

95 лет

Александру Михайловичу

Балдину



О развитии идей А.М.Балдина

А.И.Малахов

Доклад на семинаре ЛФВЭ, посвященном 95-летию
академка А.М.Балдина

1968-1997 – директор ЛВЭ

1997-2001 – научный руководитель ЛВЭ

- Синхрофазотрон:

- повышена интенсивность протонов
- ускорены ядра вплоть до серы
- получены пучки поляризованных дейтронов

- Создан нуклотрон.

- Разработан подход исследования релятивистских ядерных взаимодействий в пространстве 4-х мерных скоростей

Немного истории коллайдера

Исх. И.И. Мещеряков

Для изучения и составления

Ядерный коллайдер для исследований по релятивистской ядерной физике

(Предложение по развитию ускорительного комплекса
Лаборатории высоких энергий Объединенного института
ядерных исследований)

Предложение подготовлено Малаховым А.И., Шелаевым И.А., Ладыгиным В.П. 22.X.01

Введение

В настоящее время в ЛВЭ ОИЯИ действуют два ускорителя: созданный в 1957 г. синхрофазотрон и современный ускоритель релятивистских ядер нуклотрон. Синхрофазотрон используется последнее время исключительно для ускорения поляризованных дейтронов. После получения на нуклотроне поляризованных дейтронов достаточной интенсивности (конец 2002-2003 гг.) необходимость в эксплуатации синхрофазотрона отпадет. К тому же, синхрофазотрон давно исчерпал свой ресурс и без реконструкции его дальнейшая эксплуатация практически не возможна.

Настало время решить вопрос о дальнейшей судьбе синхрофазотрона. Возникло крайне интересное предложение провести его реконструкцию, превратив его в экономичный ускоритель с сильной фокусировкой за счет добавления соответствующих стальных вставок между полюсами дипольных магнитов.

Одновременно анализ состояния исследований в области релятивистской ядерной физики и спиновой физики показал, что область энергий от 4,5 АГэВ до 10 АГэВ в системе центра масс сталкивающихся объектов крайне интересна и необходима для детального понимания явления конфайнмента, природы спина и цвета.

Эту область энергий можно перекрыть путем создания системы встречных пучков нуклотрона с энергией до 6,0 АГэВ и реконструированного синхрофазотрона с энергией до 4,5 АГэВ. Максимальная энергия встречных пучков, таким образом, составит $6,0 \text{ АГэВ} + 4,5 \text{ АГэВ} = 10,5 \text{ АГэВ}$.

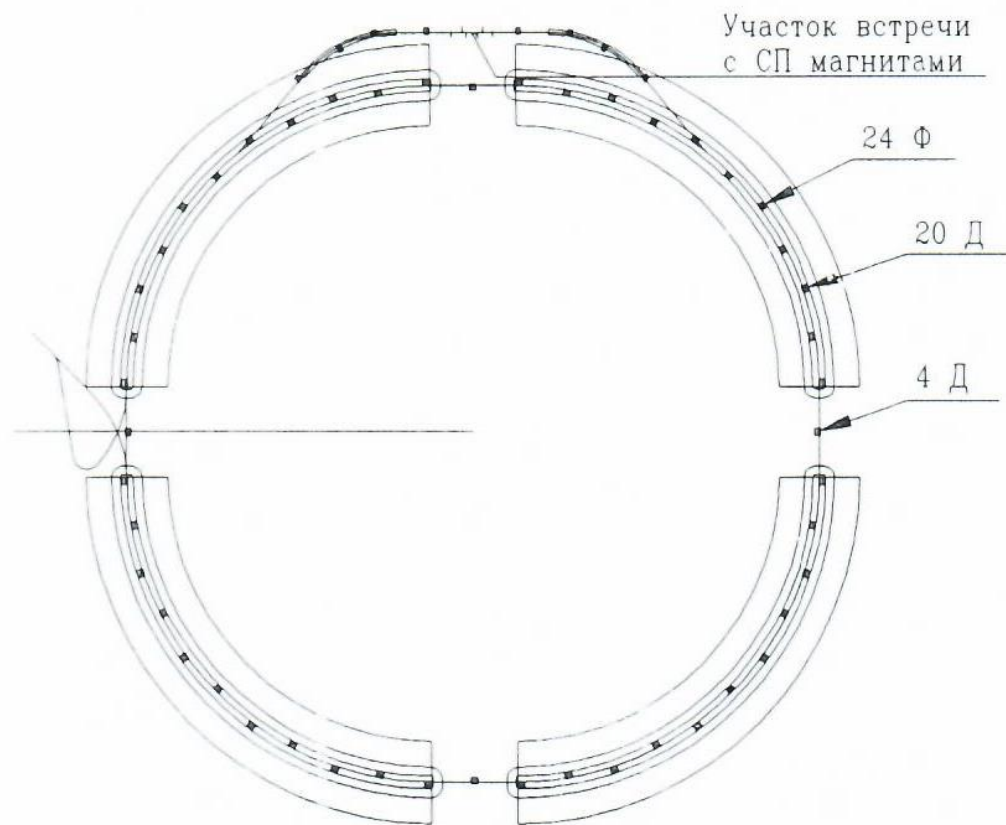
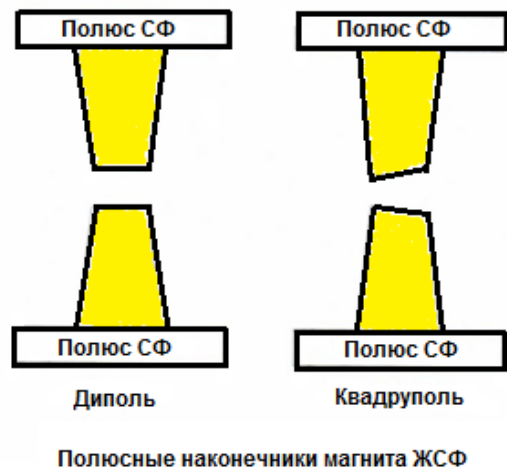


Рис. 5: Магнитная структура коллайдера-ЖСФ

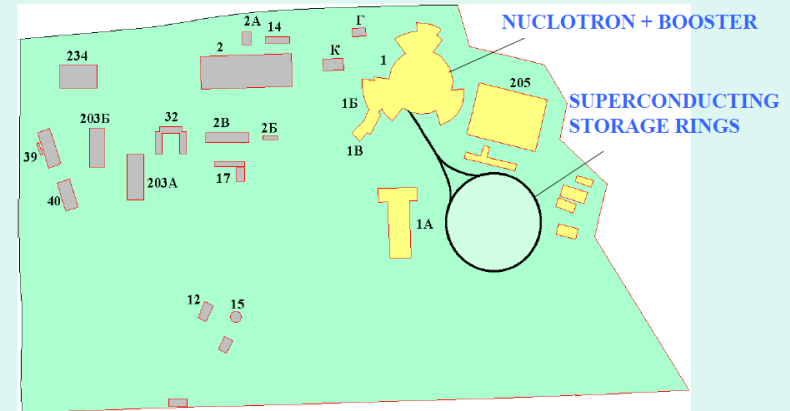
Draft of the Programme of the Veksler and Baldin Laboratory of High Energies for Next 7 Years

A.I. Malakhov

Report at the 92nd Session of the JINR Scientific Council

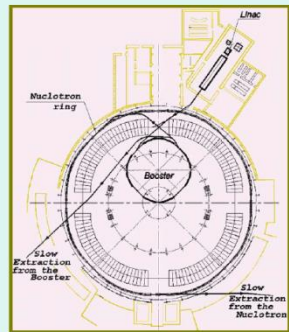
6 June 2002

Collider 6 + 6 A·GeV



Booster

DEVELOPMENT OF THE LHE ACCELERATOR FACILITY

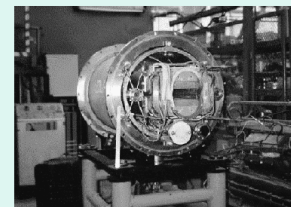


MAIN PARAMETERS

	NUCLOTRON	BOOSTER
Peak energy, GeV/u	6	0.25
Repetition rate, Hz	0.5-1	1(3)
Magnetic field, T	2	1.2
Aperture, v x h, cm ²	5.5 x 11.0	10 x 16
Circumference, m	251.5	83.8
Operating temp., K	4.5	4.5/80
Stored energy, MJ	2.35	0.5
Cold mass, t	80	2.5/20
Number of dipoles	96	32
Number of quadr.	64	24

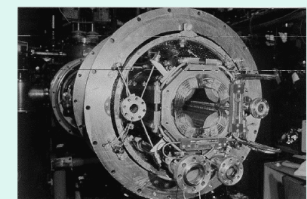
Superconductive beam lines

Now: 8 – 13 MW → Superconductive ~280 kW
Nuclotron type magnets



Banding magnets

Aperture 120x80mm
Yoke Length 1400mm
Maximal induction 2,0 T
Current 200A



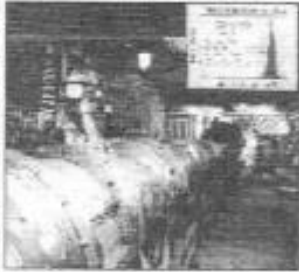
Quadrupole magnets

Aperture 150 mm
Yoke Length 1000 mm
Maximal gradient 30 T/m
Current 200A

На уровне кварков и глюонов...

**А. И. МАЛАХОВ, директор
Лаборатории высоких энергий**

1. Основные направления развития ЛВЭ на ближайшие три года сформулированы в решениях 90-й сессии Ученого совета ОИЯИ (7–8 июня 2001 года): «Ученый совет рекомендует дирекции ЛВЭ сконцентрировать ресурсы на решении первоочередных задач по развитию ускорительно-го комплекса ЛВЭ, скорейшему завершению перехода всех физических экспериментов с синхрофазотрона на нуклотрон, включая эксперименты с поляризованными частицами».



В этом направлении в лаборатории уже много сделано. Длительный сеанс работы нуклотрона (более месяца) в ноябре-декабре показал реальность выполнения поставленной задачи. Были получены качественные пучки ускоренных протонов, дейтронов, ядер бора, углерода и магния. Существенно повышена интенсивность выведенных из нуклотрона пучков. Выполнено большое число физических и биологических экспериментов и работ прикладного характера. В сеансе принимали участие физики как из стран участниц ОИЯИ, так и из Австралии, Германии, Италии и Египта.

Значительное место в программе ЛВЭ также будут занимать совместные работы, проводимые на самых современных ускорителях в мире в других научных центрах.

2. В ЛВЭ обсуждается программа долгосрочного развития ОИЯИ. Выдвинуто предложение по созданию ядерного коллайдера (ускорителя со встречными ядерными пучками) на базе нуклотрона на энергию $5 + 5$ ГэВ на нуклон, которое находится в состоянии проработки. Предполагается, что коллайдер будет обладать также встречными поляризованными пучками. Реализация этого предложения позволила бы значительно продвинуться в изучении строения ядерной материи на уровне мельчайших кирпичиков мироздания – кварков и глюонов, а также глубже понять природу спина – одного из важнейших понятий физики частиц и атомного ядра.

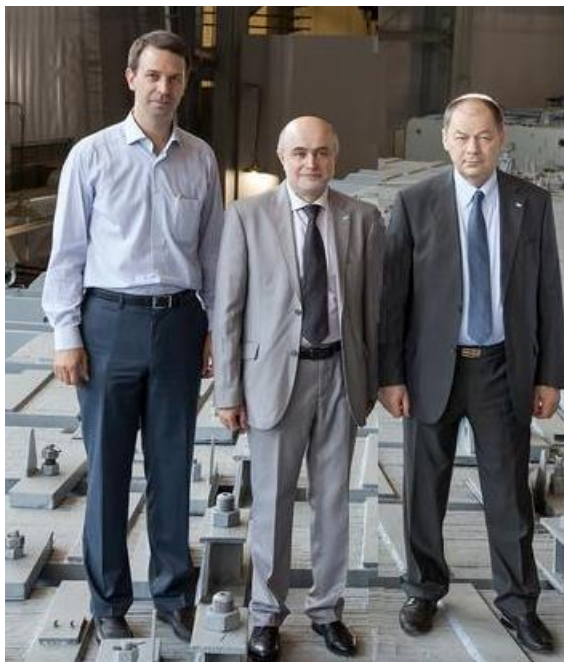
<http://jinrmag.jinr.ru/win/2002/2/pl-lve2.htm>

2. В ЛВЭ обсуждается программа долгосрочного развития ОИЯИ. Выдвинуто предложение по созданию ядерного коллайдера (ускорителя со встречными ядерными пучками) на базе нуклотрона на энергию $5 + 5$ ГэВ на нуклон, которое находится в состоянии проработки. Предполагается, что коллайдер будет обладать также встречными поляризованными пучками. Реализация этого предложения позволила бы значительно продвинуться в изучении строения ядерной материи на уровне мельчайших кирпичиков мироздания – кварков и глюонов, а также глубже понять природу спина – одного из важнейших понятий физики частиц и атомного ядра.



Одно из первых заседаний оргкомитета проекта ускорительного комплекса NICA.

Слева-направо: В.А.Никитин, В.М.Головатюк, А.Д.Коваленко, А.Н.Сисакян, А.С.Сорин, С.В.Афанасьев, А.И.Малахов, В.Д.Кекелидзе.



Развитие подхода А.М.Балдина
исследования релятивистских ядерных
взаимодействий в пространстве 4-х
мерных скоростей

$$\mathbf{I+II} \rightarrow \mathbf{1+2+3+...}$$

$$b_{ik} = - (u_i - u_k)^2$$

$$u_i = p_i/m_i$$

$$u_k = p_k/m_k$$

$$i, k = \mathbf{I, II, 1, 2, 3, ...}$$

$$b_{ik} \sim 10^{-2}$$

Классическая ядерная физика

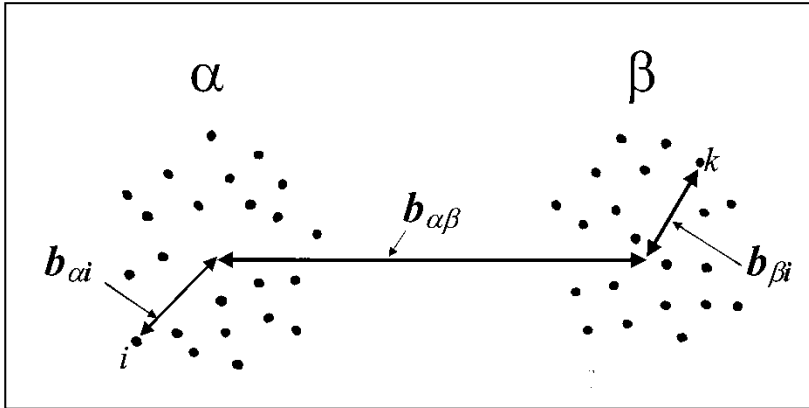
$$0.1 \leq b_{ik} < 1$$

Переходная область

$$b_{ik} \gg 1$$

Ядра следует рассматривать как
кварк-глюонные системы

Принцип ослабления корреляций



$$\alpha = I, \quad \beta = II$$

$$I + II \rightarrow I + \dots$$

$$d^2 \sigma / db_{II1} dx_1 \rightarrow F_I \cdot F_{II}(b_{II1}, N_1),$$

$$W \rightarrow W_\alpha \cdot W_\beta$$

$$b_{\alpha\beta} \rightarrow \infty$$

$$b_{II1} = (u_{II} - u_1)^2$$

N_1 – кумулятивное число

Чтобы изучать F_{II} , не обязательно ускорять ядра!

Инвариантное определение адронных струй

$b_{ik} \ll 1$ - адрон,

$b_{ik} \sim 1$ – адронная струя

Ось струи (единичный четырехвектор):

$$V = \Sigma(u_i / \sqrt{(\Sigma u_i)^2})$$

$$V_0^2 - \vec{V}^2 = 1.$$

Суммирование производится по всем частицам, принадлежащим группе (кластеру).

Возможно определить квадрат четырехскорости относительно оси струи:

$$b_k = - (V - u_k)^2.$$

**Н.Н.Боголюбов дал высокую оценку
подходу А.М.Балдина исследования
релятивистских ядерных
взаимодействий в пространстве
четырехмерных скоростей**



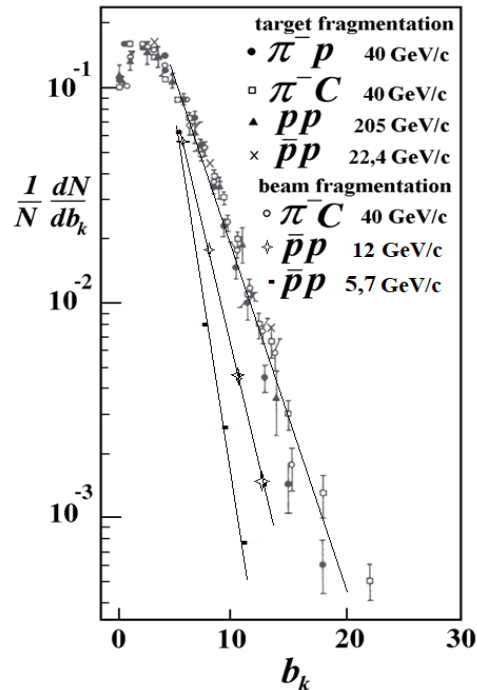
Боголюбов2.mp4

Боголюбов Н.Н.: Четырехмерная скорость – самое главное! И формулируется совершенно новым неожиданным образом описание реакций в области скоростей и это дало возможность подбратся к новому изучению струй, оказалось , что струи совершенно иначе построены и иначе интерпретируются. Это мне кажется чрезвычайно важный результат среди многих результатов, полученных Александром Михайловичем. Мне кажется можно его поздравить с замечательным результатом.

Балдин А.М.: спасибо Николай Николаевич большое.

Аплодисменты.

A.M.Baldin et al. Four-dimensional jets as universal characteristics of multiple particle production. JINR Rapid Comm. N o.16-86, p.24-32.



При $E_{\text{лаб}} > 22,4$ ГэВ (или $\sqrt{s} \approx 7$ ГэВ – энергия NICA).

- все экспериментальные точки лежат на одной прямой!

Универсальность свойств четырехмерных адронных струй указывает на то, что **адронизация кварковых систем определяется динамикой взаимодействия цветного заряда с КХД вакуумом.**

В работе А.А. Балдина был введен параметр подобия, являющегося минимумом величины:

$$\Pi = \min[1/2 \sqrt{(u_I N_I + u_{II} N_{II})^2}]$$

Краткие сообщения ОИЯИ №4[78]-96

JINR Rapid Communications No.4[78]-96

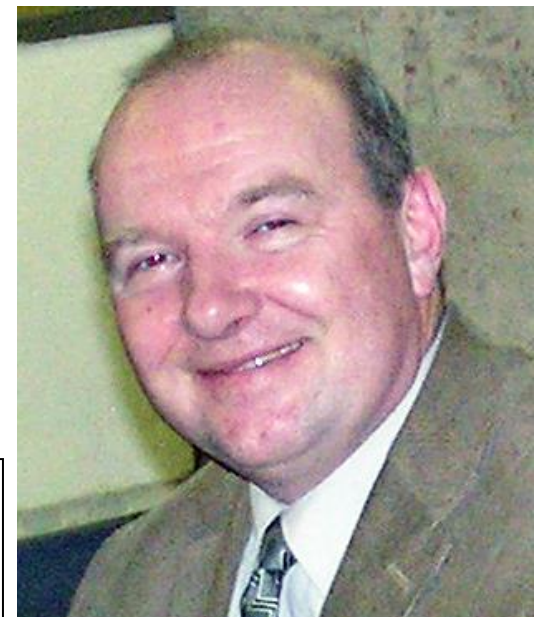
УДК 539.12...1

ANTIMATTER PRODUCTION IN RELATIVISTIC NUCLEAR COLLISIONS

A.A. Baldin

The universal approach to the description of subthreshold, cumulative and twice-cumulative processes based on the self-similarity hypothesis is presented and applied to various reactions. Large experimental material including mesons, antiprotons, and antinuclei production in nucleus-nucleus and proton-nucleus interactions is analysed.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.



А.А.Балдин

В этой работе инвариантные сечения рождения различного типа инклюзивных частиц во взаимодействиях ядер с атомными номерами A_I и A_{II} , описываются универсальным образом в широкой области энергий и различных атомных номеров сталкивающихся ядер:

$$E d^3\sigma/dp^3 = C_1 A_I^{\alpha(N_I)} A_{II}^{\alpha(N_{II})} \exp(-\Pi/C_2),$$

where $\alpha(N_I) = 1/3 + N_I/3$, $\alpha(N_{II}) = 1/3 + N_{II}/3$,

$$C_1 = 1.9 \cdot 10^4 mb \text{ GeV}^{-2} c^3 st^{-1} \text{ и } C_2 = 0.125 \pm 0.002$$

$$I + II \rightarrow 1 + \dots$$

Величины N_I и N_{II} становятся измеримыми, если учесть закон сохранения 4-импульса в виде

$$(N_I m_0 u_1 + N_{II} m_0 u_{II} - m_1 u_1)^2 = (N_I m_0 + N_{II} m_0 + M)^2 ,$$

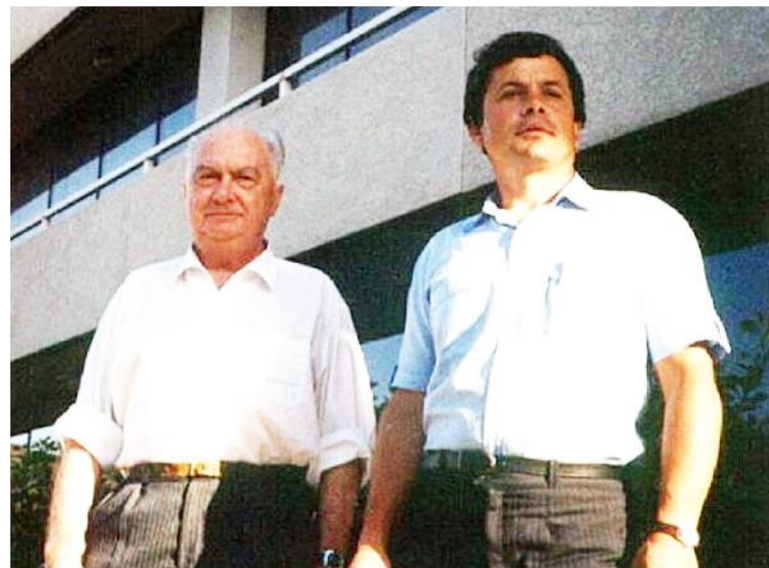
пренебрегая относительным движением всех остальных нерегистрируемых частиц.

M - масса частиц, обеспечивающих сохранение барионного числа, странности и других «внутренних» квантовых чисел.

Для антиядер, K^- -мезонов $M = m_1$, для ядерных фрагментов $M = -m_1$.

Для частиц, образующихся без сопровождающих античастиц (π -мезоны, струи и др.) $M = 0$.

В 1998 г. мы с А.М.Балдиным опубликовали работу, в которой нашли аналитическое выражение для параметра подобия Π в центральной области быстрот.



Краткие сообщения ОИЯИ № 1[87]-98

JINR Rapid Communications No.1[87]-98

УДК 539.12

**RELATIVISTIC MULTIPARTICLE PROCESSES
IN THE CENTRAL RAPIDITY REGION
AT ASYMPTOTICALLY HIGH ENERGIES**

A.M.Baldin, A.I.Malakhov

The principles of symmetry and self-similarity have been used to obtain an explicit analytical expression for inclusive cross sections of production of particles, nuclear fragments and antinuclei in relativistic nuclear collisions in the central rapidity region ($y=0$). The result is in agreement with available experimental data. It is shown that the effective number of nucleons participating in nuclear collisions decreases with increasing energy and the cross section tends to a constant value equal both for particles and for antiparticles. The analysis of the obtained results makes it possible to conclude that the hopes for obtaining dense and hot matter in heavy ultrarelativistic nuclear collisions will not be realized.

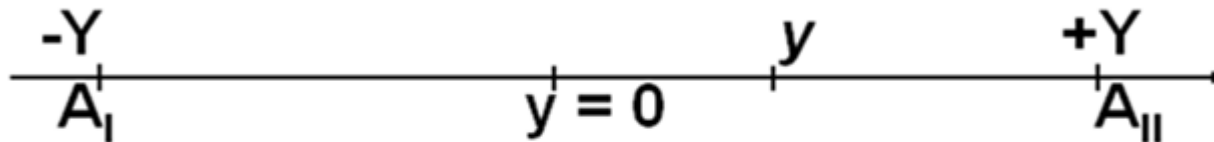
The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

**А.М.Балдин
А.И.Малахов**

$$\Pi^{\min} \Rightarrow d\Pi/dN_I = 0; d\Pi/dN_{II} = 0$$

В центральной области быстрот ($y = 0$)

$$(u_I u_{II}) = (u_I u_{III})$$



$$N_I = N_{II} = N = [1 + \sqrt{1 + (\Phi_M/\Phi^2)}]\Phi,$$

где $\Phi = (1/m_0)[m_T \text{ch} Y + M]/(2 \text{sh}^2 Y)$

$$\Phi_M = (M^2 - m_1^2)/(4m_0^2 \text{sh}^2 Y)$$

$$\Pi^{\min} = N \cdot \text{ch} Y$$



Уравнение Балдина-Малахова

$$E d^3\sigma/dp^3 = C_1 A_I^{\alpha(NI)} A_{II}^{\alpha(NII)} \exp(-\Pi/C_2)$$

$$d^2\sigma/m_T dm_T dy = 2\pi C_1 A_I^{\alpha(NI)} A_{II}^{\alpha(NII)} \exp(-\Pi/C_2)$$

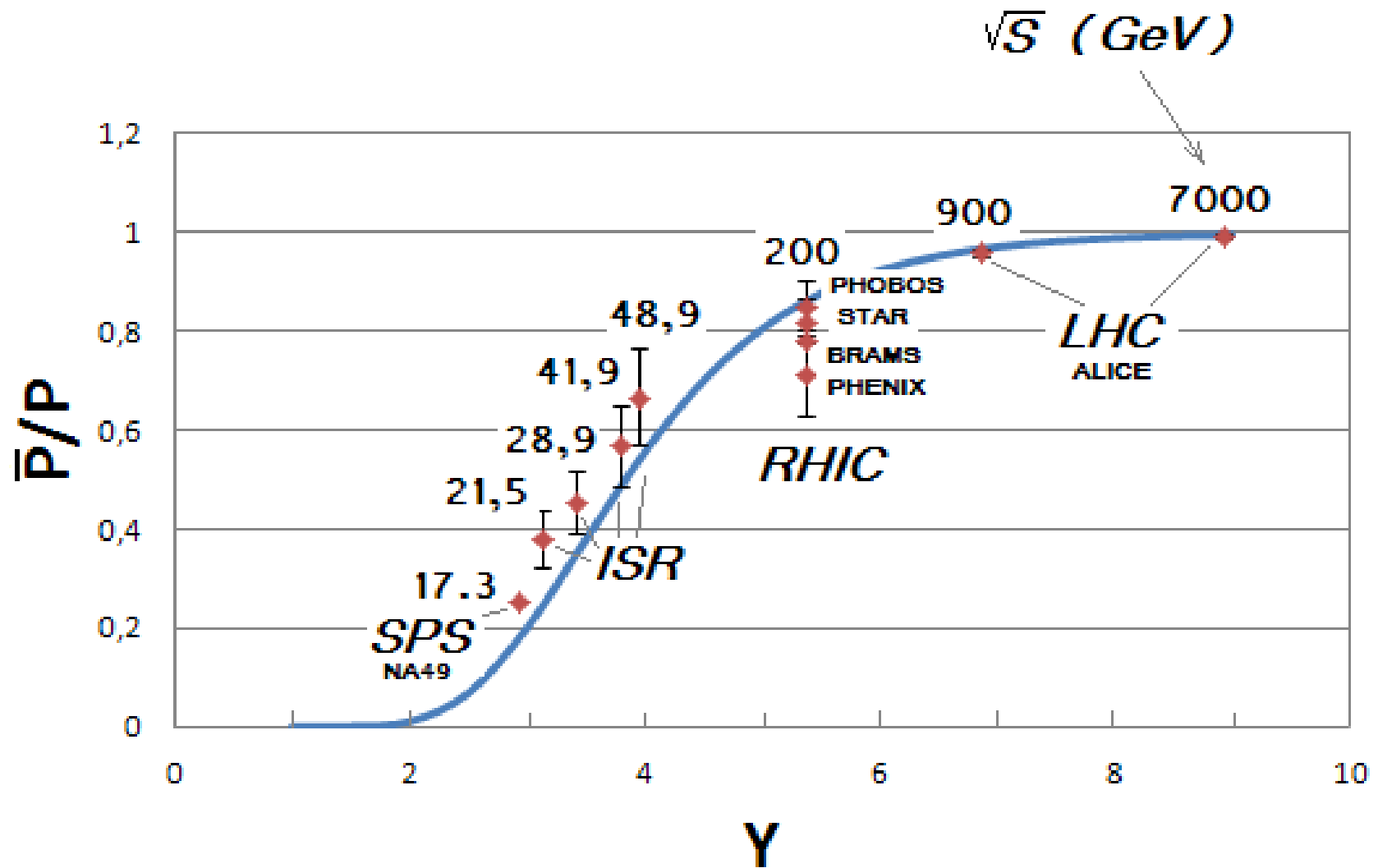
Для барионов

$$\Pi_2 = \left[\frac{m_{1T}}{m_0} \operatorname{ch} Y - \frac{m_1}{m_0} \right] \frac{\operatorname{ch} Y}{\operatorname{sh}^2 Y}$$

Для
антибарионов

$$\Pi_1 = \left[\frac{m_{1T}}{m_0} \operatorname{ch} Y + \frac{m_1}{m_0} \right] \frac{\operatorname{ch} Y}{\operatorname{sh}^2 Y}$$

$$\text{Ratio} \left(\frac{\text{антибарионы}}{\text{барионы}} \right) = \frac{\int_0^\infty C_1 \cdot A_I^{\alpha(NI)} \cdot A_{II}^{\alpha(NII)} \cdot \exp\left(-\frac{\Pi_1}{C_2}\right) dm_{1T}}{\int_0^\infty C_1 \cdot A_I^{\alpha(NI)} \cdot A_{II}^{\alpha(NII)} \cdot \exp\left(-\frac{\Pi_2}{C_2}\right) dm_{1T}} = \exp\left(-2 \frac{m_1}{m_0} \frac{\operatorname{ch} Y}{\operatorname{sh}^2 Y}\right)$$



◆ — Nuclear Physics A 859(2011) 63-72.
<http://hepdata.cedar.ac.uk/view/p7907>.

$$N = [1 + \sqrt{1 + (\Phi_M/\Phi^2)}]\Phi$$

$$\Phi = \frac{m_T \text{ch} Y + M}{2 m_0 \text{sh}^2 Y}$$

$$\Phi_M = \frac{(M^2 - m_1^2)}{(4 m_0^2 \text{sh}^2 Y)}$$

$$\Pi = N \cdot \text{ch} Y$$

Для π -мезонов $M = 0$:

$$N = [1 + \sqrt{1 + (\Phi_M/\Phi^2)}]\Phi = \left(1 + \sqrt{1 - \frac{m_1^2}{4 m_0^2 \text{sh}^2 Y} \frac{4 m_0^2 \text{sh}^4 Y}{m_T^2 \text{ch}^2 Y}}\right) \frac{m_T \text{ch} Y}{2 m_0 \text{sh}^2 Y} =$$

$$= \left(1 + \sqrt{1 - \frac{m_1^2 \text{sh}^2 Y}{m_T^2 \text{ch}^2 Y}}\right) \frac{m_T \text{ch} Y}{2 m_0 \text{sh}^2 Y} \bigg|_{p_T^2 \gg m_\pi^2} \approx \frac{m_T \text{ch} Y}{m_0 \text{sh}^2 Y} = \frac{m_T \sqrt{\frac{S}{4 m_0^2}}}{m_0 \left(\frac{S}{4 m_0^2} - 1\right)}$$

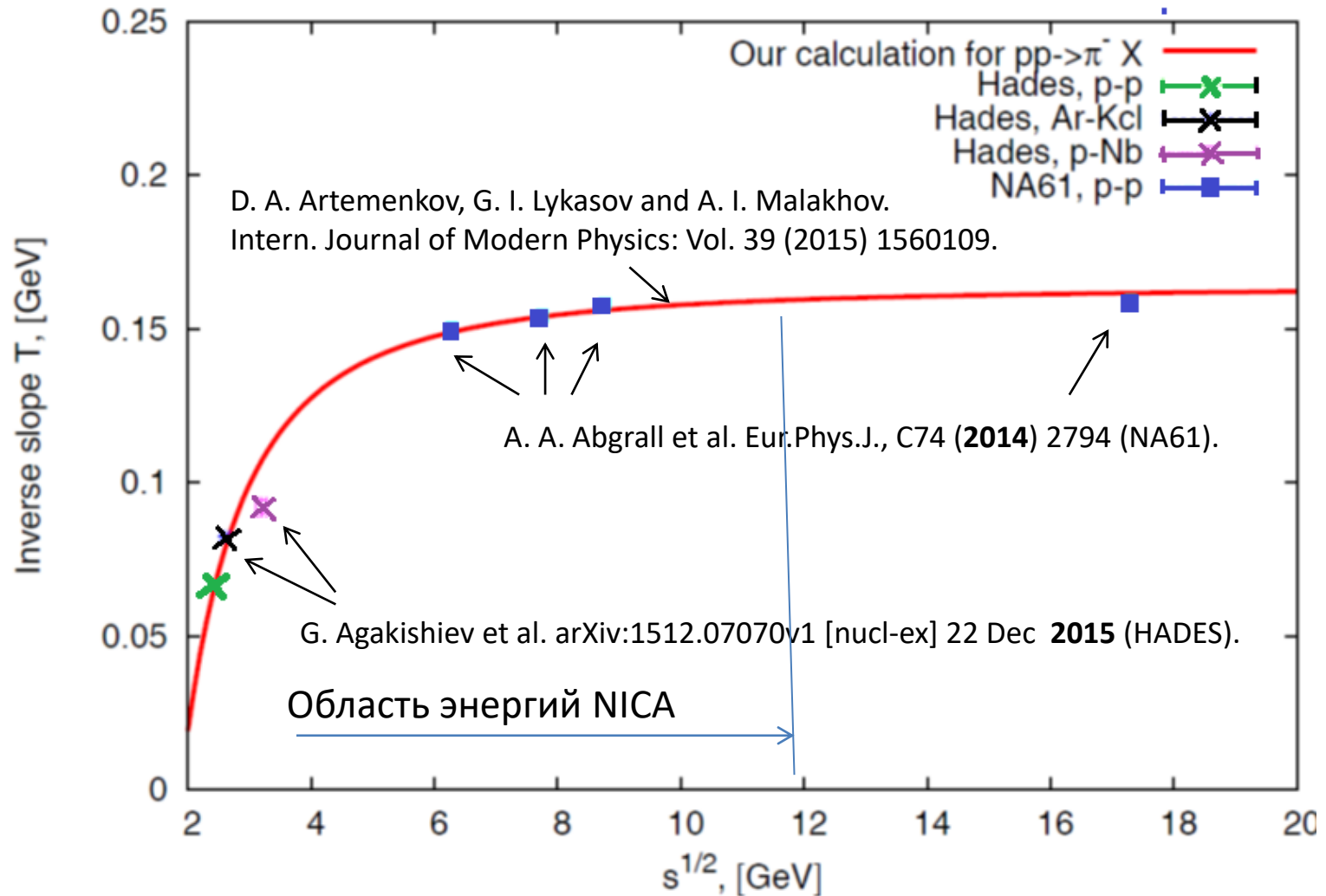
$$\text{ch}^2 Y = \frac{S}{4 m_0^2}$$

$$\Pi \approx \frac{m_T}{m_0 (1 - 4 m_0^2/S)}$$

$$E(d^3\sigma/dp^3) \sim \exp(-m_t/T), \quad T=\text{Const}$$

$$E(d^3\sigma/dp^3) \sim \exp(-\Pi/C_2) = \exp(-m_t/[C_2 m_0(1-4m_0^2/s)])$$

$$T = C_2 m_0(1-4m_0^2/s)$$



Параметр подобия можно записать с помощью переменных s и m_{1t} . При высоких энергиях $\sqrt{s} \gg 1$ ГэВ, учитывая, что $\text{ch}Y = \sqrt{s}/(2m_0)$, получим

$$\Pi = \left\{ \frac{m_{1t}}{2m_0\delta} + \frac{M}{\sqrt{s}\delta} \right\} \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{M^2 - m_1^2}{m_{1t}^2}} \delta \right\},$$

где $\delta = 1 - 4m_0^2/s$.

Это **уравнение Балдина-Малахова-Лыкасова** получено Г.Лыкасовым и А.Малаховым в работах [1, 2]:

1. Gennady Lykasov and Alexander Malakhov. Hadron production in pp and AA collisions at mid-rapidity within self-similarity approach. E Web of Conferences PJ 204, 01022 (2019).

2. G.I. Lykasov and A.I. Malakhov. Self-consistent analysis of hadron production in pp and AA collisions at mid-rapidity. Physics Eur. Phys. J. A (2018) 54: 187.

$$E(d^3\sigma/dp^3) = f[\varphi_q(y, p_t), \varphi_g(y, p_t)]$$

Г.И.Лыкасов

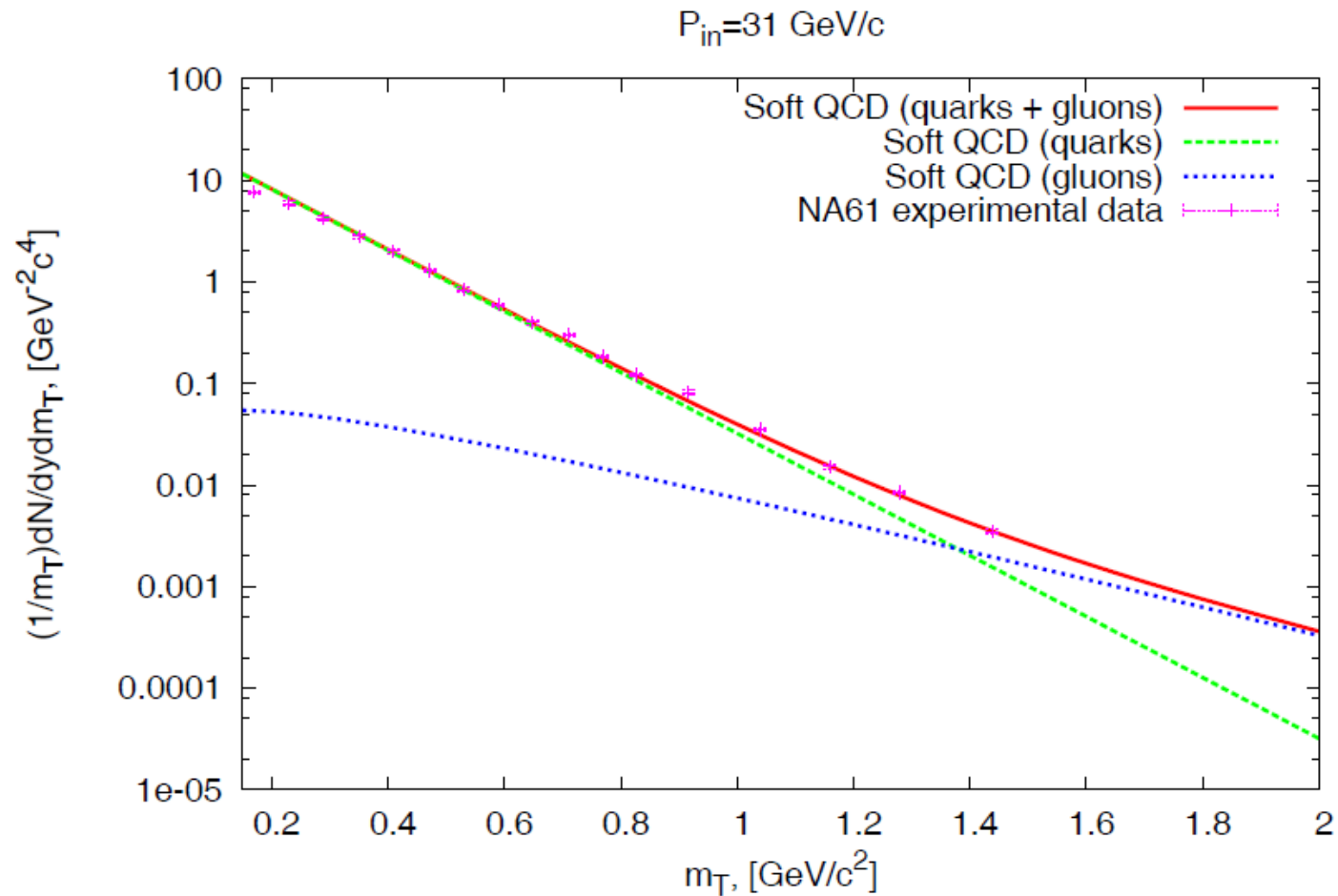
Лыкасовым Г.И. было предложено использовать в качестве функций $\varphi(y, p_t)$ функции, зависящие от параметра подобия Π :

$$\varphi = \varphi(\Pi)$$

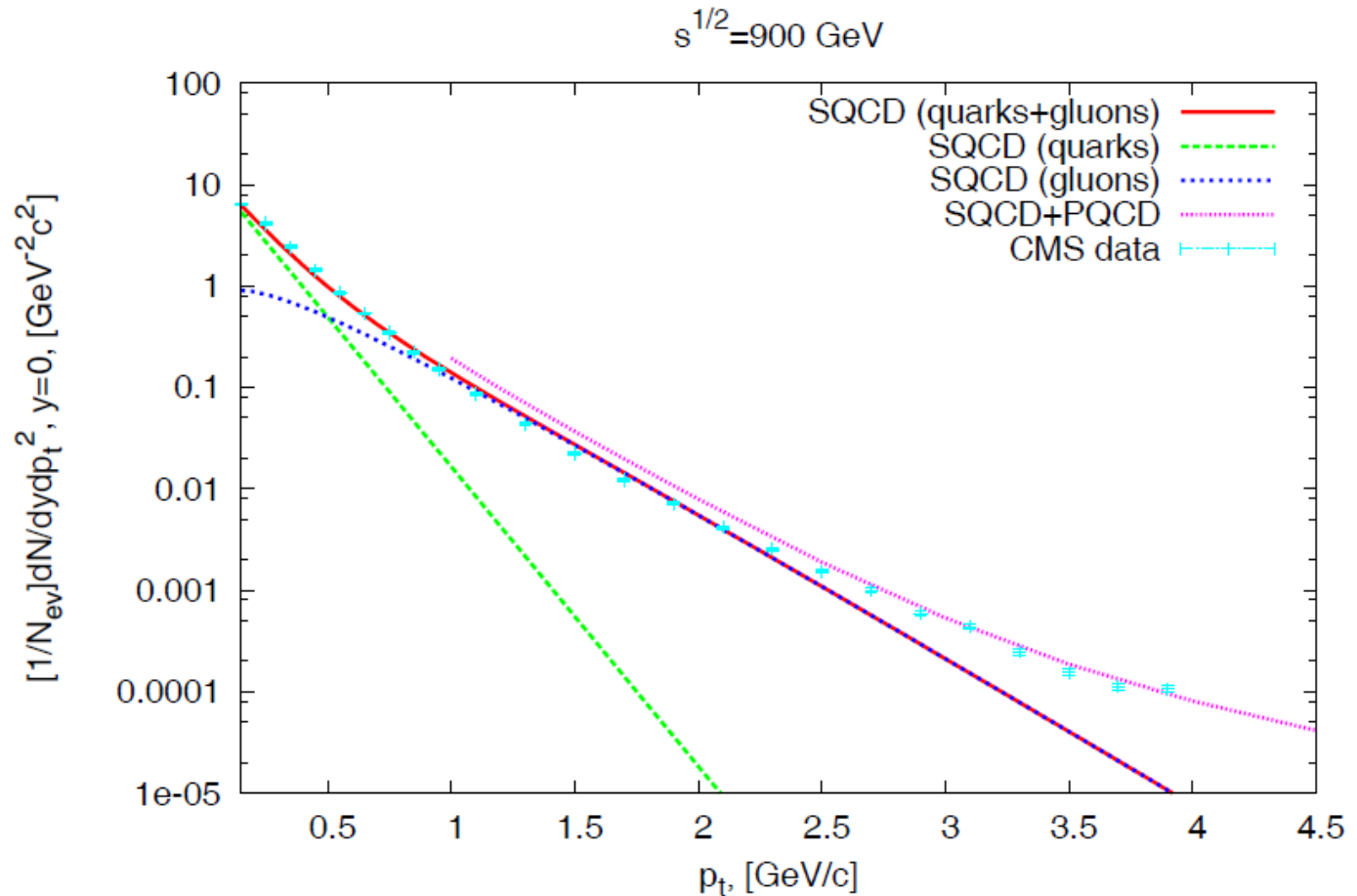


Что из этого получилось показано далее.

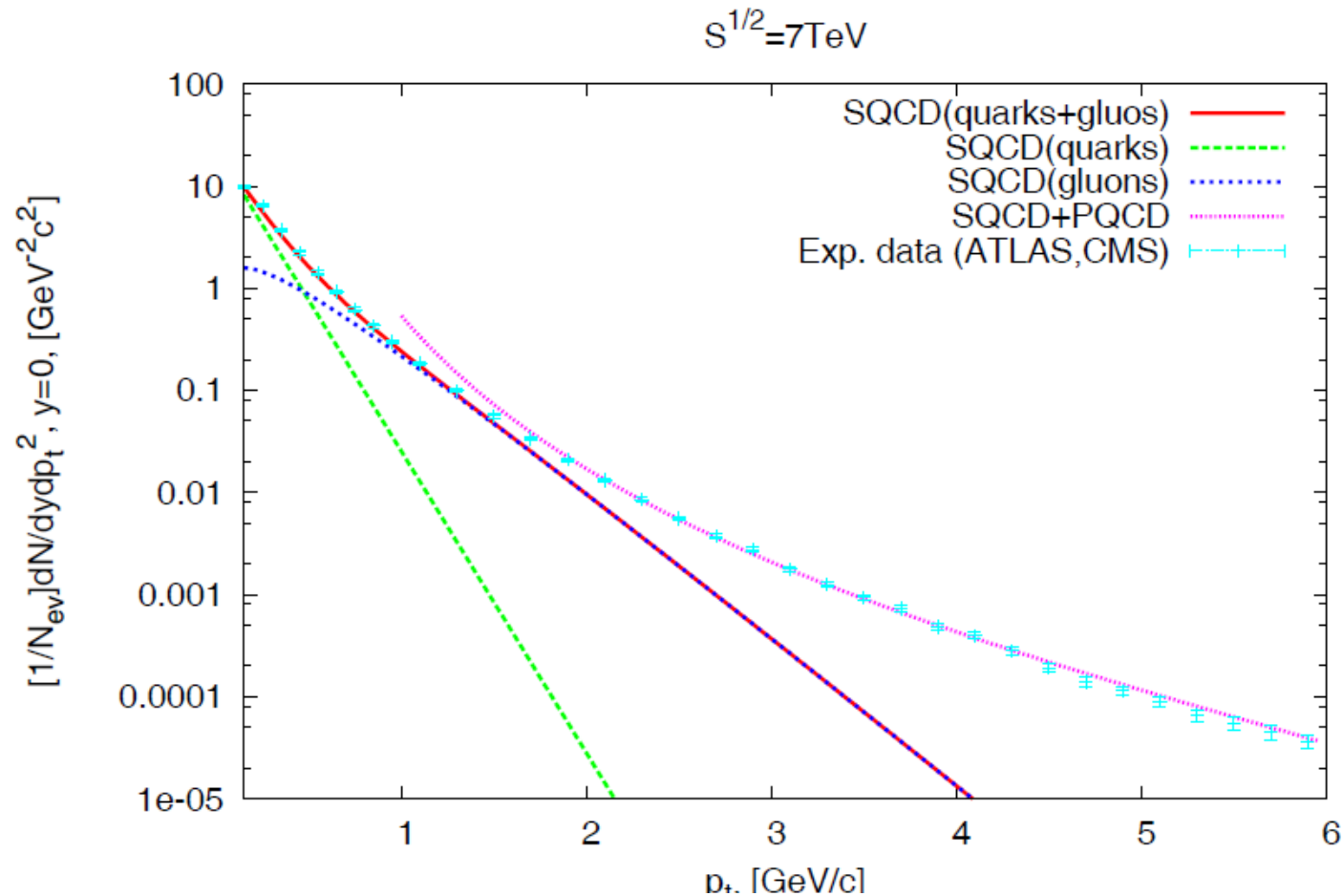
D.A. Artemenkov, G.I. Lykasov, A.I. Malakhov. Self-similarity of hadron production in pp and AA collisions at high energies. Int.J.Mod.Phys. A 30 (2015) 21, 1550127.



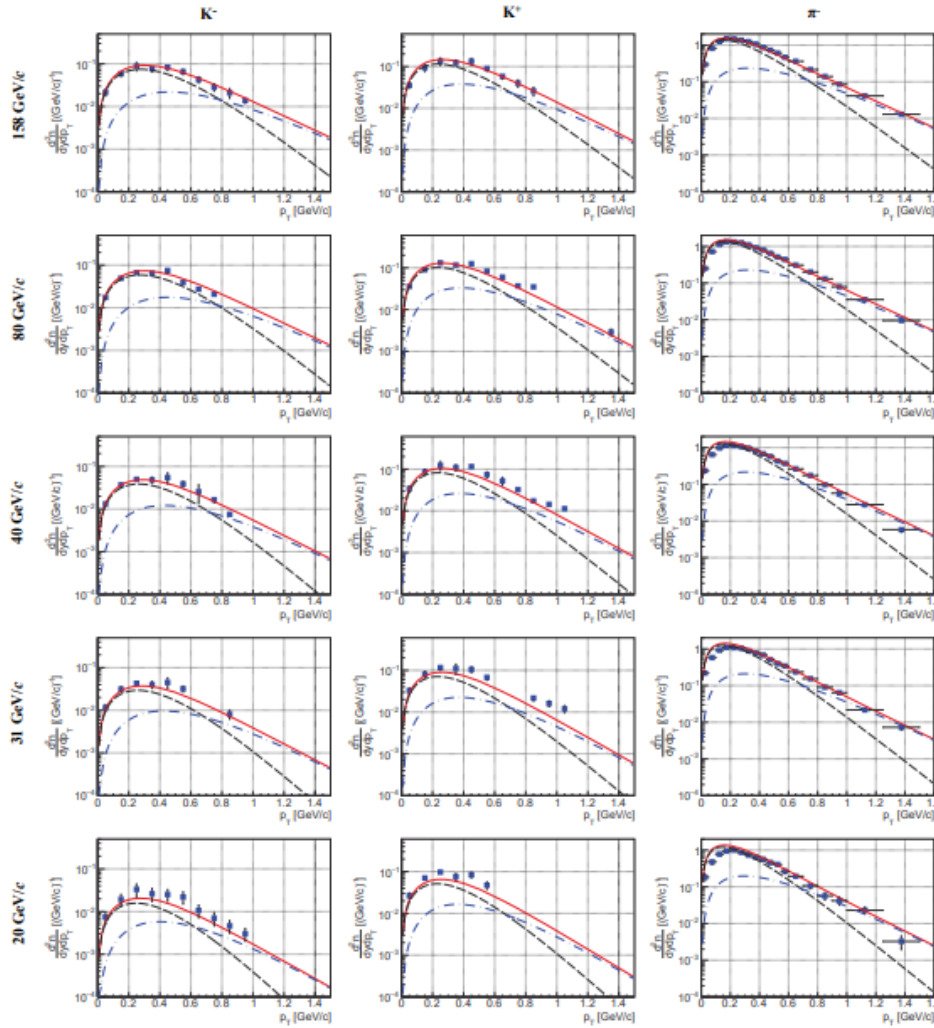
Results of the calculations of the inclusive cross section of hadron production in pp collisions as a function of the transverse mass at the initial momenta $P_{in} = 31 \text{ GeV}/c$. They are compared to the NA61 experimental data from [A. A. Abgrall et al. Eur.Phys.J., C74 \(2014\) 2794](#).



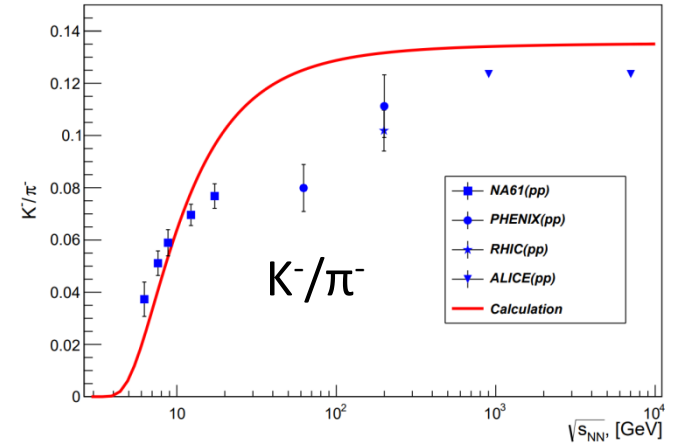
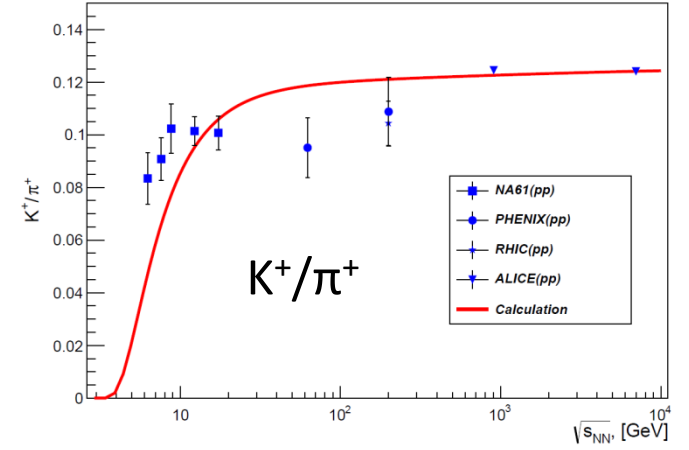
Results of the calculations of the inclusive cross section of charge hadrons produced in pp collisions at the LHC energies as a function of their transverse momentum p_t at $\sqrt{s} = 0.9 \text{ TeV}$. The points are the LHC experimental data [*V. Khachatryan, et al. (CMS Collaboration), Phys. Rev. Lett. 105, 022002 (2010)*].



Results of the calculations of the inclusive cross section of charge hadrons produced in pp collisions at the LHC energies as a function of their transverse momentum p_t at $\sqrt{s} = 7$ TeV. The points are the LHC experimental data: ***G. Aad, et al. (ATLAS Collaboration), New J. Phys. 13, 053033 (2011) and V. Khachatryan, et al. (CMS Collaboration), Phys. Rev. Lett. 105, 022002 (2010).***



The p_t spectra of π^- , K^+ and K^- mesons produced at $y \approx 0$ in inelastic pp interactions at SPS energies $\sqrt{s} = 6.3 - 17.3$ GeV or $P_{in} = 20-158$ GeV/c. Data are taken from [30].



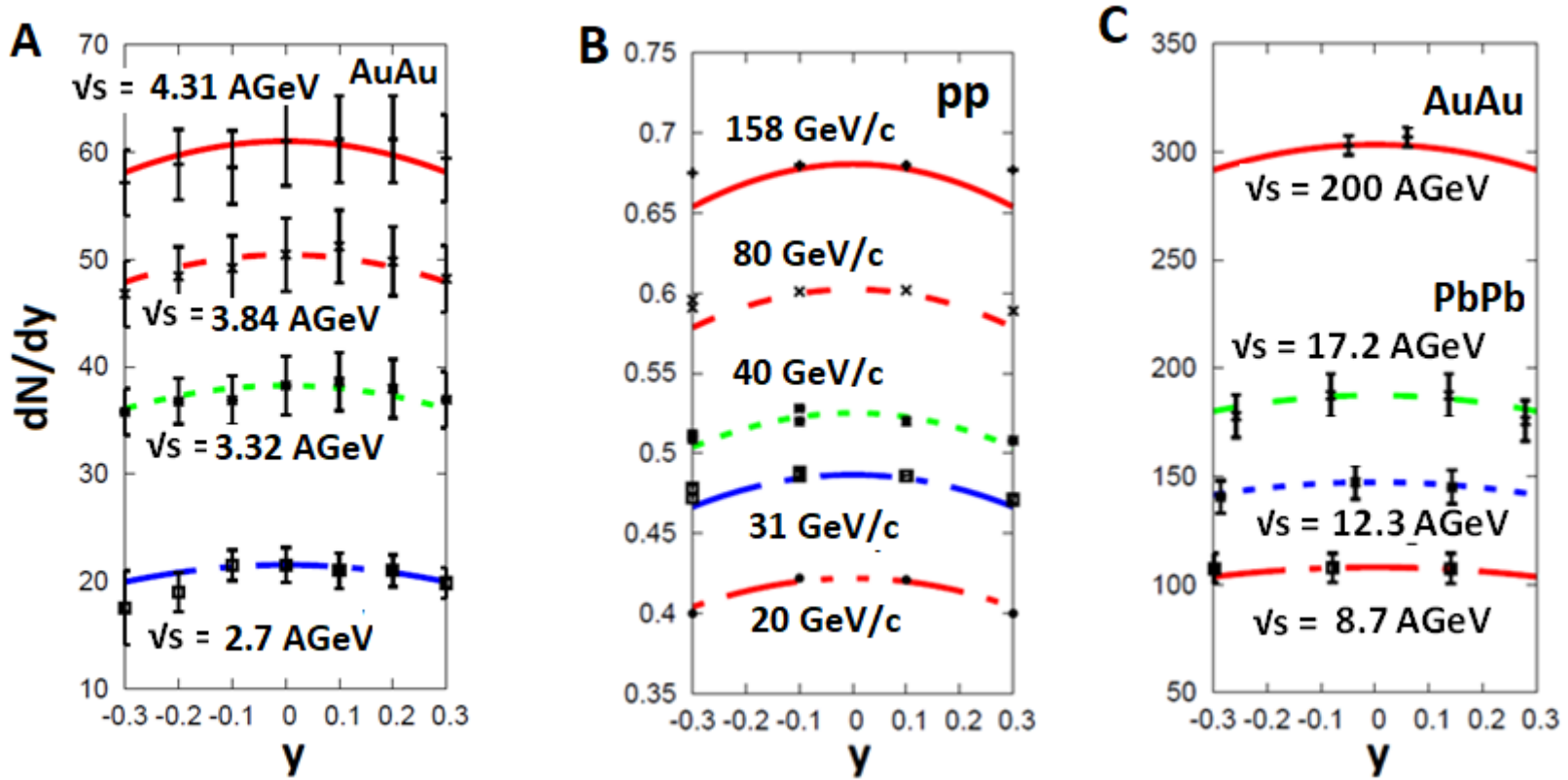
G.I. Lykasov, A.I. Malakhov, A.A. Zaitsev. Ratio of cross-sections of kaons to pions produced in pp collisions as a function of $\sqrt{s}$. arXiv:2012.02451v1 [hep-ph] 4 Dec 2020. Submitted to European Physical Journal A.

$$\Pi = N \cdot \text{ch} Y$$

$$N = \{1 + [1 + (\Phi_M / \Phi^2)]^{1/2}\} \Phi$$

$$\Phi \approx \{(1/m_0)[m_{1t} \text{chy} \cdot \text{ch} Y + M]\} \cdot [1/(2\text{sh}^2 Y)]$$

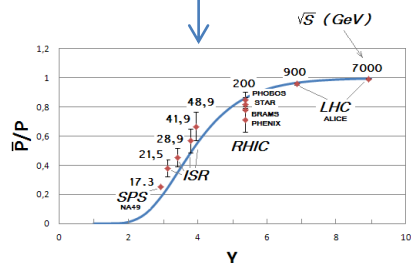
$$\Phi_M = (M^2 - m_1^2)/(4m_0^2 \text{sh}^2 Y)$$



- A) pion rapidity y -spectra in AuAu collision at $\sqrt{s} = 4.31$ GeV (solid line), 3.84 GeV (long dash line), 3.32 GeV (short dash line), 2.7 GeV (dashed-dotted line) or the initial kinetic energies per nucleon about $E_{\text{kin}} = 8, 6, 4, 2$ GeV respectively. They are compared to the AGS data [J.L. Kley, et al., E895 Collaboration, Phys.Rev. C68, 054905 (2003)].
- B) pion y -spectra in pp collisions at the initial momentum $P_{\text{in}} = 158$ GeV/c (solid line), 80 GeV/c (long dash line), 40 GeV/c (short dash line), 31 GeV/c (dashed-dotted line), 20 GeV/c (dash-double dotted line) compared to the NA61/SHINE data [N. Abgrall, et al., NA61/SHINE Collaboration, Eur. Phys. J. C74, 2794 (2014)].
- C) pion y -spectra in AuAu collision (solid line, RHIC data) at $\sqrt{s} = 200$ AGeV and PbPb collision (SPS data) at $\sqrt{s} = 17.2$ AGeV (long dash line), 12.3 AGeV (short dashed line) and 8.7 AGeV (dash-dotted line). The RHIC and SPS data were taken from J. Cleymans, et al., Phys.Rev. C78, 017901 (2008).

$$\Pi = N \cdot ChY$$

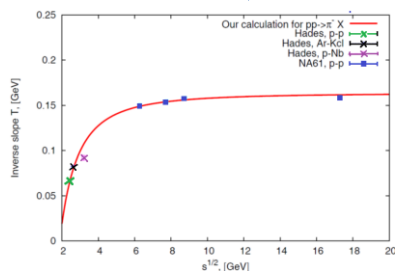
$$\text{Ratio} \left(\frac{\text{антибарионы}}{\text{барионы}} \right) = \exp \left(-2 \frac{m_1}{m_0} \frac{chY}{sh^2 Y} \right)$$



Отношение выходов
античастиц к
выходам частиц

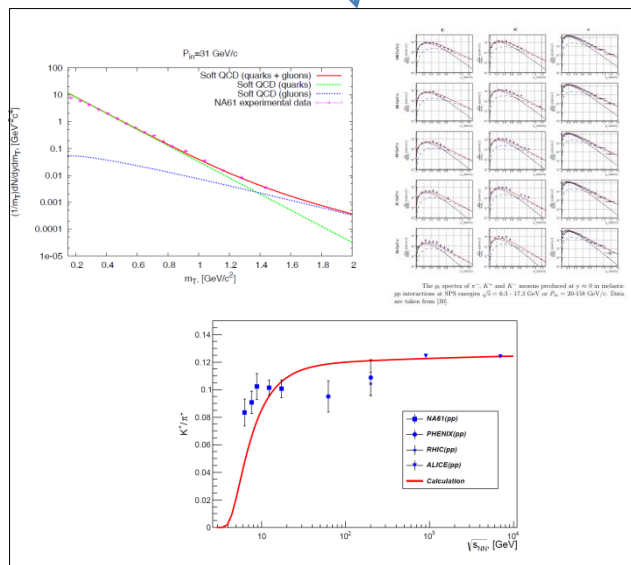
$$E(d^3\sigma/dp^3) \sim \exp(-\Pi/C_2) = \exp(-m_t/[C_2 m_0(1-4m_0^2/s)])$$

$$T = C_2 m_0(1-4m_0^2/s)$$



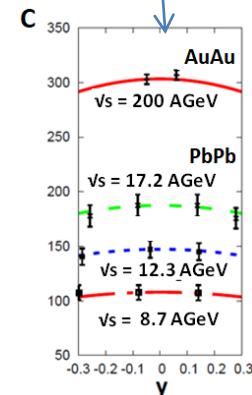
Энергетическая
зависимость
параметра наклона
от энергии

$$\Pi = \left\{ \frac{m_{1t}}{2m_0\delta} + \frac{M}{\sqrt{s}\delta} \right\} \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{M^2 - m_1^2}{m_{1t}^2}} \delta \right\},$$



Описание спектров
вторичных частиц от P_t в
широкой области энергий

$$F(y)$$



Описание
зависимости
от быстроты
рожденных
частиц при
- 0.3 < y < 0.3

1. A.I.Malakhov. *Antiparticle to Particle Ratios in Heavy Ion Interactions and Asymptotic Properties of the Nuclear Matter. Nucl.Phys.B 245 (2013) 57-60.*
2. D.A. Artemenkov, G.I. Lykasov, A.I. Malakhov. *Self-similarity of hadron production in pp and AA collisions at high energies. Int.J.Mod.Phys. A 30 (2015) 21, 1550127.*
- 3.D.A. Artemenkov, G.I. Lykasov, A.I. Malakhov. *Energy dependence of hadron yields in pp and AA collisions. Int.J.Mod.Phys. Vol.39 (2015) 1560107.*
4. Denis Artemenkov, Alexander Malakhov and Gennady Lykasov. *Development of the Baldin approach for the relativistic nuclear interactions. EPJ Web of Conferences 138 , 01031 (2017).*
5. G.I. Lykasov and A.I. Malakhov. *Self-consistent analysis of hadron production in pp and AA collisions at mid-rapidity. Physics Eur. Phys. J. A (2018) 54: 187.*
6. Gennady Lykasov and Alexander Malakhov. *Hadron production in pp and AA collisions at mid-rapidity within self-similarity approach. E Web of Conferences PJ 204, 01022 (2019).*
7. A.I.Malakhov, G.I.Lykasov. *Mid-rapidity dependence of pion production in p-p and A-A collisios. Eur. Phys. J. A (2020) 56: 114.*
8. G.I. Lykasov, A.I. Malakhov, A.A. Zaitsev. *Ratio of cross-sections of kaons to pions produced in pp collisions as a function of $\sqrt{s}$. arXiv:2012.02451v1 [hep-ph] 4 Dec 2020. Submitted to European Physical Journal A.*



ф. ТГ-10

ПРЕЗИДЕНТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТЕЛЕГРАММА

МОСКВА 73/23010 101 26/02 1027=

ПРЕЗИДЕНТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ УВЕДОМЛЕНИЕ ТЕЛЕГРАФОМ

ДУБНА МОСКОВСКОЙ УЛ ЛЕСНАЯ Д 3 КВ 1 АКАДЕМИКУ А. М. БАЛДИНУ=

УВАЖАЕМЫЙ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ ВСКЛ

ПОЗДРАВЛЯЮ ВАС С ЮБИЛЕЕМ – 75-ЛЕТИЕМ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ.

КРУПНЫЙ РОССИЙСКИЙ УЧЕНЫЙ, ВЫ ВНЕСЛИ ЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ ВКЛАД В РАЗВИТИЕ
ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ И АТОМНОГО ЯДРА.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ВЫПОЛНЕННЫЕ ВАМИ И ПОД ВАШИМ
РУКОВОДСТВОМ, ПРЕДСТАВЛЯЮТ БОЛЬШОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРИКЛАДНОЕ
ЗНАЧЕНИЕ. СПОСОБСТВУЮТ ИЗУЧЕНИЮ ОДНОГО ИЗ СЛОЖНЕЙШИХ И ПРИОРИТЕТНЫХ
НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ. РЕЗУЛЬТАТЫ ВАШИХ РАБОТ НАХОДЯТСЯ НА ПЕРЕДНЕМ
КРАЮ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ, ПРИЗНАНЫ ВО ВСЕМ МИРЕ.

ОТ ВСЕЙ ДУШИ ЖЕЛАЮ ВАМ, УВАЖАЕМЫЙ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ, ДОБРОГО
ЗДОРОВЬЯ, ДОЛГОЛЕТИЯ И ВСЕГО САМОГО ЛУЧШЕГО=В. ПУТИН НР-ПР-400-

НННН 1029

013



Спасибо за внимание!