

Одинокое и парное рождение возбужденного топ-кварка на адронных коллайдерах

Э.Э. Боос, В.Е. Буничев, С.С. Трыков

НИИЯФ МГУ

19 февраля 2025 г.

Сессия-конференция секции ядерной физики ОФН РАН,
посвященная 70-летию В.А. Рубакова

Внутренняя структура кварков \rightarrow
существование возбужденных состояний?

University of Wisconsin - Madison
MAD/PR/1234
PITHA 89/20
November 1989

Excited Quark and Lepton Production at Hadron Colliders*

U. Bear
Physics Department, University of Wisconsin
Madison, WI 53706, USA

M. Spira
and
P. M. Zerwas
Inst. Theor. Physik, RWTH Aachen
D-5100 Aachen, FRG

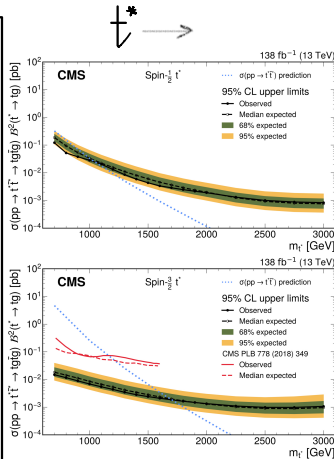
Fermi National Accelerator Laboratory
FERMILAB-COMP-87/102-T
MAD/PR/1254
LBL 22645
June, 1987

Excited Quark Production at Hadron Colliders***

U. DAIK*
Fermi National Accelerator Lab.
P.O. Box 500, Batavia, IL 60810 (USA)

I. HENDELFF**
Lawrence Berkeley Laboratory
University of California
Berkeley, CA 94720 (USA)

D. ZEPFENFELD
Physics Dept., University of Wisconsin
Madison, WI 53706, (USA)



Возбужденный топ-кварк спина-1/2

Взаимодействия t^* , топ-партнера со спином 1/2, с глюонами:

$$\mathcal{L}_{\text{kin}} = \bar{t}^* \left(i\not{\partial} - g_s \tau^A \not{G}^A \right) t^*, \quad (1)$$

g_s — константа сильного взаимодействия, τ^A — фундаментальные генераторы группы $SU(3)$.

Взаимодействия t^* и t , опосредованные глюонным полем:

$$\mathcal{L}_{\text{int}} = \frac{f_s g_s}{\Lambda} \bar{t}^* \sigma^{\mu\nu} \tau^A t_R G_{\mu\nu}^A + \text{h.c.}, \quad (2)$$

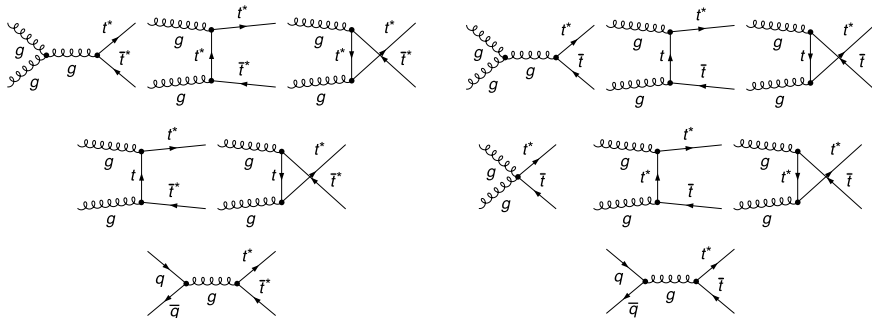
Λ — масштабный параметр новой физики, $\sigma^{\mu\nu} = (i/2) [\gamma^\mu, \gamma^\nu]$, тензор напряженности глюонного поля

$$G_{\mu\nu}^A = \partial_\mu G_\nu^A - \partial_\nu G_\mu^A - g_s f^{ABC} G_\mu^B G_\nu^C,$$

f^{ABC} — структурные константы группы $SU(3)$.

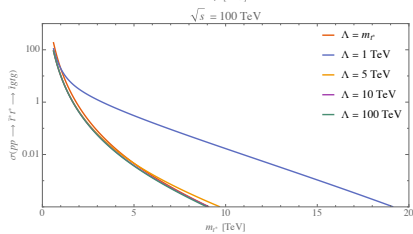
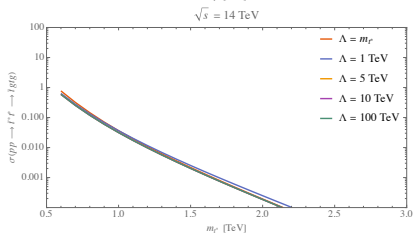
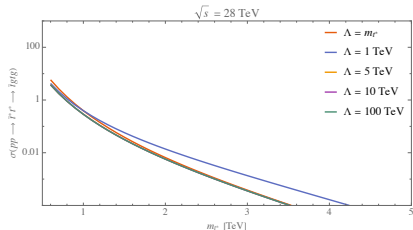
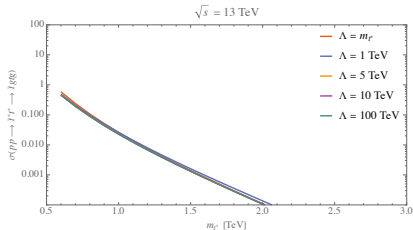
$G_{\mu\rho}$	$G_{\nu q}$	G_{pr}		$g_s f_{pqr} \left(g^{\mu\nu} (p_1^\rho - p_2^\rho) + g^{\mu\rho} (p_3^\nu - p_1^\nu) + g^{\nu\rho} (p_2^\mu - p_3^\mu) \right)$
\bar{C}^G_p	C^G_q	$G_{\mu r}$		$g_s p_2^\mu f_{pqr}$
\bar{t}_p	t_q	$G_{\mu r}$		$g_s \lambda_{pq}^r \gamma^\mu$
\bar{t}_p	t_q^*	$G_{\mu r}$		$\frac{i}{2} \frac{g_s f_s}{\Lambda} \lambda_{pq}^r \sigma^{\mu\nu} p_3^\nu \frac{1 + \gamma^5}{2}$
\bar{t}_p^*	t_q	$G_{\mu r}$		$\frac{i}{2} \frac{g_s f_s}{\Lambda} \lambda_{pq}^r \sigma^{\mu\nu} p_3^\nu \frac{1 - \gamma^5}{2}$
\bar{t}_p^*	t_q^*	$G_{\mu r}$		$g_s \lambda_{pq}^r \gamma^\mu$
$G_{\mu\rho}$	$G_{\nu q}$	G_{pr}	$G_{\sigma s}$	$g_s^2 \left(f_{prt} f_{qst} (g^{\mu\nu} g^{\rho\sigma} - g^{\mu\sigma} g^{\nu\rho}) + f_{pqt} f_{rst} (g^{\mu\rho} g^{\nu\sigma} - g^{\mu\sigma} g^{\nu\rho}) + f_{pst} f_{qrt} (g^{\mu\nu} g^{\rho\sigma} - g^{\mu\rho} g^{\nu\sigma}) \right)$
\bar{t}_p	t_q^*	$G_{\mu r}$	$G_{\nu s}$	$-\frac{i}{2} \frac{g_s^2 f_s}{\Lambda} \left(\lambda_{pt}^r \lambda_{tq}^s - \lambda_{pt}^s \lambda_{tq}^r \right) \sigma^{\mu\nu} \frac{1 + \gamma^5}{2}$
\bar{t}_p^*	t_q	$G_{\mu r}$	$G_{\nu s}$	$-\frac{i}{2} \frac{g_s^2 f_s}{\Lambda} \left(\lambda_{pt}^r \lambda_{tq}^s - \lambda_{pt}^s \lambda_{tq}^r \right) \sigma^{\mu\nu} \frac{1 - \gamma^5}{2}$

Диаграммы Фейнмана



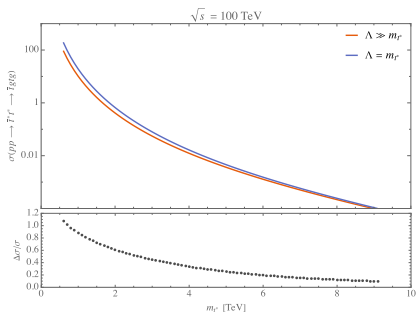
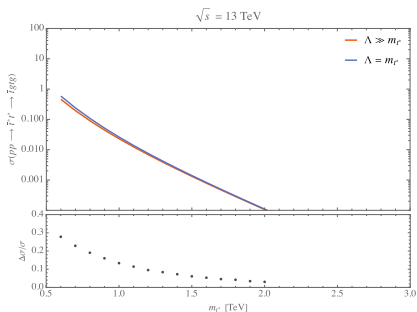
Парное (слева) и одиночное (справа) рождение возбужденного топ-кварка из глюон-глюонной аннигиляции и кварк-антикваркового рассеяния

Парное рождение t^* в pp -столкновениях



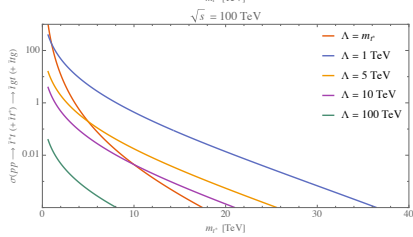
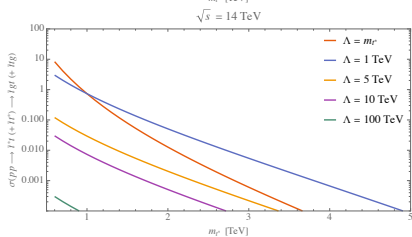
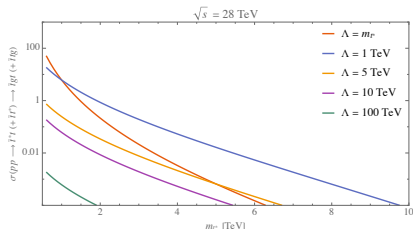
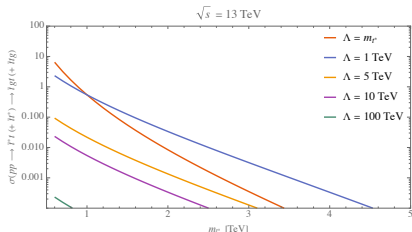
$$pp \rightarrow \bar{t}^* t^* \rightarrow \bar{t} g t g, \mathcal{B}(t^* \rightarrow t g) = 1$$

Парное рождение t^* в pp -столкновениях



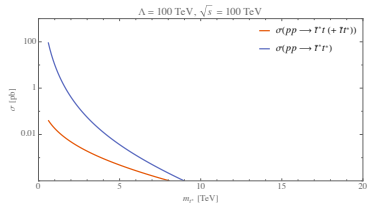
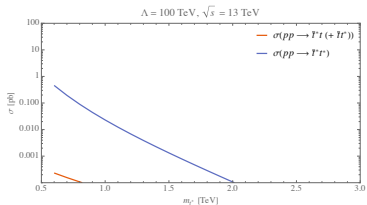
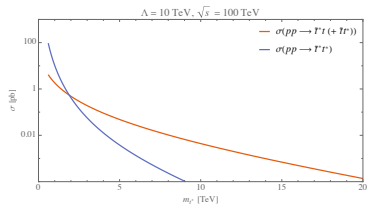
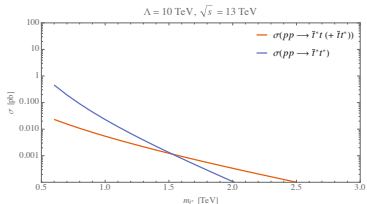
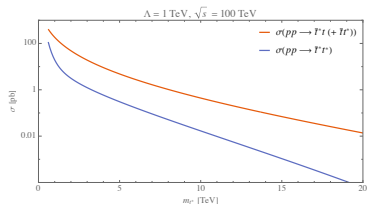
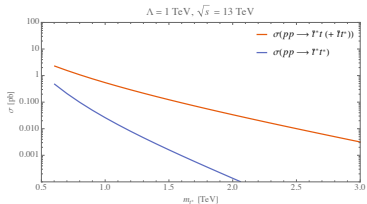
$\Delta\sigma/\sigma$ — относительная разность значений сечений для случаев $\Lambda = m_{t^*}$ и $\Lambda \gg m_{t^*}$ при $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ и $\sqrt{s} = 100 \text{ TeV}$

Одиночное рождение t^* в pp -столкновениях



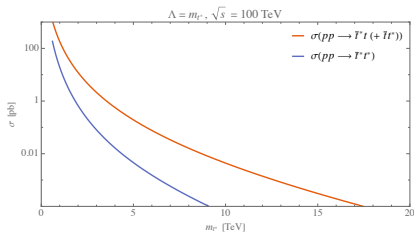
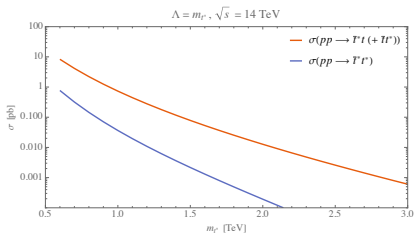
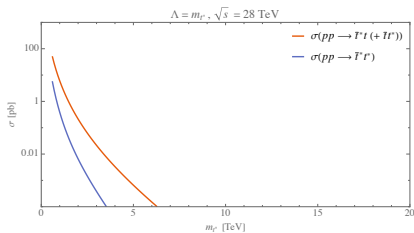
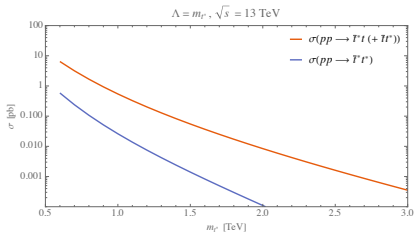
$$pp \rightarrow \bar{t}t^*(+\bar{t}^*t) \rightarrow \bar{t}tg(+\bar{t}gt), \mathcal{B}(t^* \rightarrow tg) = 1$$

Сравнение одиночного и парного t^*



Сравнение одиночного и парного t^*

$$\Lambda = m_{t^*}$$



$$\sigma(\text{single } t^*) > \sigma(t^* - \text{pair})!$$

- Получены сечения одиночного и парного рождения t^* в pp -столкновениях при энергиях LHC, HL-LHC и FCC-hh в зависимости от массы нового состояния.
- Рассмотрены случаи $\Lambda < m_{t^*}$, $\Lambda \gg m_{t^*}$ и $\Lambda = m_{t^*}$.
- Представленные значения сечений демонстрируют возможность дополнения ограничений, получаемых из парного рождения, результатами поисков одиночного t^* для естественного случая $\Lambda = m_{t^*}$ и $\Lambda < m_{t^*}$.

Спасибо за внимание!