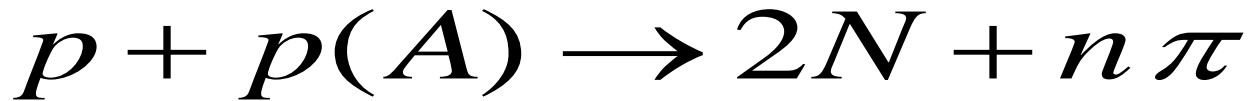


# Search for pions condensation in pp interaction at energy 50 GeV.

Nikitin V  
for SVD collaboration:  
LHEP JINR, IHEP, MSU.

## Цель проекта:

изучение  $pp$  и  $pA$  взаимодействий на ускорителе  
У-70 ИФВЭ (Протвино)

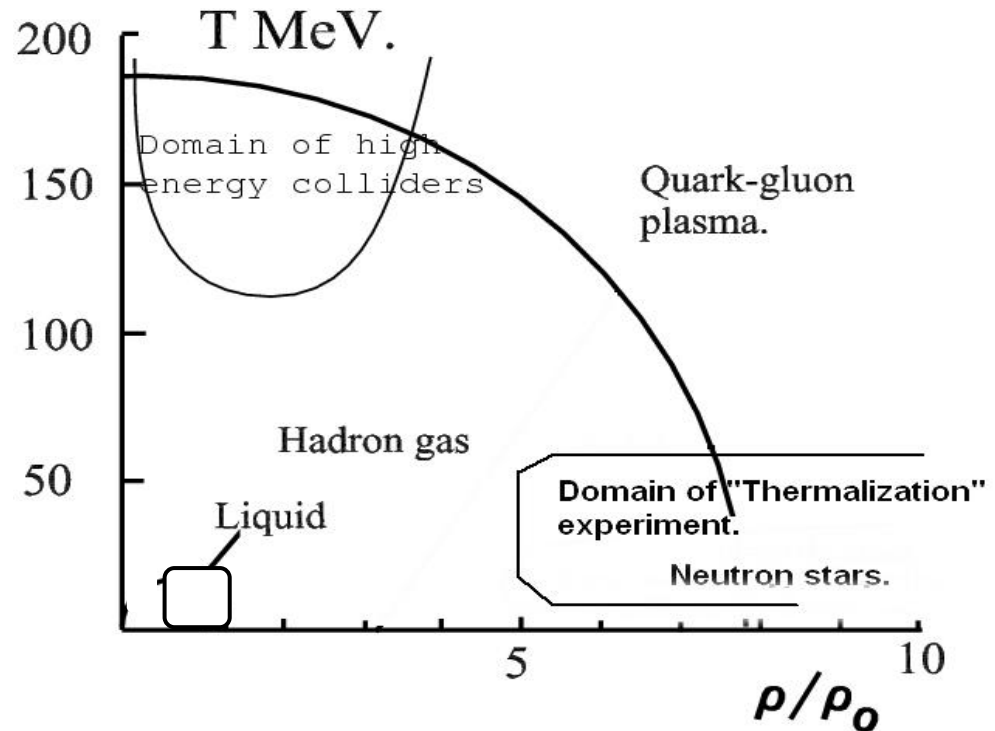


Множественность  $n_{ch}$ ,  $n_0$  или  $n_{tot}$  значительно  
превышают их средние значения (ОБМ):  $n \gg \bar{n}$ .

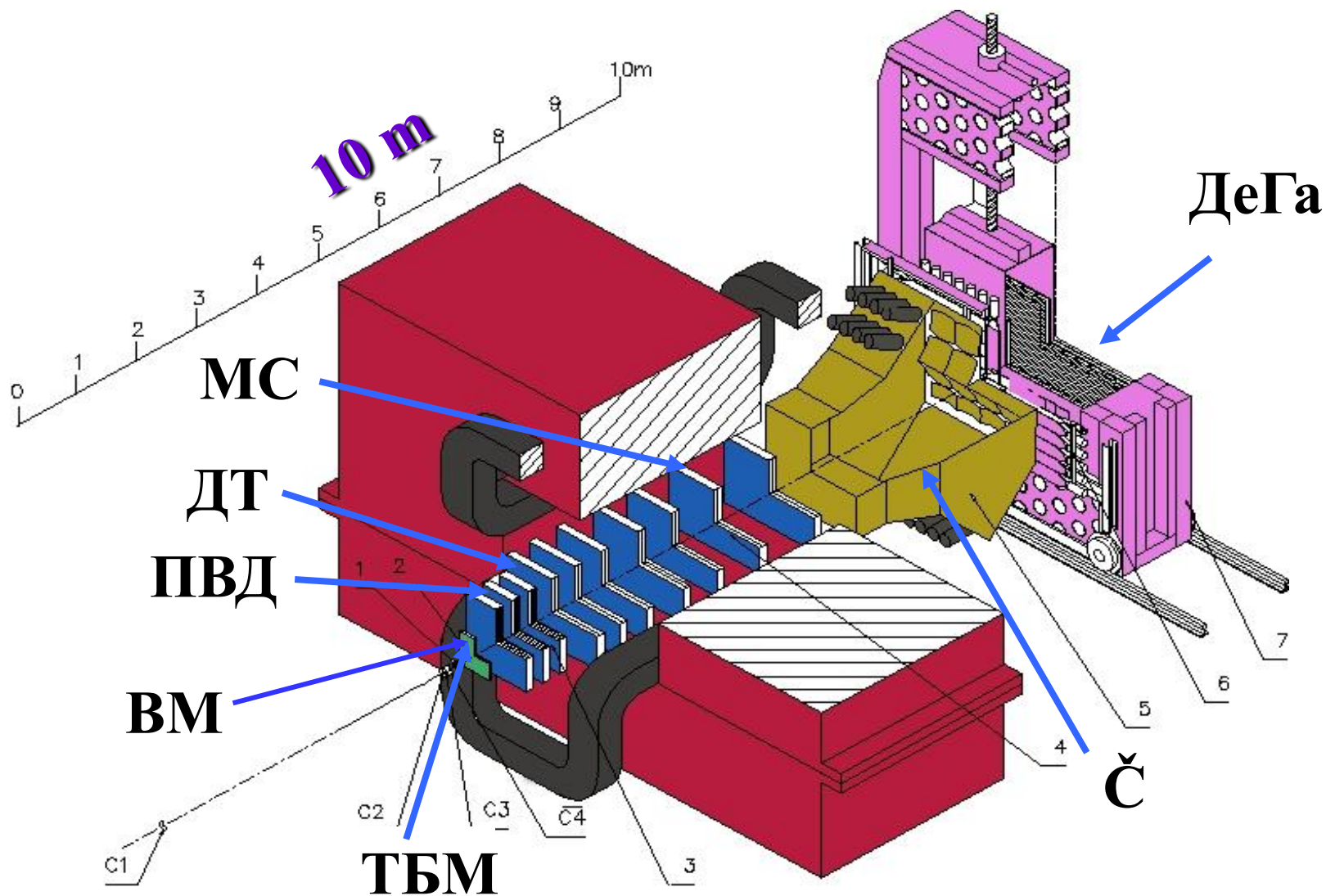
У порога реакции  $n \rightarrow 69$ , большая  
часть энергии в с.ц.м.  $E_{c.m.s.} = 11,6$  ГэВ  
( $E_{lab} = 70$  ГэВ) трансформируется в  
массу вторичных частиц.

Парциальное сечение при  $n = 35$   
составляет  $\approx 1$  нб. Пионы –  
нерелятивистские частицы  
 $E_{\pi} \approx 70$  МэВ.

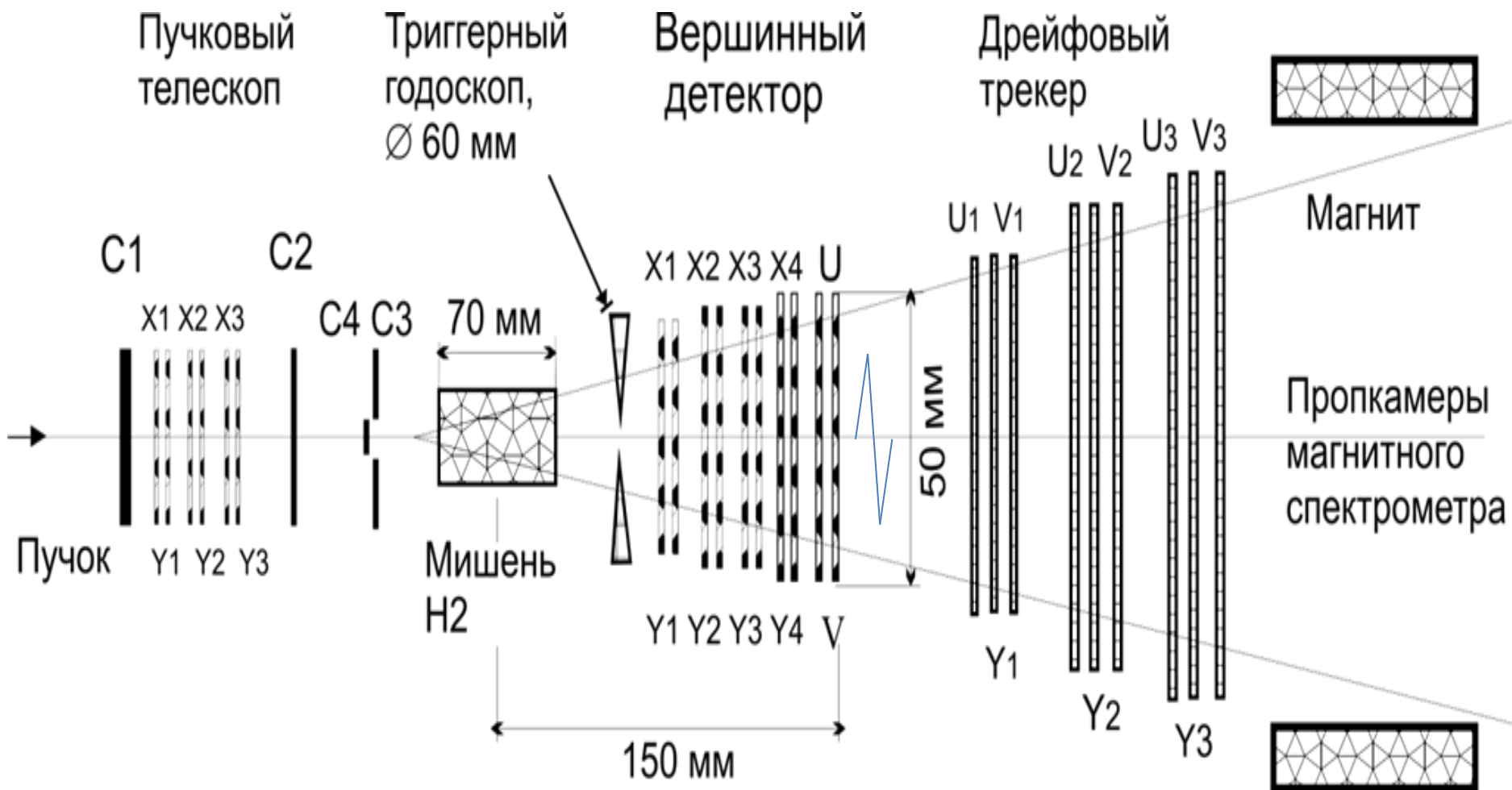
Коэффициент диссипации энергии в  
массу  $\sim 50\%$ . В холодном адронном  
газе может возникнуть ряд  
коллективных эффектов.



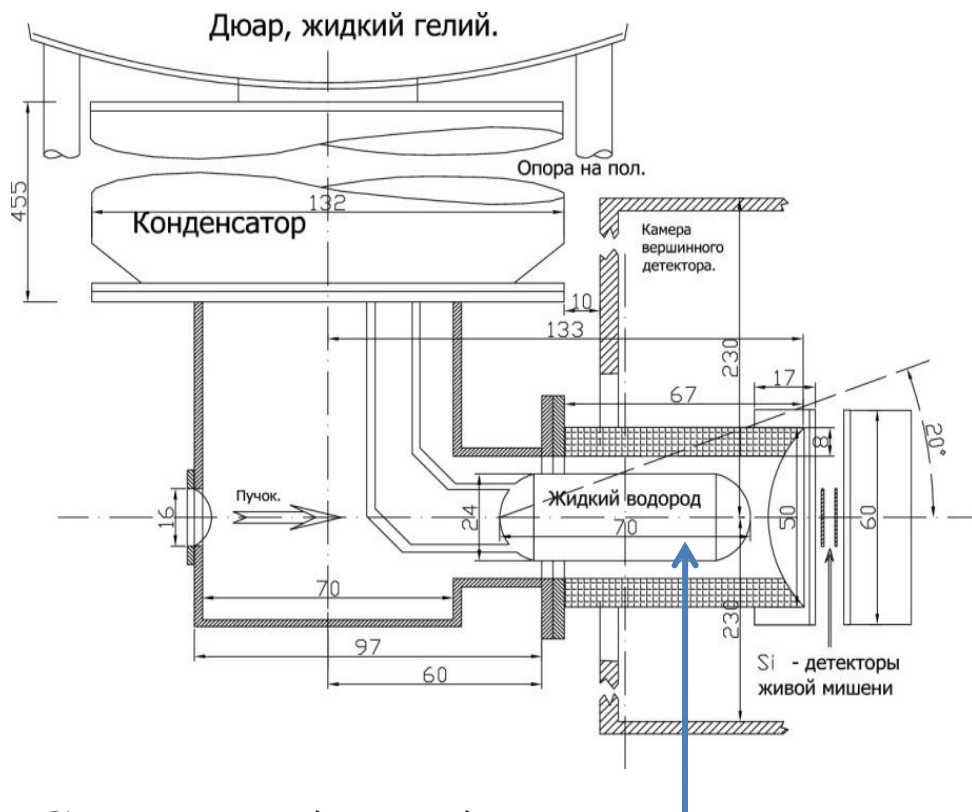
# Установка СВД-2



# Схема передней части СВД-2



# Жидководородная мишень.



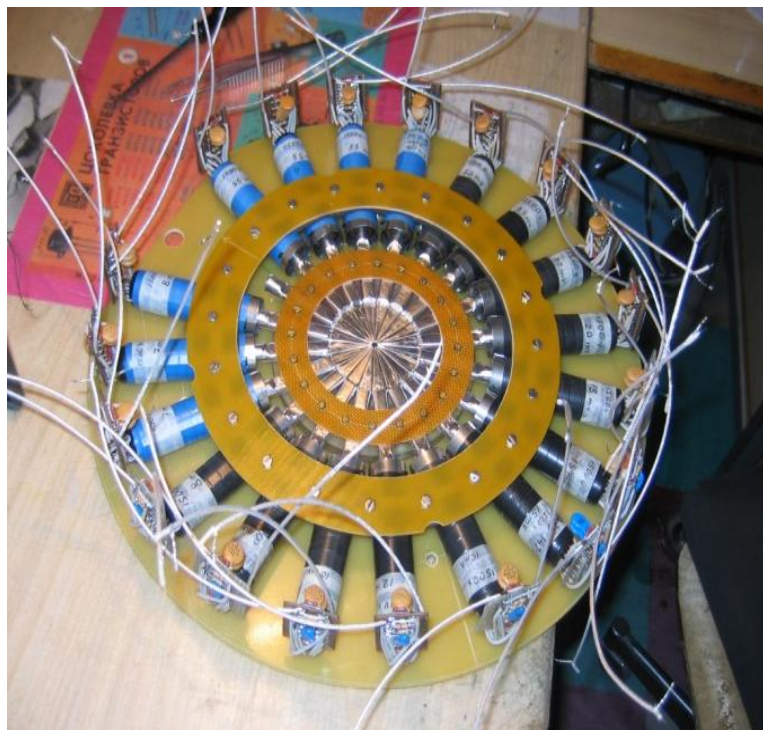
*Схема жидководородной мишени.*

*Размер сосуда  
 $\text{Ø}27 \times 70$   
 $\text{мм}^2$*

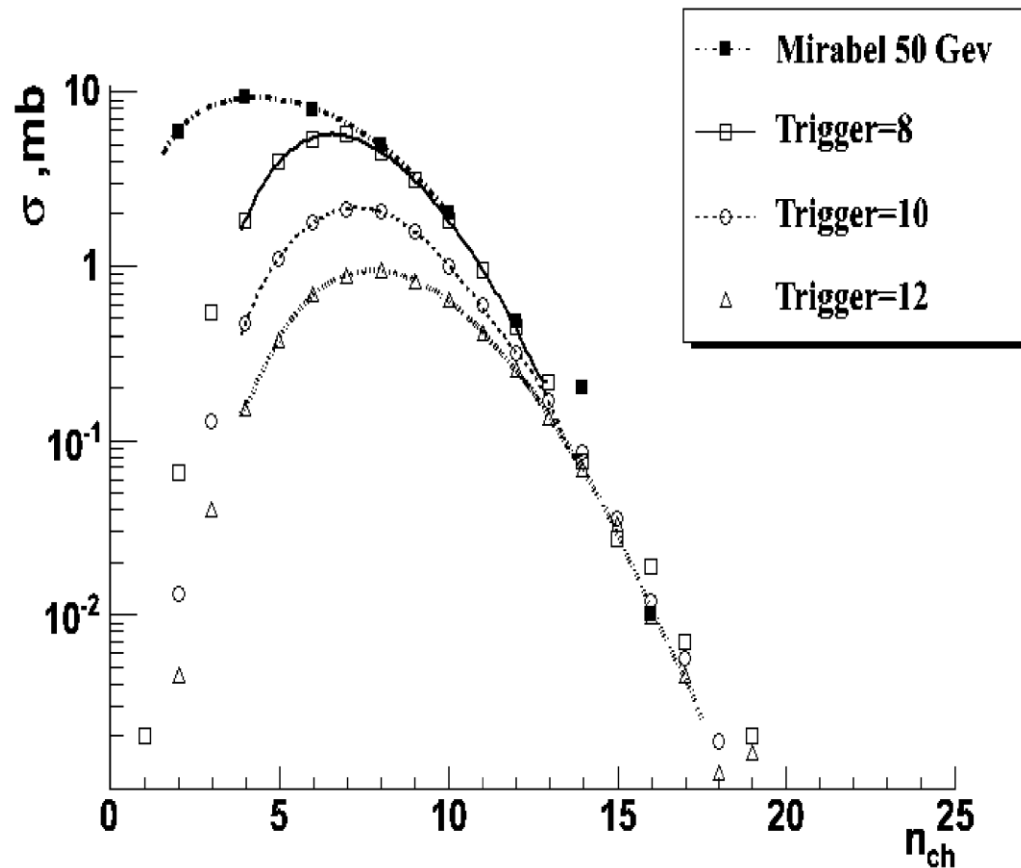


*Л.Б.Голованов и Ю.Т.Борзунов наблюдают заполнение сосуда мишени жидким водородом.*

# Сцинтилляционный триггерный годоскоп большой множественности



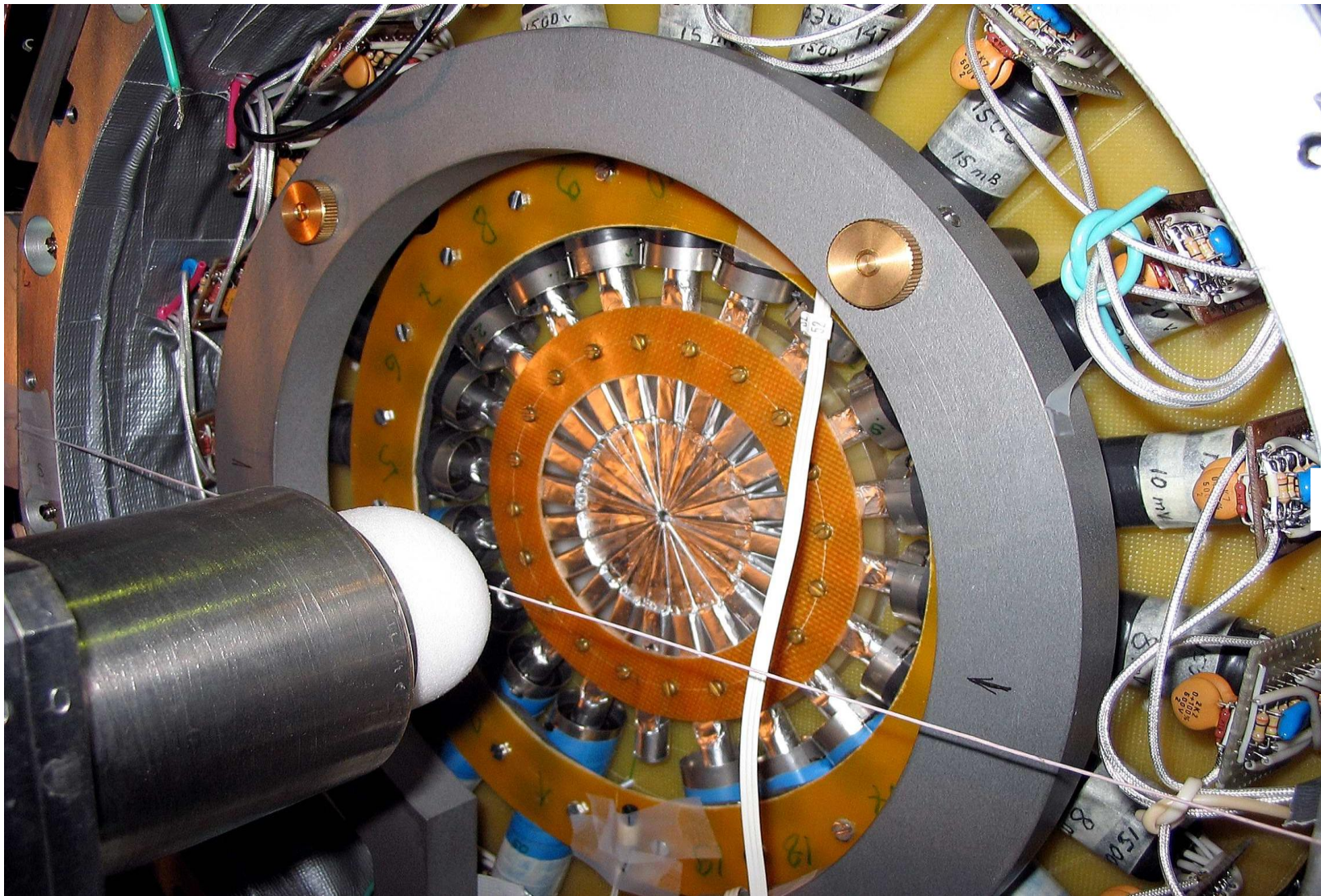
← 230 мм →



Коэффициент подавления событий с малой  
множественностью 100 раз

Уровень триггера  
=  $n \times \text{MIP}$

# Триггерный годоскоп



260 мм

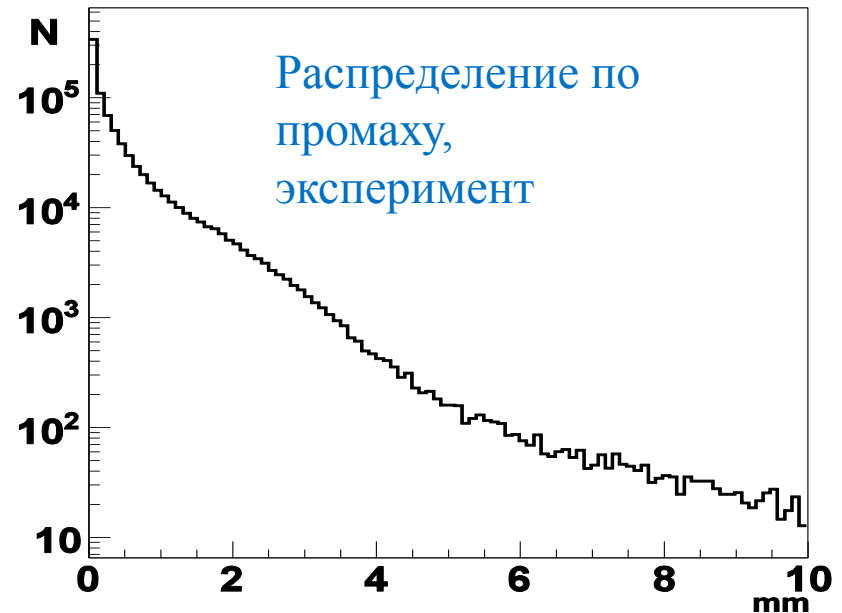
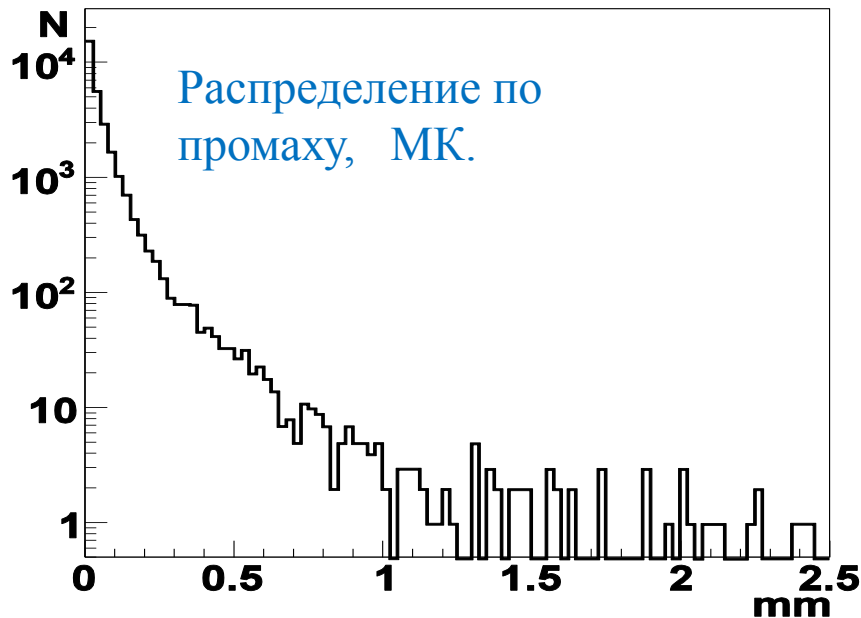
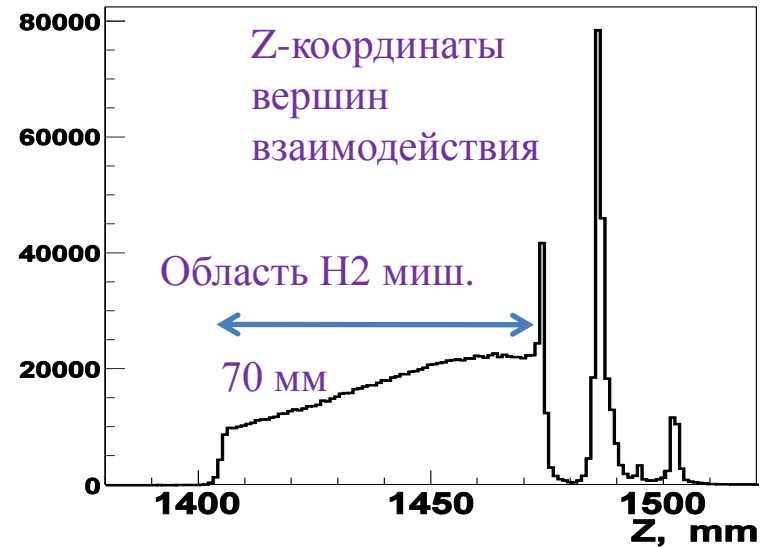
*Водородная мишень и триггерный годоскоп в процессе монтажа в корпусе  
вершинного детектора на СВД.*



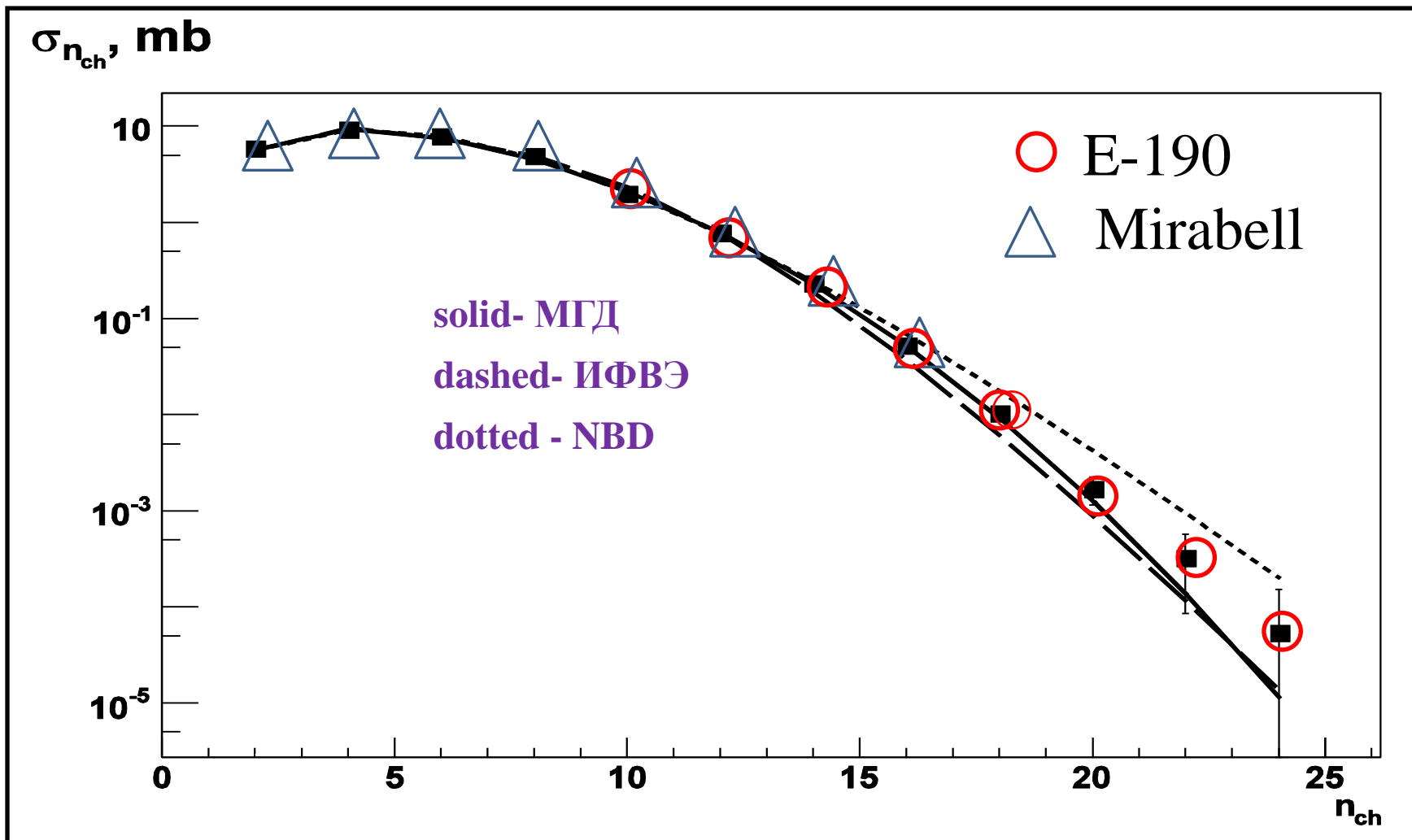


# Отбор событий, реконструкция треков

Сеанс 2008, 5 млн соб. Отобрано около 1млн. по критериям: число пучковых треков в событии  $< 3$ ,  $\Delta Z$ - вершины  $< 5$  мм.



# Сравнение топологических сечений с МОДЕЛЯМИ



# Флуктуации числа нейтральных пионов в ОБМ

## Образование конденсата пионов.

В области фазового перехода в системе частиц возникают большие флуктуации термодинамических величин.

Средняя энергия и плотность пионного газа

$$E_{\pi} = (E_{cms} - 2m_N - n_{\pi} m_{\pi}) / (n_{\pi} + 2)$$

$$E_{p, beam} = 50 \text{ ГэВ}, \quad n_{\pi} = 36 \text{ имеем } E_{\pi} = 75 \text{ МэВ}.$$

Полагаем  $E_{\pi} = E_{crit}$

и вычисляем критическую плотность.

Связь критической энергии и критической плотности:

$$E_{crit} = 3,3 \times (h^2 / m_{\pi}) \times \rho^{2/3}.$$

# Образование конденсата пионов.

Здесь  $\rho$  - критическая плотность газа пионов. Получаем

$$E_{crit} = 75 \text{ МэВ}, \quad E_{\pi} \approx E_{crit}, \quad \rho_{crit} = 0,022 f^{-3}$$

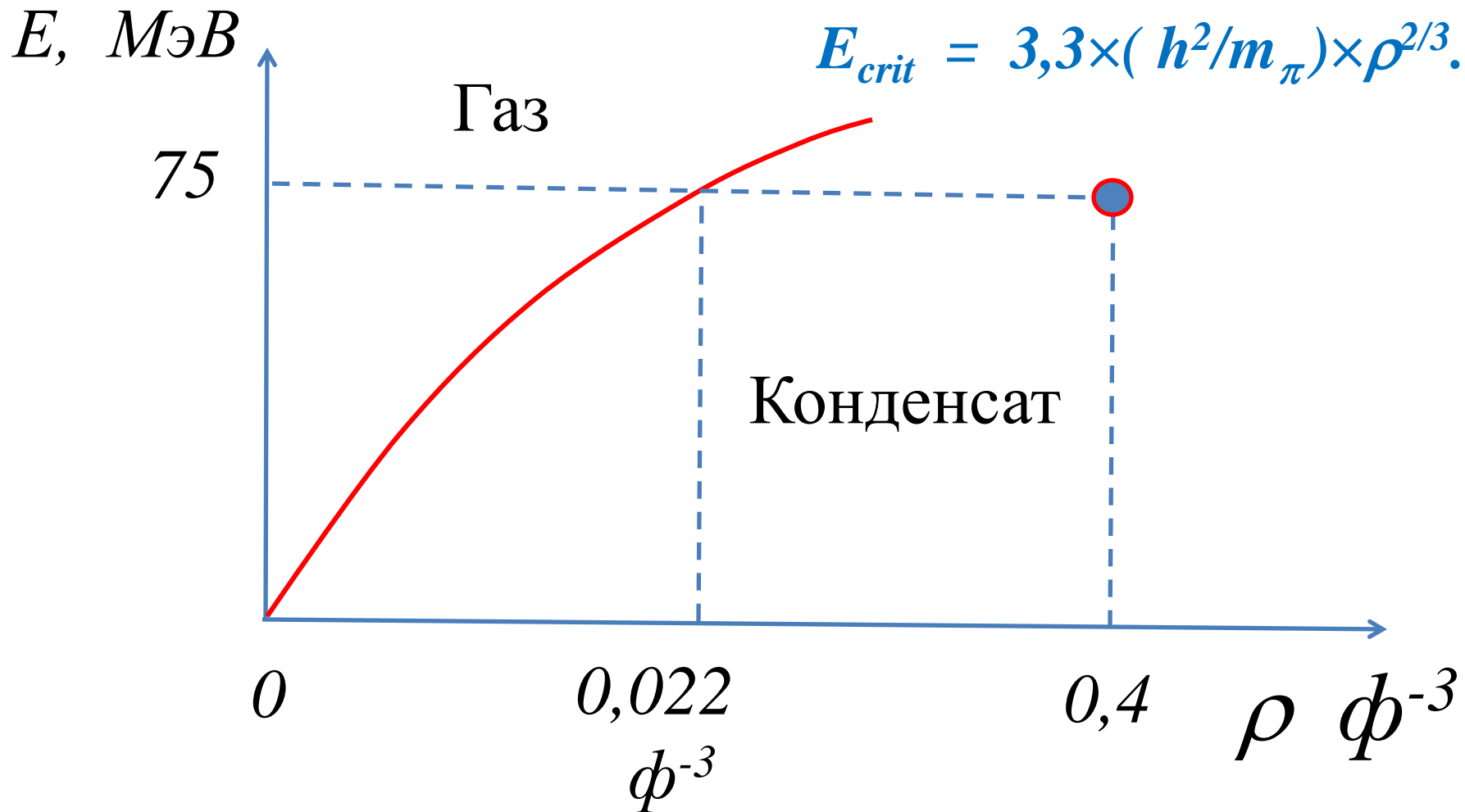
Оценим плотность пионов, полагая радиус фибрбола  $r = 2 f$ .

$$\rho = \frac{N_{\pi}}{3} \frac{1}{V(r=2f)} = 0,4 f^{-3}.$$

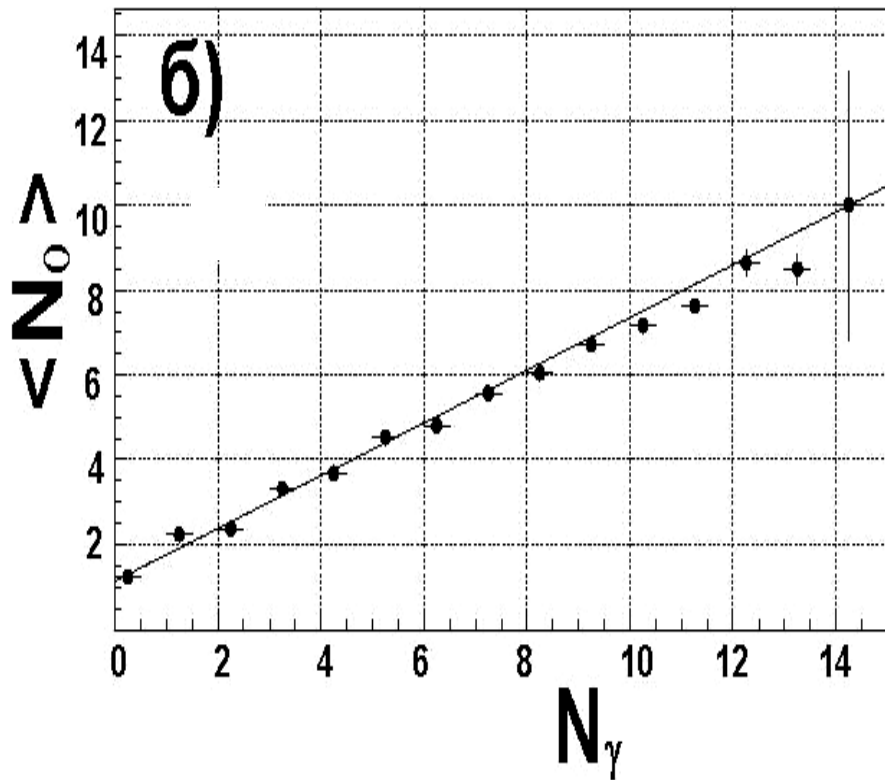
$$\rho > \rho_{crit}$$

**Условие образования конденсата выполнено.**

# Критическая энергия и критическая плотность пионов.

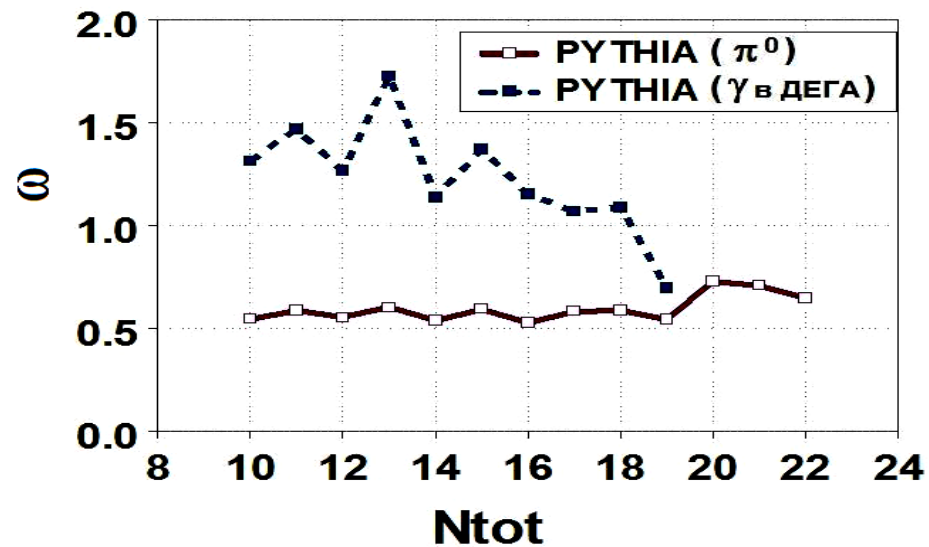
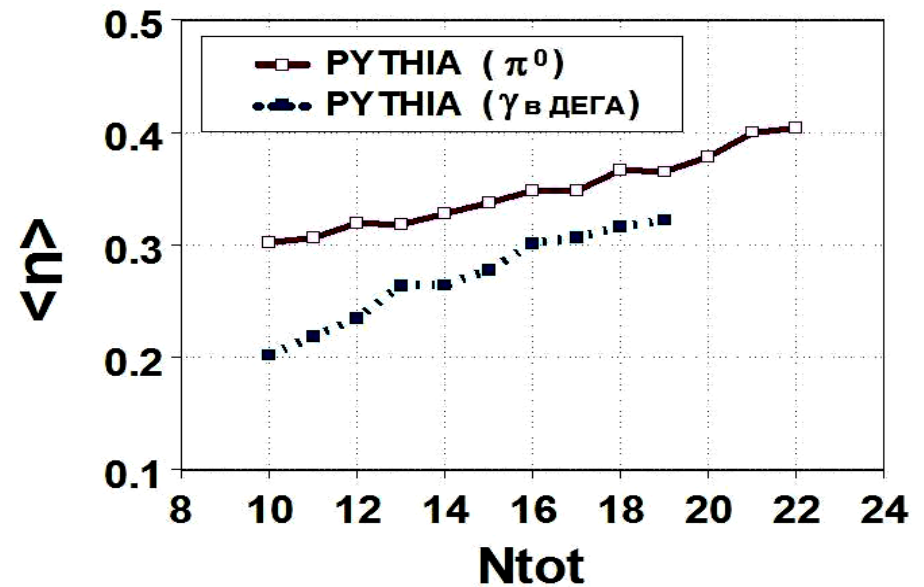


# Моделирование регистрации $\pi^0$



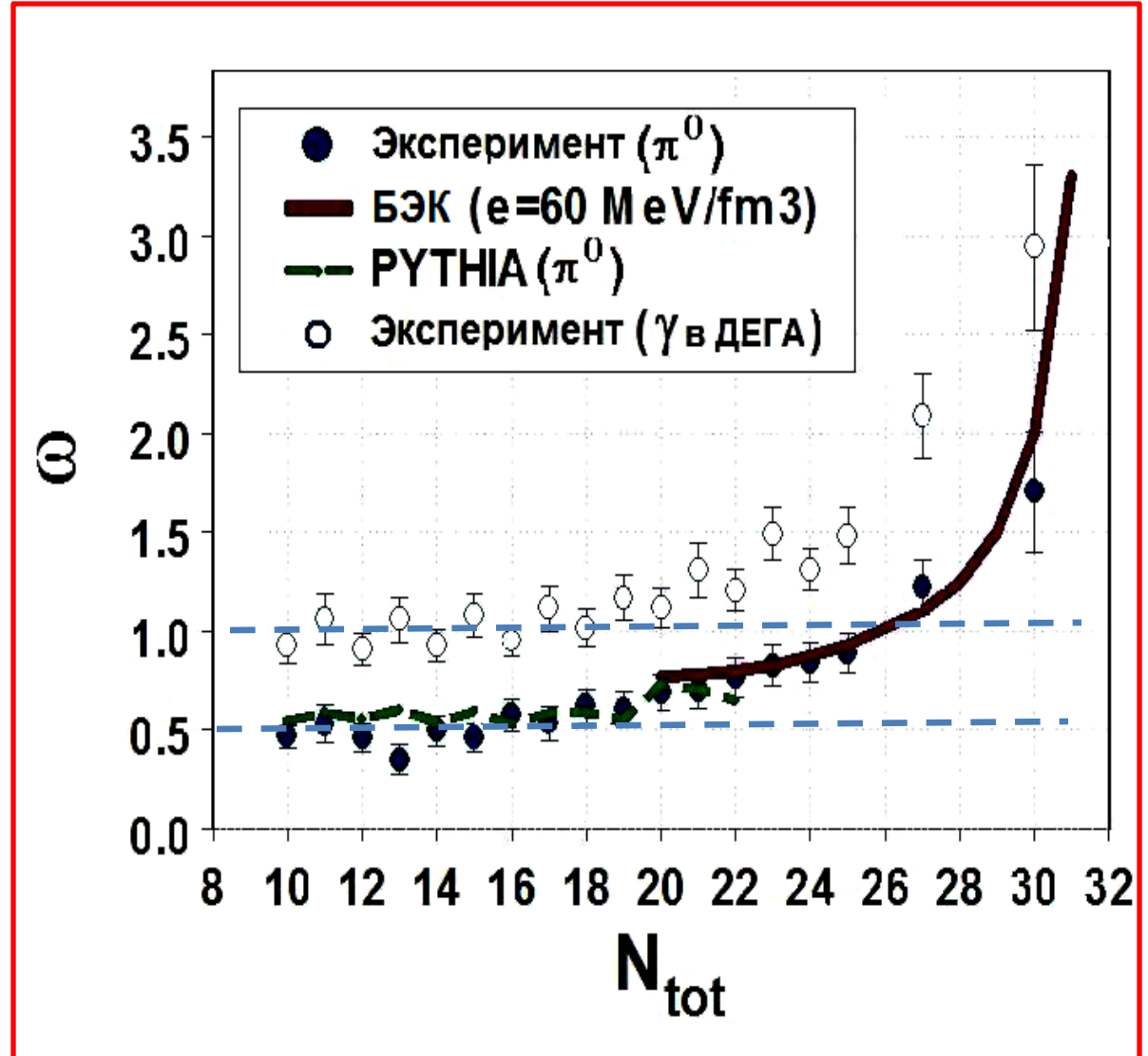
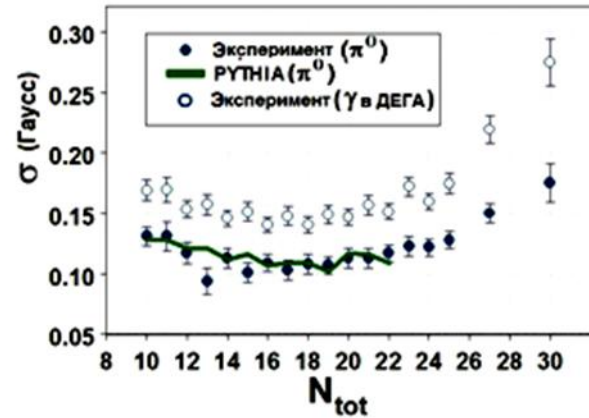
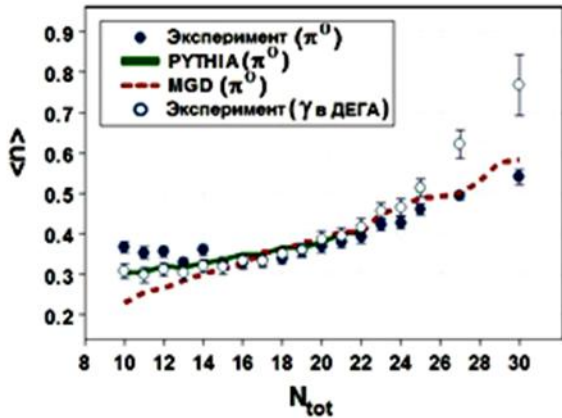
$$n = N_0/N_{tot}$$

Нормированные  
множественность и  
вероятность



# Результаты:

$$\omega^0 = D_2 / \langle N_0 \rangle$$



Сплошная кривая из работы V.V. Begun and M.I. Gorenstein, Phys. Lett. B 653, 190 (2007)

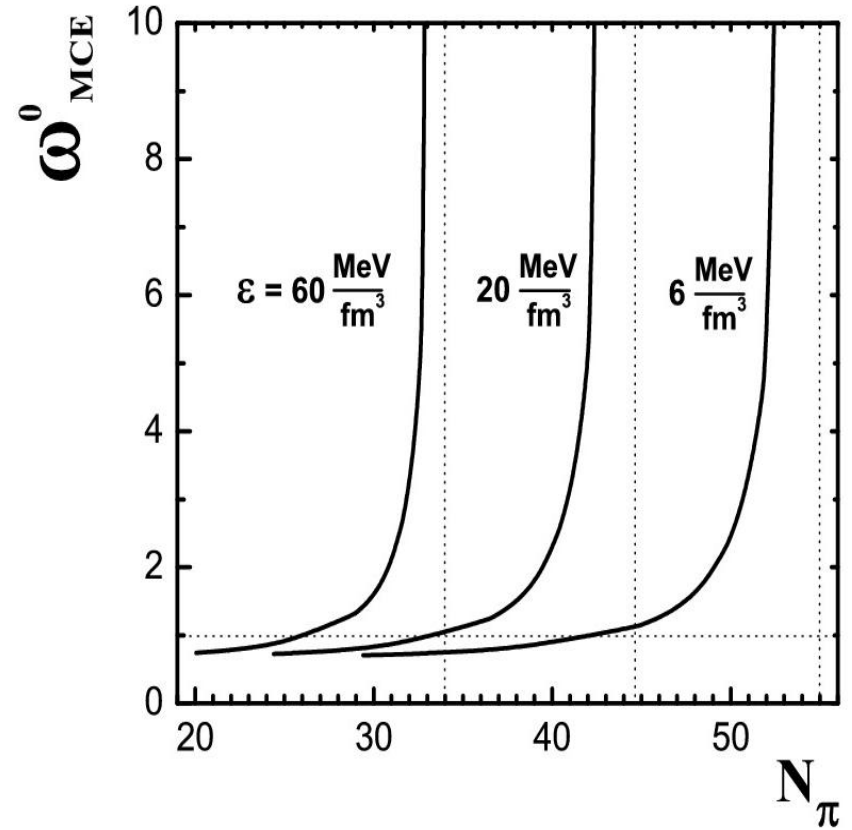
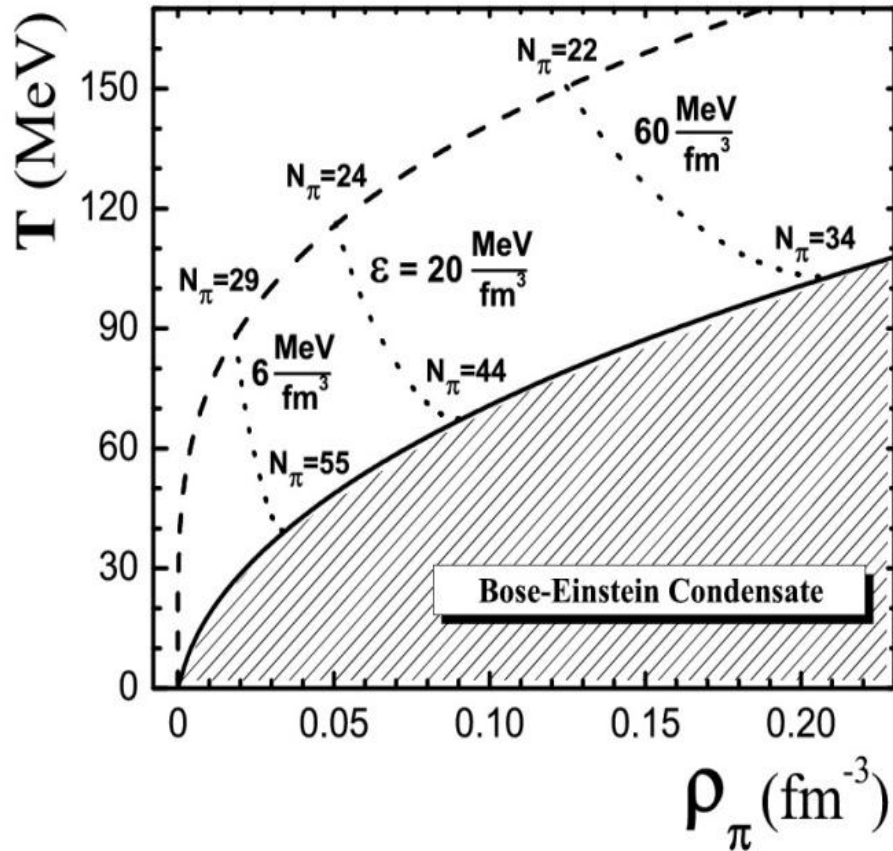
# Распределение Бозе – Эйнштейна.

$$\langle n_p \rangle = \frac{1}{\exp[(\sqrt{p^2 + m^2} - \mu)/T] - 1} \quad ; \quad \mu \leq m.$$

$$\rho = \frac{1}{V} \sum_p \langle n_p \rangle.$$



# Флуктуации числа нейтральных пионов в ОБМ

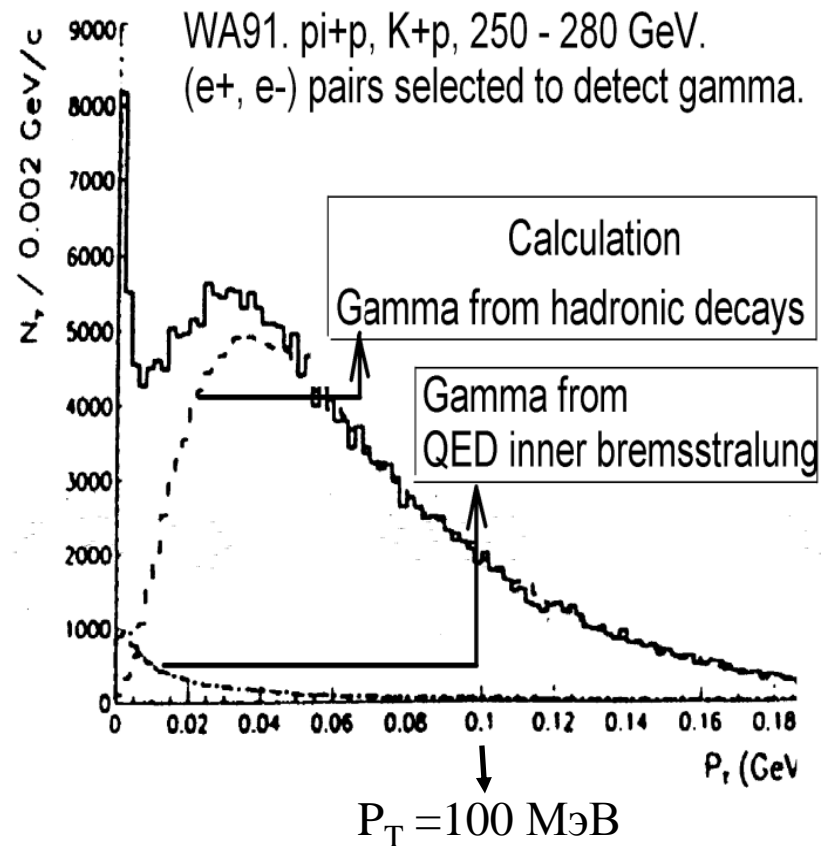
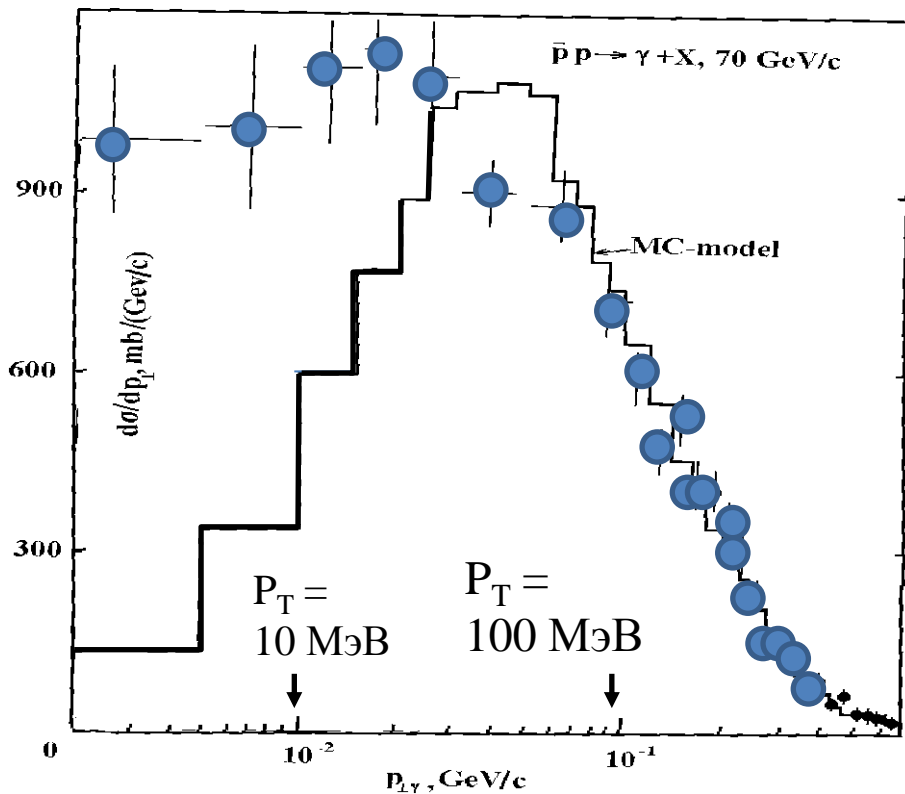


Фазовая диаграмма пионного газа.  
Штрих. линия соответствует  $\mu=0$ .  
Сплошная – БЭК,  $\mu=m(\pi)$ .

Нормированная дисперсия:

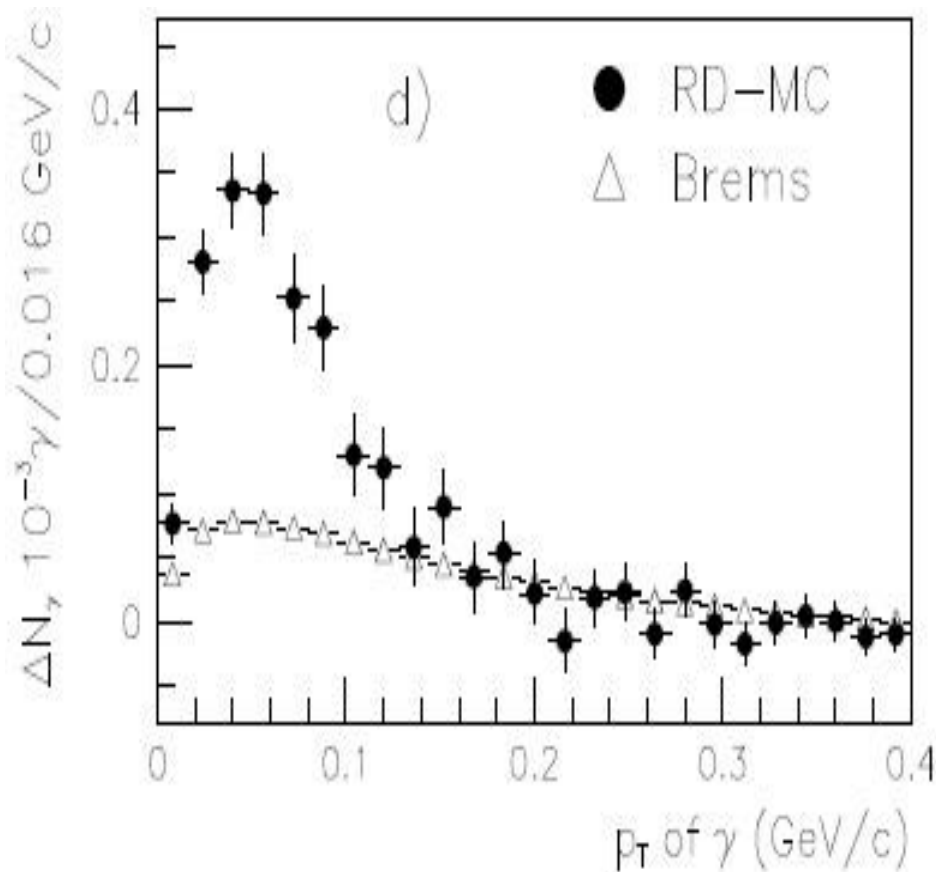
$$\omega^0 = D_2 / \langle N_0 \rangle$$

# Предложение эксперимента по исследованию аномальных мягких фотонов.



*Спектр фотонов низкой энергии. Фотоны от распада известных резонансов представлены гистограммой, рассчитанной методом Монте Карло*

## Аномальные мягкие фотоны.

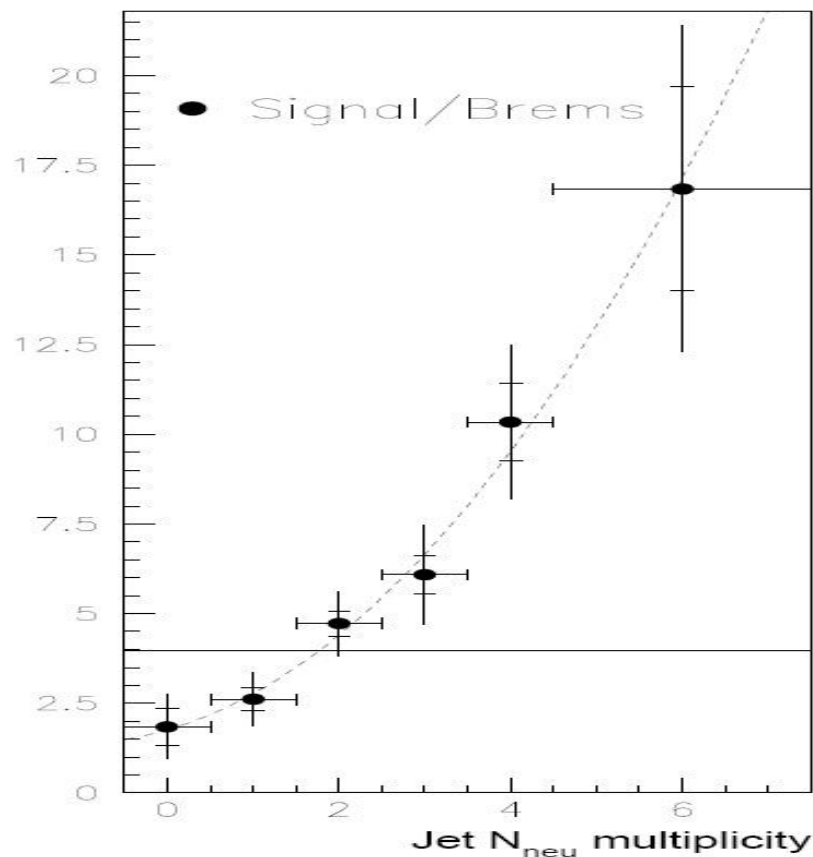


*Спектр фотонов в адронной струе*

$Z^0 \rightarrow \text{jet} \rightarrow \gamma + X.$

*RD – MC –*

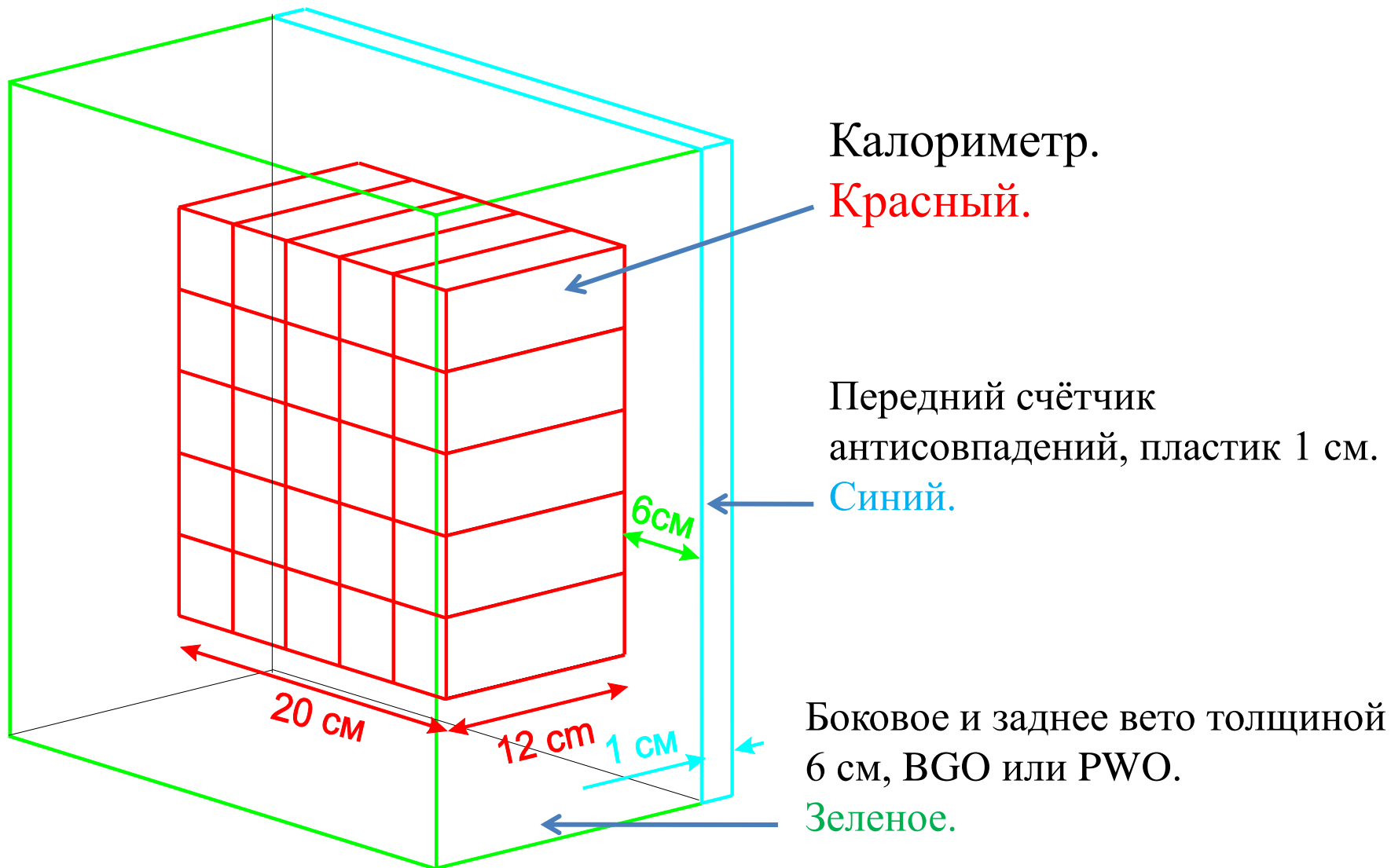
*все фотоны за вычетом вклада от  
распада известных частиц,  
рассчитанного методом Монте Карло*



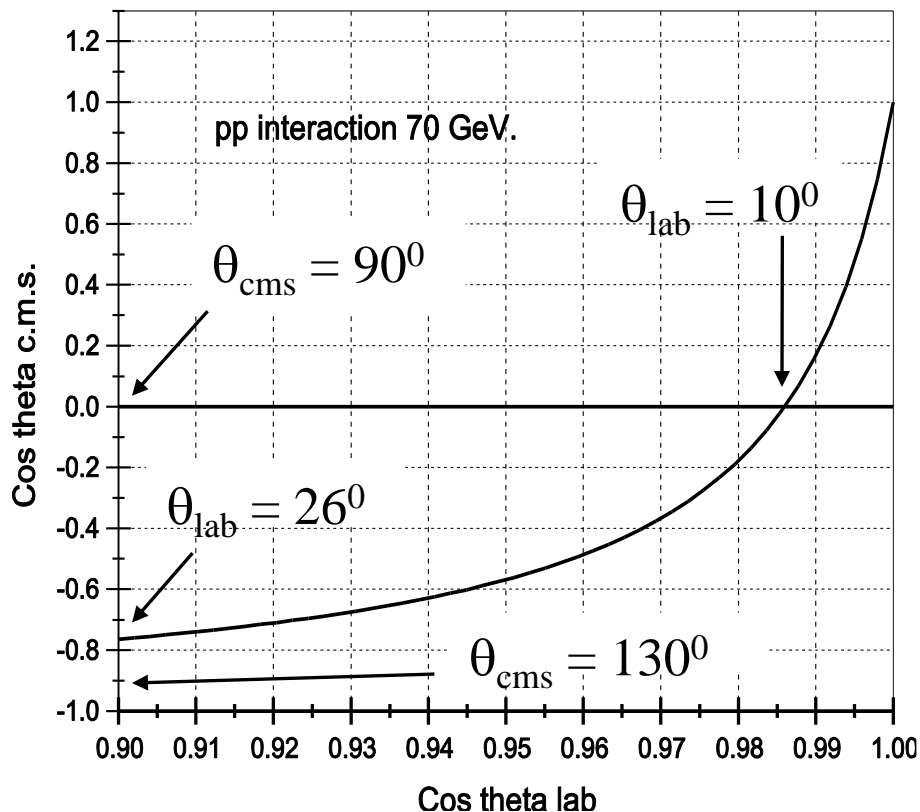
*Отношение интенсивности фотонов  
низкой энергии к расчётной величине в  
зависимости от числа нейтральных  
частиц в струе*

**Источник АФ -  $\pi$ -конденсат ?**

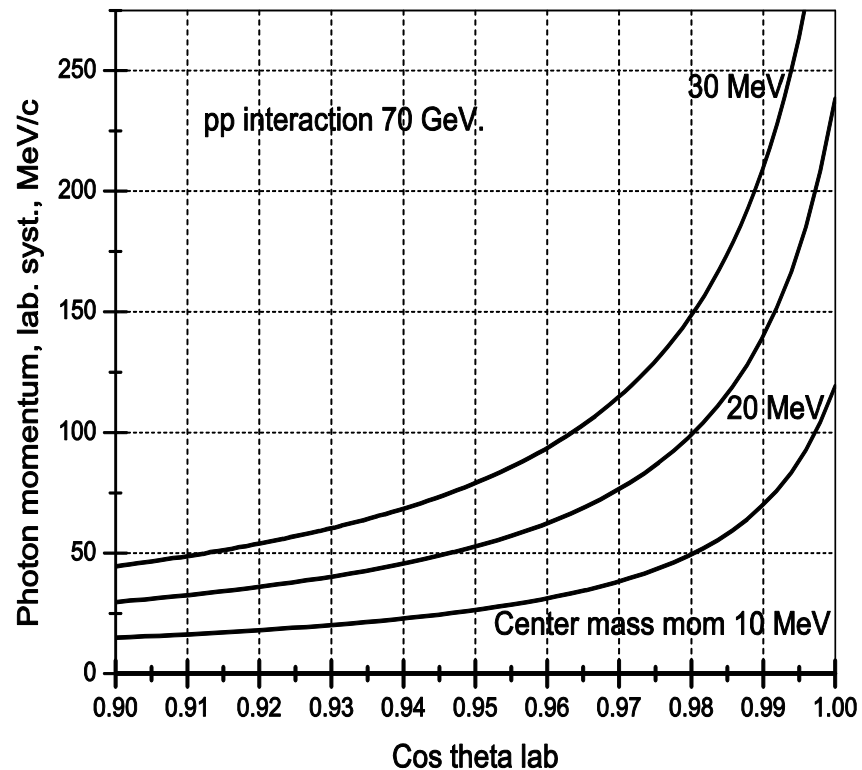
# ЭМ калориметр для исследования аномальных мягких фотонов



# Кинематика $\gamma$ квантов

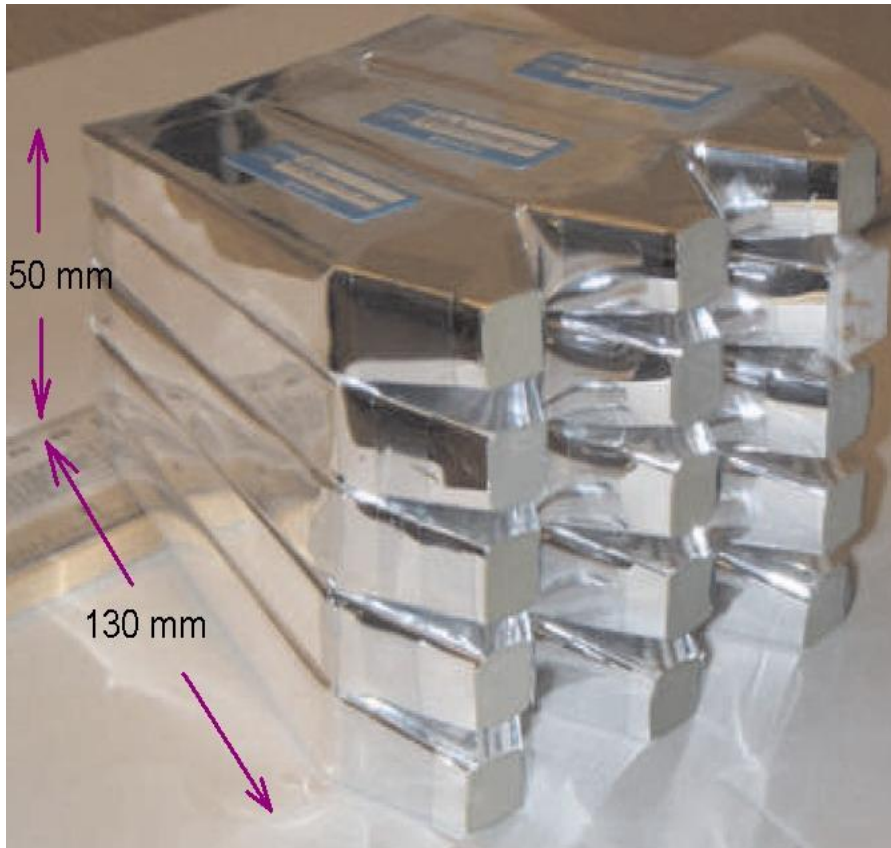


*Зависимость угла эмиссии фотона в с.ц.м. от угла наблюдения в лаб. системе.*

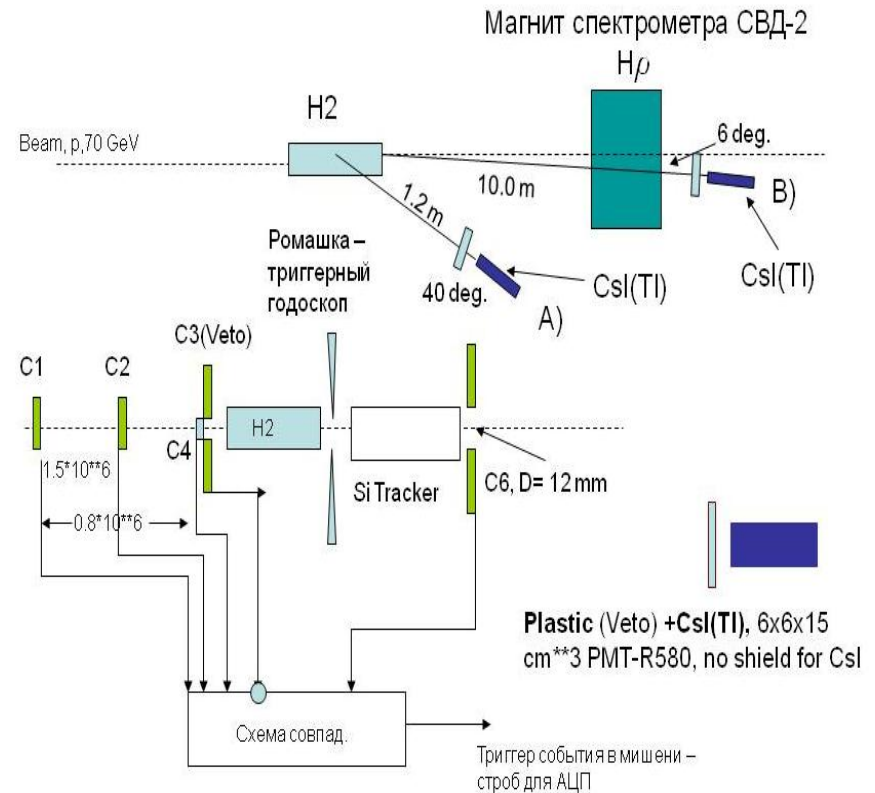


*Зависимость импульса фотона в лаб. системе от угла наблюдения в лаб. системе. Указаны импульсы фотонов в с.ц.м.*

# Испытание элемента калориметра на СВД

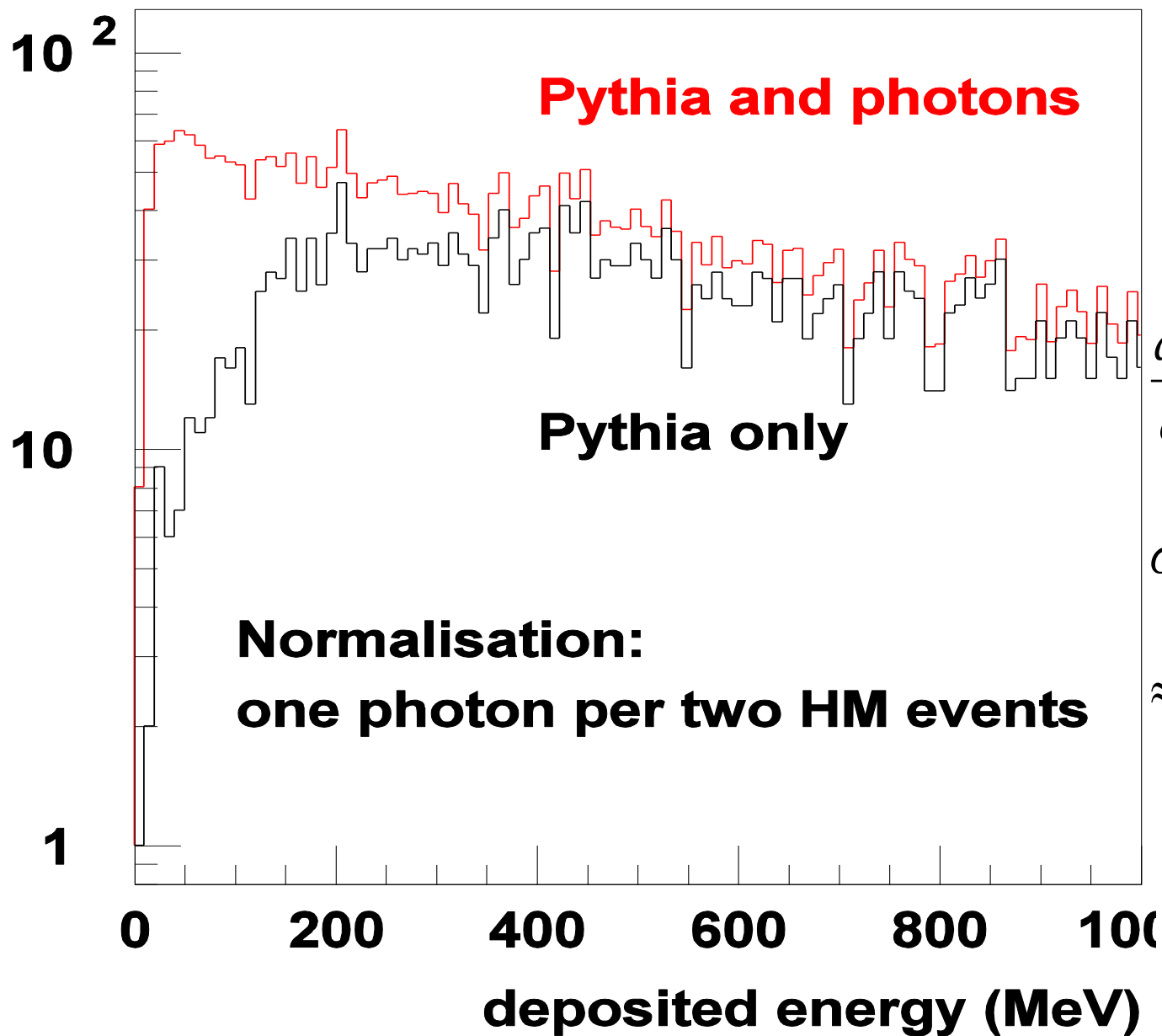


*Прототип калориметра мягких фотонов на кристаллах CsI(Tl).*



*Схема расположения счётчика CsI(Tl) при его испытании на СВД-2 CsI(Tl).*

# Моделирование работы ЭМК



Спектр  
аномальных  
фотонов  
формула Лоу:

$$\frac{d\sigma}{dp} = \frac{C}{p};$$

$$\sigma_{SP} = \int_{10}^{30\text{MeV}/c} \frac{d\sigma}{dp} dp =$$

$$\approx 4 \text{ mb.}$$

# Заключение

Предлагается совместное исследование образования пионного конденсата и аномальных мягких фотонов в зависимости от:

- энергии пучка;
- множественности вторичных частиц;
- типа мишени (ядерные мишени).

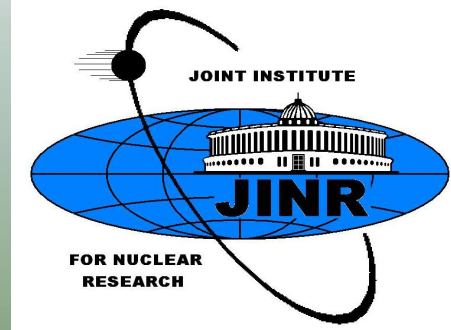
Это даст важную информацию о коллективной динамике адронной системы.



# Welcome to JINR



# Лаборатория физики высоких энергий ОИЯИ



Никитин В.А.

## Лаборатории ОИЯИ. 2897 чел.

Лаборатория физики высоких энергий	942 чел.
Лаборатория ядерных проблем	563 чел.
Лаборатория Теоретической Физики	232 чел.
Лаборатория нейтронной физики	420 чел.
Лаборатория ядерных реакций	372 чел.
Лаборатория информационных технологий	283 чел.
Лаборатория радиационной биологии	71 чел.
Учебно-научный центр	14 чел.



# Проект НИКА – участники сотрудничества

**86 authors** *from* **40 scientific centers** *in* **16 Countries (8 JINR members)**

Arizona State University, USA

Los Alamos National Laborator

University of Illinois, USA

Wayne SU, USA

LBNL, USA

BNL, USA

Ohio SU, USA

BITP, Ukraine

INFN, Italy

SISSA, Italy

University of Catania, Italy

University of Trento, Italy

University of Florence, Italy

University of Barselona, Spain

University of Coimbra, Portugal

Mateja Bela University, Slovakia

Wroclav University, Poland

Jan Kochanovski University, Poland

Variable Energy Cyclotron Centre, India

University of Cape Town, South Africa

University of Oslo, Norway

JINR Dubna

Kurchatov Institute, Russia

Lebedev Institute, Russia

St.Petersburg SU, Russia

IHEP, Russia

ITEP, Russia

INP MSU, Russia

MEPhI, Russia

INR, Russia

Tel Aviv University, Israel

Weizmann Institute, Israel

GSI, Germany

University of Bielefeld, Germany

University of Giessen, Germany

University of Frankfurt, Germany

Institute of Applied Science, Moldova

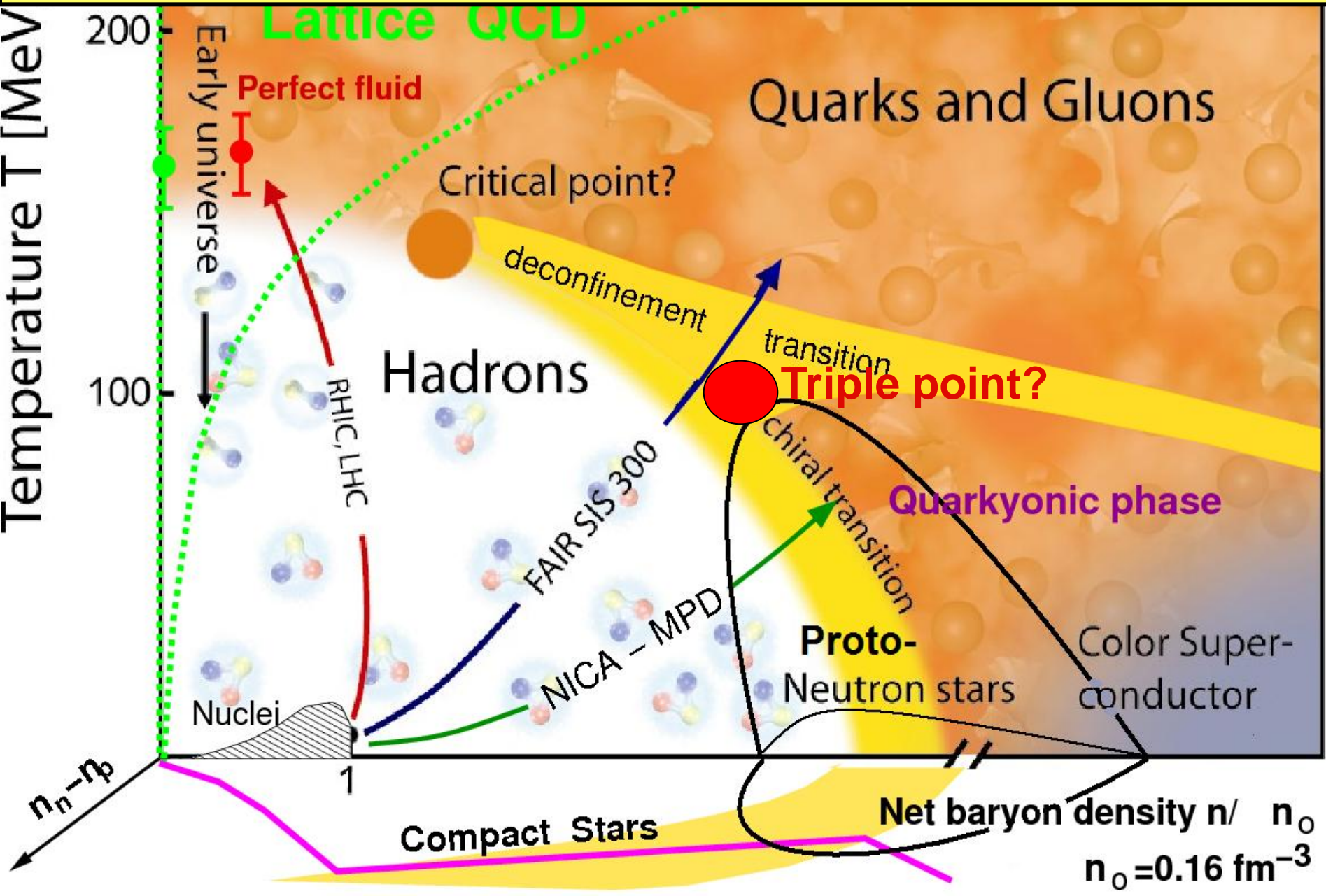
Tsinghua University, Beijing, China

Institute of High Energy Physics, China

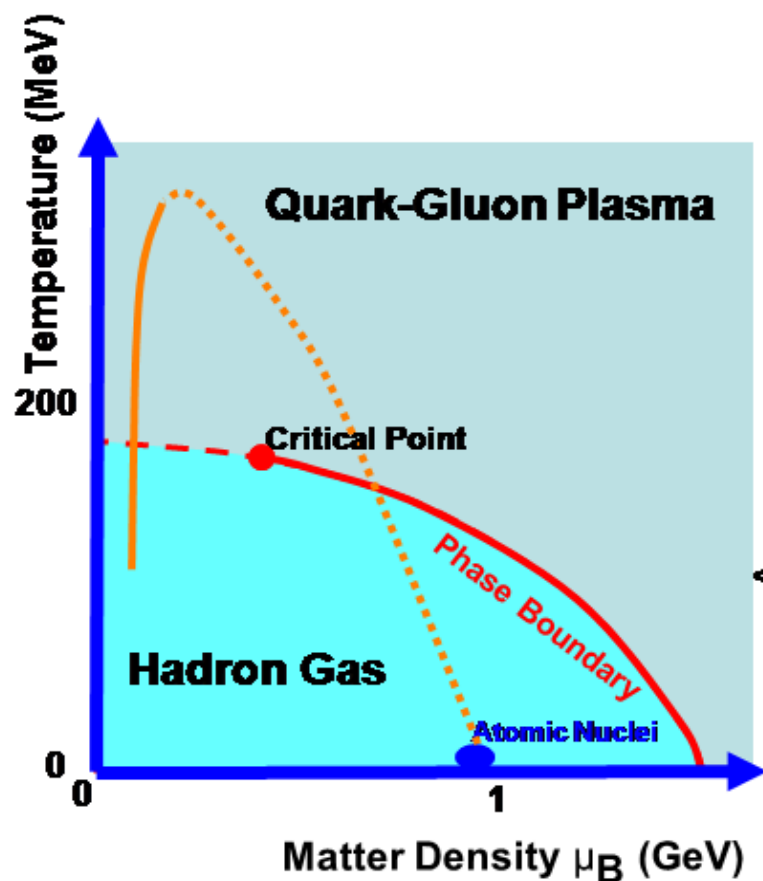
National Laboratory of Heavy Ion Accelerator, China

<http://theor.jinr.ru/twiki-cgi/view/NICA/WebHome>

# Relativistic nuclear physics today & “the physics case” for NICA

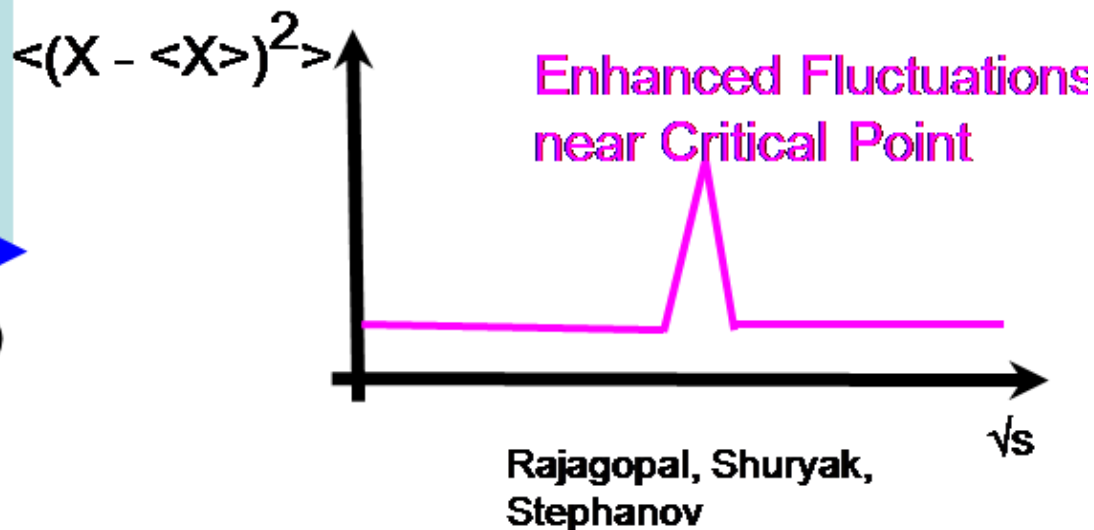


# Exploring the QCD Phasediagram



Susceptibilities diverge near critical point

Locate the critical point using correlation/fluctuation measurements



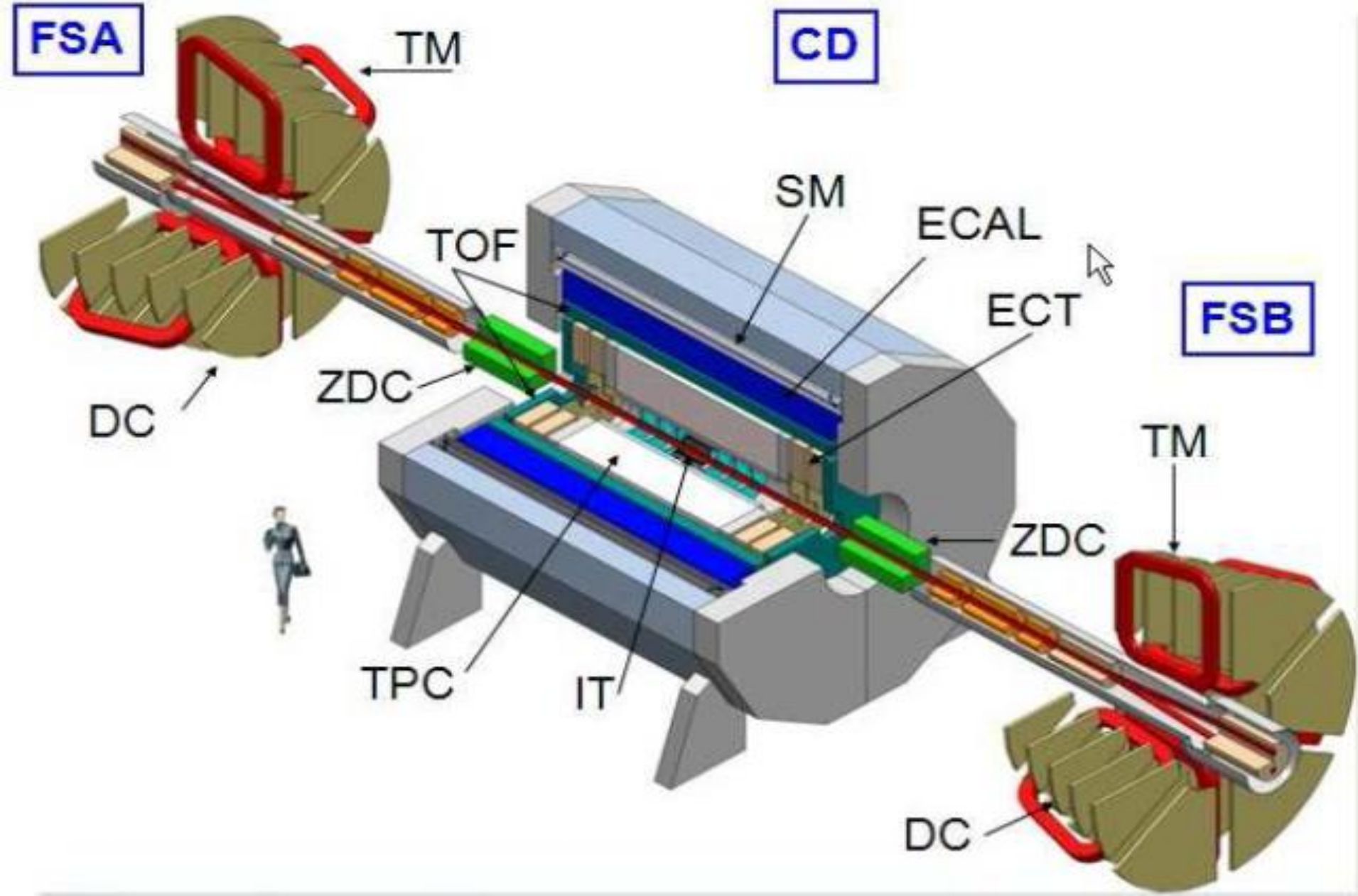


**N u c l o t r o n - M  
-> N u c l o t r o n - N  
T o b e d e s i g n e d ,  
c o n s t r u c t e d a n d  
c o m m i s s i o n e d :**

- 1. Injection system (to accept Booster beam)**
- 2. RF system – new version with bunch compression**
- 3. Dedicated diagnostics**
- 4. Single turn extraction with fine synchronization**
- 5. Polarized protons acceleration in Nuclotron**

**Towards Nuclotron-based Ion Collider Facility**

# MPD conceptual design

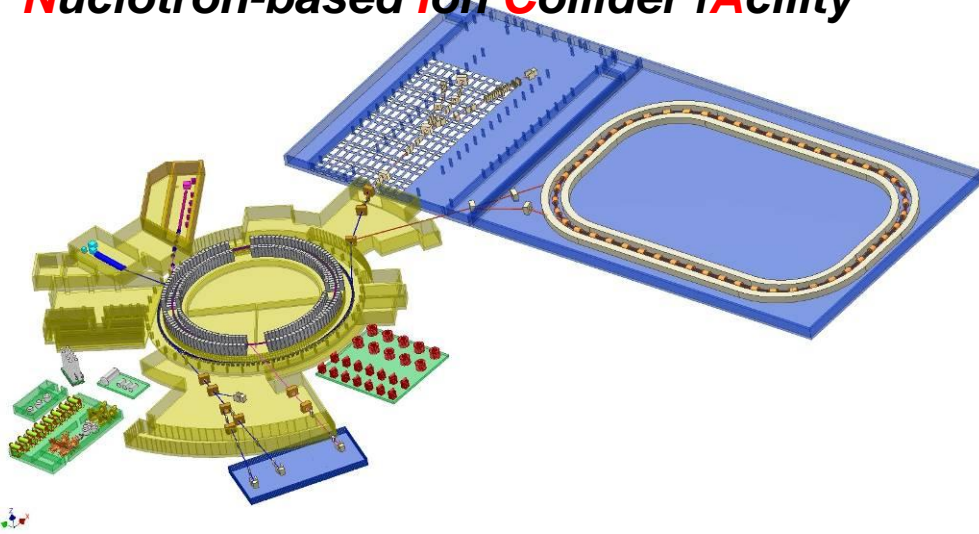




# Study of nuclear matter at extreme states

## NICA/MPD

*Nuclotron-based Ion Collider fA*cility



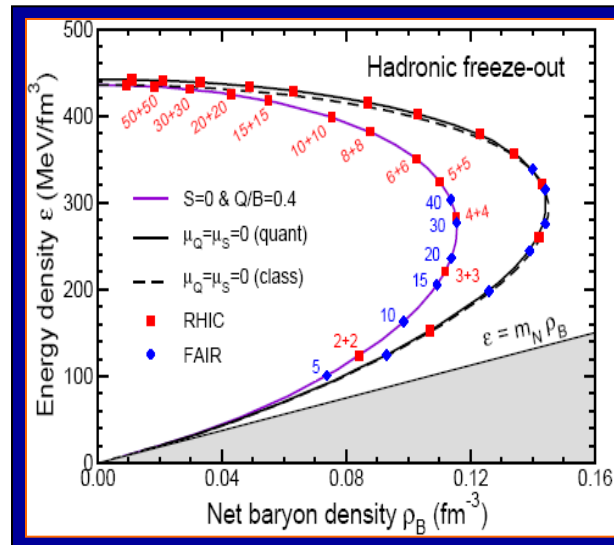
## GSI: FAIR/CBM



$$E_{\text{lab}} < 40 \text{ GeV/n}$$

$$\sqrt{s_{\text{NN}}} = 4 \text{ ☹ } 11.0 \text{ GeV/n}$$

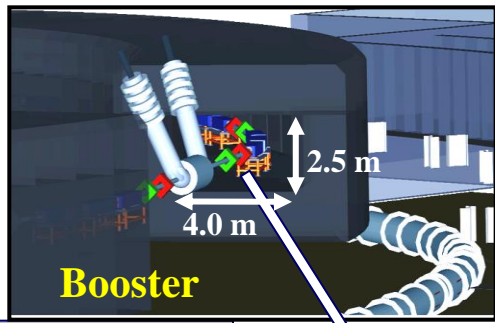
**Average luminosity**  
1027sm<sup>2</sup>s<sup>-1</sup> (!!!) Au x Au



$$E_{\text{lab}} \sim 34 \text{ GeV/n}$$

$$\sqrt{s_{\text{NN}}} = 8.5 \text{ GeV}$$

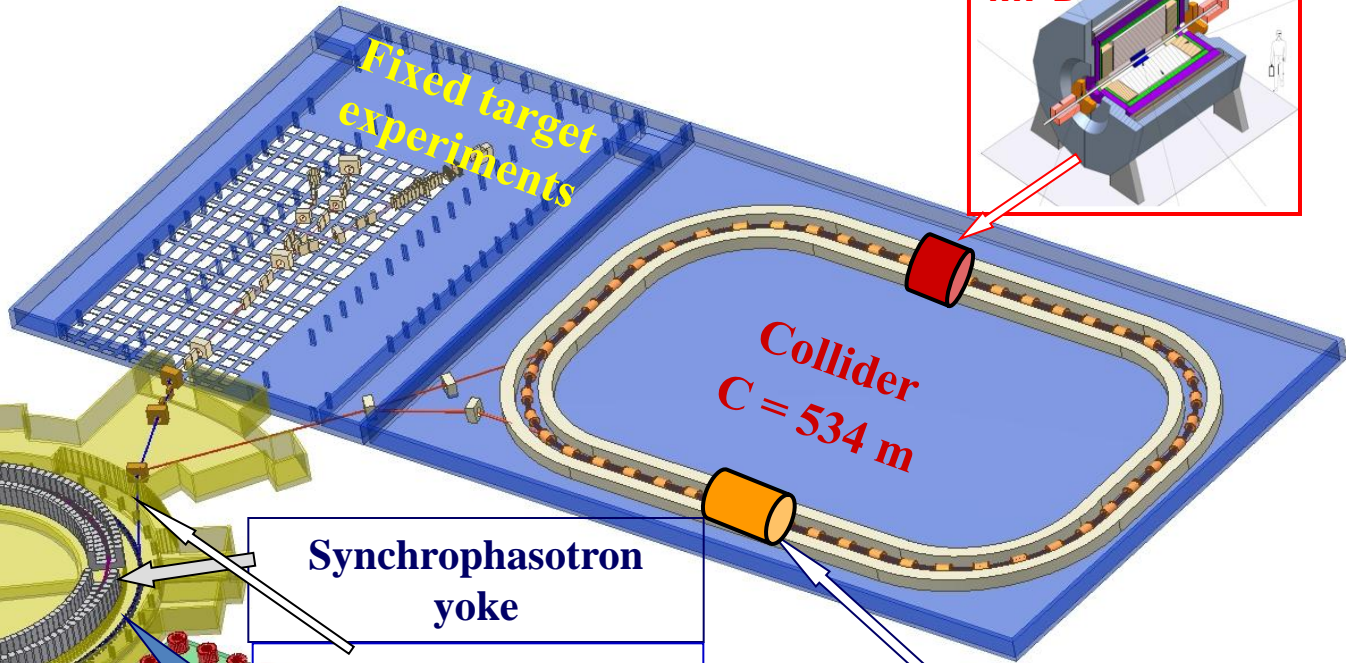
# NICA accelerator facility (leader I.Meshkov)



KRION-6T & HILac

SPI & LU-20 ("Old" linac)

Beam transfer lines & New research area



Synchrotron yoke

Nuclotron beam transfer line

Nuclotron

Collider  
 $C = 534\text{ m}$

Spin Physics Detector (SPD)

Preliminary layout

The goal of the project is

construction at JINR of a new accelerator facility, that provides

1a) Heavy ion colliding beams  $^{197}\text{Au}^{79+} \times ^{197}\text{Au}^{79+}$  at

$\sqrt{s_{\text{NN}}} = 4 \div 11 \text{ GeV}$  (1  $\div$  4.5 GeV/u ion kinetic energy )

at  $L_{\text{average}} = 1\text{E}27 \text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (at  $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 9 \text{ GeV}$ )

1b) Light-Heavy ion colliding beams of the same energy range and luminosity

2) Polarized beams of protons and deuterons in collider mode:

$p\uparrow p\uparrow \sqrt{s_{\text{pp}}} = 12 \div 27 \text{ GeV}$  (5  $\div$  12.6 GeV kinetic energy )

$d\uparrow d\uparrow \sqrt{s_{\text{NN}}} = 4 \div 13.8 \text{ GeV}$  (2  $\div$  5.9 GeV/u ion kinetic energy )

$L_{\text{average}} \geq 1\text{E}30 \text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (at  $\sqrt{s_{\text{pp}}} = 27 \text{ GeV}$ )

3) The beams of light ions and polarized protons and deuterons for fixed target experiments:

$\text{Li} \div \text{Au} = 1 \div 4.5 \text{ GeV /u}$  ion kinetic energy

$p, p\uparrow = 5 \div 12.6 \text{ GeV}$  kinetic energy

$d, d\uparrow = 2 \div 5.9 \text{ GeV/u}$  ion kinetic energy

4) Applied research on ion beams at kinetic energy from 0.5 GeV/u

up to 12.6 GeV (p) and 4.5 GeV /u (Au)

# Heavy Ion Mode: Operation Regime and Parameters

**Injector:**  $2 \times 10^9$  ions/pulse of  $^{197}\text{Au}^{32+}$   
at energy of 6.2 MeV/u

## Collider (45 Tm)

Storage of  
26 bunches by  $\sim 1 \times 10^9$  ions per ring  
at 1 - 4.5 GeV/u,  
electron and/or stochastic cooling

## Booster (25 Tm)

1(2-3) single-turn injection,  
storage of  $2 \times (4-6) \times 10^9$ ,  
acceleration up to 100 MeV/u,  
electron cooling, acceleration  
up to 600 MeV/u

Stripping (80%)  $^{197}\text{Au}^{32+} \Rightarrow ^{197}\text{Au}^{79+}$

IP-1 ● Two SC  
collider rings ● IP-2

Nuclotron (45 Tm)  
injection of one bunch  
of  $1.1 \times 10^9$  ions,  
acceleration up to  
1 - 4.5 GeV/u max.

2x26 injection  
cycles

# NICA construction schedule

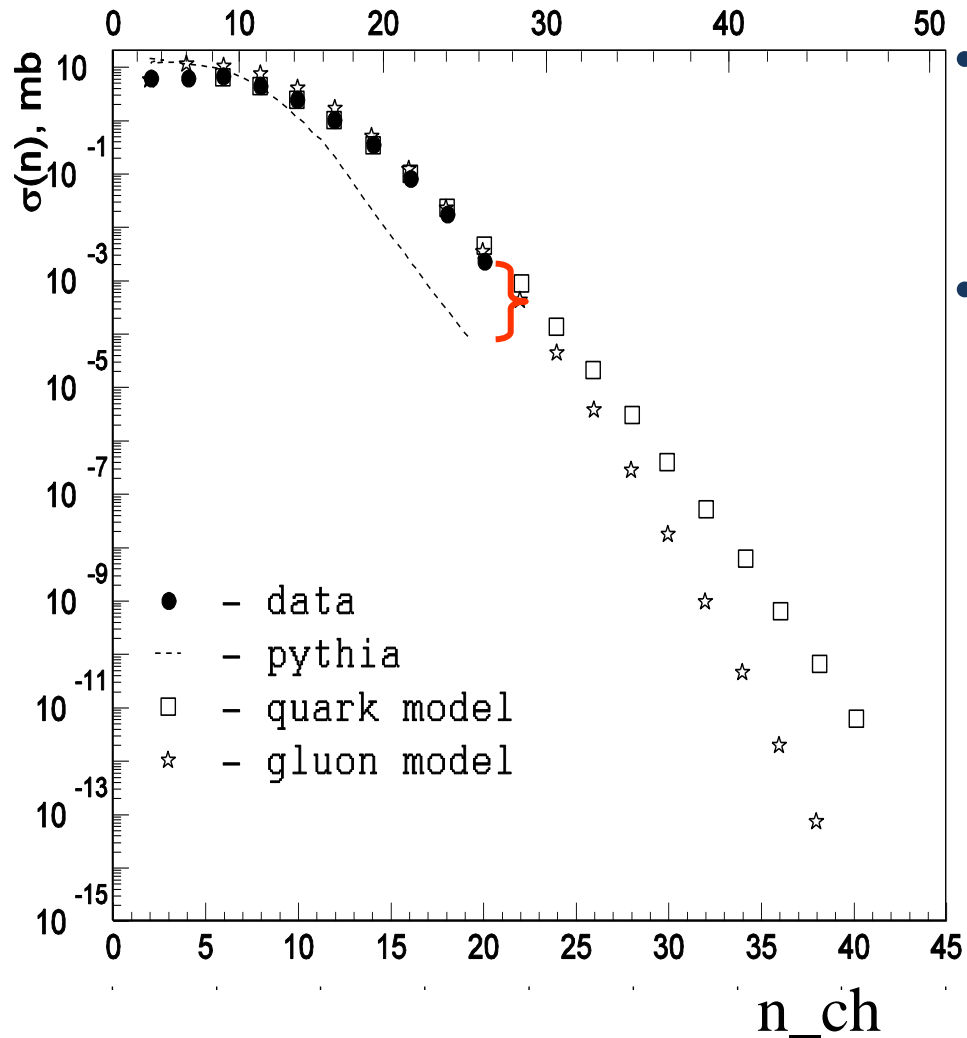
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ESIS KRION	Design	Manufacturing	Mount.+commis.	Commis/opr	Operation	Operation	Operation
LINAC + channel	Design	Manufacturing	Mount.+commis.	Commis/opr	Operation	Operation	Operation
Booster + channel	Design	Manufacturing	Mount.+commis.	Commis/opr	Operation	Operation	Operation
Nuclotron-M	Commis/opr	Operation	Operation	Operation	Operation	Operation	Operation
Nuclotron-M → NICA	Design	Design	Manufacturing	Mount.+commis.	Commis/opr	Operation	Operation
Channel to collider	Design	Design	Manufacturing	Mount.+commis.	Commis/opr	Operation	Operation
Collider	Design	Design	Manufacturing	Mount.+commis.	Commis/opr	Commis/opr	Operation
Diagnostics	Design	Manufacturing	Mount.+commis.	Mount.+commis.	Commis/opr	Commis/opr	Operation
Power supply	Design	Manufacturing	Mount.+commis.	Commis/opr	Commis/opr	Commis/opr	Operation
Control systems	Design	Manufacturing	Mount.+commis.	Commis/opr	Commis/opr	Commis/opr	Operation
Cryogenics	Manufacturing	Manufacturing	Commis/opr	Commis/opr	Operation	Operation	Operation
MPD	Operation	Operation	Mount.+commis.	Mount.+commis.	Mount.+commis.	Commis/opr	Operation
Infrastructure	Mount.+commis.	Mount.+commis.	Mount.+commis.	Commis/opr	Operation	Operation	Operation

<b>R&amp;D</b>	<b>Design</b>	<b>Manufacturing</b>	<b>Mount.+commis.</b>	<b>Commis/opr</b>	<b>Operation</b>
----------------	---------------	----------------------	-----------------------	-------------------	------------------

Конец.  
Спасибо.



## Описания ОБМ моделями.



- МК генератор недооценивает топологические сечения.
- Предсказания моделей различны.

### Результат Проекта:

измерены топологические сечения в  $pp$  при 50 ГэВ до  $n_{ch} = 24$ .

# $e^+e^-$ - annihilation

$$e^+e^- \rightarrow \gamma(Z^0) \rightarrow q\bar{q} \rightarrow (q, g) \rightarrow ? \rightarrow \text{hadrons}$$

First stage (cascade): a) gluon fission; b) quark bremsstrahlung; c) quark pair creation.

*K.Konishi et.al.NP B157 (1979);  
A.Giovannini.NP B161 (1979).*

$$\frac{dQ^{(q)}}{dY} = \tilde{A}Q^{(q)}(Q^{(g)} - 1),$$

$$\frac{dQ^{(g)}}{dY} = A(Q^{(g)2} - Q^{(g)}) + B(Q^{(q)2} - Q^{(g)}).$$

quark fission  $\rightarrow$  NBD

$$P_m = \frac{k_p(k_p + 1)\dots(k_p + m - 1)}{m!} \left(\frac{\bar{m}}{\bar{m} + k_p}\right)^m \left(\frac{k_p}{\bar{m} + k_p}\right)^{k_p}.$$

Second stage (hadronisation): BD

$$Q_p^H = \left[ 1 + \frac{\bar{n}_p^h}{N_p} (z - 1) \right]^{N_p}.$$

Convolution:  
of two stages