

Возможные эффекты цветного G' -бозона в pp и $p\bar{p}$ -столкновениях

Михаил Мартынов

Ярославль, ЯрГУ

Научная сессия-конференция секции ядерной физики ОФН РАН
"Физика фундаментальных взаимодействий"
Институт физики высоких энергий
Протвино, 22-25 декабря, 2008

- 1 Киральная цветовая симметрия и аксиглюоны
- 2 G' -бозоны
- 3 Ограничения на G' по данным с Tevatron'a
- 4 Возможные эффекты G' -бозона на LHC
- 5 Заключение

Модели с киральным цветом

[Pati and Salam(1975)]

[Hall and Nelson(1985)]

[Frampton and Glashow(1987a)]

[Frampton and Glashow(1987b)]

Группа киральной цветовой симметрии

$$G_c = SU_L(3) \times SU_R(3) \rightarrow SU_c(3)$$

$$\begin{array}{cc} g_L & g_R \\ G_\mu^L & G_\mu^R \end{array}$$

$$g_L = g_R = g_s$$

$$\frac{G_\mu^L + G_\mu^R}{\sqrt{2}} = G_\mu, \quad \frac{G_\mu^R - G_\mu^L}{\sqrt{2}} = G_\mu^A,$$

G_μ^A – Аксиглюон (цветной бозон с массой M_A , ширина $\Gamma_A \approx 0.1M_A$, октет по $SU_c(3)$)

$$\mathcal{L}_{Gqq} = g_s \bar{q} \gamma^\mu q G_\mu, \quad \mathcal{L}_{G^A qq} = g_s \bar{q} \gamma^5 \gamma^\mu q G_\mu^A,$$

Правила Фейнмана для аксиглюонов, вычисление сечений процессов.

[Bagger et al.(1988)Bagger, Schmidt, and King]

Экспериментальные ограничения на M_A

- PDG 2008:
 $M_A > 980 \text{ GeV}$
([Choudhury et al.(2007)Choudhury, Godbole, Singh, and Wagh],
[Abe and et al. (CDF Collaboration)(1997)]
[Doncheski(1999)])
- По измерениям асимметрии A_{FB} на Tevatron'е CDF (при 90% C.L.)
[Antunano et al.(2007)Antunano, Kuhn, and Rodrigo]
 $M_A > 1200 \text{ GeV}$
- Из измерений A_{FB} на Tevatron'е D0 (при 90% C.L.)
[Rodrigo(2008)]
 $M_A > 1400 \text{ GeV}$

G' -бозоны

В общем случае ($g_L \neq g_R$) произвольного смешивания G^L и G^R

$$G_\mu = cG_\mu^L + sG_\mu^R, \quad G'_\mu = -sG_\mu^L + cG_\mu^R$$

$$\sin(\theta_G) = s, \quad \cos(\theta_G) = c$$

G_μ – обычный глюон. $\Rightarrow sg_R = cg_L = g_{st}$

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{Gqq} &= g_L \bar{q}^L \gamma^\mu q^L G_\mu^L + g_R \bar{q}^R \gamma^\mu q^R G_\mu^R = \\ &= g_{st} \bar{q} \gamma^\mu q G_\mu + \frac{g_{st}}{2sc} \bar{q} \gamma^\mu (c^2 - s^2 - \gamma_5) q G'_\mu \end{aligned}$$

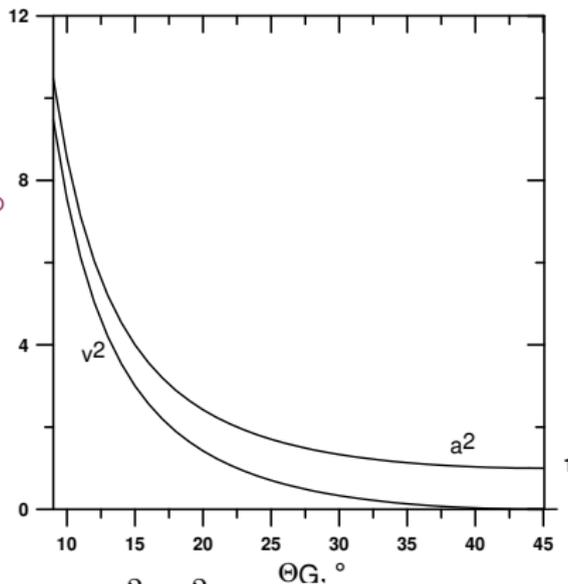
G'_μ – новый калибровочный массивный октет бозонов

$$\mathcal{L}_{G'qq} = g_{st} \bar{q} \gamma^\mu (v + a \gamma_5) q G'_\mu$$

$$a(\theta_G) = -\frac{1}{2sc}, \quad v(\theta_G) = \frac{c^2 - s^2}{2sc}$$

$$10^\circ < \theta_G \leq 45^\circ$$

$$\frac{\alpha_s}{\pi} a^2(10^\circ) \approx 0.30$$

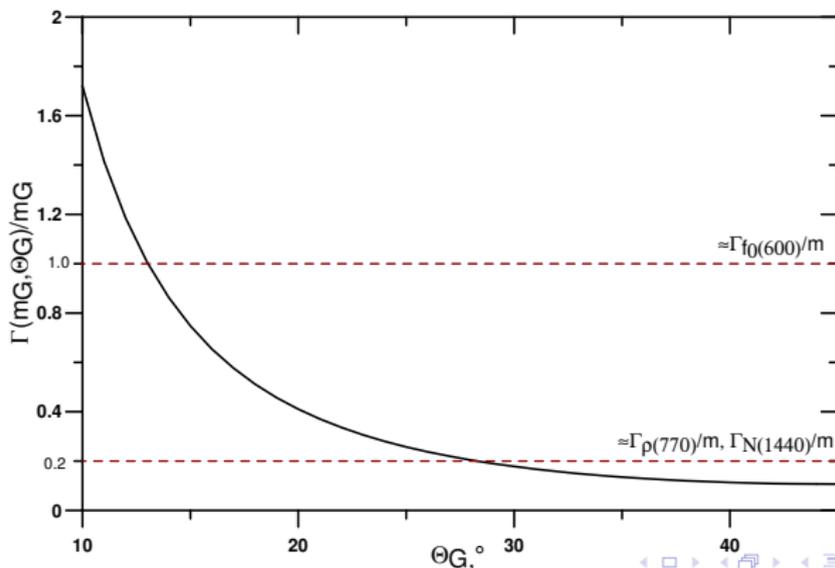


Значения параметров a^2 , v^2 в зависимости от угла смешивания

Ширина G' -бозона

$$\Gamma_{G'} \equiv \sum_q \Gamma(G' \rightarrow q\bar{q}) \approx$$

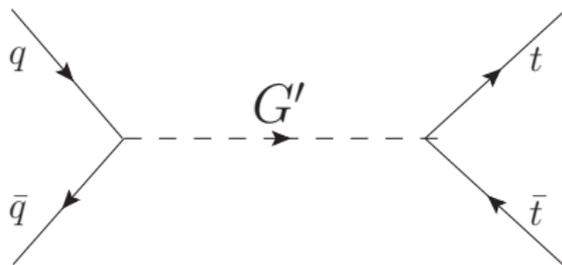
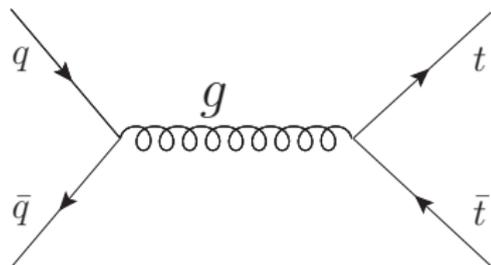
$$\approx \frac{\alpha_s m_{G'}}{6} \left[\sum_{q=u..b} (a^2 + v^2) + \sqrt{1 - \frac{4m_t^2}{m_{G'}^2}} \left(v^2 \left(1 + \frac{2m_t^2}{m_{G'}^2} \right) + a^2 \left(1 - \frac{4m_t^2}{m_{G'}^2} \right) \right) \right]$$



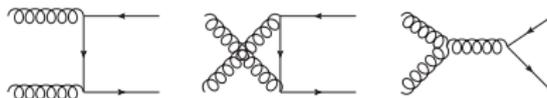
Процесс $p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}$

$q\bar{q} \rightarrow g, G' \rightarrow t\bar{t}$

$q\bar{q} \rightarrow g, G' \rightarrow t\bar{t}$

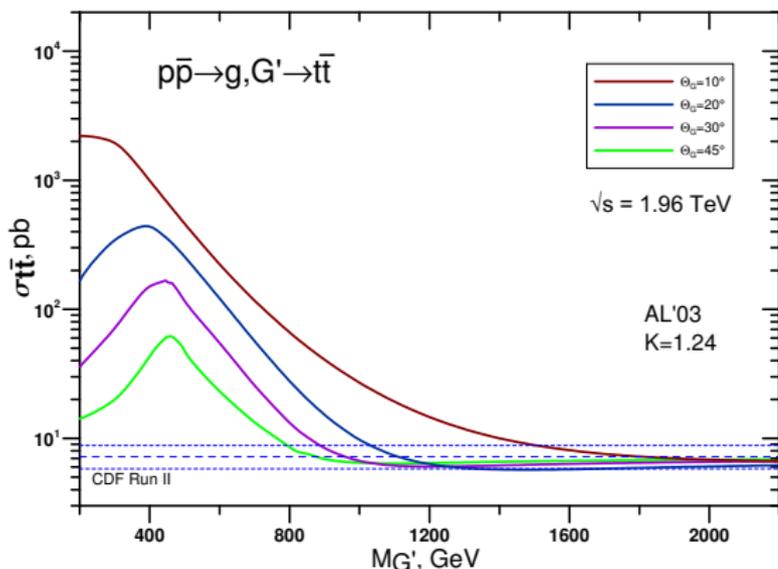


+ вклад от диаграмм с начальными глюонами. (Такой же как в SM)



$$\begin{aligned} \frac{d\sigma^{q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}}}{d\cos\hat{\theta}} &= \frac{\alpha_s^2 \pi \beta}{9\hat{s}} \left(f^{(+)} + \frac{2\hat{s}(\hat{s} - m_{G'}^2)}{(\hat{s} - m_{G'}^2)^2 + m_{G'}^2 \Gamma_{G'}^2} \left[v^2 f^{(+)} + 2a^2 \beta c \right] + \right. \\ &+ \left. \frac{\hat{s}^2}{(\hat{s} - m_{G'}^2)^2 + m_{G'}^2 \Gamma_{G'}^2} \left[(a^2 + v^2) \left(v^2 f^{(+)} + a^2 f^{(-)} \right) + 8a^2 v^2 \beta c \right] \right) \\ f^{(\pm)} &= (1 + c^2 \pm 4m_t^2/\hat{s}), \quad c = \cos\hat{\theta}, \quad \beta = \sqrt{1 - 4m_t^2/\hat{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma^{q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}} &= \frac{4\pi\alpha_s^2\beta}{27\hat{s}} \left[3 - \beta^2 + \frac{2\hat{s}m_{G'}v^2(3 - \beta^2)}{(\hat{s} - m_{G'}^2)^2 + \Gamma_{G'}^2 m_{G'}^2} + \right. \\ &+ \left. \frac{\hat{s}^2(2a^4\beta^2 + a^2v^2(\beta^2 + 3) + (v^4 + 2v^2)(3 - \beta^2))}{(\hat{s} - m_{G'}^2)^2 + \Gamma_{G'}^2 m_{G'}^2} \right] \end{aligned}$$



| θ_G | $M_{G'}$ |
|------------|----------------------|
| 45° | $> 910 \text{ ГэВ}$ |
| 30° | $> 1000 \text{ ГэВ}$ |
| 20° | $> 1150 \text{ ГэВ}$ |
| 10° | $> 1850 \text{ ГэВ}$ |

Полное сечение рождения $t\bar{t}$ -пар в $p\bar{p}$ -столкновениях было вычислено с использованием партонных распределений [Alekhin(2003)] (NLO, fixed-flavor-number, $K = 1.24$, $Q^2 = m_t^2$), К-фактор [Campbell et al.(2007)Campbell, Huston, and Stirling]

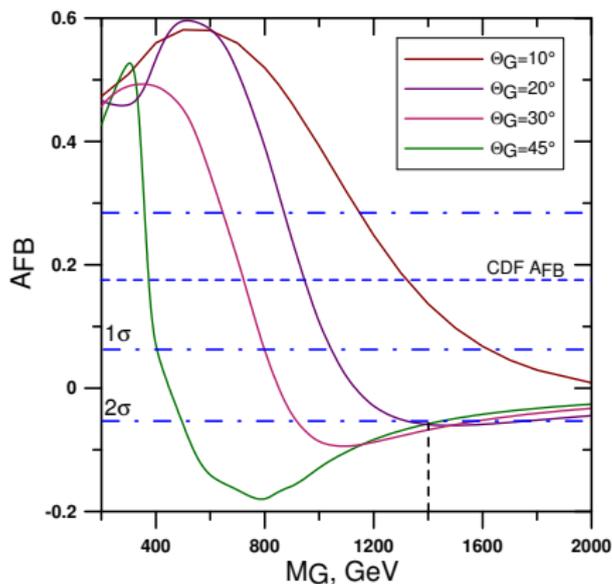
Асимметрия A_{FB}

$$A_{FB}^{p\bar{p}} = \frac{N_t(\cos\theta > 0) - N_t(\cos\theta < 0)}{N_t(\cos\theta > 0) + N_t(\cos\theta < 0)}$$

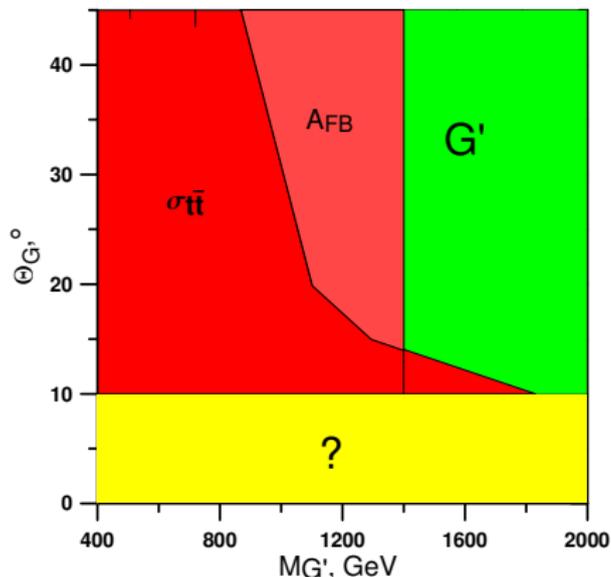
$$A_{FB}^{p\bar{p}} = 0.17 \pm 0.07 \text{ (stat)} \pm 0.04 \text{ (sys)}$$

CDF (1.9 fb⁻¹) [Aaltonen(2008)]

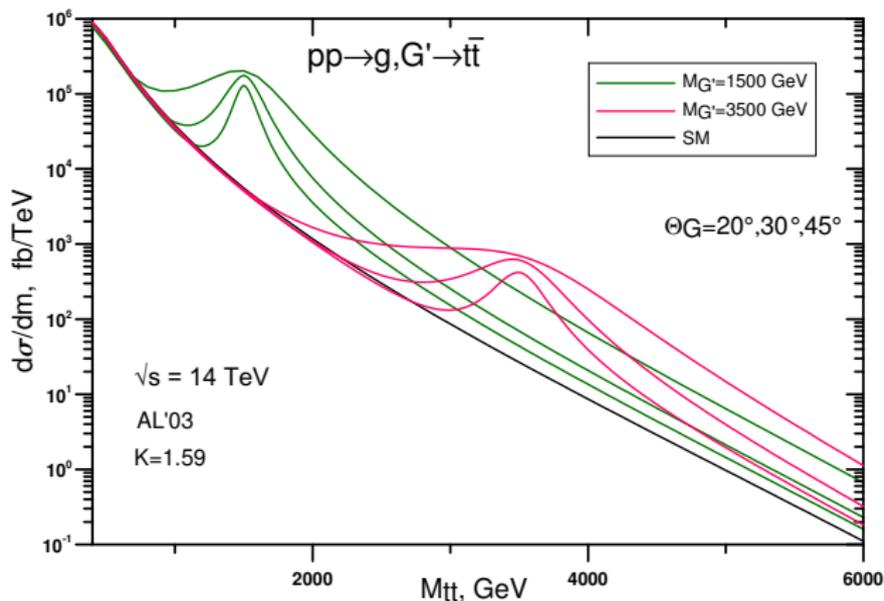
$$\begin{aligned} \frac{d\sigma^{q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}}}{d\cos\hat{\theta}} &= \frac{\alpha_s^2 \pi \beta}{9\hat{s}} \left(f_{(+)} + \frac{2\hat{s}(\hat{s} - m_{G'}^2)}{(\hat{s} - m_{G'}^2)^2 + m_{G'}^2 \Gamma_{G'}^2} [v^2 f_{(+)} + 2a^2 \beta c] + \right. \\ &+ \left. \frac{\hat{s}^2}{(\hat{s} - m_{G'}^2)^2 + m_{G'}^2 \Gamma_{G'}^2} \left[(a^2 + v^2) (v^2 f_{(+)} + a^2 f_{(-)}) + 8a^2 v^2 \beta c \right] \right) \end{aligned}$$



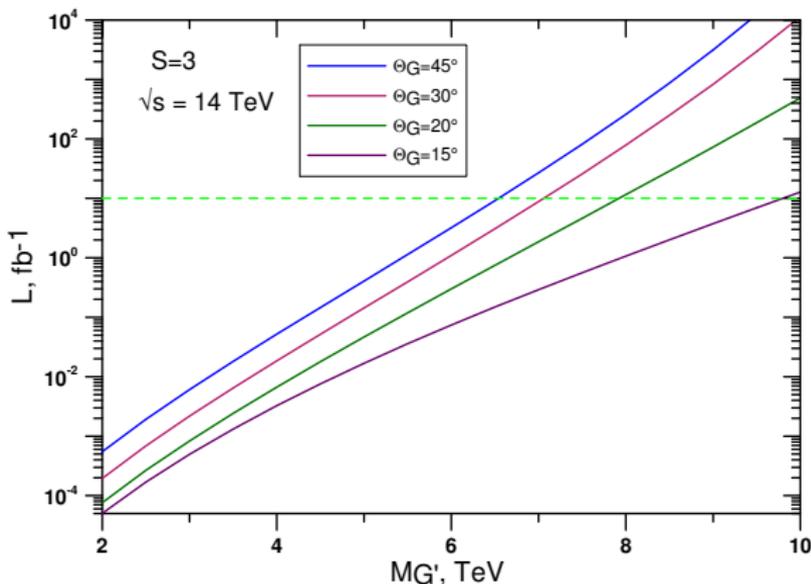
Вклад G' в асимметрию A_{FB} для рождения $t\bar{t}$
 ($\Rightarrow M_{G'} > 1400$ GeV)



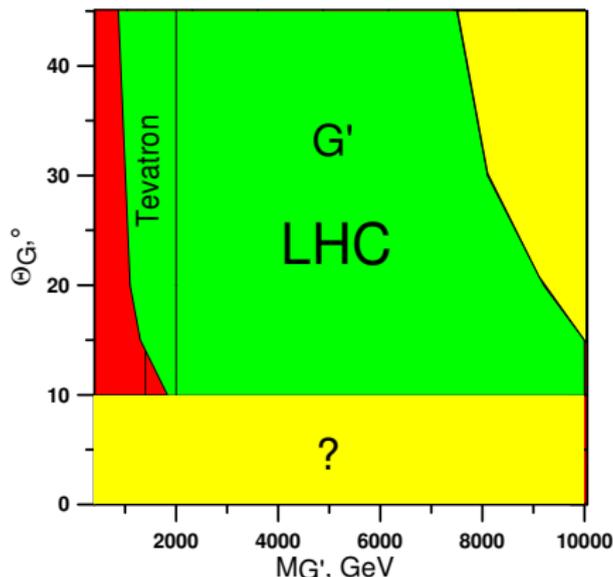
Область допустимых параметров G' -бозона



Дифференциальное сечение рождения $t\bar{t}$ -пар в pp -столкновениях (PDF: AL'03, NLO, fixed-flavor-number, $K = 1.59$, $Q^2 = m_t^2$).



Значение интегральной светимости при котором на уровне 3σ будет заметен соответствующий G' -бозон



Область параметров, доступная для проявления G' -бозона на LHC в $pp \rightarrow t\bar{t}$ на уровне 3σ

- В работе [Ferrario and Rodrigo(2008)] рассматриваются массивные цветные бозоны с независимыми параметрами $g_A^{q,t}, g_V^{q,t} = 0 \div 2$ для легких кварков и t
- В нашей работе, основанной на калибровочной киральной цветовой симметрии, g_A, g_V выражаются через единственный параметр θ_G

- Рассмотрена калибровочная модель с киральной цветовой группой, в которой есть два произвольных параметра θ_G и $M_{G'}$
- Исследованы вклады G' -бозона в процессы $p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}$, $pp \rightarrow t\bar{t}$ в зависимости от θ_G и $M_{G'}$ ($10^\circ < \theta_G \leq 45^\circ$)
- Из данных Tevatron'а по $\sigma_{t\bar{t}}$ получены ограничения на $M_{G'}$ в зависимости от θ_G
- Из данных по A_{FB} с Tevatron'а получено ограничение $M_{G'} > 1.4$ ТэВ (не зависит от θ_G)
- Для G' -бозона ограничения оказываются более сильными, чем для аксиглюона
- Показано, что G' -бозон при $M_{G'} \lesssim 8$ ТэВ может проявлять себя в $pp \rightarrow t\bar{t}$ на LHC на уровне 3σ

Значимость сигнала G'

$$S = \sqrt{2 \left((N_s + N_b) \ln \left(1 + \frac{N_s}{N_b} \right) - N_s \right)}.$$

Здесь N_s и N_b – количество сигнальных и фоновых событий в области $M_{G'} \pm \Delta M$.

$$\sigma_s(M_{G'}, \Delta M_G) = \int_{M_{G'} - \Delta M}^{M_{G'} + \Delta M} \frac{d\sigma(pp \xrightarrow{g, G'} t\bar{t})}{dM} dM, \quad N_s = L\sigma_s(M_{G'}, \Delta M_G),$$

$$\sigma_{SM}(M_{G'}, \Delta M_G) = \int_{M_{G'} - \Delta M}^{M_{G'} + \Delta M} \frac{d\sigma(pp \xrightarrow{SM} t\bar{t})}{dM} dM, \quad N_b = L\sigma_{SM}(M_{G'}, \Delta M_G),$$

– L интегральная светимость, $\sigma_{s(SM)}(M_{G'}, \Delta M_G)$ – сечение сигнальных (фоновых) событий в области $M_{G'} \pm \Delta M$.

ΔM выбирается так, чтобы максимизировать оценку значимости S' ,

при $\Delta M = 1.28 \frac{\Gamma_{G'}}{2}$, $S = 3$ соответствует 3σ распределения Гаусса.

Список литературы I



Jogesh C. Pati and Abdus Salam.

Mirror fermions, j/ψ particles, kolar mine events and neutrino anomaly.

Phys. Lett., B58:333–337, 1975.



Lawrence J. Hall and Ann E. Nelson.

HEAVY GLUONS AND MONOJETS.

Phys. Lett., B153:430, 1985.



Paul H. Frampton and Sheldon L. Glashow.

Unifiable chiral color with natural gim mechanism.

Phys. Rev. Lett., 58:2168, 1987a.

Список литературы II

-  Paul H. Frampton and Sheldon L. Glashow.
Chiral color: An alternative to the standard model.
Phys. Lett., B190:157, 1987b.
-  J. Bagger, C. Schmidt, and S. King.
Axigluon production in hadronic collisions.
Phys.Rev.D, 37:1188, 1988.
-  Debajyoti Choudhury, Rohini M. Godbole, Ritesh K. Singh,
and Kshitij Wagh.
Top production at the tevatron/lhc and nonstandard, strongly
interacting spin one particles, 2007.
URL [http://www.citebase.org/abstract?id=oai:
arXiv.org:0705.1499](http://www.citebase.org/abstract?id=oai:arXiv.org:0705.1499).

Список литературы III



F. Abe and et al. (CDF Collaboration).

Search for new particles decaying to dijets at cdf.

Physical Review D, 55:5263, 1997.

URL <http://www.citebase.org/abstract?id=oai:arXiv.org:hep-ex/9702004>.



Michael A. Doncheski.

Closing the low-mass axigluon window, 1999.

URL <http://www.citebase.org/abstract?id=oai:arXiv.org:hep-ph/9906537>.

Список литературы IV



Oscar Antunano, Johann H. Kuhn, and German Rodrigo.
Top quarks, axigluons and charge asymmetries at hadron colliders, 2007.

URL <http://www.citebase.org/abstract?id=oai:arXiv.org:0709.1652>.



German Rodrigo.

Axigluon signatures at hadron colliders, 2008.

URL <http://www.citebase.org/abstract?id=oai:arXiv.org:0803.2992>.



S.I. Alekhin.

Parton distributions from deep-inelastic-scattering data.

Phys.Rev.D, 67:014002, 2003.

Список литературы V



J. M. Campbell, J. W. Huston, and W. J. Stirling.

Hard interactions of quarks and gluons: a primer for LHC physics.

REPT.PROG.PHYS., 70:89, 2007.

URL <http://www.citebase.org/abstract?id=oai:arXiv.org:hep-ph/0611148>.



CDF Collaboration: T. Aaltonen.

Forward-backward asymmetry in top quark production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s}=1.96$ TeV, 2008.

URL <http://www.citebase.org/abstract?id=oai:arXiv.org:0806.2472>.

Список литературы VI



Paola Ferrario and German Rodrigo.

Massive color-octet bosons and the charge asymmetries of top quarks at hadron colliders, 2008.

URL <http://www.citebase.org/abstract?id=oai:arXiv.org:0809.3354>.