

Produção de duplo fóton no Modelo Padrão e com dimensões extras em colisões hadrônicas

Prof. Werner K. Sauter

Instituto de Física e Matemática - UFPel

Seminários do GAME



1 Introdução

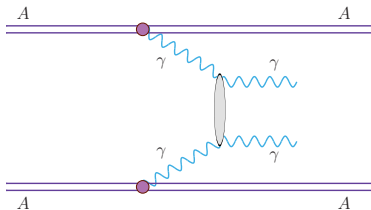
2 Formalismo: Colisões Periferais

3 Formalismo: Seção de choque MP

4 Formalismo: Seção de choque além MP

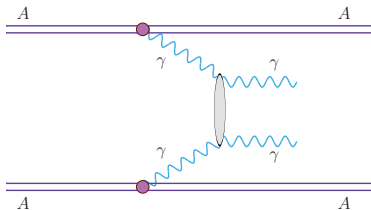
5 Resultados

6 Conclusões



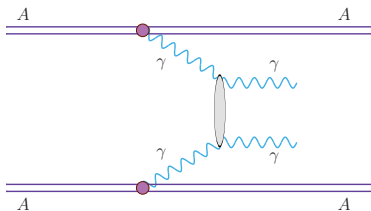
Motivações:

- Processo puramente quântico;



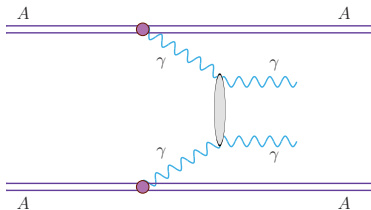
Motivações:

- Processo puramente quântico;
- Seção de choque pequena;



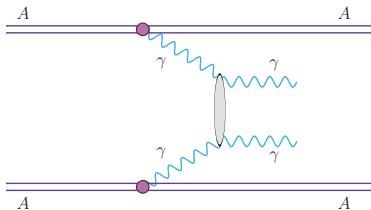
Motivações:

- Processo puramente quântico;
- Seção de choque pequena;
- *Background* para outros processos envolvendo dois fótons;



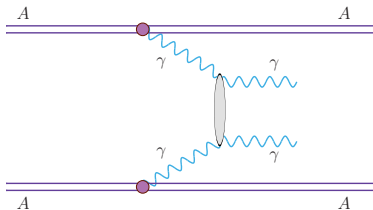
Motivações:

- Processo puramente quântico;
- Seção de choque pequena;
- *Background* para outros processos envolvendo dois fótons;
- Complementar a outros processos já estudados: duplo Z , dilaton/Higgs, troca do Pomeron BFKL.



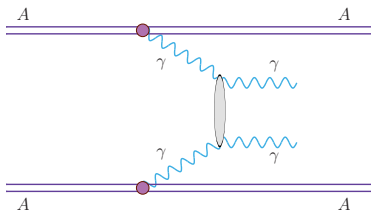
Motivações:

- Processo puramente quântico;
- Seção de choque pequena;
- *Background* para outros processos envolvendo dois fótons;
- Complementar a outros processos já estudados: duplo Z, dilaton/Higgs, troca do Pomeron BFKL.
- Descoberta de novas partículas (ED, SUSY, etc.);



Motivações:

- Processo puramente quântico;
- Seção de choque pequena;
- *Background* para outros processos envolvendo dois fótons;
- Complementar a outros processos já estudados: duplo Z, dilaton/Higgs, troca do Pomeron BFKL.
- Descoberta de novas partículas (ED, SUSY, etc.);
- Ressonância em dois γ em 750 GeV;



Motivações:

- Processo puramente quântico;
- Seção de choque pequena;
- *Background* para outros processos envolvendo dois fótons;
- Complementar a outros processos já estudados: duplo Z, dilaton/Higgs, troca do Pomeron BFKL.
- Descoberta de novas partículas (ED, SUSY, etc.);
- Ressonância em dois γ em 750 GeV;
- Vários outros trabalhos anteriores na literatura.

Produção central exclusiva (CEP)

- sinal claro no detector;

Produção central exclusiva (CEP)

- sinal claro no detector;
- projéteis fora da região central;

Produção central exclusiva (CEP)

- sinal claro no detector;
- projéteis fora da região central;
- pequeno fundo (background);

Produção central exclusiva (CEP)

- sinal claro no detector;
- projéteis fora da região central;
- pequeno fundo (background);
- seções de choque baixas.

Formalismo de colisões periferais

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

Introdução

Formalismo:
Colisões
Periferais

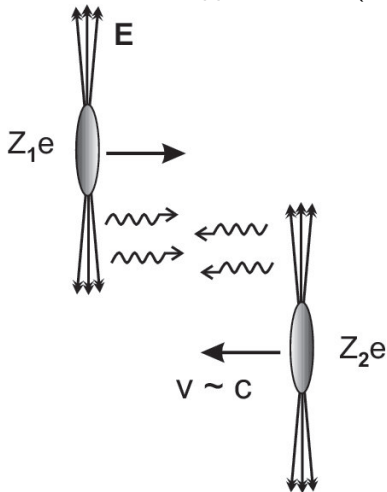
Formalismo:
Seção de
choque MP

Formalismo:
Seção de
choque além
MP

Resultados

Conclusões

Equivalent Photon Approximation (EPA)



Seção de choque em EPA

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

$$\sigma_{AB \rightarrow AXB} = \int \frac{d\omega_A}{\omega_A} \int \frac{d\omega_B}{\omega_B} F(\omega_A, \omega_B) \sigma_{\gamma\gamma X}(\omega_A, \omega_B) \quad (1)$$

Introdução

Formalismo:
Colisões
Periferais

Formalismo:
Seção de
choque MP

Formalismo:
Seção de
choque além
MP

Resultados

Conclusões

Seção de choque em EPA

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

Introdução

Formalismo:
Colisões
Periferais

Formalismo:
Seção de
choque MP

Formalismo:
Seção de
choque além
MP

Resultados

Conclusões

$$\sigma_{AB \rightarrow AXB} = \int \frac{d\omega_A}{\omega_A} \int \frac{d\omega_B}{\omega_B} F(\omega_A, \omega_B) \sigma_{\gamma\gamma X}(\omega_A, \omega_B) \quad (1)$$

F is a “folded” photon spectra:

$$F(\omega_A, \omega_B) = 2\pi \int_{R_A}^{\infty} b_1 db_1 \int_{R_B}^{\infty} b_2 db_2 \int_0^{2\pi} d\phi N_A(\omega_A, b_1) N_B(\omega_B, b_2) \\ \times P(b - R_A - R_B),$$

with $b^2 = b_1^2 + b_2^2 - 2b_1 b_2 \cos \phi$; $R_{A,B}$, the particles radii.

Seção de choque em EPA

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

Introdução

Formalismo:
Colisões
Periferais

Formalismo:
Seção de
choque MP

Formalismo:
Seção de
choque além
MP

Resultados

Conclusões

$$\sigma_{AB \rightarrow AXB} = \int \frac{d\omega_A}{\omega_A} \int \frac{d\omega_B}{\omega_B} F(\omega_A, \omega_B) \sigma_{\gamma\gamma X}(\omega_A, \omega_B) \quad (1)$$

F is a “folded” photon spectra:

$$F(\omega_A, \omega_B) = 2\pi \int_{R_A}^{\infty} b_1 db_1 \int_{R_B}^{\infty} b_2 db_2 \int_0^{2\pi} d\phi N_A(\omega_A, b_1) N_B(\omega_B, b_2) \\ \times P(b - R_A - R_B),$$

with $b^2 = b_1^2 + b_2^2 - 2b_1 b_2 \cos \phi$; $R_{A,B}$, the particles radii.
 $N_{A,B}$ is the Weizsäcker-Williams equivalent photon flux,

$$N(\omega, b) = \frac{Z^2 \alpha_{em}}{\pi^2} \left(\frac{\omega}{\gamma v^2} \right)^2 \left[K_1^2(x) + \frac{K_0^2(x)}{\gamma^2} \right], \quad x = \frac{\omega b}{\gamma v} \quad (2)$$

Seção de choque em EPA II

Usando a aproximação de Drees *et al.*:

$$\sigma_{\text{tot}} = \int_{M_{\gamma\gamma}^2/s_{NN}}^1 dx_A f_A(x_A) \int_{M_{\gamma\gamma}^2/x_1 s_{NN}}^1 dx_B f_B(x_B) \sigma_{\gamma\gamma}(\hat{s}_{\gamma\gamma} = M_{\gamma\gamma}^2) \quad (3)$$

$f(x)$ is the photon energy spectrum produced by a charged particle.

Seção de choque em EPA II

Usando a aproximação de Drees *et al.*:

$$\sigma_{\text{tot}} = \int_{M_{\gamma\gamma}^2/s_{NN}}^1 dx_A f_A(x_A) \int_{M_{\gamma\gamma}^2/x_1 s_{NN}}^1 dx_B f_B(x_B) \sigma_{\gamma\gamma}(\hat{s}_{\gamma\gamma} = M_{\gamma\gamma}^2) \quad (3)$$

$f(x)$ is the photon energy spectrum produced by a charged particle.
The Weizsacker/Williams expression is

$$f_{\text{WW}}(x) = \frac{\alpha_{\text{elm}} Z^2}{\pi} \frac{1}{x} [2Y K_0(Y) K_1(Y) - Y^2 (K_1^2(Y) - K_0^2(Y))], \quad (4)$$

with $Y = xM_A b_{\text{min}}$.

Seção de choque em EPA II

Usando a aproximação de Drees *et al.*:

$$\sigma_{\text{tot}} = \int_{M_{\gamma\gamma}^2/s_{NN}}^1 dx_A f_A(x_A) \int_{M_{\gamma\gamma}^2/x_1 s_{NN}}^1 dx_B f_B(x_B) \sigma_{\gamma\gamma}(\hat{s}_{\gamma\gamma} = M_{\gamma\gamma}^2) \quad (3)$$

$f(x)$ is the photon energy spectrum produced by a charged particle.
The Weizsacker/Williams expression is

$$f_{\text{WW}}(x) = \frac{\alpha_{\text{elm}} Z^2}{\pi} \frac{1}{x} [2Y K_0(Y) K_1(Y) - Y^2 (K_1^2(Y) - K_0^2(Y))], \quad (4)$$

with $Y = xM_A b_{\text{min}}$.

The Dress and Zeppenfeld one is given by

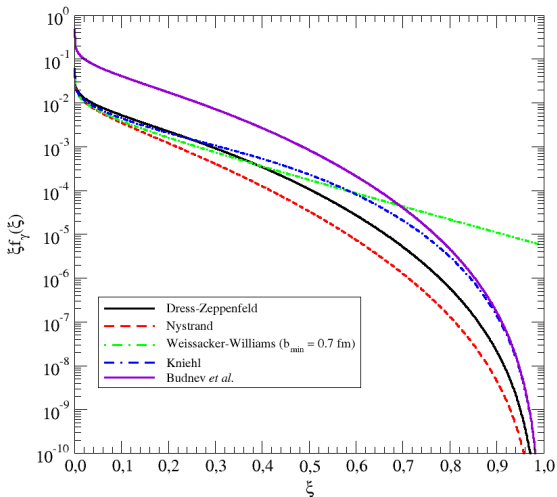
$$f_{\text{DZ}}(x) = \frac{\alpha_{\text{elm}} Z^2}{2\pi x} [1 + (1-x)^2] \left[\ln A - \frac{11}{6} + \frac{3}{A} - \frac{3}{2A^2} + \frac{1}{3A^3} \right] \quad (5)$$

where

$$A = 1 + \frac{0.71 \text{ GeV}^2}{Q_{\text{min}}^2}, \quad Q_{\text{min}}^2 \simeq \frac{m_p^2 x^2}{1-x}.$$

Seção de choque em EPA II

Espectro de energia dos fótons:



Produção de duplo fóton no Modelo Padrão e com dimensões extras em colisões hadrônicas

Prof. Werner K. Sauter

Introdução

Formalismo: Colisões Periferais

Formalismo: Seção de choque MP

Formalismo: Seção de choque além MP

Resultados

Conclusões

QED & QCD & Modelo Padrão

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

Introdução

Formalismo:
Colisões
Periferais

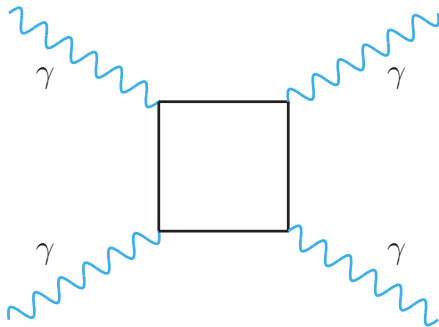
Formalismo:
Seção de
choque MP

Formalismo:
Seção de
choque além
MP

Resultados

Conclusões

$6 \times 4 = 24$ Diagramas de Feynman: “loop” de férmion (3 léptons e 6 quarks)



QED & QCD & Modelo Padrão

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

Introdução

Formalismo:
Colisões
Periferais

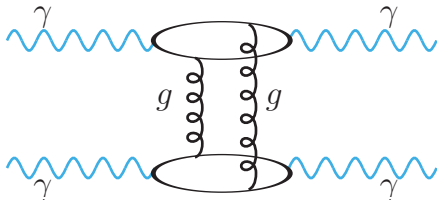
Formalismo:
Seção de
choque MP

Formalismo:
Seção de
choque além
MP

Resultados

Conclusões

Troca de Pomeron:

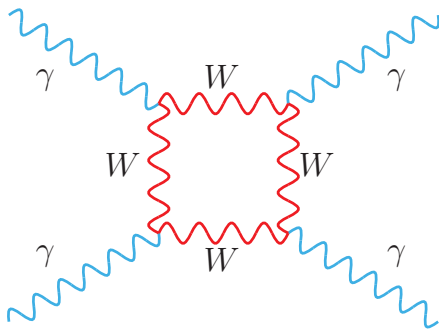


QED & QCD & Modelo Padrão

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

“loop” de bósons de calibre massivos W^\pm



Introdução

Formalismo:
Colisões
Periferais

Formalismo:
Seção de
choque MP

Formalismo:
Seção de
choque além
MP

Resultados

Conclusões

Seção de choque $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$

$$\gamma(k_1, \lambda_1) + \gamma(k_2, \lambda_2) \rightarrow \gamma(k_3, \lambda_3) + \gamma(k_4, \lambda_4) \quad (3)$$

$$\sigma_{\gamma\gamma} = \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} d \cos \theta \frac{d\sigma_{\gamma\gamma}}{d \cos \theta}, \quad \frac{d\sigma_{\gamma\gamma}}{d \cos \theta} = \frac{1}{32\pi s} |\mathcal{M}|^2, \quad (4)$$

$$\frac{d\sigma_f^{LO}}{d \cos \theta} = \frac{N_f^2 Q_f^8 \alpha_{\text{elm}}^4}{2\pi s} \left\{ |M_{- - + +}|^2 + 4 |M_{- + + +}|^2 + |M_{+ + + +}|^2 + |M_{+ - - +}|^2 + |M_{+ - + -}|^2 \right\} \quad (5)$$

where $|M_{+ - + -}|^2(s, t, u) = |M_{- - + +}|^2(s, u, t)$.

Mandelstam variables, $s = (k_1 + k_2)^2$, $t = -s(1 - \cos \theta)/2$,

$u = -s(1 + \cos \theta)/2$

Amplitudes de espalhamento

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

Introdução

Formalismo:
Colisões
Periferais

Formalismo:
Seção de
choque MP

Formalismo:
Seção de
choque além
MP

Resultados

Conclusões

The rescaled Mandelstam variables

$$s' = \frac{s}{4m^2}, \quad t' = \frac{t}{4m^2}, \quad u' = \frac{u}{4m^2}, \quad s' + t' + u' = 0 - s' \leq t, u \leq 0. \quad (6)$$

Here, m denotes the mass of the particle in the loop.

Amplitude fermiônica:

$$\begin{aligned}\mathcal{M}_{++++}^f &= 1 + 2 \left[\frac{t' - u'}{s'} \right] [B(t') - B(u')] + \left[\frac{2(t'^2 + u'^2)}{s'^2} - \frac{2}{s'} \right] [T(t') + T(u')] \\ &+ \left[\frac{1}{2s't'} - \frac{1}{t'} \right] I(s', t') + \left[\frac{1}{2s'u'} - \frac{1}{u'} \right] I(s', u') \\ &+ \left[\frac{4}{s'} + \frac{1}{t'} + \frac{1}{u'} + \frac{1}{2t'u'} - \frac{2(t'^2 + u'^2)}{s'^2} \right] I(t', u') \\ \mathcal{M}_{+++-}^f &= -1 - \left[\frac{1}{s'} + \frac{1}{t'} + \frac{1}{u'} \right] [T(s') + T(t') + T(u')] \\ &+ \left[\frac{1}{u'} + \frac{1}{2s't'} \right] I(s', t') + \left[\frac{1}{t'} + \frac{1}{2s'u'} \right] I(s', u') + \left[\frac{1}{s'} + \frac{1}{2t'u'} \right] I(t', u') \\ \mathcal{M}_{+--+}^f &= -1 + \frac{1}{2s't'} I(s', t') + \frac{1}{2s'u'} I(s', u') + \frac{1}{2t'u'} I(t', u')\end{aligned}\quad (6)$$

Amplitude bosônica:

$$\mathcal{M}_{++++}^v = -\frac{3}{2} - 3 \left[\frac{t' - u'}{s'} \right] [B(t') - B(u')] - \frac{1}{s'} \left[8s' - 3 - 6 \frac{t'u'}{s'} \right] [T(t') + T(u') - I(t', u') - I(u', t')] - \frac{3}{s'} I(t', u') - 4 \left(s' - \frac{1}{4} \right) \left(s' - \frac{3}{4} \right) \left[I(s', t') \frac{1}{s't'} + I(s', u') \frac{1}{s'u'} + I(t', u') \frac{1}{t'u'} \right]$$

$$\mathcal{M}_{++++}^v = -\frac{3}{2} M_{++++}^f$$

$$\mathcal{M}_{+---}^v = -\frac{3}{2} M_{+---}^f$$

Funções transcendentais

Functions $B(z)$, $T(z)$ and $I(z,w)$, defined as

$$\begin{aligned}\operatorname{Re}B(z) &= -1 + \operatorname{Re} \left[\frac{b(z)}{2} \log \left(\frac{b(z)+1}{b(z)-1} \right) \right] \\ \operatorname{Im}B(z) &= -\frac{\pi}{2}b(z) \quad \text{for } z > 1.\end{aligned}\tag{7}$$

$$b(z) = \sqrt{1-1/z}$$

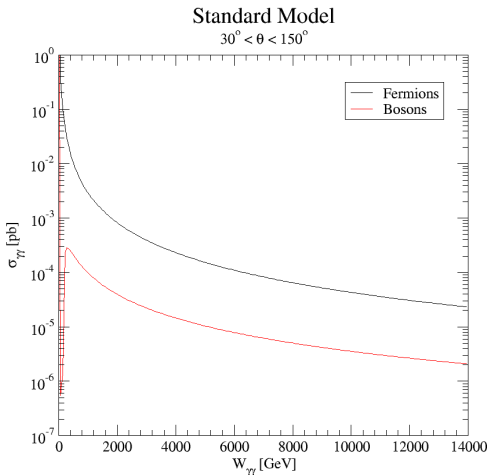
$$\begin{aligned}\operatorname{Re}T(z) &= \operatorname{Re} \left[\frac{1}{4} \log^2 \left(\frac{b(z)+1}{b(z)-1} \right) \right] \\ \operatorname{Im}T(z) &= -\pi \operatorname{arcosh} \sqrt{z} \quad \text{for } z > 1.\end{aligned}\tag{8}$$

$$\begin{aligned}\operatorname{Re}I(z,w) &= \frac{1}{2a} \operatorname{Re} \left[-\operatorname{Li}_2 \left(\frac{a+1}{a+b(z)} \right) + \operatorname{Li}_2 \left(\frac{a-1}{a+b(z)} \right) - \operatorname{Li}_2 \left(\frac{a+1}{a-b(z)} \right) + \operatorname{Li}_2 \left(\frac{a-1}{a-b(z)} \right) \right. \\ &\quad \left. - \operatorname{Li}_2 \left(\frac{a+1}{a+b(w)} \right) + \operatorname{Li}_2 \left(\frac{a-1}{a+b(w)} \right) - \operatorname{Li}_2 \left(\frac{a+1}{a-b(w)} \right) + \operatorname{Li}_2 \left(\frac{a-1}{a-b(w)} \right) \right] \\ \operatorname{Im}I(z,w) &= \frac{\pi}{2a} \left[\Theta(z-1) \log \left(\frac{a-b(z)}{a+b(z)} \right) + \Theta(w-1) \log \left(\frac{a-b(w)}{a+b(w)} \right) \right],\end{aligned}$$

$a(z,w) = \sqrt{1-1/z-1/w}$, $\operatorname{Li}_2(z) = -\int_0^z \log(1-t)/t$ is the dilogarithm function, and $\Theta(x)$ is the units step function.

Resultado para $\sigma_{\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma}$

Integral usando QUADPACK e função $\text{Li}_2(z)$ usando CHAPLIN



Thu May 12 21:56:33 2016

Pode-se ter partículas não previstas no MP

- bósons massivos (Zhou *et al.*);

Pode-se ter partículas não previstas no MP

- bósons massivos (Zhou *et al.*);
- outras partículas carregadas (Fichet *et al.*);

Pode-se ter partículas não previstas no MP

- bósons massivos (Zhou *et al.*);
- outras partículas carregadas (Fichet *et al.*);
- monopólos magnéticos (veja o seminário do Jean);

Pode-se ter partículas não previstas no MP

- bósons massivos (Zhou *et al.*);
- outras partículas carregadas (Fichet *et al.*);
- monopólos magnéticos (veja o seminário do Jean);
- dilaton (ver Gonçalves, Sauter)
- dimensões extras...

Pode-se ter partículas não previstas no MP

- bósons massivos (Zhou *et al.*);
- outras partículas carregadas (Fichet *et al.*);
- monopólos magnéticos (veja o seminário do Jean);
- dilaton (ver Gonçalves, Sauter)
- dimensões extras...

Curiosos podem procurar a dissertação de Priscila de Aquino (USP).

ED: problema da hierarquia

Produção de duplo fóton no Modelo Padrão e com dimensões extras em colisões hadrônicas

Prof. Werner K. Sauter

Introdução

Formalismo: Colisões Periferais

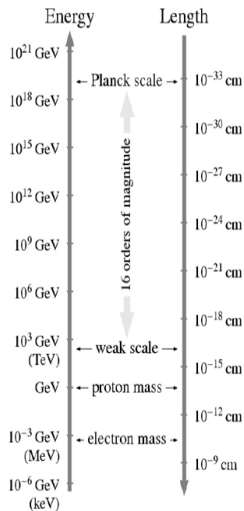
Formalismo: Seção de choque MP

Formalismo: Seção de choque além MP

Resultados

Conclusões

■ Hierarchy problem



ED: problema da hierarquia

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

Introdução

Formalismo:
Colisões
Periferais

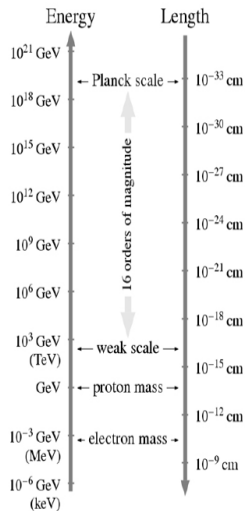
Formalismo:
Seção de
choque MP

Formalismo:
Seção de
choque além
MP

Resultados

Conclusões

- Hierarchy problem
- Kalusta & Klein: teoria unificada gravitação e TEM via 5a. dimensão compacta



ED: problema da hierarquia

Produção de duplo fóton no Modelo Padrão e com dimensões extras em colisões hadrônicas

Prof. Werner K. Sauter

Introdução

Formalismo: Colisões Periferais

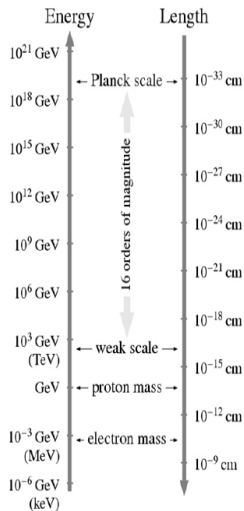
Formalismo: Seção de choque MP

Formalismo: Seção de choque além MP

Resultados

Conclusões

- Hierarchy problem
- Kalusta & Klein: teoria unificada gravitação e TEM via 5a. dimensão compacta
- Teoria de Cordas



ED: problema da hierarquia

Produção de duplo fóton no Modelo Padrão e com dimensões extras em colisões hadrônicas

Prof. Werner K. Sauter

Introdução

Formalismo: Colisões Periferais

Formalismo: Seção de choque MP

Formalismo: Seção de choque além MP

Resultados

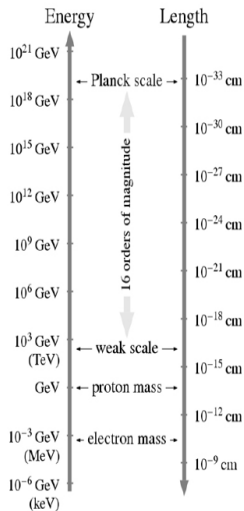
Conclusões

- Hierarchy problem
- Kalusta & Klein: teoria unificada gravitação e TEM via 5a. dimensão compacta
- Teoria de Cordas

A hipótese:

Universo multi-dimensional: estamos em uma “brana” embutida em um “bulk”.

A gravidade é fraca na brana por que esta diluta no bulk.



Arkani-Hamed, Dimopoulos e Dvali;

- Duas D-branas separadas por n dimensões espaciais planas (toro)

Arkani-Hamed, Dimopoulos e Dvali;

- Duas D-branas separadas por n dimensões espaciais planas (toro)
- As partículas SM somente em "nossa" brana. Só o graviton "vê" a outra brana.

Arkani-Hamed, Dimopoulos e Dvali;

- Duas D-branas separadas por n dimensões espaciais planas (toro)
- As partículas SM somente em "nossa" brana. Só o graviton "vê" a outra brana.
- Reescala a escala de unificação na order de TeV.

Arkani-Hamed, Dimopoulos e Dvali;

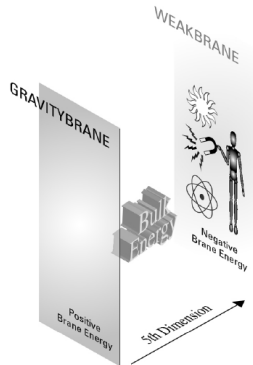
- Duas D-branas separadas por n dimensões espaciais planas (toro)
- As partículas SM somente em "nossa" brana. Só o graviton "vê" a outra brana.
- Reescala a escala de unificação na order de TeV.
- torre de Kalusta-Klein de estados de graviton: muito próximos um do outro = contínuo

Arkani-Hamed, Dimopoulos e Dvali;

- Duas D-branas separadas por n dimensões espaciais planas (toro)
- As partículas SM somente em "nossa" brana. Só o graviton "vê" a outra brana.
- Reescala a escala de unificação na order de TeV.
- torre de Kalusta-Klein de estados de graviton: muito próximos um do outro = contínuo
- Introduce outra escala de hierarquia

Randall & Sundrum

- Duas (3+1) branas separadas por uma ED
- Espaço tempo pentadimensional tipo anti-De Sitter
- O bulk é empenado (“*Warped*”), dependendo da distância de nossa brana



Teoria de Campo com Dimensões extras

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

Introdução

Formalismo:
Colisões
Periferais

Formalismo:
Seção de
choque MP

**Formalismo:
Seção de
choque além
MP**

Resultados

Conclusões

- Modelo de Quantização da Gravitação: os gravitons acoplam com a matéria;

Teoria de Campo com Dimensões extras

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

Introdução

Formalismo:
Colisões
Periferais

Formalismo:
Seção de
choque MP

Formalismo:
Seção de
choque além
MP

Resultados

Conclusões

- Modelo de Quantização da Gravitação: os gravitons acoplam com a matéria;
- Em Giudice *et al.* e Han *et al.* temos os acoplamentos (vértices e propagadores) para ADD;

Teoria de Campo com Dimensões extras

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

Introdução

Formalismo:
Colisões
Periferais

Formalismo:
Seção de
choque MP

Formalismo:
Seção de
choque além
MP

Resultados

Conclusões

- Modelo de Quantização da Gravitação: os gravitons acoplam com a matéria;
- Em Giudice *et al.* e Han *et al.* temos os acoplamentos (vértices e propagadores) para ADD;
- Em RS e Goldberger e Wise idem no cenário RS;

Teoria de Campo com Dimensões extras

Propagador ADD:

$$\kappa^2 \mathcal{D}_{\text{ADD}}(\hat{s}) = \kappa^2 \sum_n \frac{i}{\hat{s} - m_n^2} = \frac{16\pi}{M_S^{n+2}} \hat{s}^{n/2-1} \left[\pi + 2iI_n(M_S/\sqrt{\hat{s}}) \right] \quad (10)$$

where M_S is the modified Planck energy scale and

$$I(x) = PV \int_0^x dy \frac{y^{n-1}}{1-y^2}. \quad (11)$$

For $M_S > \sqrt{\hat{s}}$

$$I_n(x) = \begin{cases} -\frac{1}{2} \log(x^2 - 1) - \sum_{j=1}^{n/2-1} \frac{x^{2j}}{2^j}, & n \text{ even} \\ \frac{1}{2} \log\left(\frac{x+1}{x-1}\right) - \sum_{j=1}^{(n-1)/2} \frac{x^{2j-1}}{2^{j-1}}, & n \text{ odd} \end{cases}. \quad (12)$$

For $M_S < \sqrt{\hat{s}}$ calculated by wxMAXIMA:

$$I_2(x) = -1/2 \log(1-x^2),$$

$$I_7(x) = -\frac{1}{2} \left[\log\left(\frac{1-x}{1+x}\right) + \frac{2}{5}x^5 + \frac{2}{3}x^3 + \frac{x}{2} \right]$$

Han *et al.*, for $M_S^2 \gg s, |t|, |u|$,

$$\kappa^4 |\mathcal{D}_{\text{ADD}}(\hat{s})|^2 \approx \frac{256\pi^2}{M_S^8} \frac{4}{(n-2)^2}, \quad n > 2.$$

Teoria de Campo com Dimensões extras

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

Introdução

Formalismo:
Colisões
Periferais

Formalismo:
Seção de
choque MP

Formalismo:
Seção de
choque além
MP

Resultados

Conclusões

Propagador RS:

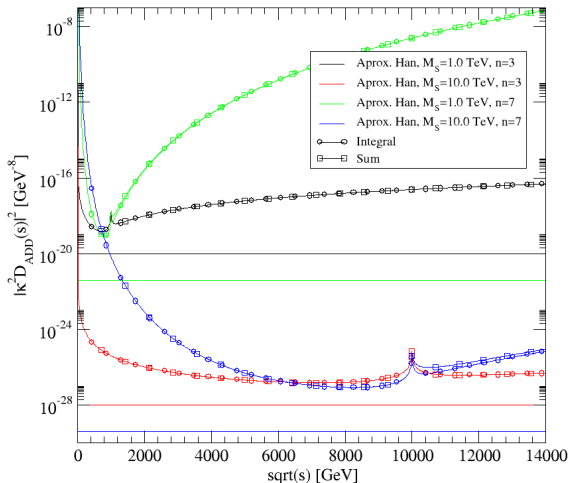
$$\kappa^2 \mathcal{D}_{\text{RS}}(\hat{s}) = \frac{2}{\Lambda_\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\hat{s} - m_n^2 + i\Gamma_n m_n}, \quad \Gamma_n = \rho m_n \left(\frac{m_n}{\Lambda_\pi} \right)^2 \quad (10)$$

with $\rho = 1$, $m_n = x_n \beta \Lambda_\pi$ and $J_1(x_n) = 0$ (100 first calculated by mjdzo). The parameters are $\beta = k/\bar{M}_{\text{Planck}}$ and Λ_π .
Falta o propagador do radion (a fazer)

Resultado para os propagadores

Integral numérica usando qawc de QUADPACK:

ADD



Resultado para os propagadores

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

Introdução

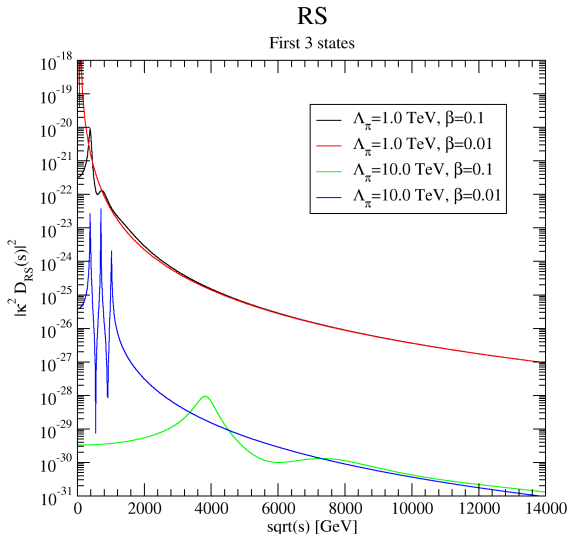
Formalismo:
Colisões
Periferais

Formalismo:
Seção de
choque MP

Formalismo:
Seção de
choque além
MP

Resultados

Conclusões



Fri May 13 13:07:23 2016

Diagramas de Feynman e amplitudes

Produção de
duplo fóton no
Modelo
Padrão e com
dimensões
extras em
colisões
hadrônicas

Prof. Werner
K. Sauter

Introdução

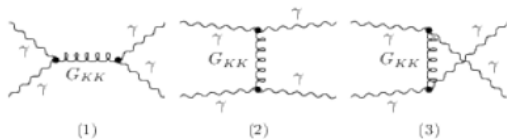
Formalismo:
Colisões
Periferais

Formalismo:
Seção de
choque MP

Formalismo:
Seção de
choque além
MP

Resultados

Conclusões



$$\begin{aligned} |M|^2 &= \frac{\kappa^4}{8} \{ |D(\hat{s})|^2(\hat{t}^4 + \hat{u}^4) + |D(\hat{t})|^2(\hat{s}^4 + \hat{u}^4) + |D(\hat{u})|^2(\hat{s}^4 + \hat{t}^4) \\ &+ [D^*(\hat{s})D(\hat{t}) + D(\hat{s})D^*(\hat{t})]\hat{u}^4 + [D^*(\hat{s})D(\hat{u}) + D(\hat{s})D^*(\hat{u})]\hat{t}^4 \\ &+ [D^*(\hat{t})D(\hat{u}) + D(\hat{t})D^*(\hat{u})]\hat{s}^4 \} \end{aligned} \quad (11)$$

Seção de choque com DE

Produção de duplo fóton no Modelo Padrão e com dimensões extras em colisões hadrônicas

Prof. Werner K. Sauter

Introdução

Formalismo: Colisões Periferais

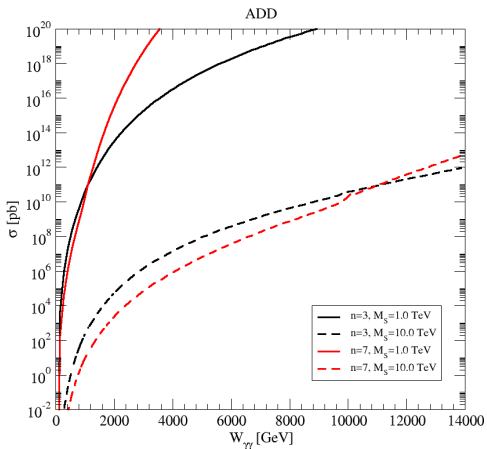
Formalismo: Seção de choque MP

Formalismo: Seção de choque além MP

Resultados

Conclusões

Partonic cross section: $\gamma\gamma \rightarrow G \rightarrow \gamma\gamma$



Thu May 12 21:56:40 2016

Seção de choque com DE

Produção de duplo fóton no Modelo Padrão e com dimensões extras em colisões hadrônicas

Prof. Werner K. Sauter

Introdução

Formalismo: Colisões Periferais

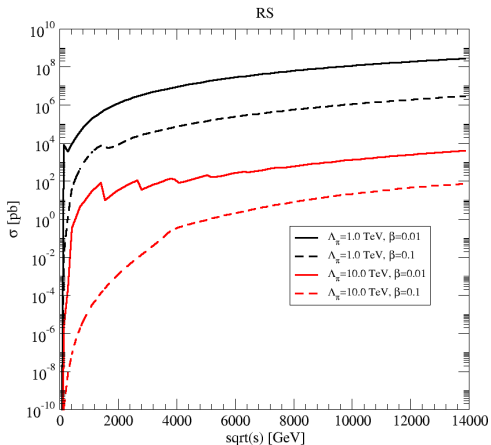
Formalismo: Seção de choque MP

Formalismo: Seção de choque além MP

Resultados

Conclusões

Partonic cross section: $\gamma\gamma \rightarrow G \rightarrow \gamma\gamma$

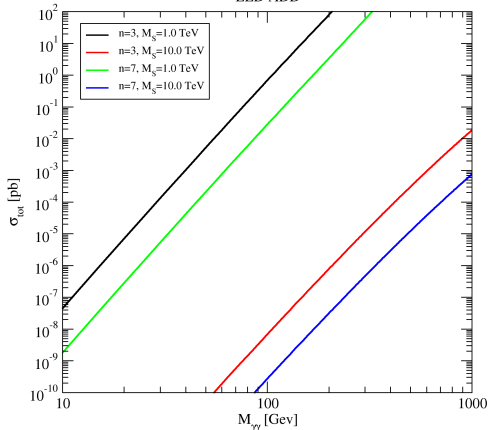


The May 12 21:56:46 2016

Resultados preliminares:

pp, sqrt(s) = 14.0 TeV

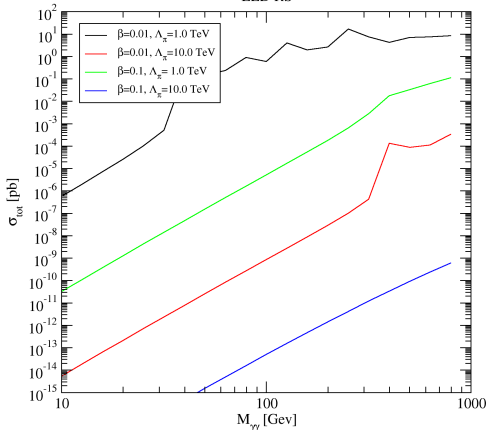
LED ADD



Resultados preliminares:

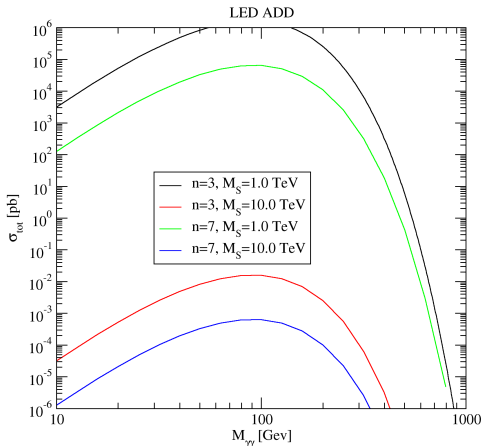
pp, sqrt(s) = 14.0 TeV

LED RS



Resultados preliminares:

PbPb, sqrt(s) = 5.5 TeV



Duplo fóton: MP vs. DE

- Seções de choque tem comportamentos diferentes em cada caso;

Duplo fóton: MP vs. DE

- Seções de choque tem comportamentos diferentes em cada caso;
- Escolha de parâmetros para DE: escalas muito diferentes entre os cenários;

Duplo fóton: MP vs. DE

- Seções de choque tem comportamentos diferentes em cada caso;
- Escolha de parâmetros para DE: escalas muito diferentes entre os cenários;
- Convergência lenta no caso MP: ainda rodando...

Duplo fóton: MP vs. DE

- Seções de choque tem comportamentos diferentes em cada caso;
- Escolha de parâmetros para DE: escalas muito diferentes entre os cenários;
- Convergência lenta no caso MP: ainda rodando...
- Falta ainda os processos $PbPb$ e pPb

- EPA:
M. Drees, *et al.*, Phys. Rev. D **50**, 2335 (1994)
M. Klusek-Gawenda and A. Szczurek, Phys. Rev. C **82**, 014904 (2010)
- Dimensões Extras:
T. Han, J. D. Lykken and R. J. Zhang, Phys. Rev. D **59**, 105006 (1999)
- $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$:
M. Z. Yang and X. J. Zhou, Phys. Rev. D **52**, 5018 (1995).
Z. Bern, *et al.*, JHEP **0111**, 031 (2001)
D. d'Enterria and G. G. da Silveira, Phys. Rev. Lett. **111**, 080405 (2013)
S. Fichet, *et al.*, JHEP **1502**, 165 (2015)
M. Klusek-Gawenda, *et al.*, Phys. Rev. C **93**, no. 4, 044907 (2016)
- $\gamma\gamma \rightarrow G_{KK} \rightarrow \gamma\gamma$:
K. m. Cheung, Phys. Rev. D **61**, 015005 (2000)
S. Atag, *et al.*, JHEP **1009**, 042 (2010)
H. Sun, Eur. Phys. J. C **74**, no. 8, 2977 (2014)
G. C. Cho, *et al.*, Phys. Rev. D **91**, no. 11, 115015 (2015)