{pp}} - \frac{R^2}{R_{dif}^2}\right) \quad (3)$$

Onde

$$R_{dif}(E, t) = 2 \sqrt{D(E) t \frac{\exp(t\delta/\tau_{pp}) - 1}{t\delta/\tau_{pp}}} \quad (4)$$

É o chamado raio de difusão correspondente ao raio da esfera até o qual as partículas de energia E efetivamente se propagam durante o tempo t após sua injeção no meio interestelar. Num segundo caso, temos a fonte contínua, dada pela equação abaixo, que se trata de uma abordagem mais realista onde continuamente são injetados prótons acelerados no meio interestelar.

$$f(E, R, t) \approx \frac{Q_0 E^{-\alpha}}{4\pi D(E) R} \operatorname{erfc}\left(\frac{R}{R_{dif}(E, t)}\right) \quad (5)$$

Conclusões

O estudo da equação de difusão dos raios cósmicos nos levou ao cálculo bem sucedido da distribuição de raios cósmicos em propagação difusa, tendo em vista, que o projeto ainda está em andamento para os próximos passos pretendemos calcular a emissividade de raios gama provenientes da interação de raios cósmicos com nuvens moleculares através da produção e desintegração de píons neutros, posteriormente pretendemos aplicar a equação de difusão aliada com a interação dos raios cósmicos com as nuvens moleculares no Centro Galáctico com o intuito de explicar a emissão não-térmica de raios gama nessa região e por último, mas não menos importante, verificaremos se com este modelo conseguimos reproduzir os dados que experimentalmente são verificados.

Referências Bibliográficas

- [1] WANG, Q. D.; LU, F. J.; GOTTHELF, E. V. G359.95-0.04: an energetic pulsar candidate near Sgr A*. MNRAS, 367, 3, p937-944, (2006).
- [2] HESS Collaboration, Abramowski A., et al., Acceleration of petaelectronvolt protons in the Galactic Centre, 2016, Natur, 531, 476.
- [3] Atoyan, AM, Aharonian, FA, & Völk, On the emissivity of π^0 -decay gamma radiation in the vicinity of accelerators of galactic cosmic rays., HJ 1995, Phys. Rev. D, 52, 3265
- [4] FERRIÈRE, K.. Interstellar gas within ~10 pc of Sagittarius A*. A&A, 540, p1-21, (2012)

Radiative model reconstruction of gamma rays sources in the Galactic Center region

Author: Daniel Cecchin Momesso

Supervisor: Aion da Escóssia Melo Viana

University of São Paulo (IFSC-USP)

daniel.cecchin@usp.br

Objectives

Among all the high-energy environments of our Galaxy, the Galactic Center region is definitely the richest. It harbours a large amount of high-energy emitters, including the closest supermassive black hole, a cosmic Pevatron, dense molecular clouds, strong star-forming activity, multiple supernova remnants and pulsar wind nebulae, arc-like radio structures, as well as the base of what may be large-scale galactic outflows. The brightest gamma-ray source in this region is its central source, called HESS J1745-290. However, its origin is still unknown. It is positionally compatible with the supermassive black hole SgrA*. However, a nearby background pulsar-wind nebula discovered by Chandra [1] (and within the H.E.S.S. telescope pointing error) makes it difficult to say whether the emission we see is related to black-hole accretion, to an extended wind, or even a pile of annihilating dark matter. In this project, we investigate the possibility that the central gamma-ray source is linked to the Pevatron discovered in this region [2]. In this scenario, stochastic acceleration of protons (up to PeV energies) interacting with the turbulent magnetic field in the vicinity of Sgr A* could produce an outflowing flux of relativistic protons that diffuse outwards [3] and scatter with the gas of the dense environment close to the GC interacting with the molecular clouds surrounding this region [4] producing the observed gamma-ray signal.

Therefore, our objective is to reconstruct radioactive models of cosmic ray interaction

with molecular clouds that can indicate whether this hypothesis we have is corroborated or not.

Materials and Methods

After learning the fundamentals of non-thermal high-energy physical processes, a special attention will be given to the learning of advanced astronomical softwares to handle gamma-ray data, such as Astropy, Gammapy, CTools, and numerical libraries that can generate non-thermal radiation from a population of relativistic particle, such as Naima or Gamera. This software's will be used to model the central gamma-ray source and to test the capabilities of the future Cherenkov Telescope Array (CTA) in disentangling the different non-thermal mechanisms that could explain it.

Results

The study so far has led us to the diffusion equation [3]:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{D}{R^2} \frac{\partial}{\partial R} R^2 \frac{\partial f}{\partial R} + \frac{\partial}{\partial E} (Pf) + Q \quad (1)$$

Whose solution comes from a Green's function given by:

$$Q(E, R, t) = N_0 f_{inj}(E) \delta(R) \delta(t) \quad (2)$$

From this solution, we study two possibilities of particle accelerators.

The first is the case of an impulsive source, given by the equation below, where essentially in this situation we have that most of the

protons are accelerated during a time interval Δt much smaller than the age of the accelerator.

$$f(E, R, t) \approx \frac{N_0 E^{-\alpha}}{\pi^{3/2} R_{dif}^3} \exp \left(-\frac{(\alpha - 1)t}{\tau_{pp}} - \frac{R^2}{R_{dif}^2} \right) \quad (3)$$

Where

$$R_{dif}(E, t) = 2 \sqrt{D(E) t \frac{\exp(t\delta/\tau_{pp}) - 1}{t\delta/\tau_{pp}}} \quad (4)$$

This is called the diffusion radius corresponding to the radius of the sphere up to which particles of energy E actually propagate during time t after their injection into the interstellar medium.

In a second case, we have the continuous source, given by the equation below, which is a more realistic approach where accelerated protons are continuously injected into the interstellar medium.

$$f(E, R, t) \approx \frac{Q_0 E^{-\alpha}}{4\pi D(E) R} \operatorname{erfc} \left(\frac{R}{R_{dif}(E, t)} \right) \quad (5)$$

Conclusions

The study of the cosmic ray diffusion equation led us to the successful calculation of the distribution of cosmic rays in diffuse propagation, considering that the project is still in progress for the next steps, we intend to calculate the emissivity of gamma rays from the interaction of cosmic rays with molecular clouds through the production and disintegration of neutral pions, later we intend to apply the diffusion equation combined with the interaction of cosmic rays with molecular clouds in the Galactic Center in order to explain the non-thermal emission of gamma rays in this region and last but not least, we will check if with this model we can reproduce the data that are experimentally verified.

References

- [1] WANG, Q. D.; LU, F. J.; GOTTHELF, E. V. G359.95-0.04: an energetic pulsar candidate near Sgr A*. MNRAS, 367, 3, p937-944, (2006).
- [2] HESS Collaboration, Abramowski A., et al., Acceleration of petaelectronvolt protons in the Galactic Centre, 2016, Natur, 531, 476.

[3] Atoyan, AM, Aharonian, FA, & Völk, On the emissivity of π^0 -decay gamma radiation in the vicinity of accelerators of galactic cosmic rays., HJ 1995, Phys. Rev. D, 52, 3265

[4] FERRIÈRE, K.. Interstellar gas within ~10 pc of Sagittarius A*. A&A, 540, p1-21, (2012)