



ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИЙ ВТОРИЧНЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В АДРОН-АДРОННЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ

Работу выполнил

Серюбин С.С.
М21-115

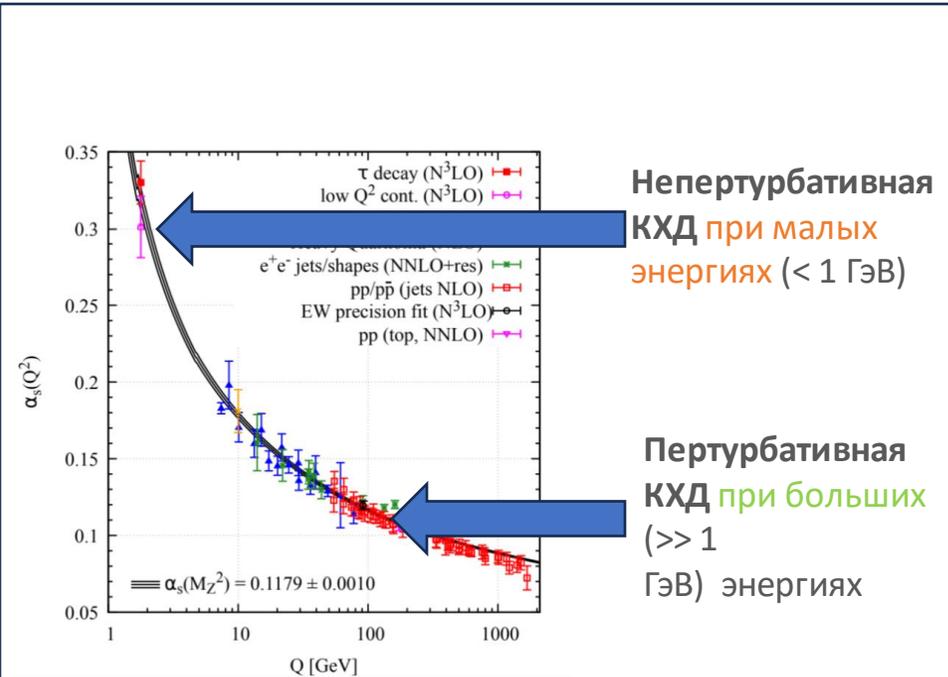
**Научный
руководитель:**

Нигматкулов Г.А.

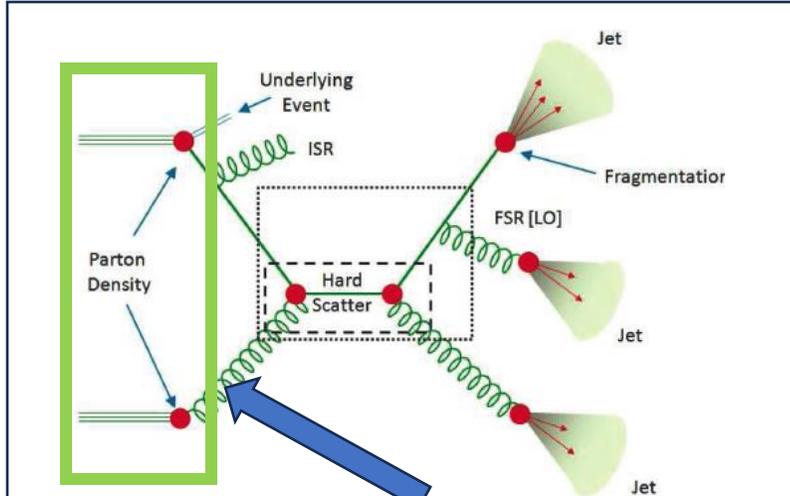
Научный консультант:
Гуськов А.В.

Москва, 2023

Квантовая хромодинамика

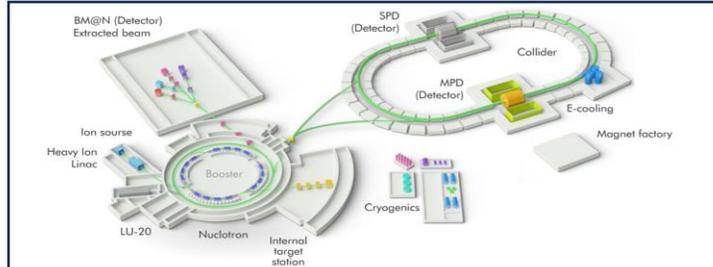


Квантовая хромодинамика -- истинная теория взаимодействия кварков и глюонов.

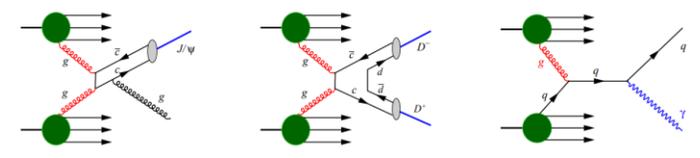


$$\sigma_{pp \rightarrow hX} \propto \hat{\sigma} \otimes PDF \otimes PDF$$

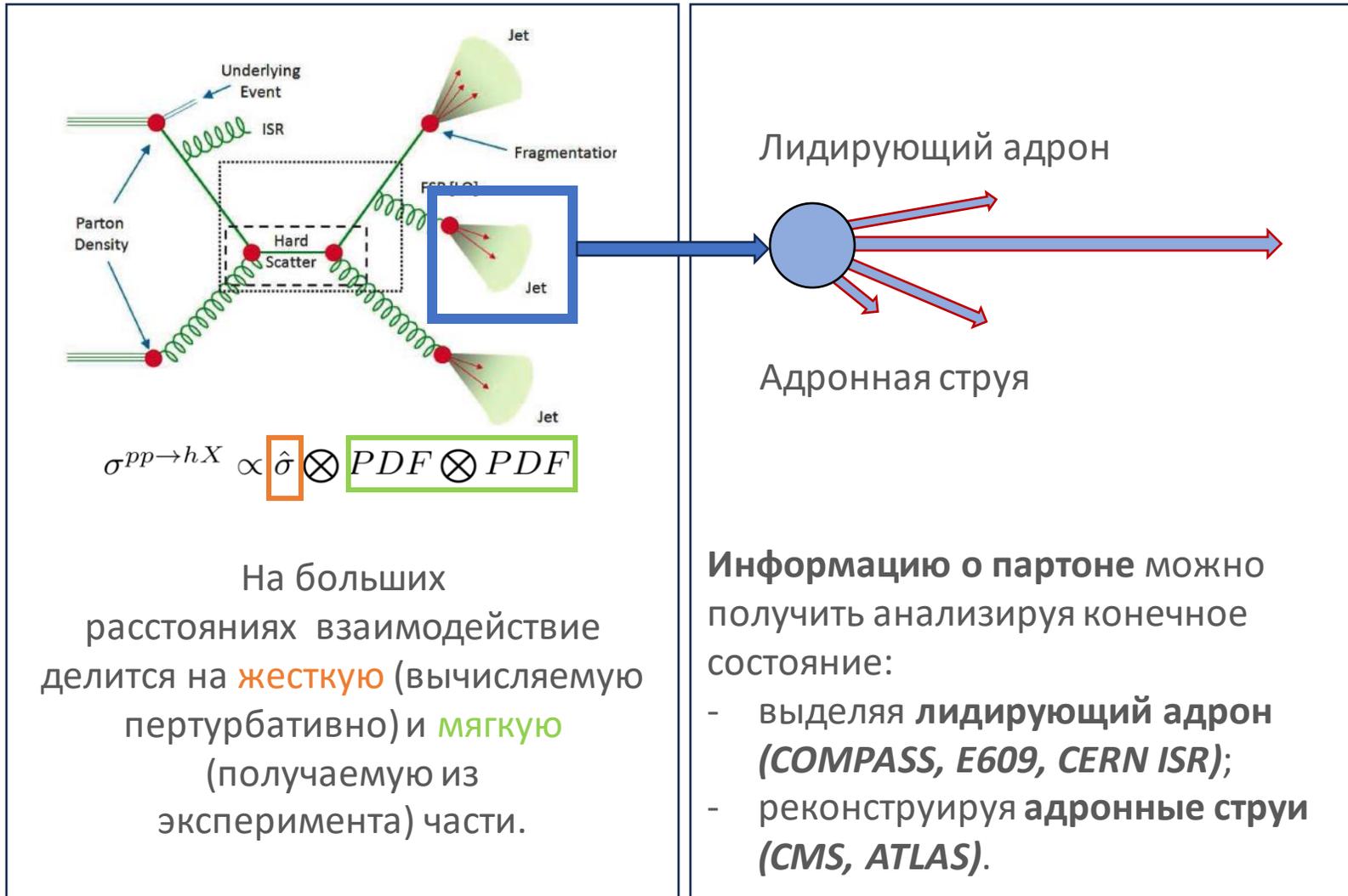
На больших расстояниях взаимодействие делится на **жесткую** (вычисляемую пертурбативно) и **мягкую** (получаемую из эксперимента) части.



В настоящее время в ОИЯИ на базе ускорительного комплекса NICA планируется эксперимент SPD для изучения поляризованной и неполяризованной **глюонной структуры протонов** и дейтронов на поляризованных пучках **pp (27 ГэВ)**



От конечного состояния к жесткому процессу...



Поставленные задачи

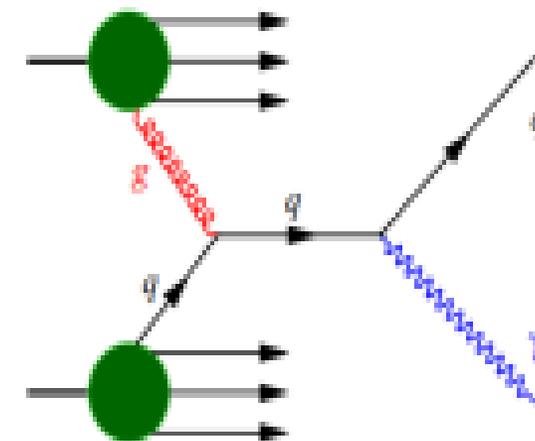
1. Для протон-протонных столкновений с энергией в системе центра масс 27 ТэВ (основная энергия pp-взаимодействий SPD@NICA) в событиях с большой передачей поперечного импульса ($p_T > 3$ ТэВ/с), изучить **возможность восстановления и качество восстановления кинематики жёсткого подпроцесса используя:**

- струи заряженных адронов;
- лидирующие адроны.

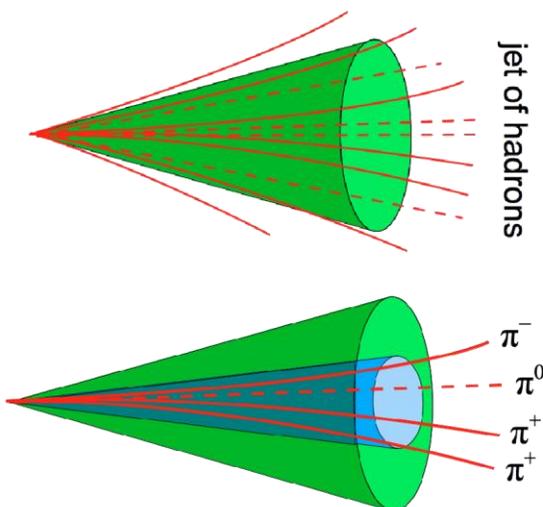
2. Сравнить два подхода в диапазоне энергий от 10 до 200 ТэВ.

Методы и подходы

- Восстановление кинематики протона изучалось на примере одноструйных событий **gamma+jet** рождения прямых фотонов (глюон-комптоновского рассеяния)
- Для генерации **pp-взаимодействий** использовался генератор событий **PYTHIA 8**
- В качестве **основного алгоритма** для выделения струй использовался **kT-алгоритм** последовательной кластеризации адронов
- Для получения основных результатов использовалась энергия 27 ГэВ, а для сравнения использовался диапазон энергий 10 – 200ГэВ



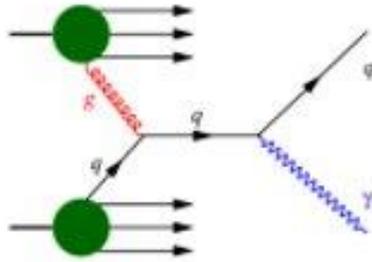
$$d_{ij} = R_{ij}^2 \min(k_{T,i}^2, k_{T,j}^2)$$



Отбор событий

Генерация жесткого процесса:

- $qg \rightarrow \gamma q$
- $\sqrt{s} = 27 \text{ GeV}$
- $p_T^\gamma > 3 \text{ GeV}/c$
- $p_T^q > 3 \text{ GeV}/c$



- Излучение из начального состояния
- Излучение из конечного состояния
- Учет поперечного движение партонов в нуклоне

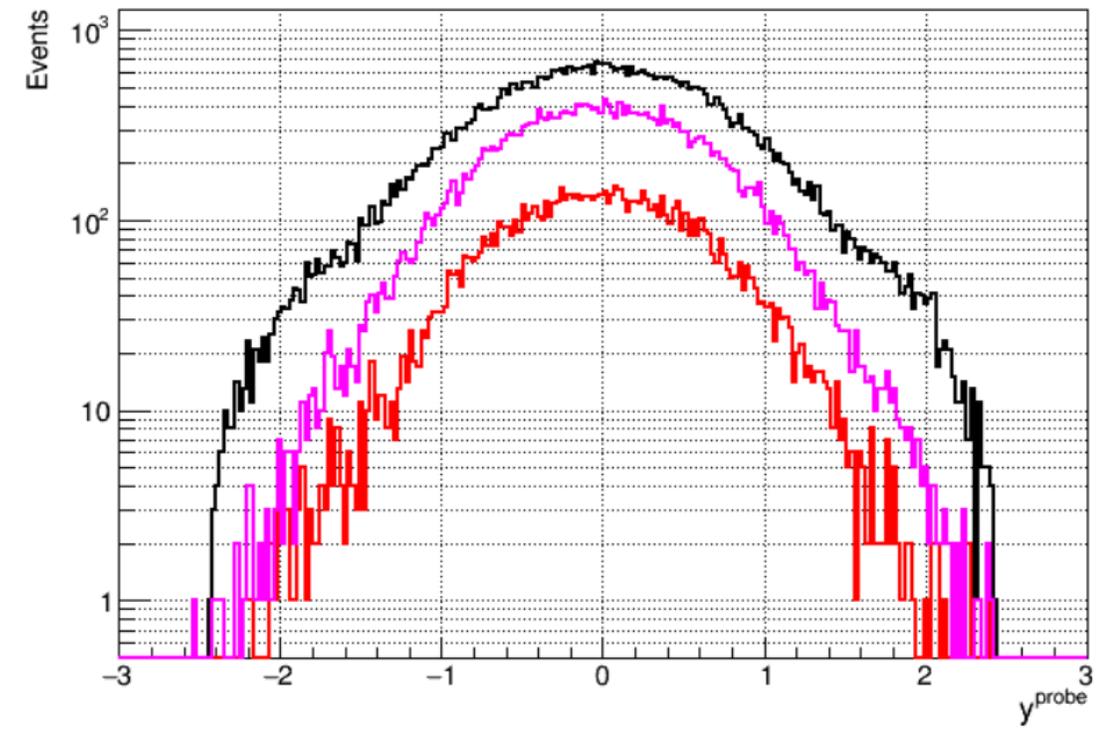
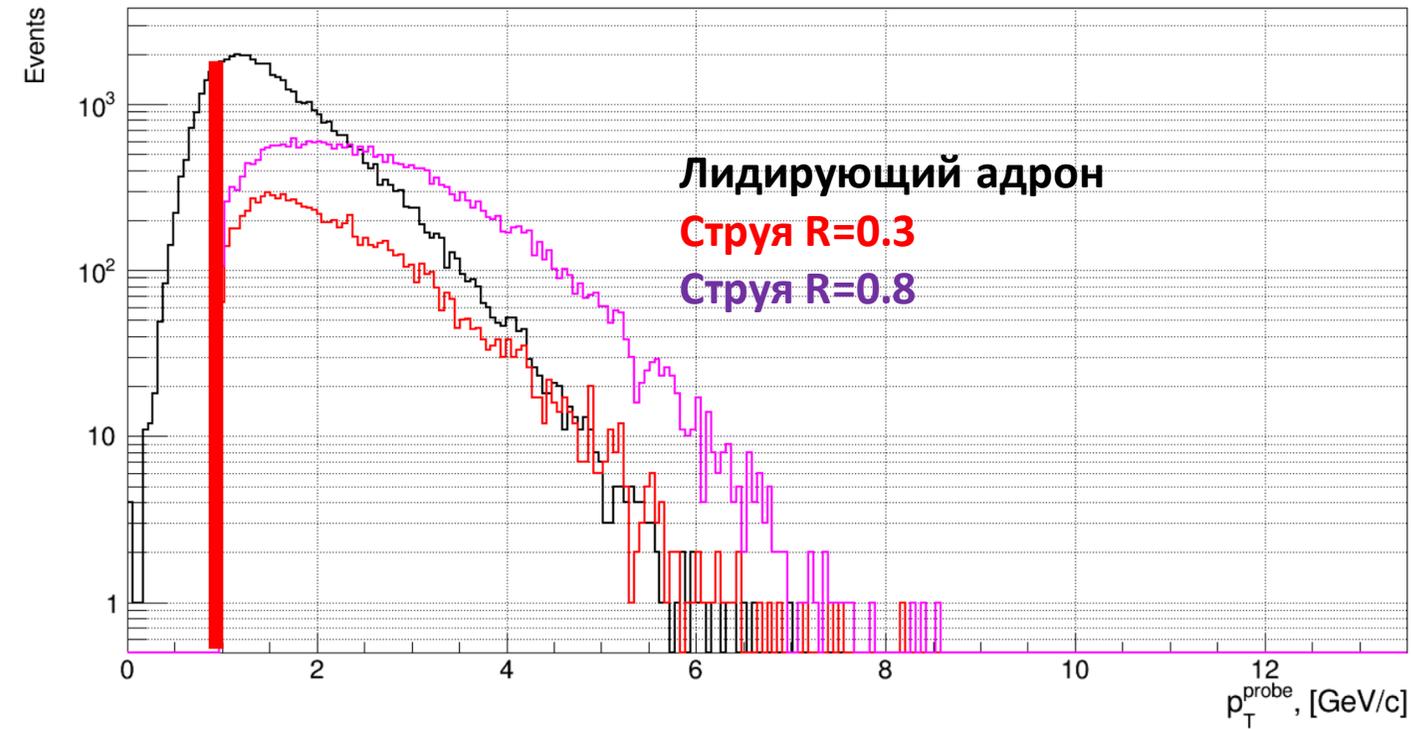
Отбор струй:

- состоят из заряженных адронов
- kT -алгоритм
- $p_T^{jet} > 1 \text{ GeV}/c$
- $p_T^{hadr} > 0.25 \text{ GeV}/c$
- $N_{ch}^{jet} \geq 2 \text{ hadrons}$
- $R = \sqrt{\Delta\phi^2 + \Delta\eta^2} = 0.3$ (narrow jet)
- $R = \sqrt{\Delta\phi^2 + \Delta\eta^2} = 0.8$ (wide jet)
- $|\eta_{hadr}| < 2.44$ геометрическая эффективность (акцептанс SPD)

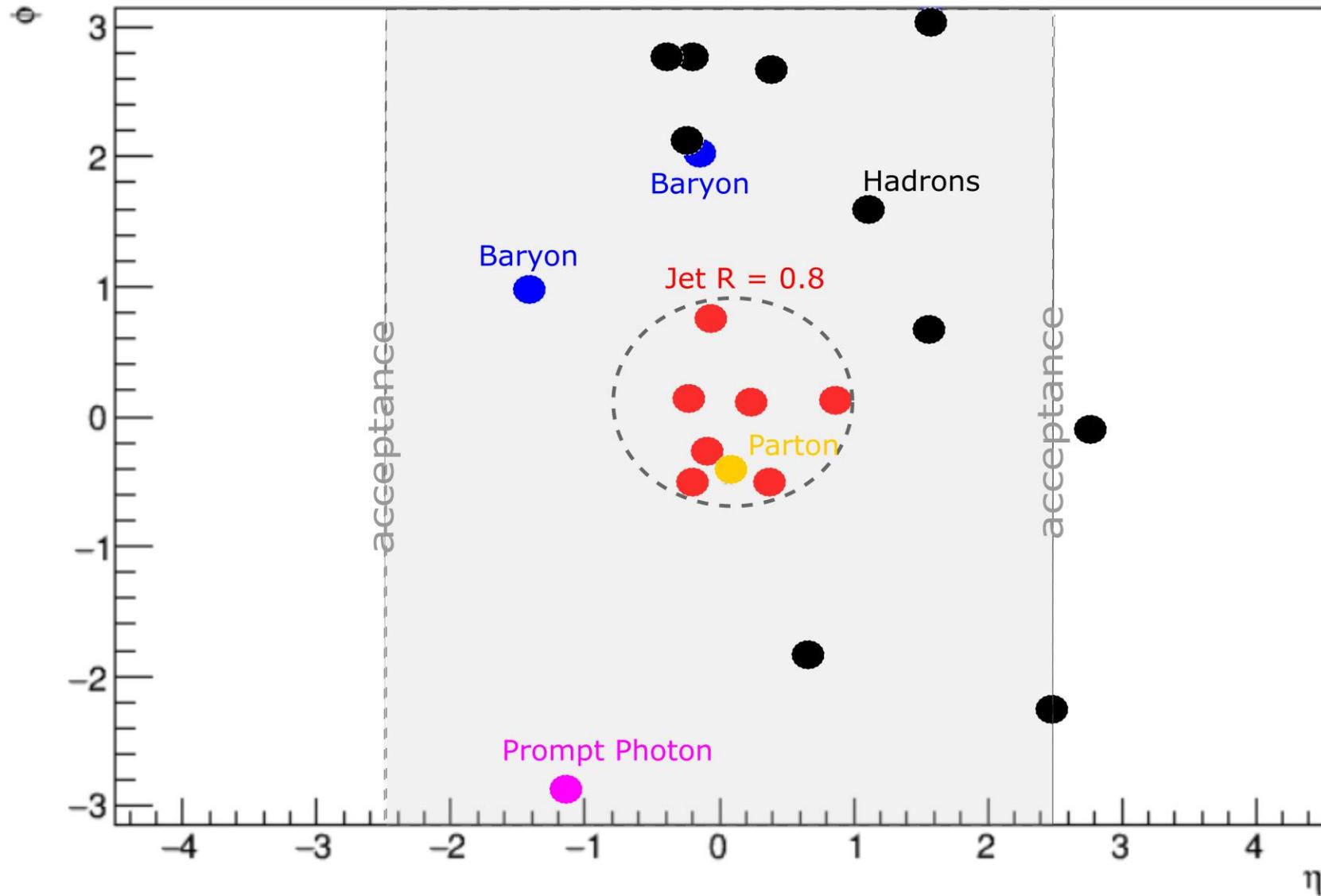
Отбор лидирующий заряженный адрон (LH):

$$p_T > 1 \text{ GeV}/c$$
$$|\eta| < 2.44$$

Общие характеристики струй и лидирующих адронов



Пример события

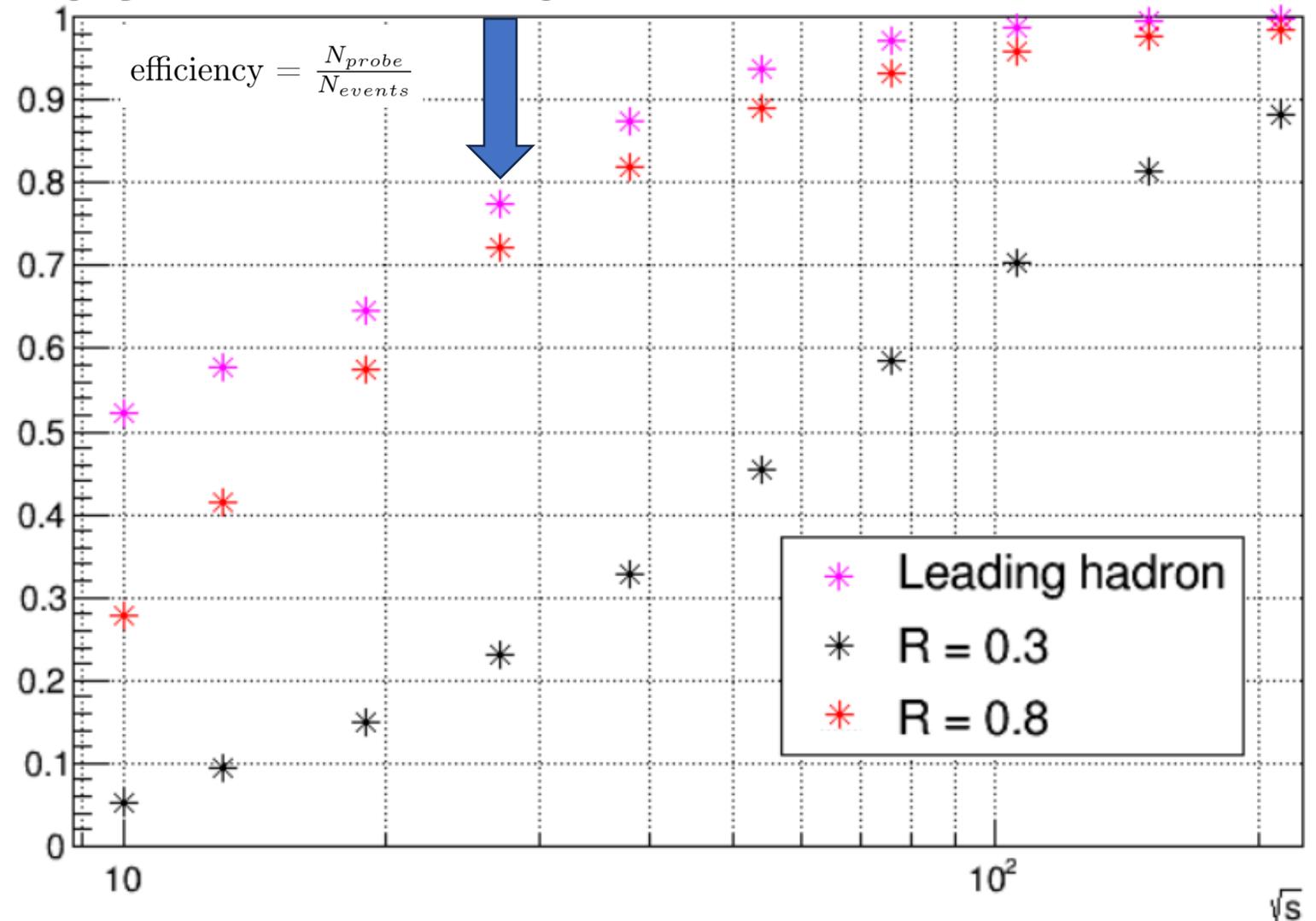


Критерии сравнения

- Эффективность реконструкции струи и выделения лидирующего адрона
 - Вероятность правильной ассоциации струи и лидирующего адрона с партоном в жестком процессе
 - Точность восстановления угла партона
 - Точность восстановления энергии партона

Эффективность реконструкции струй и выделения лидирующего адрона

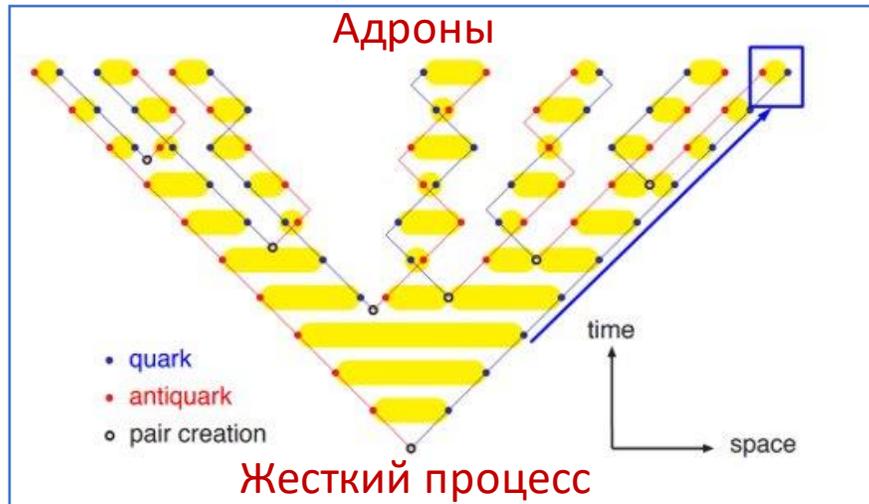
- выше всего вероятность выделить лидирующий адрон в событиях при энергии 27 ГэВ;
- при низких энергиях существенно более эффективно использовать лидирующие адроны
- при высоких энергиях эффективность струй порядка 100%



Эффективность выделения всех лидирующих адронов и струй (probe)

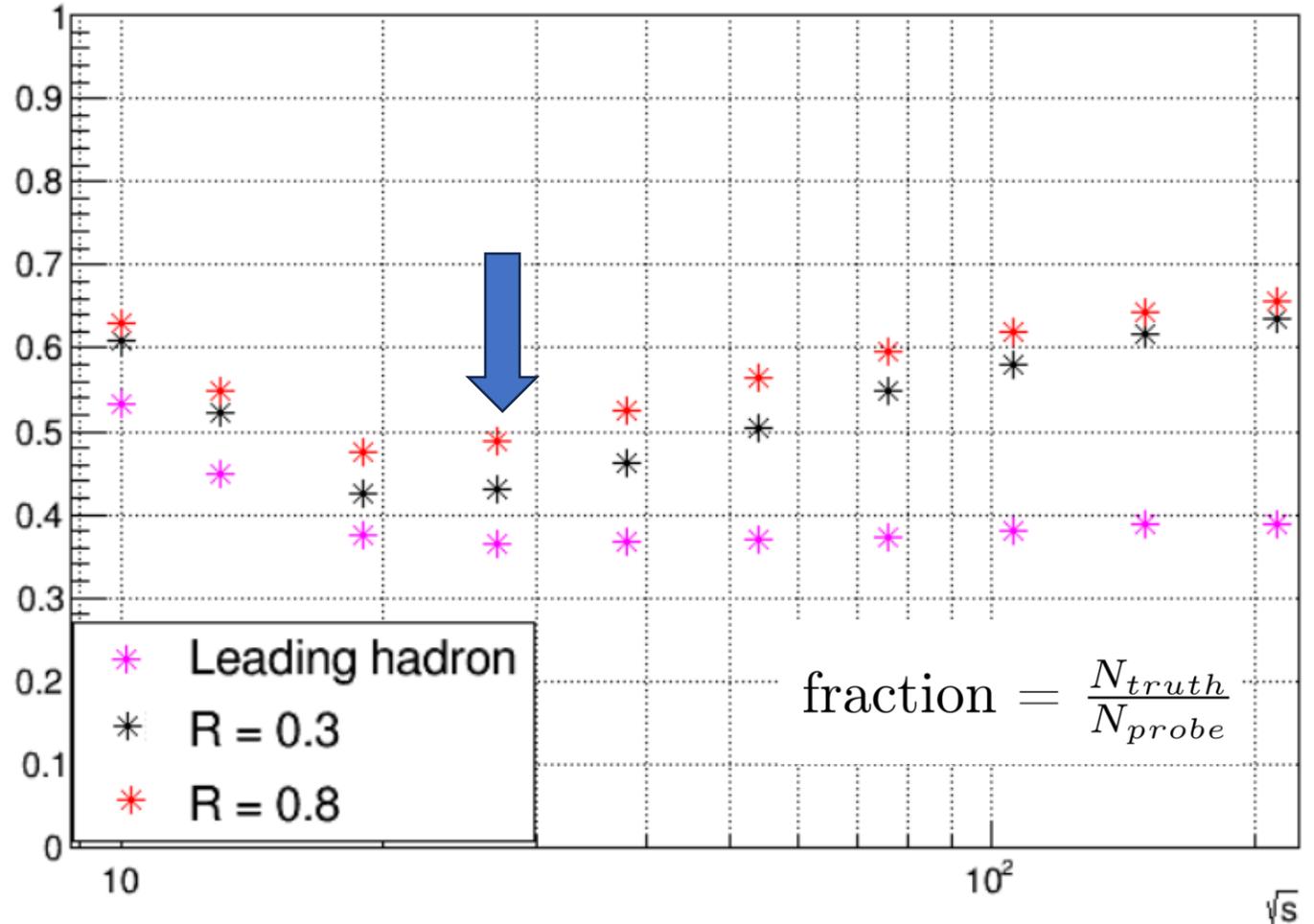
в событии

Вероятность правильной ассоциации струи с партоном в жестком процессе



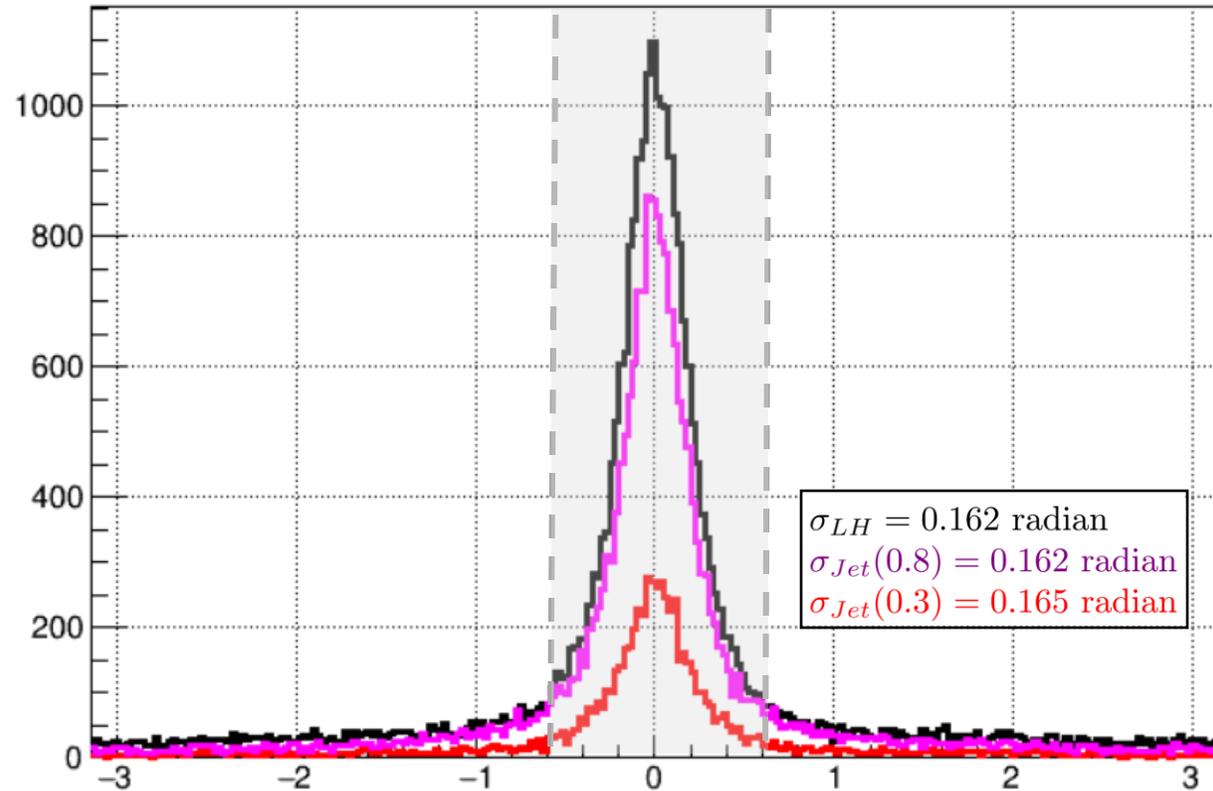
Процесс отслеживания кварка, образовавшегося в жестком процессе до адронного уровня на основе генераторной информации.

- чем <<шире>> струя, тем больше вероятность захватить партон;
- при низких энергиях вероятность того, что лидирующий адрон содержит кварк жесткого процесса сопоставима со струями
- при высоких энергиях лидирующий адрон практически не ассоциирован с кварком



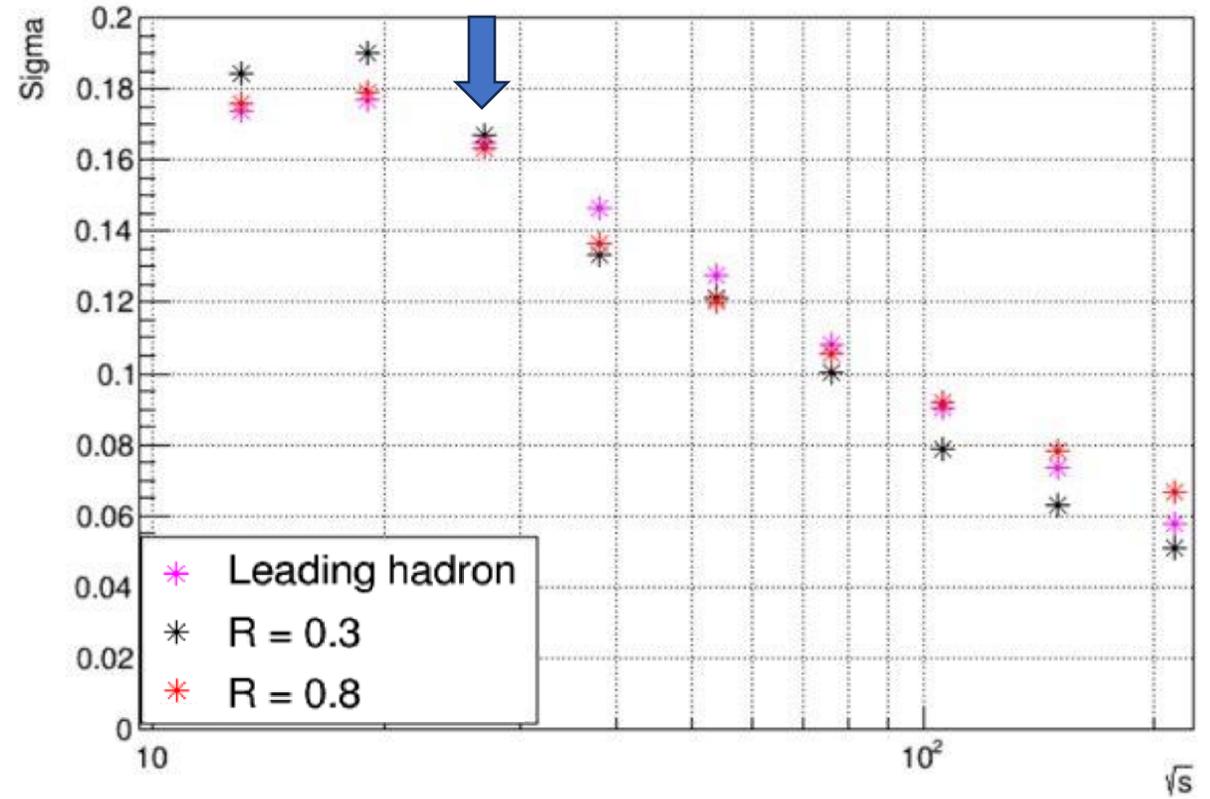
Доля струй и лидирующих адронов содержащих кварк жесткого процесса от их общего числа

Восстановление азимутального угла партона



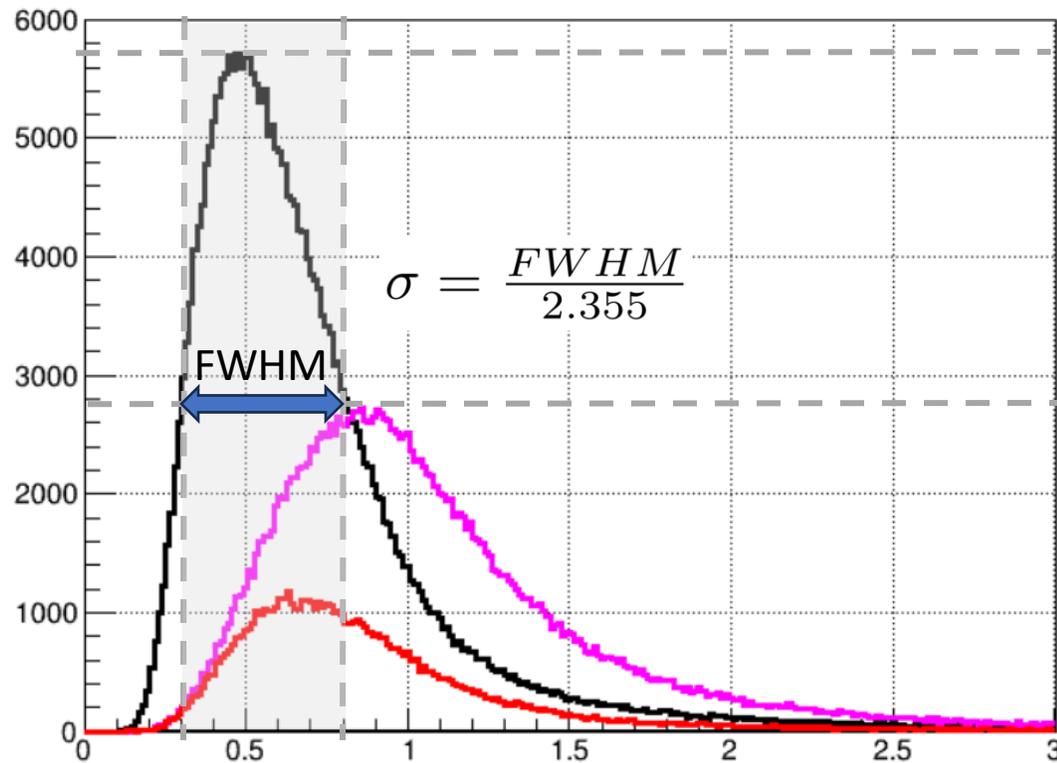
Угол (в азимутальной плоскости) между направлением импульса партона и:

- осью струи (Jet);
- направлением импульса лидирующего адрона (LH).



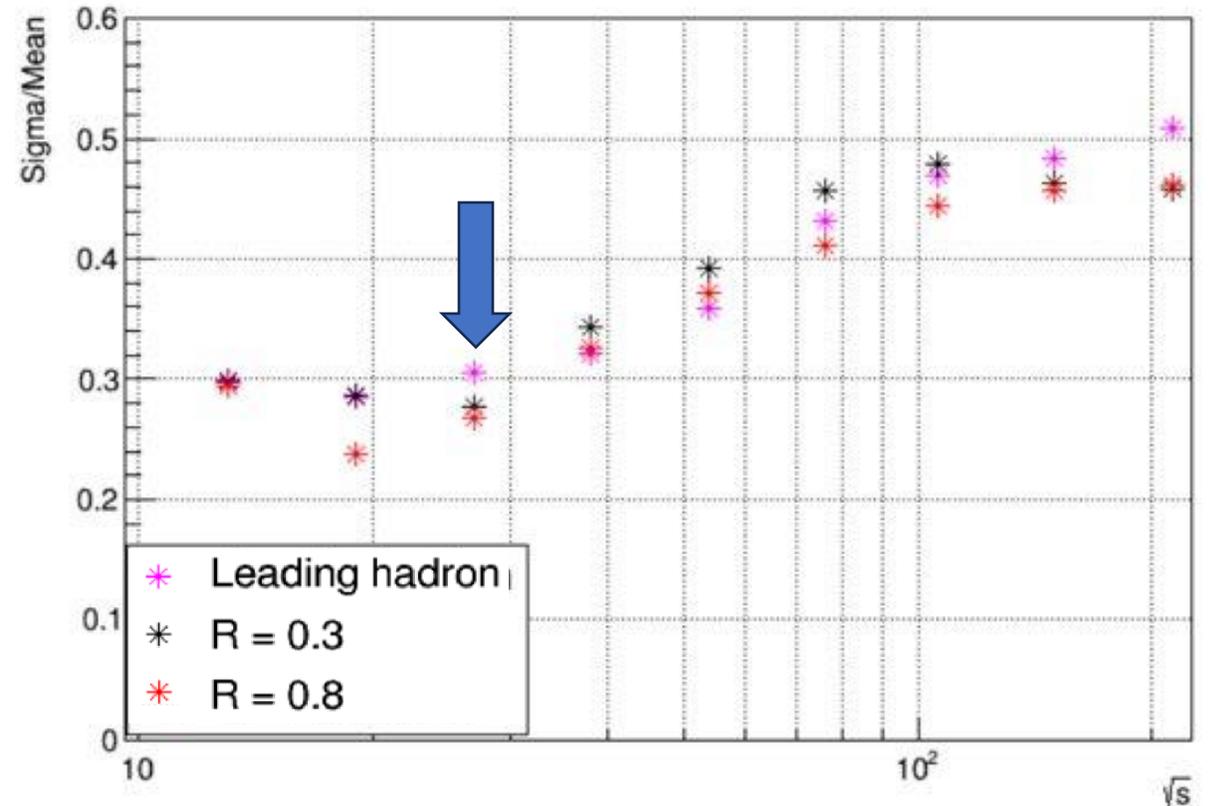
Неопределенность восстановления направления импульса партона для лидирующих адронов и струй

Восстановление энергии партона



Отношение энергии партона и:

- энергии струи ("узкий конус" и "широкий конус");
- энергии лидирующего адрона.



Относительная неопределенность при восстановлении энергии партона для лидирующего адрона и струи.

Выводы

Для протон-протонных столкновений с энергией в системе центра масс 27 ГэВ в событиях с большой передачей поперечного импульса

($p_T > 3$ ГэВ/с) исследованы **эффективность**

и точность восстановления кинематики жёсткого подпроцесса используя:

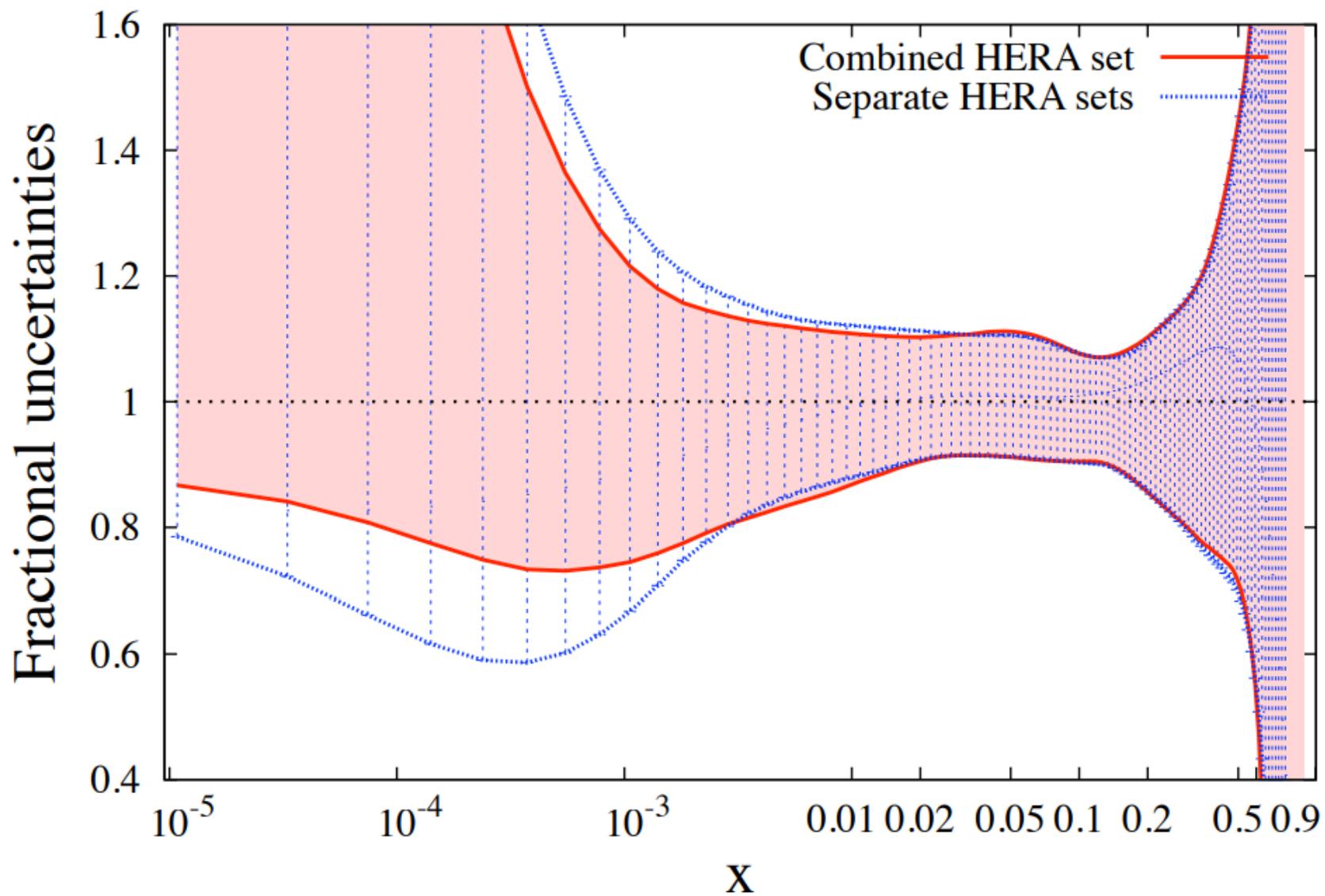
- **струи заряженных адронов**
- **лидирующие адроны**

Показано что в эксперименте SPD при энергии столкновения протонов 27 ГэВ:

- возможно восстановить кинематику жестких процессов, используя только заряженные частицы
- достигается точность восстановления азимутального угла вылета партона 0.15 радиан и энергии партона порядка 30%
- применение лидирующих адронов и струй дает сходную точность восстановления углов и энергий; при этом эффективность реконструкции по лидирующим адронам выше (на 6% для $R = 0.8$ и на 50% для $R = 0.3$).

Спасибо за внимание

$g(x, \mu)$ at $\mu = 2 \text{ GeV}$



I have presented E_T^0 spectra at $\sqrt{s} = 30.5, 45.0, \text{ and } 62.3 \text{ GeV}$, and shown that there is clear evidence of the emergence of jet structure at E_T^0 's above 24 GeV. This is confirmed by the decrease of the mean sphericity as E_T^0 increases, and the limited j_T behaviour of the charged particles. For the future we expect to extend our E_T^0 range for the study of 2 and 3-jets, and hence continue the study of parton-parton scattering angular distributions started with $\pi^0\pi^0$ data⁴⁾.

Наблюдение струй; $\sqrt{s} > 24 \text{ ГэВ}$; Cox 1983 HIGH NEUTRAL TRANSVERSE ENERGY EVENTS AT THE CERN ISR

Abstract. The production of $\rho(770)^0, K^*(892)^0, \bar{K}^*(892)^0$ and $f_2(1270)$ mesons as leading particles in hadron jets ($\langle z \rangle \sim 0.7$) has been measured in deep inelastic pp interactions at the CERN ISR at $\sqrt{s} = 62 \text{ GeV}$. The comparison of vector and pseudoscalar meson production at the same transverse momentum provides a rather model independent way to determine the fragmentation parameter V/P . We determine $(V/P)_{u,d} = 1.66 \pm 0.18 \pm 0.63$ from the ρ/π ratio and $(V/P)_s = 0.90 \pm 0.13 \pm 0.27$ from the K^*/K ratio. For the $f_2(1270)$ production we find $f_2/\rho^0 = 0.30 \pm 0.08$.

Применение лидирующих адронов; $\sqrt{s} = 62 \text{ ГэВ}$ A. Breakstone et al. Z.Phys.C 43 (1989) 185

Abstract. We have studied pp collisions at the CERN ISR at $\sqrt{s} = 63 \text{ GeV}$ using a jet trigger. We demonstrate that a sample of well-separated triple high- p_T jet events can be described as due to the QCD bremsstrahlung process. The energy flow of these 3-jet events is well described by an independent fragmentation model, with a gluon-jet transverse width 33% greater than the quark-jet width. From the ratio of the 3- and 2-jet production cross-sections the strong coupling is determined to lowest order in QCD. We find $\alpha_s = 0.18 \pm 0.03 \text{ (stat.)} \pm 0.04 \text{ (syst.)}$. The error does not include the theoretical uncertainty in the fragmentation scheme.

Наблюдение трехструйных событий $\sqrt{s} = 63 \text{ ГэВ}$;
T. Åkesson et al. Z.Phys.C 32 (1986) 317

Particles produced in soft proton antiproton interactions at the Fermilab Tevatron collider are studied at center of mass energies (\sqrt{s}) of 630 and 1800 GeV. The data were taken using a minimum bias trigger during the 1987 run of the Collider Detector at Fermilab (CDF). The event structure of proton antiproton interactions has been studied. Analyses of inclusive charged particle transverse momenta, multiplicity distribution and correlations of charged particles are presented. Particle clusters in minimum bias triggers are studied to verify whether the hard interaction QCD models are applicable in the low E_T region.

Исследование корреляций, Byon, A. (1989). Central production of charged particles at CDF

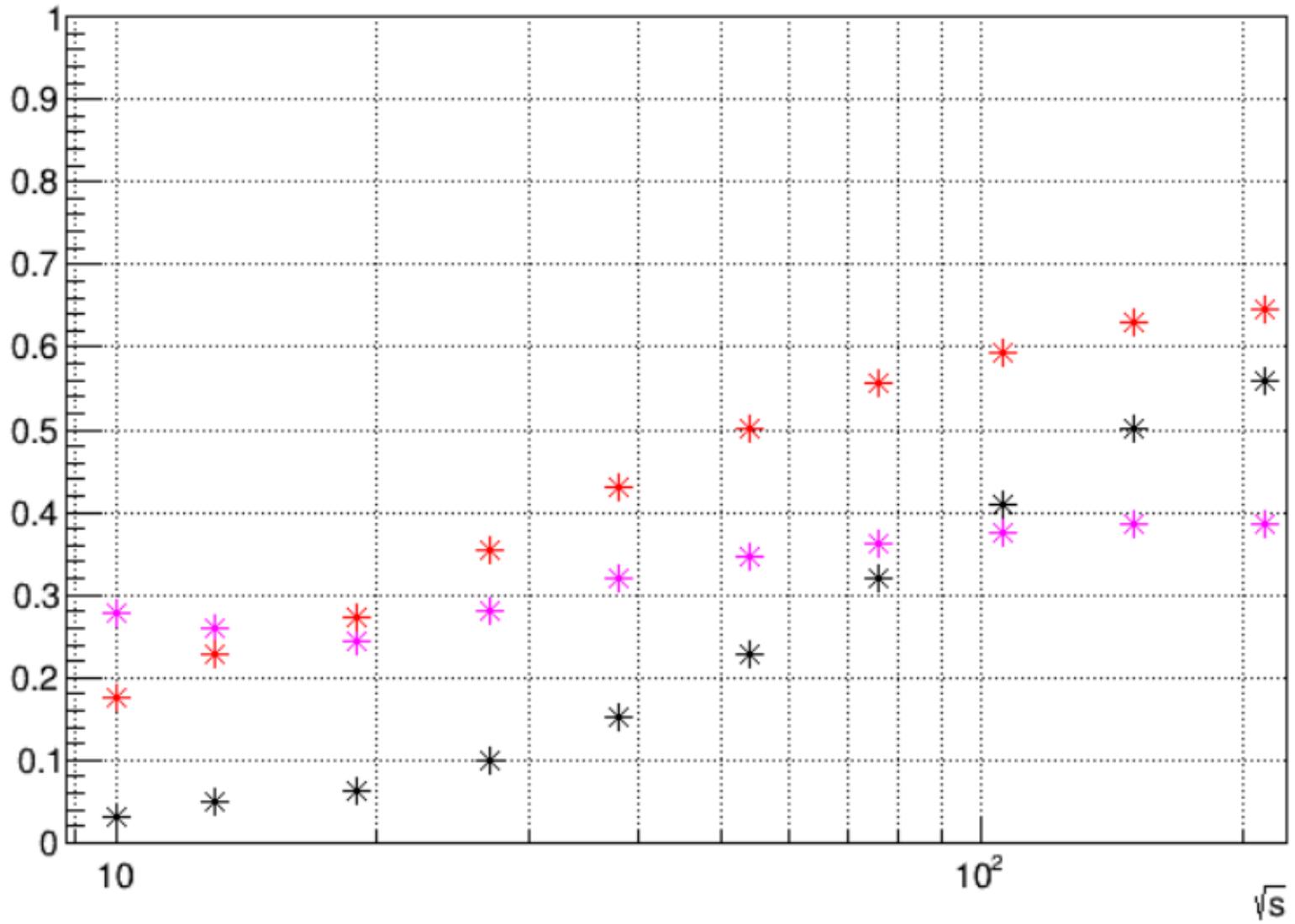
21. G. Hanson *et al.* [SLAC-LBL Collaboration], Evidence for Jet Structure in Hadron Production by e^+e^- Annihilation, Phys. Rev. Lett. **35**, 1609 (1975)
22. G. Hanson *et al.* [SLAC-LBL Collaboration], Hadron Production by e^+e^- Annihilation at Center-of-Mass Energies between 2.6 GeV and 7.8 GeV, Part 2: Jet Structure and Related Inclusive Distributions, Phys. Rev. D **26**, 991 (1982)
23. J. D. Bjorken and S. J. Brodsky, Statistical Model for Electron-Positron Annihilation into Hadrons, Phys. Rev. D **1**, 1416 (1970)



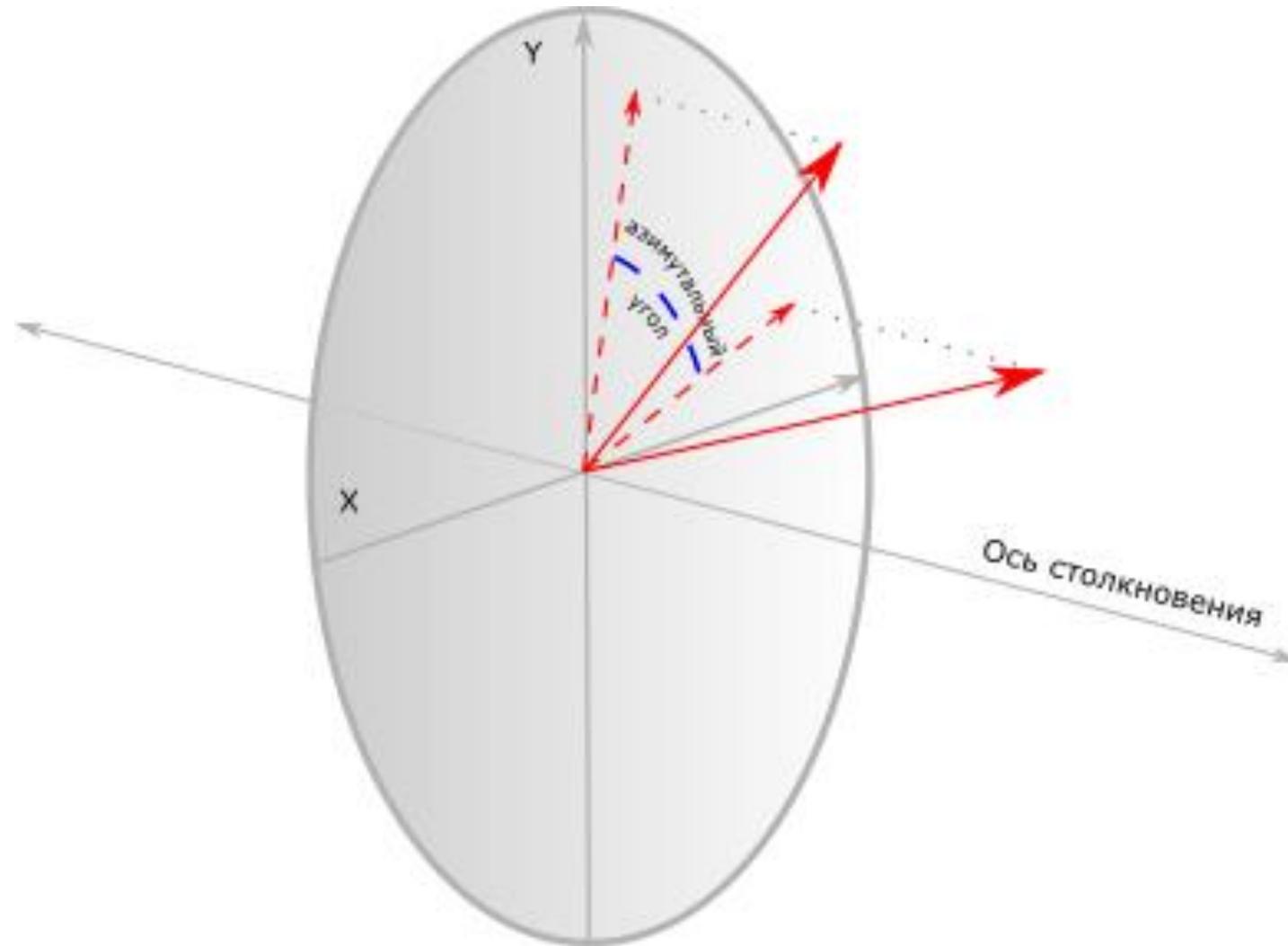
Subsystem	Stage	Technology	Materials & components	Electronics
MM-based Central Tracker	1			
SI Vertex Detector				
DSSD option	2			
MAPS option	2			
Straw Tracker	1,2			
ToF	1*,2			
Aerogel	2	New group		
ECAL	1*,2			
Muon (Range) System	1,2			
BBC	1,2			
ZDC	1,2			
Superconducting Magnet	1,2			
DAQ	1,2			
Computing	1,2			
DCS	1,2			
Support & moving system	1,2			

Subsystem	Stage	Main task	Active element	Weight, t	Power, kW	Channels, 10 ³
Range System (RS)	I+II	μ -ID	mini drift tubes Ar:CO ₂ 70 : 30	927	47	130.2
Electromagnetic Calorimeter (ECal)	II	γ detection	Pb/scint.-shashlyk	68	8	23
Time-of-Flight system (TOF)	II	PID	RPC chambers C ₂ H ₂ F ₄ :C ₄ H ₁₀ :SF ₆ 90:5:5	4	4	8.8
Aerogel Straw Tracker (ST)	II I+II	PID tracking, PID	aerogel straw tubes Ar:CO ₂ 70:30	0.1 0.2	0.5 4	0.3 30.5
Silicon Vertex Detector (SVD)	II	vertex, tracking	Si pixels	< 0.1	22	12
– MAPS	II	vertex, tracking	Si strips	< 0.1	2	107.5
– DSSD	II	tracking	gas chambers	< 0.1	1	25.6
Micromegas-based Central Tracker (MCT)	I	tracking	Ar:C ₄ H ₁₀ , 90:10			
Beam-Beam Counter (BBC)						
– inner	I+II	polarimetry	MCP	≪ 0.1	≪ 1	0.1
– outer	I+II	polarimetry, timing	scint.	0.1	0.5	0.3
Zero Degree Calorimeter (ZDC)	I+II	n, γ detection	W/scint.	0.3	2	2
Magnet	I+II			20	23	
Support and transportation system	I+II			80.3		
Top platform (loaded)	I+II			40		
Side platform (loaded)	I+II			100		

Эффективность



Азимутальный угол



Азимутальный угол между двумя векторами

Pythia settings

prompt photons

PromptPhoton:qg2qgamma = on
PromptPhoton:qqbar2ggamma = on
PDF:pSet = 15

BeamRemnants:primordialKThard = 1.2

PhaseSpace:mHatMin = 0.
PhaseSpace:pTHatMin = 0.

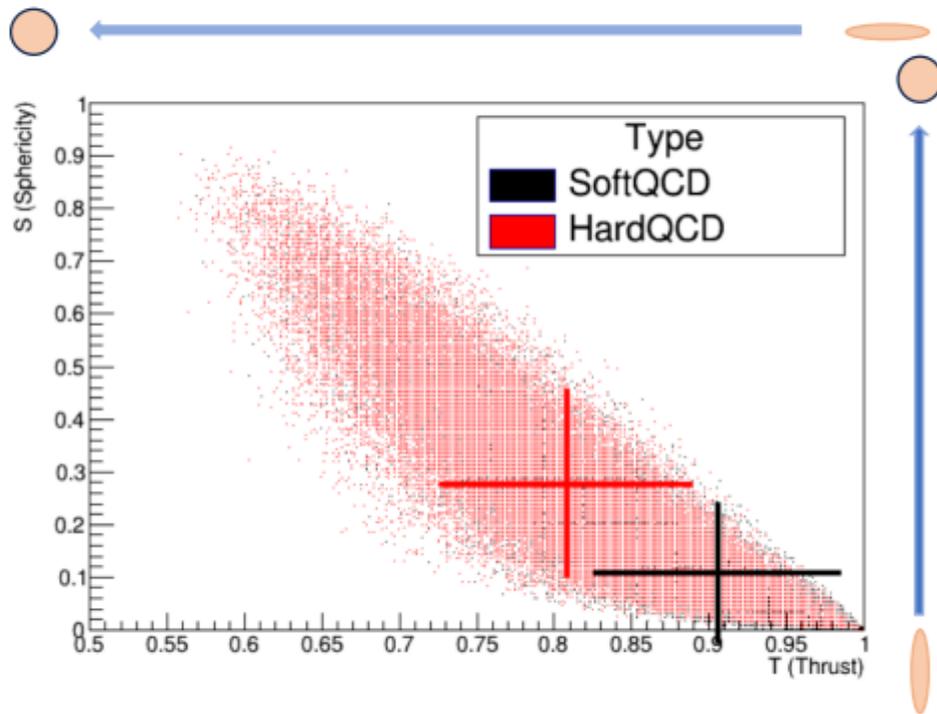
Random:setSeed = on
Random:seed = 0

minimum-bias

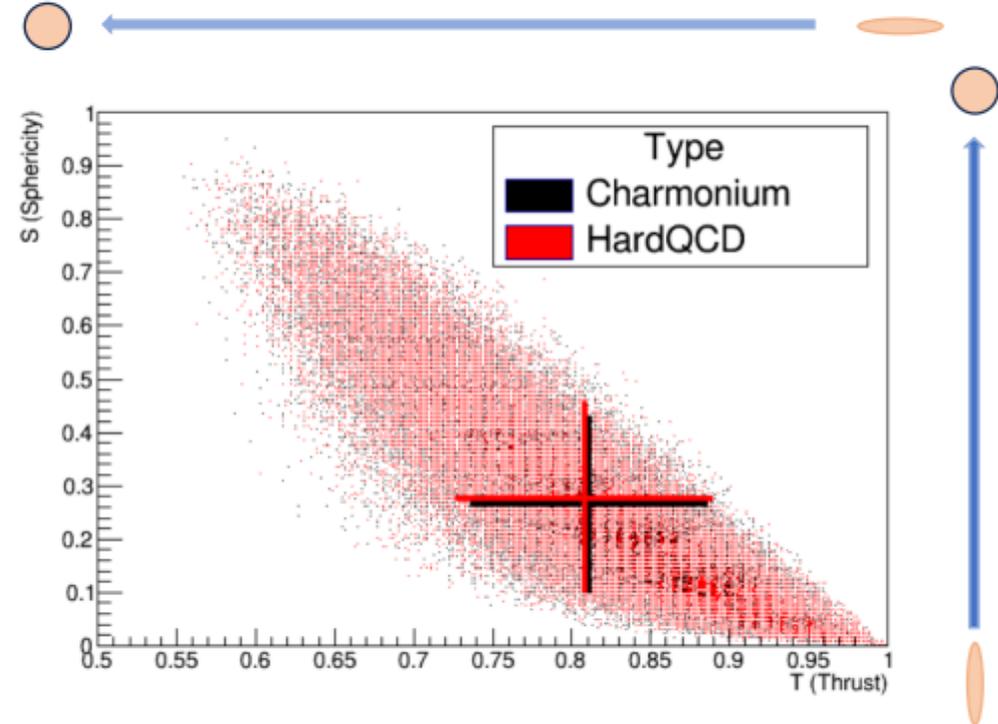
SoftQCD:all = on
PDF:pSet = 15
BeamRemnants:primordialKT = on
BeamRemnants:primordialKTsoft = 1.1
BeamRemnants:primordialKThard = 1.8
BeamRemnants:halfScaleForKT = 2.0
BeamRemnants:halfMassForKT = 4.0
BeamRemnants:reducedKTatHighY = 0.7
BeamRemnants:primordialKTremnant = 0.4
PhaseSpace:pTHatMinDiverge = 0.5

PhaseSpace:mHatMin = 0.
PhaseSpace:pTHatMin = 0.
Random:setSeed = on

Возможность быстрого выделения событий с большим квадратом переданного импульса



Распределение событий с малыми Q^2 и событий с минимальным $Q^2 - 10 \text{ ГэВ}^2/c^2$



Распределение событий КХД-рассеяния и событий с рождением чармониев