

# Estudo da Produção de Micro Buracos Negros no LHC

Felipe Leite Antunes<sup>1</sup>, Magno V. T. Machado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Porto Alegre, RS



## RESUMO

Baseado no modelo de N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos e G. Dvali (ADD), estudamos a produção de buracos negros no LHC. A Solução de Schwarzschild-Tangherlini nos fornece uma estimativa geométrica para a seção de choque de produção para duas partículas pontuais. Convolvendo-a com as Funções de Distribuição Partônicas estimamos a seção de choque hadrônica.

## CONTEXTO

### PROBLEMA DA HIERARQUIA

A comparação entre as escalas gravitacional e eletrofraca nos leva ao Problema da Hierarquia:

$$\frac{G_N}{G_F} = \frac{6.609 \cdot 10^{39} \text{ GeV}^{-2}}{1.166 \cdot 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}} \sim 10^{-34}$$

Durante a década de 90, modelos baseados na existência de dimensões extras [1,2] trouxeram uma abordagem totalmente nova para este problema da hierarquia.

### O MODELO ADD

Nima-Arkani-Hamed, Sava Dimopoulos e Gia Dvali, em 1998 apresentam uma nova solução para o problema da hierarquia utilizando um modelo de dimensões extras [1].

Neste modelo os autores partem da simples suposição de que existem  $n$  dimensões extras espaciais compactadas de raio  $\sim R$ , e tomam  $M_{Pl(4+n)} \sim m_{EW}$ , onde  $M_{Pl(4+n)}$  é a escala de Plank em  $4+n$  dimensões e  $m_{EW}$  a escala eletrofraca.

Consequentemente a lei de Gauss para  $r \ll R$  torna-se

$$V(r) \sim \frac{m_1 m_2}{M_{Pl(4+n)}^{n+2}} \frac{1}{r^{n+1}}$$

e para  $r \gg R$

$$V(r) \sim \frac{m_1 m_2}{M_{Pl(4+n)}^{n+2}} \frac{1}{R^n r}$$

Portanto a  $M_{Pl}$  efetiva em 4 dimensões é

$$M_{Pl}^2 \sim M_{Pl(4+n)}^{2+n} R^n$$

De onde temos, seguindo a filosofia do modelo

$$R \sim 10^{\frac{30}{n}-17} \left( \frac{1 \text{ TeV}}{m_{EW}} \right)^{1+\frac{2}{n}} \text{ cm}$$

O que exclui  $n=1$ , pois  $R \sim 10^{13} \text{ cm}$ , escala cuja verificação empírica não revela nenhum sinal de anomalias na gravitação.

## CONSEQUÊNCIAS

### SOLUÇÃO DE SCHWARZSCHILD-TANGHERLINI

O raio de Schwarzschild para  $D = 4 + n$  dimensões segue da métrica de Schwarzschild-Tangherlini [3] e é dado por

$$R_S = \frac{1}{M_{Pl(4+n)}} \left( \frac{M_{bh}}{M_{Pl(4+n)}} \right)^{\frac{1}{n+1}} C_n^{1/(n+1)}$$

, onde

$$C_n = \frac{8\Gamma\left(\frac{n+3}{2}\right)}{(n+2)\sqrt{\pi}^{(n+1)}}$$

## PRODUÇÃO NO LHC

### Condição Mínima

Para produção de buracos negros, em termos da energia do centro de massa, precisamos que o

comprimento de onda Compton da partícula colisora  $\lambda_C = \frac{4\pi}{E}$  caia no seu raio de Schwarzschild, i.e  $\frac{4\pi}{E} < R_S$  ou

$$\frac{4\pi}{\left(\frac{\sqrt{s}}{M_D}\right)^{n+1} C_n^{1/(n+1)}} < \frac{\sqrt{s}}{M_D}$$

, onde assumimos que a energia do centro de massa,  $\sqrt{s}$ , é utilizada em sua totalidade para a formação de um buraco negro da massa  $M_{bh}$  e, simplificando a notação,  $M_D \equiv M_{Pl(4+n)}$ .

Resolvendo para  $x_{min} \equiv \sqrt{s}/M_D$ , com  $n$  entre 1 e 7, obtemos  $x_{min} \sim 10$ . Portanto para  $M_D \sim 1 \text{ TeV}$ , a energia do centro de massa está dentro dos nossos limites experimentais.

### Estimativa Geométrica

A seção de choque partônica pode ser estimada a partir de argumentos geométricos [5], e é da ordem de

$$\sigma_p^{ij \rightarrow bh}(M_{bh}, M_D, n) \propto \pi R_S^2 \sim \frac{1}{M_D^2} \left( \frac{M_{bh}}{M_D} \right)^{\frac{2}{n+1}}$$

Seu comportamento pode ser observado na Fig. 1.

### Seção de choque hadrônica

Enquanto a seção de choque apresentada acima é válida para partons, a seção choque no nível hadrônico segue da convolução desta com as Funções de Distribuição Partônicas, somadas sobre todos os pares de partons que carregam energia suficiente para formação de buraco negro.

$$\sigma_p^{pp \rightarrow bh} = \sum_{ij} \int_{M_{bh}^2/s}^1 dy \int_y^1 \frac{dx}{x} f_i(x, Q^2) f_j\left(\frac{y}{x}, Q^2\right) \sigma_p^{ij \rightarrow BH}$$

Para o LHC com  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ , a seção de choque total, obtida usando as Funções de Distribuição Partônicas de MSTW[4] com escala  $Q^2 = 1/R_S^2$ , é mostrada na Fig. 2; o número de dimensões

extras foi fixado em  $n = 7$ . Os limites da seção de choque para buracos negros com massa acima de são de aproximadamente  $10^{-7} \text{ pb}$ , para  $M_D = 7 \text{ TeV}$ , até  $1 \text{ nb}$ , para  $M_D = 1 \text{ TeV}$ . Se  $M_D = 1 \text{ TeV}$ , o LHC com a luminosidade atual  $L \sim 10^5 \text{ pb}^{-1}/\text{ano}$ , deveria produzir mais de  $10^8$  buracos negros por ano.

## CONCLUSÃO

Embora buracos negros ainda não tenham sido detectados no LHC, modelos mais realísticos vem sendo estudados, tanto no contexto ADD quando RS[2] (cenário de uma dimensão especial extra com dobra). A inclusão de um fator de forma na seção de choque geométrica, e levar em conta a energia necessária para a formação, assim como a emissão de gravitons também são alternativas presentes na literatura. Nosso próximo passo será explorar o modelo de RS assim como as modificações presentes na literatura.

## REFERÊNCIAS:

- [1] Arkani-Hamed, N.; Dimopoulos, S.; Dvali, G. The hierarchy problem and new dimensions at a millimeter. Physics Letters B, v. 429, p. 263–272, jun. 1998.
- [2] Randall, L.; Sundrum, R. Large mass hierarchy from a small extra dimension. Phys. Rev. Lett., American Physical Society, v. 83, p. 3370–3373, Oct 1999.
- [3] TANGHERLINI, F. Schwarzschild field in  $n$  dimensions and the dimensionality of space problem. II Nuovo Cimento 27, p. 636–651, 1963.
- [4] MARTIN, A. et al. Parton distributions for the LHC. Euro. Phys. J. C, v. 63, p. 189–285, 2009.
- [5] DIMOPOULOS, S.; LANDSBERG, G. Black holes at the large hadron collider. Phys. Rev. Lett., American Physical Society, v. 87, p. 161602, Sep 2001.

