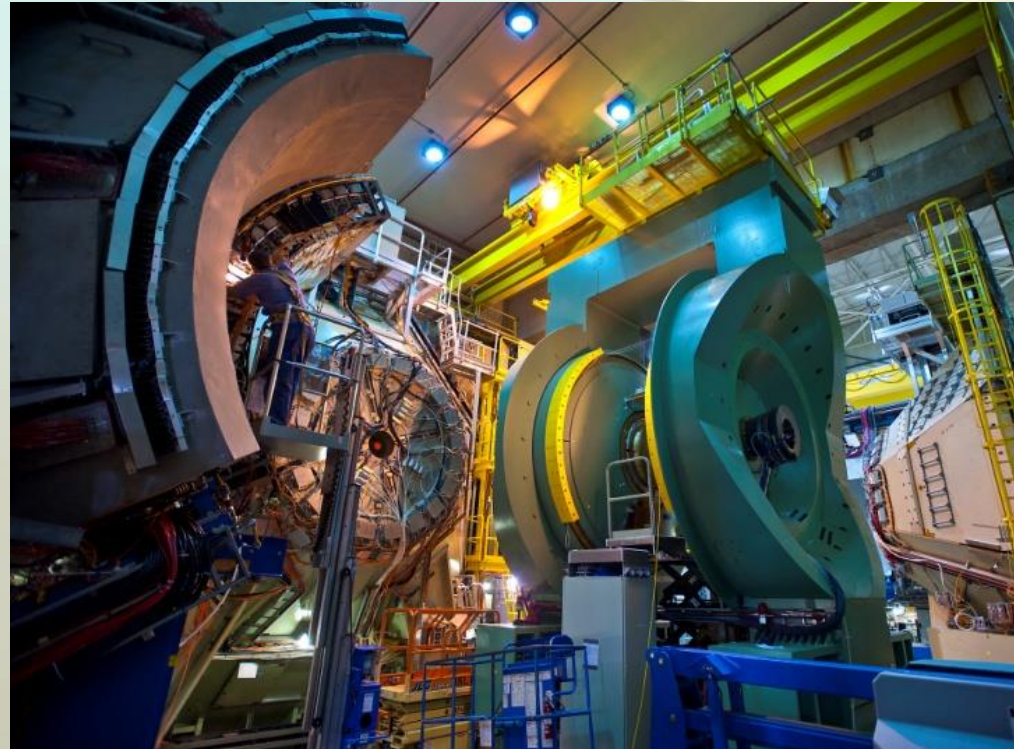


Эксперимент PHENIX на ускорителе RHIC, BNL.



Ю. Рябов, ЛРЯФ ОФВЭ

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

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

Peking University, Beijing, People's Republic of China

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

Czech Technical University, Zikova 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-40014 Jyväskylä, Finland

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

Laboratoire Leprince-Ringuet, 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

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, POBox 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, Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8526, Japan

Advanced Science Research Center, Japan Atomic Energy Agency, 2-4 Shirakata Shirane, Tokai,

mura,

Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, 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

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

Protvino, 142281, Russia

INR_RAS, Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a,

Moscow 117312, 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

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Vorob'evy Gory,

Moscow 119992, Russia

Chonbuk National University, Jeonju, South Korea

Ewha Womans University, Seoul 120-750, South Korea

Hanyang University, Seoul 133-792, South Korea

Korea University, Seoul, 136-701, South Korea

Accelerator and Medical Instrumentation Engineering Lab, SungKyunkwan University,

53 Myeongnyun-dong, 3-ga, Jongno-gu, Seoul, South Korea

Myongji University, Yongin, Kyonggido 449-728, Korea

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

Yonsei University, IPAP, Seoul 120-749, South Korea

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

PHENIX



14 countries, 73 institutions, Jan. 2014

Ab

Department of Physics, Augustana College, Sioux Falls, SD 57197

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.

Department of Physics, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-1040

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.

Циклы работы

RHIC Run	Year	Species	Energy	Ldt
Run-1	2000	Au+Au	130 GeV	1 μb^{-1}
Run-2	2001-2	Au+Au	200 GeV	24 μb^{-1}
		Au+Au	19 GeV	
		p+p	200 GeV	150 nb ⁻¹
Run-3	2002/3	d+Au	200 GeV	2.74 nb ⁻¹
		p+p	200 GeV	0.35 nb ⁻¹
Run-4	2003/4	Au+Au	200 GeV	241 μb^{-1}
		Au+Au	62.4 GeV	9 μb^{-1}
Run-5	2005	Cu+Cu	200 GeV	3 nb ⁻¹
		Cu+Cu	62.4 GeV	0.19 nb ⁻¹
		Cu+Cu	22.4 GeV	2.7 μb^{-1}
Run-6	2006	p+p	200 GeV	10.7 pb ⁻¹
		p+p	62.4 GeV	100 nb ⁻¹
Run-7	2007	Au+Au	200 GeV	813 μb^{-1}
Run-8	2007/2008	d+Au	200 GeV	80 nb ⁻¹
		p+p	200 GeV	5.2 pb ⁻¹
		Au+Au	9.2 GeV	
Run-9	2009	p+p	200 GeV	16 pb ⁻¹
		p+p	500 GeV	14 pb ⁻¹
Run-10	2010	Au+Au	200 GeV	1.3 nb ⁻¹
		Au+Au	62.4 GeV	100 μb^{-1}
		Au+Au	39 GeV	40 μb^{-1}
		Au+Au	7.7 GeV	260 mb ⁻¹
Run-11	2011	p+p	500 GeV	27 pb ⁻¹
		Au+Au	200 GeV	915 μb^{-1}
		Au+Au	27 GeV	5.2 μb^{-1}
		Au+Au	19.6 GeV	13.7 M events
Run-12	2012	p+p	200 GeV	9.2 pb ⁻¹
		p+p	510 GeV	30 pb ⁻¹
		U+U	193 GeV	171 μb^{-1}
		Cu+Au	200 GeV	4.96 nb ⁻¹
Run-13	2013	p+p	510 GeV	130 pb ⁻¹
Run-14	2014	Au+Au	15 GeV	2.56 nb ⁻¹
		Au+Au	200 GeV	44.2 μb^{-1}
		He ³ +Au	200 GeV	

❖ RHIC – исключительно гибкий и надежный ускоритель
→ обширная физическая программа экспериментов

❖ Около половины рабочего времени посвящено программе сканирования по энергиям взаимодействия и столкновению различных ядер

❖ Непрерывное повышение светимости пучков

❖ 14 циклов работы:
✓ 11 энергий (\sqrt{s})
✓ 7 комбинаций ядер

Участие ПИЯФ (2014 год).

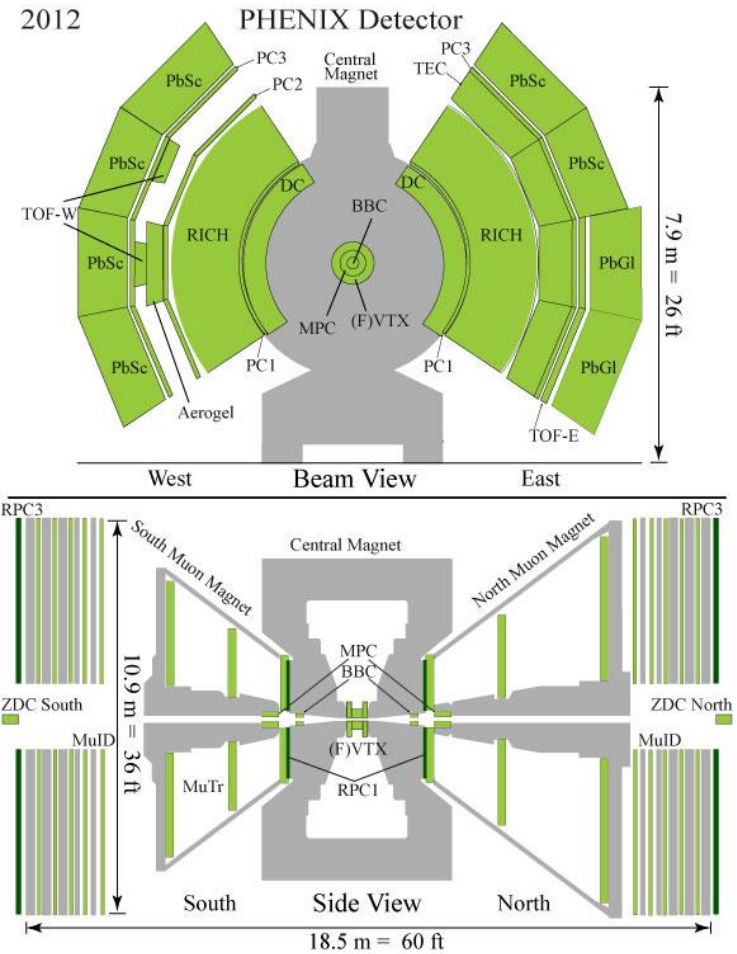
Состав участников:

- ✓ В. Самсонов, д.ф.-м.н., зав. Лабораторией
- ✓ В. Баублис, к.ф.-м.н., СНС
- ✓ Д. Иванищев, к.ф.-м.н. МНС
- ✓ Б. Комков, СНС
- ✓ Д. Котов, к.ф.-м.н., СНС
- ✓ В. Рябов, д.ф.-м.н., ВНС
- ✓ Ю. Рябов, к.ф.-м.н., СНС
- ✓ А. Ханзадеев, д.ф.-м.н., ВНС

❖ Сопровождение, плановый ремонт и экспертное сопровождение ДК.

❖ Участие в наборе данных ~ 12 смен по 8 дней.

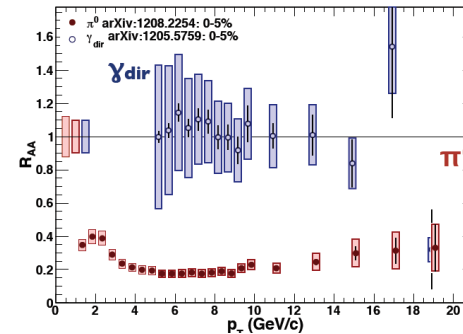
❖ Отбор данных высокого качества, определение характеристик детекторных подсистем, настройка параметров Монте-Карло.



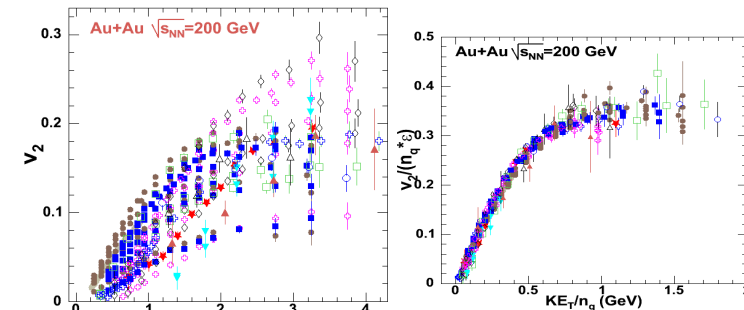
Физические результаты (2014 год).

❖ В 2005 году все коллаборации на RHIC сделали заявление об открытии нового состояния – сильновзаимодействующей КГП:

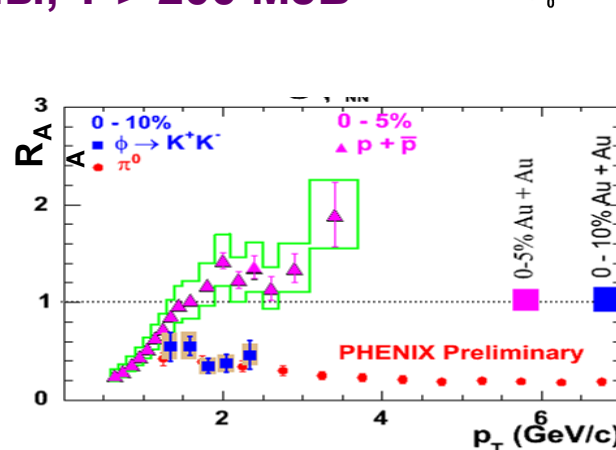
гашение струй (подавление выхода адронов с большим поперечным импульсом).



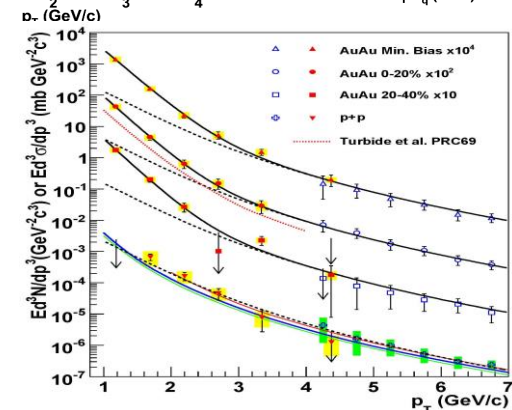
эллиптический поток, зависимость потока от массы, v_2



мягкие прямые фотоны, $T > 200$ МэВ



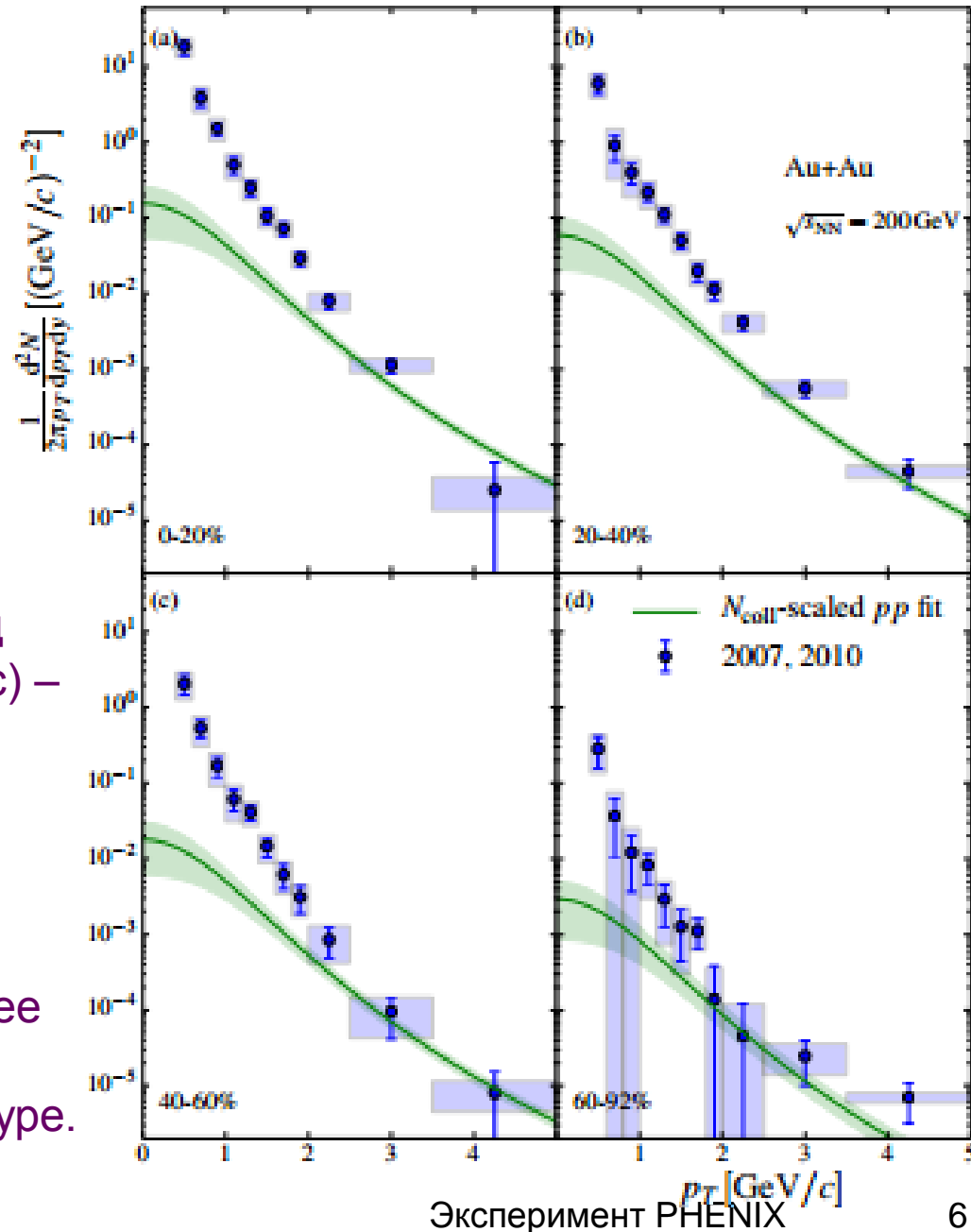
“барионная загадка”



Физические результаты (2014 год).

Прямые фотоны Au+Au 200 ГэВ (фотоны не от распадов адронов)

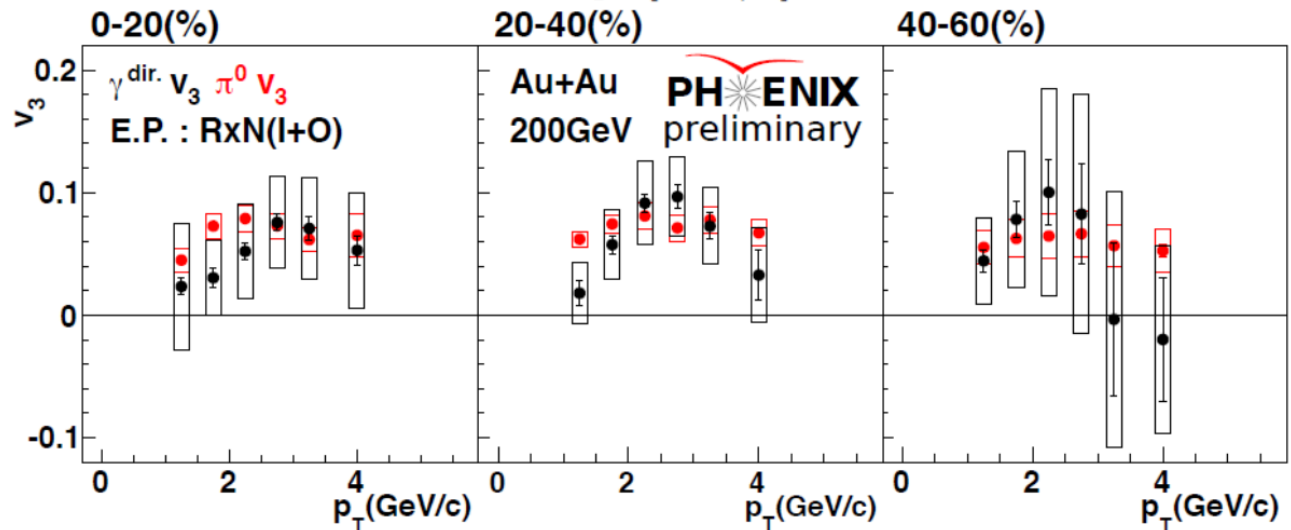
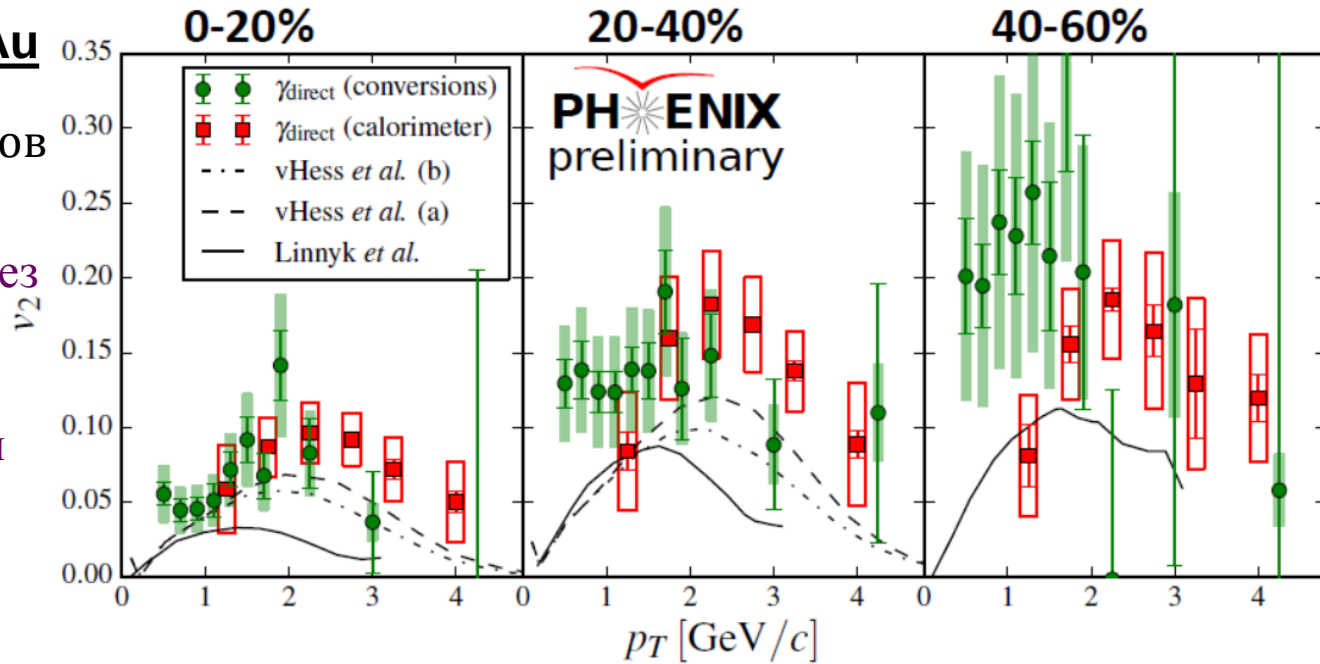
- ❖ Данные 2007 и 2010 года;
- ❖ измерены вплоть от поперечного импульса 0.4 ГэВ/с (конверсионные электрон-позитронные пары);
- ❖ измерения для нескольких центральностей столкновений;
- ❖ существенный избыточный выход мягких прямых фотонов ($p_T < 4$ ГэВ/с) – излучение среды;
- ❖ аппроксимация функцией ($\sim \exp(-p_T/T)$) дает оценку T (~ 240 МэВ);
- ❖ Теор. модели предполагают раннее излучение фотонов из системы, находящейся при высокой температуре.



Физические результаты (2014 год).

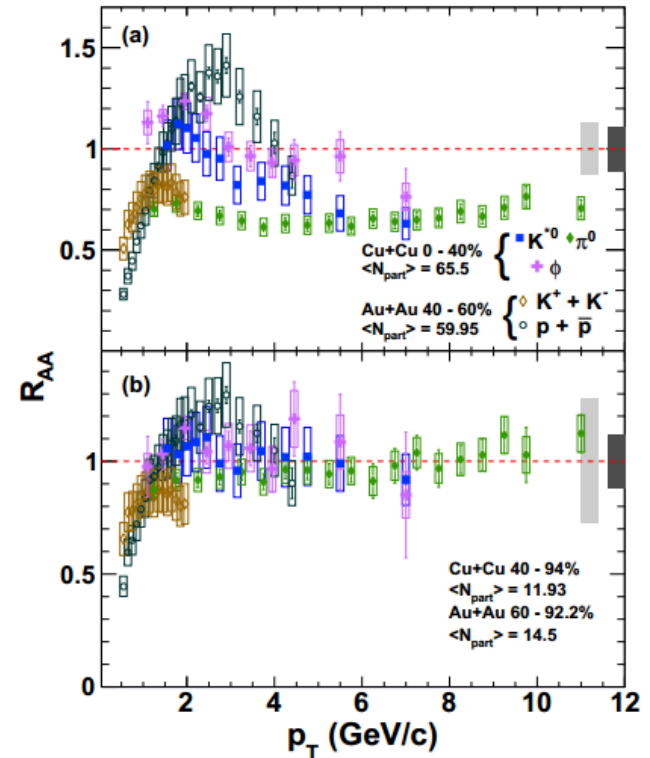
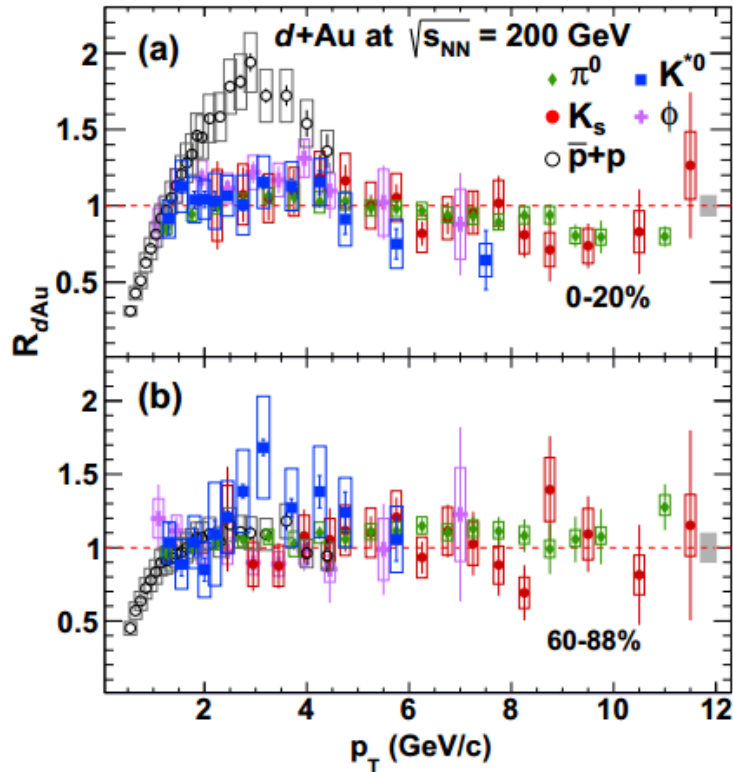
**Прямые фотоны Au+Au
200 ГэВ**
(фотоны не от распадов
адронов)

- ❖ Прямые измерения и через конверсию;
- ❖ Существенные величины эллиптического потока;
- ❖ Теор. модели предполагают излучение на более поздних стадиях (расширяющаяся и остывающая среда);
- ❖ Противоречие – теор. объяснения нет.



Физические результаты (2014 год).

Рождение K_s и K^* мезонов в $p+p$, $d+Au$ и $Cu+Cu$ взаимодействиях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ. 2014, PhysRevC.90.054905



- ❖ В $d+Au$ и периф. $Cu+Cu$ столкновений измеренные факторы практически не зависят от поперечного импульса частиц и согласуются с единицей.
- ❖ В центральных $Au+Au$ и $Cu+Cu$ столкновениях - подавление.
- ❖ Для $p_T > 5$ ГэВ/с выходы подавлены \sim в 2 раза (как пионы).
- ❖ Для промежуточных импульсов 2-5 ГэВ/с – подавление отличается как от более легких π мезонов, так и более тяжелых барионов (протонов), занимая промежуточное положение.

Конференции

5 докладов на 3 конференциях.

1. Ядро-2014, Минск
2. Quark Confinement and the Hadron Spectrum XI, Saint Petersburg (Russia).
3. The XXII International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems "Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics", Dubna, Russia.

Публикации

1. Cross Section and Transverse Single-Spin Asymmetry of η Mesons in p+p Collisions at $\sqrt{s}=200$ GeV at Forward Rapidity PHENIX Collaboration (A. Adare (Colorado U.) et al.). 2014. Phys.Rev. D90 (2014) 7, 072008
2. Low-mass vector-meson production at forward rapidity in p+p collisions at $\sqrt{s}=200$ GeV PHENIX Collaboration (A. Adare (Colorado U.) et al.). 2014. 12 pp. PhysRevD.90.052002
3. Measurement of K^0_S and K^*0 in p+p, d+Au, and Cu+Cu collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV PHENIX Collaboration (A. Adare (Colorado U.) et al.). 18 pp. Phys.Rev. C90 (2014) 5, 054905
4. Inclusive double-helicity asymmetries in neutral-pion and eta-meson production in $p^\uparrow + p^\uparrow$ collisions at $\sqrt{s}=200$ GeV, PHENIX, Collaboration (A. Adare (Colorado U.) et al.). 2014. Phys.Rev. D90 (2014) 1, 012007
5. Azimuthal-angle dependence of charged-pion-interferometry measurements with respect to second- and third-order event planes in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV, PHENIX Collaboration (A. Adare (Colorado U.) et al.). 2014. Phys.Rev.Lett. 112 (2014) 22, 222301
6. Transverse-energy distributions at midrapidity in p+p, d+Au, and Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=62.4-200$ GeV and implications for particle-production models, PHENIX Collaboration (S.S. Adler (Brookhaven) et al.). Phys.Rev. C89 (2014) 4, 044905
7. Measurement of transverse-single-spin asymmetries for midrapidity and forward-rapidity production of hadrons in polarized p+p collisions at $\sqrt{s}=200$ and 62.4 GeV, PHENIX Collaboration (A. Adare (Colorado U.) et al.). Phys.Rev. D90 (2014) 012006]
8. Heavy-flavor electron-muon correlations in p+p and d+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV, PHENIX Collaboration (A. Adare (Colorado U.) et al.). Phys.Rev. C89 (2014) 3, 034915
9. System-size dependence of open-heavy-flavor production in nucleus-nucleus collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV, PHENIX Collaboration (A. Adare (Colorado U.) et al.). Phys.Rev. C90 (2014) 034903
10. Cold-nuclear-matter effects on heavy-quark production at forward and backward rapidity in d+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV, PHENIX Collaboration (A. Adare (Colorado U.) et al.). Phys.Rev.Lett. 112 (2014) 252301

+ несколько статей по результатам выступлений на конференциях в 2012-2013

Заключение

- ❖ Исследования на коллайдере RHIC успешно продолжаются
- ❖ ПИЯФ вносит свой вклад в обслуживание детектора и получение новых физических результатов.
- ❖ Политика.
- ❖ Физическая программа до 2016 г. сфокусирована на изучении:
 - ✓ ЛВМ и континуума в диэлектронном канале
 - ✓ сектора тяжелых ароматов (c,b)
 - ✓ струй и угловых корреляции: h-h, γ -h, (c,b)-h

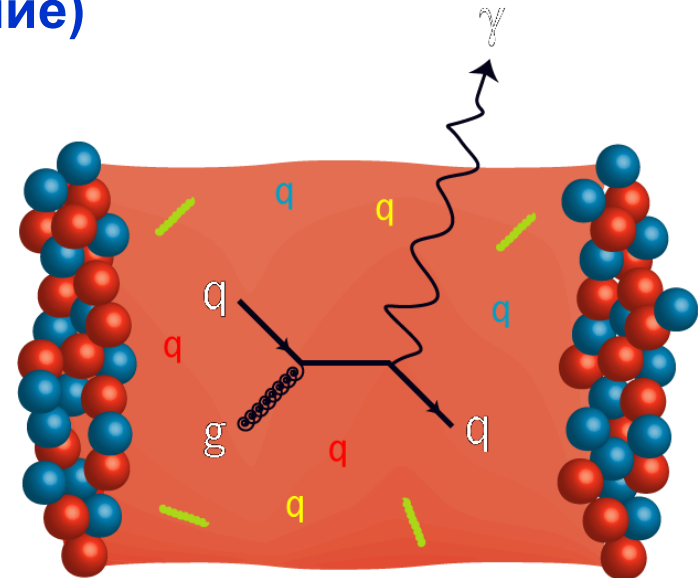
Backups

Прямые фотоны

- Прямые фотоны: фотоны не от распадов адронов.
- Считаются очень хорошим инструментом для определения свойств материи, образующейся при столкновениях тяжелых ионов.
 - Образуются в среде, не участвуют в сильных взаимодействиях. (длинный путь свободного пробега)
 - Могут быть описаны с помощью элементарных процессов: (комптон, аннигиляция, торм. излучение)

PHENIX измеряет прямые фотоны при

- Низких переданных импульсах (термальная эмиссия образующейся материи)
- Высоких переданных импульсах (жесткое рассеяние)



Методы измерения прямых фотонов

PHENIX измеряет прямые фотоны тремя методами:

Subtraction

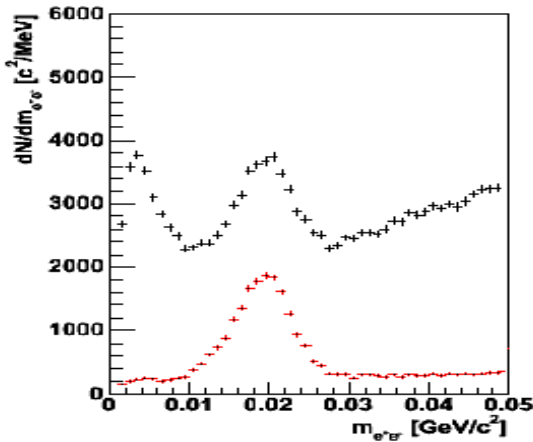
- Измеряется инклюзивный выход фотонов.
- Измеряются спектры π^0 , η , ω и т.д.
- Вычисляются выходы фотонов от распадов и вычитаются из инклюзивного выхода.

Tagging

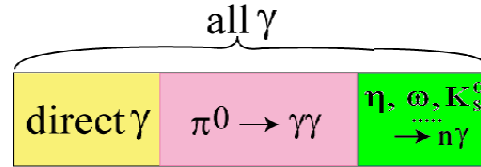
- Измеряется выход фотонов из которого исключаются фотоны, создающие массу в районе π^0 с любым другим фотоном.
- Вычитается вклад от η , ω и т.д..

External conversion

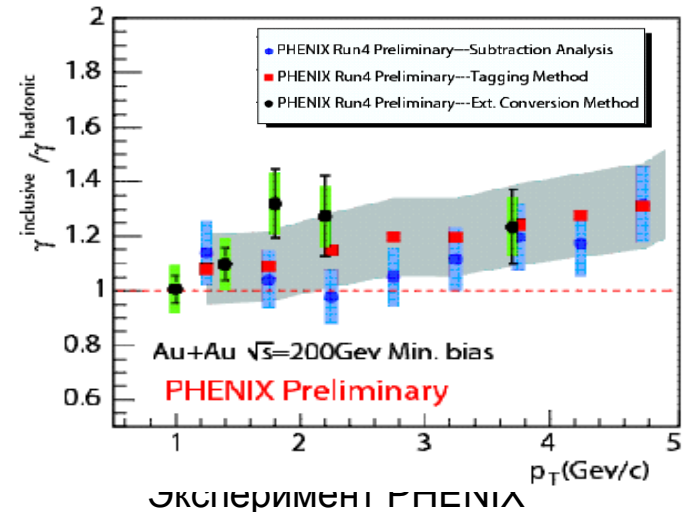
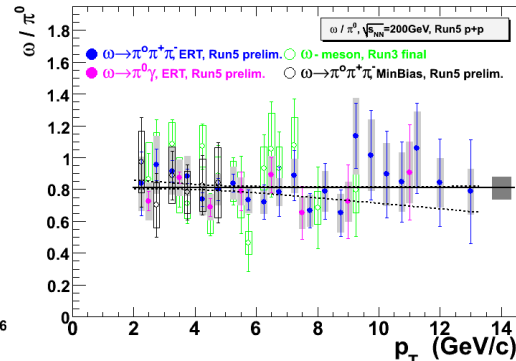
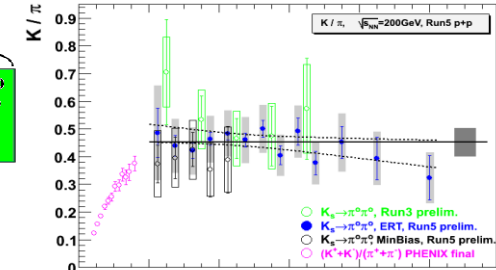
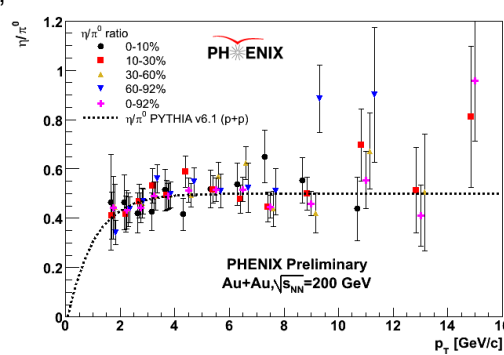
- Используется конверсия фотонов на пучковой трубе для производства чистого фотонного спектра.
- Полученные фотоны комбинируются с другими для оценки вклада фотонов от π^0 .
- Вычитается вклад от η , ω и т.д..
- Вычисляется отношение $N_\gamma^{all}/N_\gamma^{decay}$



Три методики дают совпадающие (в ошибках) результаты



$$\gamma^{Direct} = \gamma^{All} - \gamma^{Hadronic}$$



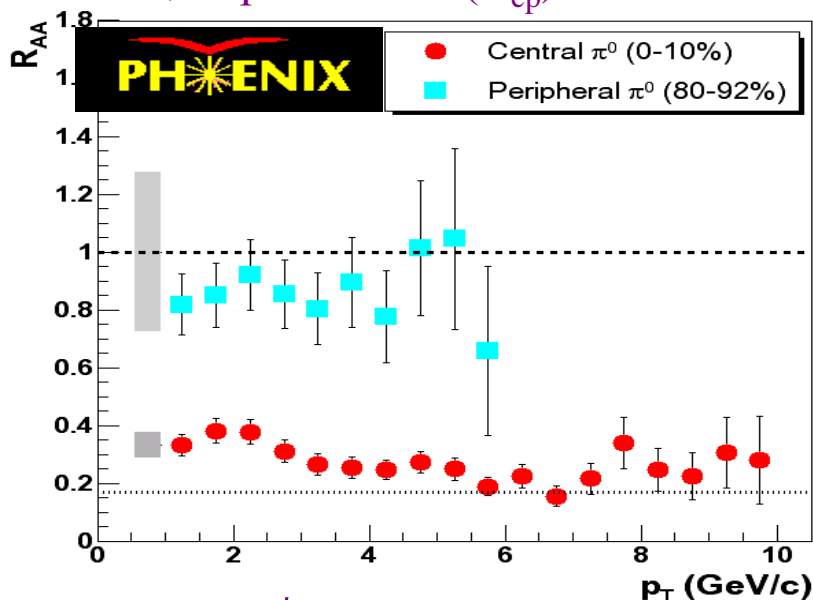
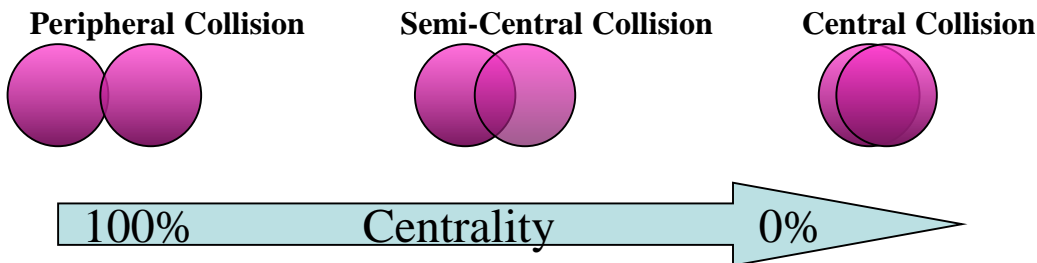
Фактор ядерной модификации

1. Сравниваются выходы частиц, измеренные в ионных и протонных столкновениях (R_{AA}).

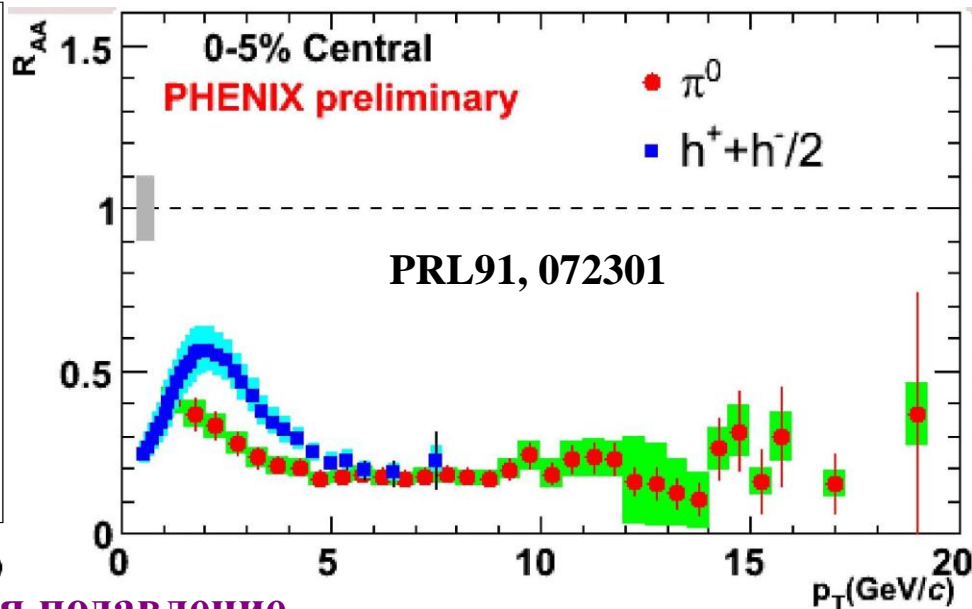
Nuclear
Modification
Factor:

$$R_{AA} = \frac{\text{Yield}_{\text{AuAu}} / \langle N_{\text{binary}} \rangle_{\text{AuAu}}}{\text{Yield}_{pp}}$$

2. Сравниваются выходы частиц, измеренные в ионных столкновениях при различной центральности (R_{cp})

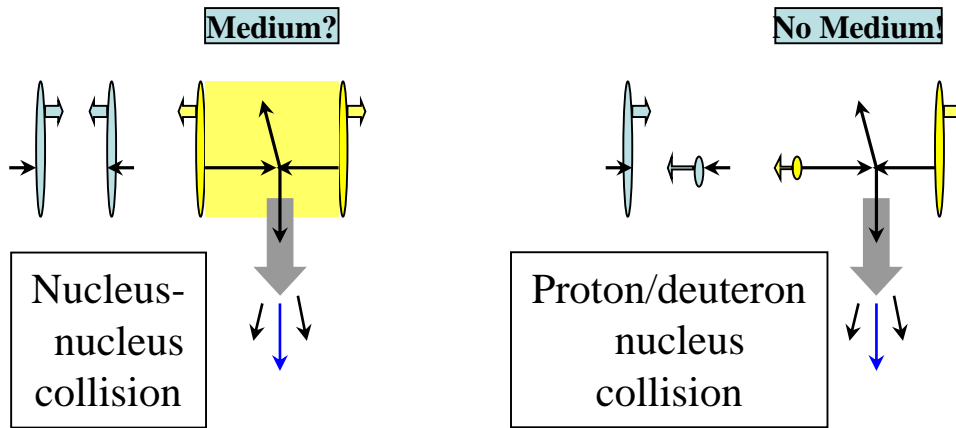


Au-Au $\sqrt{s} = 200$ GeV: наблюдается подавление.



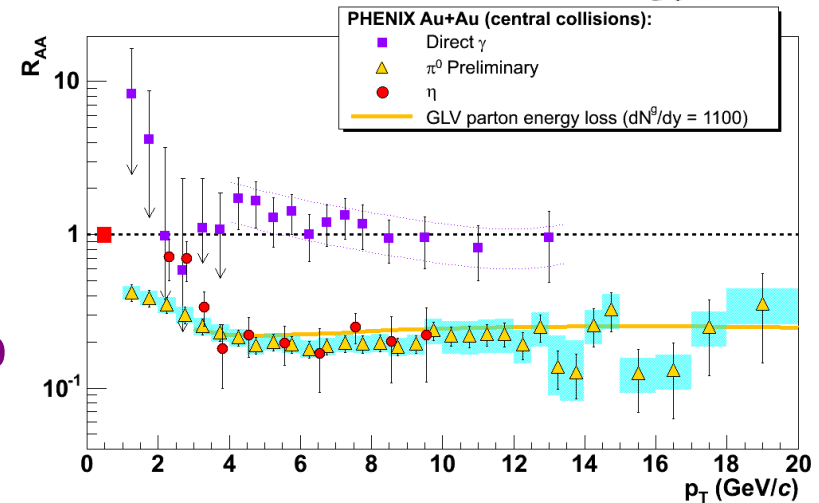
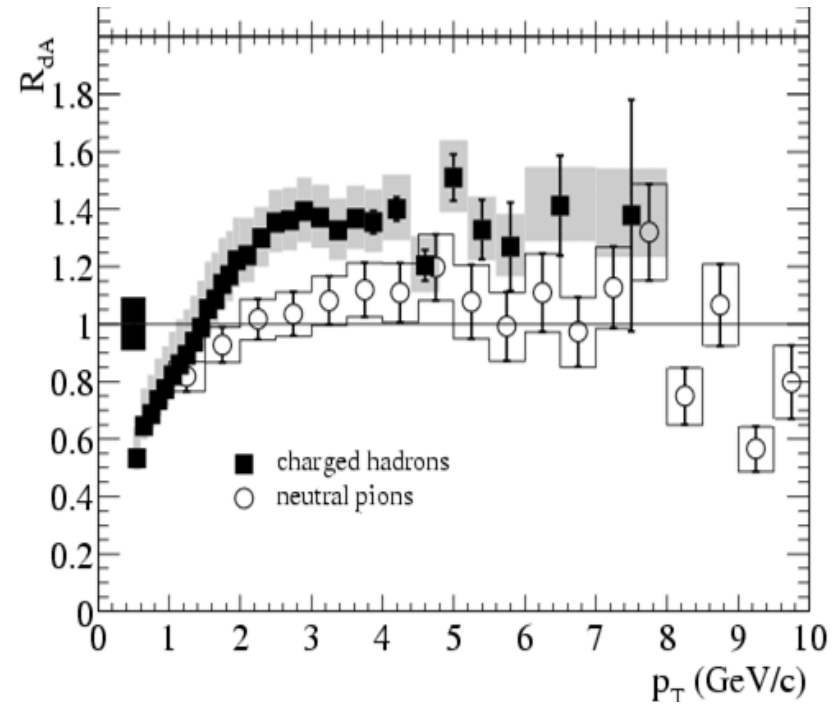
Контрольные эксперименты

- Произведены измерения при столкновениях ядер дейтерия и тяжелых ядер.

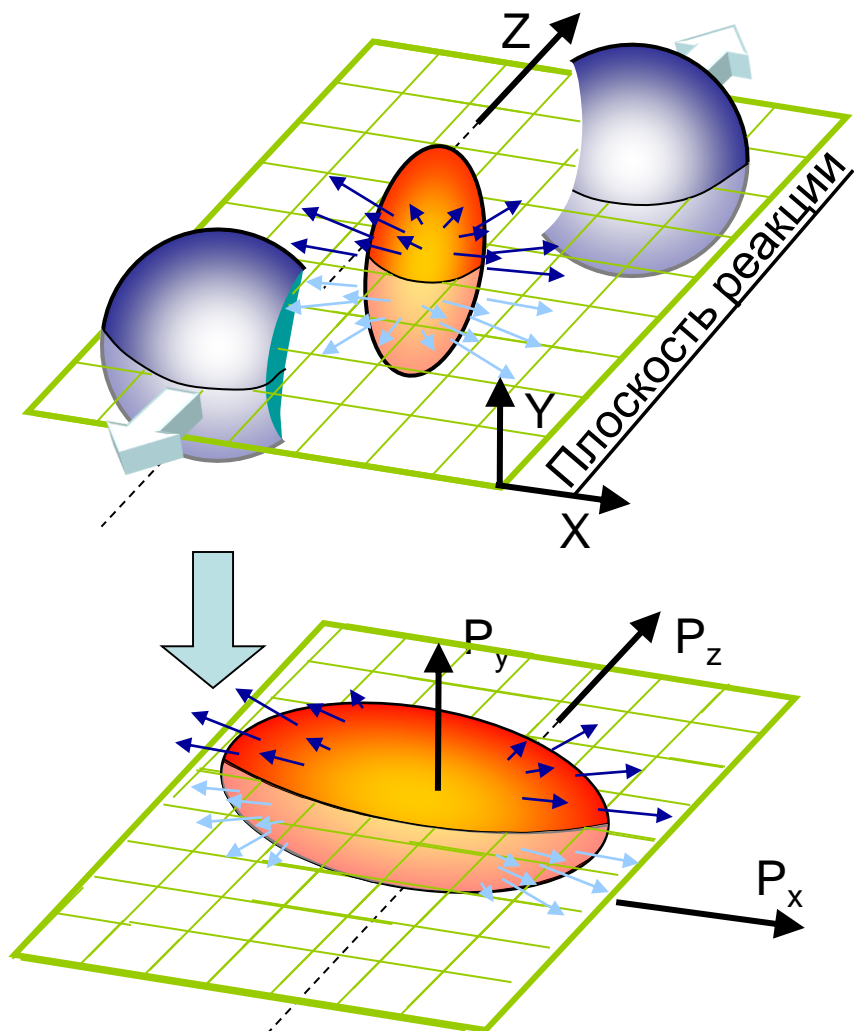


- Измерялся выход прямых фотонов (не от адронных распадов) которые не участвуют в сильных взаимодействиях.

Подавление – эффект конечного состояния.



Эллиптический поток (ν_2)



Происхождение: пространственная анизотропия образующейся системы
 → многократное рассеяние частиц в эволюционирующей системе,
 градиенты плотности → импульсная анизотропия

Измерение: Измеряется угловое распределение частиц относительно плоскости реакции.

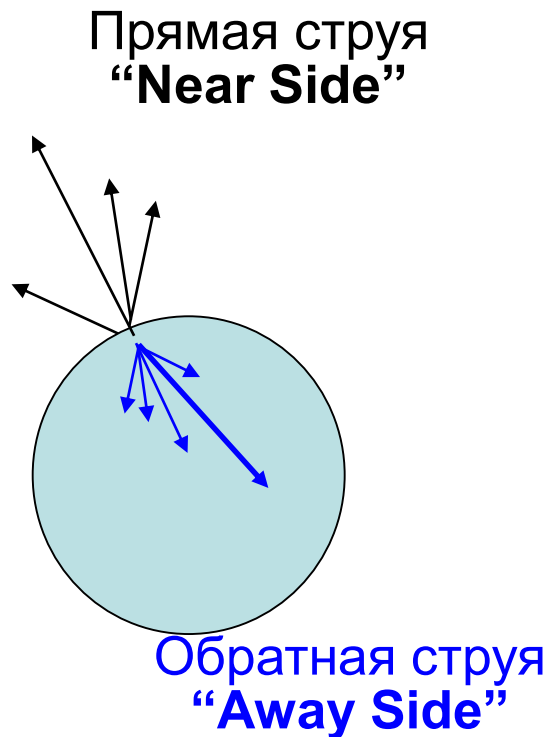
ν_2 - второй коэффициент в разложении углового распределения частиц в ряд Фурье

$$E \frac{d^3 N}{d^3 p} = \frac{1}{\pi} d^2 \frac{N}{dp_T^2 dy} [1 + 2\nu_1 \cos(\varphi - \Psi_R) + 2\nu_2 (2[\varphi - \Psi_R]) + \dots]$$

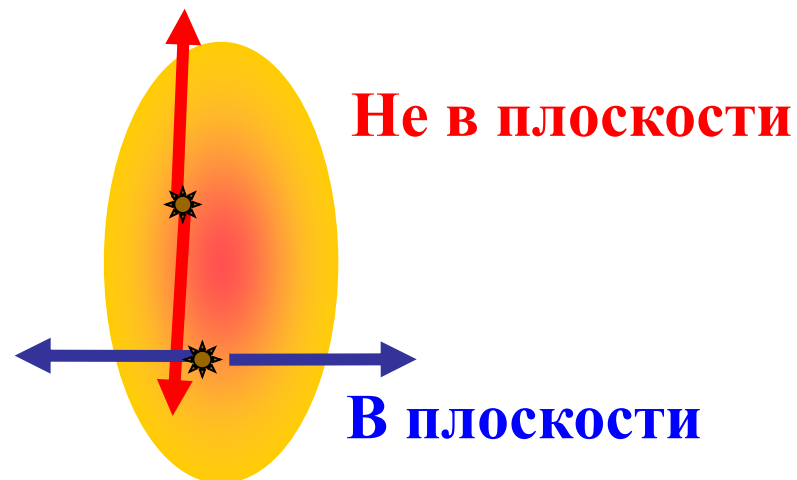


$$\nu_2 = \langle \cos(2[\varphi - \Psi_R]) \rangle$$

Определения



Область перекрытия ядер



Измеряются угловые корреляции между триггерной (лидирующей) и ассоциированными частицами: $p_T(\text{trig}) > p_T(\text{assoc})$

Вычитается вклад от эллиптического потока

Диэлектроны, Au+Au @ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ, континуум

