

Estudo de Anisotropias de UHECRs utilizando dados do Observatório Pierre Auger



Aluno: Luiz Roberto Belatini Junior / RA:044933 / IFGW-UNICAMP

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Kemp / DRCC-IFGW-UNICAMP

Resumo:

A origem, composição e propagação dos raios cósmicos no universo é ainda um problema em aberto na física. O Observatório Pierre Auger, com seu aparato cobrindo uma área de $\sim 3000 \text{ km}^2$, foi projetado com o objetivo de mudar a escala estatística de eventos, fator limitante no estudo de raios cósmicos de energia ultra-alta devido a seu baixo fluxo. Utilizando uma técnica híbrida de detecção, com o ineditismo do uso de detectores de superfície e de fluorescência juntos, o observatório toma dados de maneira estável desde janeiro de 2004. Neste projeto propõe-se um estudo de anisotropias de pequenada escala (fontes pontuais), baseado na manipulação de mapas celestes, vistos segundo o Observatório Pierre Auger. Este estudo será feito mediante simulações de distribuições de direção de chegada dos eventos, levando-se em conta a exposição parcial e não uniforme do observatório.

Introdução:

A Terra é constantemente atingida por uma infinidade de partículas provenientes do cosmo. Radiação eletromagnética de toda faixa do espectro, prótons, elétrons, núcleos atômicos, neutrinos e outras partículas incidem na atmosfera em um intervalo extenso de energias. A finalidade do estudo de raios cósmicos é o entendimento de sua origem, natureza e propagação, através de busca incessante da caracterização das fontes, composição química, propagação e compreensão dos mecanismos de aceleração.

A figura 1 mostra o espectro dos raios cósmicos, ou seja, a variação do fluxo

de raios cósmicos (número de partículas por unidade de área, por ângulo sólido, por unidade de tempo) com a energia. Nota-se, com a análise da figura, que quanto maior a energia, menor o fluxo de partículas. Para energias de até 10^{15} eV, o fluxo torna possível a detecção direta¹ dos eventos, mediante instrumentos alojados em aviões, balões ou satélites. Contudo, para energias superiores, a exigência de detectores com uma área muito grande inviabiliza este método de detecção. Felizmente, a partir desta energia, a atmosfera passa a desempenhar um papel crucial na investigação dos raios cósmicos, convertendo os raios incidentes em cascatas de partículas secundárias conhecidas por chuva atmosférica extensa (EAS)²

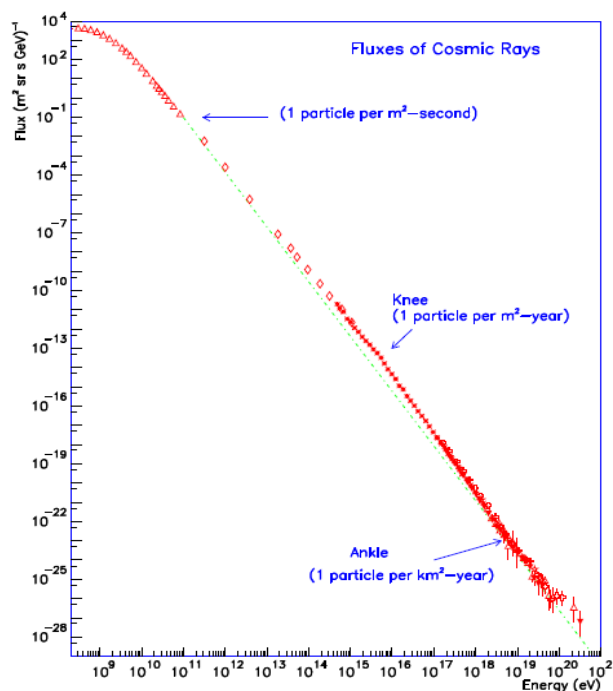


Figura 1: Espectro de energia dos raios cósmicos, a partir de uma compilação, feita por J.W.Cronin, T.K. Gaisser e S.P.Swordy [1]. Figura Extraída da referência [2].

O Observatório Pierre Auger:

O Observatório de Raios Cósmicos Pierre Auger foi concebido com o objetivo de estudar os raios cósmicos de energia ultra-alta. O observatório, cujo sítio sul,

¹As detecções diretas são entendidas como aquelas nas quais as primeiras reações da radiação

incidente ocorrem no interior do detector ou muito próximas deste.

²Sigla vinda de Extensive Air Shower, em inglês.

toma dados de maneira estável desde janeiro de 2004, foi projetado com o propósito de aumentar significativamente a estatística de eventos na região de energia ultra-alta, com seu aparato que cobre uma área de $\sim 3000 \text{ km}^2$.

Constituem-se como objetivos adicionais:

A melhoria da qualidade dos dados, devido à configuração híbrida do detector e a construção de dois sítios, um em cada hemisfério, permitindo uma cobertura total do céu. O sítio norte será localizado no Colorado, Estados Unidos, e ainda se encontra em fase de planejamento. A detecção de superfície é feita com 1600 detectores Cherenkov dispostos segundo uma rede de triângulos eqüiláteros com 1,5 km de lado. Cada tanque é preenchido com ~ 12000 litros de água ultra-pura desmineralizada e dispõe de 3 fotomultiplicadoras em sua parte superior, para registro da luz produzida pela radiação Cherenkov³. Quando vários tanques disparam quase simultaneamente, indicando a passagem de um EAS, os dados de cada tanque são enviados para a central, via rádio, onde são analisados posteriormente, fornecendo a geometria do chuveiro através da diferença do tempo de disparo de cada tanque. A energia da partícula primária é obtida através das intensidades dos sinais registrados em cada tanque. Os telescópios de fluorescência [3] são formados por espelhos esféricos, contando com um conjunto de fotomultiplicadoras sobre a superfície focal. Estes detectores foram construídos para detectar a luz que é produzida na atmosfera no rastro do EAS, pela de-excitação⁴ das moléculas de nitrogênio após colidirem com as moléculas do chuveiro. O observatório conta com 24 telescópios, distribuídos em 4 estações com 6 telescópios cada, apontados para a região coberta pelos detectores de superfície, cobrindo uma região de 180 graus em elevação e 30 graus em azimute. A figura 2 mostra o mapa do sítio sul do observatório, na Argentina, com as posições dos detectores de superfície e de fluorescência.

³Uma partícula carregada emite radiação Cherenkov quando sua velocidade é superior à velocidade da luz no meio de propagação.



Figura 2: Região na Argentina coberta pelo array dos detectores do Observatório Pierre Auger. Os pontos azuis representam as posições ocupadas pelos tanques Cherenkov. As linhas violeta indicam os ângulos de observação da cada telescópio de fluorescência.

Anisotropia:

A identificação de possíveis fontes astrofísicas ou, ainda, a investigação dos campos magnéticos que permeiam o universo, é possibilitada pela análise da distribuição das direções de incidência dos raios cósmicos. A correlação das direções de chegada com concentrações de matéria, como o centro galáctico ou os planos galáctico e super galáctico, caracterizam uma anisotropia em grande escala. Uma anisotropia em pequena escala, por sua vez, é caracterizada pela correlação das direções de incidência dos eventos com fontes pontuais, no caso de altíssimas energias, pois quanto maior a energia da partícula, menor sua deflexão, devido aos campos magnético galáctico e extragaláctico.

4As moléculas de nitrogênio sofrem de-excitação tanto por colisões com outras moléculas como por emissão de fótons (que compõem a luz de fluorescência).

Assim, com dados coletados durante 3,7 anos, a colaboração Pierre Auger publicou, recentemente [4], resultados que indicam a correlação entre as direções de chegadas de raios cósmicos com energia acima de 6×10^{19} eV e as posições de núcleos galácticos ativos, distantes até 75 Mpc da Terra. Neste trabalho, a hipótese de uma distribuição isotrópica é rejeitada com pelo menos 99% de nível de confiança. Núcleos galácticos ativos ou objetos que possuam uma distribuição espacial similar são possíveis fontes. Conclui-se que o estudo de anisotropias nas direções de chegada de raios cósmicos é de fundamental importância, sendo fonte de informações a respeito da origem e propagação da radiação cósmica. Por esta razão, propõe-se, neste trabalho, o estudo de anisotropias de pequena escala, ou seja, estudo de fontes pontuais.

Pesquisa realizada:

Na primeira parte do desenvolvimento do projeto, houve um estudo mais aprofundado sobre Radiação Cósmica de Energia Ultra-alta e da linguagem C++ para ficar apto a fazer o programa necessário para simular as direções de chegada de eventos. O programa foi feito e então foi iniciada as simulações. Neste programa, o usuário irá determinar o número de eventos vindos da fonte e o número de eventos vindos do fundo. As simulações são feitas para diferentes *Backgrounds* (30000, 50000, 75000, etc), quanto maior o número de eventos vindos do fundo (*Background*) maior será o tempo da simulação, variando de 25 minutos à 1 hora e 20 minutos para cada número de eventos escolhidos que virão da fonte. O objetivo inicial é simular 10 números diferentes vindos da fonte para cada *Background* diferente.

Comentário do Orientador:

O trabalho tem sido bem desenvolvido. O aluno está se familiarizando com a biblioteca em C++ para análise de dados direcionais e criação de mapas de cobertura associados a arranjos de detecção de raios cósmicos de energia ultra-alta. A partir deste momento o aluno deverá ter condições para estudar de modo sistemática a relação entre o número de eventos associados a uma fonte em função do número total de eventos detectados em uma certa região

do céu. Claramente a intensidade da fonte (relação sinal-ruído) é um fator determinante nesta relação. Assim, até o momento investigou-se a viabilidade computacional (tempo de CPU) na realização de mapas celestes simulados e sua análise para estimarmos as combinações adequadas e o intervalo da relação sinal-ruído a serem cobertos no estudo proposto.

Referências:

- [1] J.W. Cronin, T.K. Gaisser e S.P. Swordy, Scientific American, 276 (1997) 32
- [2] The Auger Collaboration, "The Pierre Auger Observatory Design Report", 2ed., 14 de março de 1997. <http://www.auger.org/>
- [3] J. Abrahan et al., [AUGER COLLABORATION], Nuclear. Instr. and Meth. in Phys. Res. A 523 (2004) 50
- [4] J. Abrahan et al. [Pierre Auger Collaboration], Science 318, 939 (2007)
- [5] <http://root.cern.ch>
- [6] John. R. Hubbard, "Programacao em c++", 2a edicao, Bookman.
- [7] , A. Letessier, "[A procedure to produce excess, probability and significance maps and to compute point-sources flux upper limits](#)", [arXiv:astro-ph/0507538v1](#)P. Billoir
- [8] T.Li and Y.Ma, Astrophysical Journal, 272, 317-324 (1983).
- [9] GAP 2005-083 B. Rouillé d'Orfeuil, J.-Ch. Hamilton, B. Revenu "Comparison of the coverage estimation methods in the presence of anisotropies and acceptance effects".