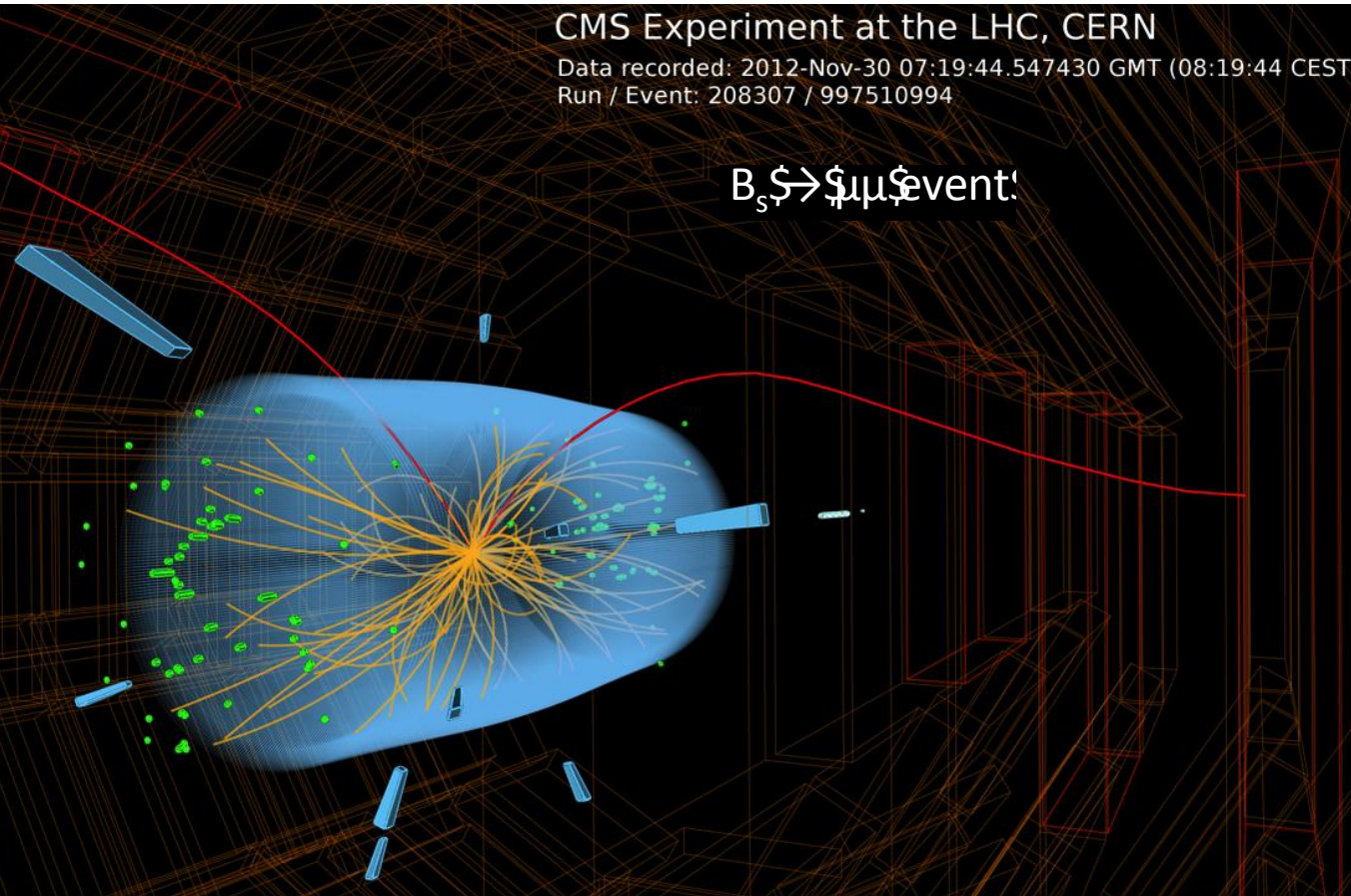




**В.Т. Ким**

**ОФВЭ ПИЯФ НИЦ КИ**



**Сессия УС ОФВЭ ПИЯФ  
23-26 декабря 2013**

**Группа физики  
ПИЯФ в CMS:**

**А.А. Воробьев**

**В.Т. Ким**

**В.А. Мурзин**

**В.А. Орешкин**

**И.Б. Смирнов**

**В.А. Сулимов**

**А. Е. Иванов**

**Е.В. Кузнецова**

**А.Ю. Егоров**



Группа физики ПИЯФ в CMS в 2013 г.:

Группа ПИЯФ-ИТЭФ-ИЯИ

Адронные струи под малыми углами (Forward Jets)

- \* **Поиски БФКЛ-эффектов в 2-струйных процессах**
- \* **Поиски Z-VBF (слияние EW векторных бозонов)**
- \* **Поиски бозона Хиггса SM в процессе VBF**
- \* **Поиски тяжелых резонансов в 2-струйных процессах**

## Группа ПИЯФ-ИТЭФ-ИЯИ

- \* **Поиски БФКЛ-эффектов в 2-струйных процессах:**
  - К-фактор при больших интервалах  $\Delta\eta$  **EPJ C (2012)**
  - азимутальные декорреляции при больших  $\Delta\eta$  **CMS-PAS-FSQ-12-002 (апрель 2013) статья пре-CWR**
  - 2-струйный К-фактор с вето на доп. струи
  
- \* **Поиски Z-VBF (слияние EW векторных бозонов):**  
**2 лептона + 2 струи JHEP (2013)**
  
- \* **Поиски бозона Хиггса SM в процессе VBF**
- \* **Поиски тяжелых резонансов в 2-струйных процессах**



Кураев, Липатов, Фадин (75-77); Балицкий, Липатов (78) - БФКЛ:  
КХД в пределе высоких энергий (мульти-реджевский предел)

БФКЛ для 2-струйных процессов:  $\exp[\alpha_s \Delta y]$  **<- strong  $|\Delta y$ -effects !**

A. Mueller, H. Navelet (1987): максимально разделенные по быстроте пары струй  
V. Kim, G. Pivovarov (1996): инклюзивные пары струй

теор. К-фактор -> «К-фактор»

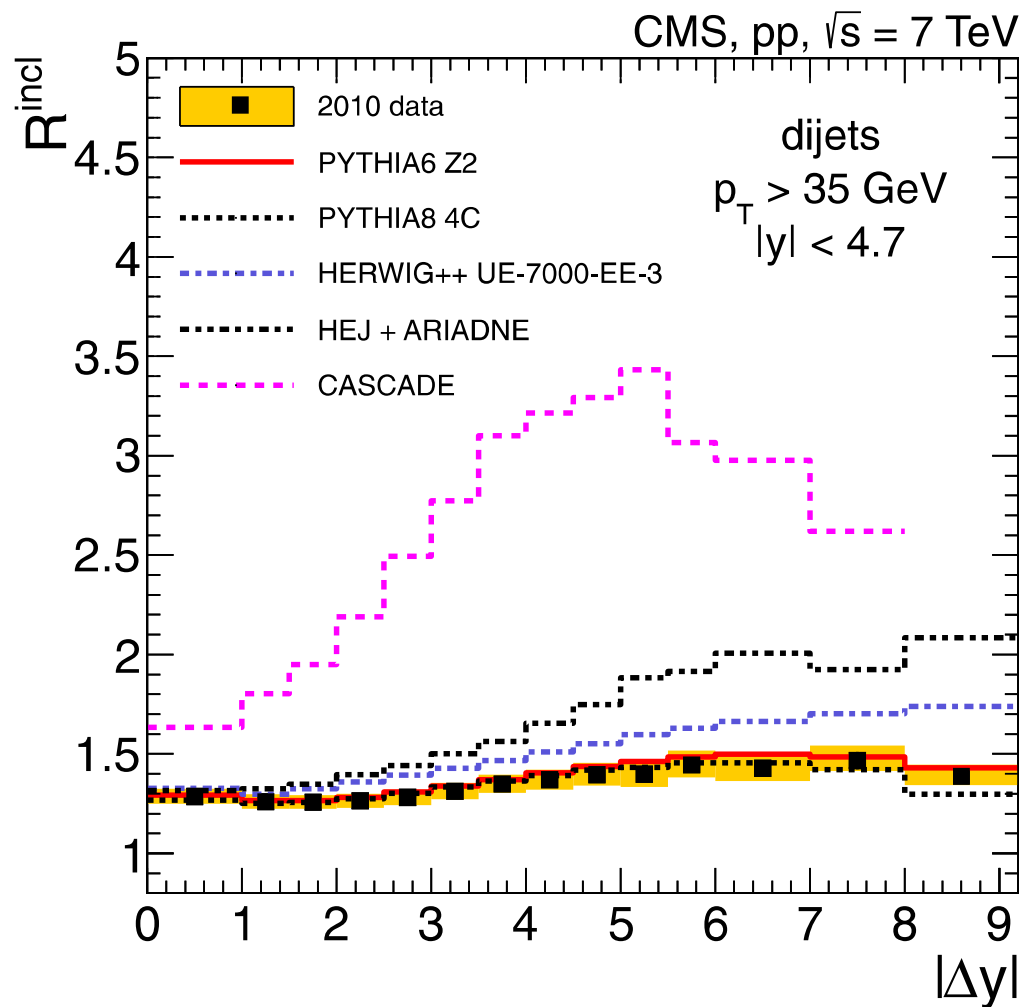
Борн. сечение -> сечение процессов где только 2 струи с  $p_T > p_{Tmin}$

2-струйный (инклюзивный) «К-фактор»:

отношение сечений (инклюзивных) пар струй

к сечению «эксклюзивных» пар струй (только 2 струи с  $p_T > p_{Tmin}$ )

CMS:  $p_T > p_{Tmin} = 35$  ГэВ    barrel:  $|y| < 3$ , HF:  $3 < |y| < 4.7$



Eur. Phys. J. C (2012) 72:2216  
DOI 10.1140/epjc/s10052-012-2216-6

THE EUROPEAN  
PHYSICAL JOURNAL C

Regular Article - Experimental Physics

## Ratios of dijet production cross sections as a function of the absolute difference in rapidity between jets in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV

The CMS Collaboration\*  
CERN, Geneva, Switzerland

Received: 3 April 2012 / Revised: 22 October 2012  
© CERN for the benefit of the CMS collaboration 2012. This article is published with open access at Springerlink.com

**Abstract** A study of dijet production in proton–proton collisions was performed at  $\sqrt{s} = 7$  TeV for jets with  $p_T > 35$  GeV and  $|y| < 4.7$  using data collected with the CMS detector at the LHC in 2010. Events with at least one pair of jets are denoted as “inclusive”. Events with exactly one pair of jets are called “exclusive”. The ratio of the cross sec-

jets are well separated in rapidity, the description of the data becomes worse [2].

When the collision energy  $\sqrt{s}$  is considerably larger than the hard scattering scale given by the jet transverse momentum,  $p_T$ , the average number of produced jets grows rapidly, along with the phase space available in rapidity.



МС генераторы событий LLA GLAPD (+ color coherence effects):

PYTHIA 6 tune Z2

PYTHIA 8 tune 4C

HERWIG++ 2.5

There is no pure GLAPD MC generator  
without extra  $|\Delta y|$ -effects (color coherence, polar angle ordering) !

БФКЛ МС генераторы событий (LLA + элементы NLA):

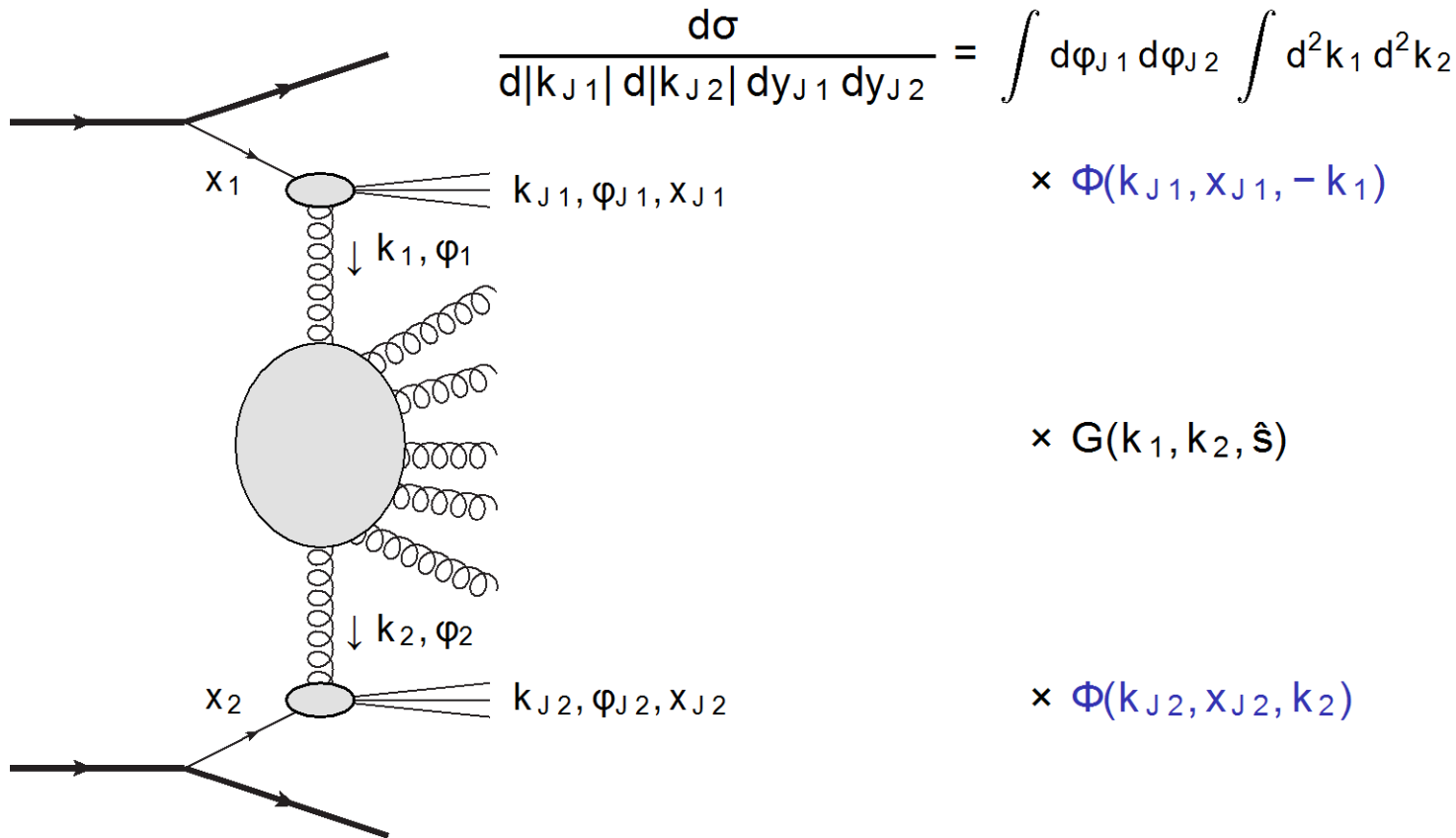
CASCADE 2: CCFM

HEJ+ARIADNE: БФКЛ матричные элементы

generator level: ~ 4 млрд.

detector level: ~ 30 млн. (1 event ~ 1 min.)

$k_T$ -factorized differential cross section



$$\frac{d\sigma}{d|k_{J1}| d|k_{J2}| dy_{J1} dy_{J2}} = \int d\phi_{J1} d\phi_{J2} \int d^2k_1 d^2k_2$$

$$\times \Phi(k_{J1}, x_{J1}, -k_1)$$

$$\times G(k_1, k_2, \hat{s})$$

$$\times \Phi(k_{J2}, x_{J2}, k_2)$$

with  $\Phi(k_{J2}, x_{J2}, k_2) = \int dx_2 f(x_2) V(k_2, x_2)$      $f \equiv$  PDF     $x_J = \frac{|k_{J}|}{\sqrt{s}} e^{y_J}$



$$\frac{1}{s} \frac{ds}{d(Df)}(Dy, p_{T\min}) = \frac{1}{2p} \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} C_n(Dy, p_{T\min}) \cdot \cos(n(p - Df)) \right]$$

$$C_n(Dy, p_{T\min}) = h \cos(n(p - Df)) i, \text{ where } Df = f_1 - f_2$$

V. del Duca & C. Schmidt (94-95) Strling (94)

V. Kim & G. Pivovarov (96-98)

A. Sabio Vera et al (2007-11)





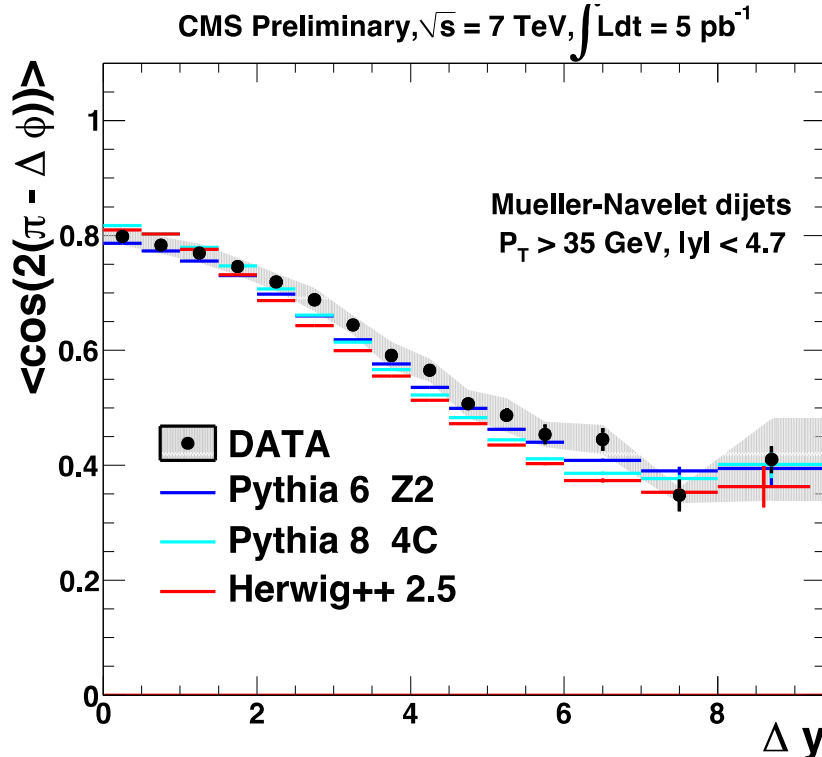
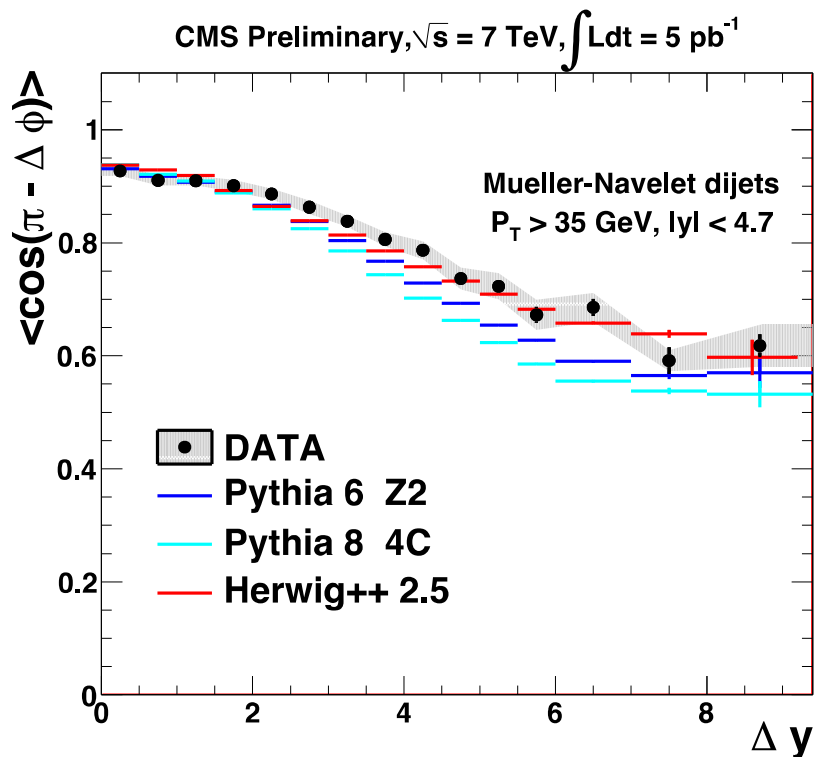
2-струйный триггер для передней области (HF- и HF+):  
хотя бы по одной струе в каждом HF ( $-3 < y$  и  $y > 3$ ) и  $p_T > 15$  ГэВ

Эффективность триггера:  
 $p_T > p_{Tmin} = 30$  ГэВ:  $> 94\%$   
 $p_T > p_{Tmin} = 35$  ГэВ:  $> 99\%$  !

Данные 2010 г.:

HCAL: 33 нб-1  
HF-HF+ (Double-Jet-U15 Trigger): 5 пб-1 в 150 больше!

Проблема: нужно намного больше MC событий для передней области ( $> 150x$ )  
Полное моделирование струйного события в детекторе CMS: 1 мин

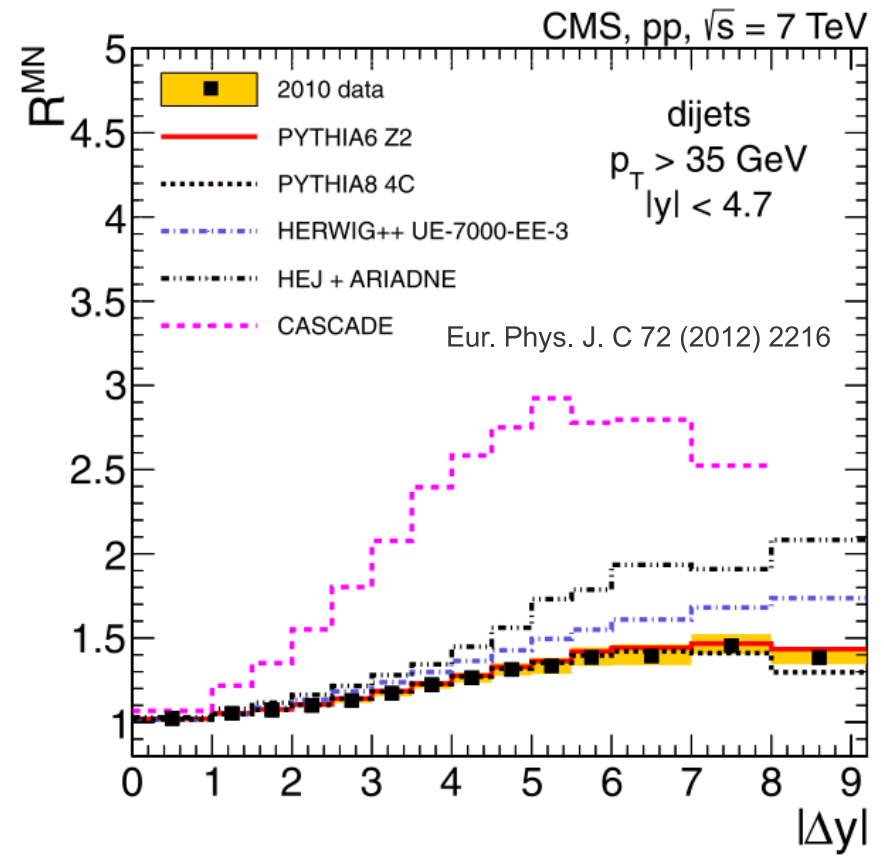
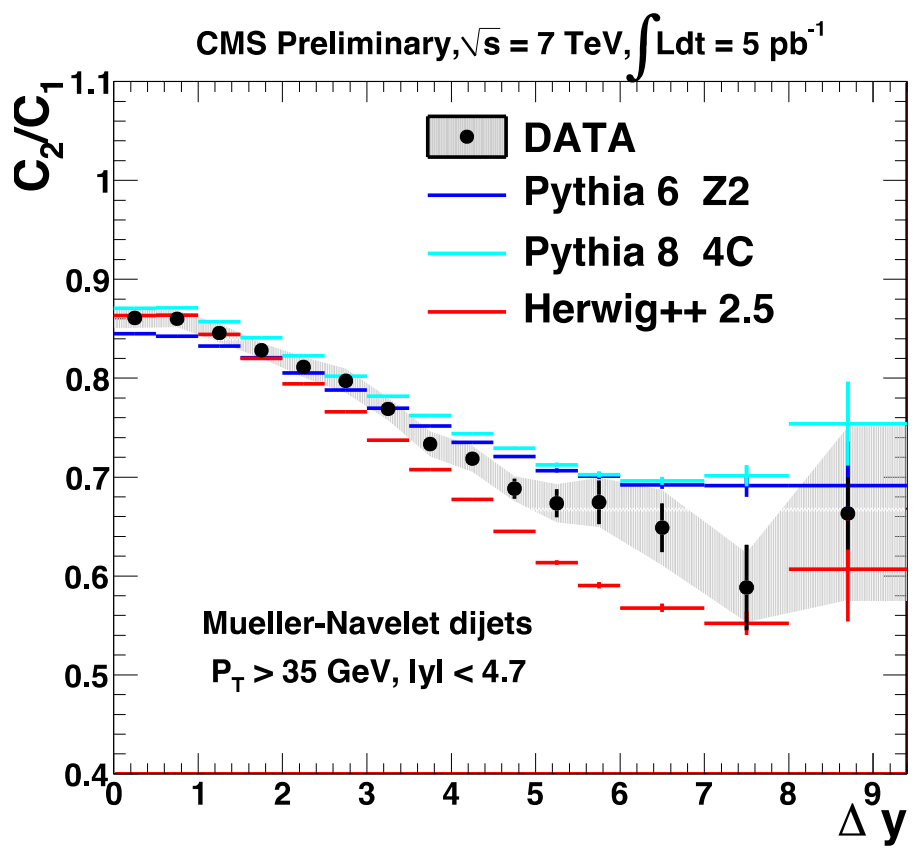


PYTHIA 6/8 описывает «К-фактор», но не описывает АД

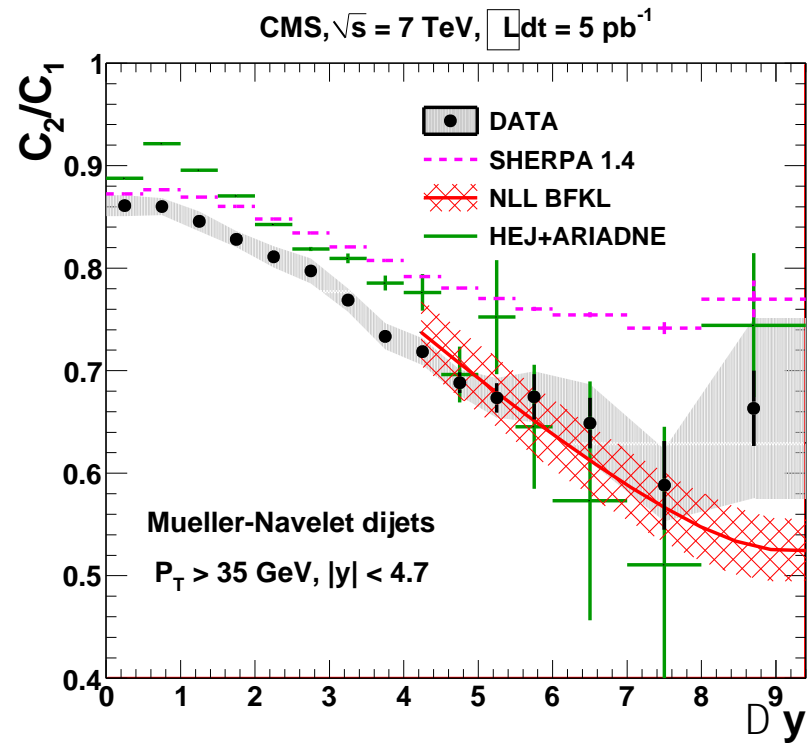
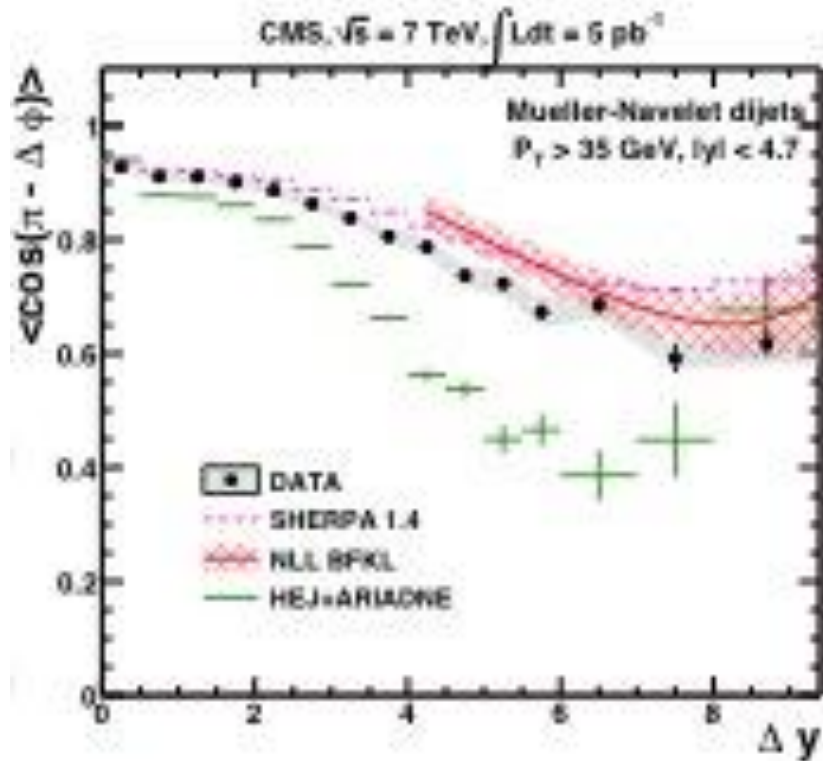
HERWIG++ 2.5 частично описывает АД, но не описывает «К-фактор»



# 2-струйные азимутальные декорреляции (АД)



PYTHIA 6/8 и HERWIG++ 2.5 не описывают «К-фактор» и АД



LLA BFKL: HEJ+ARIADNE Andersen & Smillie

NLA BFKL: Ducloue et al

improved by (Brodsky, Fadin, Kim, Lipatov & Pivovarov) BFKLP with BLM scale

Первое указание на БФКЛ на LHC !?



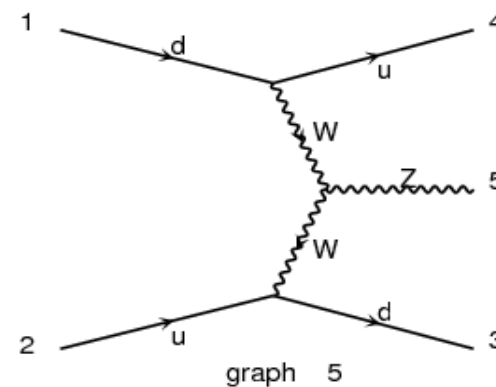
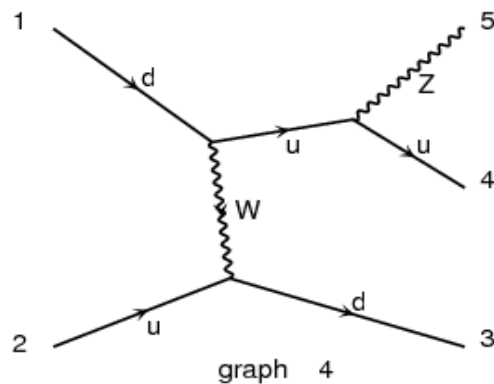
- Азимутальные декорреляции: CMS Analysis Note: CMS-AN-12-293  
CMS Physics Analysis Summary (CMS PAS, 2013)  
“Dijet azimuthal decorrelations at large rapidity intervals between jets at  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ ”  
Первое указание на БФКЛ на LHC !?  
готовится статья CWR (январь)

Новые наблюдаемые:

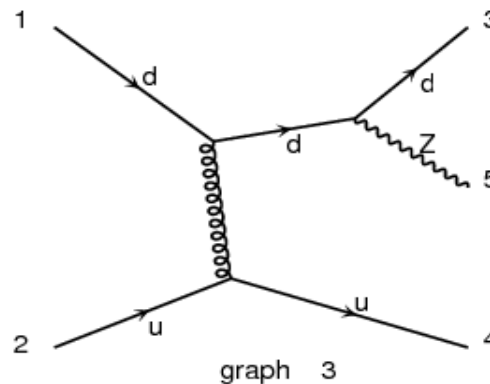
- К-фактор с вето на дополнительные струи для “exclusive” events:  
 $p_{T\text{veto}} = 20, 25, 30 \text{ GeV}$   
(in progress)

Одинаковые начальные и конечные состояния:  
интерференция между QCD и EWK вкладами

**EWK Z+2j**



**QCD Z+2j**



# Electroweak Z-boson production: measurement

“Measurement of the electroweak production cross section of the Z boson with two forward-backward jets in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”

CMS-PAS-FSQ-12-019

2 leptons + 2 forward-backward jets (lljj)      L= 5 Fb-1

интерференция мала при  $|y^*| < 1.2$

$$m_{\ell\ell} > 50 \text{ GeV}, p_T^j > 25 \text{ GeV}, |\eta^j| < 4.0, m_{jj} > 120$$

$$\sigma_{\text{meas}, \mu\mu+ee}^{\text{EWK}} = 154 \pm 24(\text{stat}) \pm 46(\text{exp.syst.}) \pm 27(\text{th.syst}) \pm 3(\text{lumi}) \text{ fb}$$

Теория SM:  $\sim 166$  Fb (with NLO QCD)

HCP-2012, Kyoto, Nov. 2012

- первое наблюдение электрослабого образования Z на LHC!



“Measurement of the hadronic activity with a Z and two jets and extraction of the cross section for the electroweak production of a Z with two jets at  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ ”  
JHEP 10 (2013) 062

- первое наблюдение образования Z в электрослабых процессах на LHC!
- самое малое измеренное сечение на LHC!



**Dijets vs rapidity interval** **VK, V. Oreshkin(2011)**

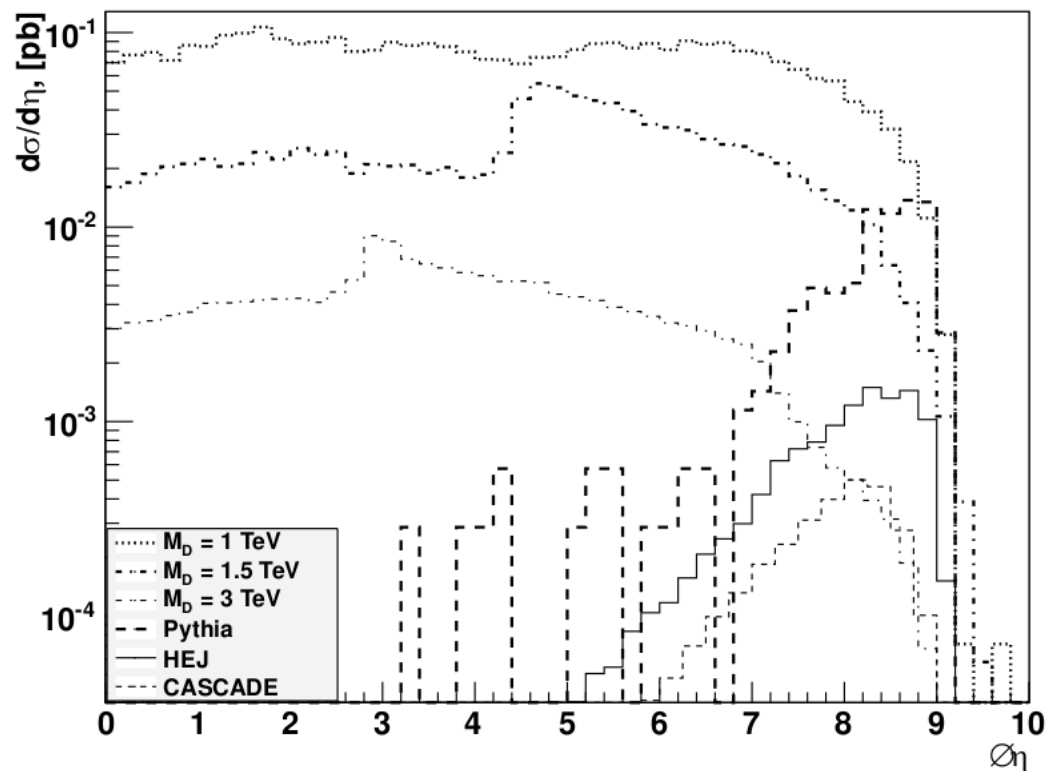
**$M_D = 1 \text{ TeV}, 1.5 \text{ TeV}, 3 \text{ TeV}$**

**14 TeV 300 fb<sup>-1</sup>**

**dijet mass > 9 TeV,  $p_T > 100 \text{ GeV}$**

**LO GLAPD**

**dijet mass cut: BFKL suppressed**





Пленарные доклады (2013):

- “HS’13” Высокие Татры, Словакия, 30 июня - 4 июля, 2013  
В.А. Орешкин, В.А. Мурзин, В.Т. Ким, А.Е. Иванов
- «Small-x & MPI@LHC’2013», Антверпен, Бельгия, 1- 6 декабря, 2013  
В.Т. Ким

Школа ПИЯФ, CERN Education Week

Career Committee CB (В.Ким)



## Группа физики ПИЯФ в CMS 2014 г:

- азимутальные декорреляции 2-струй (статья)
  - К-фактор с вето на дополнительные струи (PAS и статья)
  - VBF Z-бозон при 8 ТэВ (статья)
  - бозон Хиггса в VBF при 13 ТэВ (подготовка к анализу)
  - 2-струйные резонансы при 13 ТэВ (подготовка к анализу)
- Low Luminosity run 13 ТэВ: February-March 2015**

**Проблема: Upgrade CMS PNPI Tier-2?      29 TB -> 200 TB ?**



**ПИЯФ@CMS**

**2012:**

- К-фактор: EPJ C 72 (2012) 2216

**2013 - азимутальные декорреляции:**

**CMS-PAS-FSQ-12-002 (Apr 2013), готовится статья**

Первое указание на БФКЛ на LHC !?

- К-фактор с вето: ведется анализ

- **EWK Z @7ТэВ: JHEP 10 (2013) 062**

- первое наблюдение образования Z в электрослабых процессах на LHC!

- подготовка к 13 ТэВ: бозон Хиггса VBF, тяжелые гравитоны

**2014: три статьи: Z-VBF при 8 ТэВ , АД, К-фактор с вето**