Joint Institute for Nuclear Research
International Intergovernmental Organization

Investigating the Dense QCD Phase Diagram Nuclotron-based Ion Collider fAcility (NICA) at JINR:

D. Blaschke, A.N. Sissakian, A.S. Sorin

CPOD Brookhaven, June 12, 2009

Outline

I. Status of the NICA project at JINR
II. Heavy ion physics at NICA
III. Physics Goals – White Paper
IV. Concluding remarks

I. Status of the NICA project at JINR

The main goal of the NICA project is an experimental study of hot and dense nuclear matter and spin physics

These goals are proposed to be reached by:

- development of the Nuclotron as a basis for generation of intense beams over atomic mass range from protons to uranium and light polarized ions;

- design and construction of heavy ion collider with maximum collision energy of $\sqrt{s_{NN}}$ ~ 11 GeV and average luminosity 10^{27} cm^{-2} s^{-1} (for U^{92+}), and polarized proton beams with energy $\sqrt{s}$ ~ 25 GeV and average luminosity > 10^{30} cm^{-2} s^{-1}
- design and construction of the Multi-Purpose Detector (MPD)

The NICA Project Milestones

- **Stage 1: years 2007 – 2009**

- Upgrade and Development of the Nuclotron

- Preparation of Technical Design Report of the NICA and MPD

- Start prototyping of the MPD and NICA elements

- **Stage 2: years 2008 – 2012**

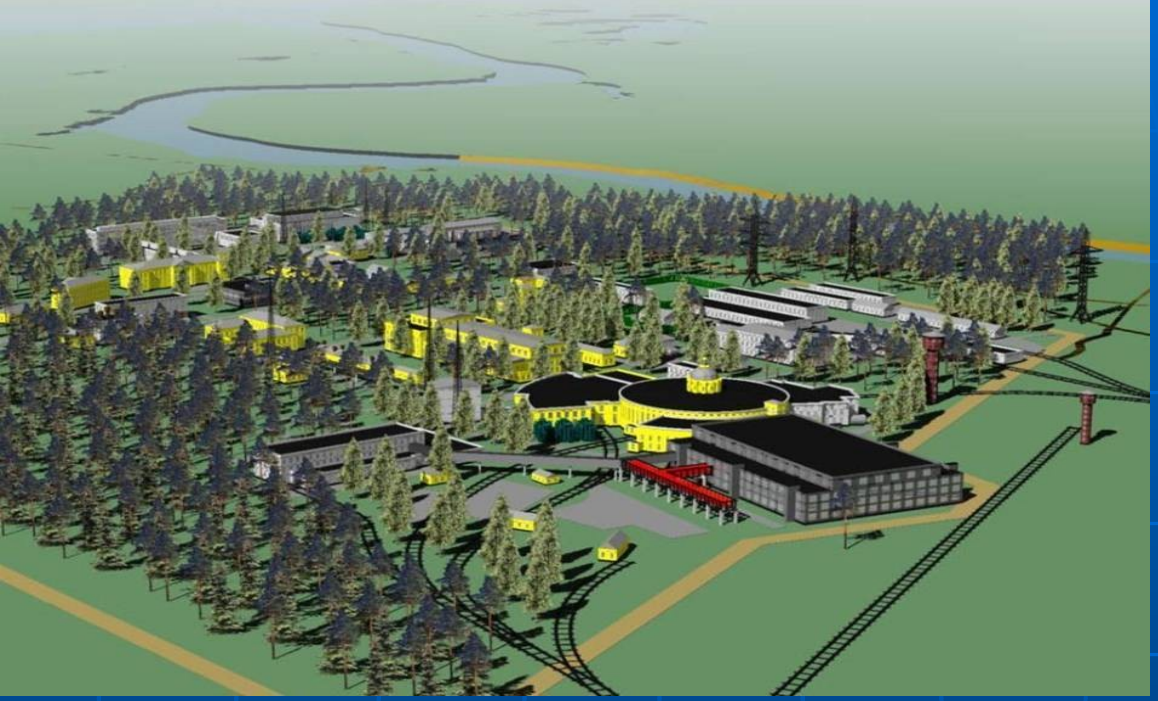
- Design and Construction of NICA and MPD

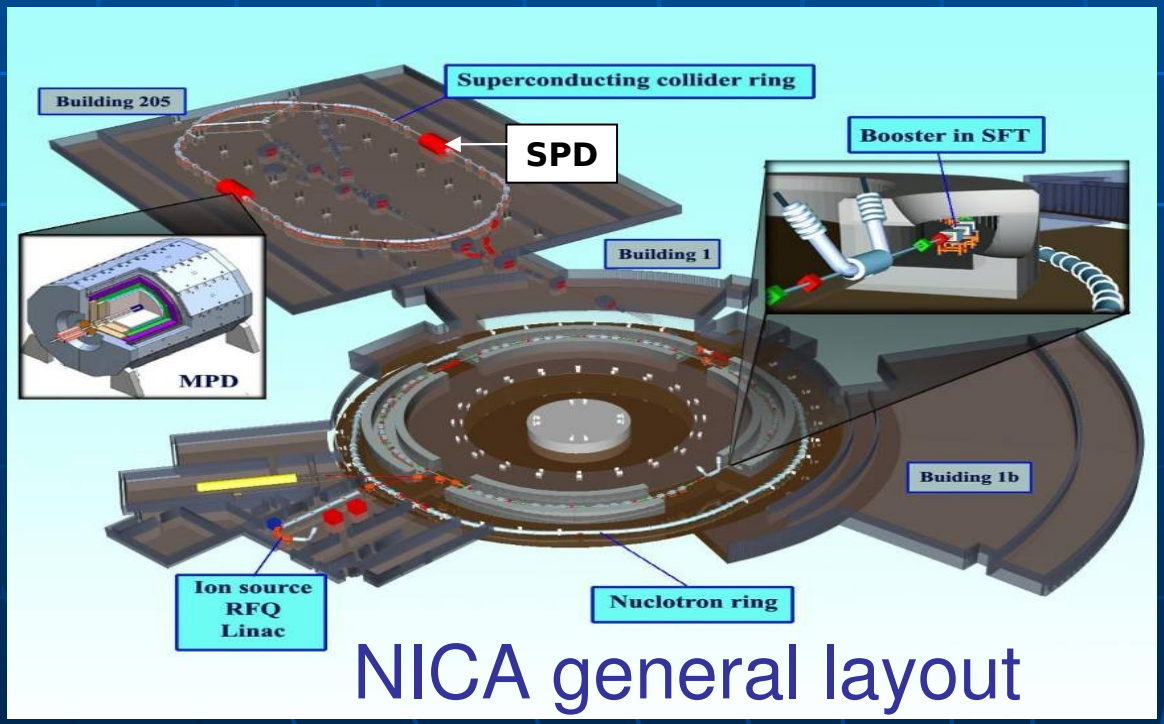
- **Stage 3: years 2010 – 2013**

- Assembling

- **Stage 4: year 2013 - 2014**

- Commissioning

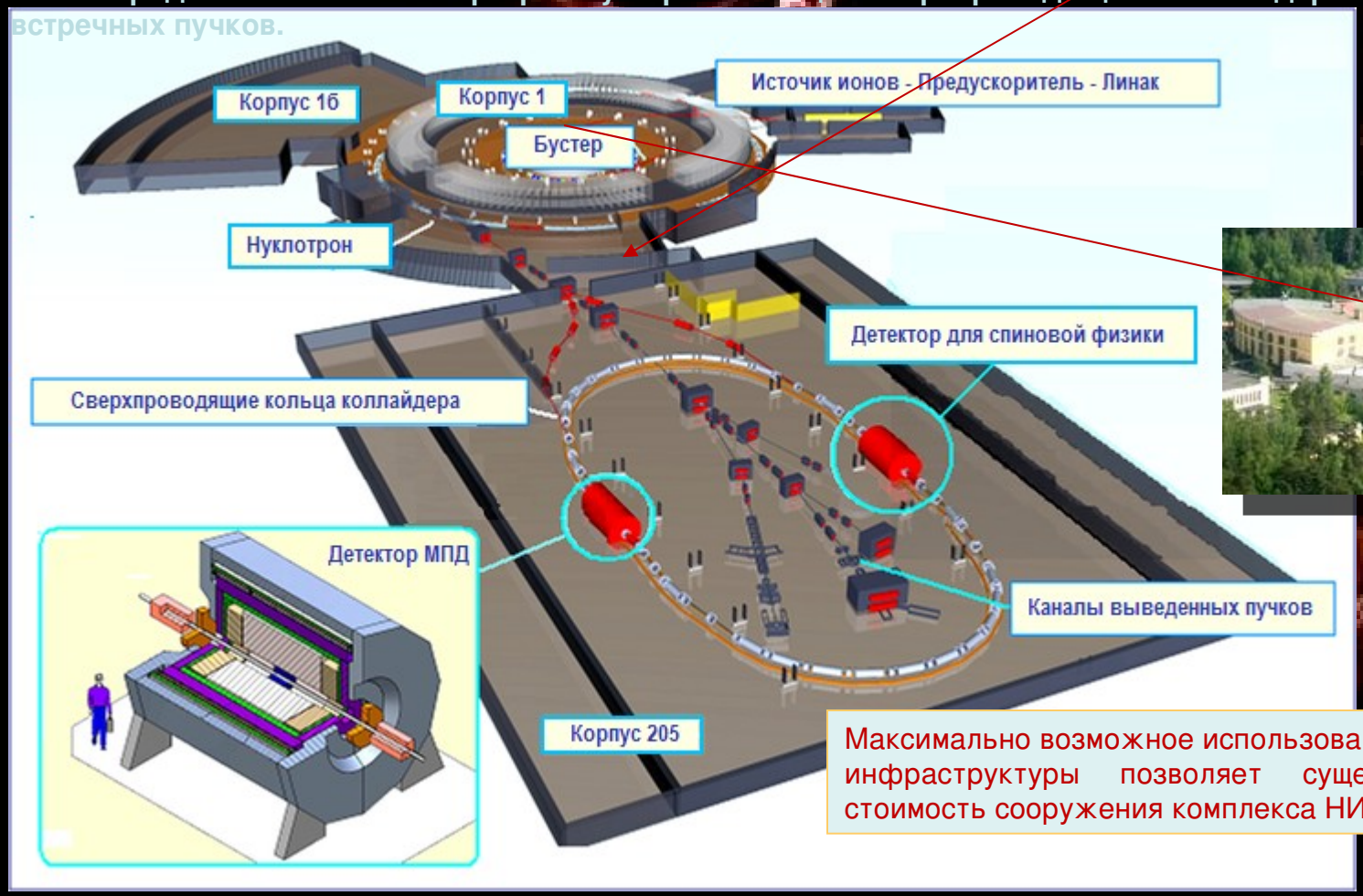




NICA general layout

The NICA Collider Complex

Комплекс НИКА включает в себя цепочку устройств и ускорительных систем в следующей последовательности: **источник ионов → предускоритель → линейный резонансный ускоритель низкозарядных ионов → синхротрон-бустер → кольца сверхпроводящего коллайдера → детекторы встречных пучков.**

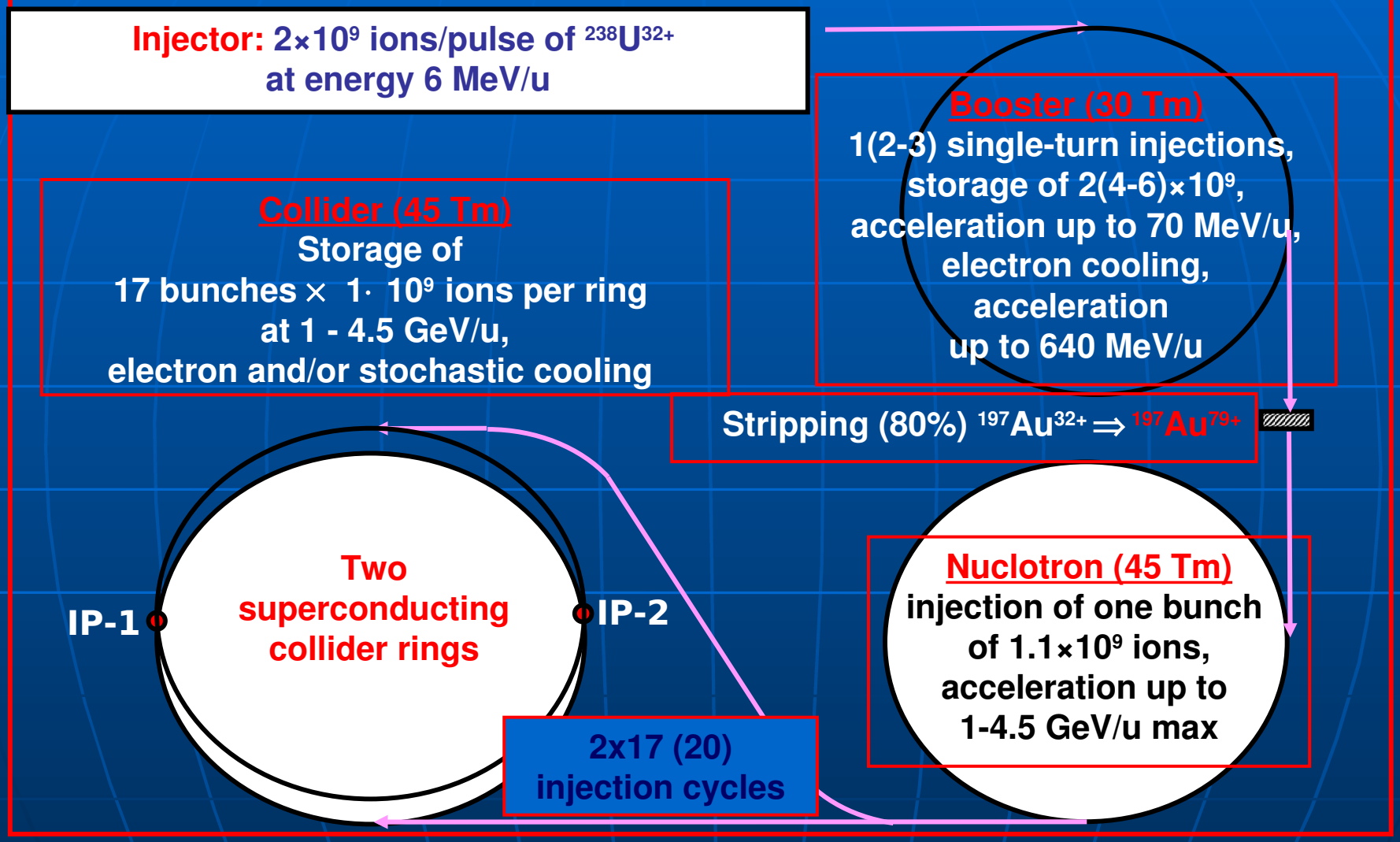


Максимально возможное использование существующей инфраструктуры позволяет существенно снизить стоимость сооружения комплекса НИКА

Реализация комплекса НИКА связана со значительными технологическими инновациями, например:

- новые конструкции сверхпроводящих магнитов и оригинальные методы точного управления параметрами пучков;
- большие детекторы, для регистрации траекторий множества рождающихся в экспериментах частиц;
- новые аппаратные и программные решения для обработки информации в режиме высокой скорости потока данных.

Scheme of the NICA compex



NICA Collaboration

- Joint Institute for Nuclear Research
- Institute for Nuclear Research Russian Academy of Science
- Institute for High Energy Physics, Protvino
- Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk
- MoU with GSI
- *Open for extension …*

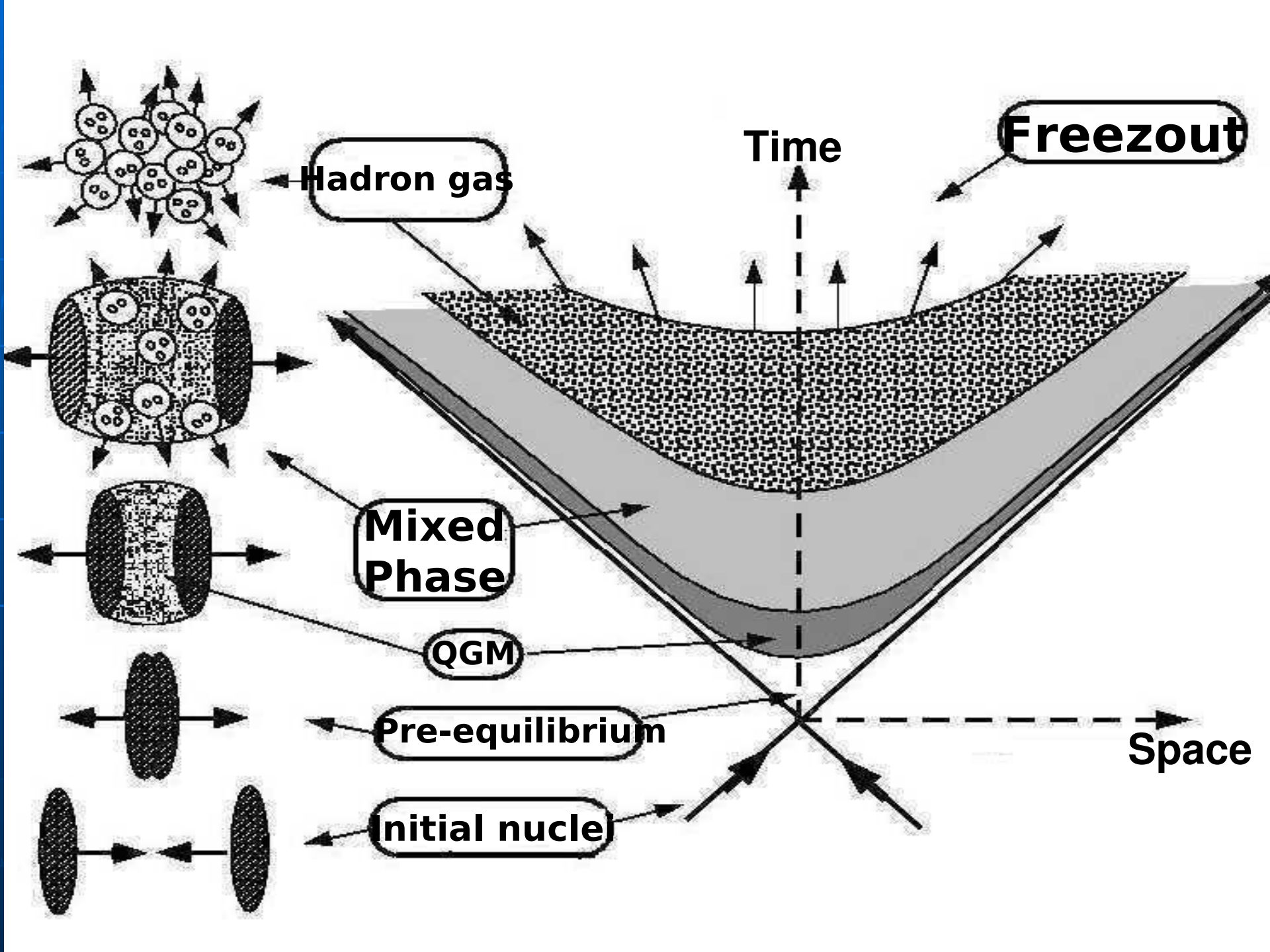
JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

Design and Construction of
Nuclotron-based Ion Collider fAcility (NICA)

Conceptual Design Report

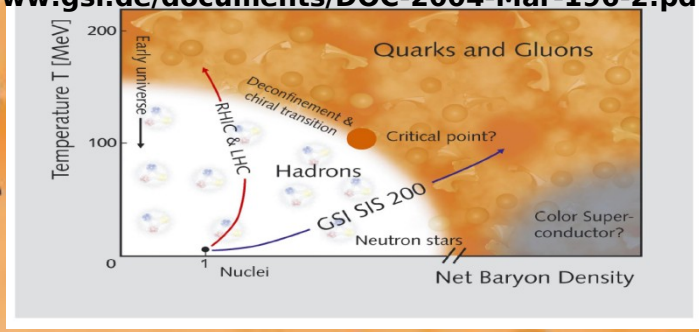
Dubna 2008

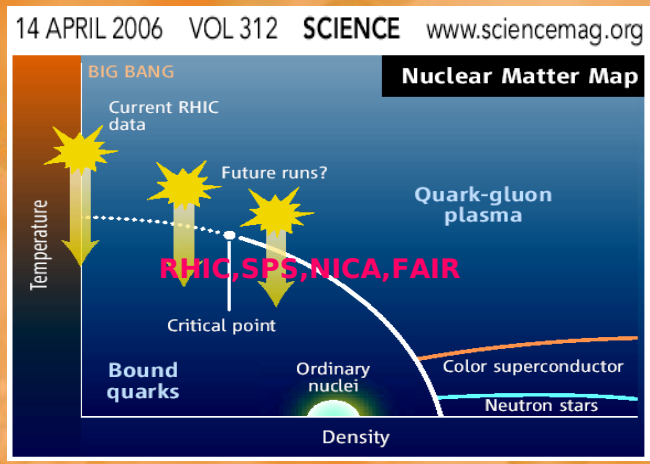
http://nica.jinr.ru


Hadron gas
Time
Freezout
Mixed Phase
QGM
Pre-equilibrium
Space
Initial nucle

II. Heavy ion physics at NICA

www.gsi.de/documents/DOC-2004-Mar-196-2.pdf





Quarks and Gluons

Critical point?

Deconfinement and chiral transition

Mixed phase

Hadrons

RHIC, LHC

FAIR SIS 300

NICA

Neutron stars

Color Super-conductor?

Early universe

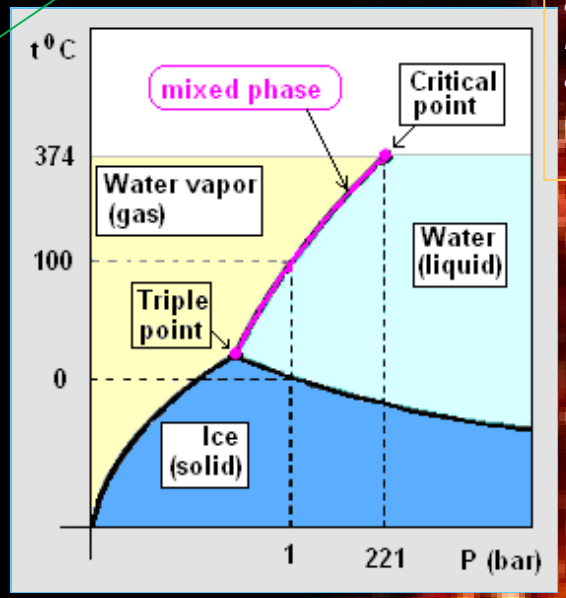
N_B

Round Table Discussions I, II, III, IV

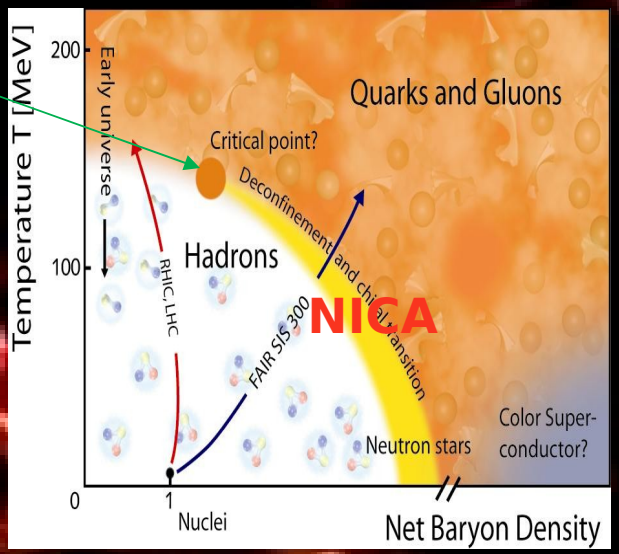
JINR, Dubna, 2005, 2006, 2008, 2009

http://theor.jinr.ru/meetings/2009/roundtabl

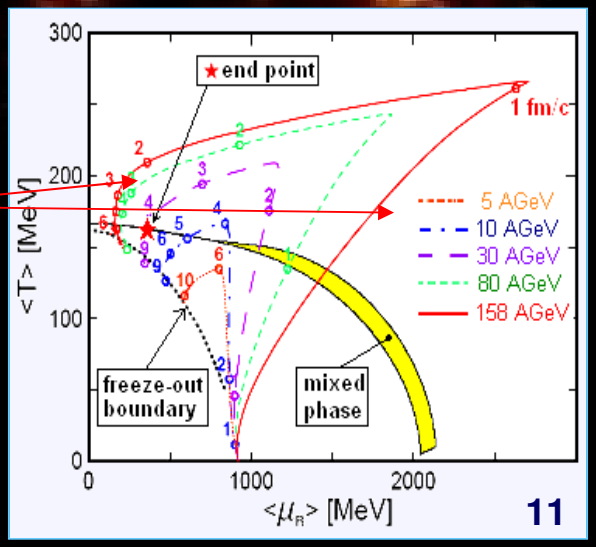
Фазовые состояния адронной материи



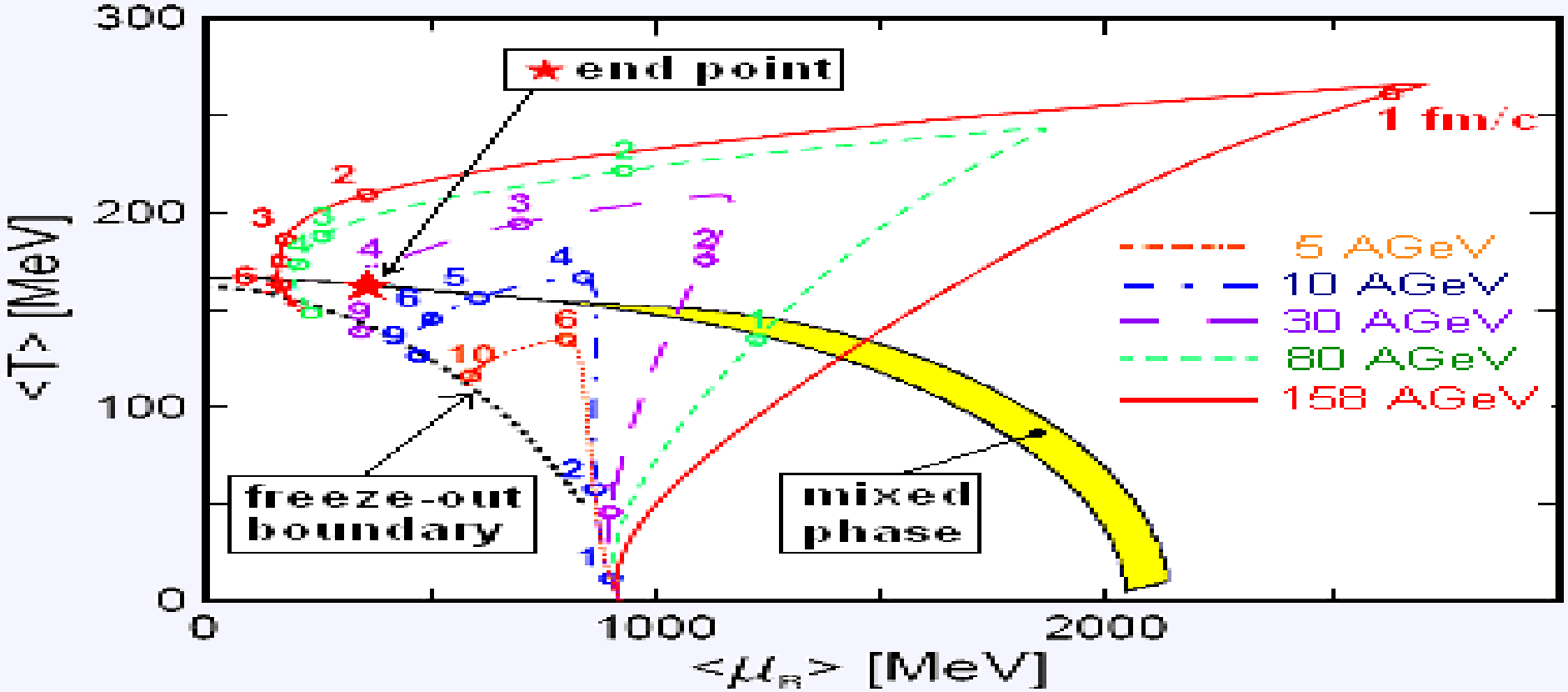
В теоретических моделях кварк-адронные фазовые переходы проявляют структуру, аналогичную структуре воды, с переходом через критическую точку.



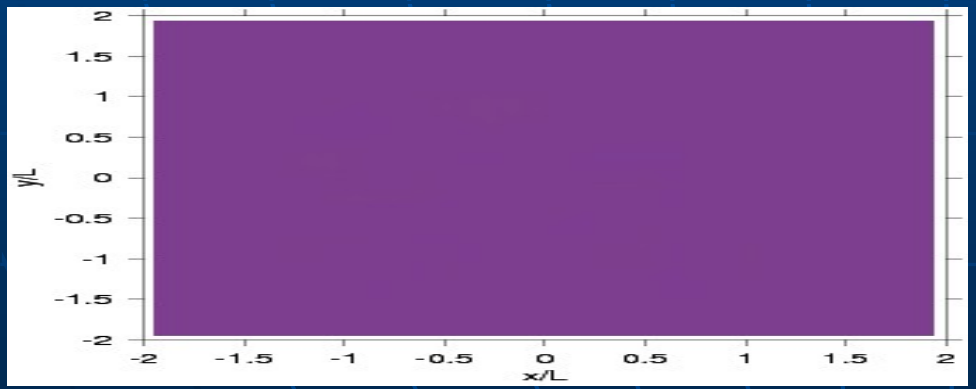
Фазовая траектория процесса взаимодействия релятивистских ядер при ***$E_{лаб}$ = 30 А ГэВ*** *(соответствует энергии столкновения в с.ц.м.* ***$\sqrt{s_{NN}}$ = 8 ГэВ)*** *проходит вблизи* ***критической точки.***



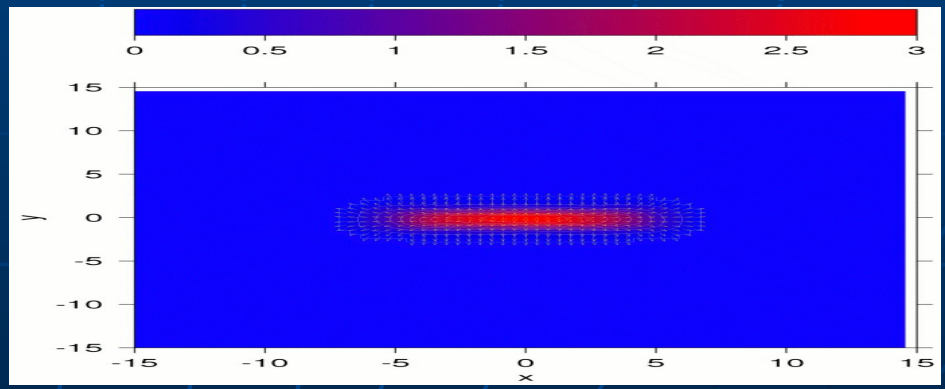
Dynamical trajectories



Skokov V., 2008



Ivanov Yu., Russkikh V.,Toneev V., 2005



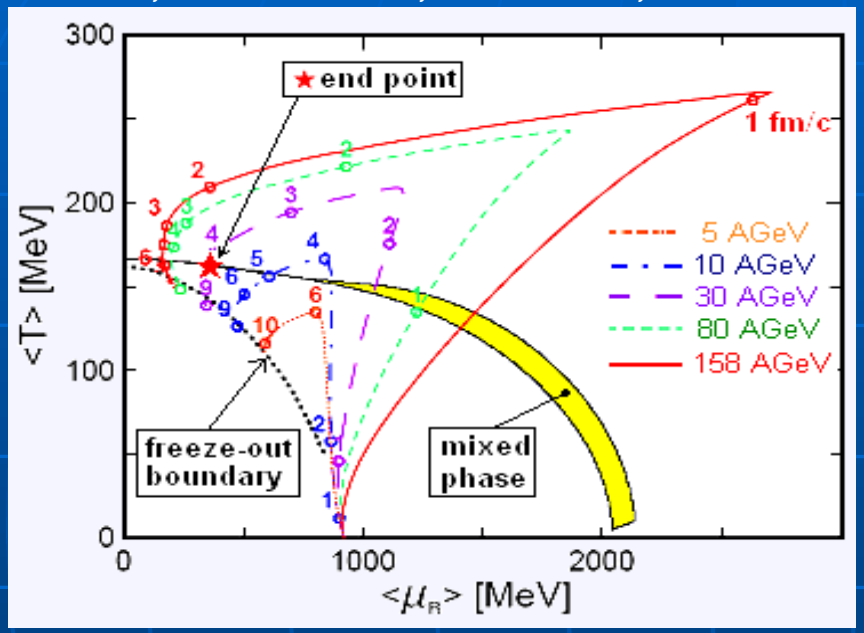
Phase Diagram

II

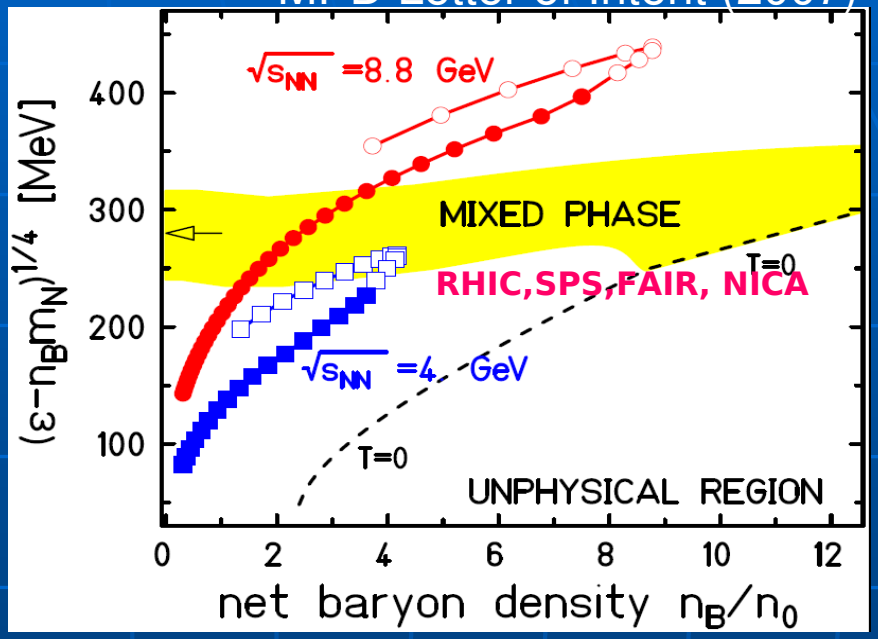
Yu.Ivanov, V.Russkikh,V.Toneev, 2005

MPD Letter of Intent (2007)

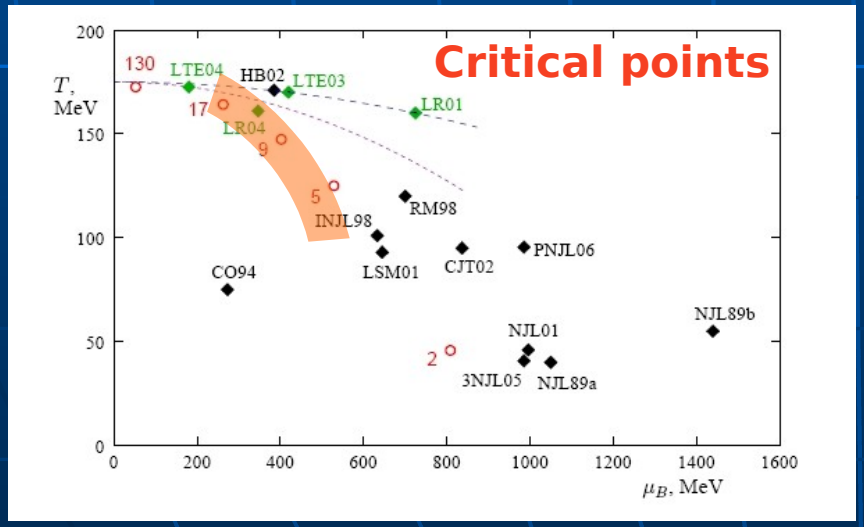
1



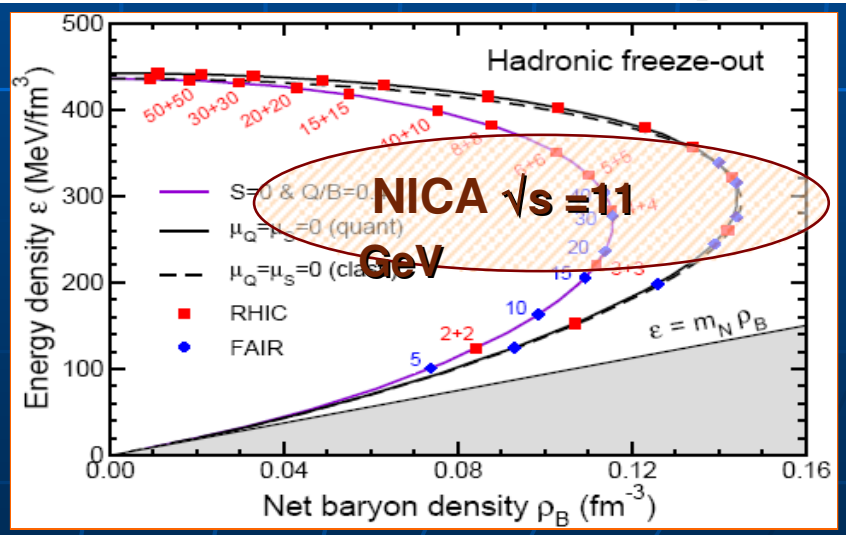
2



3



4

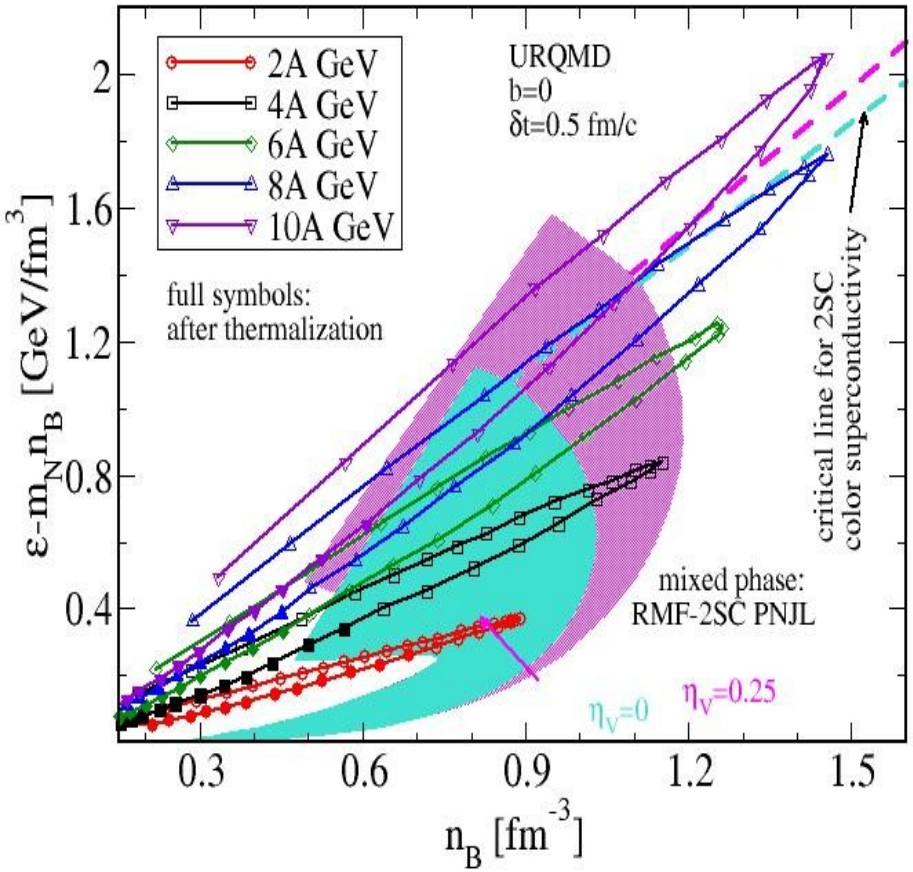


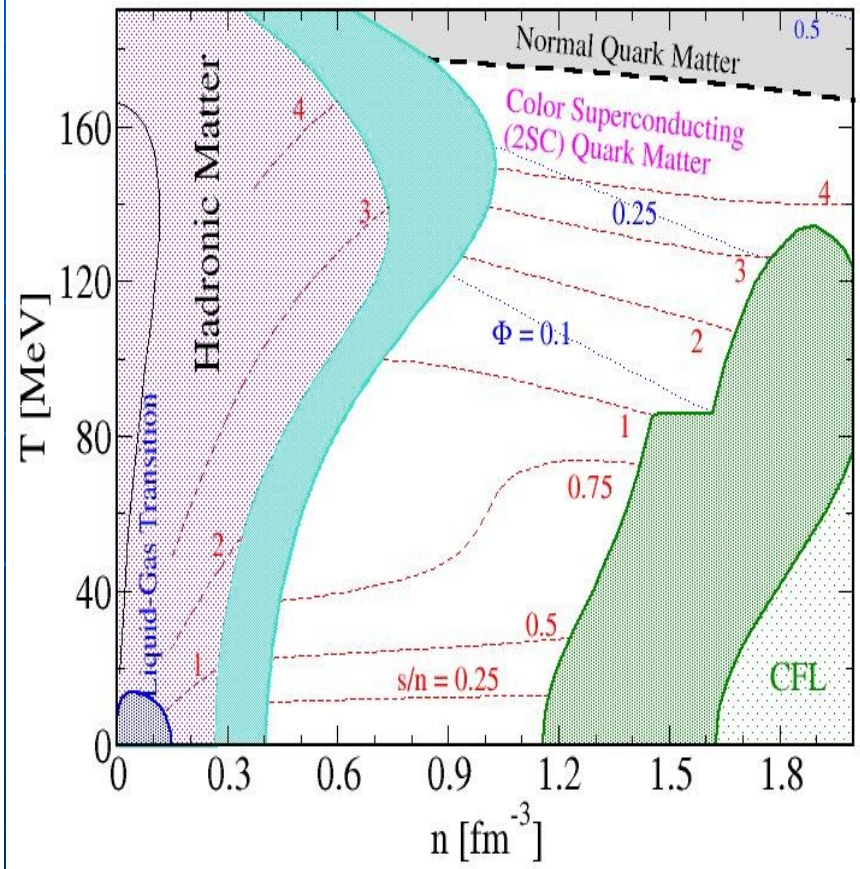
M.Stephanov, 2006

J.Randrup, J.Cleymans, 2006

Dense QCD Phase Diagram

D. Blaschke, F. Sandin, V. Skokov, 2009





http://theor.jinr.ru/twiki~cgi/view/NICA/WebHome

The NICA Physics Program

II

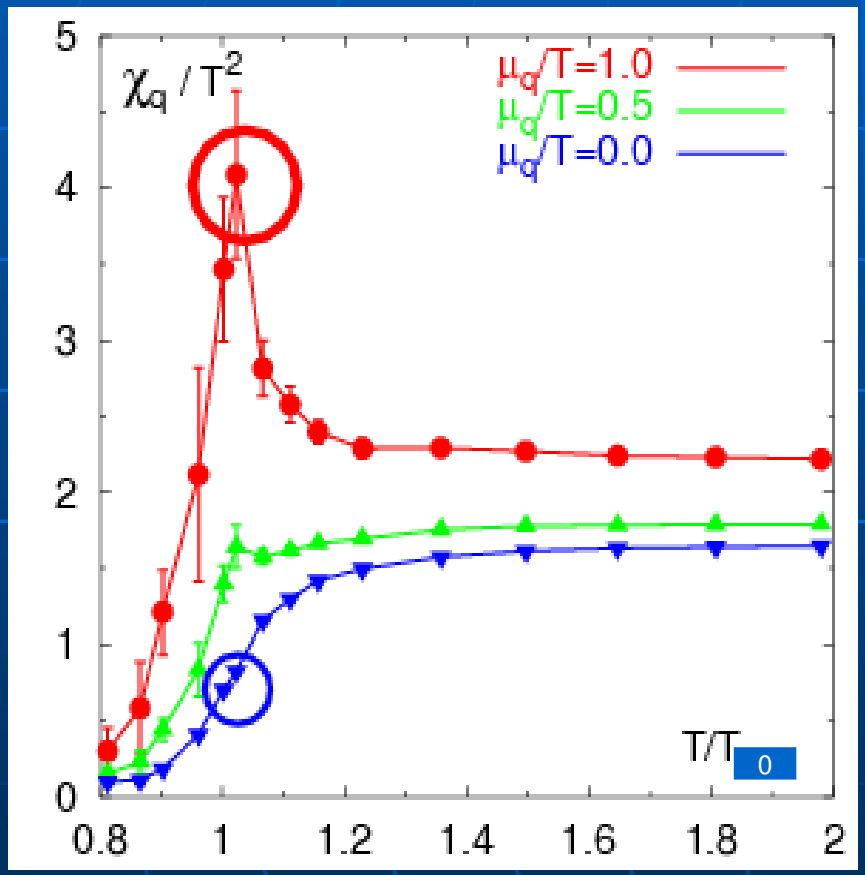
Study of in-medium properties of hadrons and nuclear matter equation of state including a search for possible signs of deconfinement and chiral symmetry restoration phase transitions and QCD critical endpoint

Experimental observables:
Scanning in beam energy and centrality of excitation functions for

- ♣ Multiplicity and global characteristics of identified hadrons including (multi)strange particles
- ♣ Fluctuations in multiplicity and transverse momenta
- ♣ Directed and elliptic flow for various indentified hadrons
- ♣ Particle correlations
- ♣ Dileptons and photons

Fluctuations

Lattice QCD predictions: Fluctuations of the quark number density (susceptibility) at μ_B >0 (C.Allton et al., 2003)



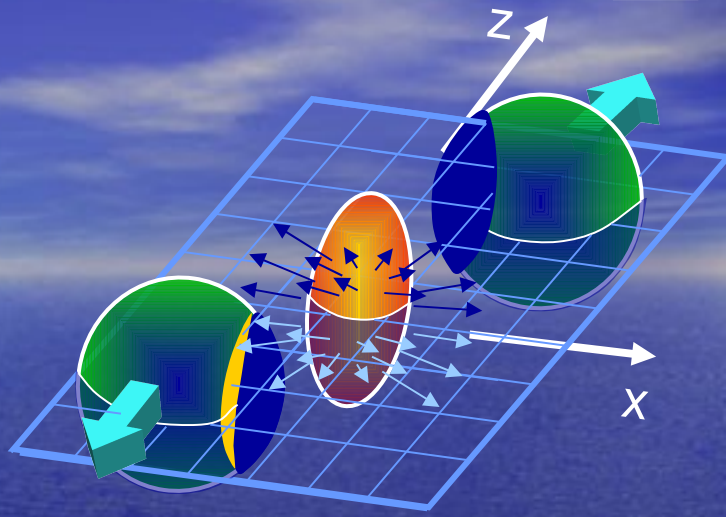
$$\frac{\chi_q}{T^2} = \left[\frac{\partial^2}{\partial \left(\mu_q / T \right)^2} \frac{P}{T^4} \right]_{T\ fixed}$$

χ_q (quark number density fluctuations) will diverge at the critical end point

Experimental observation:
- **Baryon number fluctuations**
- **Charge number fluctuations**

Collective flows

Interactions between constituents lead to a pressure gradient => spatial asymmetry is converted in asymmetry in momentum space => collective flows



Non-central collisions

$$\frac{dN}{dyp_T dp_T d\phi} = \frac{dN}{dyp_T dp_T}\frac{1}{2\pi}\left(1 + 2v_1 cos(\phi) + 2v_2 cos(2\phi) + \ldots\right)$$

directed flow

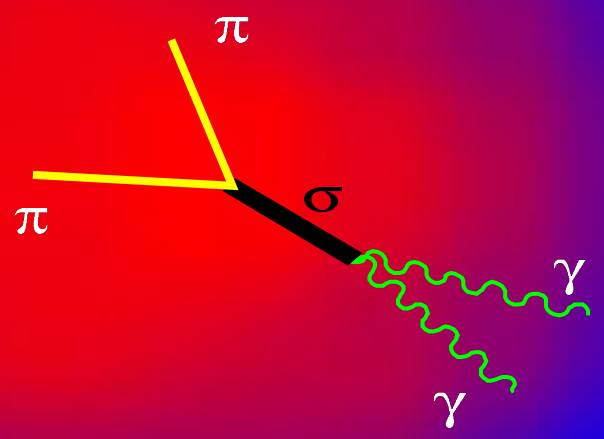
elliptic flow

Correlation femtoscopy of identical particles

$q = p_1 - p_2$, $\Delta x = x_1 - x_2$

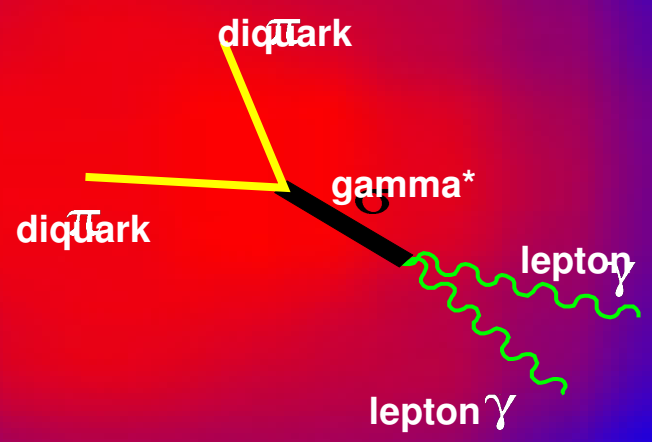
$$C_2 = 1 + (-1)^S < Cos\ q\Delta x > \rightarrow 1 + \lambda \exp(-R^2_{long} q^2_{long} - R^2_{side} q^2_{side} - R^2_{out} q^2_{out} - 2R^2_{out} q_{out} q_{long})$$

Signals of chiral symmetry restoration

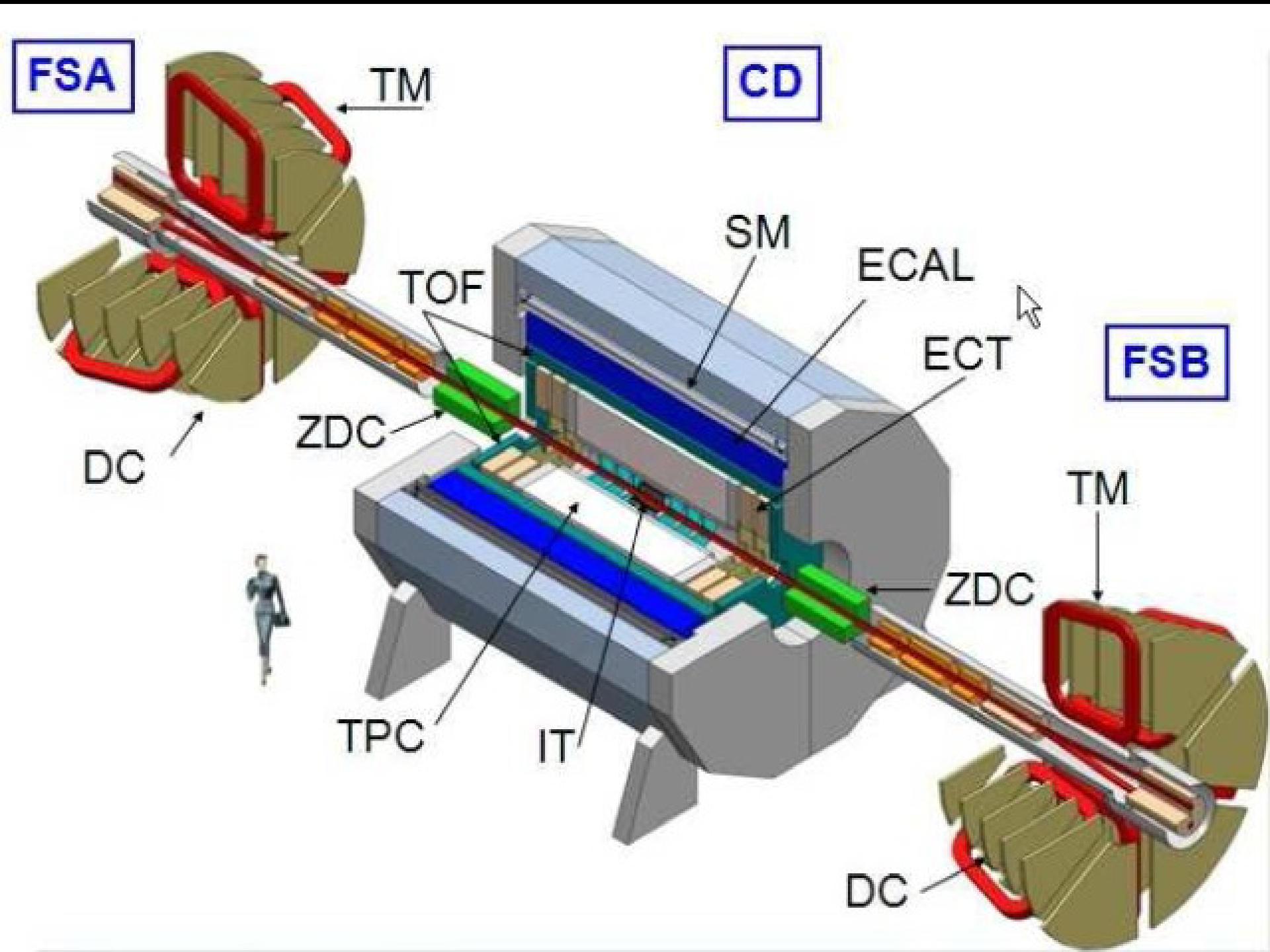


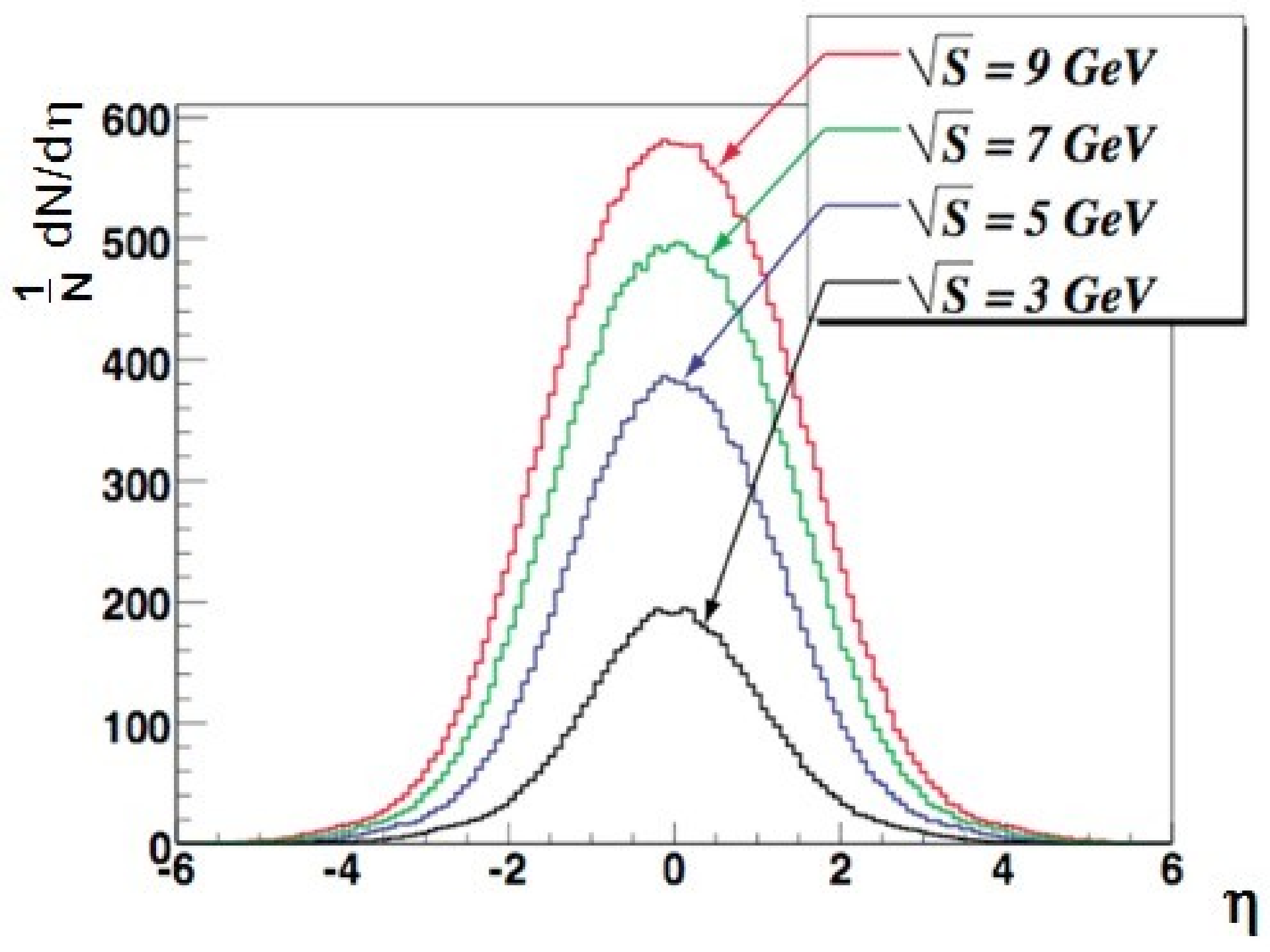
S. Chiku, T. Hatsuda, PRD 57 (1998) 6
M.K. Volkov et al., PLB 424 (1998) 235

Signals of color superconductivity



T. Kunihiro, M. Kitazawa, Y. Nemoto, PoS POD07 (2007) 041

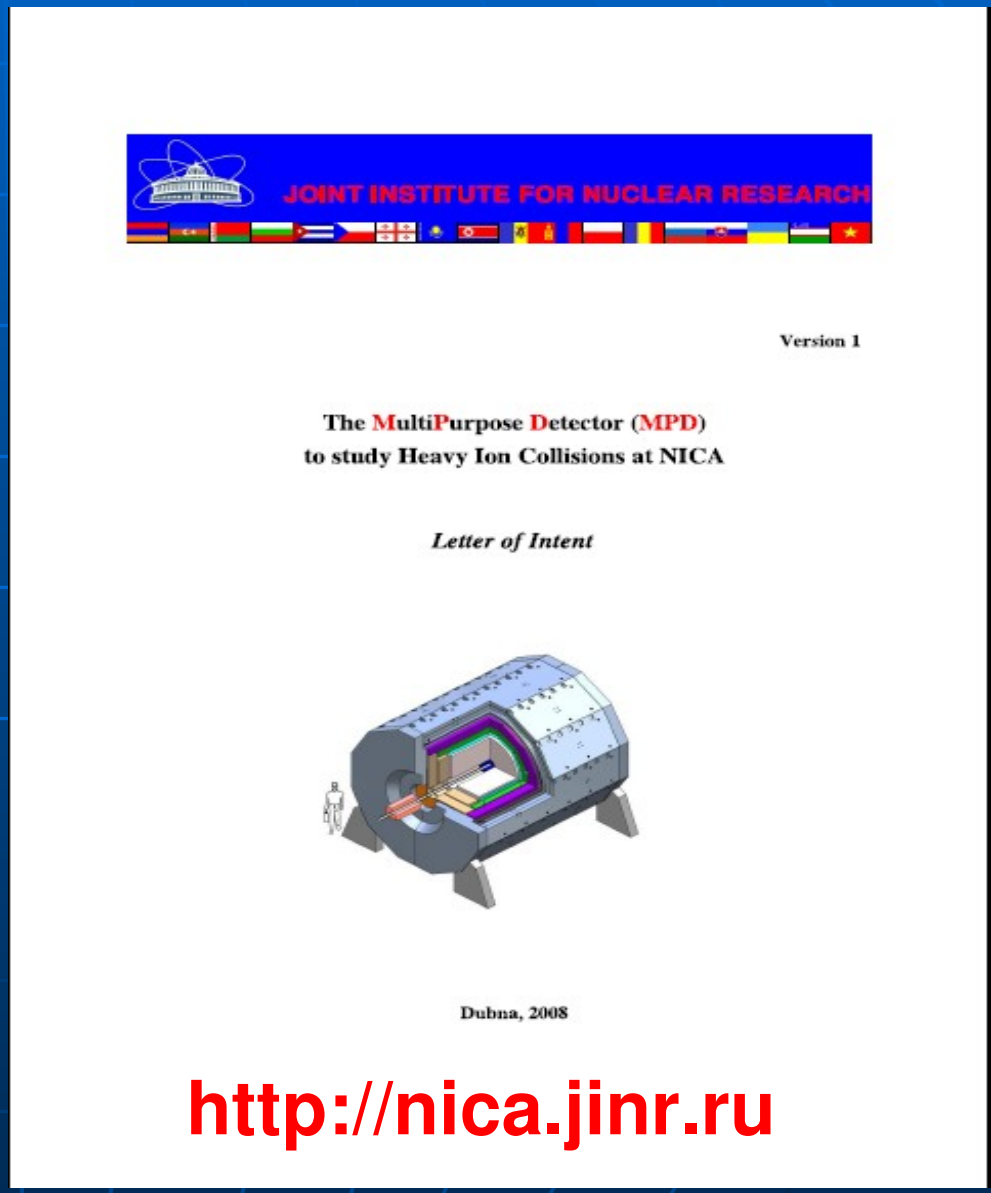

FSA
TM
CD
SM
ECAL
TOF
ECT
FSB
ZDC
DC
TM
ZDC
TPC
IT
DC


$\sqrt{S} = 9$ GeV
$\sqrt{S} = 7$ GeV
$\sqrt{S} = 5$ GeV
$\sqrt{S} = 3$ GeV
$\frac{1}{N}\,dN/d\eta$
600
500
400
300
200
100
0
-6
-4
-2
0
2
4
6
η

MPD Collaboration

- Joint Institute for Nuclear Research
- Institute for Nuclear Research Russian Academy of Science
- Bogolyubov Institute of Theoretical Physics, NASUk
- Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov MSU, RF
- Institute of Apllied Physics, Academy of Science Moldova
- *Open for extension …*

A consortium involving GSI, JINR & other centers for IT module development & production is created.



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

Version 1

The MultiPurpose Detector (MPD)
to study Heavy Ion Collisions at NICA

Letter of Intent

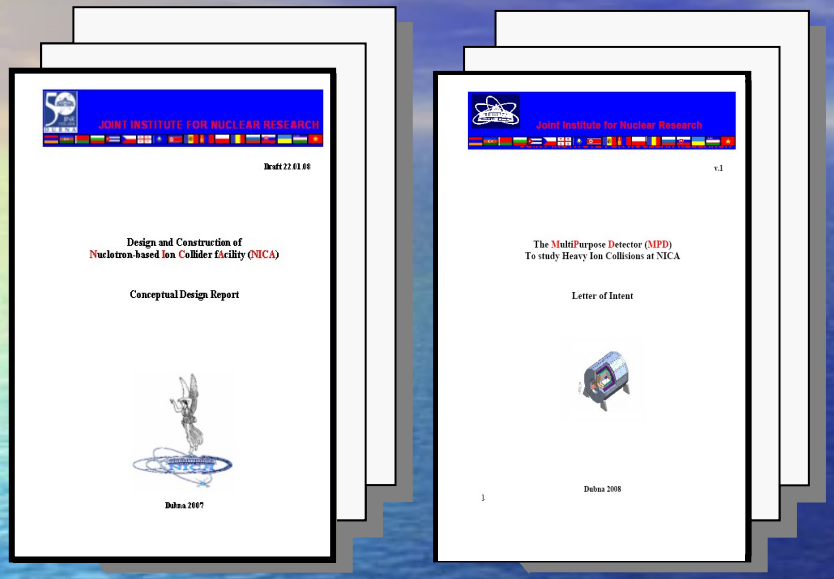
Dubna, 2008

http://nica.jinr.ru

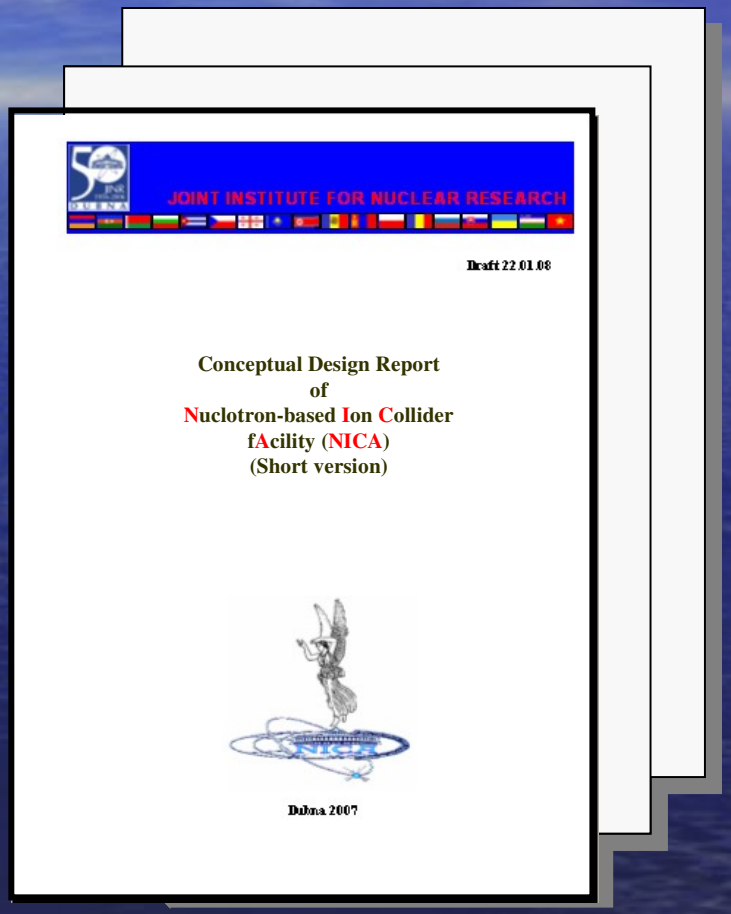
Signed MoU with GSI in July 2008

Development of the NICA Concept and TDR

January 2008



January 2009



May 2009:
NICA TDR
&
MPD CDR
to be completed

V. Concluding remarks

Round Table Discussion I

Searching for the mixed phase of strongly interacting matter at the JINR Nuclotron

July 7 - 9, 2005

http://theor.jinr.ru/meetings/2005/roundtable/

Round Table Discussion II

Searching for the mixed phase of strongly interacting matter at the JINR Nuclotron: Nuclotron facility development

JINR, Dubna, October 6 - 7, 2006

http://theor.jinr.ru/meetings/2006/roundtable/

Round Table Discussion III

Searching for the mixed phase of strongly interacting QCD matter at the NICA: Physics at NICA

JINR (Dubna), November 5 - 6, 2008

http

Round Table Discussion IV

Searching for the mixed phase of strongly interacting QCD matter at the NICA: Physics at NICA (White Paper)

JINR (Dubna), September 7 - 11, 2009

http://theor.jinr.ru/meetings/2009/roundtable/

Draft Contributions to the NICAWhite Paper (last update: May 26, 2009)

Jorgen Randrup, "Searching for evidence of spinodal decomposition"

Igor Dremin and Andrey Leonidov, "Some issues in NICA-related research at LPI"

Michael Lisa, "Brief arguments for studying Azimuthally Sensitive HBT (asHBT)"

Mark Gorenstein, "Event-by-event fluctuations in nuclues-nucleus collisions"

Alexei Stavinskiy, "The study of dense cold nuclear matter with cumulative trigger"

Marek Gazdzicki, "MPD at the JINR NICA in the landscape of heavy ion projects"

Vitaly Okorokov, "Physics at NICA MPD: Particle Correlations"

Dmitry Voskresensky, "Search for manifestation of medium effects in dense excited hadron/quark matter"

Kyrill Bugaev, "Rigorous Investigation of Surface Tension and Finite Width of the QGP Bags at NICA Energies"

Yuri Ivanov, "Supercooled Quark-Gluon Phase?"

Alexander Andrianov, Vladimir Andrianov and Domenec Espriu, "Spontaneous P-violation in dense matter accessible with NICA"

A.B. Kaidalov, "New forms of QCD matter and cumulative processes"

Bedanga Mohanty, "Experimental advantages of collider over fixed target"

Francesco Becattini, "Chemical freeze-out and strangeness production study at NICA"

M. Di Toro, V. Greco, B. Liu, S.Plumari, "Isospin Effects on Phase Transitions of Hadronic to Quark Matter: a Proposal for the NICA Project"

Jean Cleymans and Jorgen Randrup, "Optimal conditions for exploring high-density baryonic matter"

Richard Lednicky, "Femtoscopic search for the 1-st order phase transition"

Boris Tomasik, "Hadronic signals of non-equilibrium phase transition"

E.L. Bratkovskaya and W. Cassing, "Observables and open problems for NICA"

Alexander Nagaytsev, "Spin physics at NICA"

Nu Xu, "Comments Mixed Phase Physics"

G.I. Lykasov, A.N. Sissakian, A.S. Sorin, O.V. Teryaev, "Complementarity and duality in heavy-ion collisions"

E. Levin, "My several thoughts on NICA"

A.V. Efremov, O.V.Teryaev, V.D. Toneev, "Polarization effects in heavy ions collisions at NICA"

V. V. Skokov, V.D. Toneev, "On CP violation in heavy-ion collisions at the NICA energy."

K.K. Gudima, V.D. Toneev, "Dileptons at NICA"

Itzhak Tserruya, "Low-mass dileptons at NICA"

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

Most recent
Version June 4, 2009

SEARCHING for a QCD MIXED PHASE at the
NUCLOTRON-BASED ION COLLIDER FACILITY
(NICA White Paper)

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

Welcome to the collaboration!

JOINT INSTITUTE

JINR

FOR NUCLEAR RESEARCH

NICA

- Quantum anomalies play an important role in the bulk properties of hot QCD matter
- Scale anomaly induces a sharp peak in bulk viscosity at the QCD phase transition
- Axial anomaly and sphalerons may induce an event-by-event P and CP violation
- All of this can be studied at NICA

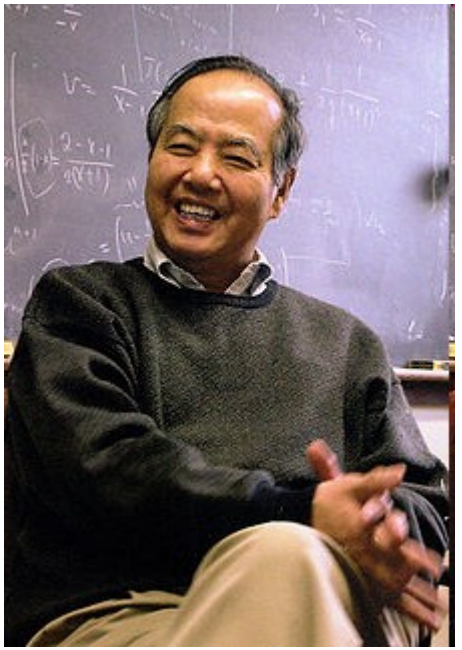
Outline

- NICA's niche on the phase diagram of QCD
- Classical symmetries and quantum anomalies
- Scale anomaly and bulk viscosity of QCD matter
- Axial anomaly and event-by-event P and CP violation
- What do we need to study these phenomena at NICA?

What do we need to study these phenomena at NICA?

- Detect charged particles with as large acceptance as possible (2π is a must)
- Particle ID would require a high luminosity (need ~ 100 M events or more)
- The study of scalar critical fluctuations would benefit from detection of soft photons

tdl@phys.columbia.edu
sisakian@jinr.ru



Совместный общемосковский семинар ОИЯИ, ИЯИ РАН, ИТЭФ, НИЯФ МГУ, ФИРАН по проекту NICA/MPD, Москва, 27.03.2008

Решение

Общемосковского семинара по релятивистской ядерной физике

27 марта 2008 года
Институт Ядерных Исследований РАН

Участники семинара "Проект NICA (тяжелоионный коллайдер: концепции, планы реализации и перспективы совместных работ)" заслушав доклады, представленные разработчиками Проекта NICA/MPD (ОИЯИ):

1. А.Н. Сисакян "Статус проекта NICA/MPD".
2. А.Н. Сисакян, А.С. Сорин "Программа физических исследований на ускорительном комплексе NICA".
3. И.Н. Мешков "Концептуальный проект ускорительного комплекса NICA".
4. В.Д. Кекелидзе "Концептуальный проект многоцелевого детектора MPD".

и обсудив цели и содержание проекта, а также перспективы его осуществления, пришли к следующему заключению.

1. Физическая проблема, инициировавшая разработку Проекта, является одной из наиболее важных среди фундаментальных проблем физики микромира и начальных этапов эволюции Вселенной.

2. Представленные на семинаре концептуальные проекты NICA и MPD выполнены на современном уровне с привлечением передовых технологий и использованием оригинальных идей, предложенных и развитых в России.

3. Осуществление Проекта на базе лабораторий ОИЯИ представляется вполне реальным, а представленные планы работ - выполнимыми.

4. Для успешного и быстрого выполнения Проекта целесообразно создание широкой Всероссийской и международной коллаборации.

5. Институты России располагают необходимым научным и инженерно-техническим потенциалом.

6. Успешная реализация Проекта позволит всем участникам Проекта занять лидирующие позиции в физике высоких энергий и войти в число самых передовых исследовательских центров мира.

В.А.Матвеев
Директор ИЯИ РАН
академик РАН

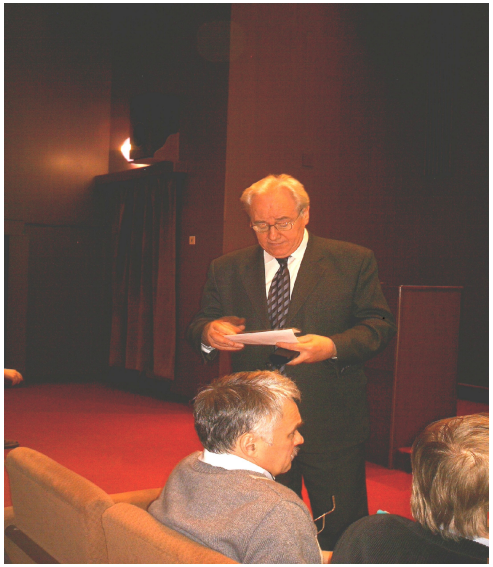
А.Н.Тавхелидзе
академик РАН

Б.Ю.Шарков
Директор ИТЭФ
чл.-корр. РАН

А.Н.Лебедев
чл.-корр. РАН

В.А.Рубаков
академик РАН

Совместный научный семинар ОИЯИ и ГНЦ ИФВЭ по проекту NICA/MPD Протвино,14.02.2008



International Coordinating Committee meeting on the NICA Project

Nuclotron-M Machine Advisory Committee and Honorary guests

Visit of the GSI director Prof. Stoecker to JINR

V

Visit of D.A.Medvedev to JINR 18.04.08

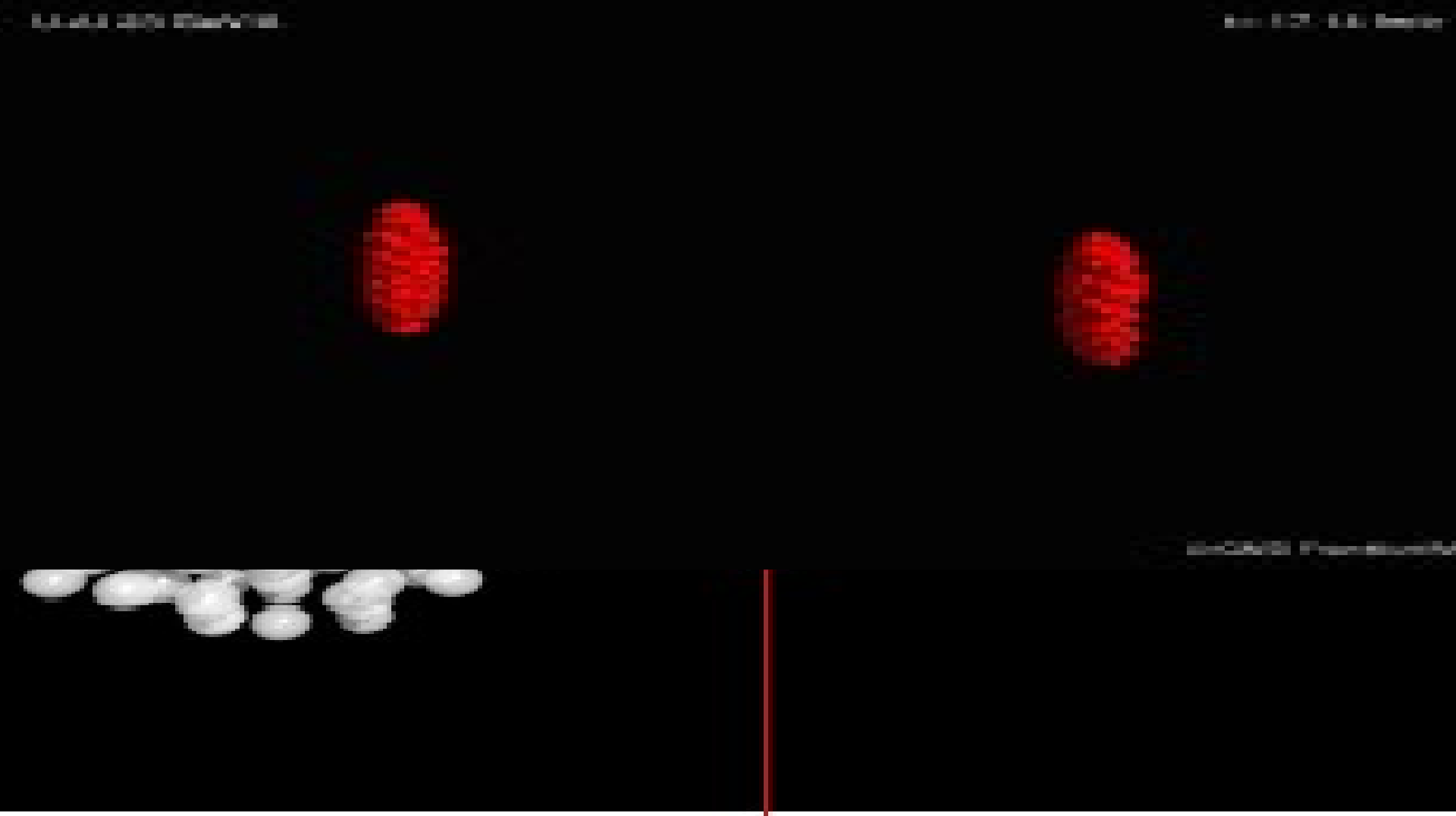
Thank you for attention!

N
I
C
A

M
P
D

NICA

JINR - DUBNA



atter at high energy density

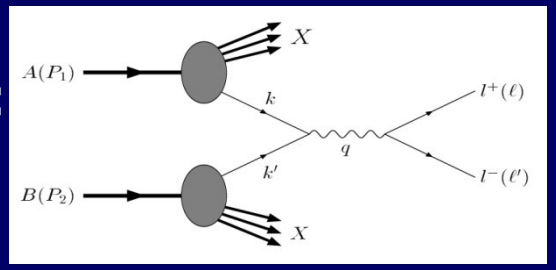
III. Spin Physics at NICA

EMC, 1987 $\Delta\Sigma = 0.12 \quad 0.17$

Polarization data has often been the graveyard for fashionable theories. If theorists had their way they might well ban such measurements altogether out of self-protection.

J.D. Bjorken, 1987

Preliminary topics:



- *Drell-Yan processes with L&T polarized p & D beams*: *extraction of unknown (poor known) PDF*
- *PDFs from J/y production processes*
- *Spin effects in baryon, meson and photon productions*
- *Spin effects in various exclusive reactions*
- *Diffractive processes*
- *Cross sections, helicity amplitudes & double spin asymmetries (Krisch effect) in elastic reactions*
- *Spectroscopy of quarkoniums with any available decay modes*
- *Polarimetry*

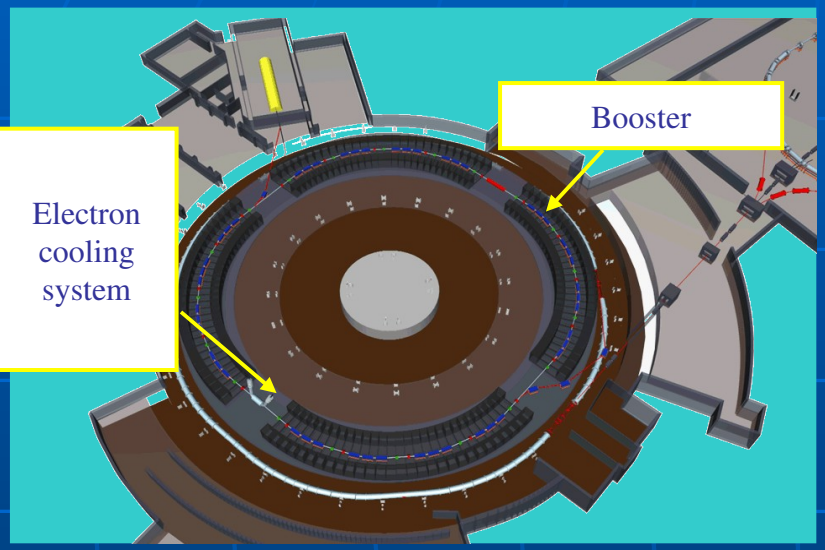
Experiments on Drell-Yan measurements

III

Experiment	Status	Remarks
E615	Finished	Only unpolarized DY
NA10	Finished	Only unpolarized DY
E886	Running	Only unpolarized DY
RHIC	Running	Detector upgrade for DY measurements (collider)
PAX	Plan > 2016	Problem with $\bar{p}$ polarization (collider)
COMPASS	Plan > 2010	Only valence PDFs
J-PARC	Plan > 2011	low s (60-100 GeV^2), only unpolarized proton beam
SPASCHARM	Plan?	s ~ 140 GeV^2 for unpolarized proton beam
NICA	Plan 2014	s ~ 670 GeV^2 for polarized proton beams, high luminosity (collider)

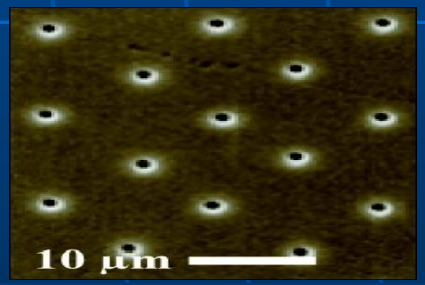
IV. Applied research at NICA

Booster-sinhrotron appliction to nanostructures creations:

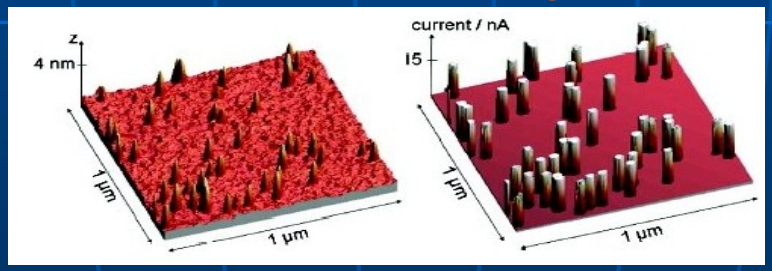


Design and parameters of booster, including wide accessible energy range, possibility of the electron cooling, allow to form dense and sharp ion beams. System of slow extraction provides slow, prolongated in time ion extraction to the target with space scanning of ions on the target surface and guaranty **high controllability** of experimental conditions.

Ion-track technologies:



Ion tracks in a polymer matrix (GSI, Darmstadt)



Production of nanowires, filters, nanotransistors, ...

Topography and current of a diamond-like carbon (DLC) film.The 50 nm thick DLC film was irradiated with 1 GeV Uranium ions.

О детекторах частиц для комплекса НИКА

Для получения информации об исследуемых физических явлениях необходимо наблюдать в событиях взаимодействия тяжёлых ядер:

-***флуктуации «от события-к-событию»*** *в характеристиках рождения адронов в том числе* ***короткоживущих адронных резонансов;***

-***HBT корреляции π, K, p, Λ –частиц ,*** *несущие информацию о пространственно-временном размере системы (изменения вблизи точки деконфаймента -эффект "наимягчайшей точки");*

-***рождение (мультистранных) гиперонов,*** *выход и спектры - пробники состояния ядерной материи;*

-***пробники «проникновения» -*** *модифицированные* ***ди-лептонные пары*** *от векторных мезонов и коррелированные* ***γγ-пары*** *(восстановление киральной симметрии, σ-мезон).*

Многоцелевой детектор МПД должен обеспечить:

- *восстановление траекторий заряженных частиц, измерение их импульсов в событиях с высокой множественностью (TPC, вершинный стриповый и/или падовый детекторы в магнитном поле спектрометрического магнита);*
- *идентификацию заряженных частиц по ионизационным потерям (dE/dx в TPC) и по времени пролета (время-пролетный детектор) с достаточным разрешением;*
- *идентификацию и измерение энергии электронов и гамма-квантов с высоким разрешением (электромагнитный калориметр);*
- *идентификацию мюонов (мюонный детектор).*

Детектор для спиновой физики должен обеспечить:

- *восстановление траекторий заряженных частиц, измерение их импульсов;*
- *идентификацию заряженных частиц с достаточным разрешением;*
- *поляриметрию пучков на всех этапах и возможность изменения направления спина.*