

**Лаборатория высоких энергий
им. В.И.Векслера и А.М.Балдина
ОИЯИ Дубна**

**Основные результаты
исследований за последние
годы в ЛВЭ**



С. Вокал

Содержание

Эксперименты на пучках Нуклотрона поляризованные и ядерные

- Внутренние Пучки

ETA-NUCLEI, DELTA-2, LNS, PHOTON-2, SCAN-1

- Выведенные Пучки

BECQUEREL, DELTA-SIGMA, ENERGY & TRANSMUTATION, FAZA, GAMMA-2, GIBS, MARUSYA, NIS, KRISTAL, SCAN-2, STRELA, Radiobiological Investigations

Совместные проекты с другими научными центрами

- BNL : PHENIX, STAR

- CERN SPS : NA49

- GSI : HADES, CBM, PANDA

- CERN LHC : ALICE

Поляризованные пучки и поляриметр для внутреннего пучка Нуклотрона

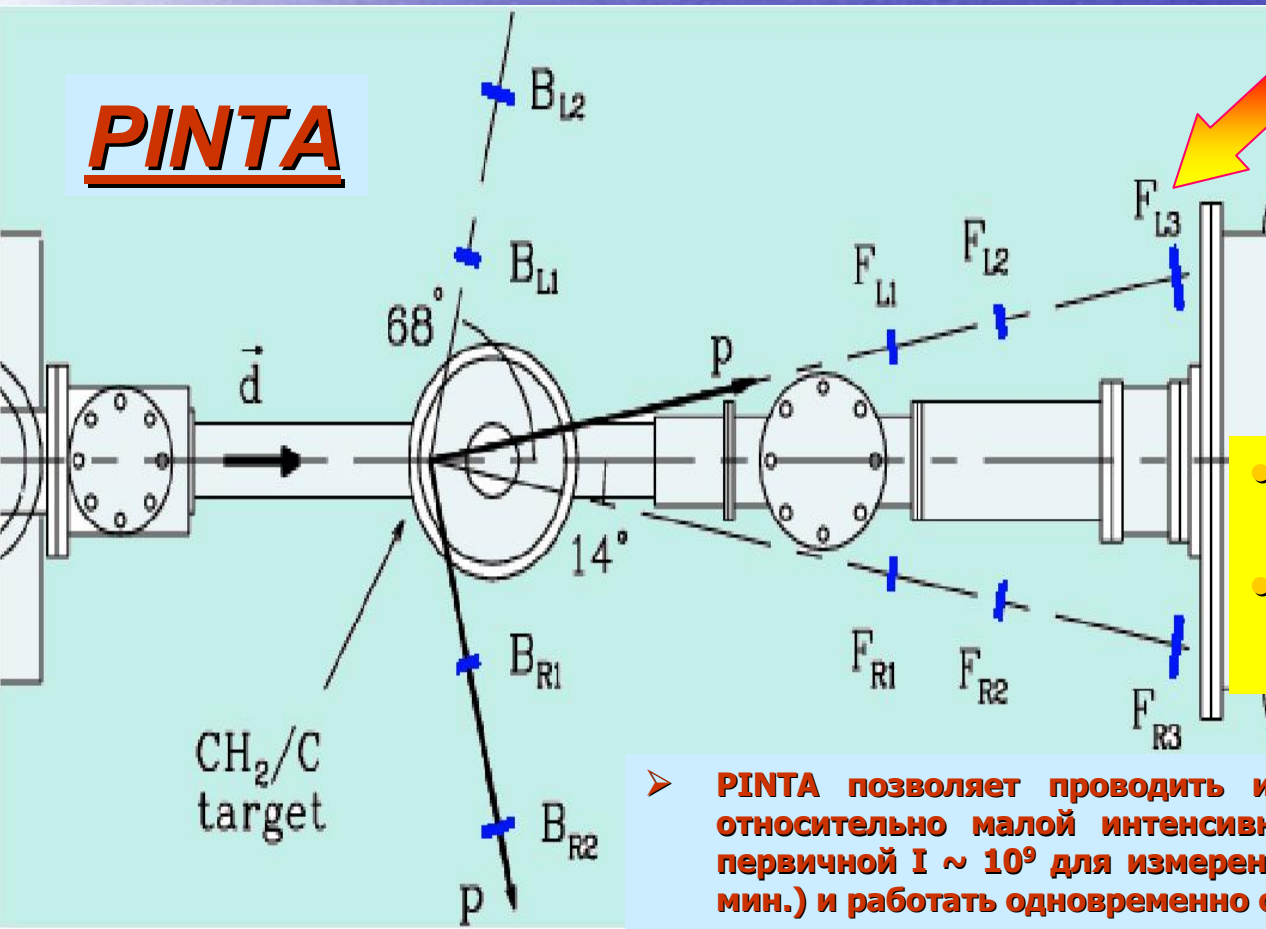
Nuclotron (built: 1987-92)

- **1994** - Data taking for physics started at the **internal target**
- **1999** - Experiments with **extracted beams**
- **June, Dec 2005** - Experiments with **polarized deuterons**

Определение поляризации пучка - метод измерения асимметрии квазиупругого pp – рассеяния при взаимодействии ускоренных дейтронов с ядрами водорода



PINTA



$$P_B = (1/A_{yy})[(N_+ - N_-)/(N_+ + N_-)]$$

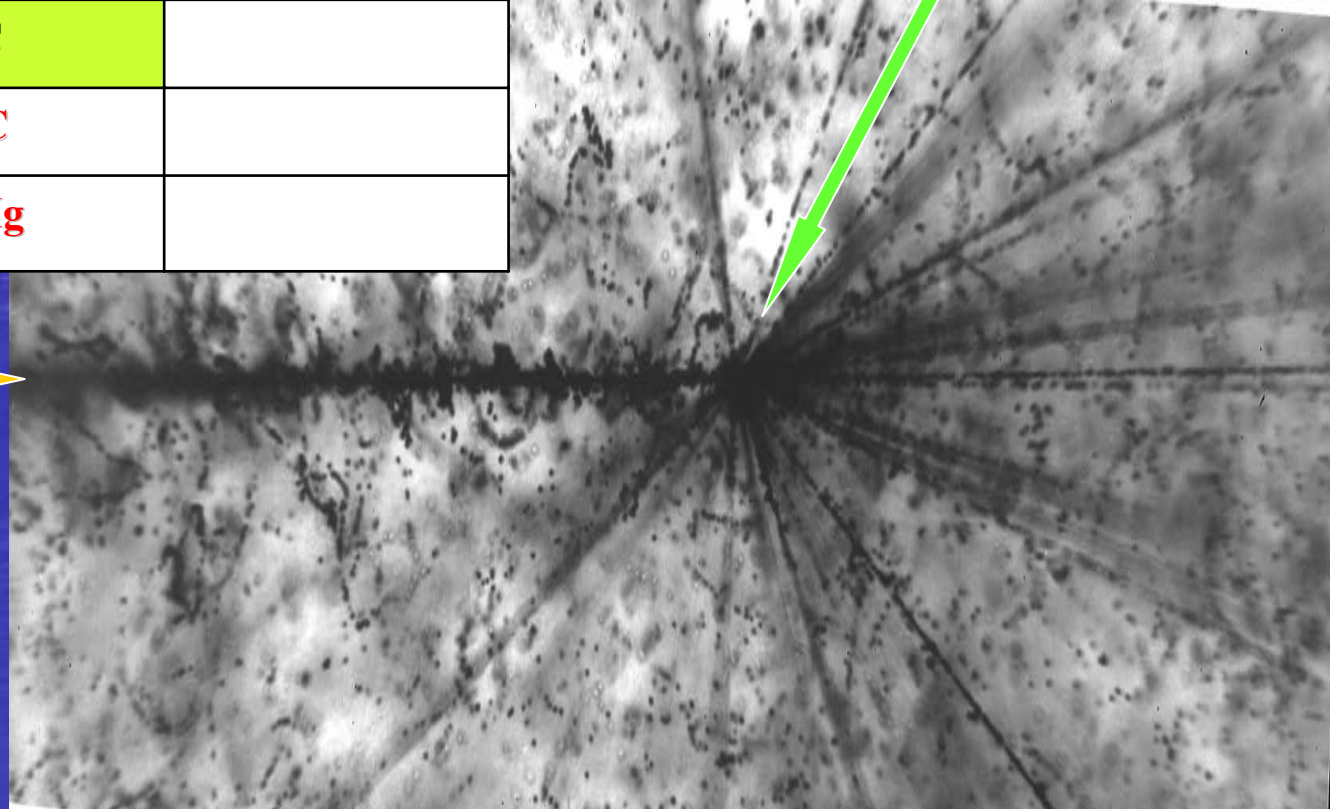
- The setup is a part of the **SCAN-spectrometer**
- Operation on the **internal beam of the Nuclotron**

- PINTA позволяет проводить измерения за короткое время при относительно малой интенсивности пучка дейтронов (напр., при первичной $I \sim 10^9$ для измерений с точностью 1 % требуется ~ 10 мин.) и работать одновременно с другими пользователями.

2003	2004	2005
^4He	^4He	^9Be
^{11}B	^7Li	^{10}B
^{12}C	^7Be	^{12}C
^{24}Mg	^9Be	
$^{14}\text{N}_{6+}$	^8B	
$^{14}\text{N}_{7+}$	^{10}B	
$^{40}\text{Ar}_{16+}$	^9C	
$^{56}\text{Fe}_{24+}$	^{12}C	
	^{24}Mg	

Ядерные пучки Нуклотрона

June 12, 2003



^{56}Fe

$E_{\text{kin}} = 1 \text{ A GeV}$

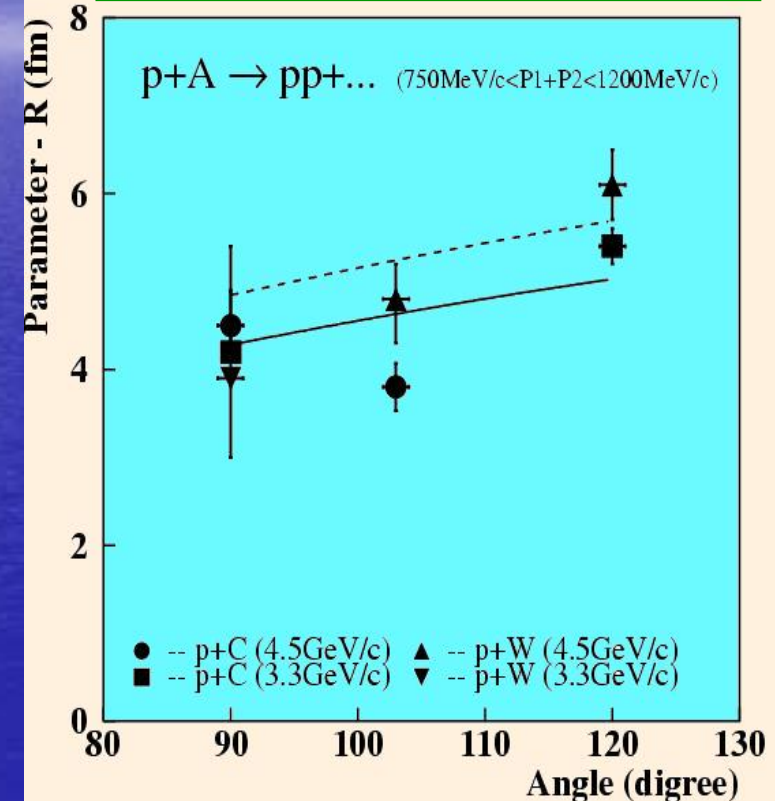
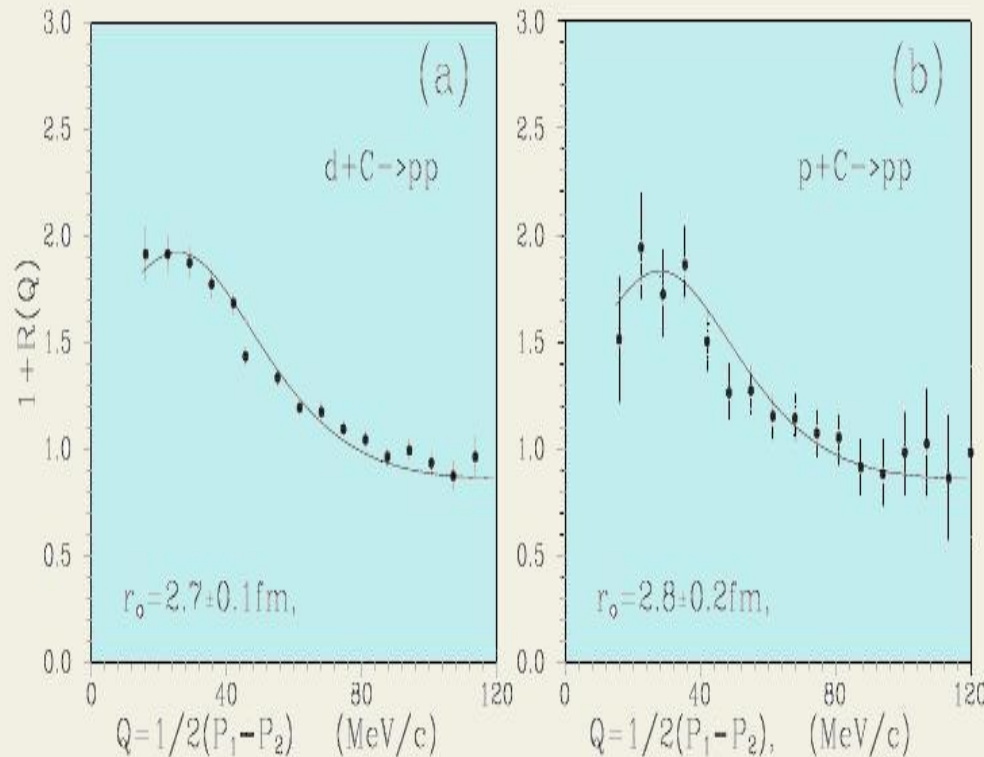
$I = 5 \cdot 10^5 \text{ part./cycle}$

СКАН-1

Цель: измерение поперечного размера области ядро-ядерных взаимодействий с рождением кумулятивных частиц

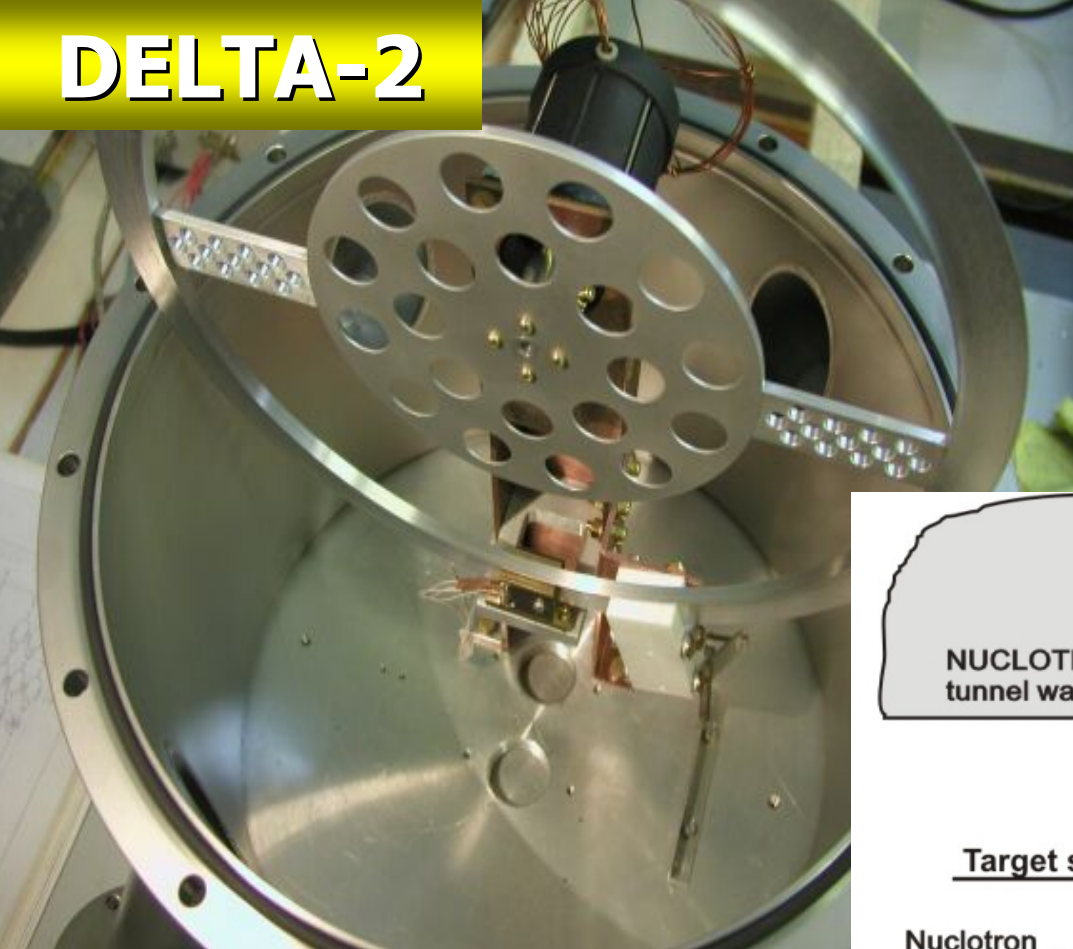
Метод: измерение корреляций кумулятивных протонов-фрагментов мишени с малыми относительными импульсами

Руководитель: С.В.Афанасьев



- получены приблизительно одинаковые радиусы взаимодействия для $d+C \rightarrow p+p+X$ и $d+Cu \rightarrow p+p+X$ процессов при 2 А-ГэВ/с, равные $r_{dC} = 3,0 \pm 0,5$ фм и $r_{dCu} = 3,0 \pm 0,5$ фм
- радиус области эмиссии не зависит от типа частицы –снаряда, но слабо растет с увеличением угла измерения

DELTA-2



+ Bratislava, Prague

Руководители:
А.Б.Курепин, В.А.Краснов

Исследование узкой резонансной структуры в реакции рождения пионов на ядрах при $E \sim 350 \text{ А}\cdot\text{МэВ}$ на внутренней пучке Нуклотрона

Новая внутренняя мишень Нуклотрона

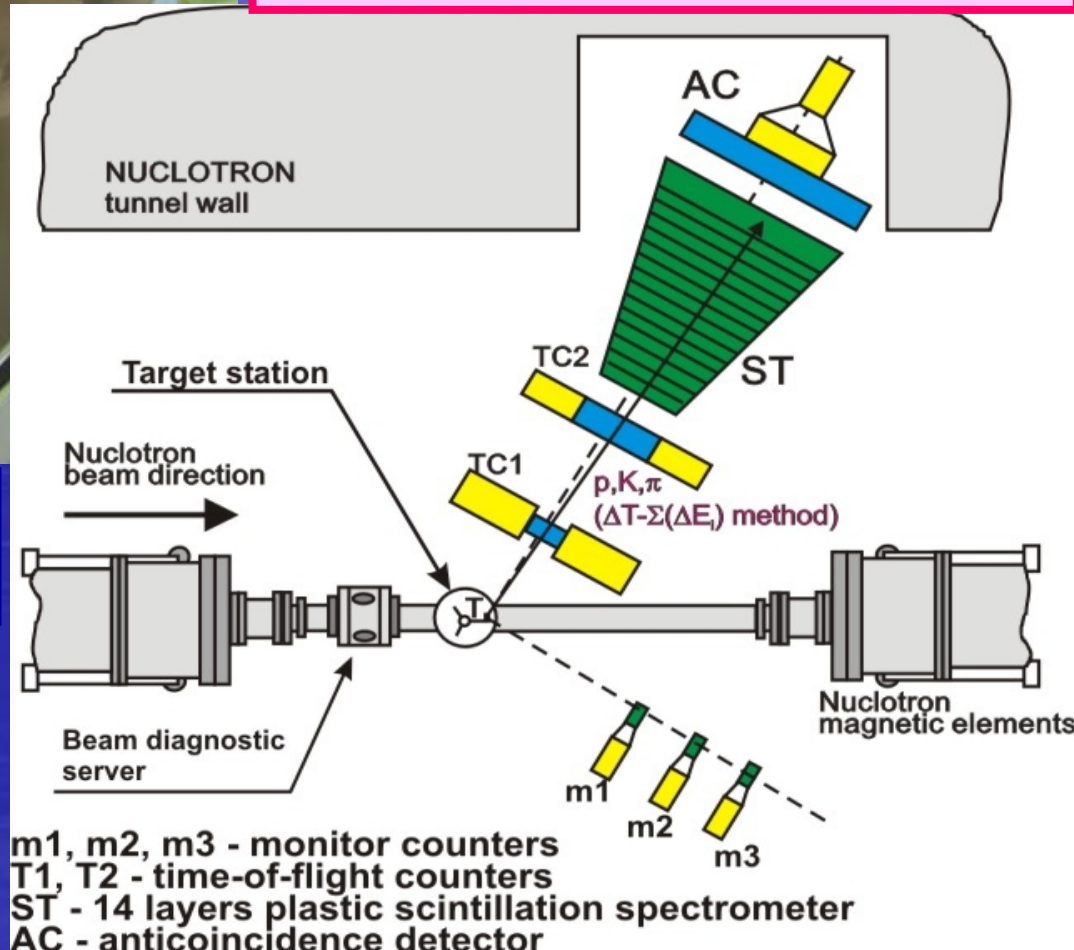
2004

6 Мишеней

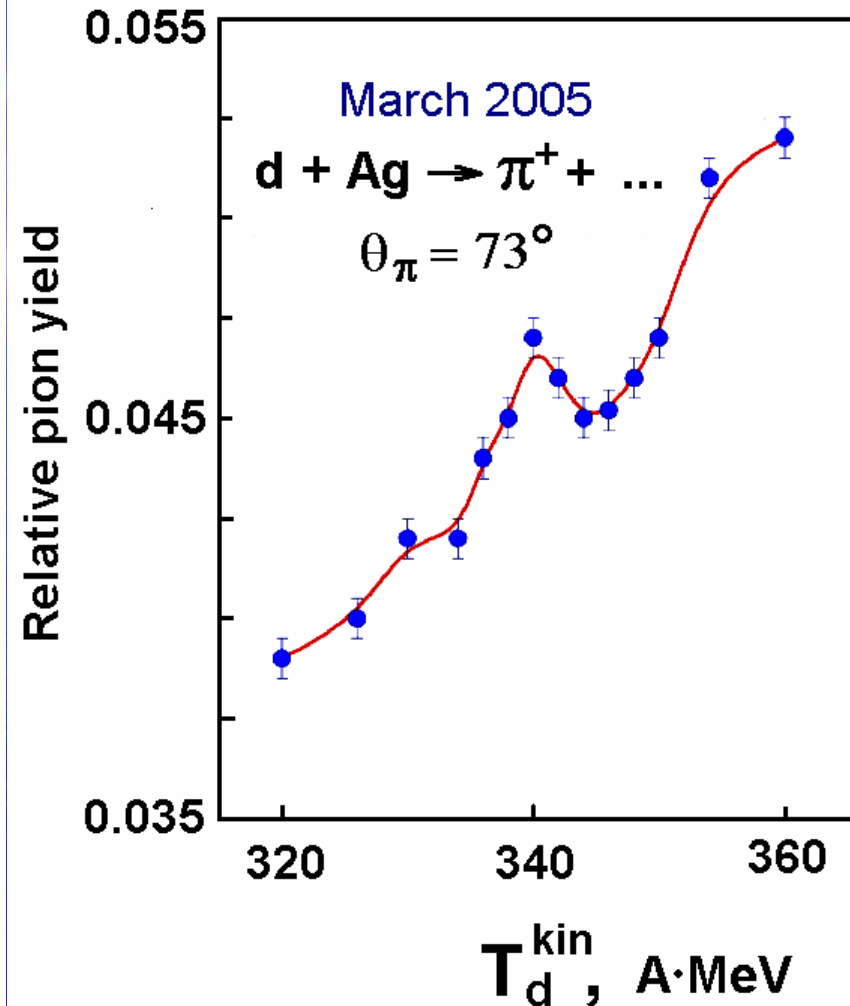
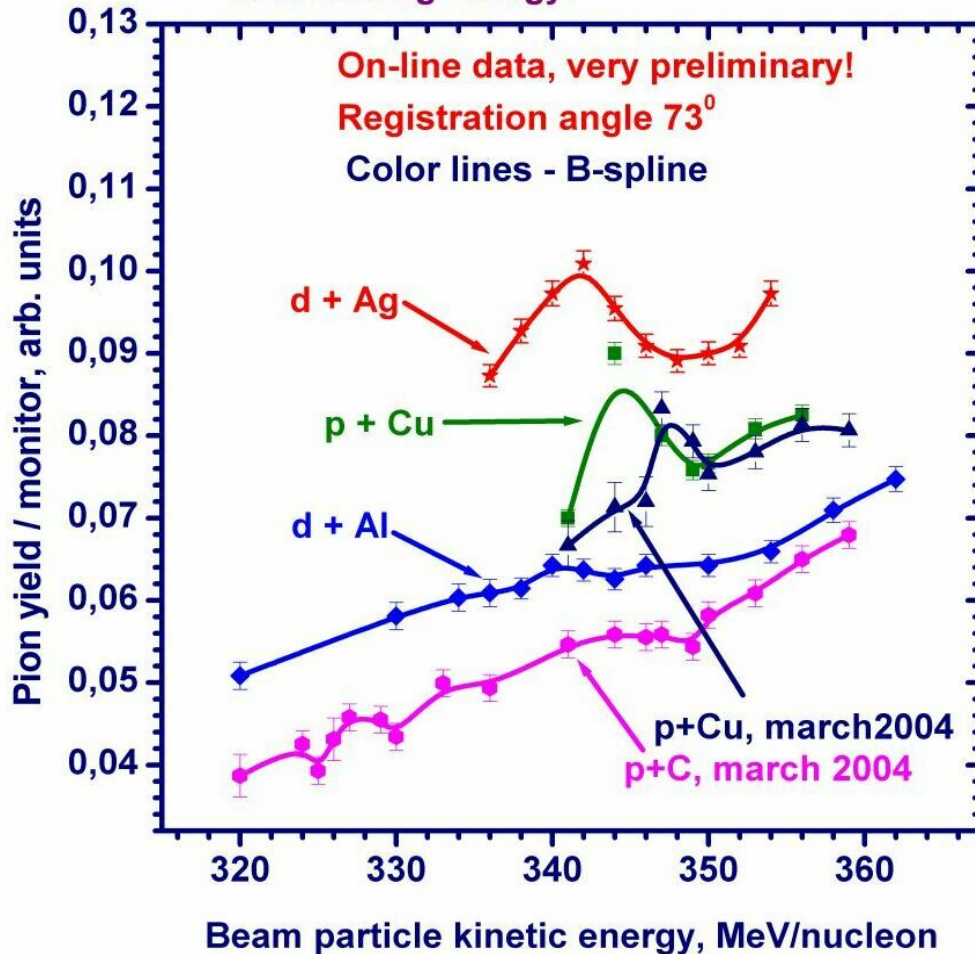
$\text{CH}_2, \text{C}, \text{Al}, \text{Cu}, \text{Ag}, \text{W}$ + пустая мишень

Толщина мишеней – 50 мкм

Аналогов не имеется!



March and June 2004 Nuclotron Runs.
Pion yield for C, Al, Cu and Ag targets for
proton and deuteron beam near 350 MeV
bombarding energy.



Для более тяжелых мишеней, начиная с Cu, появляется узкий максимум в области энергии пучка 350 А МэВ. Это означает, что данный эффект может иметь ядерную природу.

В 2005 г. был измерен выход пионов под углом 73° при бомбардировке Ag пучком дейтронов с энергиями от 320 МэВ до 360 МэВ. Видно, что эти предварительные данные подтвердили наличие резонансной структуры в выходе пионов в реакции дейтронов на тяжелой мишени.

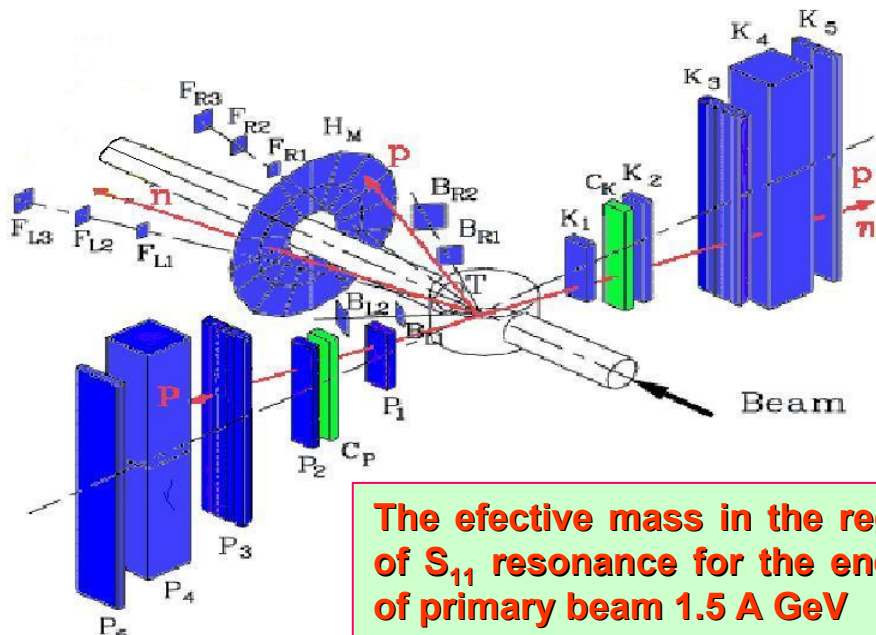
ETA - NUCLEI

Leader: S.V. Afanasiev

- reaction $p+A \rightarrow n+p+\eta(A-1)$
- elementary process
- $p+n^* \rightarrow n+S_{11}^*(1535)^* \rightarrow n+p+\eta^*$

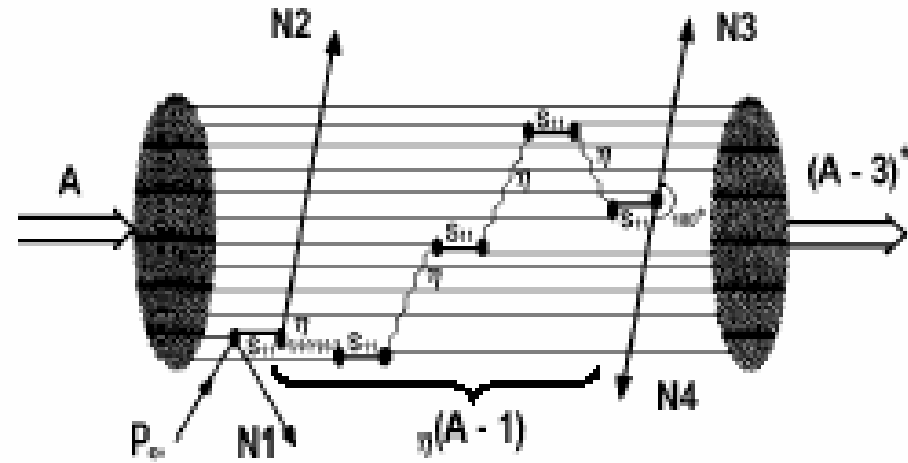
$$\eta N \rightarrow S_{11} \rightarrow \eta N \rightarrow \dots \rightarrow S_{11} \rightarrow \pi N$$

The registration of correlated πN pairs that are produced at the decay of the $S_{11}(1535)$ resonance bound in a nucleus or correlated NN pairs from $N^*S^* \rightarrow NN$ reaction coinciding with $p_1 p_2$ that are produced when an eta nucleus in the pA reaction is created



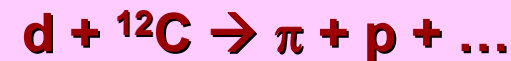
The effective mass in the region of S_{11} resonance for the energy of primary beam 1.5 A GeV

Search for and study of η -mesic nuclei (in which the η -meson and a nucleus form a quasi-stationary bound state) in p,d-A collisions at the Nuclotron

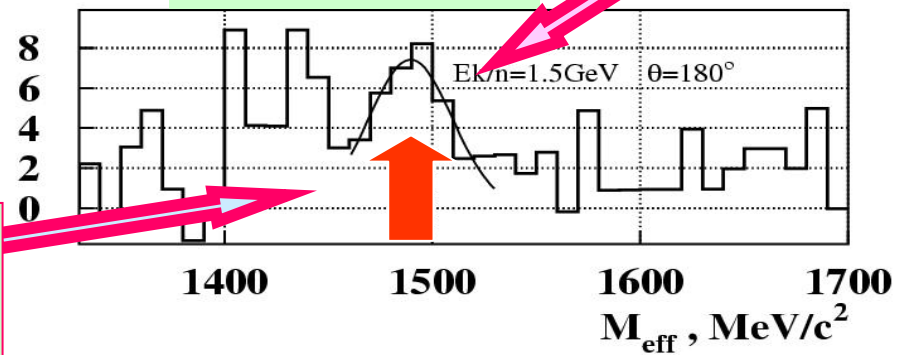


First results on search η -mesonic nuclei

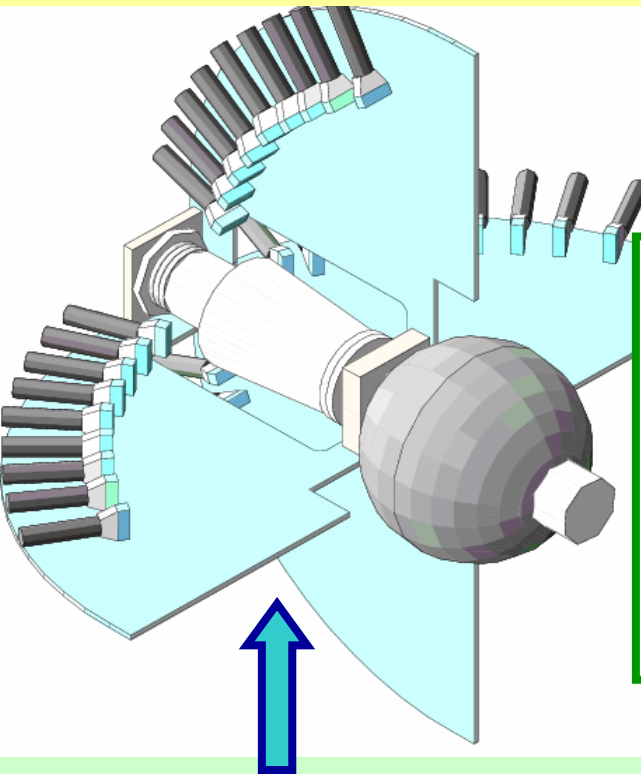
December 2005



Data - background

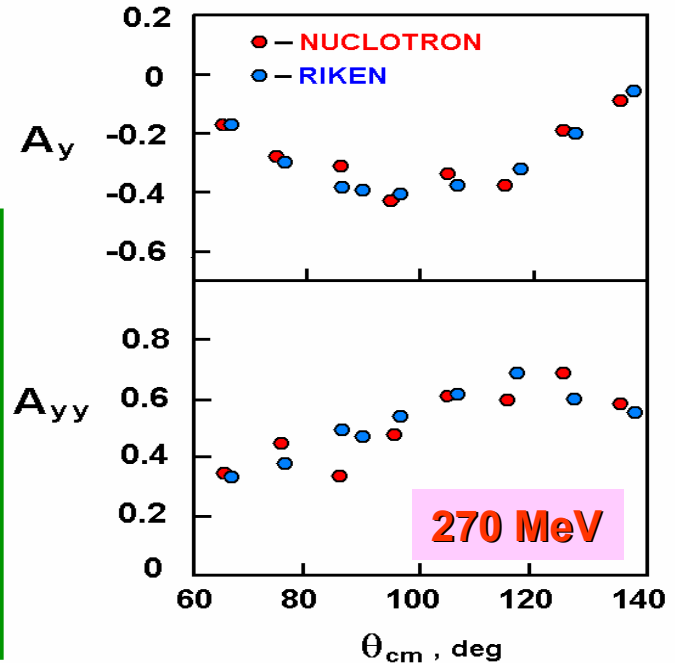
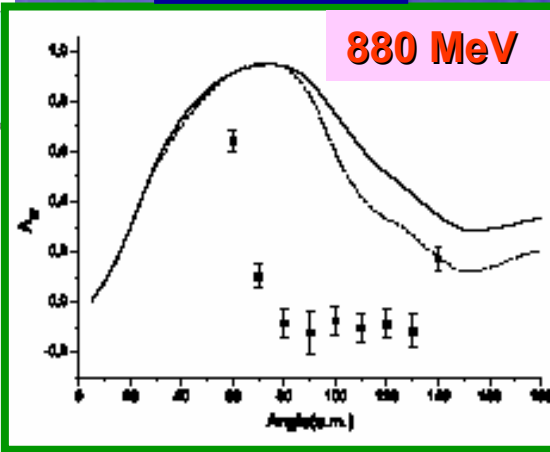


Исследование аномального углового поведения др-упругого поперечного сечения (т.н. расхождение Сагары - современные NN-потенциалы не могут воспроизвести поведение поперечного сечения в др- упругом рассеянии вблизи 120° в системе центра масс)



Leader: V.P. Ladygin

2005



Вид последней модификации установки LNS на внутреннем пучке Нуклотрона.

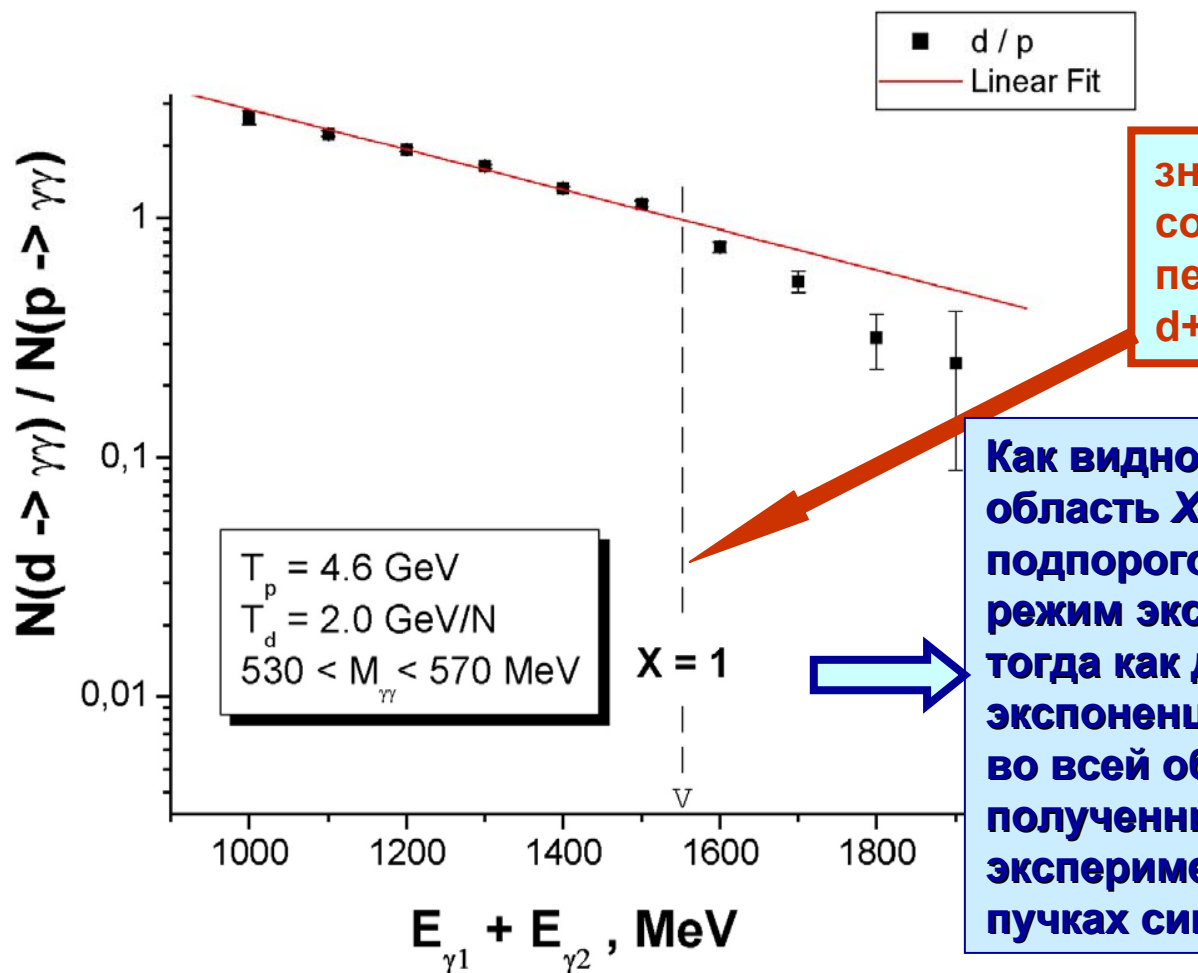
Станция внутренних мишеней окружена 36 сцинтилляционными детекторами, расположенными в 4 плоскостях.

- Получены новые данные об угловой зависимости упругого др рассеяния были получены при энергиях поляризованных дейтронов 270 МэВ, 880 МэВ и 2000 МэВ.
- Данные при 270 МэВ были нужны для сравнения с измерениями, выполненными раньше в RIKEN при такой же энергии дейтронов.
- Продолжение измерений E-зависимости сечений и анализирующих способностей в др-упругом рассеянии и в реакции развала дейтрона в др-взаимодействии на Нуклотроне.

PHOTON-2

Leader: Kh. Abramyan

Отношения выходов пар γ -квантов в интервале масс (530, 570) МэВ, образованных в реакции $d+C \rightarrow \gamma + \gamma + x$ (при $P_d = 2,75$ А ГэВ/с), на аналогичные выходы в реакции $p+C \rightarrow \gamma + \gamma + x$ (при $P_p = 5,5$ ГэВ/с), в зависимости от энергии $E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2}$.



значение энергии η -мезонов, соответствующее значению переменной $X = 1$ для реакции $d+C \rightarrow \eta+x$

Как видно из рисунка, при переходе в область $X > 1$ (область рождения подпороговых η -мезонов) нарушается режим экспоненциальной зависимости, тогда как для выходов π^0 -мезонов экспоненциальный режим сохраняется во всей области $X > 0,6$ (данные, полученные ранее в цикле экспериментов на установке ФОТОН, на пучках синхрофазотрона).

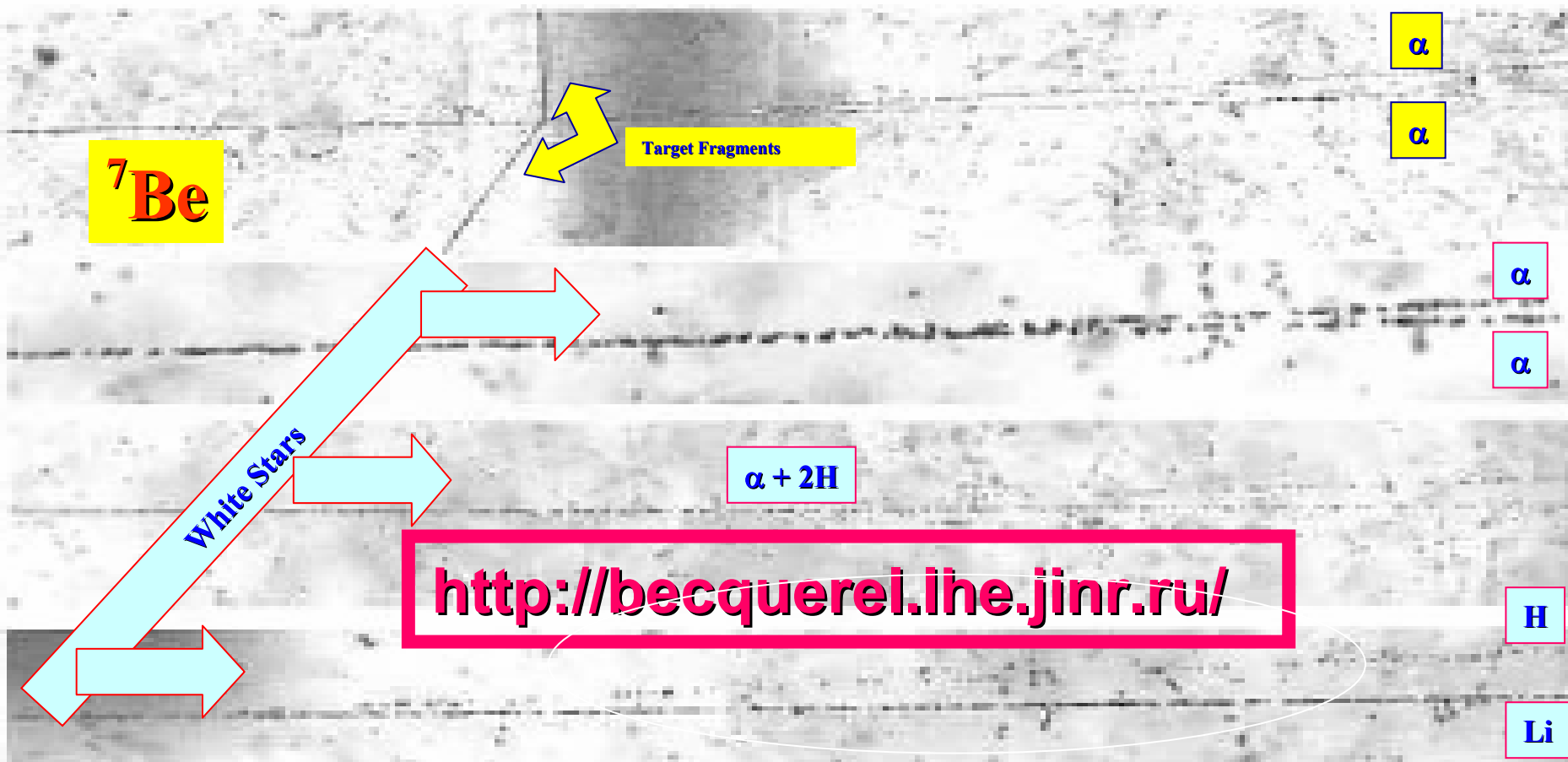
Получено указание на существенное различие в механизмах рождения π^0 и η -мезонов в ядро-ядерных взаимодействиях в подпороговой области

NUCLOTRON - Extracted Beams

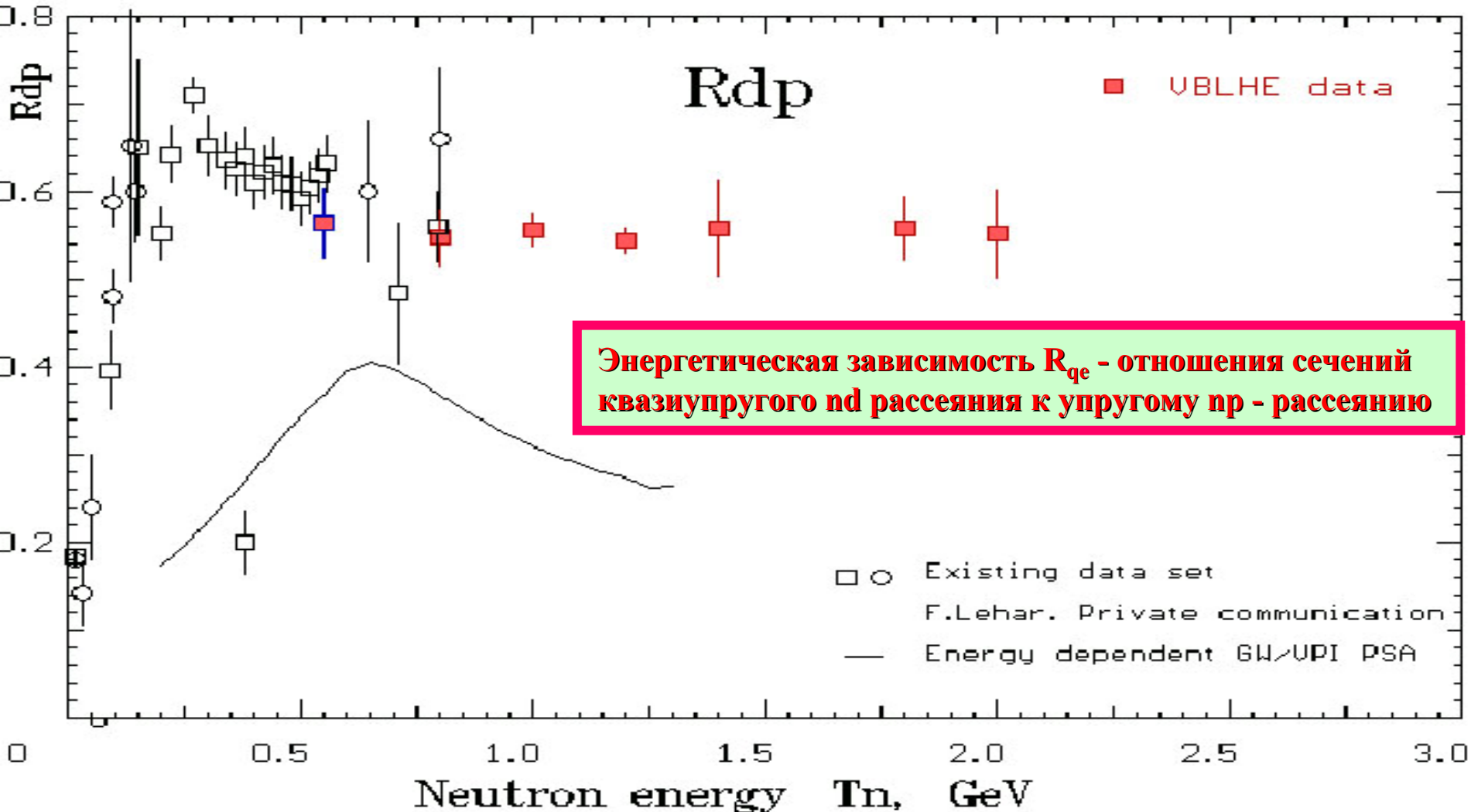
BECQUEREL

Leader: P.I.Zarubin

- Изучалась мультифрагментация легких радиоактивных и стабильных ядер с начальной энергией выше 1 А ГэВ
- ^{14}N с $P=2.86$ А ГэВ/с, ^9Be с $E=1.2$ А ГэВ и ^7Be с $P=1.23$ А ГэВ (сформирован из ускоренных ^7Li после их перезарядки на внешней мишени) – ЯФ 2007г.



Были выполнены измерения сечений перезарядки $pn \rightarrow rp$ на дейтериевой и протонной мишенях при их облучении пучком квазимонохроматических неполяризованных нейтронов.



Новые данные независят от энергии в диапазоне энергий первичных частиц (1 – 2) ГэВ и существенно расходятся с предсказанием по PSA

MARUSYA

Leader: A.A.Baldin

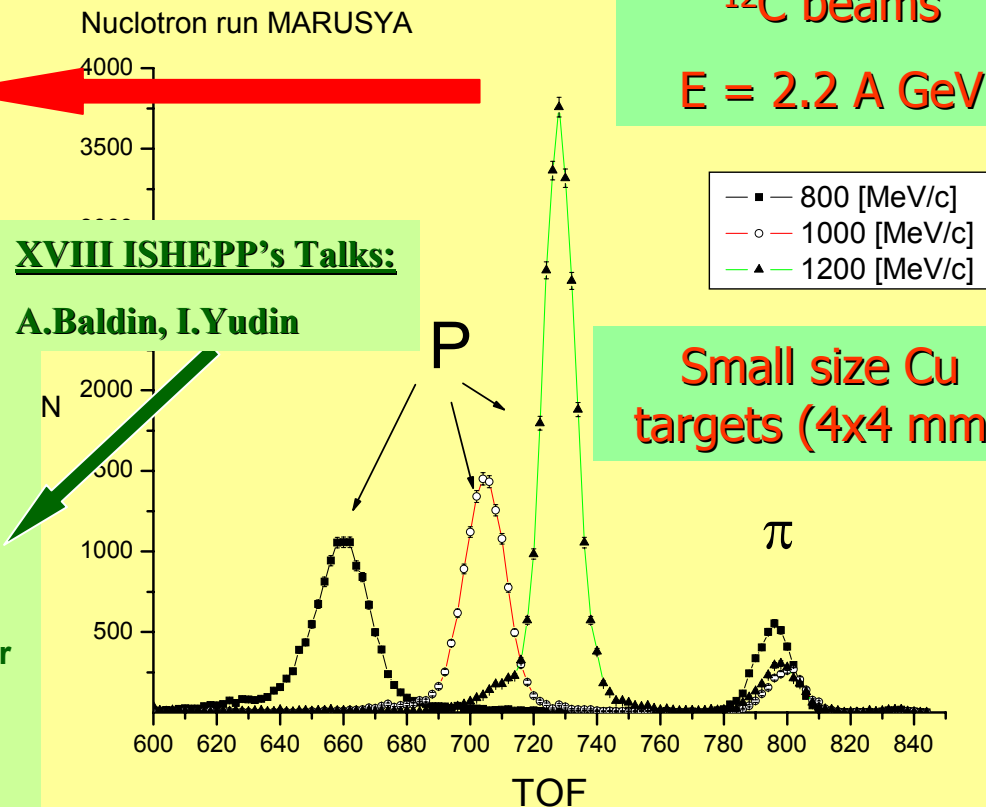
Particles produced in interactions (π , K, p) with momenta 500 - 1200 MeV/c were registered under an angle of 30° with the angular spread $1-2^\circ$

Goal: estimation of a possibility of registration and identification of two particles in one event with close momenta and traveling at the same angle (within the angle of registration $2-3^\circ$ of the magneto-optical spectrometer)

2004-05 Time of flight spectra of protons and pions obtained in the reaction C+Cu for three momenta of the registered particles

Measurements demonstrated a possibility of registration of such events with sufficient statistical confidence (up to 100 events per hour) for investigation of the effective mass spectrum for states produced via the channels (π K, π p, Kp, pp, $\pi\pi$).

1. The 3D distribution of the magnetic field of the spectrometric setup MARUSYA was discussed.
2. The results of modeling and comparison of the calculated distribution of the magnetic field with measured data were presented.
3. Mathematical formulation of the direct magnetostatical problem was given.
4. Numerical procedures and algorithms for calculation of the field using vector and two scalar potentials were described.
5. The obtained results will be used for processing experimental data and modeling magneto-optical systems.



NIS

Leader: E.A.Strokovsky

The project is aimed at searching for effects of **polarized nucleon strangeness**, including violations of the OZI rule, in **vector meson production in pp and np interactions near threshold**.

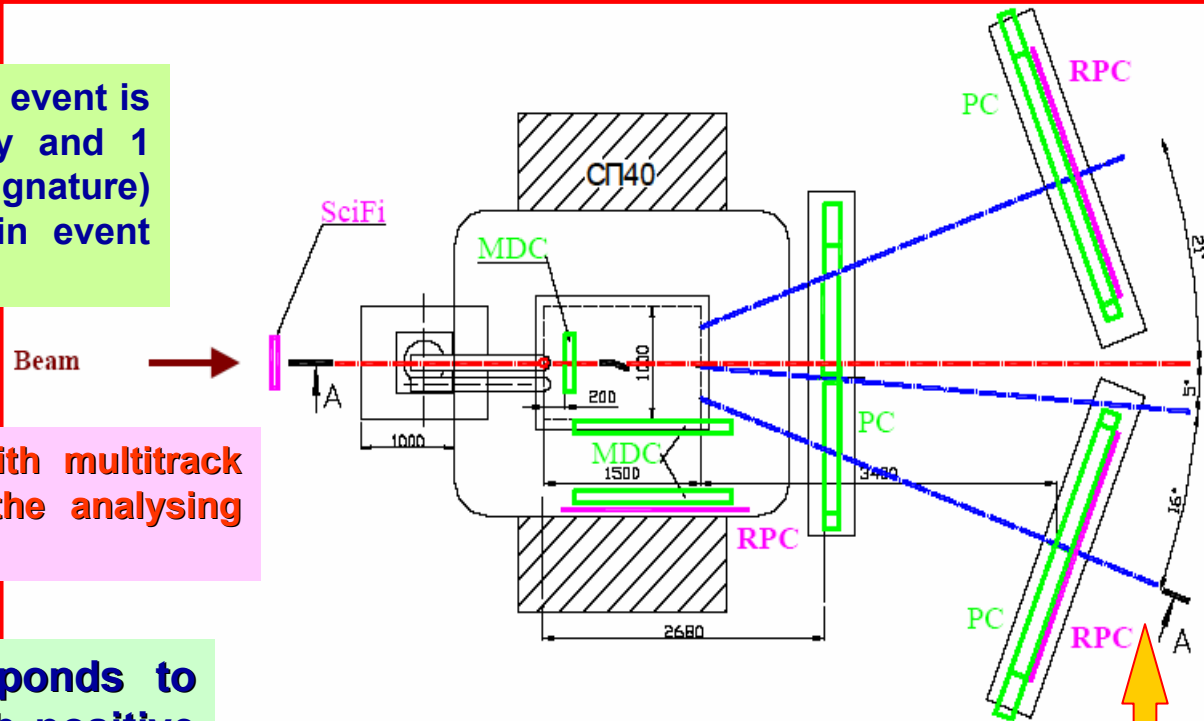
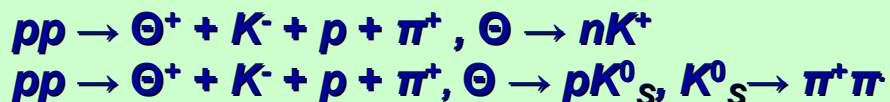
$$R_{pp} = \sigma(pp \rightarrow pp\phi) / \sigma(pp \rightarrow pp\omega)$$

It is necessary to carry out measurements of the ratio of the production cross sections of ϕ and ω mesons near their production threshold in nucleon interactions, i.e. at laboratory nucleon momenta above 2.7 GeV/c.

The typical signature of the $pp \rightarrow \phi pp$ event is $pp \rightarrow (K^+K^-) + pp$ with 3 positively and 1 negatively charged tracks (4-prongs signature) what is planned to use in the main event selection trigger.

3 minidrift wire chambers (MDC) with multitrack resolution capability installed into the analysing magnet

The 4-prongs signature corresponds to production of the Θ^+ baryon with positive strangeness when it decays into the nK^+ channel:



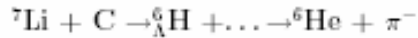
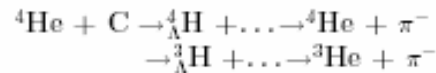
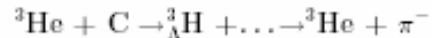
Pions are too "soft" (in most cases) to escape the volume of the analysing magnet.. In order to detect these pions

- Investigation of production and decays of hypernuclei
- Measurement of the lifetime of ${}^3\text{H}_\Lambda$, ${}^4\text{H}_\Lambda$, ${}^6\text{H}_\Lambda$ hypernuclei
- Measurement of the binding energy of ${}^3\text{H}_\Lambda$, ${}^6\text{He}_\Lambda$ hypernuclei by the studying of their Coulomb dissociation
- Investigation of the non-mesonic decay channels of medium hypernuclei

Incident He beam (6.8 GeV/c per nucleon) interacts with a carbon target (T) 10-15 cm long, and hypernuclei of 6.2-6.7 GeV/c per nucleon momentum are produced with a cross section of microbarns.

LIGHT HYPERNUCLEI – MESONIC DECAY

PRODUCTION AND DECAY:



BEAM ENERGY - 6 GeV per a nucleon

Triggers tuned to detect the charge difference

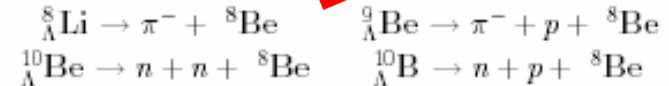
${}^4\text{He}$ beam

${}^7\text{Li}$ beam

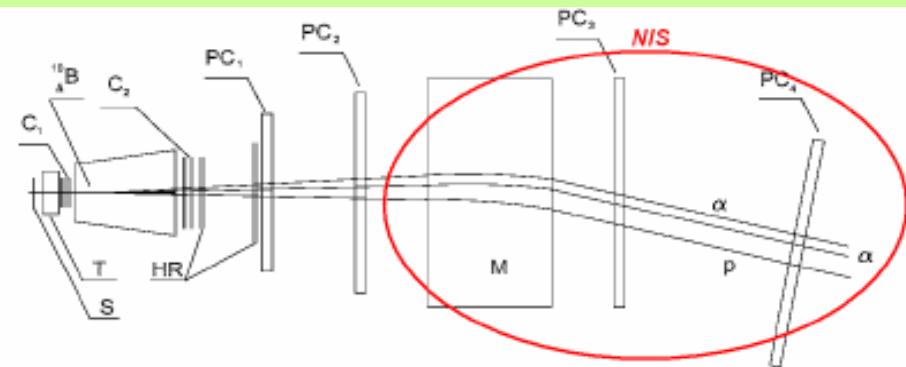
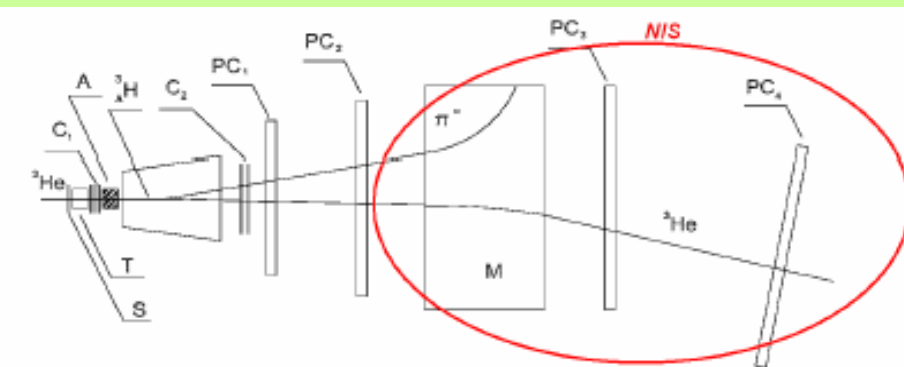
NONMESONIC DECAYS OF HYPERNUCLEI

Higher decay rate, but more complicated trigger (due to high background).

The most interesting task (suggested by L.Majling) – decay via intermediate ${}^8\text{Be}$



The mean decay range of hypernuclei is approximately 40 cm. So, one can insert a trigger counters C1 just near the target to measure the charge value of hypernucleus while a block of trigger detectors C2 beyond the decay volume (V) measures the charge of the decay products. In the first experiments proportional chambers PC1,2 will be used as trackers to locate the hypernuclear decay points. For more complicated experiments the high resolution track detectors (HR) will be installed between the decay volume V and the first of the proportional chambers H1 to measure coordinates and to locate vertex position of the decay products emitted at very small angles

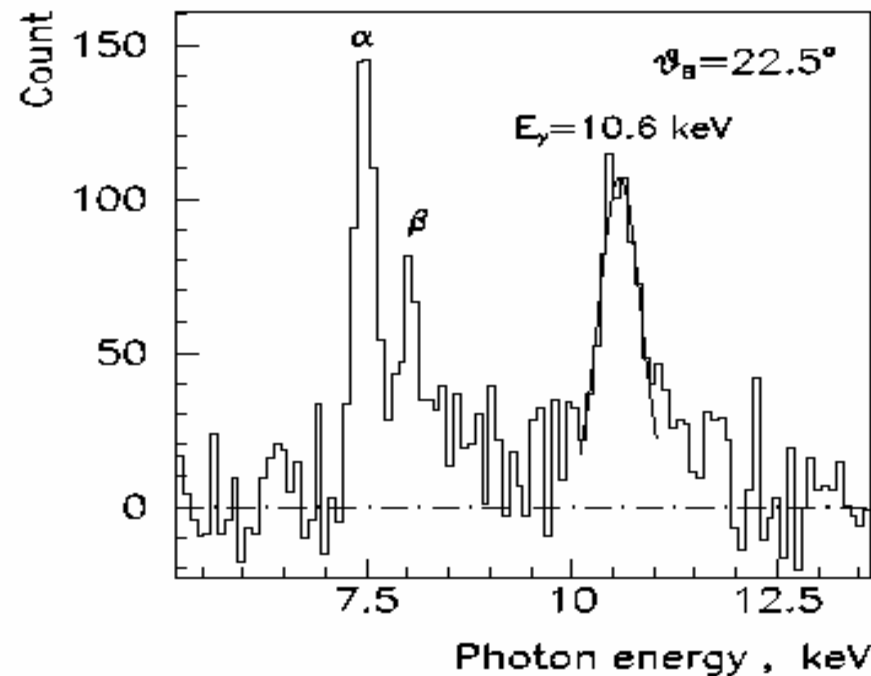
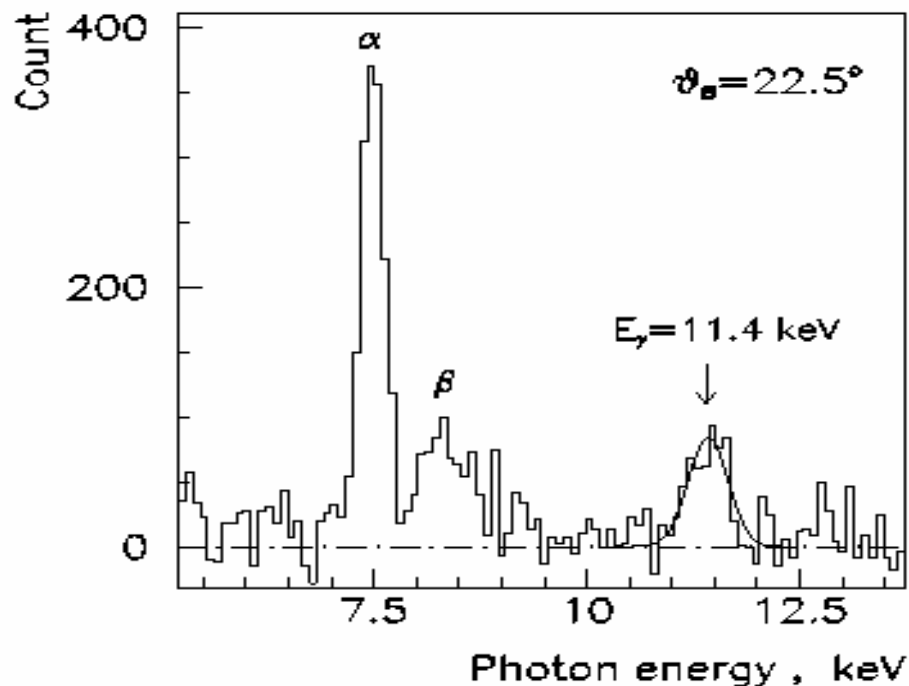


The proportional chambers PC3,4 beyond the analyzing magnet together with the chambers PC1,2 measure momenta of positive secondary particles (daughter nuclei and fragments) to identify different hypernuclear isotopes, if necessary.

KRISTAL

Leaders: A.M.Taratin, A.D.Kovalenko

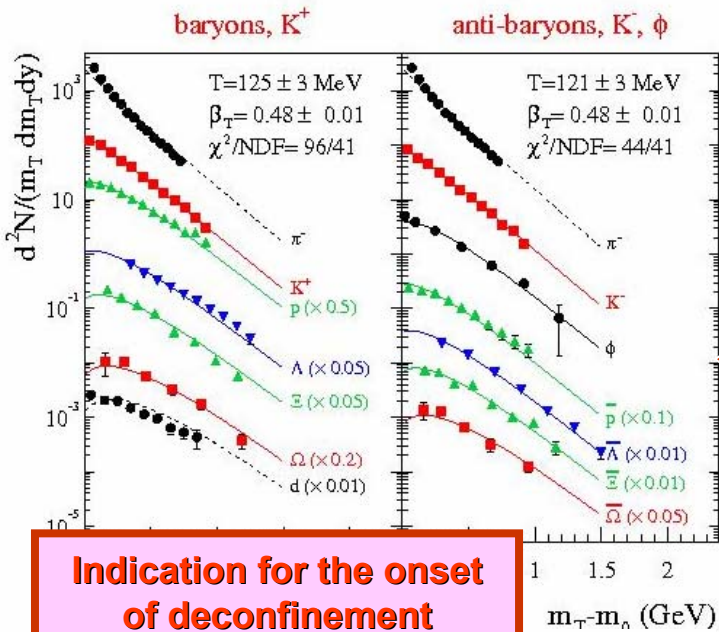
Спектры излучения, зарегистрированные детектором, при облучении кристалла (001) кремния пучком протонов 5 ГэВ и пучком ядер углерода 2.2 ГэВ/нуклон.



- Максимумы α и β образованы фотонами паразитного характеристического излучения атомов никеля корпуса детектора, возбуждаемых вторичными частицами.
- Максимумы, образованы за счет фотонов параметрического излучения. Положения максимумов зависят от угла ориентации кристалла и соответствуют теоретическим значениям для линий параметрического излучения.
- Обнаружение параметрического излучения в кристалле от релятивистских ядер открывает перспективы его использования для диагностики пучков ядер в различных ускорительных центрах. Существенным достоинством параметрического излучения является то, что фотоны генерируются под большими углами к пучку, высока вероятность их излучения и эффективность регистрации.

JINR Leader: G.I. Melkumov

Cooperation with Others Centres



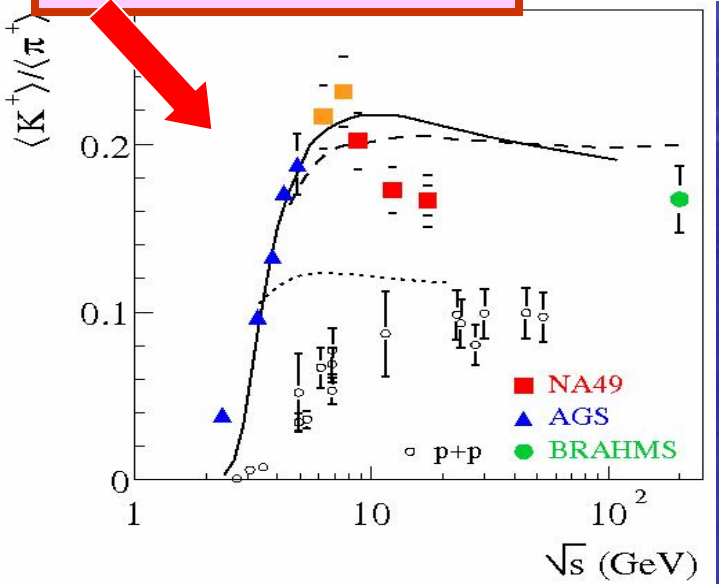
The LHE(JINR) provided a significant contribution to the NA49 experiment with a 900-channel time-of-flight detector (TOF) employed for particle identification in addition to dE/dx measurement performed by the time projection chambers (TPC).

The LHE(JINR) group has actively taking part in the data analysis

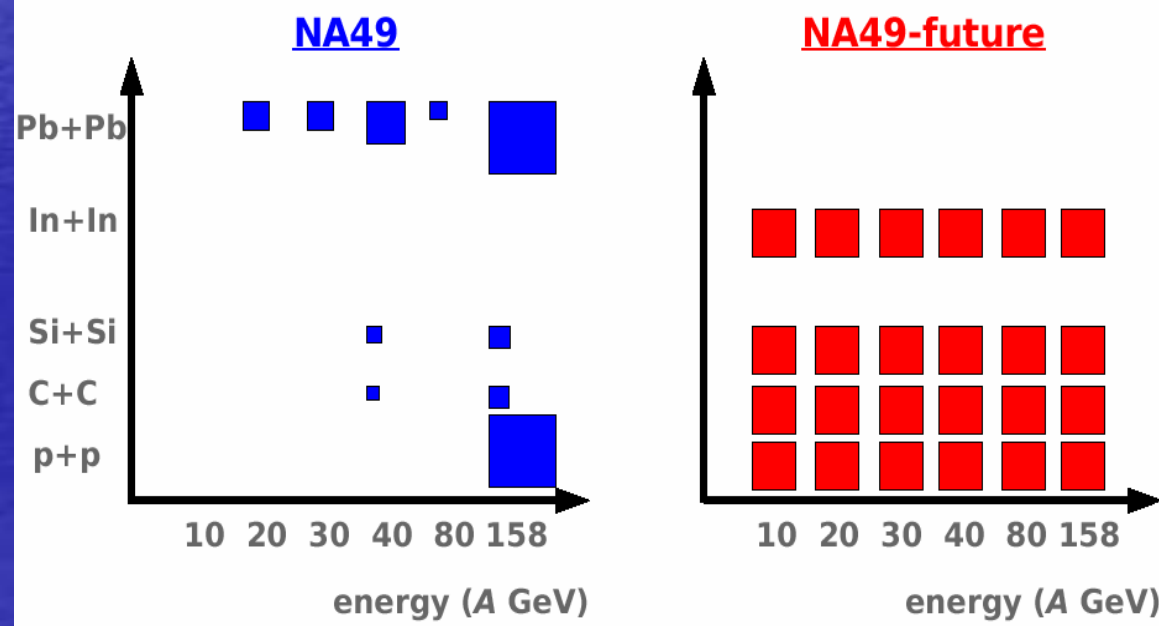
Transverse spectra and thermal analysis

Antiproton and proton production

Indication for the onset of deconfinement



Data from:



ALICE, LHC, CERN

Scientific program:

Study of Quark-Gluon Plasma and phase transition in the relativistic heavy-ion experiment at the LHC by measuring particle ratios and Pt spectra (strangeness production, collective flow, jet quenching), particle interferometry, multiplicity fluctuations and event structures, direct photons (thermal radiation), and lighter and heavier meson decays into lepton pairs (resonance line-shape parameters and partial chiral symmetry restoration at low masses, color screening and deconfinement at high masses).

JINR participation in ALICE :

1. Dipole Magnet
2. PHOS crystals
3. TRD drift chambers
4. Computing
5. Physics & Simulation

Physics Performance Report - the following sections were finished with the participation of JINR team:

- Particle identification with the ITS (Section 5.4.1, responsible - [B.Batyunya, S.Zaporozhets](#))
- Detection of $\phi \rightarrow K+K^-$ (Section 6.2.6, responsible - [B.Batyunya](#))
- Resonance influence for the HBT study (Section 6., responsible - [B.Batyunya, L.Malinina](#))

Simulations

- Simulation of the $\phi \rightarrow e+e^-$ decays production and detection in the ALICE was started ([B.Batyunya, S.Zaporozhets](#))
- The hydrodynamic part of a Numerical Kinetic Model was done and checked for the nuclear interaction at STAR and LHC energies ([L.Malinina, T.Pocheptsov](#) together with theorists [N.Amelin[†], R.Lednický, Yu.Sinyukov](#))
- The comparison of the simulation results for the particle identification and energy losses in the PHOS spectrometer by the GEANT3 and FLUKA transport code has been done using the AliRoot
- Simulation of p-Pb and Pb-p interactions for the production of Charmonium and Bottomium families has been performed. Ratios of signal/background and significant were estimated

ALICE, LHC, CERN



Very Large Dipole Magnet for Muon Spectrometer (9 x 7 x 3.5 m; 800 ton)

St
m
in
he
at

P
▶
▶
▶

▶
▶
▶

by
icle
and
tion

am:

(ts)
nd

by

ALICE, LHC, CERN

Scientific program:

Study of Quark-Gluon Plasma and phase transition in the relativistic heavy-ion experiment at the LHC by measuring particle ratios and Pt spectra (strangeness production, collective flow, jet quenching), particle interferometry, multiplicity fluctuations and event structures, direct photons (thermal radiation), and lighter and heavier meson decays into lepton pairs (resonance line-shape parameters and partial chiral symmetry restoration at low masses, color screening and deconfinement at high masses).

JINR participation in ALICE :

1. Dipole Magnet
2. PHOS crystals
3. TRD drift chambers
4. Computing
5. Physics & Simulation

Physics Performance Report - the following sections were finished with the participation of JINR team:

- Particle identification with the ITS (Section 5.4.1, responsible - [B.Batyunya, S.Zaporozhets](#))
- Detection of $\phi \rightarrow K+K^-$ (Section 6.2.6, responsible - [B.Batyunya](#))
- Resonance influence for the HBT study (Section 6., responsible - [B.Batyunya, L.Malinina](#))

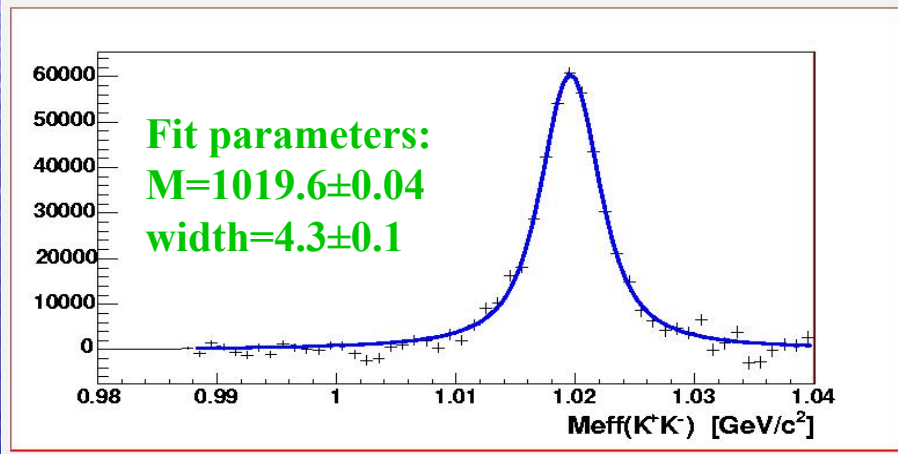
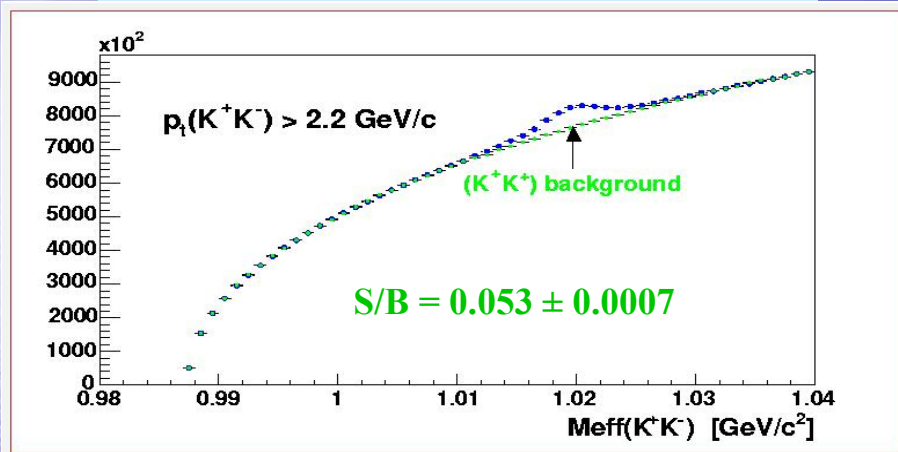
Simulations

- Simulation of the $\phi \rightarrow e+e^-$ decays production and detection in the ALICE was started ([B.Batyunya, S.Zaporozhets](#))
- The hydrodynamic part of a Numerical Kinetic Model was done and checked for the nuclear interaction at STAR and LHC energies ([L.Malinina, T.Pocheptsov](#) together with theorists [N.Amelin[†], R.Lednický, Yu.Sinyukov](#))
- The comparison of the simulation results for the particle identification and energy losses in the PHOS spectrometer by the GEANT3 and FLUKA transport code has been done using the AliRoot
- Simulation of p-Pb and Pb-p interactions for the production of Charmonium and Bottomium families has been performed. Ratios of signal/background and significant were estimated

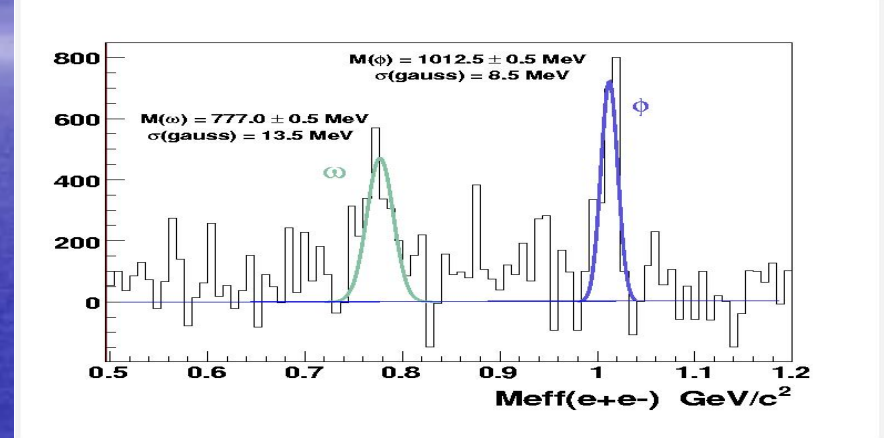
Simulation results for $\phi \rightarrow K^+K^-$ and $\phi \rightarrow e^+e^-$, $\omega \rightarrow e^+e^-$ decays in ALICE using ITS, TPC, TRD and TOF detectors.

(B.Batyunya, M.Vala, S.Zaporozhets)

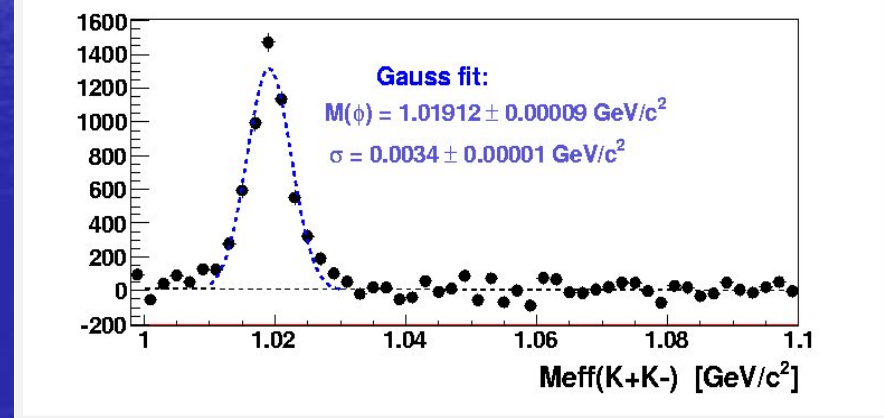
Pb+Pb 10^6 events at 5.5 TeV/nucl



8×10^6 Pb+Pb events at 5.5 TeV/nucl



2×10^6 p+p events at 14 TeV (GRID)



The resonance peak after subtraction of the background.

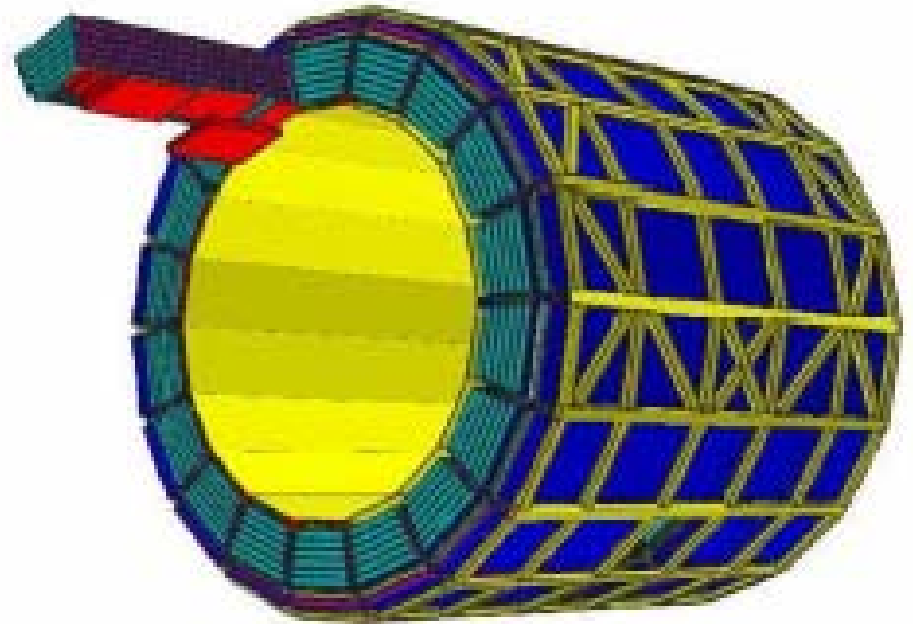
Transition Radiation Detector for ALICE experiment

JINR Leader - Yu.V. Zanevsky

The Transition Radiation Detector is one of the main detector components of the ALICE experiment at the LHC. It increases the tracking performance of the ALICE central barrel detectors and provides separation of electrons from the large background of pions. By combining these two functions, the TRD also provides a fast trigger on high transverse momentum electrons.

- The ALICE TRD detector is subdivided into 540 individual readout chambers, assembled in 18 Super Modules.
- 100 readout chambers are constructed at LHE JINR
- The modern infrastructure needed for TRD chambers construction and testing has been built at LHE JINR (bldg. № 40) - clean rooms (120 m²) with climate facility, tools for chambers construction, test equipment

Test stand with X-ray tube under computer control (for TRD chambers).



Группа ЛВЭ участвовала в этом проекте во всех стадиях его реализации, главным образом в подготовке проекта, производстве и моделировании EM Endcap Калориметра и в анализе данных.

- z-Scaling for pp, pA, AA collisions at RHIC
- Multiple particle correlators and high multiplicity
- Random matrices approach
- Fast hadron generator at RHIC & LHC energies

- Wavelet analysis for jet & resonances
- Fractal dimensional analysis of STAR events
- Kinematical fit for V^0 particle reconstruction
- Momentum and spin particle correlations

STUDY OF EVENT STRUCTURE OF HEAVY ION COLLISIONS AT HIGH ENERGIES

Проведен систематический анализ новых экспериментальных данных по инклюзивным спектрам частиц с большими Pt рожденными в PP и AA столкновениях на RHIC/Tevatron в рамках концепции z-скейлинга.

M. Tokarev

Новые данные STAR показывают сильную зависимость на множественности и Pt, но независимость формы скейлинговой функции $\psi(z)$.

E. Shahaliev

Разработан новый подход и реализована на объектно-ориентированном языке C++ в программной среде ROOT компьютерная программа для событийного анализа ядро-ядерных событий с установки STAR на основе теории случайных матриц.

*А.Стадник
Г.Ососков*

Получено обоснование применимости и разработан метод расчета коэффициентов вейвлет разложения для выделения различных классов событий во взаимодействии частиц высоких энергий.

Показано, что дискретные вейвлеты позволяют выделить полезный сигнал в условиях большого фона. Установлено, что дискретные вейвлеты устойчивы к шумам.

J.Fedorišin

Разработан метод непрерывного вейвлет анализа угловых спектров релятивистских частиц, рожденных в ядро-ядерных столкновениях с целью поиска кольцевых структур.

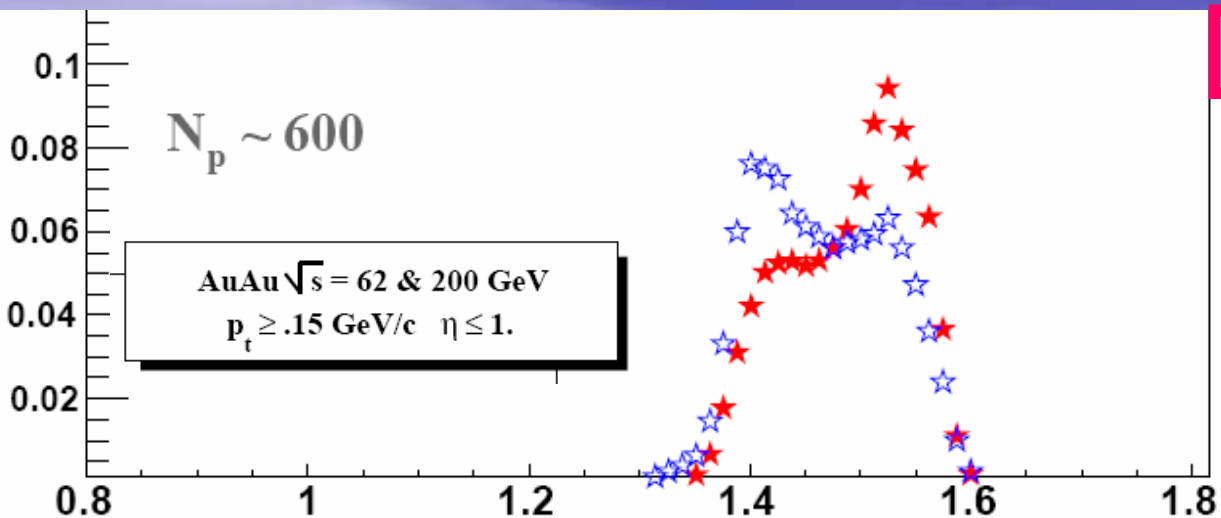
А.Кечечан

Разработан и протестирован метод реконструкции нейтральных странных частиц (K_S^0 , Λ), использующий топологический алгоритм в сочетании с кинематическим фитом. Определена эффективность метода на основе анализа экспериментальных данных, полученных на установке STAR во взаимодействиях AuAu при энергии 200 ГэВ, и доказано преимущество предлагаемой методики по сравнению с используемой

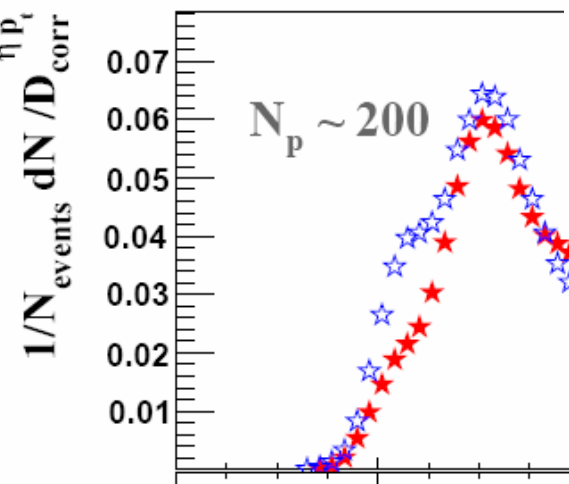
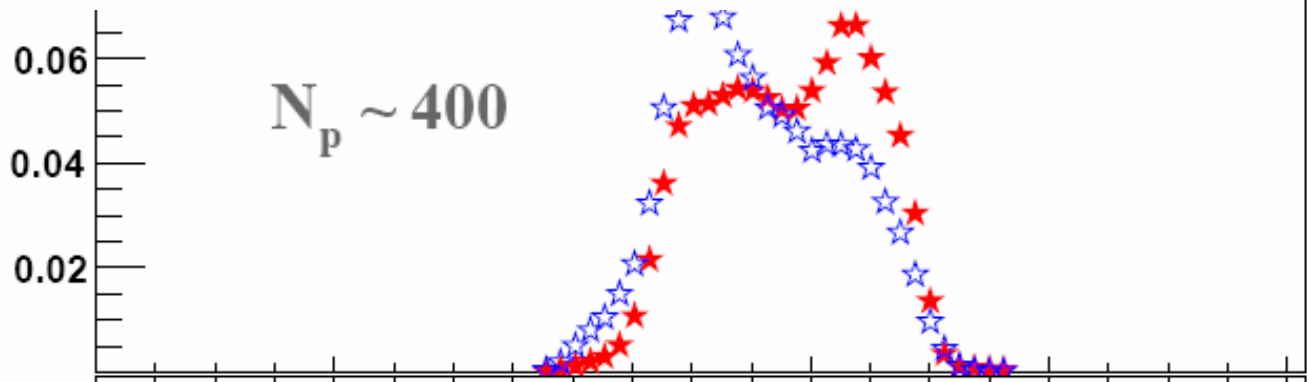
Разработан и применен метод вычисления фрактальной размерности событий множественного рождения частиц в ядро-ядерных взаимодействиях для анализа экспериментальных данных, полученных на коллайдере RHIC.

O.V.Rogachevsky - LHE JINR

STAR
Au+Au



$D_{\eta p_t}$



Сравнение фрактальных размерностей событий при различных энергиях показывает, что с увеличением энергии взаимодействия и множественности событий доля событий с большей фрактальной размерностью растет.

PHENIX, RHIC, BNL

2003 - High p_t Upgrade

+Tsukuba Univ.-Japan, BNL-USA

JINR Leader: **A.G. Litvinenko**

R&D

Two test RUNs in DUBNA and three RUNs in KEK

Prototype design and production

Frame for aerogel counters design and production

Counters assembling and testing

Participation of the VBLHE group in the construction of the Nose Cone Calorimeter (NCC)

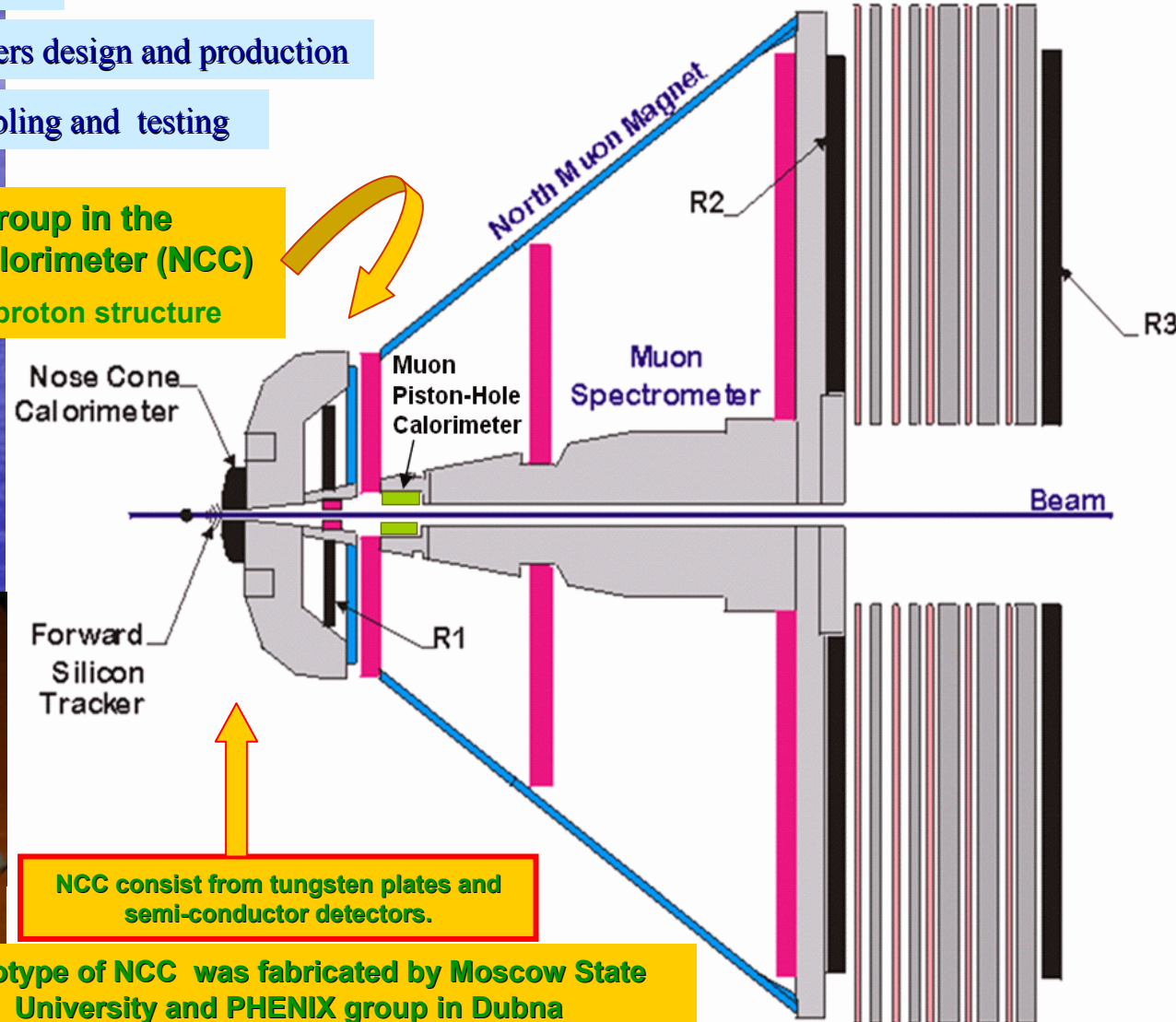
Calorimeter is necessary for study spin proton structure

Electronics – Bazylev

Detector – Zamiatin, LPP

Mechanical Works – Litvinenko

Physics - Litvinenko



NCC consist from tungsten plates and semi-conductor detectors.

Prototype of NCC was fabricated by Moscow State University and PHENIX group in Dubna

HADES, GSI - JINR participation

Coordinator from JINR – Prof. Yu. Zanevsky

The **physics motivation** for HADES includes the investigation of in-medium modification of light vector mesons as well as the study of dilepton continuum in the hot dense hadronic matter.

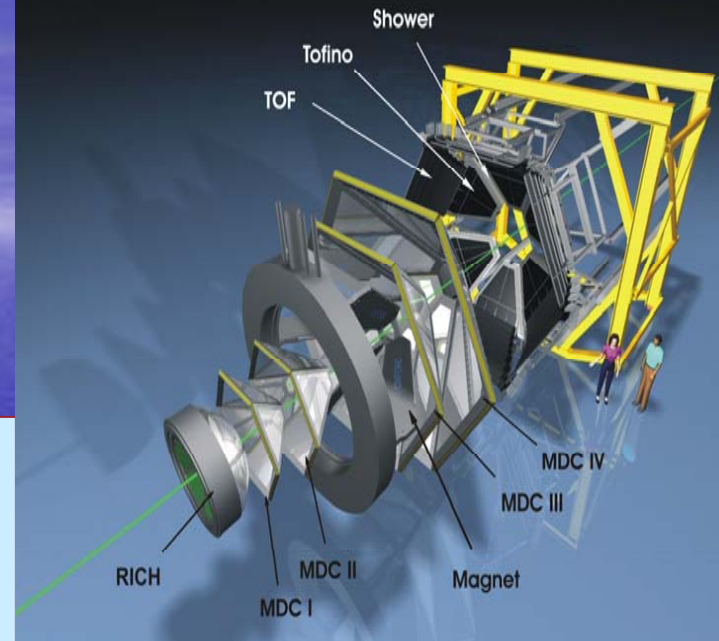
at SIS 18, GSI Darmstadt

$(p, \pi, A) + A$ collisions $\rho \leq 3 \rho_0$, $T \leq 80$ MeV

JINR activity for HADES:

-Low mass Multilayer Drift Chambers MDC II and Front End Electronics (constructed, tested and integrated into the HADES spectrometer).

-Track reconstruction software “Dubna Tracking Software “
- Participation in physical program and data analysis.



Recent dilepton spectra obtained by **NA45 and NA60 at CERN** indicates the changes of meson properties in nuclear matter at high energies. Similar and even much higher enhancement of dilepton production on conventional source was shown early by DLS experiment at lower beam energies.

New HADES data confirms the DSL “puzzle”: the huge (~6 times) enhancement of dielectron yield on conventional source for 1AGeV CC interactions. It was also shown that in case of 2AGeV CC collisions the enhancement is ~2 times lower.

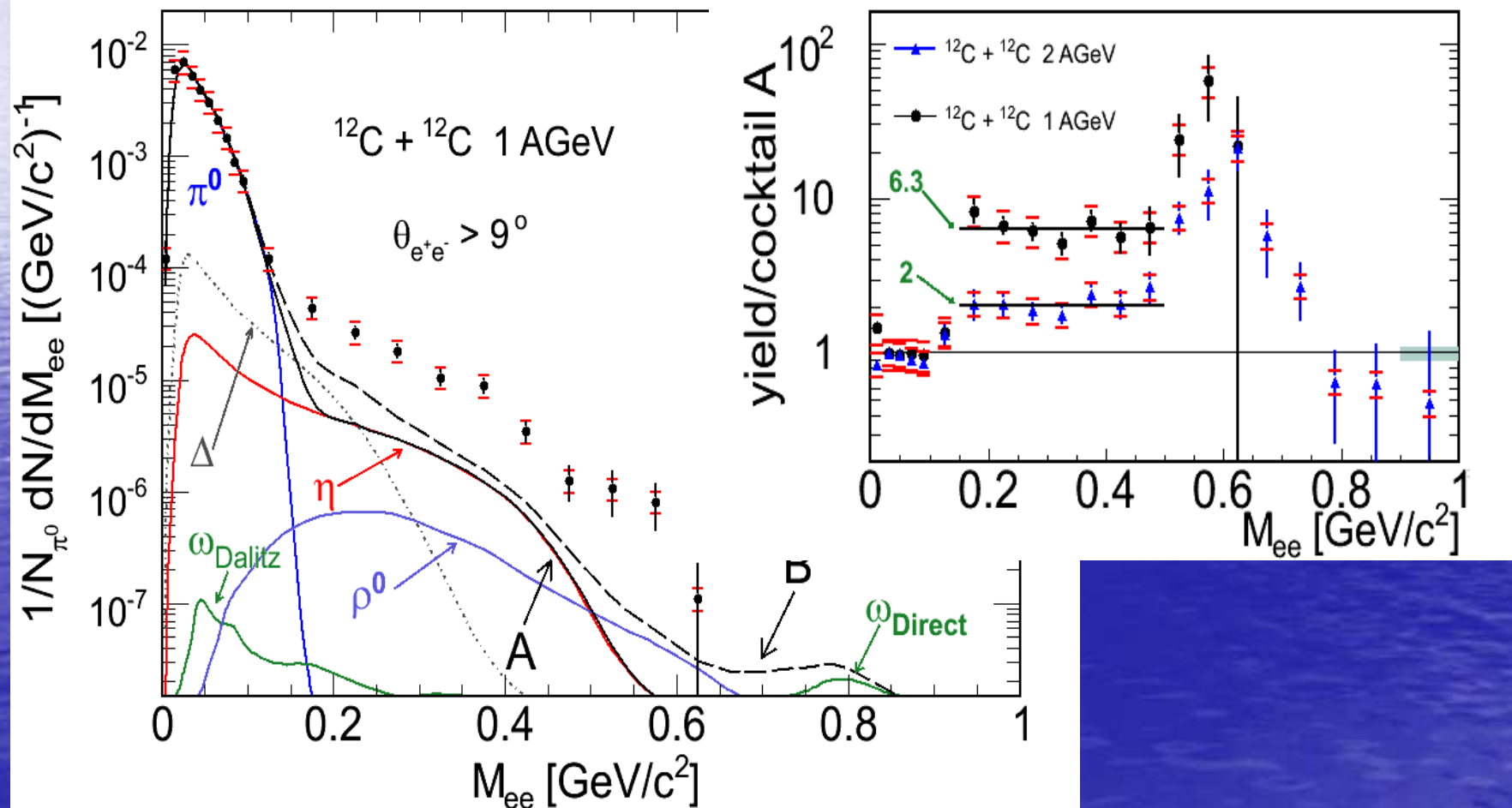
This new results is published in “Physical Review Letters” 98(2007)052302 and presented on INPC2007, Tokyo.

Now HADES is developing the physical program for **SIS 100, FAIR (2-8 AGeV)**.

Latest HADES results

2007 (era of HADES): The DLS puzzle is solved by accounting for a larger pn bremsstrahlung !!!

Elena Bratkovskaya: "Dileptons from heavy - ion collisions: from SIS to FAIR and off-shell transport", Workshop in Trento, Italy 18.06.2007



Conclusion

Some selected methodical and experimental results obtained in the experiments performed with internal and extracted nuclear beams of the Nuclotron were presented together with the results obtained in the cooperation of the VBLHE with other centres.