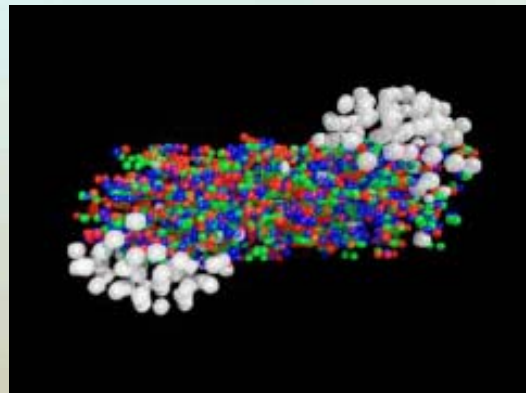
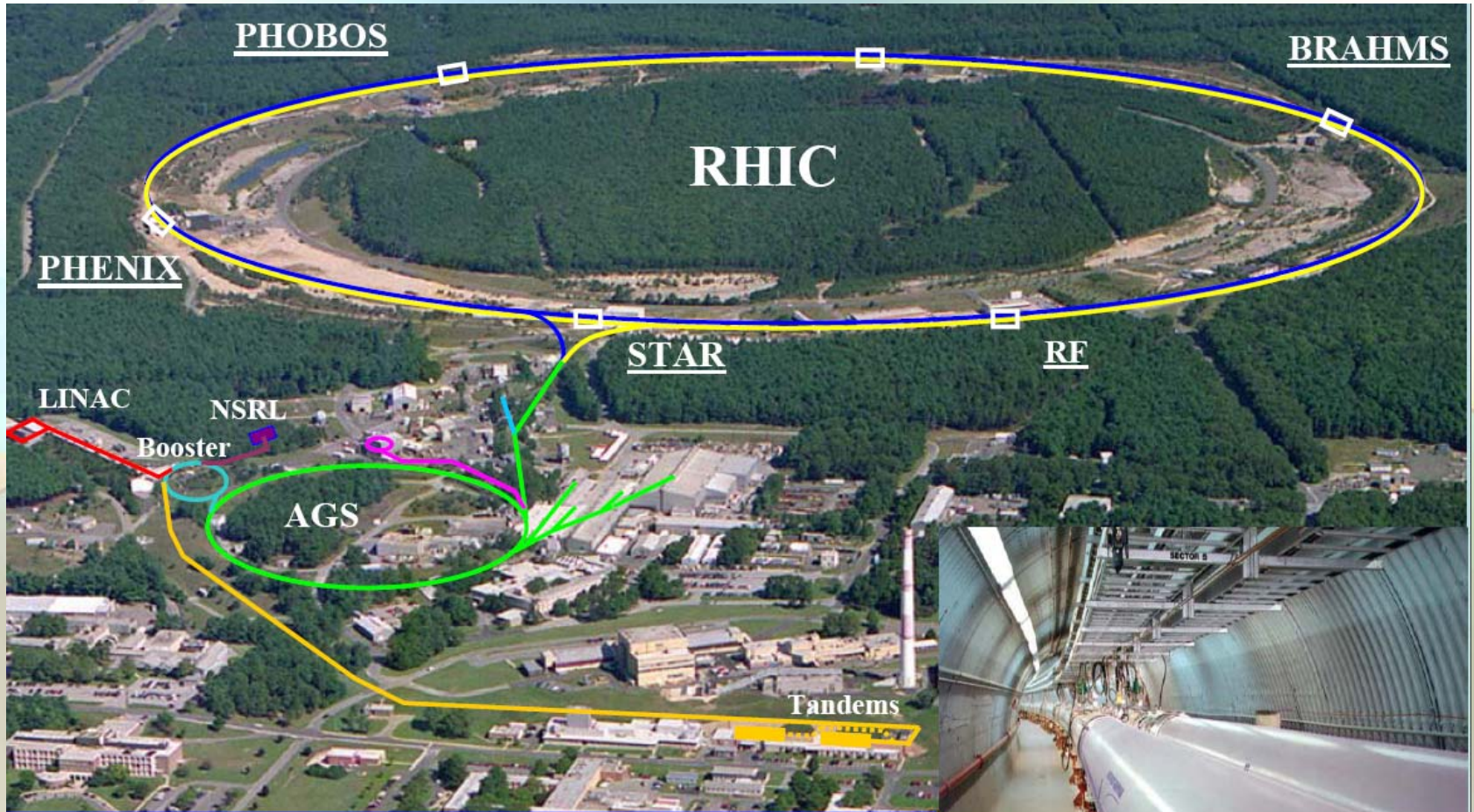


# Эксперимент ФЕНИКС

*В. Рябов (ЛРЯФ)*



# Коллайдер RHIC



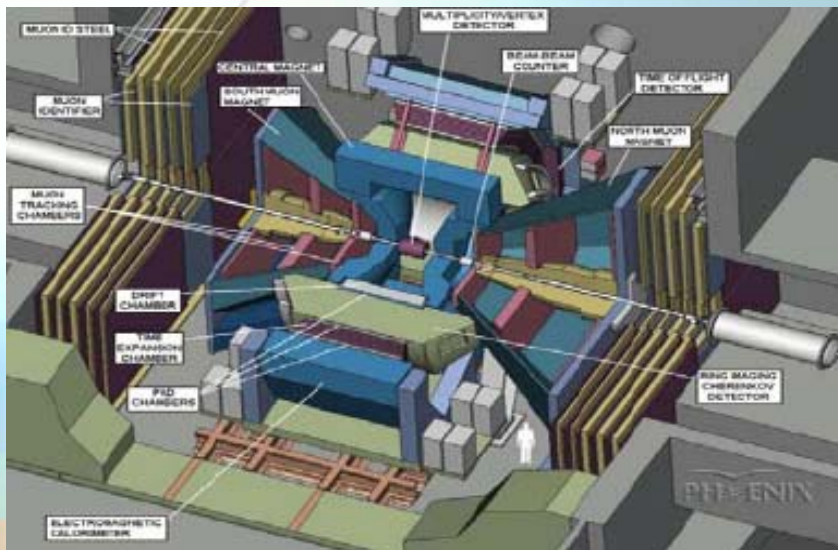
## Проектная светимость:

Au–Au  $2 \times 10^{26} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$   
 $p \uparrow - p \uparrow$   $2 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

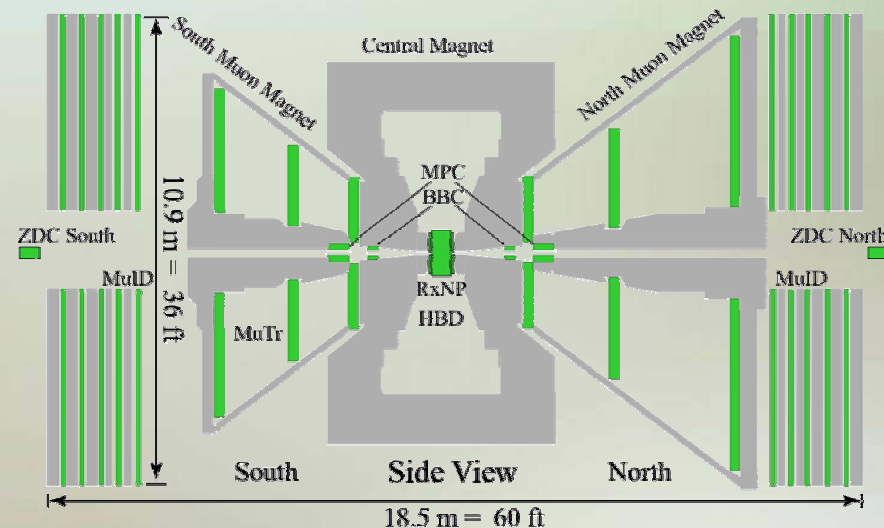
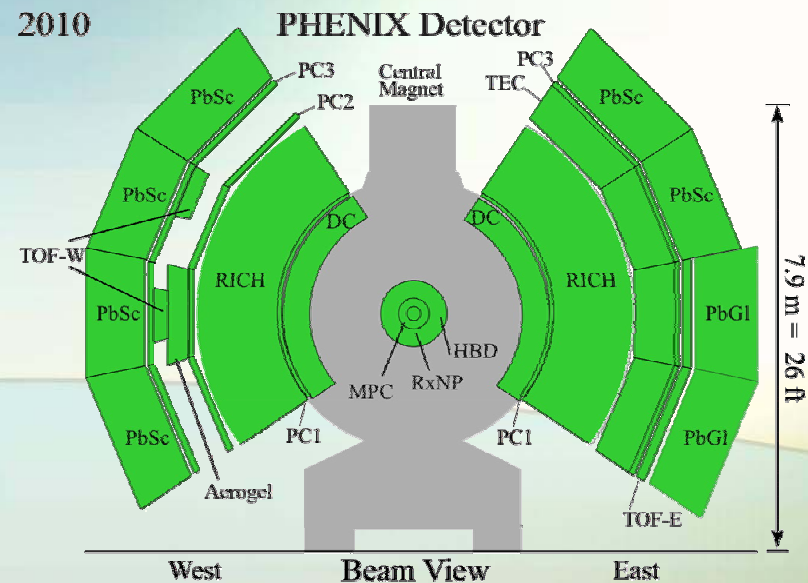
## Достигнутая:

$1.2 \times 10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$   
 $2.3 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  200 GeV  
 $1.2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  500 GeV

# Эксперимент ФЕНИКС - 2010



- Центральный магнит (Ижорский завод)
- Дрейфовые камеры (ПИЯФ, Гатчина)
- Три слоя падовых камер
- Черенковский детектор кругового действия (RICH)
- Электромагнитный калориметр:
  - PbSc (ИТЭФ, Протвино)
  - PbGl (РНЦ “Курчатовский институт”)
- TOF
- AGEL (ОИЯФ, Дубна)
- Muon Arms



Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Caixa Postal 66318, São Paulo CEP05315-970, Brazil

Institute of Physics, Academia Sinica, Taipei 11529, Taiwan

China Institute of Atomic Energy (CIAE), Beijing, People's Republic of China

Peking University, Beijing, People's Republic of China

Charles University, Břichová 5, Praha 1, 116 36, Prague, Czech Republic

Czech Technical University, Žitná 4, 166 36 Prague 6, Czech Republic

Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic, Na Slovance 2,

182 21 Prague 8, Czech Republic

Helsinki Institute of Physics and University of Jyväskylä, P.O.Box 35, FI-00014 Jyväskylä, Finland

Dapnia, CEA Saclay, F-91191, Gif-sur-Yvette, France

Laboratoire Lentrince-Ringnet, Ecole Polytechnique, CNRS-IN2P3, Route de Saclay,

F-91128, Palaiseau, France

Laboratoire de Physique Corpusculaire (LPC), Université Blaise Pascal, CNRS-IN2P3,

Clermont-Fd, 63177 Aubiere Cedex, France

IPN-Orsay, Université Paris Sud, CNRS-IN2P3, BP1, F-91406, Orsay, France

SUBATECH (Ecole des Mines de Nantes, CNRS-IN2P3, Université de Nantes)

BP 20722 - 44307, Nantes, France

Institut für Kernphysik, University of Münster, D-48149 Münster, Germany

Debrecen University, H-4010 Debrecen, Egyetem tér 1, Hungary

ELTE, Eötvös Loránd University, H - 1117 Budapest, Pázmány P. s. 1/A, Hungary

KFKI Research Institute for Particle and Nuclear Physics of the Hungarian Academy of Sciences (MTA KFKI RMKI),

H-1525 Budapest 114, P.O.Box 49, Budapest, Hungary

Department of Physics, Banaras Hindu University, Varanasi 221005, India

Bhabha Atomic Research Centre, Bombay 400 085, India

Weizmann Institute, Rehovot 76100, Israel

Center for Nuclear Study, Graduate School of Science, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo,

Tokyo 113-0033, Japan

Hiroshima University, Kasumiyama, Higashi-Hiroshima 739-8526, Japan

KEK, High Energy Accelerator Research Organization, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

Nagasaki Institute of Applied Science, Nagasaki-shi, Nagasaki 851-0193, Japan

RIKEN, The Institute of Physical and Chemical Research, Wako, Saitama 351-0198, Japan

Physics Department, Rikkyo University, 3-34-1 Nishi-Ikebukuro, Toshima, Tokyo 171-8501, Japan

Department of Physics, Tokyo Institute of Technology, Oh-okayama, Meguro, Tokyo 152-8551, Japan

Institute of Physics, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

Chonbuk National University, Jeonju, Korea

Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

Hanyang University, Seoul 133-792, Korea

KAERI, Cyclotron Application Laboratory, Seoul, South Korea

Korea University, Seoul, 136-701, Korea

Mongji University, Yeonju, Kyonggi-do 449-728, Korea

Department of Physics and Astronomy, Seoul National University, Seoul, South Korea

Yonsei University, IPAP, Seoul 120-749, Korea

IHEP Pribludnyy, State Research Center of Russian Federation, Institute for High Energy Physics,

Pribludnyy, 142281, Russia

Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

Russian Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

**PNPI, Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, Leningrad region, 188300, Russia**

Saint Petersburg State Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Skolobitsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Vorob'evsky Gory,

Moscow 119992, Russia

Department of Physics, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden

PHENIX

14 Countries; 71 Institutions



Abilene Christian University, Abilene, TX 79699, U.S.

Baruch College, CUNY, New York City, NY 10010-5518, U.S.

Collider-Accelerator Department, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973-5000, U.S.

Physics Department, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973-5000, U.S.

University of California - Riverside, Riverside, CA 92521, U.S.

University of Colorado, Boulder, CO 80309, U.S.

Columbia University, New York, NY 10027 and Nevis Laboratories, Irvington, NY 10533, U.S.

Florida Institute of Technology, Melbourne, FL 32901, U.S.

Florida State University, Tallahassee, FL 32306, U.S.

Georgia State University, Atlanta, GA 30303, U.S.

University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801, U.S.

Iowa State University, Ames, IA 50011, U.S.

Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA 94550, U.S.

Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545, U.S.

University of Maryland, College Park, MD 20742, U.S.

Department of Physics, University of Massachusetts, Amherst, MA 01003-9337, U.S.

Morgan State University, Baltimore, MD 21251, U.S.

Muhlenberg College, Allentown, PA 18104-5586, U.S.

University of New Mexico, Albuquerque, NM 87131, U.S.

New Mexico State University, Las Cruces, NM 88003, U.S.

Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, U.S.

Department of Physics and Astronomy, Ohio University, Athens, OH 45701, U.S.

RIKEN BNL Research Center, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973-5000, U.S.

Chemistry Department, Stony Brook University, SUNY, Stony Brook, NY 11794-3400, U.S.

Department of Physics and Astronomy, Stony Brook University, SUNY, Stony Brook, NY 11794, U.S.

University of Tennessee, Knoxville, TN 37996, U.S.

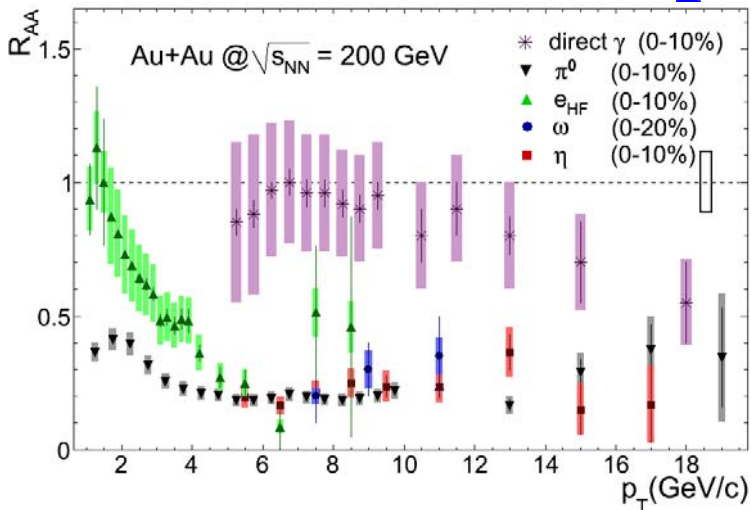
Vanderbilt University, Nashville, TN 37235, U.S.

# Физические циклы работы

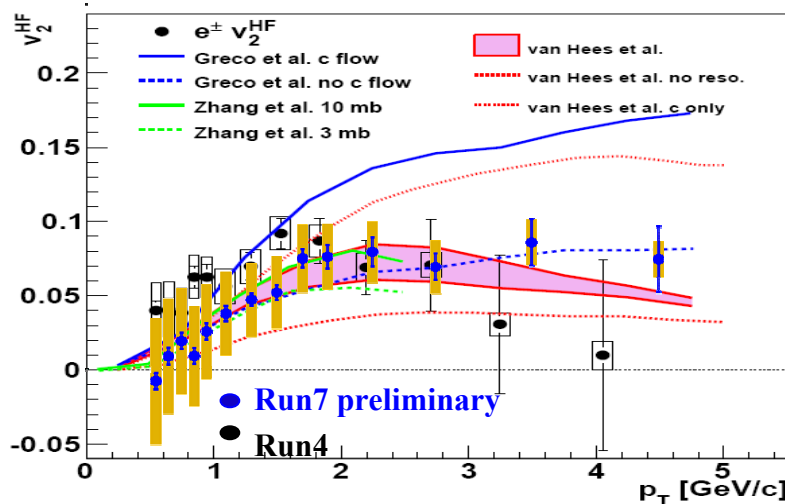
System	$\sqrt{s_{NN}}$ , GeV
<i>Au+Au</i>	7, 9, 39, 62, 130, 200
<i>d+Au</i>	200
<i>Cu+Cu</i>	22, 62, 200
$p\uparrow+p\uparrow$	22, 62, 200, 500

- **Measurement of particle yields, angular distributions and correlations**
  - ✓  $\gamma$ ,  $e$ ,  $\mu$ ,  $h^\pm$ ,  $\pi$ ,  $K$ ,  $\eta$ ,  $\omega$ ,  $K^*$ ,  $\eta'$ ,  $\phi$ ,  $p$ ,  $\Lambda$ ,  $J/\Psi$ ,  $\Psi'$ ,  $Y$  ...
- **p+p:**
  - ✓ reference to HI collisions
  - ✓ study of particle production mechanisms in elementary hadronic collisions
- **d+Au:**
  - ✓ CNM effect (nPDF, Cronin, hadron final state interactions etc.)
- **Au+Au/Cu+Cu:**
  - ✓ study of hot and dense medium
  - ✓ low energy runs, detailed study of medium properties and search of critical point

# Основные результаты ФЕНИКС

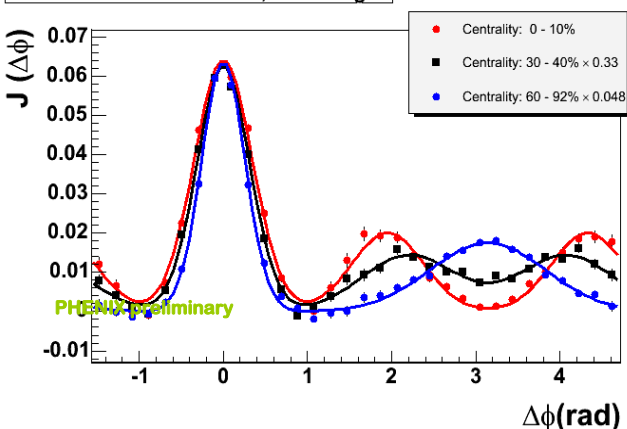


The matter is dense



The matter is strongly coupled

2.5 - 4 GeV/c x 2 - 3 GeV/c, All Charge

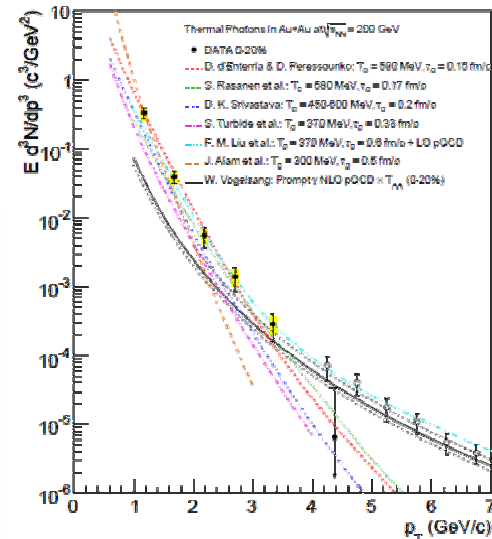
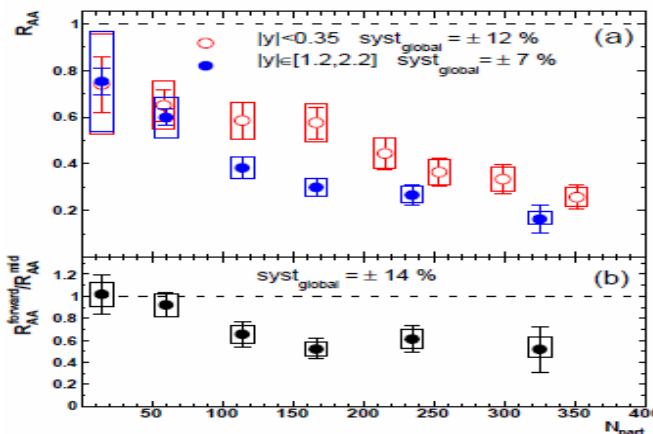


The matter modifies jets

$\epsilon > 15 \text{ GeV/fm}^3$   
 $dN_g/dy > 1100$

$\tau_0 < 1 \text{ fm/c}$   
 $T = 300 - 600 \text{ MeV}$   
 Partonic dof

The matter may melt and regenerate  $J/\psi$ 's



The matter is hot

# Участие ПИЯФ - I

- Сопровождение, плановый ремонт и экспертное сопровождение ДК.
- Участие в наборе данных ~ 15 смен по 8 дней.
- Отбор данных высокого качества, определение характеристик детекторных подсистем, настройка параметров Монте-Карло.
- Физический анализ экспериментальных данных:

$$\triangleright \pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$$

$$\triangleright \eta \rightarrow \pi^0\pi^+\pi^-, \eta \rightarrow \gamma\gamma$$

$$\triangleright \eta' \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$$

$$\triangleright \phi \rightarrow K^+K^-, \phi \rightarrow e^+e^-$$

$$\triangleright \omega \rightarrow \pi^0\pi^+\pi^-, \omega \rightarrow \pi^0\gamma, \omega \rightarrow e^+e^-$$

$$\triangleright K_s^0 \rightarrow \pi^0\pi^0$$

- Состав участников:

- ✓ В. Баублис, к.ф.-м.н., снс
- ✓ Е. Взнуздаев, вед. инженер
- ✓ Д. Иванищев, мнс
- ✓ Б. Комков, снс
- ✓ Д. Котов, к.ф.-м.н., мнс

- ✓ В. Рябов, д.ф.-м.н., внс
- ✓ Ю. Рябов, к.ф.-м.н., снс
- ✓ В. Самсонов, д.ф.-м.н., зав. лабораторией
- ✓ А. Ханзадеев, д.ф.-м.н., внс

# Участие ПИЯФ - II

- В 2010 году были измерены инвариантные спектры рождения по поперечному импульсу и факторы ядерной модификации для легких адронов в различных сталкивающихся системах:
  - $\phi \rightarrow K^+K^-$  в p+p, d+Au, Cu+Cu и Au+Au при  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  ГэВ
  - $\phi \rightarrow K^+K^-$  в p+p, Cu+Cu и Au+Au при  $\sqrt{s_{NN}} = 62$  ГэВ
  - $\omega \rightarrow \pi^0\pi^+\pi^-$  ( $\pi^0\gamma$ ),  $K_s \rightarrow \pi^0\pi^0$  в d+Au, Cu+Cu и Au+Au при  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  ГэВ
- Рождение легких адронов во взаимодействиях тяжелых релятивистских ядер в области промежуточных поперечных импульсов 2-5 ГэВ/с не описывается только фрагментацией жестко рассеянных партонов, но согласуется с рекомбинацией массивных кварков. В свою очередь рекомбинационные модели предполагают образование источника тепловых партонов, который может быть идентифицирован с КГП.
- В области больших поперечных импульсов  $> 5$  ГэВ/с выход всех легких адронов одинаково подавлен в (полу)центральных столкновениях тяжелых релятивистских ядер вне зависимости от массы частиц и их кварковых составов.



# Участие в конференциях

- 1) VII конференция по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям в национальном научном центре Харьковский физико-технический институт, 22-26 февраля 2010 г., Харьков:
  - Подавление выходов лёгких адронов в столкновениях тяжелых ядер при энергии 200 ГэВ в эксперименте ФЕНИКС
  - Зависимость величины подавления выхода лёгких адронов от энергии взаимодействия тяжёлых ядер на эксперименте PHENIX.
- 2) LX международная конференция по ядерной физике «Ядро 2010» в институте физики имени В.А. Фока СПбГУ (6-9 июля 2010 г., Петергоф):
  - Phi-meson production in copper nuclei collisions at 200 GeV in PHENIX experiment.
  - Phi-meson production studied in heavy ion collisions at 62.4 GeV in PHENIX experiment.
  - Recent result on hadron production in intermediate and high momentum regions in heavy ion collisions at RHIC.
- 3) RHIC & AGS Users meeting, Brookhaven National Laboratory, June 7-11, 2010:
  - Nuclear modification factors of phi-meson in d+Au, Cu+Cu and Au+Au collisions at 62.4 and 200 GeV
- 4) XIV Всероссийская конференция «Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах», С.-Петербург, Россия, 2010 г.:
  - Измерение факторов ядерной модификации для  $\phi$ -мезона в Cu+Cu столкновениях при энергии 200 ГэВ
  - Измерение факторов ядерной модификации для  $\phi$ -мезонов в A+A столкновениях при энергии 62.4 ГэВ
- 5) Конференция по физике и астрономии в ФТИ им. А. Ф. Иоффе, 27-28 октября 2010 года:
  - Обзор последних результатов по измерению легких адронов в области промежуточных и больших поперечных импульсов в столкновениях тяжелых релятивистских ядер на коллайдере RHIC

# Основные публикации

- 1) В. Рябов, В. Самсонов, Изучение взаимодействий тяжелых ионов в эксперименте ФЕНИКС, обзор последних результатов, Ядерная физика, том 74, № 3, с. 1-9, 2011.
- 2) A. Adare et al. (Phenix), Measurement of neutral mesons in p+p collisions at  $\sqrt{s} = 200$  GeV and scaling properties of hadron production, accepted in PRD, preprint: arXiv:1005.3674.
- 3) A. Adare et al. (Phenix), Nuclear modification factors of phi mesons in d+Au, Cu+Cu and Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV, accepted in PLB, preprint: arXiv:1004.3532.
- 4) A. Adare et al. (Phenix), Azimuthal anisotropy of neutral pion production in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV: Path-length dependence of jet quenching and the role of initial geometry, Phys.Rev.Lett.105:142301,2010.
- 5) A. Adare et al. (Phenix), Transverse momentum dependence of meson suppression  $\eta$  suppression in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys.Rev.C82:011902,2010.
- 6) A. Adare et al. (Phenix), Elliptic and hexadecapole flow of charged hadrons in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys.Rev.Lett.105:062301,2010.
- 7) Д.О.Котов, В.Г. Рябов, Ю.Г. Рябов и др., Рождение  $\phi$ -мезонов в столкновениях ядер дейтерия и ядер золота при энергии 200 ГэВ, Научно-технические ведомости СПбГПУ №2(98). с.135-140, 2010.
- 8) Д.О.Котов, В.Г. Рябов, Ю.Г. Рябов и др. Рождение  $\phi$ -мезонов в столкновениях релятивистских протонов, ядер меди и ядер золота при энергии 62,4 ГэВ, Научно-технические ведомости СПбГПУ. №1(94), с.103-109, 2010

+ несколько статей по результатам выступлений на конференциях  
+ 15 коллаборационных статей

# Защиты диссертаций

1) Д. Котов,

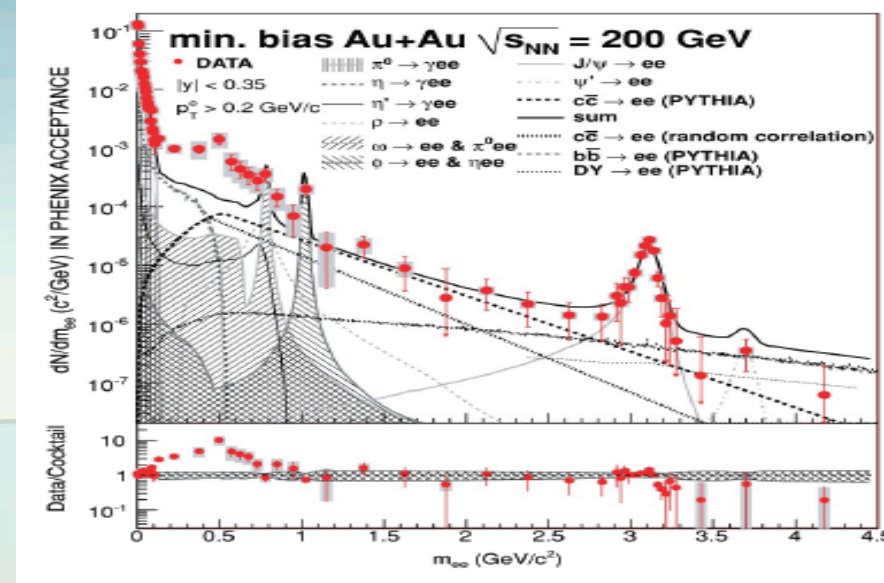
Кандидатская диссертация “Рождение  $\phi$ -мезонов в  $p+p$ ,  $d+Au$ ,  $Cu+Cu$  и  $Au+Au$  взаимодействиях при энергиях  $\sqrt{s_{NN}} = 62.4$  и  $200$  ГэВ в эксперименте ФЕНИКС”, защищена 20 октября 2010 г.

2) Д. Иванищев,

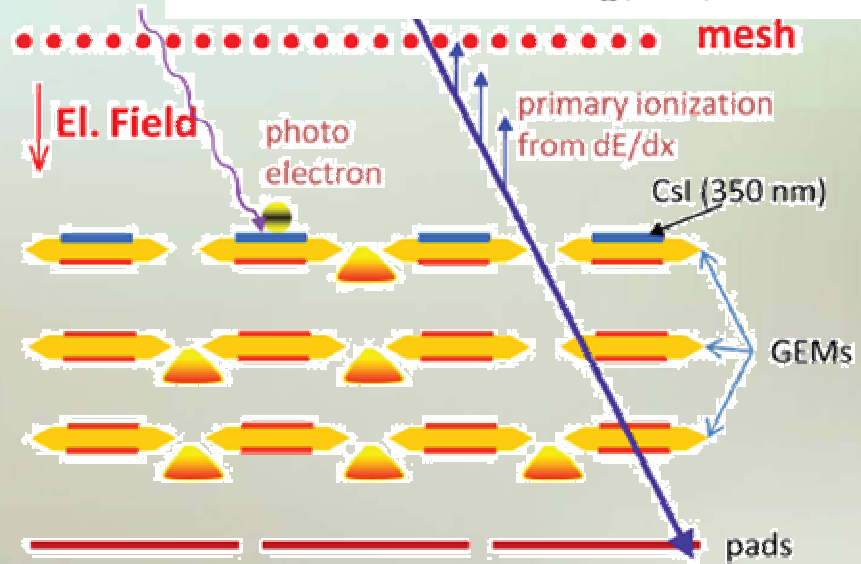
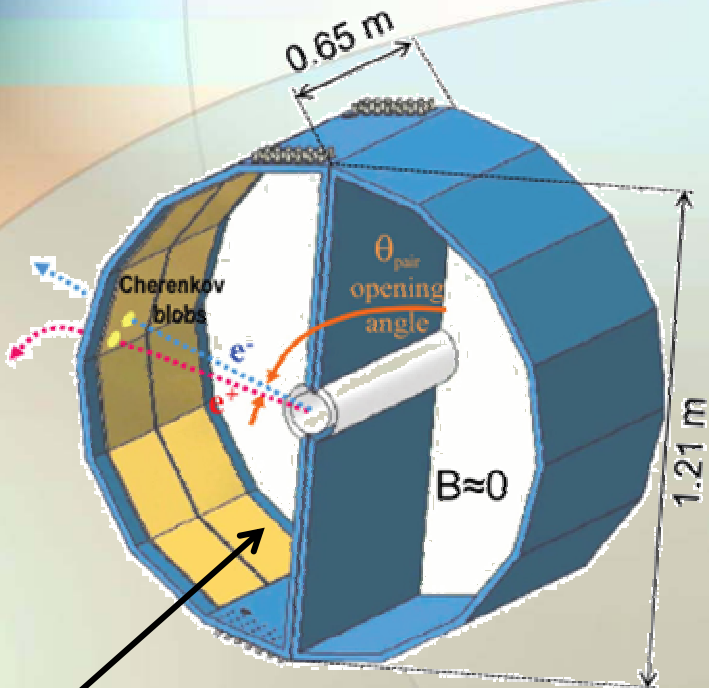
Кандидатская диссертация “Особенности рождение  $K_s$ -мезонов в ядро-ядерных взаимодействиях при энергии  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  ГэВ в эксперименте ФЕНИКС”, готовится к защите в 2011 г.

# Планы на 2011: Run10 + HBD

- Подготовка и обработка данных 2010 года (Au+Au при  $\sqrt{s_{NN}} = 39, 62$  и  $200$  ГэВ)
- Последняя надежда измерить ЛВМ



**HBD:** Cherenkov detector with CF4 gas

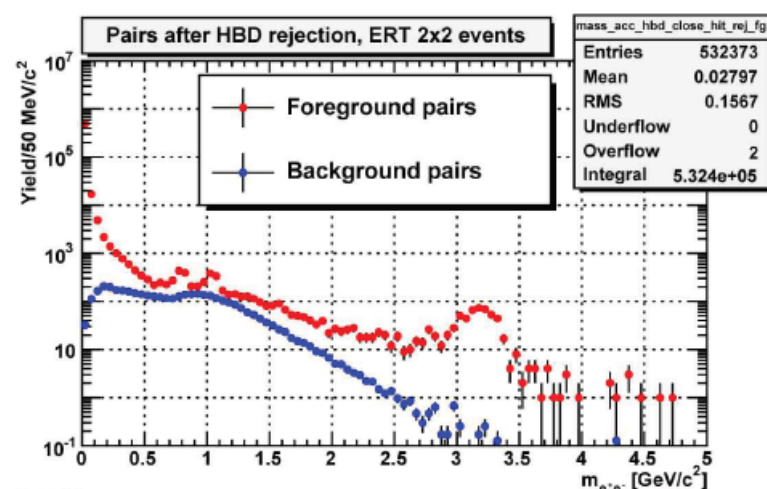
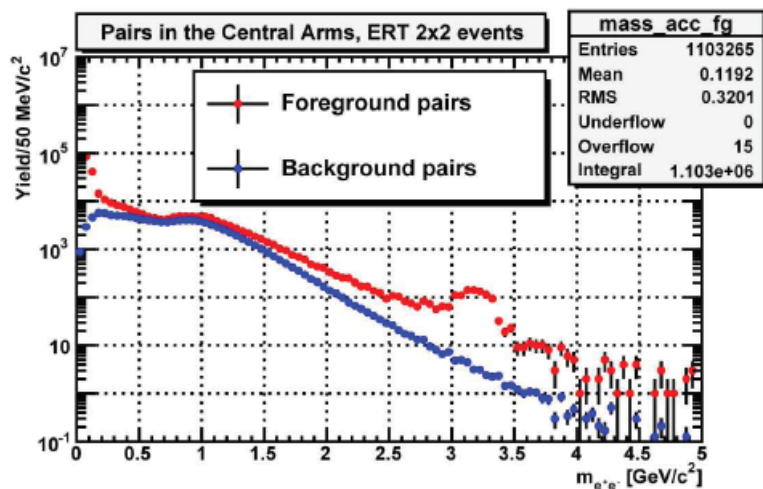
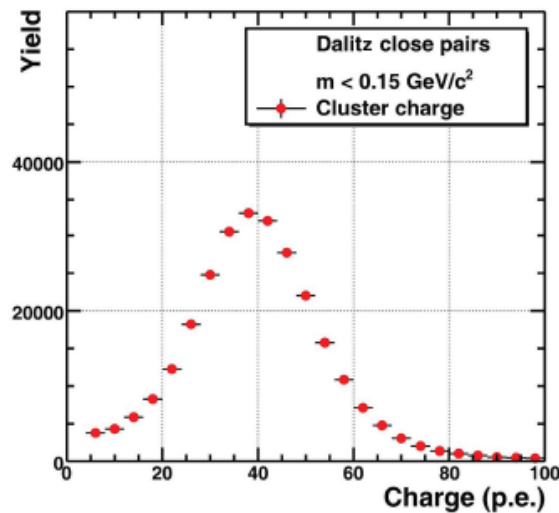
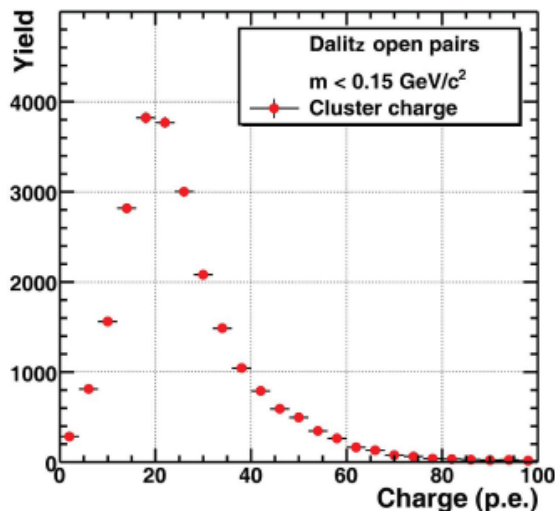
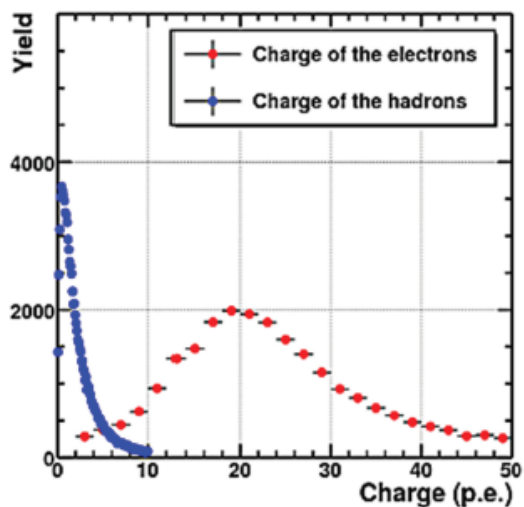


CsI photocathode covering triple GEMs

Основная цель – отброс электронных пар от конверсии и далиц-распадов

# Планы на 2011: Run10 + HBD

В Run10 ФЕНИКС собрал:  $8.2 \cdot 10^9$  событий при  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  ГэВ; (x 8 Run4; x 2.5 Run7)  
 $700 \cdot 10^6$  событий при  $\sqrt{s_{NN}} = 62$  ГэВ.

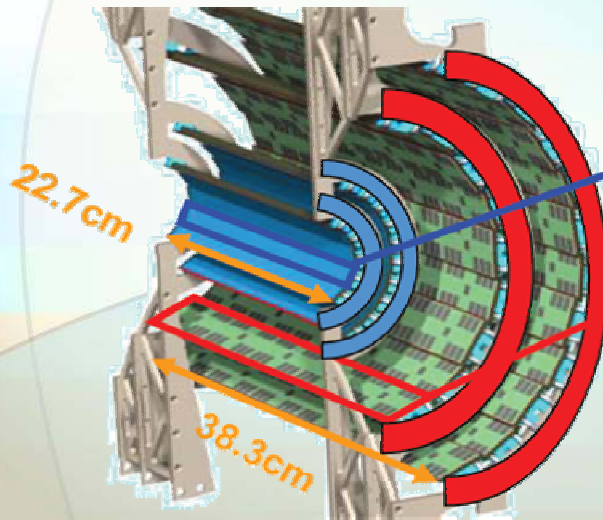


# Планы на 2011: Run11 + VTX

Run11: Au+Au, U+U (EBIS) при  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  ГэВ; p+p при  $\sqrt{s} = 500$  ГэВ

4-х слойная бочечная структура

→ 2 внутренних слоя: **пиксельные детекторы**  
2 внешних слоя: **стрип-пиксельные детекторы**



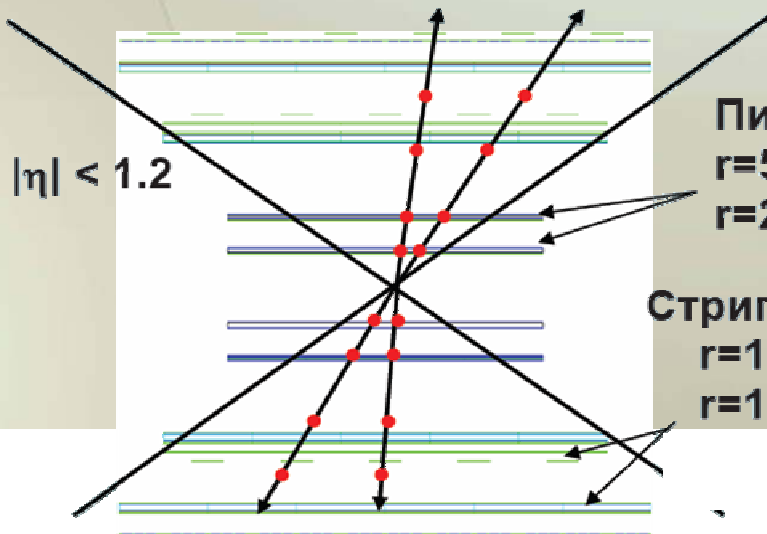
Пиксельная линейка



Стрип-пиксельная линейка



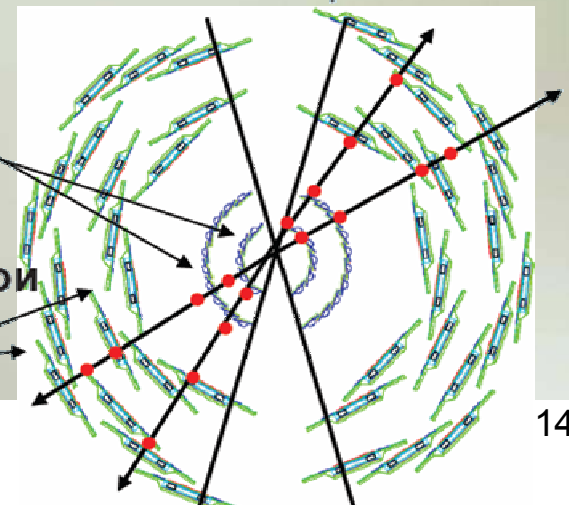
- Пространственное разрешение:  $\sigma_{DCA} \sim 100$  мкм
- Акцептанс :  $|\eta| < 1.2$ ,  $2\pi$  по азимут. углу



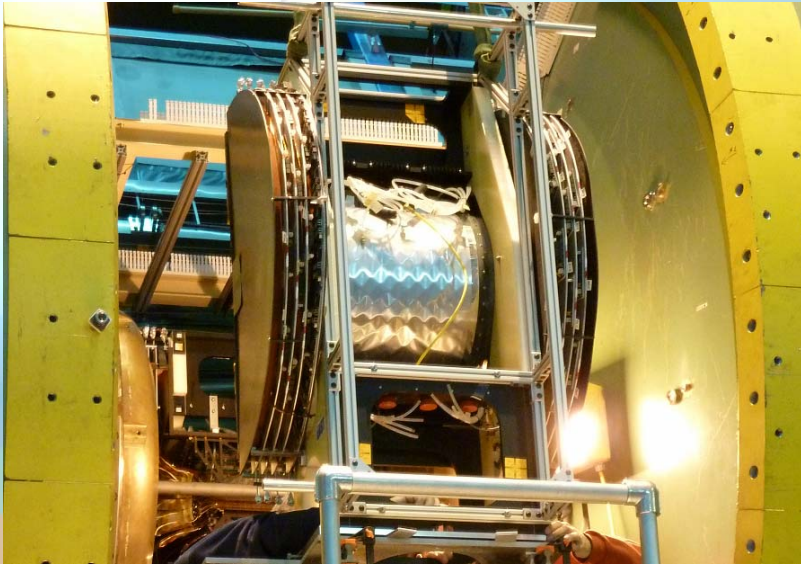
Пиксельные слои  
 $r=5.0$  см  $\Delta z = \pm 10$  см  
 $r=2.5$  см  $\Delta z = \pm 10$  см

Стрип-пиксельные слои  
 $r=11.5$  см  $\Delta z = \pm 16$  см  
 $r=16.5$  см  $\Delta z = \pm 19$  см

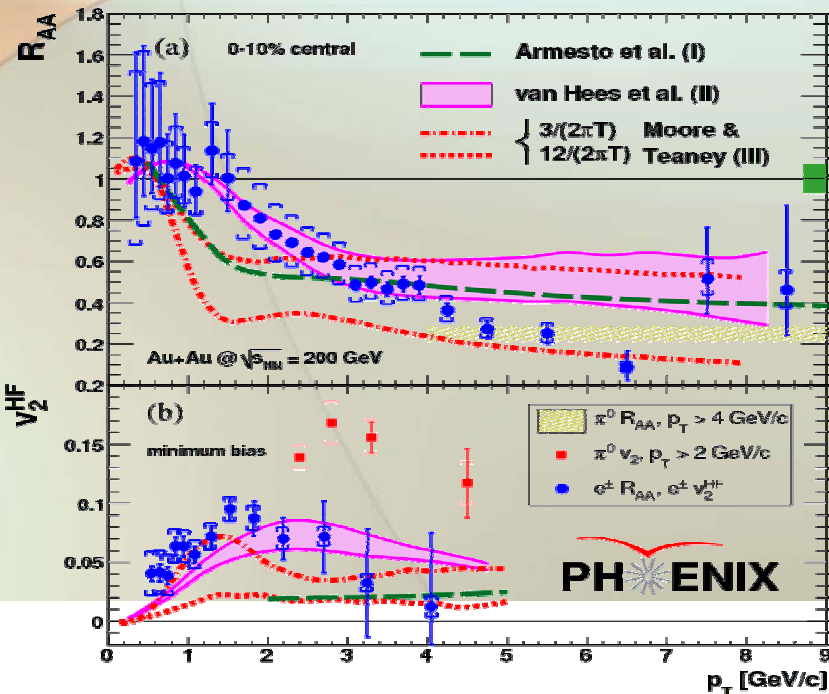
$2\pi$  по  $\phi$



# Планы на 2011: Run11 + VTX



- Рождение тяжелых ароматов во взаимодействиях тяжелых ядер, разделение c/b
- Тагирование струй: модификация струй, определение энергетических потерь тяжелых кварков в образующейся плотной и горячей среде
- VTX ( $-1.2 < |\eta| < 1.2$ ), 4 слоя: 2 пиксельных и два стрип-пиксельных, полностью установлены и готовы к следующему циклу работы эксперимента



# Планы на 2011: W мюонный триггер

## Текущий мюонный триггер

Частота триггера первого уровня  
200 кГц в p+p при 500 ГэВ



Пропускная способность DAQ ~ 2 кГц



Необходима дополнительная  
избирательность триггера (~ 100)  
для записи событий с W

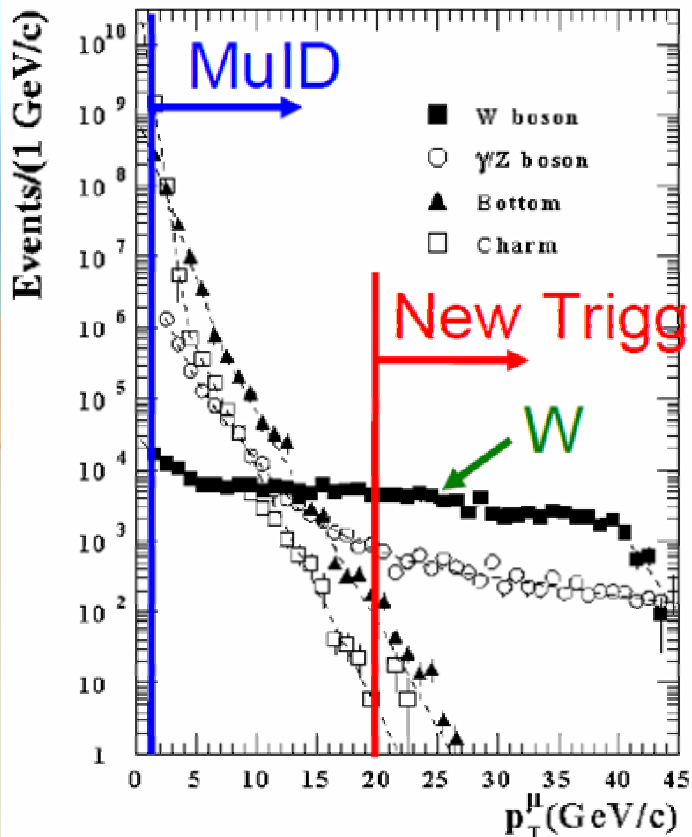
## Новый мюонный триггер

Быстрый онлайн трекинг, отбор  
треков с импульсами > 20 ГэВ/c



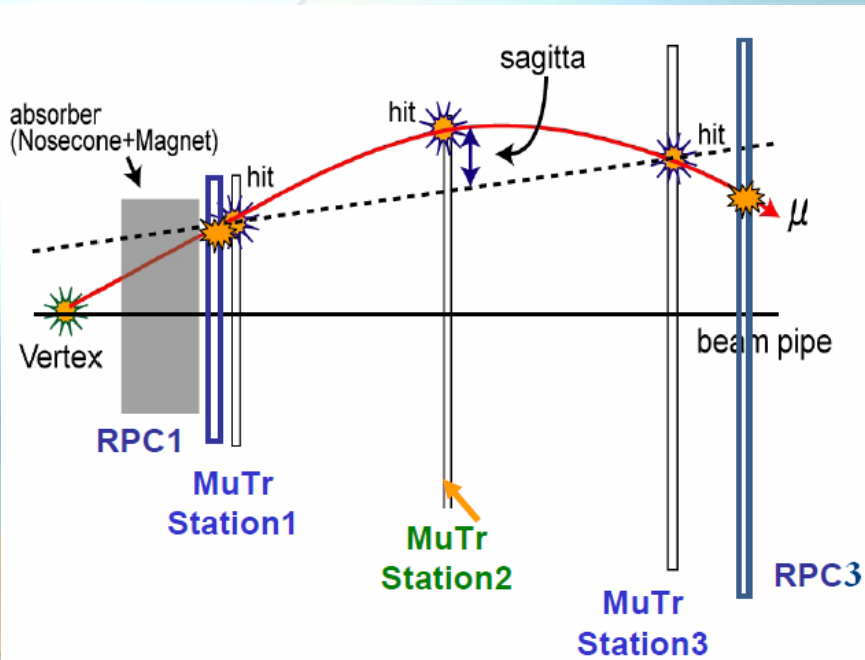
Частота срабатывания ~ 2.4 кГц

Inclusive  $\mu$  Production, 500 GeV/

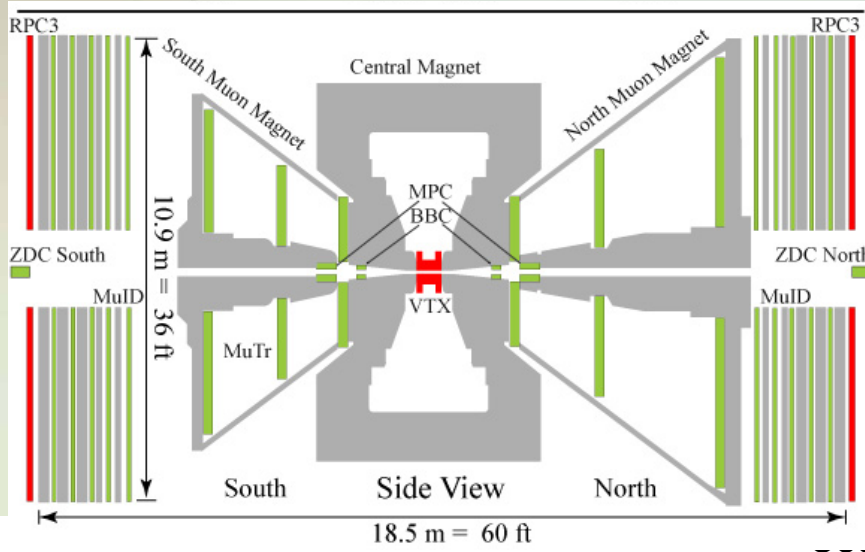




# Планы на 2011: W мюонный триггер

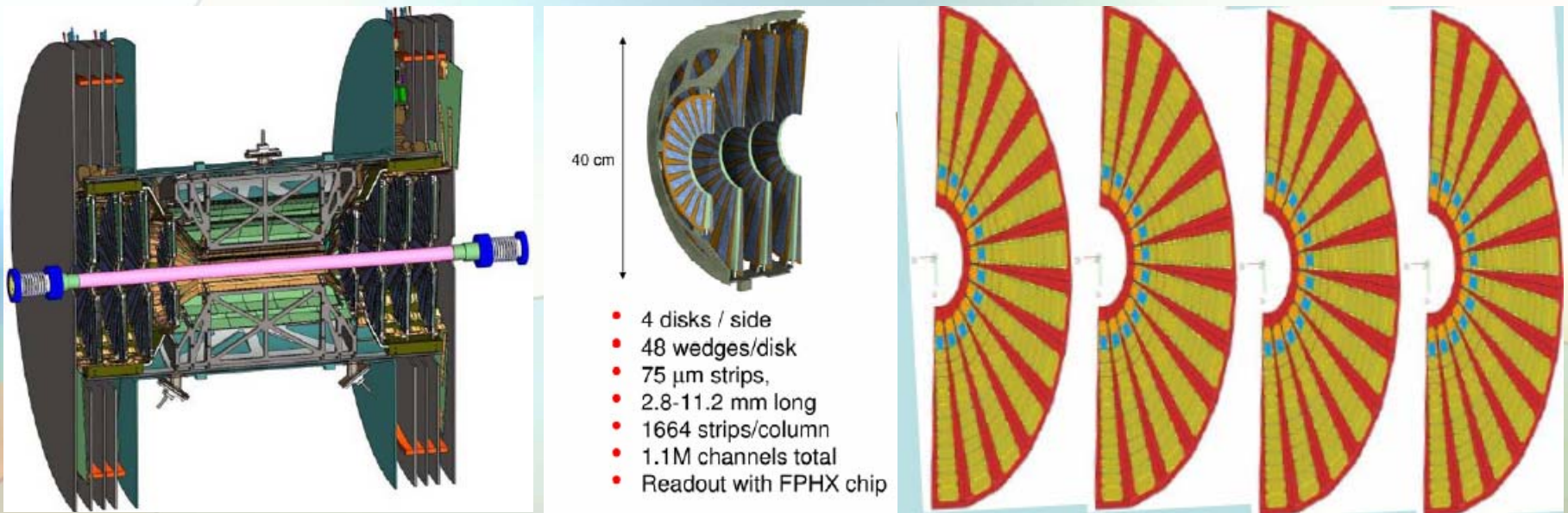


- Отбор мюонов через оценку степени изгиба трека в магнитном поле → требует модернизации FEE трековых станций и установки дополнительных быстрых трековых станций (RPC1 + RPC3)
- Дополнительная режекция фона с использованием ToF информации с RPC станций ( $\sigma \sim 2-5$  нс)
- Модернизация электроники и установка RPC3 закончены → позволит получить более значимый набор W - мезонов в Run11

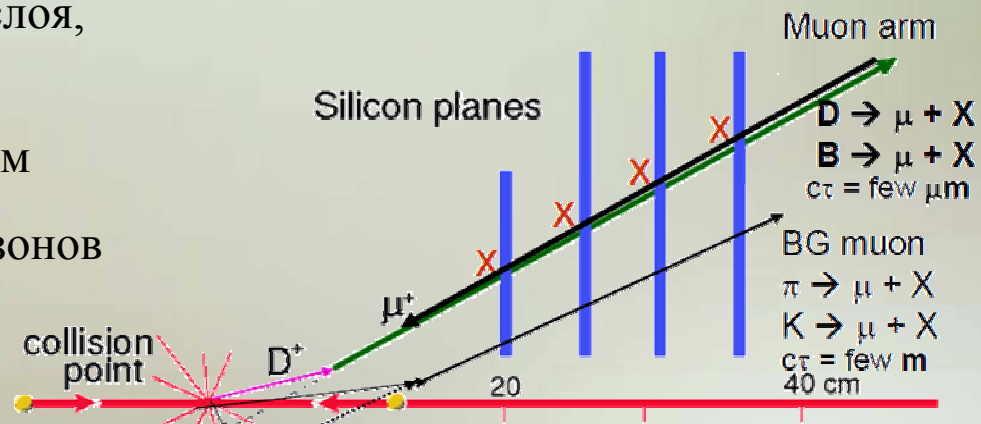


# Планы на 2012

FVTX ( $1 < |\eta| < 2.5$ ) – производство и установка в 2012 году

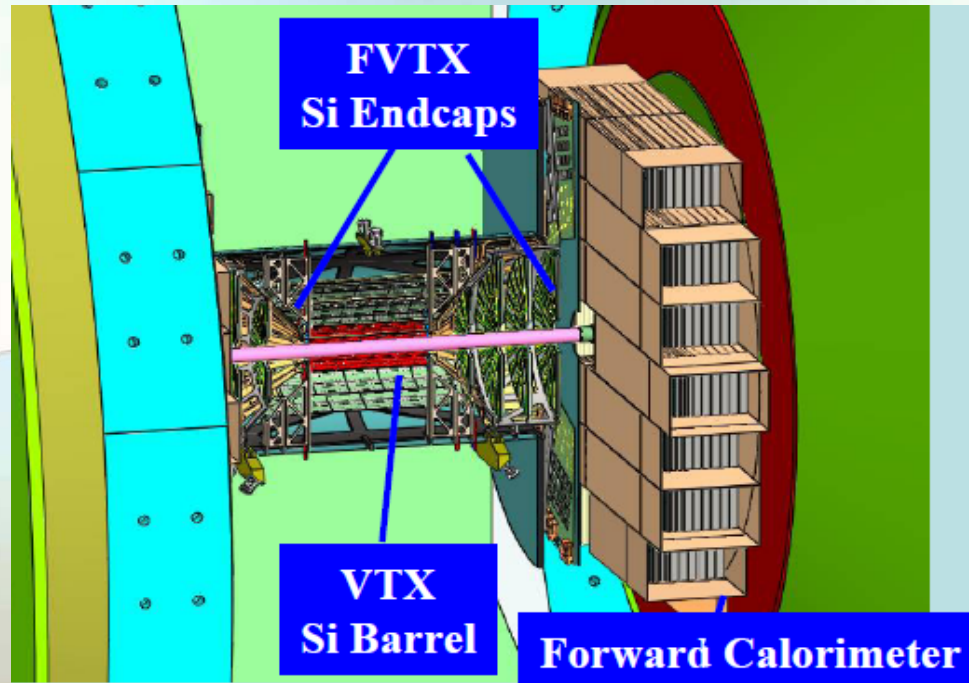


- Кремневый мини-стриповый детектор, 4 слоя, расстояние между стрипами 75 мкм
- DCA разрешение в плоскости r-z  $\sim 100$  мкм
- Разделение мюонов от распадов D и B мезонов
- Подавление фоновых мюонов от распада легких адронов ( $\pi$  и K)



# Планы на 2014

FOCAL ( $1.5 < |\eta| < 3.0$ ) – производство и установка в 2014 году

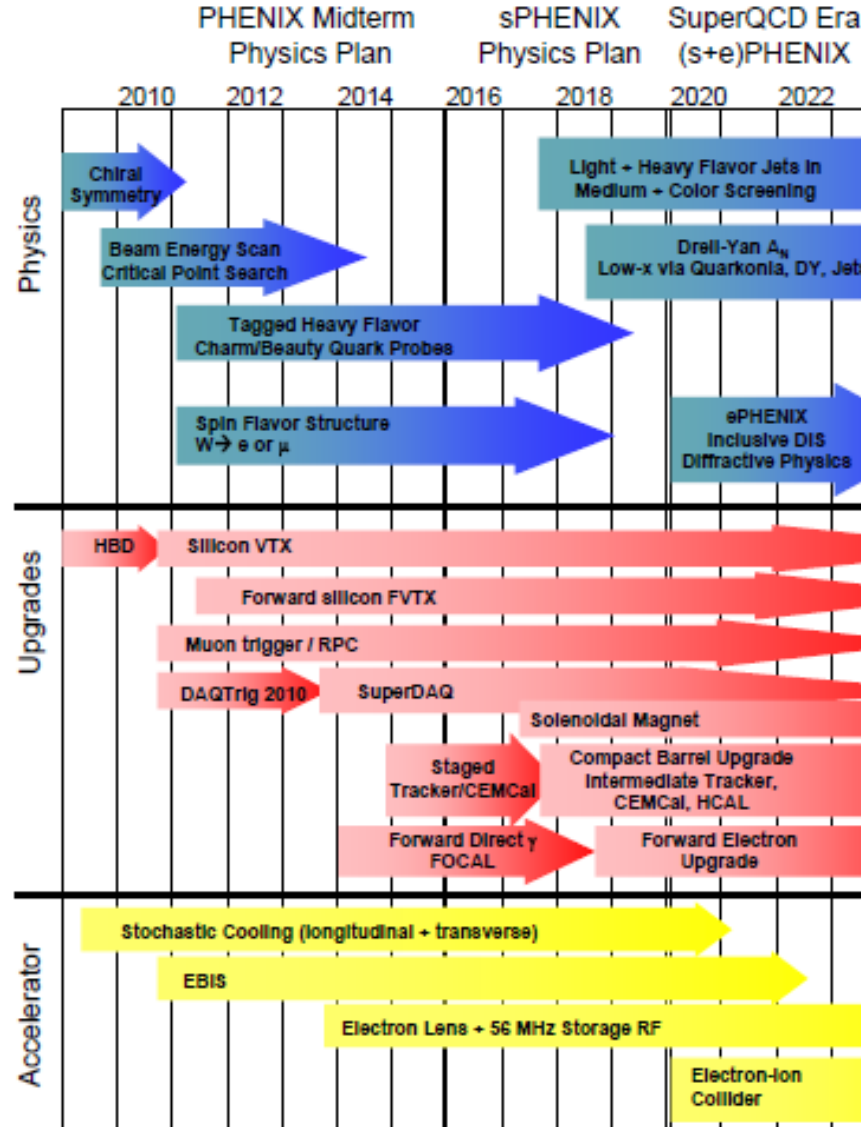


- Кремневые пады (21 слой,  $15 \times 15 \text{ мм}^2$ ) и стрипы (8 слоев, 0.5 мм ширина) + вольфрам:
  - $21 X_0$
  - $\Delta E/E \sim 23\%/\sqrt{E}$
- Измерения при малых  $x$  для спиновой программы, CGC, изучение 2-х частичных корреляций ( $\gamma$ -jet)

# Заключение

- В эксперименте ФЕНИКС было сделано много открытий и неожиданных наблюдений. Исследования продолжаются и ПИЯФ вносит свой вклад в обслуживание детектора и получение новых данных.
- Повышение светимости пучков и обновление экспериментальной установки позволит расширить программу исследований:
  - свойства ЛВМ в диэлектронном канале.
  - сектор тяжелых ароматов (c,b)
  - спиновая структура протона (W)
  - струй и угловые корреляции: h-h,  $\gamma$ -h, (c,b)-h





**Figure 1:** Timeline indicating the physics topics, detector upgrades, and accelerator upgrades over the next decade.