Estudo do Fluxo de Múons em Física de UHECRs

Felipe Leite Antunes[1], Magno V. T. Machado[1]

[1]Instituto de Física , Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS

Resumo

Neste trabalho propomos investigar a física pertinente à determinação do fluxo de múons gerados em eventos de raios cósmicos de altíssima energia (UHECRs). Aqui focamos na interação destes com prótons e também sua geração em processos de reação eletrofracos de neutrinos. Fornecemos curvas teóricas baseadas no modelo desenvolvido por E. Berger *et al.* [1], para a função de estrutura do próton, que respeita teoremas de unitarização das seções de choque hadrônicas. Este modelo foi extrapolado para altíssimas energias e pode ser generalizado para colisões lépton-núcleo.

Introdução

Espalhamento Inelástico Profundo (DIS)

É o espalhamento inelástico em altas-energias entre um lépton-nucleon, caracterizado pelos quadrimomento do lépton incidente, do lépton espalhado e do nucleon. A mediação é feita pela troca de um bóson, o qual transfere para o nucleon um quadrimomento igual à diferença entre os quadrimomento dos léptons. Esta é a técnica usada para sondar a estrutura interna de uma partícula.

Funções de Estrutura

Uma função de estrutura busca parametrizar nosso desconhecimento sobre a estrutura interna do nucleon (próton ou nêutron), dada a virtualidade Q^2 do bóson virtual que funcionará como sonda. A função de estrutura considerada aqui, proposta por E. L. Berger et al. é expressa como:

$$F_2{}^p(x, Q^2) = \frac{F_p}{x_p{}^{\rho(Q^2)}(1-x_p)^3}\, x^{\rho(Q^2)}(1-x)^3 \quad , \; x \geq x_p$$

$$F_2{}^p(x, Q^2) = (1-x)\left(\frac{F_p}{1-x_p} + A(Q^2)\ln\left(\frac{x_p}{x}\frac{(1-x)}{(1-x_p)}\right) + B(Q^2)\ln^2\left(\frac{x_p}{x}\frac{(1-x)}{(1-x_p)}\right)\right) \quad , \; x \leq x_p$$

Método

1) Realizou-se uma revisão bibliográfica na física de raios cósmicos, com ênfase nos processos de interação lépton-próton.
2) Foi construído um programa num CAS (sistema algébrico computacional), e reproduzidas as seções de choque presentes na literatura (Refs. [1] e [2].
3) O programa foi adaptado para calcular a seção de choque para interações lépton-próton.
4)O modelo para função de estrutura ,apresentado em [2], foi utilizado utilizado para obter a seção de choque total para interação múon-próton em altíssimas energias.

Resultados

Seção de choque diferencial

Para a seção de choque diferencial lépton-nucleo (interação de lépton com a matéria), consideramos a expressão geral para a troca de fóton virtual em termos das funções de estrutura:

$$\frac{d^2\sigma^{lA}}{dxdy} = \frac{4\pi}{m_{pr}\,Ey}\left(\frac{\alpha}{x}\right)^2\frac{F_2{}^A}{y}\left[1 - y - \frac{m_{pr}\,xy}{2E} + \left(1 - \frac{m_l{}^2}{m_{pr}\,Exy}\right)\left(\frac{y^2 + 2\,m_{pr}\,xy/E}{2(1+R^A)}\right)\right]$$

No nosso modelo, nos restringimos ao caso A=1, então esta equação pode ser escrita como

$$\frac{d^2\sigma^{lp}}{dxdy} = \frac{4\pi}{m_{pr}\,Ey}\left(\frac{\alpha}{x}\right)^2\frac{F_2{}^p}{y}\left[1 - y - \frac{m_{pr}\,xy}{2E} + \left(1 - \frac{m_l{}^2}{m_{pr}\,Exy}\right)\left(\frac{y^2 + 2\,m_{pr}\,xy/E}{2}\right)\right]$$

Para calcular a seção de choque total e fazermos a extrapolação proposta, foi criado um programa no software Mathematica (Fig.1), de forma a permitir uma fácil generalização para outros casos de interesse, como no cálculo da seção de choque de neutrinos, reproduzindo com sucesso resultados presentes nos artigos referenciados ao final do trabalho(Figs. 2 e 4), e apresentando novas curvas teóricas(Fig.3).

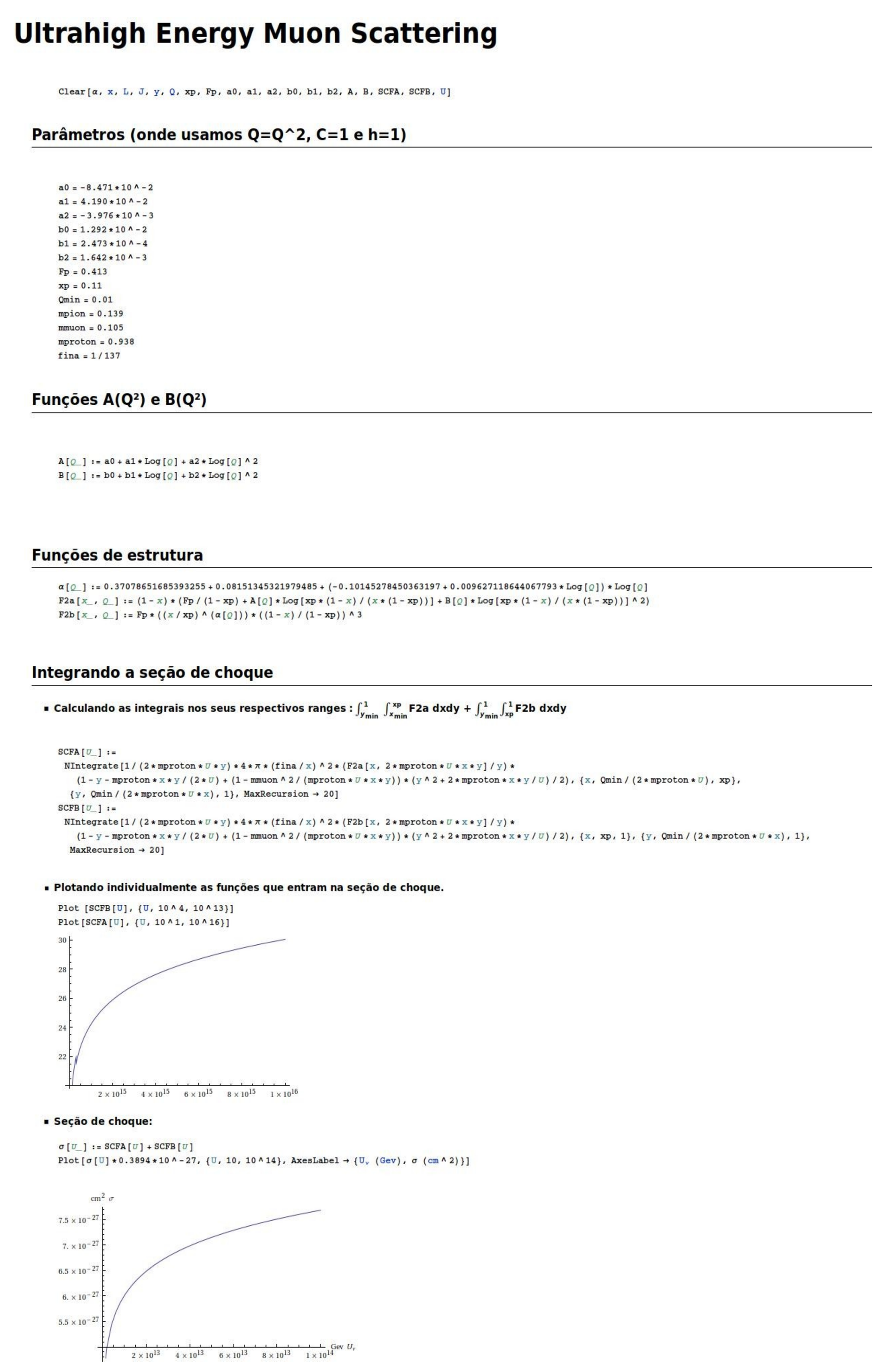

Fig. 1. *Programa produzido no Mathematica. Calcula a seção de choque total (integrada) para colisões lépton-próton.*

Figuras

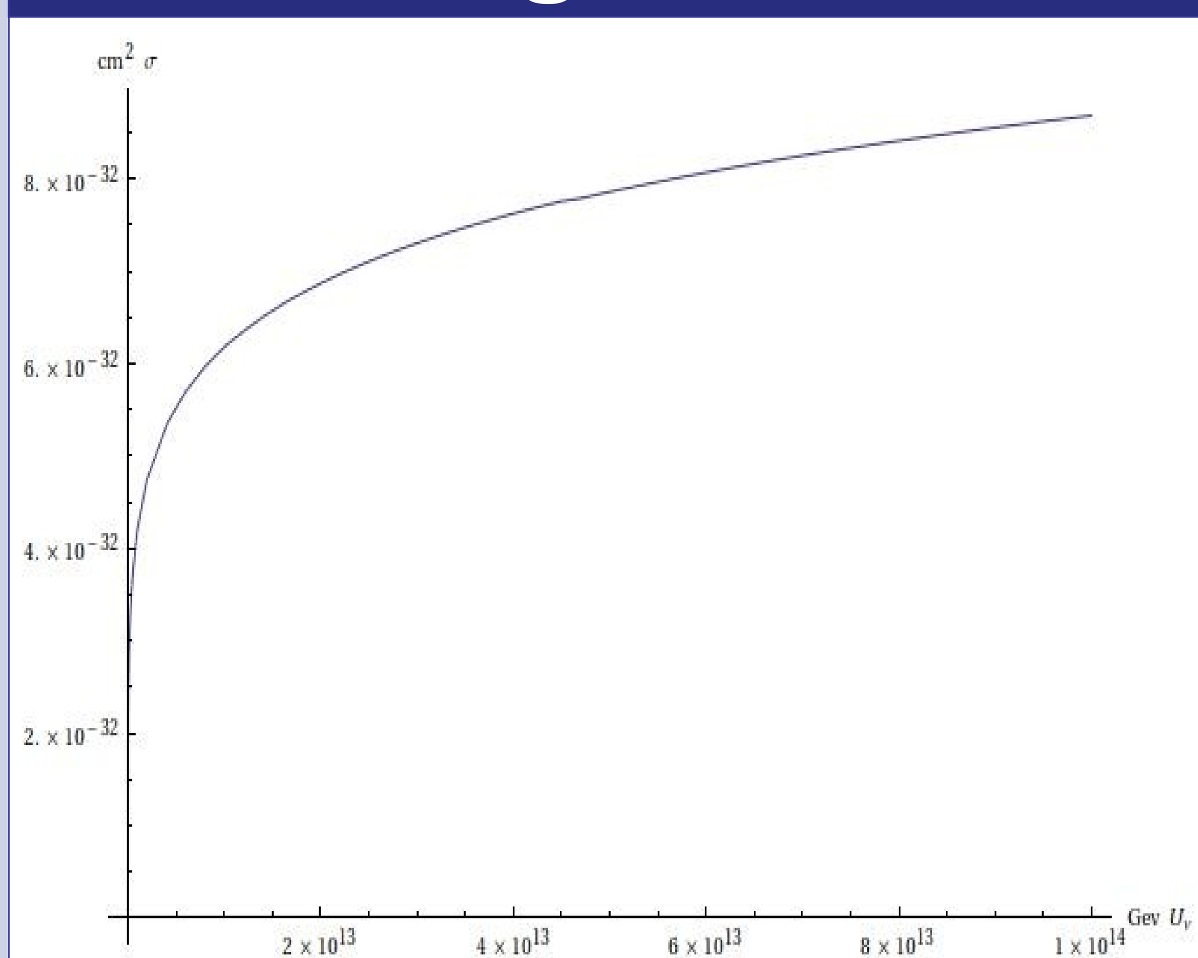

Fig. 2: *Como teste, reproduzimos resultados já apresentados na literatura [1], apresentando a seção de choque de colisões neutrino-próton.*

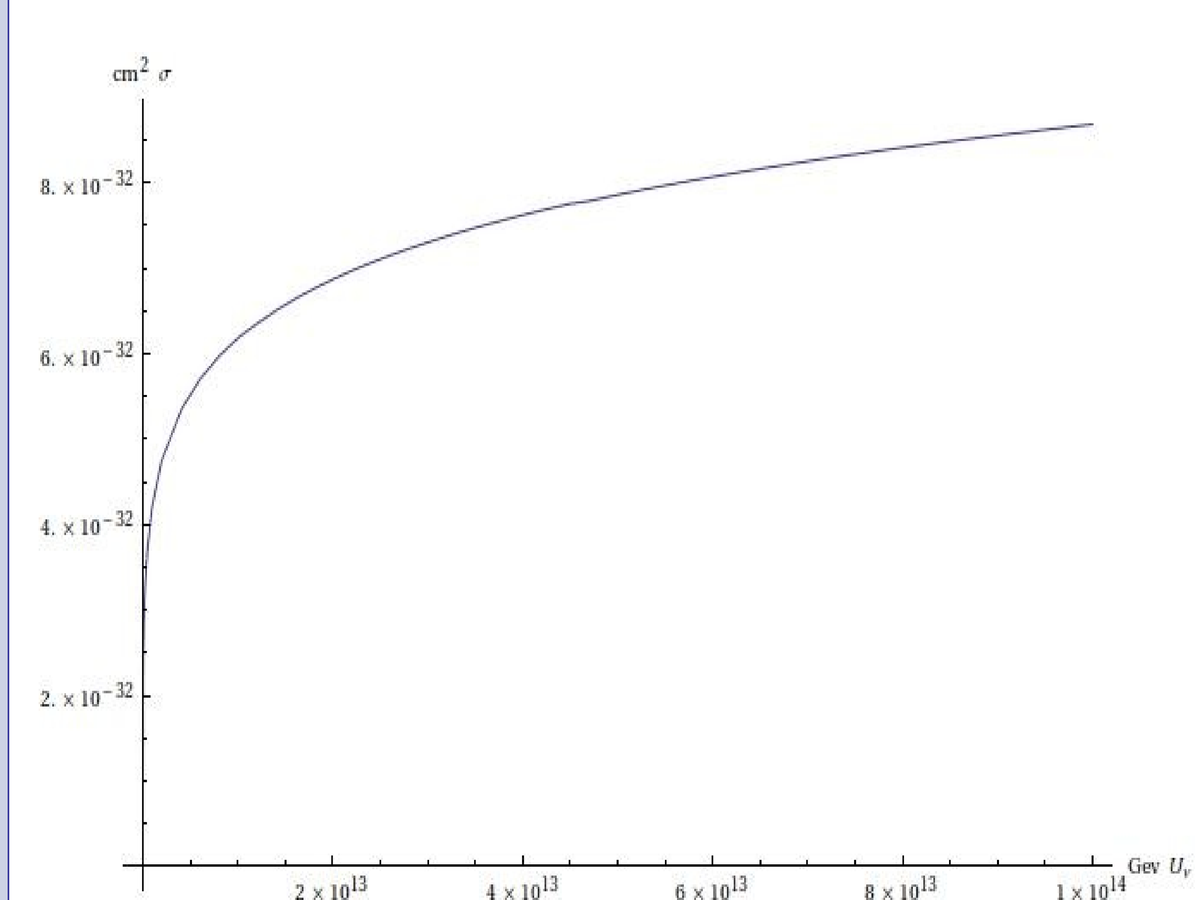

Fig.3: *Resultado obtido modelo teórico [1], mostrando intervalos de energia que abrangem seções de choque para colisões de múon-próton originados na interação de raios cósmicos ultra energéticos.*

Figuras (cont.)

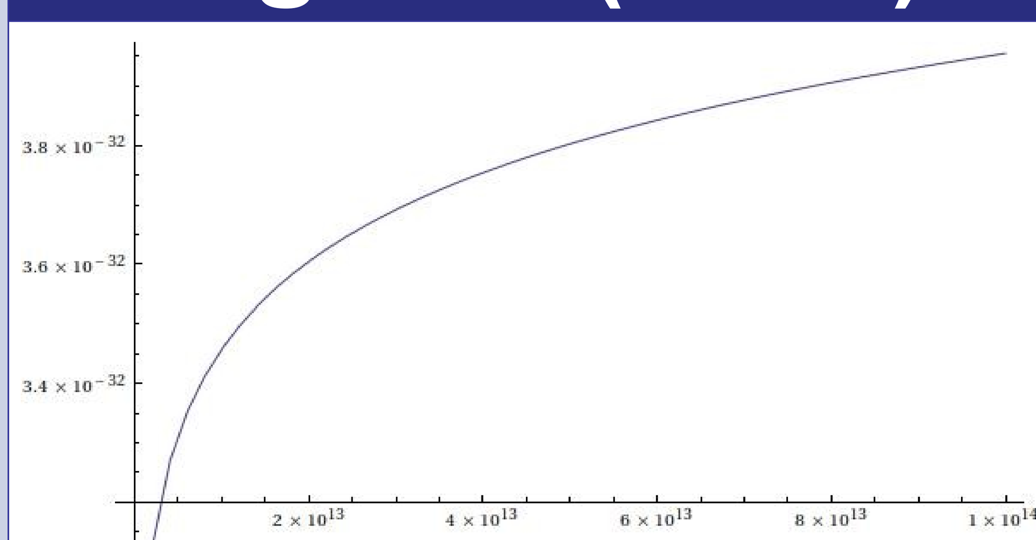

Fig. 4: *Sessão de choque para um modelo baseado em escalonamento geométrico [2], baseado em física de saturação partônica (em unidades de cm² como função da energia do lépton em unidades de GeV.*

Conclusões

A contribuição dada para a física de raios cósmicos, aqui analisada, é a obtenção da seção de choque para colisões múon-próton e da geração destes em colisões neutrino-nucleon, em altas energias. Além disso, foi criado um programa simples e de fácil adaptação, que permite a verificação e/ou reprodução de modelos compatíveis.

Referências

[1]Edmond L. Berger, Martin M. Block, Douglas W. McKay, and Chung-I Tan, "Ultrahigh energy neutrino scattering," PHYSICAL REVIEW D 77, 2008 .

[2]N. Armesto,C. Merino, G. Parente, and E. Zasx, "Charged current neutrino cross section and tau energy loss at ultrahigh energies," PHYSICAL REVIEW D 77, 2008

Agradecimentos

Ao meu orientador Magno V. T. Machado por toda ajuda, e ao CNPq pelo financiamento.