

Extrapolando modelos de interações hadrônicas em energias de raios cósmicos.

Luan Arbeletche

Orientador: Victor Gonçalves

Co-orientador: Márcio Müller

Curso de Pós-Graduação em Física
Universidade Federal de Pelotas

6 de novembro de 2015

R. Ulrich et al., Phys.Rev. **D83** (2011) 054026

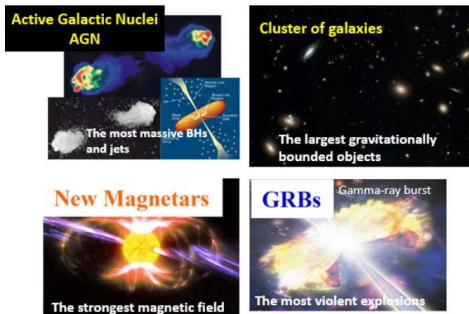
Hadronic Multiparticle Production at Ultra-High Energies and
Extensive Air Showers

Sumário

1. Chuveiros Atmosféricos Extensos
2. Simulação de CAEs
3. Modificação nos modelos de interação
4. Resultados
5. Conclusões

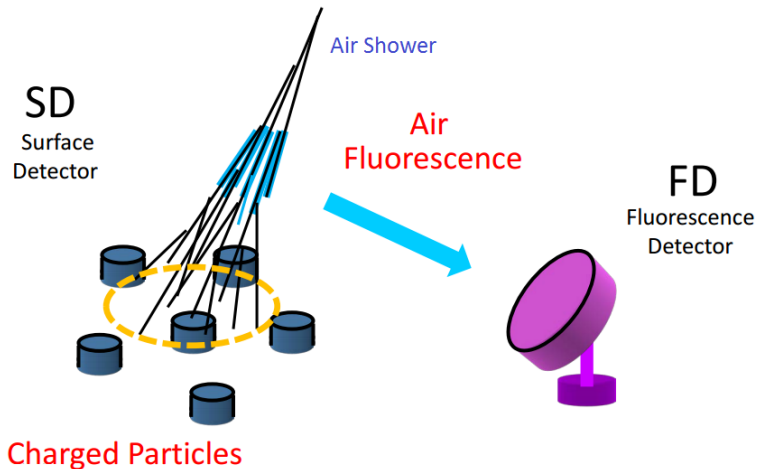
Raios C3smicos

- Part3culas provenientes do espa3o com energias de at3 10^{20} eV ($\sqrt{s} \approx 430$ TeV)
- Principalmente pr3tons, el3trons e n3cleos - em altas energias ainda h3 incertezas sobre a composi33o
- Ainda n3o se sabe quais s3o os mecanismos capazes de acelerar part3culas a tais energias, mas existem candidatos:



Experimentos e detecção

Detecção híbrida - Pierre Auger e Telescope Array



Experimentos e detecção

Principais observáveis

- Perfil longitudinal (FD)

 - X_{max} - composição do primário

 - Depósito de energia na atmosfera - energia do primário

- Partículas carregadas no solo (SD)

 - Direção de incidência - origem do RC

 - S1000 - energia do primário

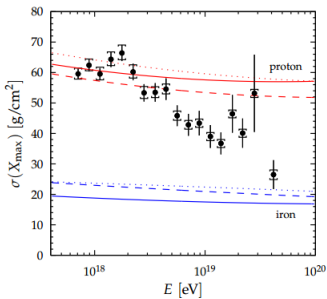
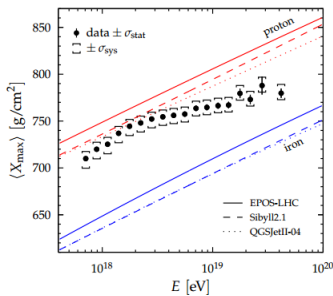
 - Separação das componentes muônica e eletrônica - sensível à composição

- Flutuações - $RMS(X_{max})$ revela informações sobre a composição

Experimentos e detecção

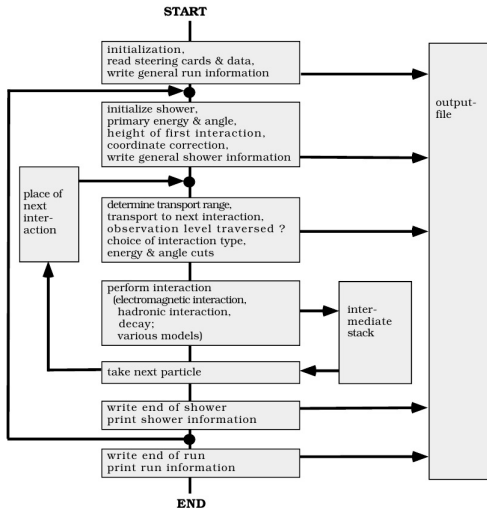
Incertezas nos resultados:

A interpretação dos resultados experimentais vem de comparações com simulações de chuviros.



Simulação de CAEs

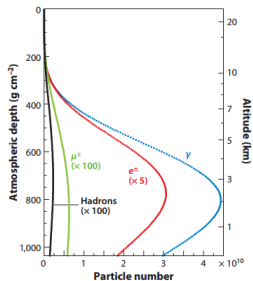
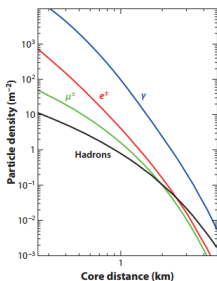
Método Monte Carlo - **CORSIKA**



Simulação de CAEs

Método Monte Carlo - **CORSIKA**

- Capaz de simular todos os observáveis para uma dada configuração inicial
- Tempo de simulação pode ser muito grande



Simulação de CAEs

Método híbrido unidimensional - **CONEX**

- Combinação de simulações Monte Carlo com solução numérica de equações de cascata em 1D
- Partículas com energia acima de E_{thr} são tratadas via Monte Carlo e geram *termos fonte* das equações de cascata
- Resultados coerentes com o CORSIKA, reduzindo drasticamente o tempo de simulação
- Como desvantagem, não produz a distribuição lateral dos chuviros

Simulação de CAEs

- Equações de cascata do tipo (cascata hadrônica)

$$\begin{aligned}\frac{\partial h_a(E, X)|_T}{\partial X} = & -\frac{h_a(E, X)|_T}{\lambda_a(E)} - h_a(E, X)|_T \frac{|\frac{dL}{dX}|_T}{\tau_a(E)c} \\ & + \frac{\partial}{\partial E} (\beta_a^{\text{ion}}(E) h_a(E, X)|_T) \\ & + \sum_d \int_E^{E_{\max}} dE' h_d(E', X)|_T \left[\frac{W_{d \rightarrow a}(E', E)}{\lambda_d(E')} \right. \\ & \left. + D_{d \rightarrow a}(E', E) \frac{|\frac{dL}{dX}|_T}{\tau_d(E')c} \right] + S_a^{\text{had}}(E, X)|_T,\end{aligned}$$

- Análogo para as outras componentes do chuva

Simulação de CAEs

Geradores de evento Monte Carlo - interações hadrônicas

- EPOS LHC
- QGSJET-II 04
- Sibyll 2.1

Hipóteses fenomenológicas + parâmetros ajustáveis

- As diferenças entre os modelos não cobrem toda a faixa de incertezas esperadas em energias além do alcance de aceleradores

Modificação nos modelos de interação

Considerações sobre a extrapolação dos modelos

- Interações em energias de aceleradores são corretamente descritas pelos modelos
- Impacto sobre os observáveis com variação da seção de choque total
- Impacto sobre os observáveis com alterações nos secundários das interações
- Deve refletir o crescimento da incertezas sobre interações hadrônicas com a energia

Modificação nos modelos de interação

Forma funcional - fator dependente da energia

$$f(E, f_{19}) = 1 + (f_{19} - 1)F(E)$$

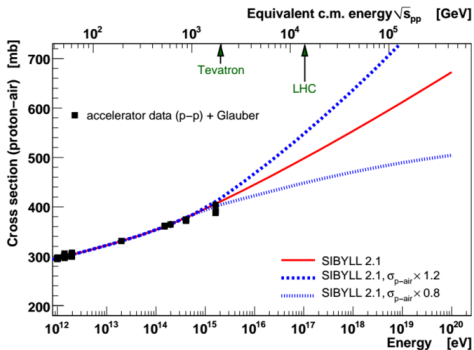
com

$$F(E) = \begin{cases} 0, & \text{se } E \leq 1\text{PeV} \\ \frac{\log(E/1\text{PeV})}{\log(10\text{EeV}/1\text{PeV})}, & \text{se } E > 1\text{PeV} \end{cases}$$

Modificação nos modelos de interação

Extrapolação da seção de choque

$$\sigma^{mod} = \sigma^{orig} f(E, f_{19})$$



Modificação nos modelos de interação

Multiplicidade - número de secundários em uma interação

$$n_{sec}^{mod} = n_{sec}^{orig} f(E, f_{19})$$

- Desconsidera a *leading particle*, conservando elasticidade
- Criação ou aniquilação de partículas aleatoriamente, reescalando a energia cinética das outras partículas
- Conserva a energia total e a carga fica desbalanceada em, no máximo, +- 1

Modificação nos modelos de interação

Elasticidade das interações - fração da energia carregada pela LP

$$f_L = \frac{E_{lead}}{E_0}$$

Modificação

$$f_L^{mod} = f_L^{orig} f(E, f_{19})$$

- Não altera o número de secundários
- Limite inferior - todas as partículas tem a mesma energia
- Limite superior - toda a energia cinética disponível foi transferida para a LP

Modificação nos modelos de interação

Razão de carga de píons - nº de píons neutros em relação ao nº total de píons

$$c = \frac{n_{\pi^0}}{n_{\pi^0} + n_{\pi^-} + n_{\pi^+}}$$

Modificação

$$c^{mod} = c^{orig} f(E, f_{19})$$

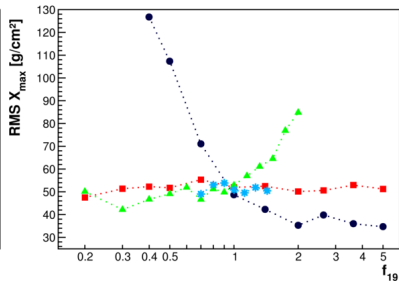
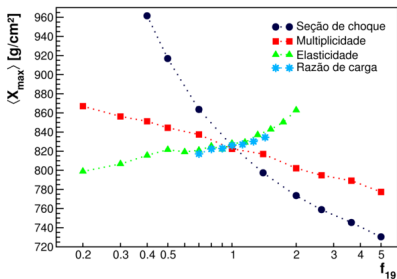
- A LP é conservada e, portanto, a elasticidade
- O número de secundários também é conservado

Resultados

- As simulações a seguir foram realizadas com prótons de $10^{19.5}$ eV como primários
- Variamos o parâmetro f_{19} e analisamos o impacto sobre os seguintes observáveis
 - Profundidade de máximo - X_{max}
 - Diferença entre X_{max} e o ponto da primeira interação
 - Logaritmo do nº de elétrons/pósitrons em $X = 1000g/cm^2$
 - Logaritmo do nº de múons em $X = 1000g/cm^2$
- Para cada ponto no espaço de parâmetros investigado, foram simulados 1000 chuviscos

Resultados

Profundidade de máximo - X_{max}

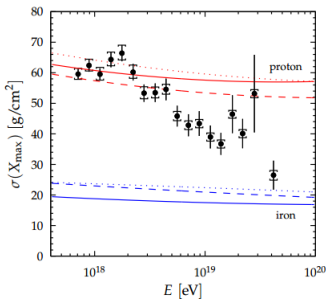
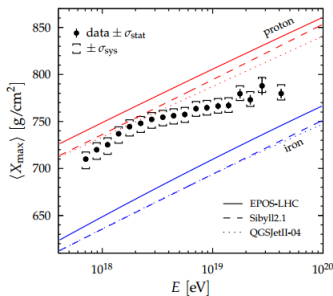


- Grande impacto da seção de choque e multiplicidade

Resultados

Profundidade de máximo - X_{max}

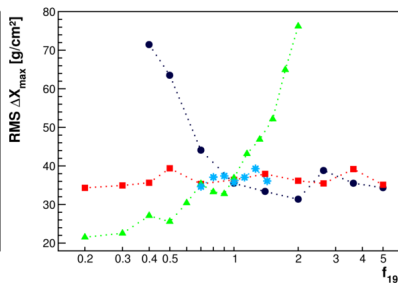
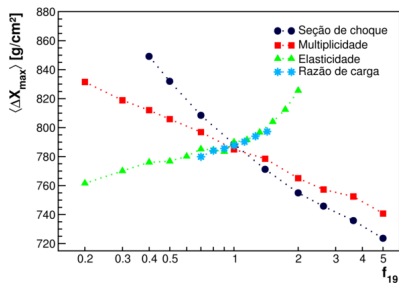
- Resultados do Auger - a extrapolação da seção de choque tem grande impacto na determinação da composição dos RCs



Resultados

Desenvolvimento posterior à primeira interação - ΔX_{max}

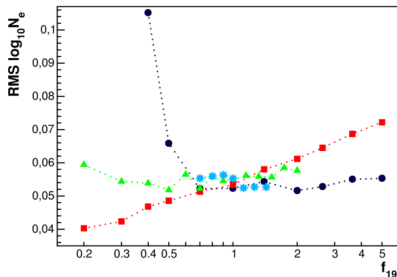
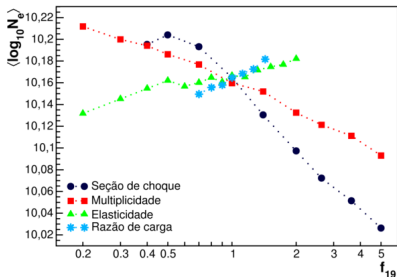
$$\Delta X_{max} = X_{max} - X_1$$



- Somente a seção de choque altera X_{max} e ΔX_{max} simultaneamente

Resultados

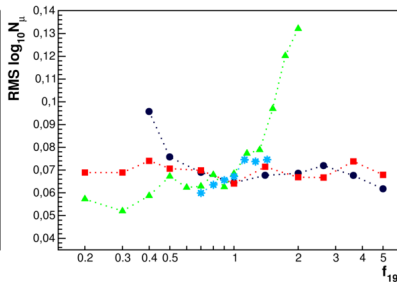
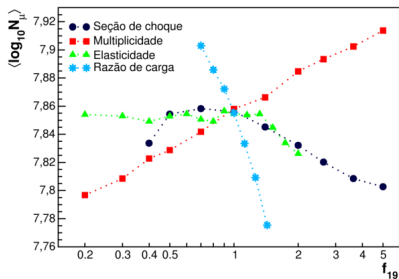
Número de elétrons/pósitrons em $X = 1000g/cm^2$



- Influência direta das características da interação em $\log N_e$
- Relação com a variação de X_{max} e a atenuação da componente eletromagnética na atmosfera

Resultados

Número de múons em $X = 1000g/cm^2$



- Principal influência vem da produção de píons e multiplicidade
- Auger - todos os modelos subestimam o número de múons nos chuveiros

Conclusões e perspectivas

Conclusões

- Através de simulações híbridas com o CONEX foi possível reproduzir parte dos resultados de Ulrich et al
- Os resultados mostram que observáveis de chuviros atmosféricos são sensíveis a alterações nas características das interações hadrônicas

Perspectivas

- Refazer a análise alterando a forma funcional da extrapolação: levar em conta os resultados do LHC e o retuning dos modelos
- Incluir extrapolações da física difrativa

Referências



R. Ulrich et al (2011)

Hadronic Multiparticle Production at Ultra-High Energies and Extensive Air Showers

Phys.Rev. D83 (2011) 054026



T. Bergman et al (2007)

One-dimensional hybrid approach to extensive air shower simulation

Astroparticle Physics 26 (2007) 420–432



Pierre Auger Collaboration (2015)

Measurement of the chemical composition of the ultra-high-energy cosmic rays with the Pierre Auger Observatory

arXiv:1501.06325 [astro-ph.HE]



D. Heck et al (1998)

CORSIKA: A Monte Carlo code to simulate extensive air showers

FZKA-6019

The End