



ALICE - What is different ?

Grigory Feofilov (St.Petersburg State University)

Joint CERN -- CNIR -- JINR autumn course for physics teachers

05 November 2015

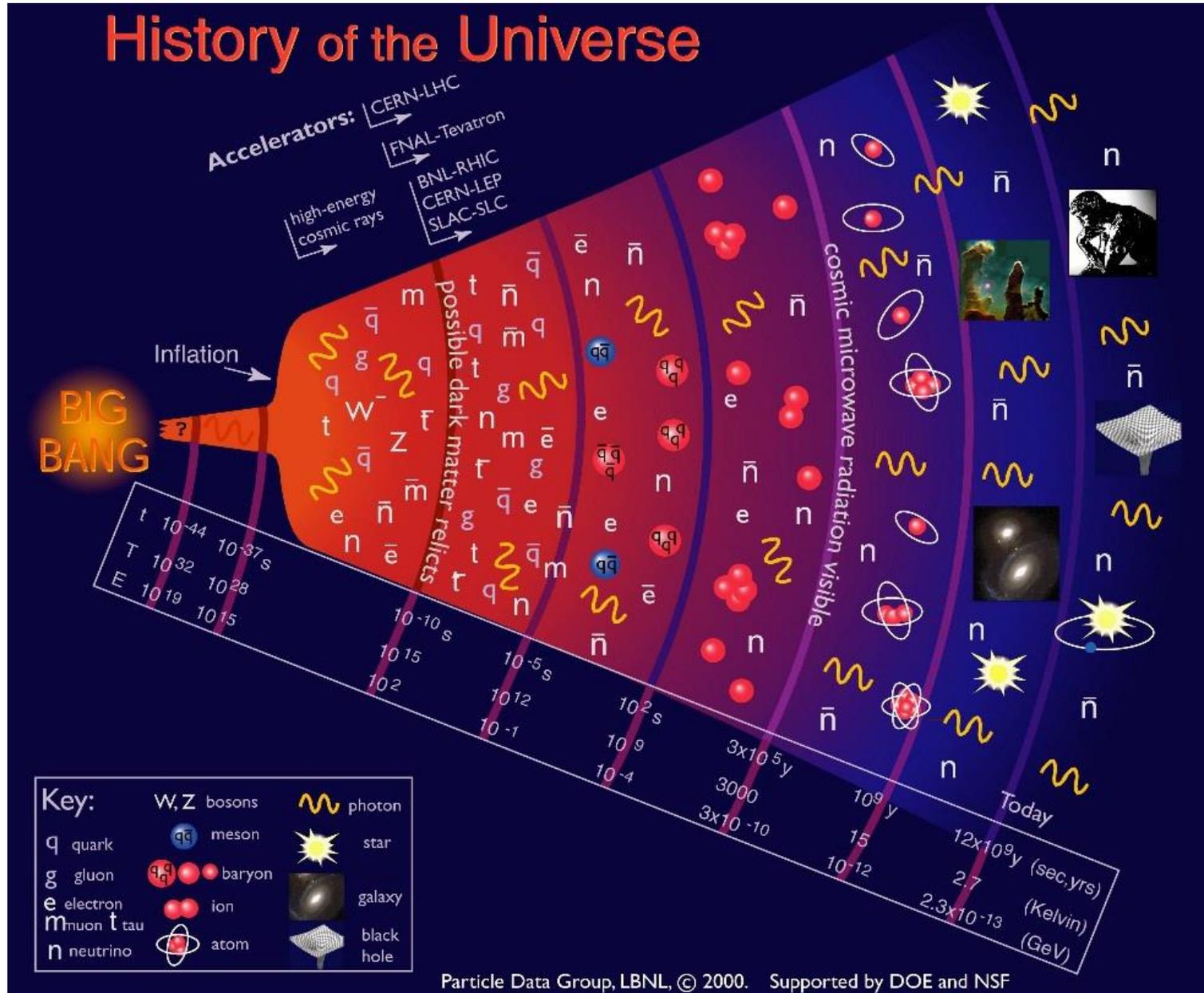
Рекомендуемая литература:

- 1) Hydrodynamic Theory of Multiple Production of Particles. S. Z. BELEN'KJI and L. D. LANDAU, SUPPLEMENTO AL VOLUME III, SERIE X, N. 1, 1956, DeL NUOVO CIMENTO <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02745507#page-1>
- 2) Ядерная физика высоких энергий. Никитин, Юрий Петрович; Розенталь, Иосиф Леонидович Москва, Атомиздат, 1980.
- 3) Introduction to Relativistic Heavy Ion Collisions by L.P. Csernai, 1994.
- 4) Introduction to High-Energy Heavy-Ion Collisions, Check-Yin Wong, World Scientific, 1994. **(516 pages)**
- 5) Introduction to High Energy Physics, 4th Edition, Donald H.Perkins, Cambridge Univeristy Press, 2000. **(426 pages).**
- 6) Lectures on the Theory of High Energy A+A at RHIC, Miklos, Gylassy, arXiv: nucl-th/0106072v1 29Jun 2001.
- 7) Ultrarelativistic Heavy-Ion Collisions, Ramona Vogt, Elsevier, Oxford, 2007. **(477 pages).**
- 8) Введение в релятивистскую ядерную физику , Емельянов В.М., Тимошенко С.Л., Стриханов М.Н., М.ФИЗМАТЛИТ , 2004 - 186с. ISBN 5-9221-0518-3.
- 9) Физика столкновений ультрарелятивистских ядер. Коротких В. Л., (Учебное пособие), МГУ им. М.В. Ломоносова; НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына. - М., 2008. - 105 с.
- 10) В.Е.Фортов, **«Экстремальные состояния вещества на Земле и в космосе», М., ФИЗМАТЛИТ, 2008**

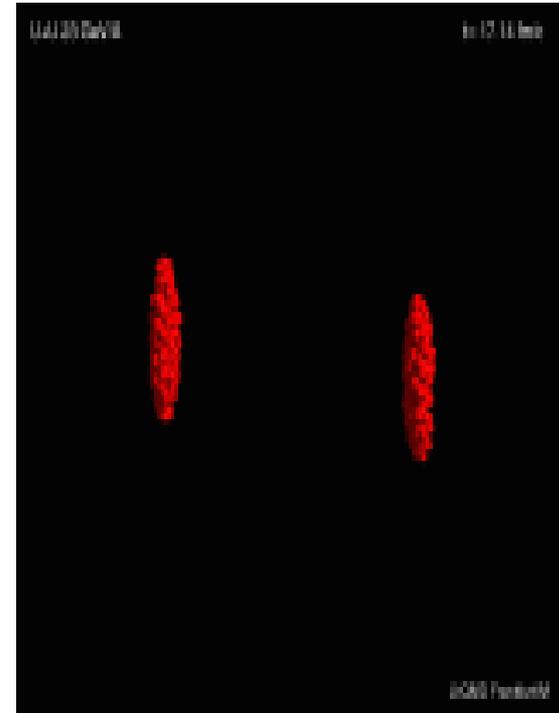
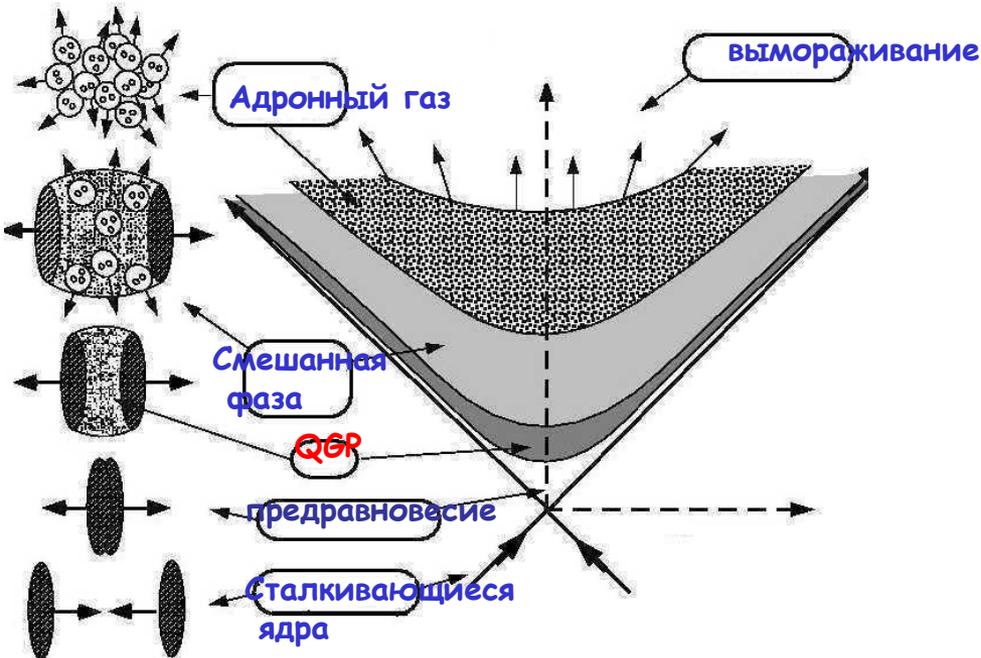
Содержание

- Введение.
- Немного истории. Фазовая диаграмма сильновзаимодействующей материи.
- Наблюдаемые. Сигналы QGP. Первые теоретические ожидания,
- Экспериментальные установки
- Некоторые результаты
- **Заключение**

Эволюция Вселенной

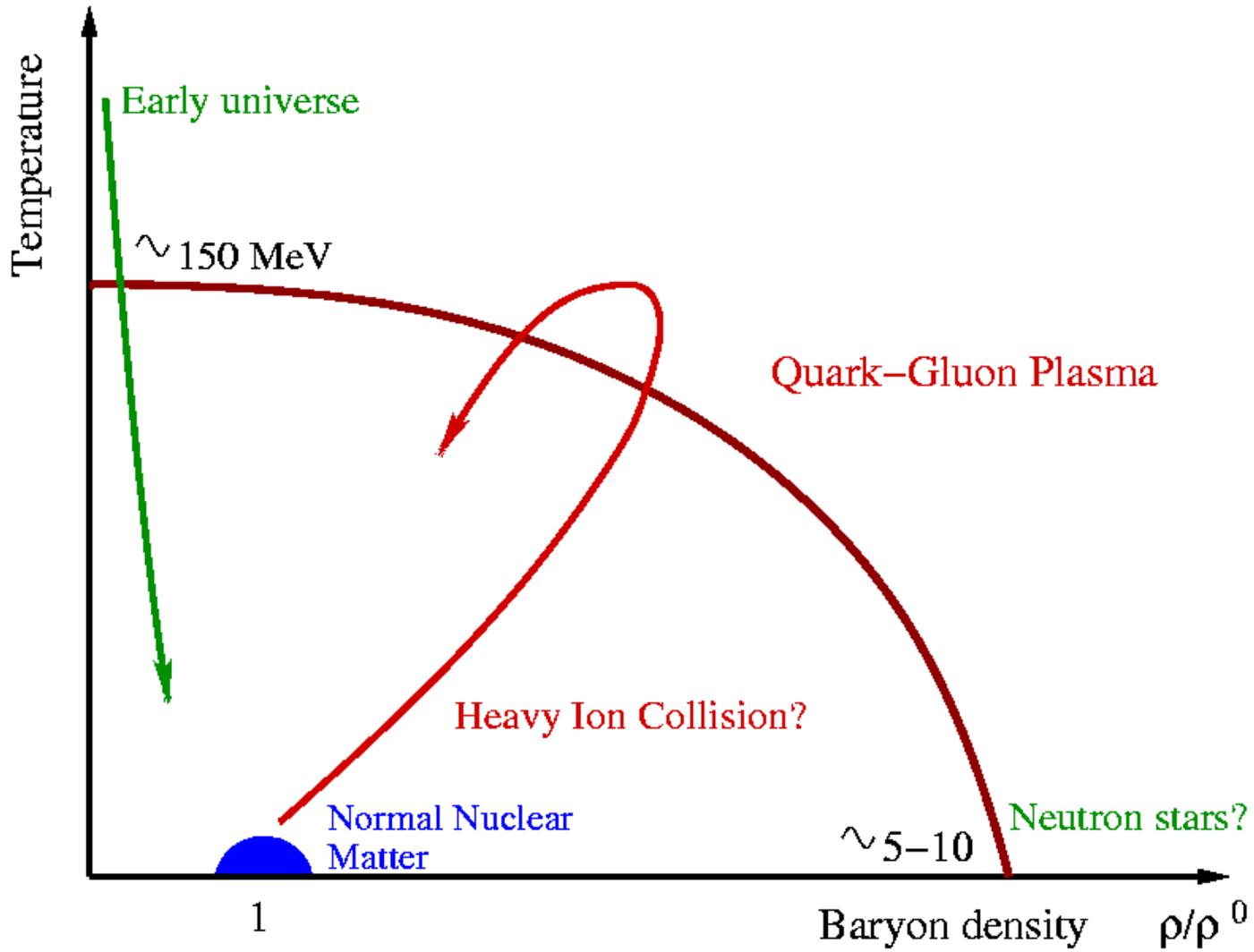


Фазы столкновений ядер



ALICE: экспериментальные и теоретические исследования **стадий ядро-ядерных столкновений, образования и свойств кварк-глюонной плазмы.**

Фазовая диаграмма сильно взаимодействующей материи: начальные представления...



”Релятивистская ядерная физика” :

немного истории



A.M. Baldin

1971: the 1st relativistic nuclear beams with an energy of 4.2 AGeV at the synchrotron at the LHE, JINR. One of the 1st studies of nuclear effects in the high energy interactions off nuclei

A.M. Baldin et al.

Sov.J. Nucl.Phys.18,41 (1973)

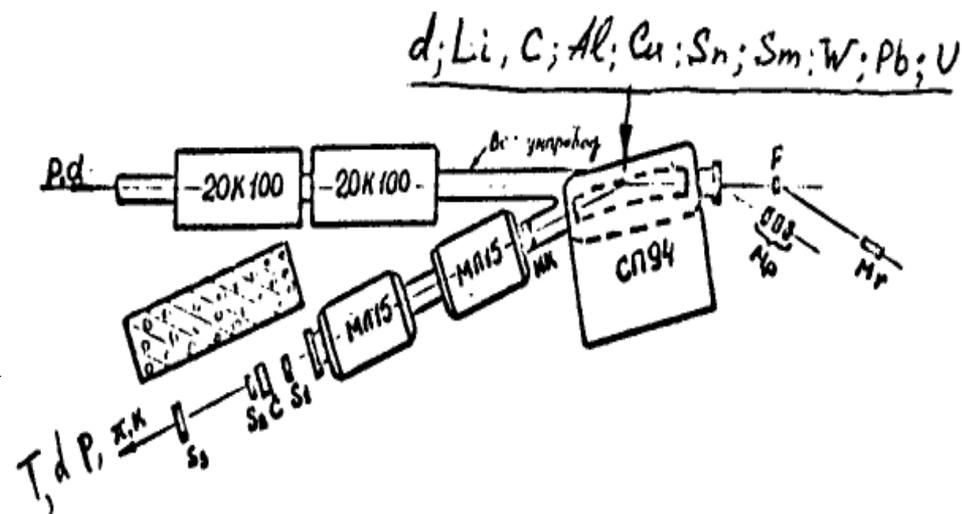


Fig. 2 Experimental layout

A.M. Baldin , ”Heavy Ion Interactions at High Energies ”, report at AIP Conf. Proc. 26, 621 (1975)

➔ BEVALAC(1974), SPS(1976), RHIC(2000), LHC(2009)

«Экстремальные состояния вещества на Земле и в космосе», В.Е.Фортов, М., ФИЗМАТЛИТ, 2008

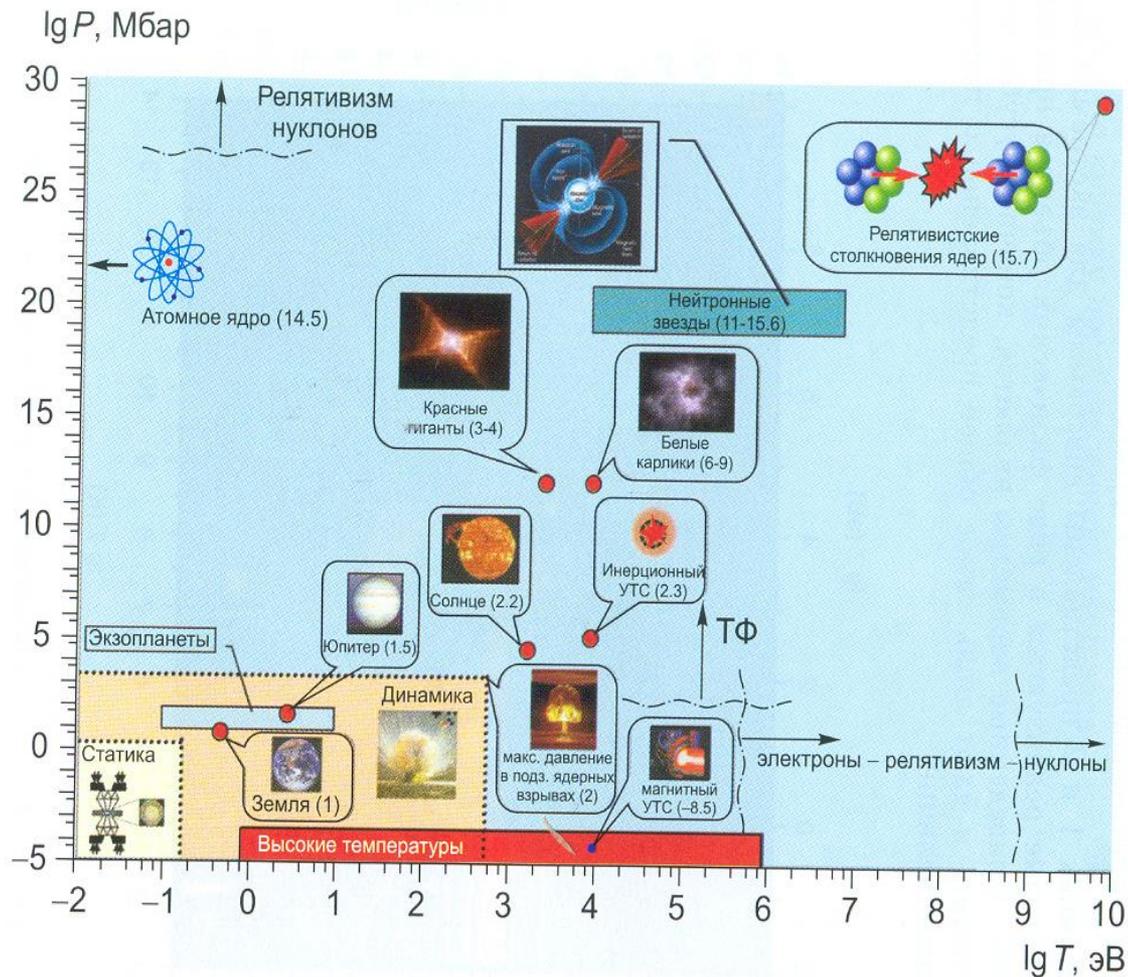


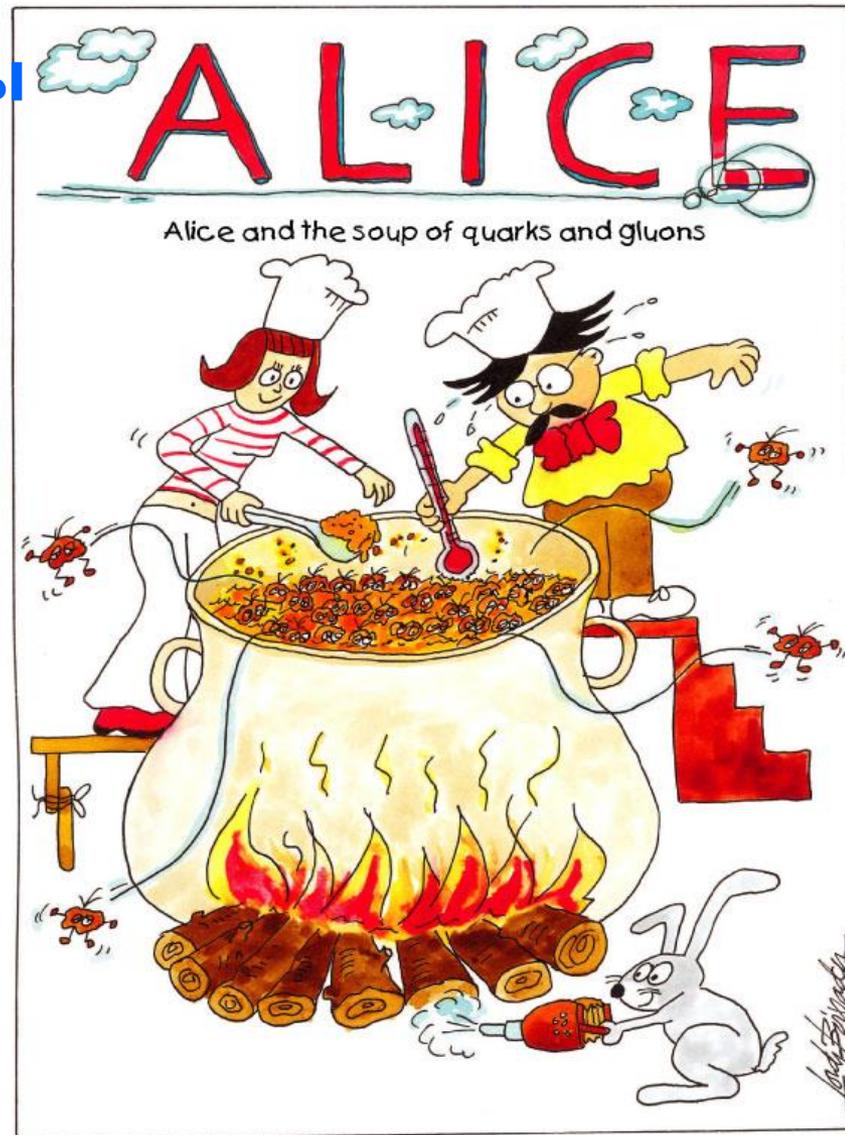
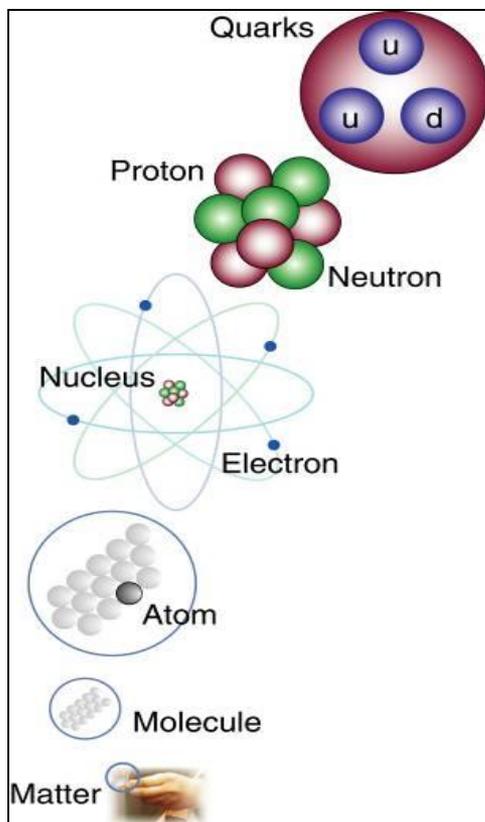
Рис. 2. Экстремальные состояния [1] в природе и в лаборатории. Цифры в скобках указывают логарифм плотности (в г/см³). Область «статика» соответствует статическому, «динамика» — динамическому методам получения высоких давлений, «высокие температуры» — экспериментам при высоких температурах



Концентрация энергии и поиск кварк-глюонной плазмы

Можно ли расплавить
атомное ядро и сварить
кварковый супчик ?

А как?



11/5/2015

<http://aliceinfo.cern.ch/Public/en/Chapter4/Chapter4TChild-en.html>

...J. C, Collins and M. J. Perry -1975, ...E.Shuryak 1978...:

Шуряк Э В "Кварк-глюонная плазма" УФН 138 327–328 (1982)

QUARK–GLUON PLASMA AND HADRONIC PRODUCTION OF LEPTONS, PHOTONS AND PSIONS

E.V. SHURYAK

Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, USSR

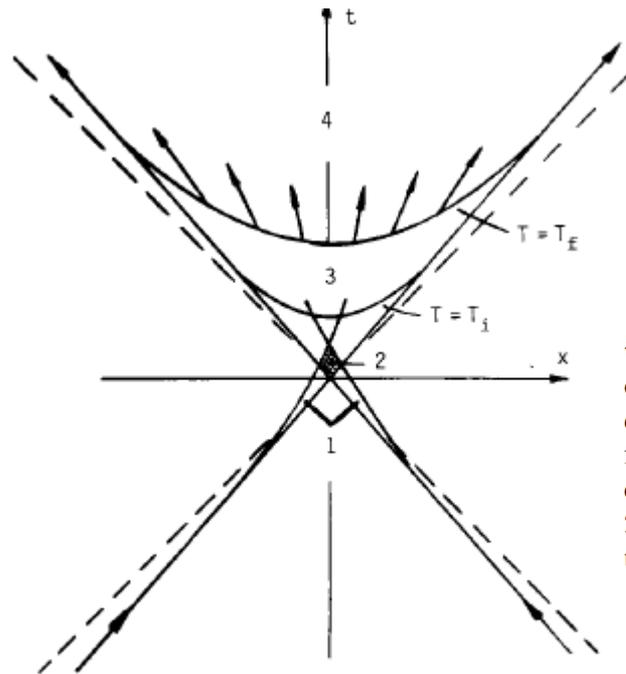


Fig. 1. The space–time picture of hadronic collisions, proceeding through the following stages: (1) structure function formation; (2) hard collisions; (3) final state interaction; (4) free secondaries.

Early expectations: QGP like an ideal gas of quarks and gluons

At very high energy density, the coupling constant of QCD becomes weak. A gas of particles should to a good approximation become an ideal gas. Each species of particle contributes to the energy density of an ideal gas as

$$\epsilon \sim \frac{\pi^2}{30} N T^4$$

where N is the number of particle degrees of freedom. At low temperatures when masses are important, only the lowest mass, strongly interacting particle degree of freedom contributes; the pion, and the energy density approaches zero as $\epsilon \sim e^{-m_\pi/T}$. For an ideal gas of pions, the number of pion degrees of freedom is three. For a QGP there are two helicities and eight colours for each gluon, and for each quark, three colours, two spins, and a quark–antiquark pair. The number of degrees of freedom is $N \sim 2 \times 8 + 4 \times 3 \times N_F$ where N_F is the number of important quark flavours, which is about three if the temperature is below the charm quark mass so that $N \sim 50$.

Relativistic heavy-ion physics: three lectures

L. McLerran

Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973, USA and RIKEN BNL Research Center, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973, USA

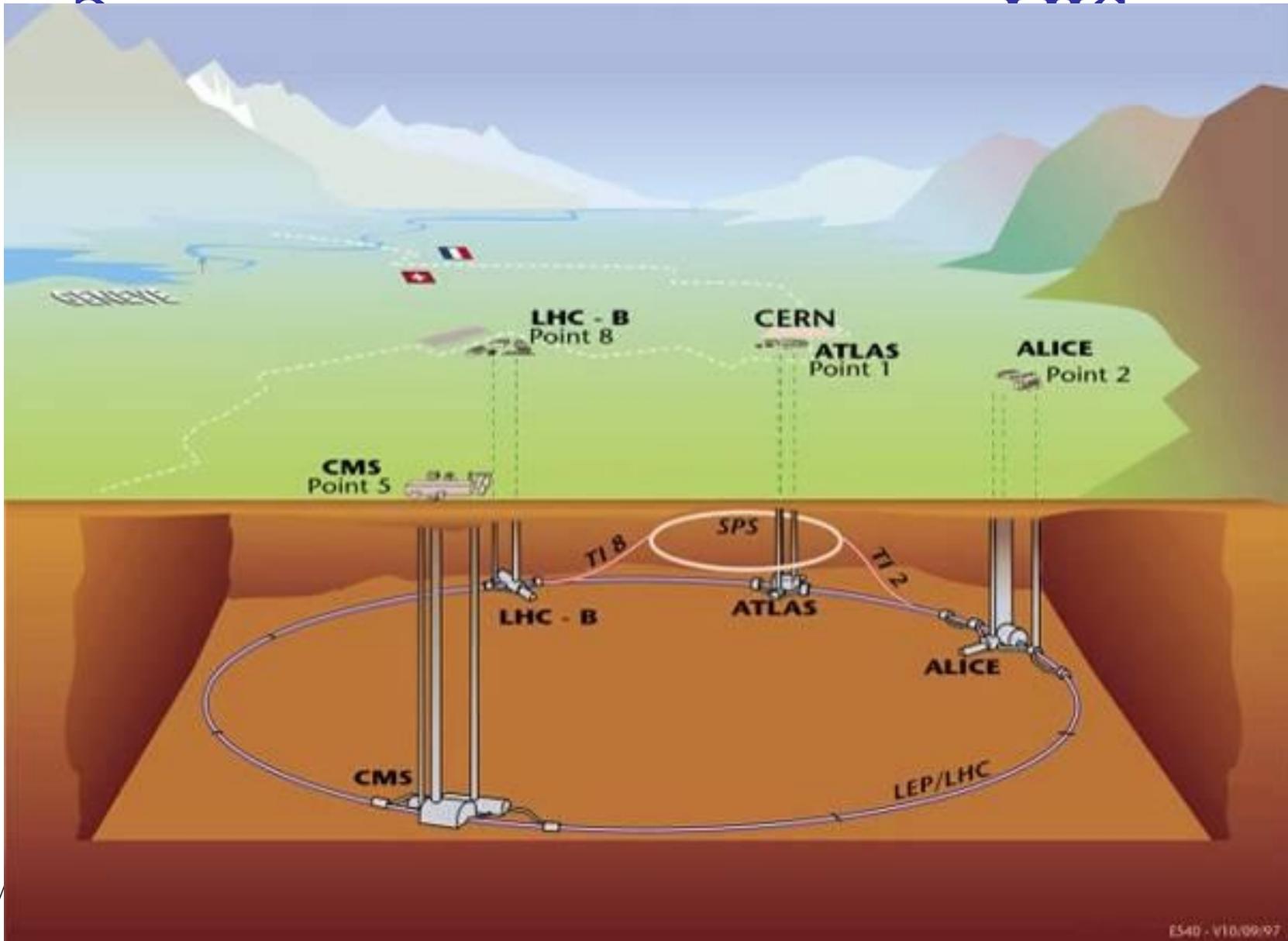
Лабораторные *исследования* материи в *экстремальных состояниях* на Большом адронном коллайдере





Большой адронный коллайдер



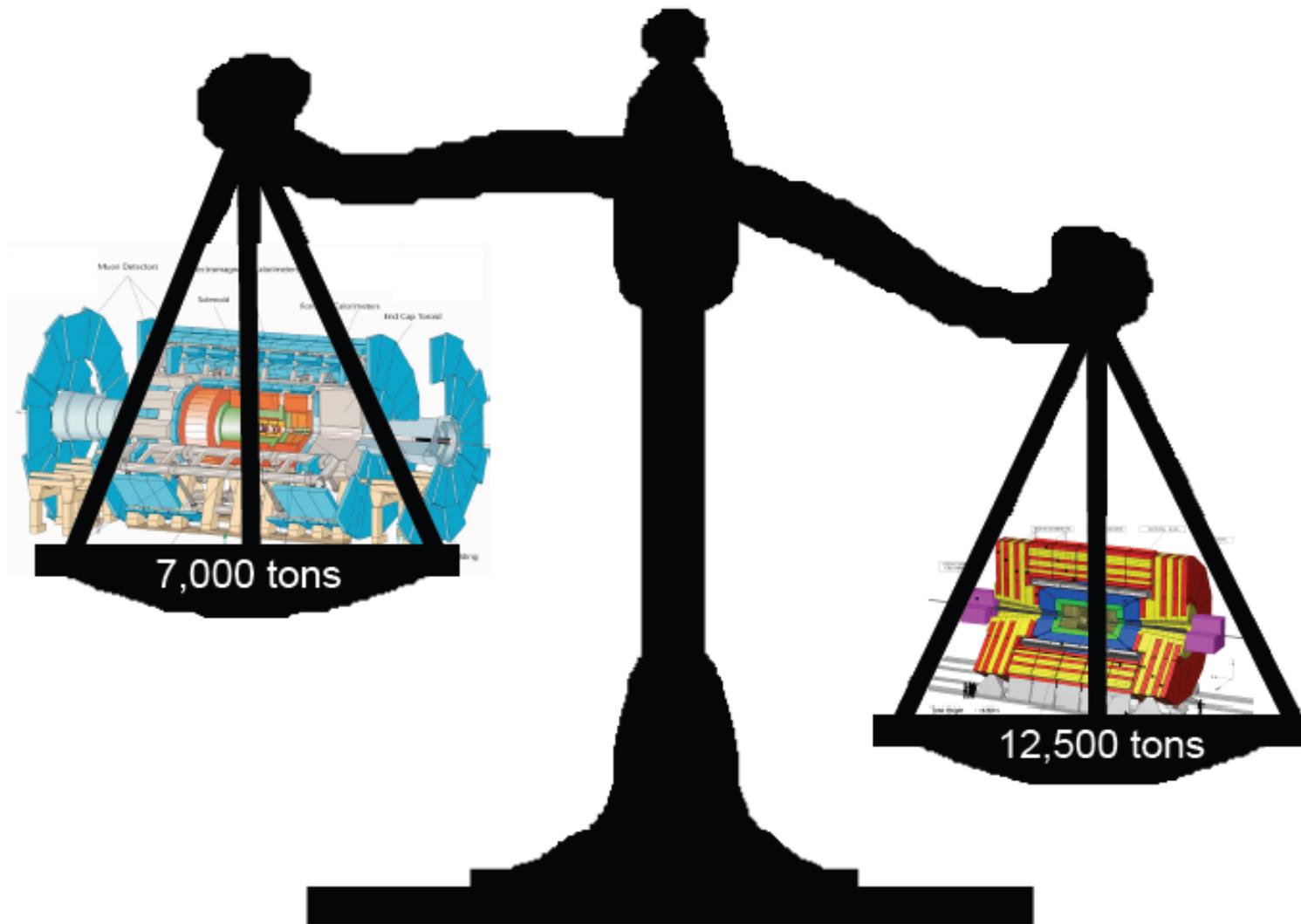


СЕГОДНЯ: Основные эксперименты на Большом адронном коллайдере



ATLAS и CMS: кто круче?

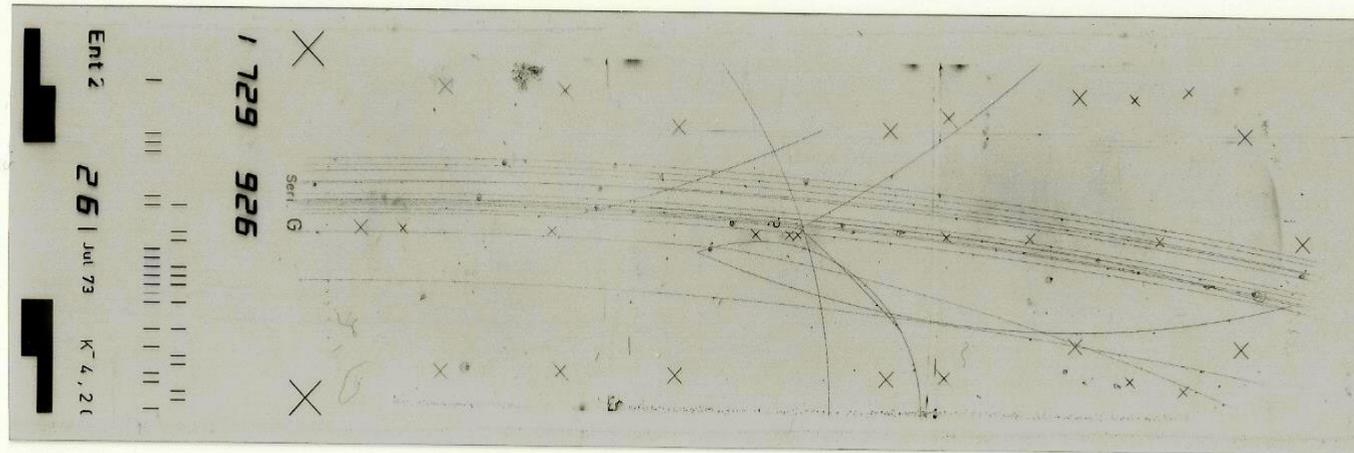




Детекторы частиц: вчера



Раньше для регистрации треков (следов) частиц использовались Пузырьковые камеры, фото-эмульсии...



-> **НОВЫЕ ДЕТЕКТИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ** ->

Вчера:

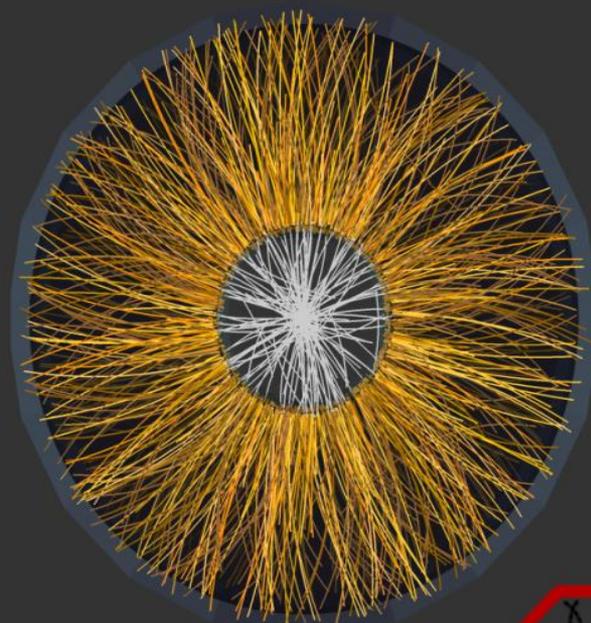
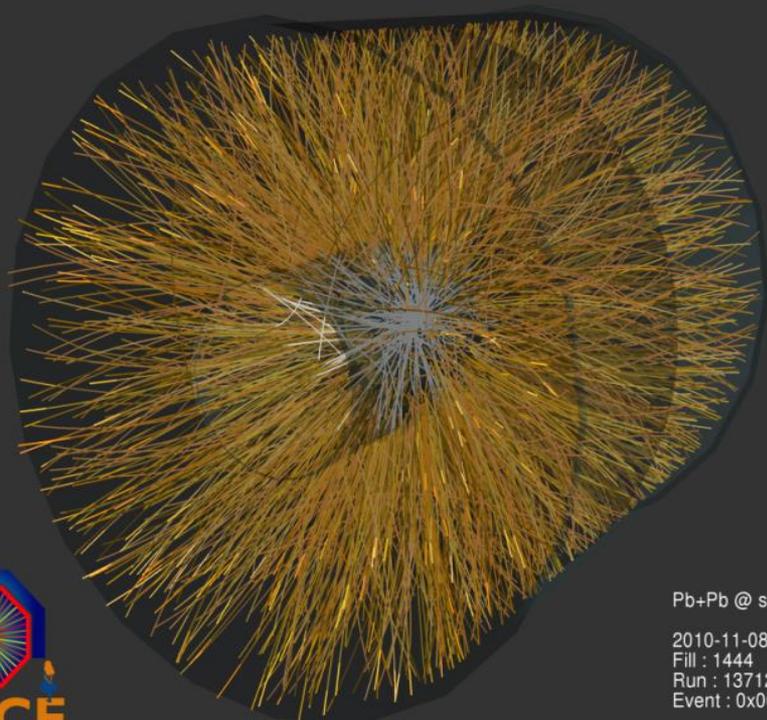


Трек (track) – видимый след, оставляемый *заряженной* частицей (или атомным ядром) в веществе детектора частиц и воспроизводящий траекторию её движения.

Рис. Распад ${}^4_2\text{He} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H} + {}^2_1\text{H} + \pi$ на лету (фотоэмульсия).



Сегодня: *электронный* эксперимент.
Одновременная регистрация до 3-4 тысяч треков
частиц в одном событии!



Pb+Pb @ sqrt(s) = 2.76 ATeV

2010-11-08 11:29:42

Fill : 1444

Run : 137124

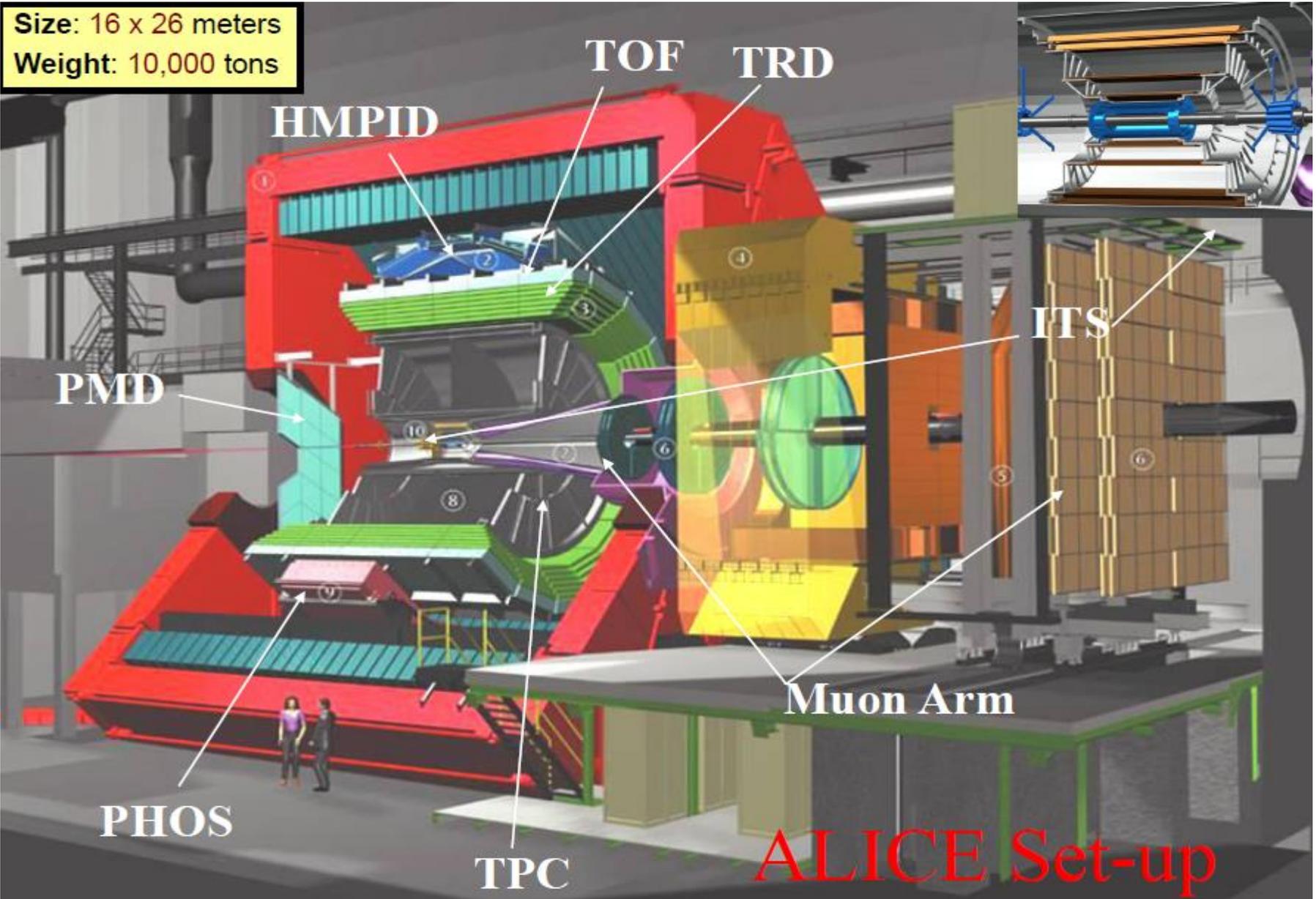
Event : 0x00000000271EC693



Установка ALICE (A Large Ion Collider Experiment)

26 m длина, 16 m высота, 16 m ширина. Вес: 10 000 тонн

Size: 16 x 26 meters
Weight: 10,000 tons



ALICE Set-up

Международное сотрудничество
коллаборация ALICE -- 35 стран 118 университетов
более 1300 участников



Российское участие в подготовке ALICE с 1992 года:

Спектрометр PHOS

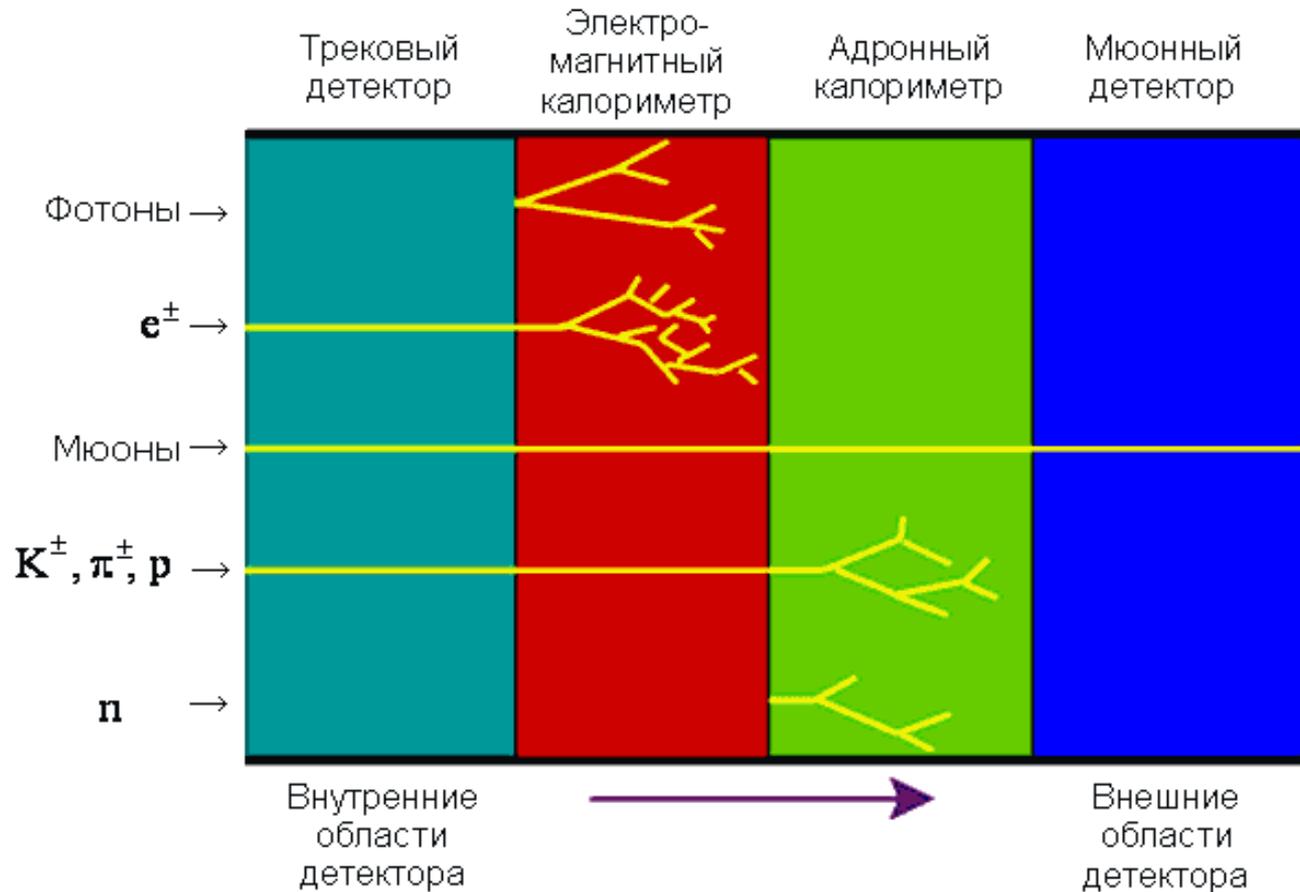
Внутренняя трековая система (ITS)

Мюонный детектор

Стартовый детектор

Времяпролетная система

Принцип построения детекторов LHC.



Трековые детекторы ALICE

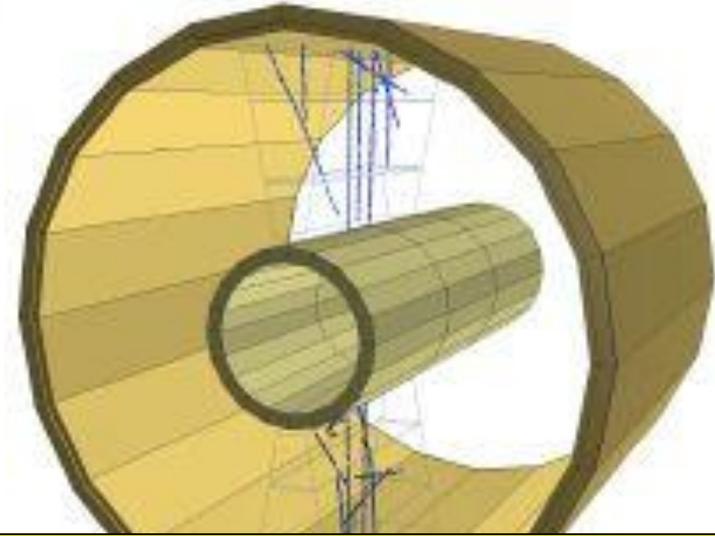
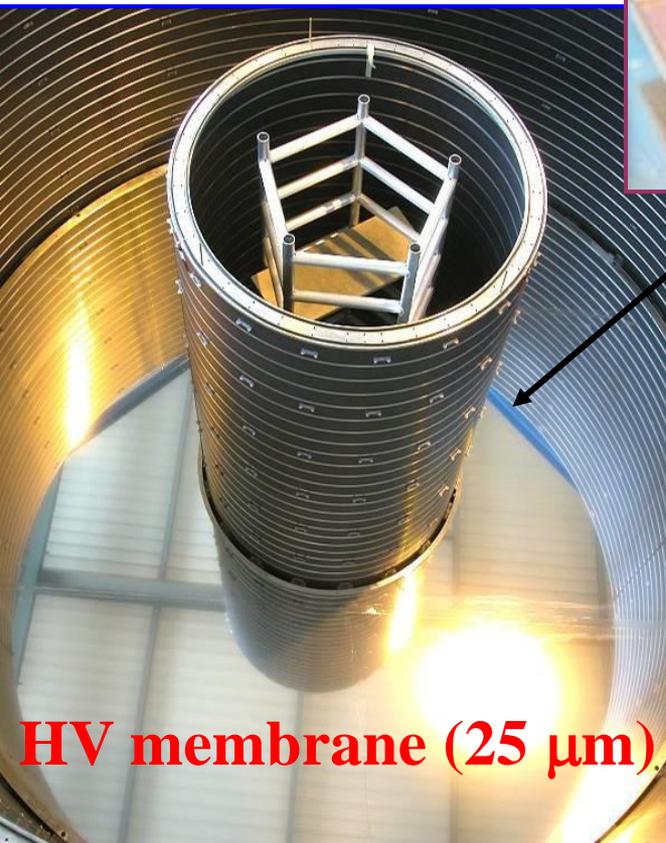
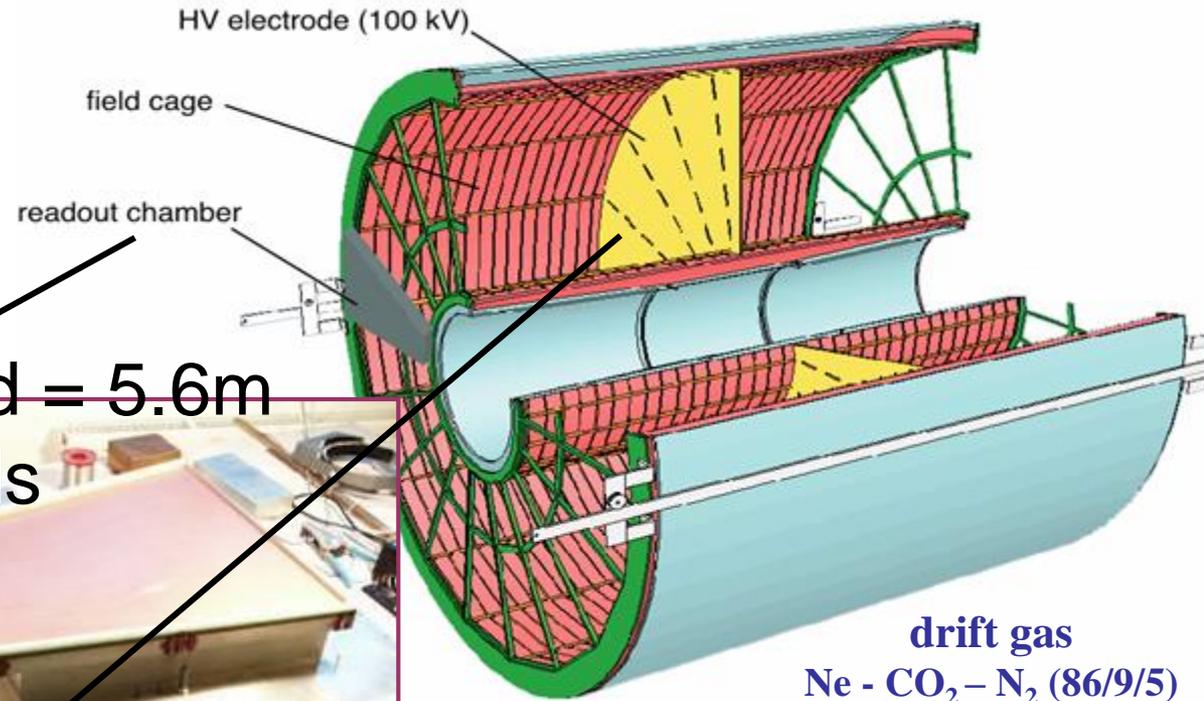
Требования:

- неискаженная траектория частиц
- определение сорта частиц (идентификация)
- минимум вещества на пути частиц

Основная особенность ALICE – рекордная радиационная прозрачность

Time Projection Chamber

- largest ever,
- novel features:
 - 88 m³, l = 5 m, d = 5.6m
 - 570 k channels



HV membrane (25 μm)

16 May 2006
First cosmic and laser tracks !



The ALICE TPC Field Cage

Photos by Michael Hoch@cern.ch



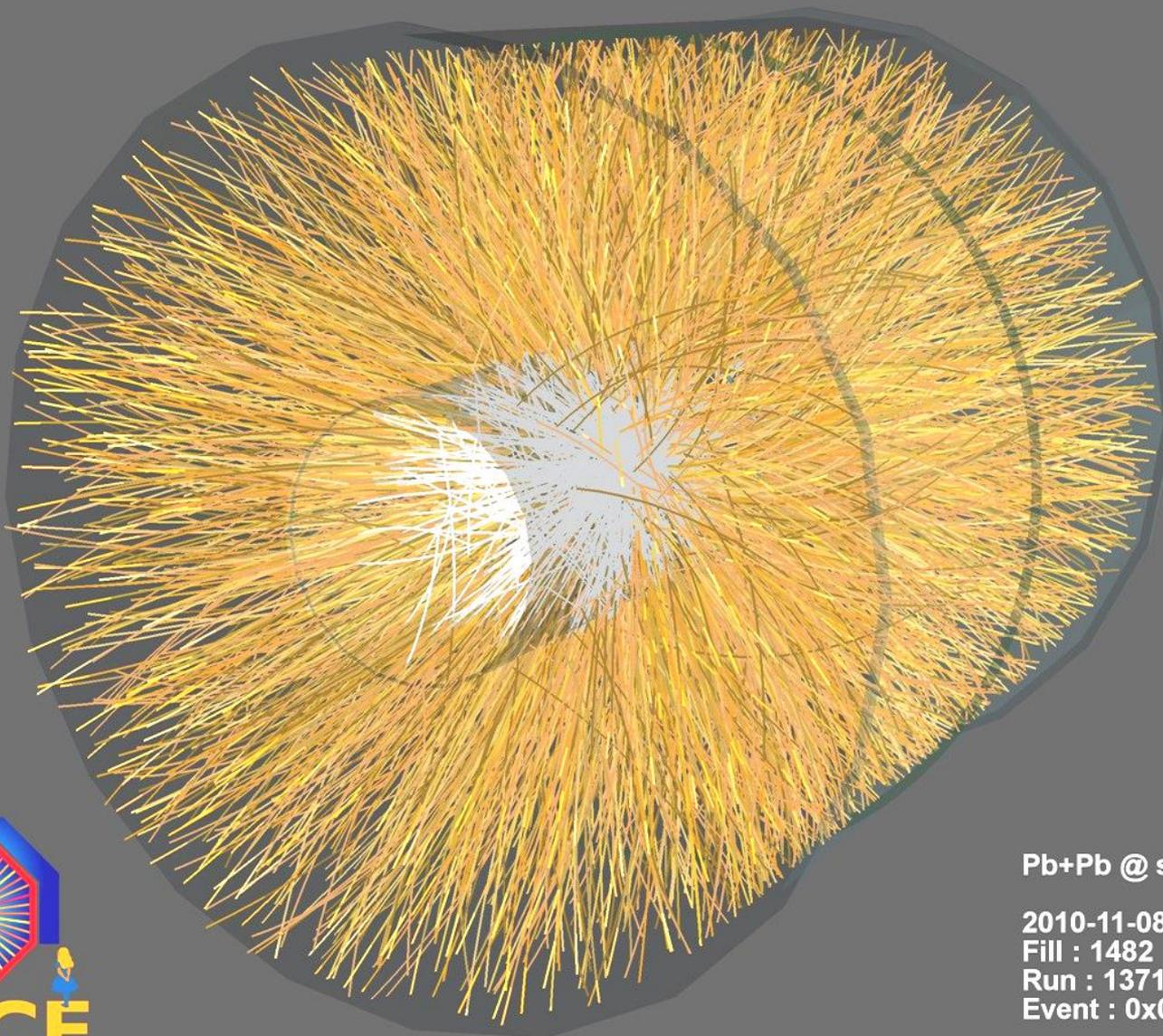




photo by Michael Hoch







Pb+Pb @ $\sqrt{s} = 2.76$ ATeV

2010-11-08 11:30:46

Fill : 1482

Run : 137124

Event : 0x00000000D3BBE693

Внутренняя трековая система Inner Tracking System (ITS)

Silicon Pixel Detector (SPD):

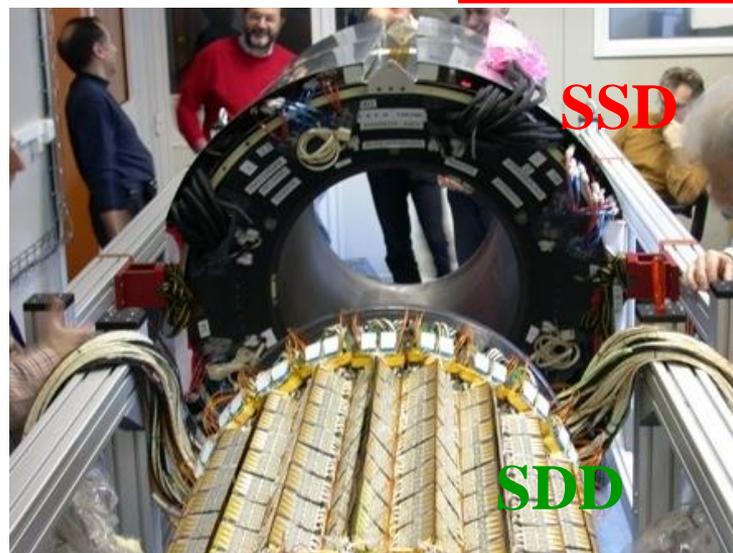
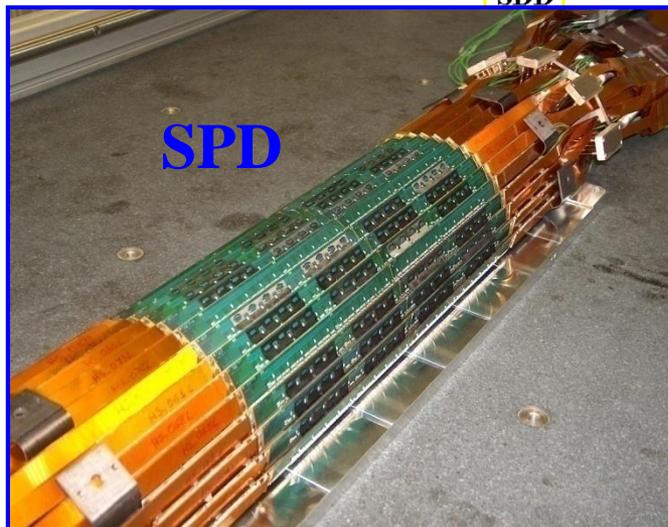
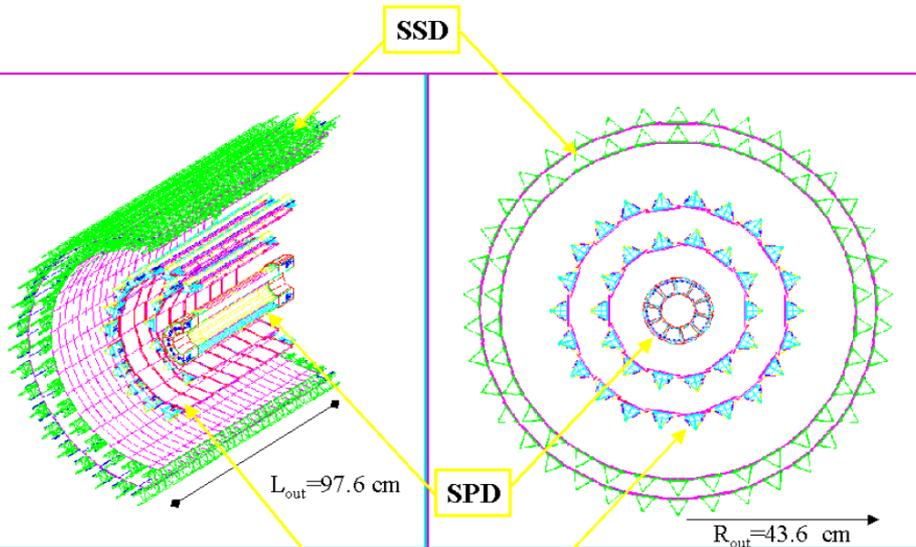
- ~10M channels
- 240 alignable vol. (60 ladders)

Silicon Drift Detector (SDD):

- ~133k channels
- 260 alignable vol. (36 ladders)

Silicon Strip Detector (SSD):

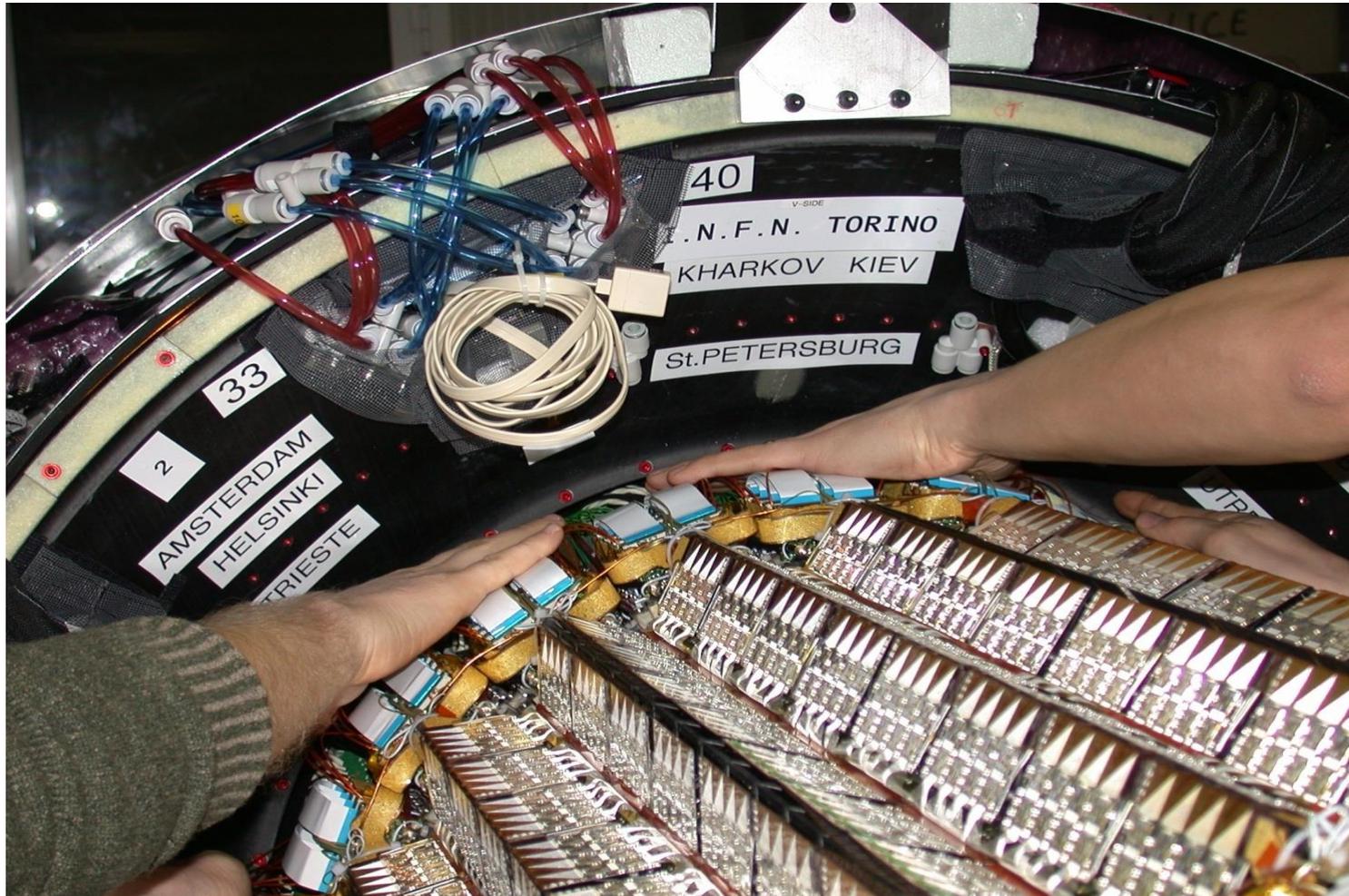
- ~2.6M channels
- 1698 alignable vol. (72 ladders)



ITS total:
2198 alignable
sensitive volumes
→ 13188 d.o.f.



Санкт-Петербург: разработки для эксперимента ALICE
(с 1992 по 2007 год, в эксплуатации – с 2008 года по н.вр.)



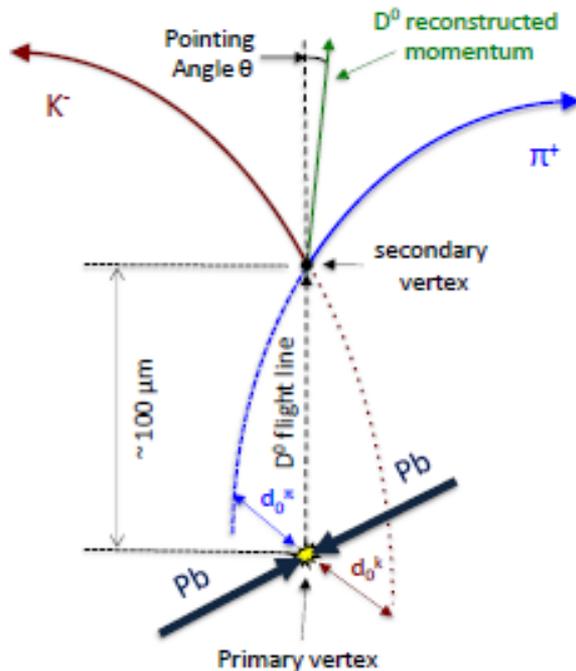
Модификация внутренней трековой системы (к 2018 году)

-- повышение эффективности восстановления вторичных вершин, дальнейшее уменьшение количества вещества в центральной области

ITS performance - Tracking and vertex determination



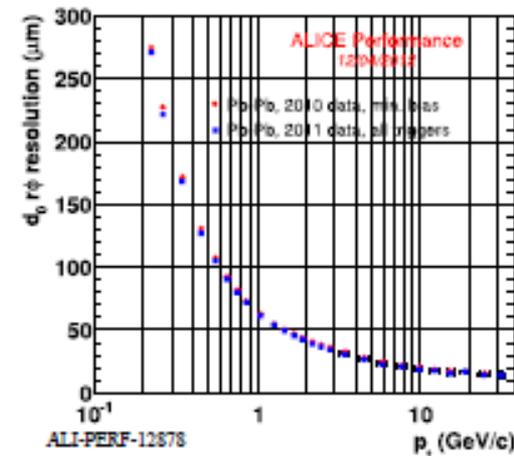
Example: D^0 meson



Analysis based on decay topology and invariant mass technique

Open charm

Particle	Decay Channel	сг (μm)
D^0	$K^- \pi^+$ (3.8%)	123
D^+	$K^- \pi^+ \pi^+$ (9.5%)	312
D_s^+	$K^+ K^- \pi^+$ (5.2%)	150
Λ_c^+	$p K^- \pi^+$ (5.0%)	60

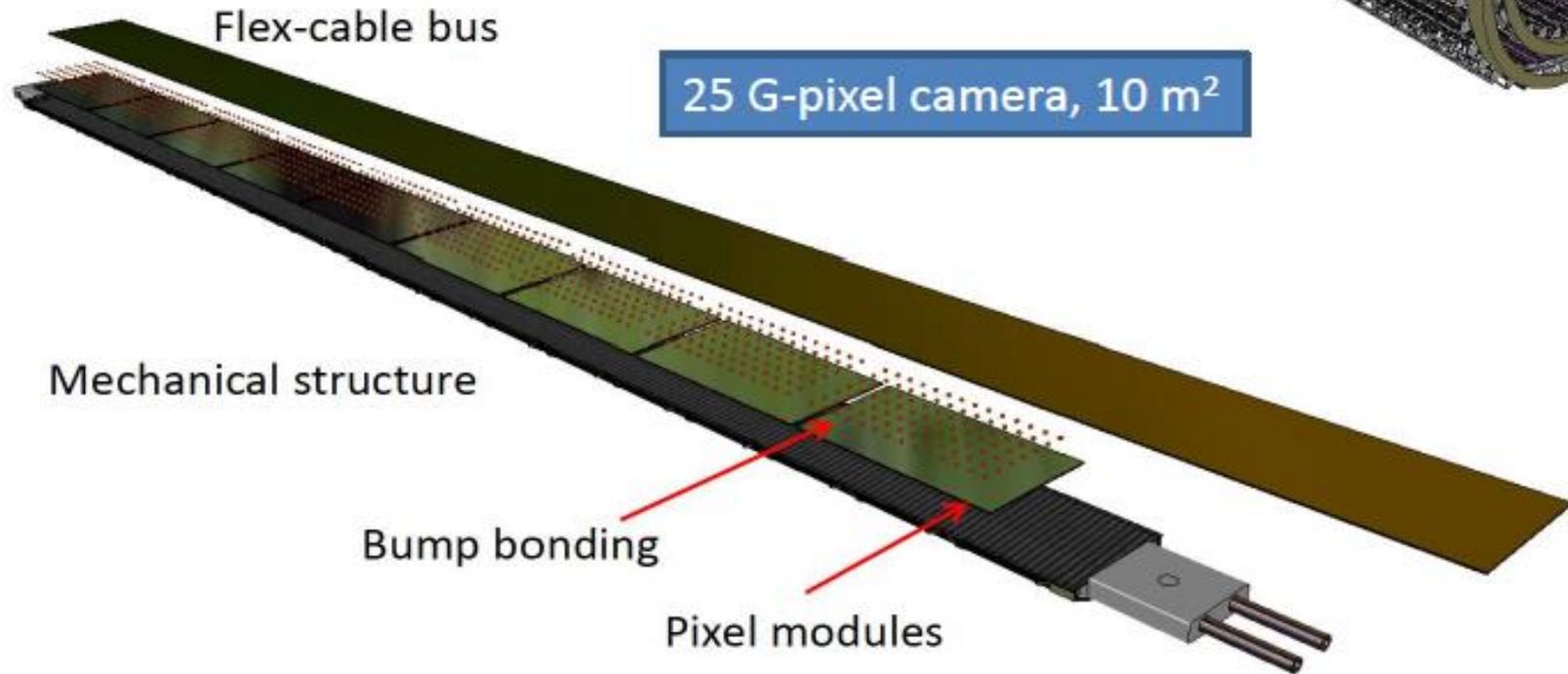
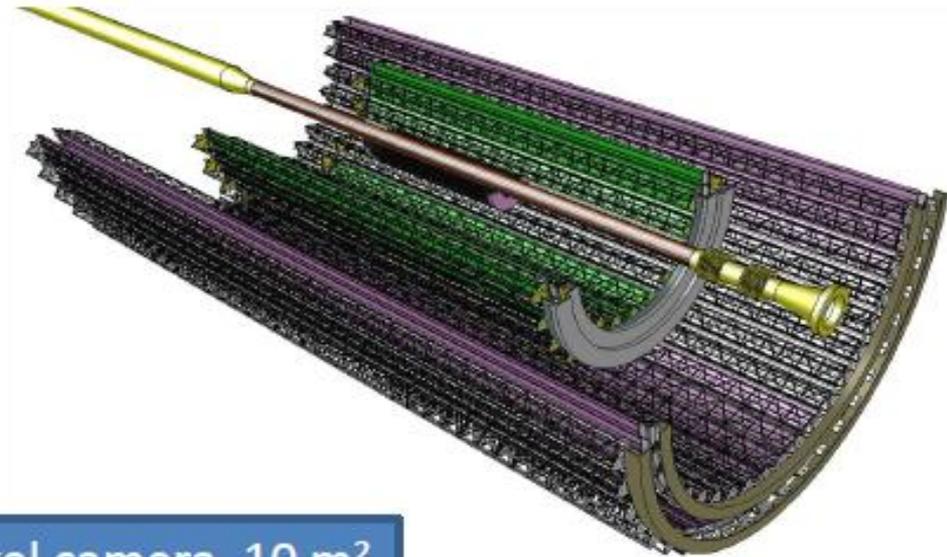


New ITS (baseline)

Inner Barrel: 3 layers
Outer Barrel: 4 layers

Detector module (**Stave**) consists of

- Carbon fiber mechanical support
- Cooling unit
- Polyimide printed circuit board
- Silicon chips (CMOS sensors)



25 G-pixel camera, 10 m²

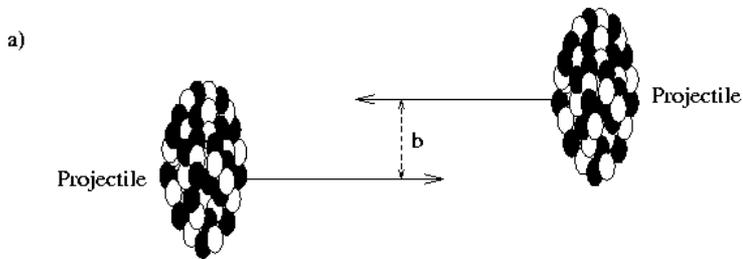
Flex-cable bus

Mechanical structure

Bump bonding

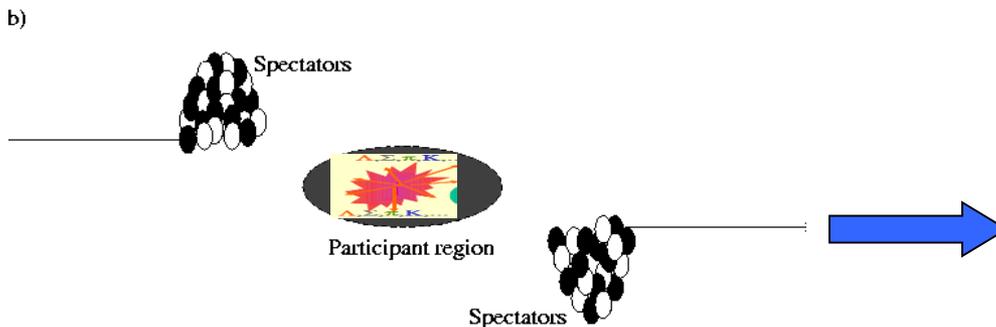
Pixel modules

Отбор центральных событий в эксперименте ALICE



N_{spect} - число нуклонов-спектаторов

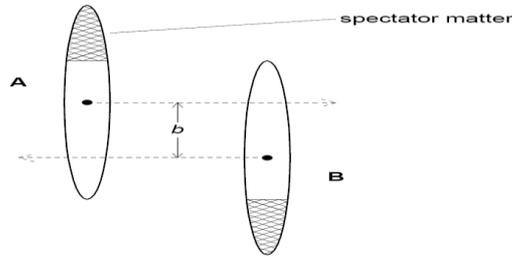
N_{part} - число нуклонов-участников



$$E_{\text{ZDC}}(\text{TeV}) = 2.76 \times N_{\text{spectators}}$$

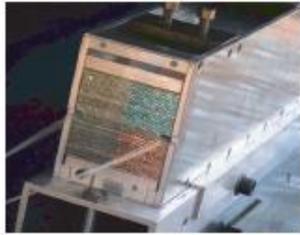
$$N_{\text{participants}} = A - N_{\text{spectators}}$$

Отбор центральных событий в эксперименте ALICE

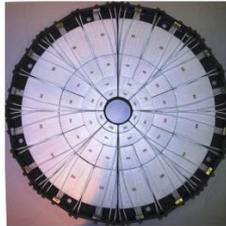
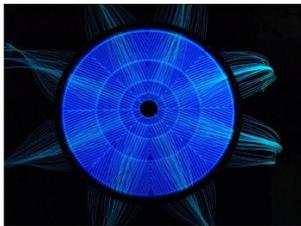


$$E_{ZDC}(\text{TeV}) = 2.76 \times N_{\text{spectators}}$$

$$N_{\text{participants}} = A - N_{\text{spectators}}$$



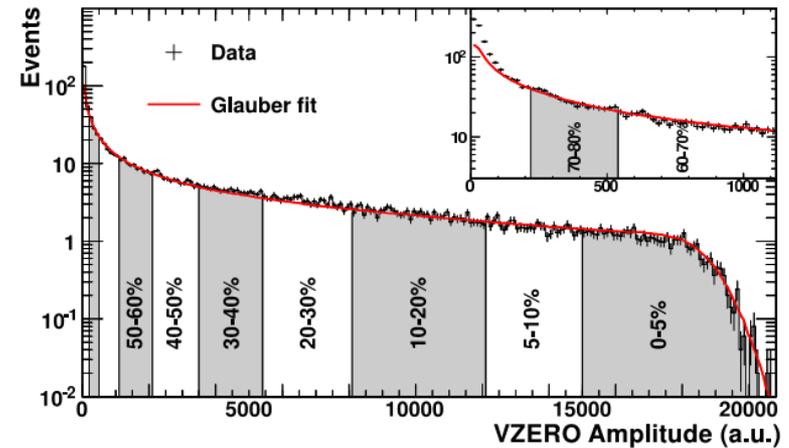
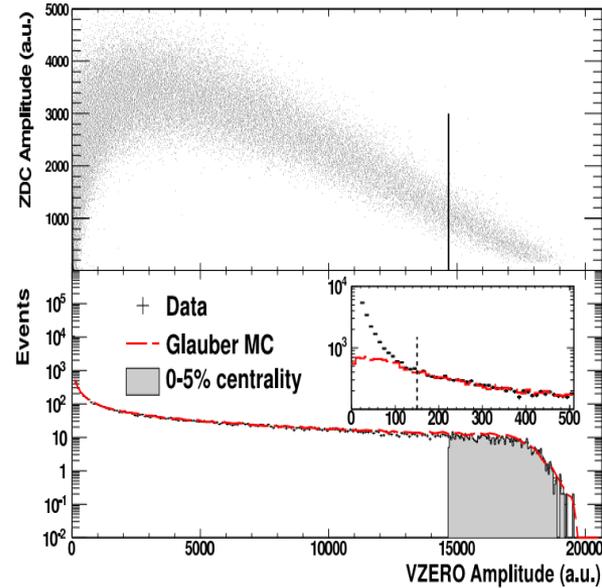
Front view of ZDC
ZN and ZP calorimeters



VZERO: Front view of V0A and V0C arrays

$2.8 < \eta < 5.1$ and $-3.7 < \eta < -1.7$

K. Aamodt et al. (ALICE), JINST, 3, S08002 (2008)



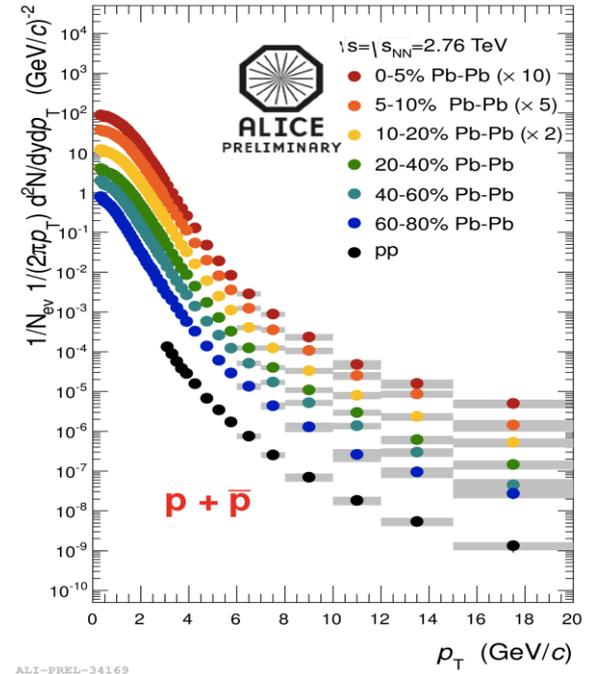
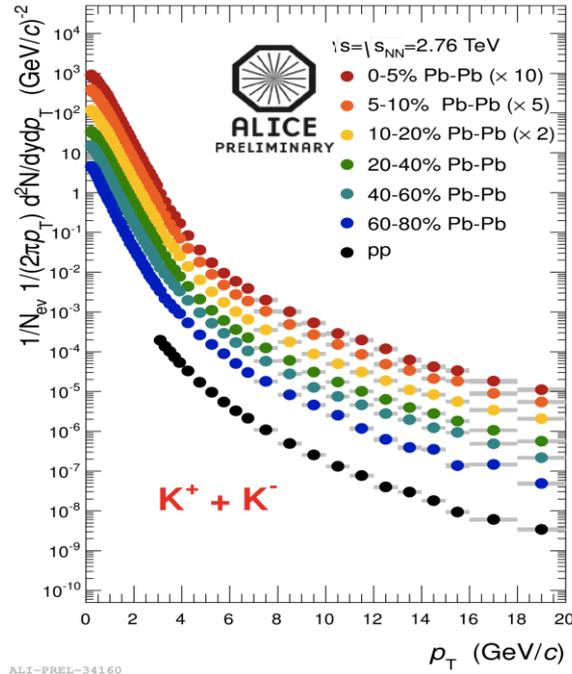
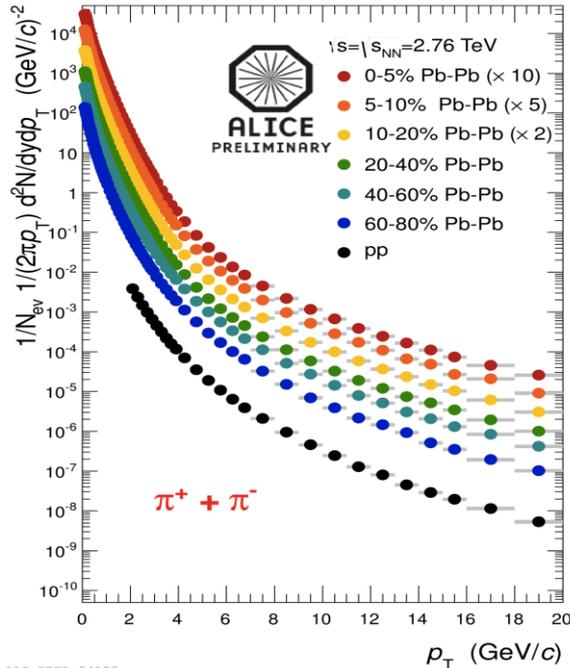
arXiv:1011.3916 [nucl-ex]. [Phys. Rev. Lett. 105 \(2010\) 252301](https://arxiv.org/abs/1011.3916)

Некоторые результаты

Ядро-ядерные столкновения: что мы наблюдаем?

Распределение частиц по поперечному импульсу:

Identified-particle p_T spectra up to 20 GeV/c

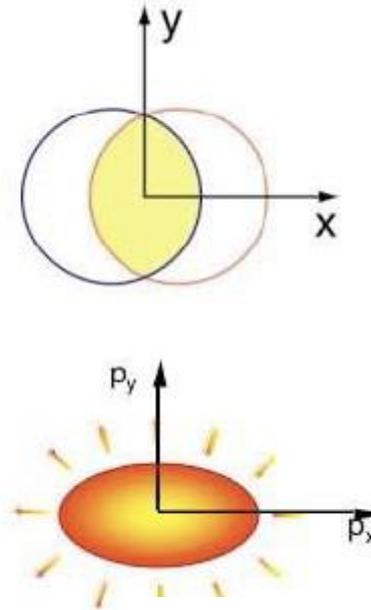
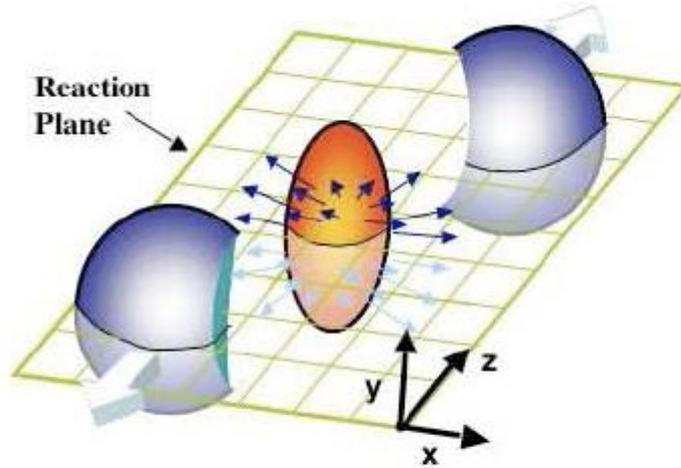


95 % of all particles below 1.5 GeV/c : particle production non-perturbative process

- Low- $p_T < 2$ GeV/c** : dynamics of bulk matter described by **Relativistic Hydrodynamic Models (RHD)**
- High- $p_T > 8$ GeV/c** : spectra reflect interaction of partons from hard scatterings with the medium
- Intermediate p_T $2 < p_T < 8$ GeV/c** : interplay of soft and hard processes

Эллиптический поток в Pb-Pb столкновениях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV:

пространственная начальная анизотропия переходит в азимутальную анизотропию распределения импульсов частиц (!)



Tannebaum' 06

$$E \frac{d^3 N}{d^3 p} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2 N}{p_t dp_t dy} \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} 2v_n \cos[n(\phi - \Psi_R)] \right)$$

$$v_2 = \langle \cos 2(\phi - \Psi_R) \rangle = \left\langle \frac{p_x^2 - p_y^2}{p_T^2} \right\rangle$$

Excintricity: $\epsilon_x = \frac{\langle y^2 - x^2 \rangle}{\langle y^2 + x^2 \rangle}$

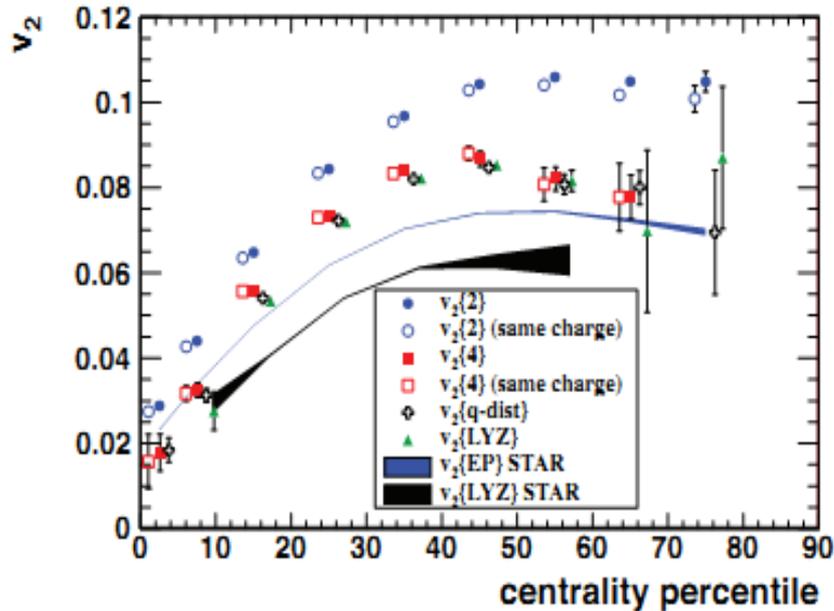
2- and 4-particle cumulant methods: $v_2\{2\}$ and $v_2\{4\}$

arXiv:1011.3914v1 [nucl-ex] 17 Nov 2010; *Phys. Rev. Lett.* 105 (2010) 252302

Эллиптический поток заряженных частиц в столкновениях Pb-Pb при $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV:



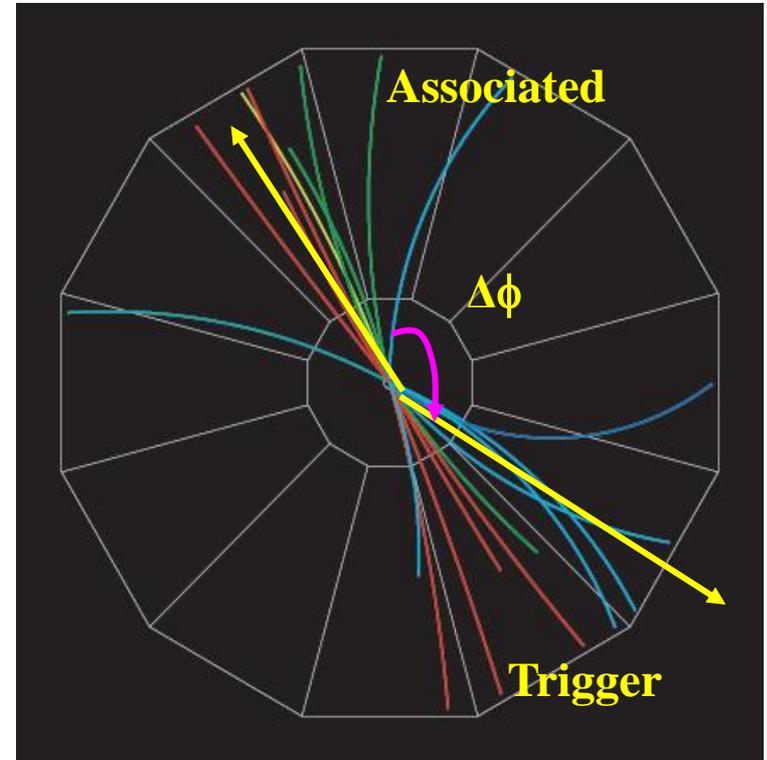
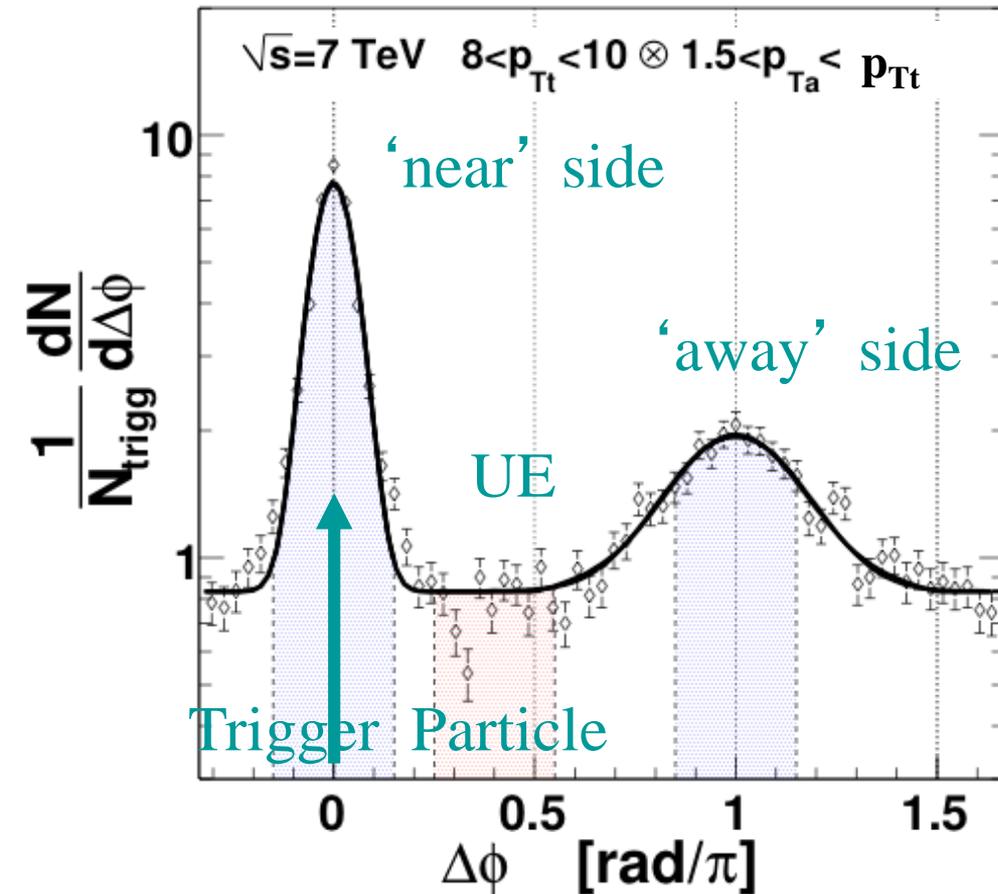
Integrated elliptic flow vs. centrality



➤ CERN Press release, November 26, 2010:

“...confirms that the much hotter plasma produced at the LHC behaves as a very low viscosity liquid (a perfect fluid)...”

High p_T Particle Correlations



Trigger Particle: highest p_T particle in event (p_{Tt})
 Associate Particle: all the others (p_{Ta})

- Материя, образующаяся в Pb-Pb столкновениях при $\sqrt{s_{NN}} = 2,76$ ТэВ на LHC имеет по сравнению с данными при энергии 200 ГэВ данных на RHIC:
 - ~ 3 раза больше плотность энергии
 - ~ 2 раза больший объем однородности
 - ~ большее время жизни $\approx + 20\%$ (≈ 10 фм / с)
- Эта материя демонстрирует свойства почти идеальной жидкости (как и в RHIC)
- Эта материя более плотная, чем на RHIC (более сильное подавления частиц с большими импульсами)
- Остается еще ряд загадок...
- Мы вступаем на новую неизведанную территорию

...все самое интересное только начинается!

Спасибо за внимание!

Back-up

ALICE Open Day at CERN

