

# «Флуктоны — новые исследования»

С. Шиманский (ЛФВЭ)

2005



2019





70



2019

“От «флуктонов» до  
«холодной сверхплотной  
барионной компоненты»  
ядерной материи”

*Шиманский С.С.(ЛФВЭ, ОИЯИ)*

**В работе первого директора ОИЯИ в 1957 высказывалась идея, что в ядре могут существовать ядра меньшей массы в сжатой конфигурации.**

*Т. 33. Журнал экспериментальной и теоретической физики. Вып. 5 (11)*

*1957*

## **О ФЛУКТУАЦИЯХ ЯДЕРНОГО ВЕЩЕСТВА**

*Д. И. Блохинцев*

Показано, что возникновение энергичных осколков при столкновении быстрых нуклонов с ядрами может рассматриваться как результат столкновения нуклона с флуктуацией ядерного вещества.

### **1. Введение**

В процессе движения нуклонов в ядре могут возникать кратковременные тесные скопления нуклонов, иными словами флуктуации плотности ядерного вещества. Такие скопления, будучи относительно удалены от других нуклонов ядра, являются атомными ядрами меньшей массы, находящимися в состоянии флуктуационного сжатия.

В недавнее время Мещеряковым и его сотрудниками [1,2] при изучении рассеяния протонов с энергией в 675 MeV на легких ядрах, были обнаружены явления, которые подтверждают существование таких флуктуаций, по крайней мере для простейших парных флуктуаций, приводящих к образованию сжатого дейтона.

- [1] Л. С. Ажгирей, И. К. Взоров, В. П. Зрелов, М. Г. Мещеряков, Б. С. Неганов, А. Ф. Шабудин. ЖЭТФ, этот выпуск, стр. 1185.  
[2] Г. А. Лексин. ЖЭТФ, 32, 445, 1957.

## О ФЛУКТУАЦИЯХ ЯДЕРНОГО ВЕЩЕСТВА

*Д. И. Блохинцев*

Показано, что возникновение энергичных осколков при столкновении быстрых нуклонов с ядрами может рассматриваться как результат столкновения нуклона с флуктуацией ядерного вещества.

### 1. Введение

В процессе движения нуклонов в ядре могут возникать кратковременные тесные скопления нуклонов, иными словами флуктуации плотности ядерного вещества. Такие скопления, будучи относительно удалены от других нуклонов ядра, являются атомными ядрами меньшей массы, находящимися в состоянии флуктуационного сжатия.

В недавнее время Мещеряковым и его сотрудниками [<sup>1,2</sup>] при изучении рассеяния протонов с энергией в 675 MeV на легких ядрах, были обнаружены явления, которые подтверждают существование таких флуктуаций, по крайней мере для простейших парных флуктуаций, приводящих к образованию сжатого дейтона.

## КВАРК-ПАРТОННАЯ КАРТИНА КУМУЛЯТИВНОГО РОЖДЕНИЯ

*А. В. Ефремов*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Дается качественное сопоставление различных моделей кумулятивного рождения мезонов с экспериментальными данными.

вопросы. Мы в основном ограничились кумулятивным рождением мезонов, где ситуация, на наш взгляд, кажется несколько более простой и определенной, чем в рождении тяжелых частиц. В результате мы приходим к заключению, что флуктон является неким квазирезонансным образованием, существующим в ядре вне всякой связи с налетающей частицей, а кумулятивный мезон в исследованной сейчас области рождается в основном в результате диссоциации флуктона.

особенно в области малых  $p_T$ . Богатый материал для понимания механизма кумулятивного рождения могли бы дать поляризационные измерения и особенно рождение мезонов на поляризованных мишенях. Например, в картине жесткого рассеяния можно ожидать наличия сильной асимметрии [33], наподобие того, как это наблюдается в процессах с большими  $p_T$  [35].

Новый этап в изучении флуктонов начался с предсказания А. М. Балдиным [4] и экспериментального обнаружения группой В. С. Ставинского [5] так называемого кумулятивного эффекта \*, т. е. рождения на ядре вторичных частиц далеко за пределами кинематической области, допустимой при соударении с одним покоящимся нуклоном ядра.

\* О том, сколь необычно это явление, свидетельствует такая аналогия. Представьте, что мотоциклист, движущийся со скоростью 60 км/ч, налетает на столб и остается цел и невредим, но зато шлем, слетевший с его головы, продолжает движение со скоростью 600 км/ч. Невозможно? Законам механики это не противоречит, но такое явление невероятно для электромагнитных сил, лежащих в основе молекулярных связей. Для ядерных же сил оно наблюдалось экспериментально, когда ядра дейтерия с энергией 5 ГэВ/нуклон, сталкиваясь с водородом, рождали мезоны с энергией 8 ГэВ.

УДК 539.12.172

## МНОГОКВАРКОВЫЕ СИСТЕМЫ В ЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССАХ

В. В. Буров, В. К. Лукьянов, А. И. Титов

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Обсуждаются экспериментальные указания существования многокварковых систем (МКС) в ядрах. Сформулирована теория связи адронного и кваркового каналов в ядрах, и на ее основе рассчитаны амплитуды шестикварковых состояний в дейтроне и их ширины. Проведен анализ влияния МКС на формфакторы дейтрона и  $^3\text{He}$ , на поляризацию дейтрона. Исследована роль МКС в процессах глубоконеупругого рассеяния лептонов, в частности,  $A$ -зависимость структурной функции и ее поведение при больших значениях масштабной переменной  $x$ . Даны сравнения с соответствующими экспериментальными данными.

Experimental signs for the existence of multi-quark systems (MQS) in nuclei are discussed. We have formulated a theory of coupling of the hadron and quark channels in nuclei and using it we have calculated amplitudes and widths of six-quark states in the deuteron. The influence of MQS on the deuteron and helium-3 form factors and on the deuteron polarization is analysed. We have also studied the role of MQS in the processes of deep inelastic scattering of leptons, in particular, the  $A$ -dependence of the structure function and its behaviour at large values of scale variable  $x$ . Comparison is made with the corresponding experimental data.

### ВВЕДЕНИЕ

Атомное ядро — система взаимодействующих нуклонов, нуклоны — бесцветные трехкварковые кластеры. Таким образом, в ядрах и ядерных процессах могут возникать нетривиальные многокварковые системы (МКС), в первую очередь  $6q$ -,  $9q$ -,  $12q$ -системы. Естественно ожидать, что в основных и слабовозбужденных состояниях ядер ( $E \approx M_A \cong AM$ , где  $E$  — энергия системы,  $M$  — масса нуклона) они составляют небольшие примеси к основному, нуклонному каналу в полной волновой функции ядра

$$\Psi = \Psi(AN) + C\Psi(3Aq), \quad (1)$$

т. е.  $|C(E \approx AM)|^2 \ll 1$ . Вероятность таких примесей можно оценить как вероятность  $k$  нуклонам (флуктону) «нуклонного газа» из частиц оказаться в малом объеме  $V_{\frac{1}{2}}$  [1]

$$\beta_k^A = \binom{A}{k} (V_{\frac{1}{2}}/AV_0)^{k-1} = \binom{A}{k} (r_{\frac{1}{2}}/r_0)^{3(k-1)} A^{k-1}. \quad (2)$$

Здесь  $r_0 = 1,2$  фм — средний радиус нуклон-нуклонного взаимодействия в ядре, а параметр  $r_{\frac{1}{2}} = 0,75$  фм — порядка радиуса коры МН-сил. Последний, естественно, связан с радиусом конфайнмента

Идея флуктонов оказалась полезной при описании ядерных реакций при высоких энергиях. Так, она впервые позволила проинтерпретировать реакции выбивания дейтронов из ядер при больших переданных импульсах [2]; затем идея кумулятивных реакций, выдвинутая в работе [3], была реализована с использованием представлений о флуктонах (см., например, [4, 5]); на той же основе с привлечением правил кваркового счета [6] были рассчитаны ядерные формфакторы при больших переданных импульсах и глубоконеупругое рассеяние на ядрах (например, [7]).

Природу флуктонов можно понять, если ввести концепцию о многокварковых системах. Но уже первые расчеты многокварковых мешков [8, 9] показали, что их массы значительно превышают массы соответствующих ядер, т. е.  $E_\lambda = M_A + \Delta_\lambda$ , где  $\Delta_\lambda \geq 0,2$  ГэВ. Таким образом, эти состояния МКС являются специфическими и должны проявляться как резонансы в соответствующих амплитудах рассеяния. В этой области энергий полная ядерная волновая функция должна иметь вид:

$$\Psi \approx C\Psi(3Aq), \quad (3)$$

где  $|C(E \approx E_\lambda)|^2 \approx 1$ . В настоящее время есть указания на резонансное поведение фаз  $^1D_2$  и  $^3F_3$  нуклон-нуклонного рассеяния в области полной энергии системы  $E_\lambda \approx 2,2$  ГэВ [10].

Таким образом, основные состояния ядер могут иметь небольшие примеси МКС, а чистые МКС могут проявляться со значительной вероятностью при энергиях выше массы соответствующих ядер на 0,2 ГэВ и более как дибарионы, трибарионы и т. д.

### 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УКАЗАНИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ МКС

**Кумулятивные процессы.** В настоящее время кумулятивные ядерные реакции хорошо изучены (см., например, [11, 12]). Недавно [13] на основе большого экспериментального материала был подведен итог анализа сечений кумулятивного рождения мезонов в реакциях  $p(8,9 \text{ ГэВ}/c) + A \rightarrow c + X$ ; ( $c = \pi^\pm, K^\pm$ ). Обнаружено, во-первых, что в таких процессах наблюдается предельная фрагментация ядер, начиная с  $E \geq 4$  ГэВ, и соответствующее сечение параметризуется в факторизованном виде:

$$E_c \frac{d\sigma}{dp_c} = f(A, p_{1c}^2, X) = A^n \Phi(p_{1c}^2) G(x), \quad (4)$$

где  $A$  — атомный номер ядра-мишени, а

$$\Phi(p_{1c}^2) = 0,9 \exp(-2,7p_{1c}^2) + 0,1; \quad (5)$$

$$G(x) = G_0 \exp(-x/\langle x \rangle); \quad \langle x \rangle = 0,14. \quad (6)$$

При больших энергиях масштабная переменная  $x = (p_{1c}^c + E_{1c}^c)/(p + E)$ . Предполагая, что импульс  $P$  распределен в МКС, состоящей из  $k$  нуклонов ядра, т. е.  $P = kP_0$  ( $E \approx kE_0$ ), где  $P_0$  — импульс на один нуклон МКС, получаем обычную продольную масштабную перемен-

# Необычные особенности кумулятивных процессов

- слабую зависимость наклона наблюдаемых спектров от типа налетающей на ядро частицы, что указывает на существование источника в самом ядерном веществе, а не создание его во время столкновения;
- источник кумулятивных частиц **изотопически симметричен**: наблюдается равенство сечений выхода частиц с противоположным изотопическим спином ( $\pi^+/\pi^- \approx 1$   $p/n \approx 1$   $t/^3\text{He} \approx 1$ );
- близкие выходы  $K^+/\pi^+ (X) \approx 1$  и **повышенный выход нуклонов**
- наблюдается сильная **A-зависимость**, когда с ростом степени кумулятивности растет показатель степени при A и может превышать единицу.



ЕДИНЫЙ АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ ИНКЛЮЗИВНЫХ СЕЧЕНИЙ  
РОЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ С БОЛЬШИМИ ПОПЕРЕЧНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ  
И АДРОНОВ КУМУЛЯТИВНОГО ТИПА

В.С.Ставинский

Предложен единый алгоритм вычисления инклюзивных сечений рождения частиц с большими поперечными импульсами и адронов кумулятивного типа. Возможность единого описания этих процессов обусловлена введением нового аргумента – минимальной энергии сталкивающихся конститuentов, необходимой для рождения наблюдаемой частицы. Проведено сравнение с экспериментальными данными.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Unique Algorithm for Calculation of Inclusive  
Cross Sections of Particle Production  
with Big Transverse Momenta and of Cumulative  
Type Hadrons

V.S.Stavinskij

Unique algorithm is proposed for calculating inclusive cross sections of particle production with big transverse momenta and cumulative type hadrons. A possibility of unique description of these processes is due to introduction of a new argument – of minimal energy of colliding constituents needed for the production of observed particle.

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

## Common case for AA-collisions

V.S. Stavinsky JINR Rapid Communications N18-86, p.5 (1986)

$$(X_I \cdot M_I) + (X_{II} \cdot M_{II}) \rightarrow m_c + [X_I \cdot M_I + X_{II} \cdot M_{II} + m_2]$$

$$S_{\min}^{1/2} = \min(S^{1/2}) = \min[(X_I \cdot P_I + X_{II} \cdot P_{II})^{1/2}]$$

## **ВОЗМОЖЕН ЛИ ЕДИНЫЙ ПОДХОД К ПОДПОРОГОВЫМ И КУМУЛЯТИВНЫМ ПРОЦЕССАМ В РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ?**

**А.А.Балдин\***

Предлагается единый подход к описанию подпороговых, кумулятивных и дважды кумулятивных процессов на основе гипотезы об автомодельности релятивистских ядерных столкновений. Расчеты, проведенные в рамках предложенной модели, сравниваются с разнообразными экспериментальными данными.

Работа выполнена в Институте ядерных исследований РАН, Москва.

**Is the Universal Approach  
to the Subthreshold and Cumulative Processes  
in Relativistic Nuclear Collisions Possible?**

**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 the various reactions. Large experimental material including nucleus-nucleus and proton-nucleus interactions is analyzed.

The investigation has been performed at the Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences, Moscow

# A.A. Baldin's article

Phys. At. Nucl. 56(3), p.385(1993)

$$\Pi = \frac{1}{2} (X_I^2 + X_{II}^2 + 2 \cdot X_I \cdot X_{II} \cdot \gamma_{I,II})^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2 \cdot m} \cdot S_{\min}^{\frac{1}{2}}$$

$$\gamma_{I,II} = \frac{(P_I \cdot P_{II})}{M_I \cdot M_{II}}$$

## Inclusive data parameterization

$$E \cdot \frac{d^3\sigma}{dp^3} = C_1 \cdot A_I^{\frac{1}{3} + \frac{X_I}{3}} \cdot A_{II}^{\frac{1}{3} + \frac{X_{II}}{3}} \cdot \exp\left(-\frac{\Pi}{C_2}\right),$$

$$C_1 = 2200[mb \cdot GeV^{-2} \cdot c^3 \cdot sr^{-1}], C_2 = 0.127$$

# A.A. Baldin's parameterization for cumulative and subthreshold particle production

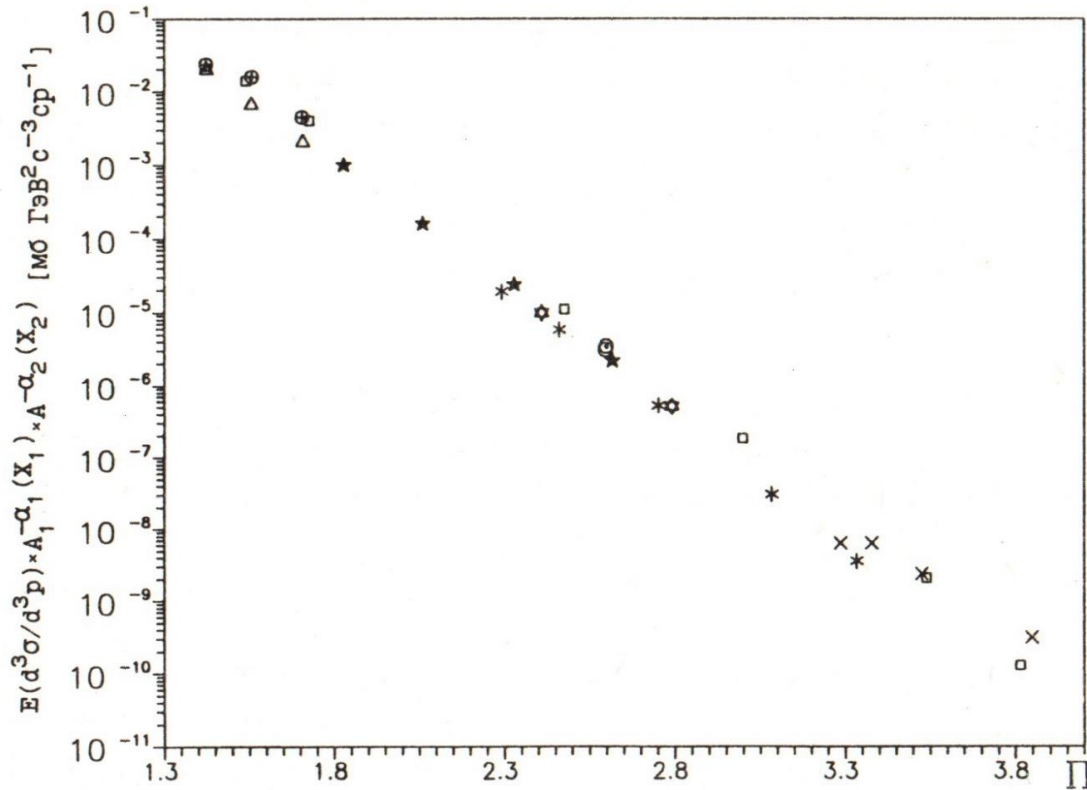
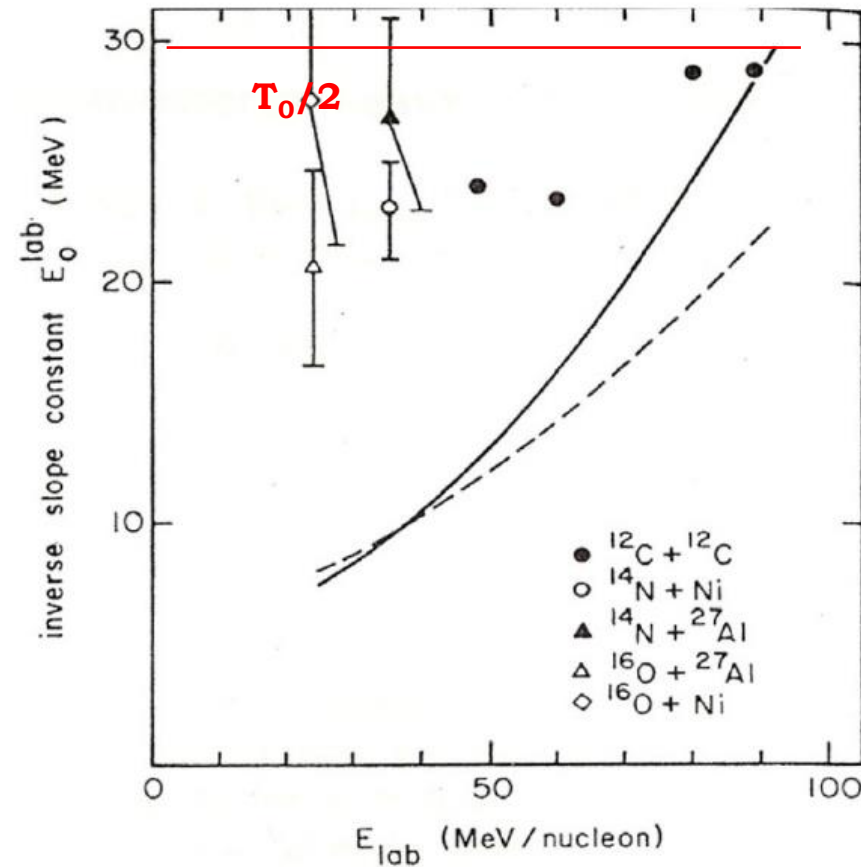
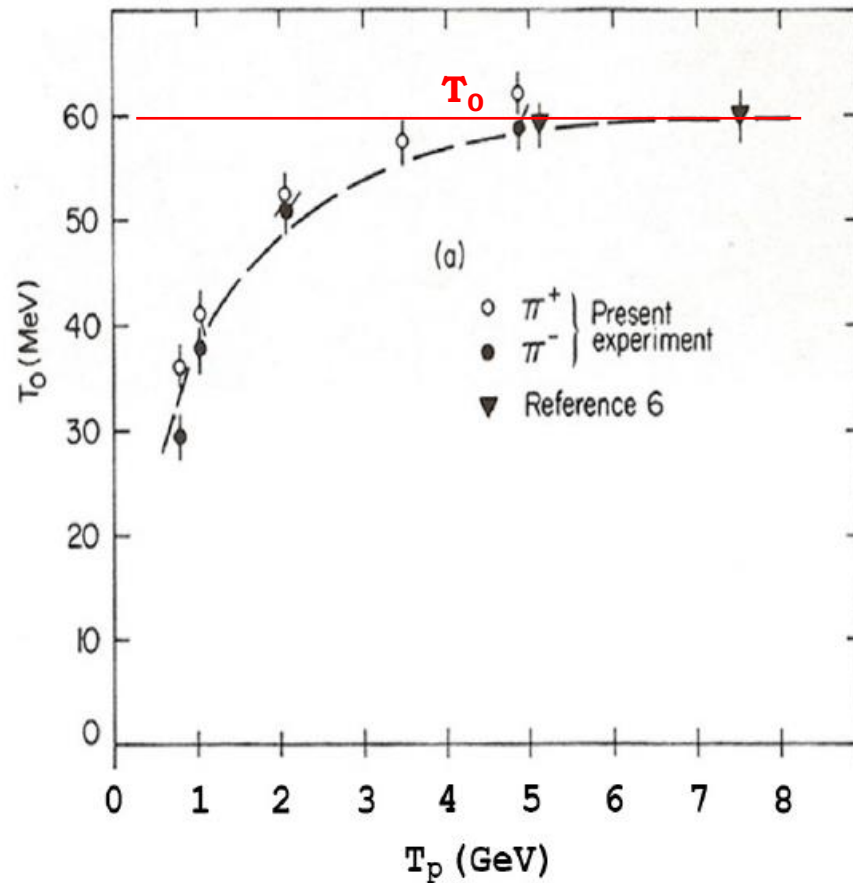


Рис.1. Зависимость инвариантных дифференциальных сечений, деленных на  $A_1^{\alpha_1(X_1)} A_2^{\alpha_2(X_2)}$ , где  $\alpha_1(X_1) = 2/3 + X_1/3$  и  $\alpha_2(X_2) = 2/3 + X_2/3$ , от параметра  $\Pi$  для следующих реакций: \* Si + Si  $\rightarrow K^-$  2,0 ГэВ/нуклон,  $0^\circ$  [9]; x Si + Si  $\rightarrow \bar{p}$  2,0 ГэВ/нуклон,  $0^\circ$  [9]; ♣ Si + Si  $\rightarrow K^-$  1,4 ГэВ/нуклон,  $0^\circ$  [8] o C + C  $\rightarrow \bar{p}$  3,65 ГэВ/нуклон,  $24^\circ$  [11]; o d + C  $\rightarrow \bar{p}$  3,65 ГэВ/нуклон,  $24^\circ$  [11]; ⊕ C + C  $\rightarrow K^-$  2,5—3,65 ГэВ/нуклон,  $24^\circ$  [12]; Δ d + C  $\rightarrow K^-$  2,5—3,65 ГэВ/нуклон,  $24^\circ$  [12]; \* p + C  $\rightarrow K^-$  9,2 ГэВ/нуклон,  $119^\circ$  [6]; □ p + C  $\rightarrow \pi^-$  9,2 ГэВ/нуклон,  $119^\circ$  [7]

Реакция	Екин. ГэВ/н	Лаб. имп. ГэВ/с	Лаб. угол вылет	$\sigma_{\text{экс}} = \frac{E}{p^2} \times \frac{d^2\sigma}{dp \times d\Omega}$ мб/ср ГэВ <sup>2</sup> /с <sup>3</sup>	$\sigma_{\text{рас}} = \frac{E}{p^2} \times \frac{d^2\sigma}{dp \times d\Omega}$ мб/ср ГэВ <sup>2</sup> /с <sup>3</sup>	Ссылка
d+C $\rightarrow \bar{p}$	3.65	0.8	$24^\circ$	$(1.5 \pm 0.6) \times 10^{-4}$	$9.3 \times 10^{-5}$	11
C+C $\rightarrow \bar{p}$	3.65	0.8	$24^\circ$	$(1.2 \pm 0.3) \times 10^{-3}$	$7.4 \times 10^{-4}$	11
C+Cu $\rightarrow \bar{p}$	3.65	0.8	$24^\circ$	$(6.2 \pm 2.0) \times 10^{-3}$	$6.05 \times 10^{-3}$	11
Si+Si $\rightarrow \bar{p}$	2.0	1.0	$0^\circ$	$(8.71 \pm 2.9) \times 10^{-5}$	$1.98 \times 10^{-4}$	9
Si+Si $\rightarrow \bar{p}$	2.0	1.5	$0^\circ$	$(1.03 \pm 0.25) \times 10^{-4}$	$1.2 \times 10^{-4}$	9
Si+Si $\rightarrow \bar{p}$	2.0	1.9	$0^\circ$	$(4.9 \pm 1.0) \times 10^{-5}$	$5.07 \times 10^{-5}$	9
Si+Si $\rightarrow \bar{p}$	1.65	1.5	$0^\circ$	$(1.41 \pm 0.38) \times 10^{-5}$	$9.1 \times 10^{-6}$	9
d+C $\rightarrow K^-$	2.5	0.8	$24^\circ$	$(4.1 \pm 2.0) \times 10^{-2}$	$5.7 \times 10^{-2}$	12
C+C $\rightarrow K^-$	2.5	0.8	$24^\circ$	$(4.6 \pm 1.0) \times 10^{-1}$	$4.4 \times 10^{-1}$	12
Si+Si $\rightarrow K^-$	1.0	1.0	$0^\circ$	$(1.2 \pm 1.5) \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-3}$	8
Si+Si $\rightarrow K^-$	1.26	1.0	$0^\circ$	$(8.0 \pm 5.0) \times 10^{-3}$	$2.26 \times 10^{-2}$	8
Si+Si $\rightarrow K^-$	1.4	1.0	$0^\circ$	$(5.0 \pm 1.5) \times 10^{-2}$	$7.0 \times 10^{-2}$	8
Si+Si $\rightarrow K^-$	1.4	1.5	$0^\circ$	$(5.0 \pm 1.5) \times 10^{-3}$	$7.56 \times 10^{-3}$	8
Si+Si $\rightarrow K^-$	2.0	2.37	$0^\circ$	$(1.5 \pm 1.0) \times 10^{-2}$	$1.66 \times 10^{-2}$	9
Si+Si $\rightarrow K^-$	2.0	1.5	$0^\circ$	$(2.5 \pm 0.5) \times 10^{-1}$	$3.46 \times 10^{-1}$	9
Si+Si $\rightarrow K^-$	2.0	1.0	$0^\circ$	$(1.5 \pm 0.5) \times 10^{-3}$	$1.45 \times 10^0$	9

Inverse slope for subthreshold  $\pi^-$  meson production must be less than  $T_0/2$  (near the phase space border).

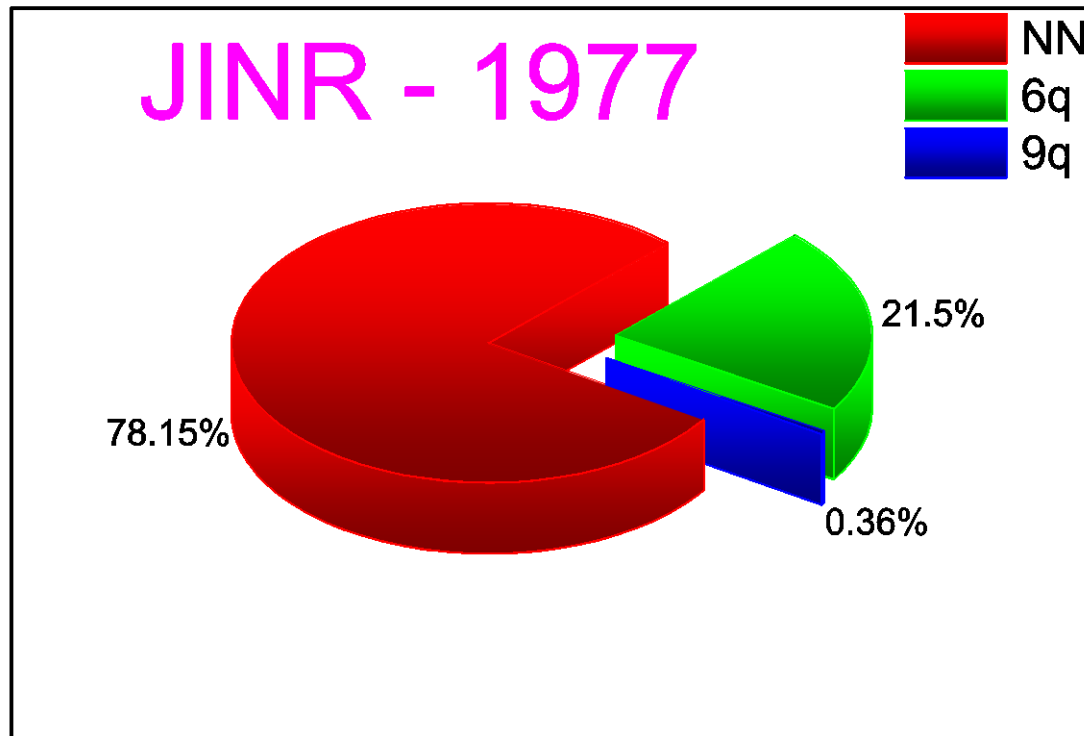


$$P_{cum} \sim \exp(-T/T_0) \quad \Rightarrow \quad P_{subthresh} \sim \exp(-T/T_0) \cdot \exp(-T/T_0) \sim \exp(-T/(T_0/2))$$

# $^{12}\text{C}$ - structure

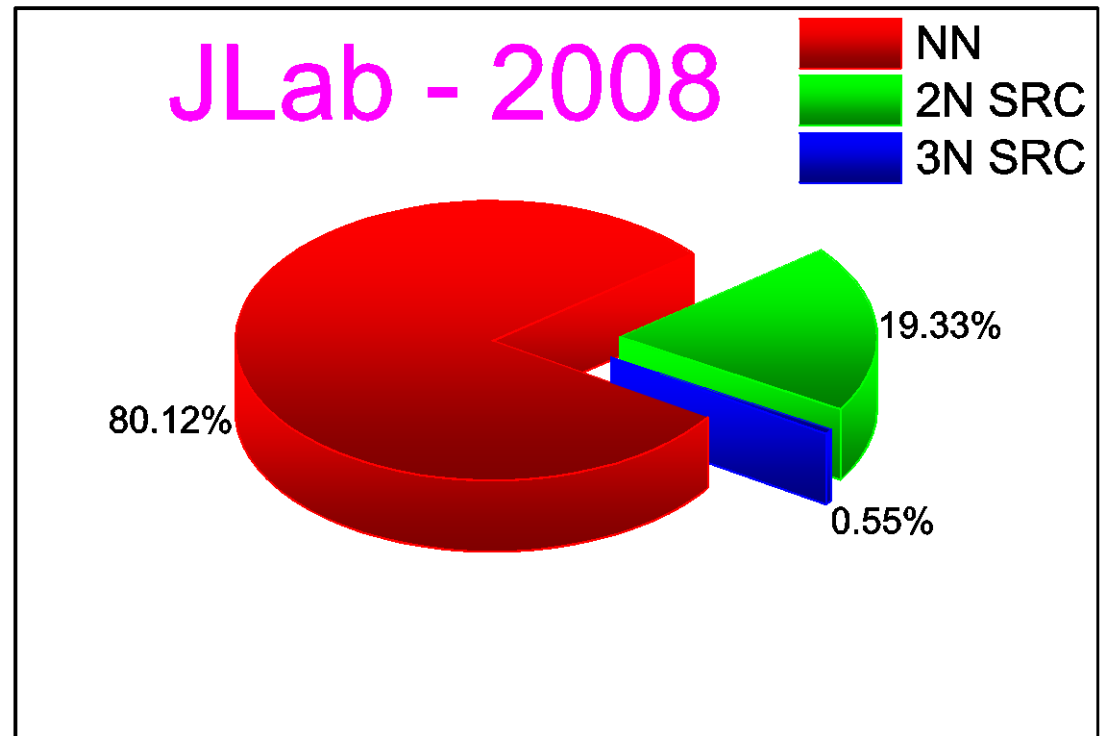
## RNP - program at JINR

V.V.Burov, V.K.Lukyanov, A.I.Titov, PLB, 67, 46(1977)



## eA - program at JLab

R.Subedi et al., Science 320 (2008) 1476-1478  
e-Print: arXiv:0908.1514 [nucl-ex]



# XII ITER School 1985

## ОБРАЗОВАНИЕ ДЕЙТРОНОВ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

В.Б.Гаврилов. Г.А.Лексин

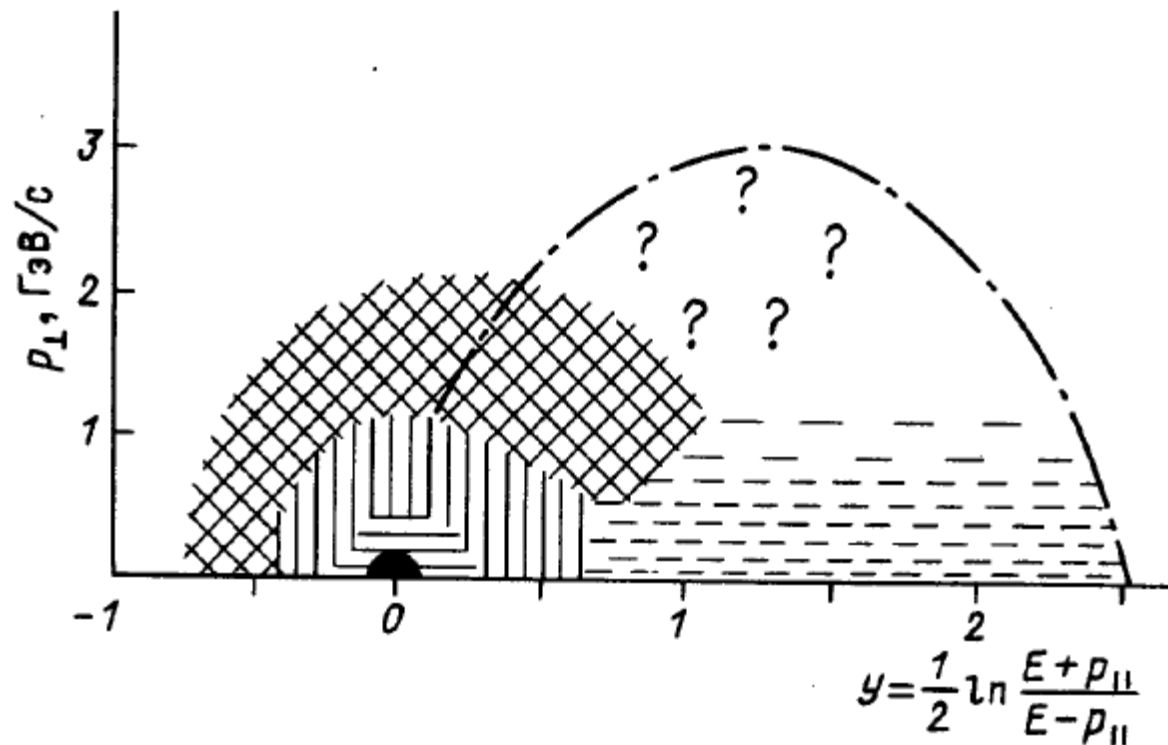


Рис. 25. Схематическое изображение кинематических областей, в которых проявляются те или иные механизмы образования дейтронов при взаимодействии протонов с энергией 10 ГэВ с тяжелым ядром:

■ - испарение; ≡ - вторичный подхват; ▨ - слияние; ☒ - прямое выбивание в глубоконеупругих процессах; ▨ - квантовое выбивание (штрих-пунктирная кривая соответствует границе кинематической области для рассеяния)



# 12 лет назад

## МЕМОРАНДУМ

*1-го круглого стола по проблемам, связанным с исследованиями кумулятивных процессов и холодной сверхплотной барионной материи,*

*1 марта 2011 г., Дубна*

Релятивистская ядерная физика (РЯФ) является одним из наиболее динамично развивающихся и актуальных направлений фундаментальных исследований в области физики высоких энергий. В мире работают и создаются специализированные современные ускорители (LHC, RHIC, SIS-100(300), J-PARC, Нуклотрон/NICA) и большие современные установки (STAR, PHENIX, ALICE, CBM, PANDA, MPD) для исследований в этой области. Свойства ядерной материи исследуются и с электромагнитными пробниками (J-LAB). Экстремальные состояния вещества, восстановление и нарушение фундаментальных симметрий, природа конфайнмента и механизмы адронизации, изменение свойств частиц в ядерной материи, находящейся в экстремальном состоянии, непертурбативные эффекты — далеко не полный перечень вопросов, изучаемых РЯФ. Все эти исследования, так или иначе направленные на изучение свойств ядерной материи при различных плотностях и температурах, имеют конечную цель — найти уравнение состояния ядерной материи во всем доступном диапазоне плотностей и температур.

Отечественные институты, такие как ИТЭФ, ОИЯИ были пионерами в этой области науки при ее зарождении в конце 1960-х годов. Первые работы по данному направлению вызвали бурный рост интереса к ядерным взаимодействиям. И уже в 70-х годах было сформировано мощное научное сообщество. Учёные наших институтов стали играть ведущую роль в релятивистской ядерной физике. Работы велись на рекордных по тем временам ускорительных комплексах — Синхрофазатроне и Нуклотроне (ОИЯИ), У-10 (ИТЭФ); были впервые экспериментально изучены многие свойства ядерной материи, выдвинут ряд гипотез и предложены теоретические модели, основаны научные школы. В 1990-х годах интенсивность работ в области РЯФ в России заметно упала, многие специалисты стали работать в зарубежных экспериментах, где, благодаря большому научному заделу, заняли ведущие позиции. Задача поиска и исследования свойств кварк-глюонной плазмы, ставшая главной с середины 80-х годов, привела к тому, что основные силы специалистов по РЯФ были сосредоточены на экспериментах ускорителей SPS, RHIC, LHC.

В последние годы стало ясно, что основные неясности в уравнении состояния ядерной материи находятся в области больших плотностей. Для изучения этой области необходимы энергии ядерных пучков  $\sqrt{s_{NN}} < 10 \frac{\text{ГэВ}}{\text{нуклон}}$  (программы исследований RHIC Energy Scan, CBM (FAIR), MPD(NICA)). Сигналом о существовании сверхплотного состояния барионной материи могут быть кумулятивные процессы. Под кумулятивными процессами мы будем подразумевать - локальные процессы с участием многонуклонных конфигураций и идущие с большой передачей импульса. В связи с этим, видится актуальным продолжить исследования кумулятивных процессов как сигналов образования холодной сверхплотной фазы на новом научном и методическом уровне, приобретённом мировым сообществом за последние 20 лет. Остались не решёнными многие вопросы, поставленные исследованиями кумулятивных процессов:

1. природа и механизмы образования кумулятивных частиц;
2. роль спиновых характеристик в ядре и в области кумулятивных процессов, в частности;
3. возможности использования кумулятивного эффекта для изучения специфических областей фазовой диаграммы состояния ядерной материи;
4. возможности изучения экстремальных состояний ядерной материи с помощью кумулятивного триггера;
5. связь состояния ядерной материи, наблюдаемого в кумулятивных процессах, с ядерной материей в центре массивных звёзд.

Эти весьма актуальные задачи формируют обширную экспериментальную программу, предлагаемую нами для экспериментов на Нуклотрон/НИКА и FAIR. Кроме того, часть предлагаемой программы может быть осуществлена на уже существующих ускорительных комплексах Нуклотрон, ИТЭФ-ТВН, У-70 (Протвино). Учитывая важность и актуальность предлагаемых исследований, совещание считает эксперименты в кумулятивной области одними из приоритетных для ускорителей РФ, способными дать уникальную информацию о свойствах ядерной материи. В связи с этим, совещание отмечает важность:


- проведения на ускорительном комплексе Нуклотрон/НИКА исследований кумулятивных процессов с интенсивными пучками лёгких ядер, в том числе поляризованными;


- осуществляемой на ускорителе ИТЭФ-ТВН экспериментальной программы ФЛИНТ, а так же работ по созданию медленного вывода пучков релятивистских ионов на ускорителе ИТЭФ-ТВН;

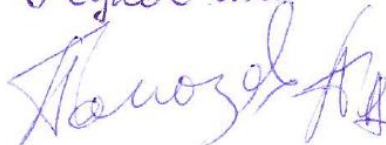

- экспериментов с пучками ядер на У-70 (Протвино) и начало исследований кумулятивной области на установках СПИН и ФОДС.

С целью интенсификации работ на данном направлении и концентрации усилий научных групп наших институтов было принято решение учредить координационный совет по физике кумулятивных процессов.


Также принято решение о создании интернет-ресурса для обмена актуальной информацией по этой тематике.

д. ф.-м. н. Ставицкий А. В. 


к. ф.-м. н. Г. Б. Шарнов   
аспирант Жуков И. И.

к. ф.-м. н.   
аспирант Тонубев А. А. 

д. ф.-м. н. Долгоземин И. И. 

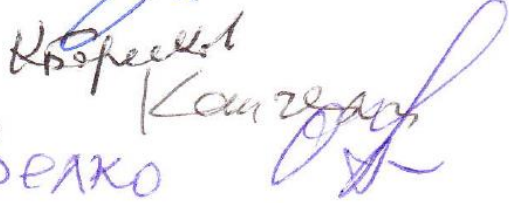
д. ф.-м. н. Шейкман В. А. 

д. ф.-м. н. Тарнов В. Б. 

к. ф.-м. н. Михайлов К. Р. 

аспирант Мерозова Е. П. 

аспирант Романов Д. В. 

д. ф.-м. н. К. Г. Боресков 

д. ф.-м. н. О. В. Канцели   
к. ф.-м. н. О. И. Поторелко 

к. ф.-м. н. Ф. И. Хасанов   
к. ф.-м. н. С. В. Разин 

Филиппов В.

проф. М.С.М. В.В. Буров *В.В. Буров*  
 С.В. Маммаков *С.В. Маммаков*

Доц. физ.-мат. наук -

Ю.М. Зайцев *Ю.М. Зайцев*

К.Ф.М.Н.

Н.А. Пивников *Н.А. Пивников*

К.Ф.-М.Н.

В.Л. Столин *В.Л. Столин*

К.Ф.-М.Н.

Ю.В. Куртишкин *Ю.В. Куртишкин*

Д.Ф.-М.Н.

Ю.А. Степанов *Ю.А. Степанов*

М.М. Соколов *М.М. Соколов*

Д.Ф.М.Н., проф.

М.И. Пошикарнов *М.И. Пошикарнов*

Д.Ф.М.Н. проф.

~~М.И. Пошикарнов~~ *Т.И. Трехуховкина*

Д.Ф.-М.Н. проф.

Вечеркин В.В. *Вечеркин*

Д.Ф.М.Н., проф.

Браун М.А. *Браун*

К.Ф.М.Н.

Федорчаев Г.А. *Федорчаев*

Д.Ф.-М.Н.

Суманов В.В. *Суманов*

аспирант

Иванов Л.Е. *Иванов*

СПГПУ

аспирант

Редянова В.А. *Редянова*

СПГПУ

К.ф.-м.н. Бондаренко С.Г. Р.Бондаренко  
г.ф.м.н. Ким В.Т. ПИЯФ & СПГМУ  
аспирант Мурзин В.А. ПИЯФ

~~Крышкеев~~ г.ф.м.н. Крышкеев В.И. ИФВЭ

Зарудин П.И.

Велич г.ф.м.н. Макашев В.В. ОИЯИ

Александр Е.В. Плехин ОИЯИ

Колос г.ф.м.н. В.И. Комаров. ОИЯИ.

Васильев г.ф.м.н. А.В. Шферов, ОИЯИ

Васильев г.ф.-м.н. А.А. Баладин ОИЯИ

Васильев г.ф.м.н. В.П. Ларкин ОИЯИ

Ткачев - И.И. Плещин ОИЯИ

Золотилова Л.В.Э ОИЯИ

Малышев А.И. ЛФВЭ ОИЯИ

**46 подписей**

# Dense Cold Matter (DCM) project

Search for and study of cold dense baryonic matter  
( *Letter of intent* )

O.A.Chernishov<sup>1</sup>, A.A.Golubev<sup>1</sup>, V.S.Goryachev<sup>1</sup>, A.G.Dolgolenko<sup>1</sup>, M.M.Kats<sup>1</sup>,  
B.O.Kerbikov<sup>1</sup>, S.M.Kiselev<sup>1</sup>, Yu.T.Kiselev<sup>1</sup>, A.Kogevnikov<sup>1</sup>, K.R.Mikhailov<sup>1</sup>,  
N.A.Pivnyuk<sup>1</sup>, P.A.Polozov<sup>1</sup>, M.S.Prokudin<sup>1</sup>, D.V.Romanov<sup>1</sup>, V.K.Semyachkin<sup>1</sup>,  
A.V.Stavinskiy<sup>1</sup>, V.L.Stolin<sup>1</sup>, G.B.Sharkov<sup>1</sup>, N.M.Zhigareva<sup>1</sup>, Yu.M.Zaitsev<sup>1</sup>,  
A.Andronenkov<sup>2</sup>, A.Ya. Berdnikov<sup>2</sup>, Ya.A. Berdnikov<sup>6</sup>, M.A. Braun<sup>2</sup>, V.V. Vechernin<sup>2</sup>,  
L. Vinogradov<sup>2</sup>, V. Gerebchevskiy<sup>2</sup>, S. Igolkin<sup>2</sup>, A.E. Ivanov<sup>6</sup>, V.T. Kim<sup>3,6</sup>,  
A. Koloyvar<sup>2</sup>, V.Kondrat'ev<sup>2</sup>, V.A.Murzin<sup>3</sup>, V.A. Oreshkin<sup>3</sup>, D.P. Suetin<sup>6</sup>,  
G. Feofilov<sup>2</sup>, A.A.Baldin<sup>4</sup>, V.S.Batovskaya<sup>4</sup>, Yu.T. Borzunov<sup>4</sup>, A.V. Kulikov<sup>4</sup>,  
A.V. Konstantinov<sup>4</sup>, L.V.Malinina<sup>4,7</sup>, G.V.Mesheryakov<sup>4</sup>, A.P.Nagaitsev<sup>4</sup>, V.K. Rodionov<sup>4</sup>,  
S.S.Shimanskiy<sup>4</sup>, O.Yu.Shevchenko<sup>4</sup>, A.V.Gapienko<sup>5</sup>, V.I.Krishkin<sup>5</sup>, I.N.Dorofeeva<sup>7</sup>,  
M.M.Merkin<sup>7</sup>, AA.Ershov<sup>7</sup>, N.P.Zotov<sup>7</sup>

1). ITEP NRC KI , Moscow, 2). SPbSU, S.Peterburg, 3). PINP NRC KI, S.Peterburg,  
4). LPHE,JINR,Dubna, 5). IHEP NRC KI, Protvino , 6). SPbSPU, S.Peterburg,  
7).MSU,Moscow

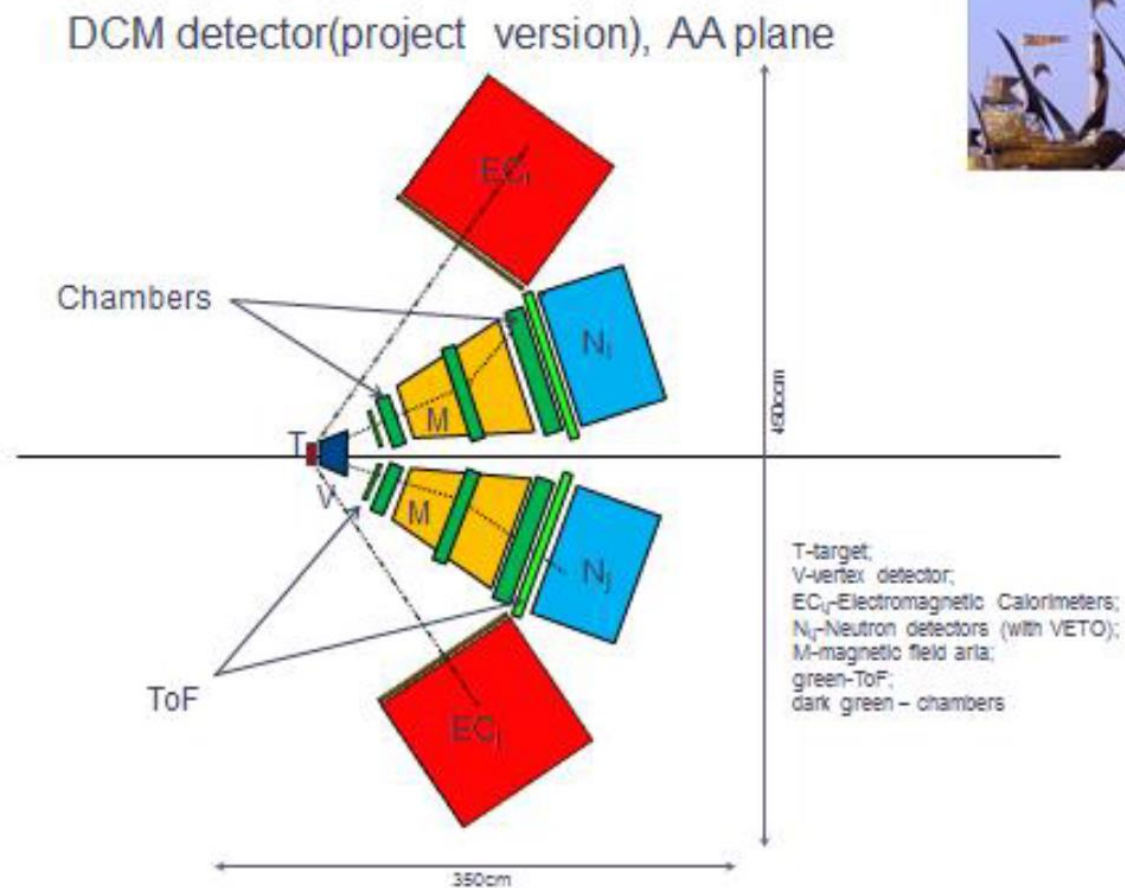
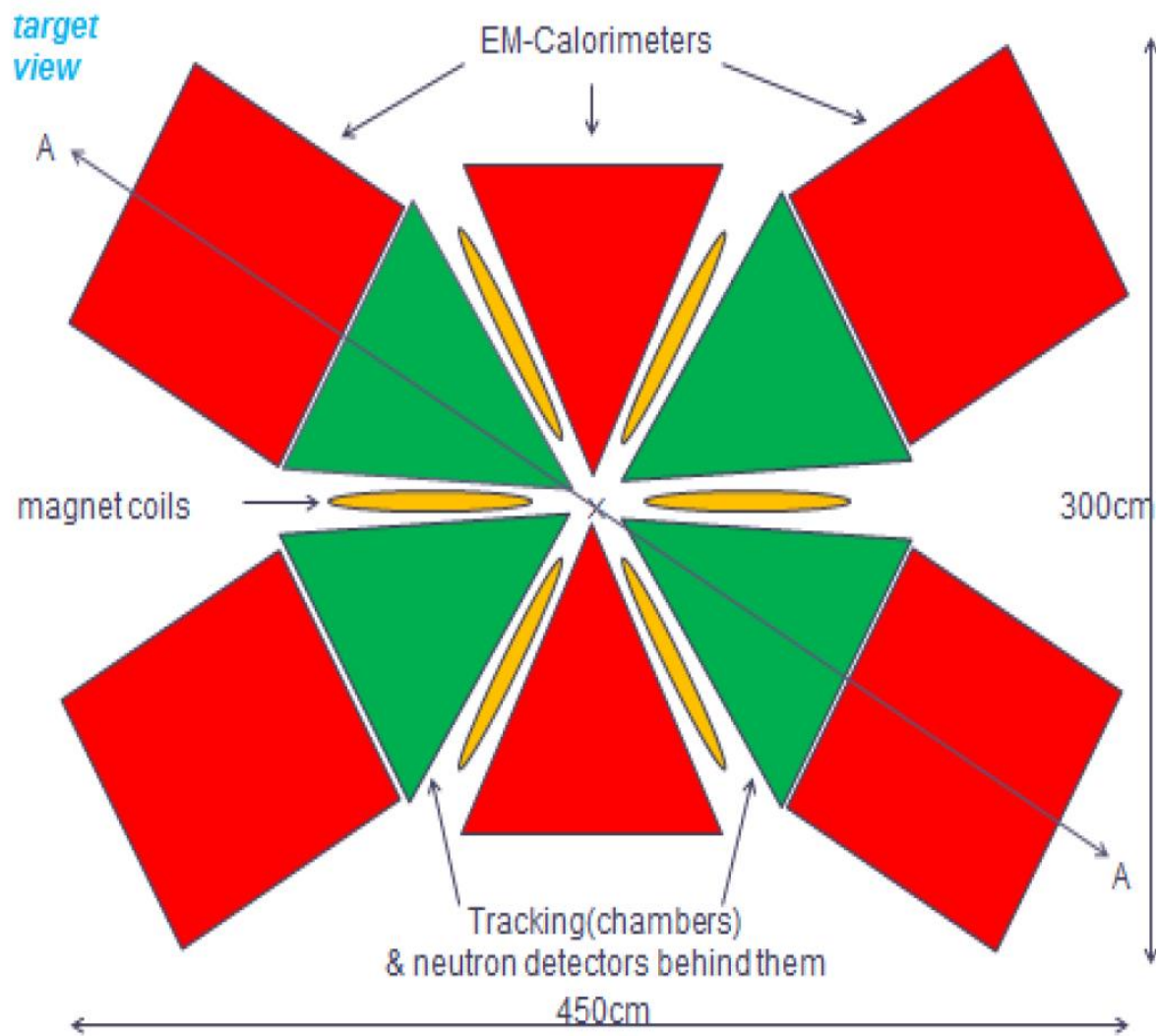
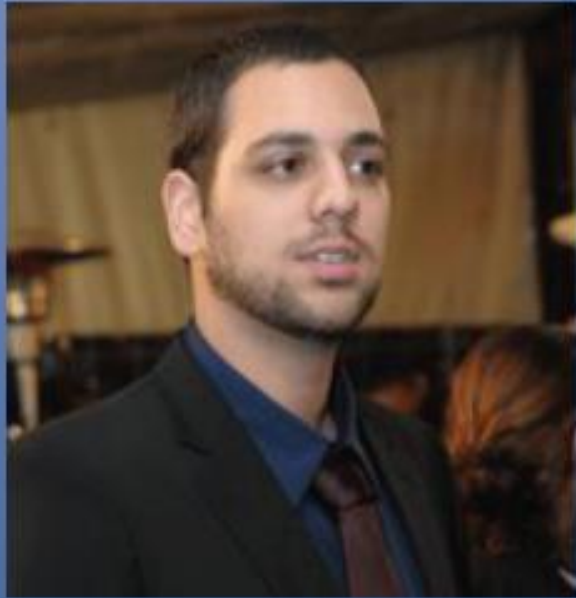


Рис.11.Принципиальная схема детектора



# SRC in VBLHEP



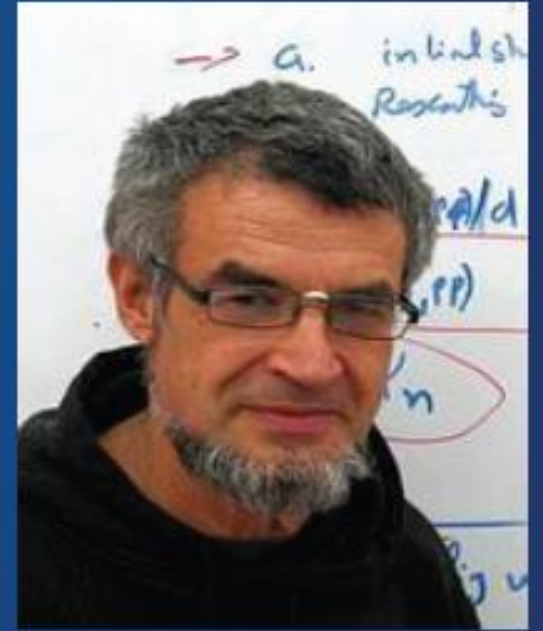
Or Hen



Massachusetts  
Institute of  
Technology



Guy Ron



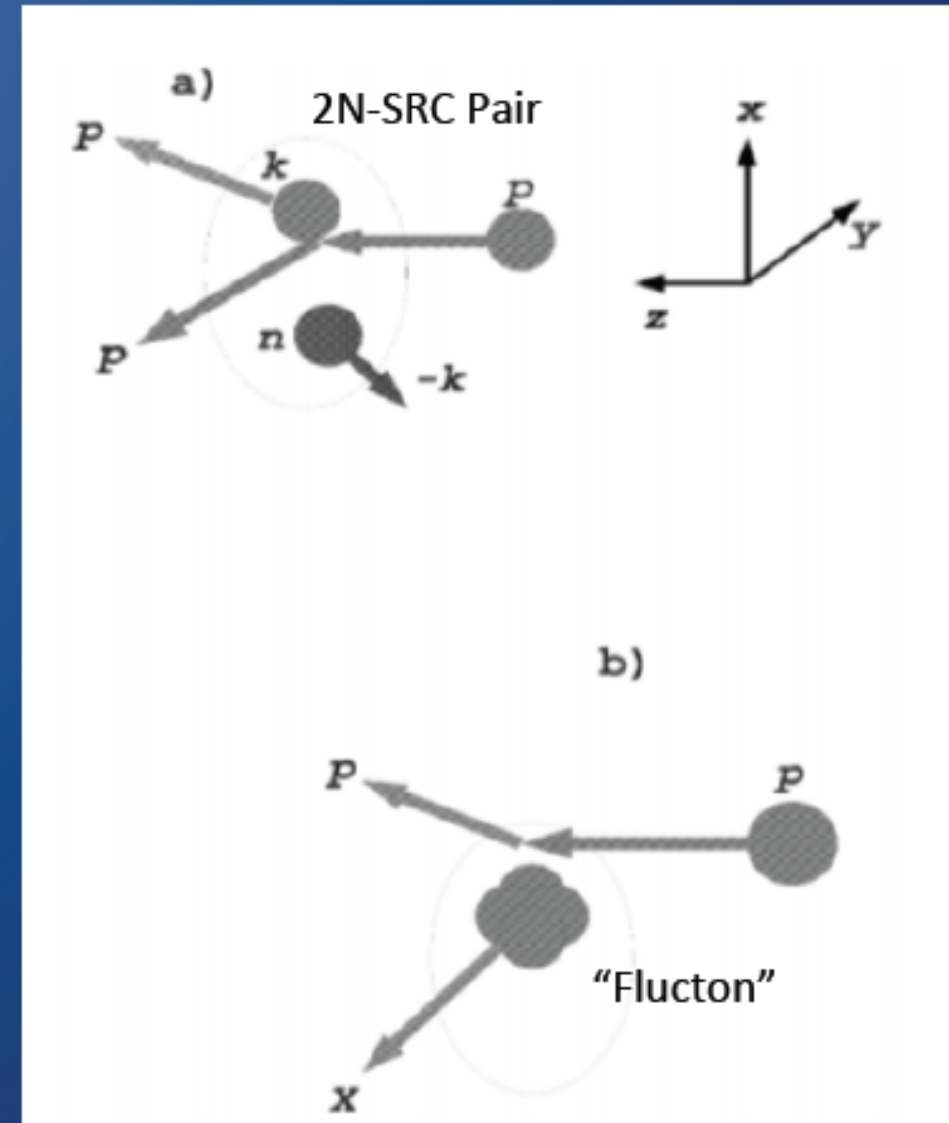
Eli Piasezky



# SRC in VBLHEP

## SRC and Fluctons

- Cold Dense Nuclear Matter (CDNM) fluctuations can come in various forms.
- We deal with nucleonic degrees of freedom at medium densities ( $\rho \approx 2-3\rho_0$ )
- At higher densities ( $\rho \approx 5-10\rho_0$ ) partonic degrees of freedom dominate (i.e. Fluctons).



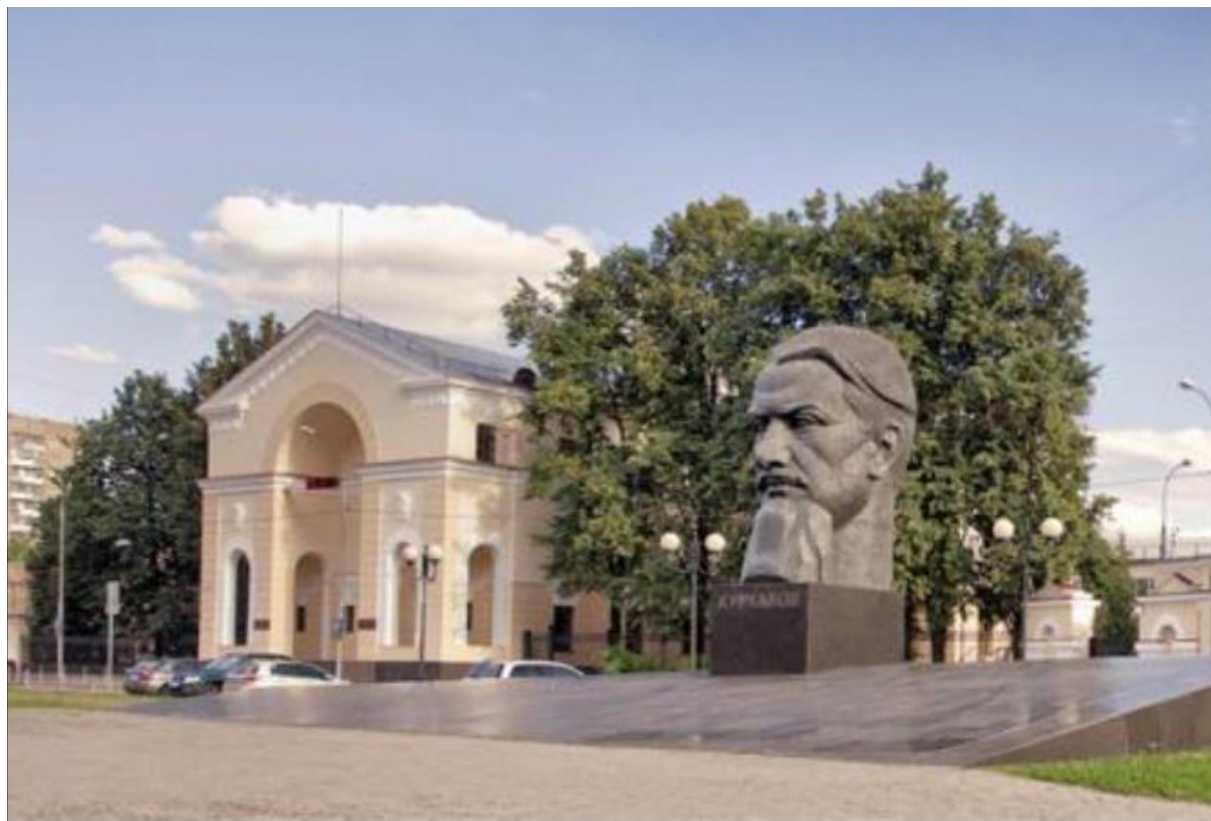
From S. S. Shimanskiy, arXiv 1411.7211 (2014)

# Установка СПИН (ИФВЭ, Протвино)



29.11.2017

## Подведены итоги юбилейного конкурса на соискание премии имени И.В. Курчатова НИЦ "Курчатовский институт" за 2017 год



Победителями признаны следующие работы и авторские коллективы:

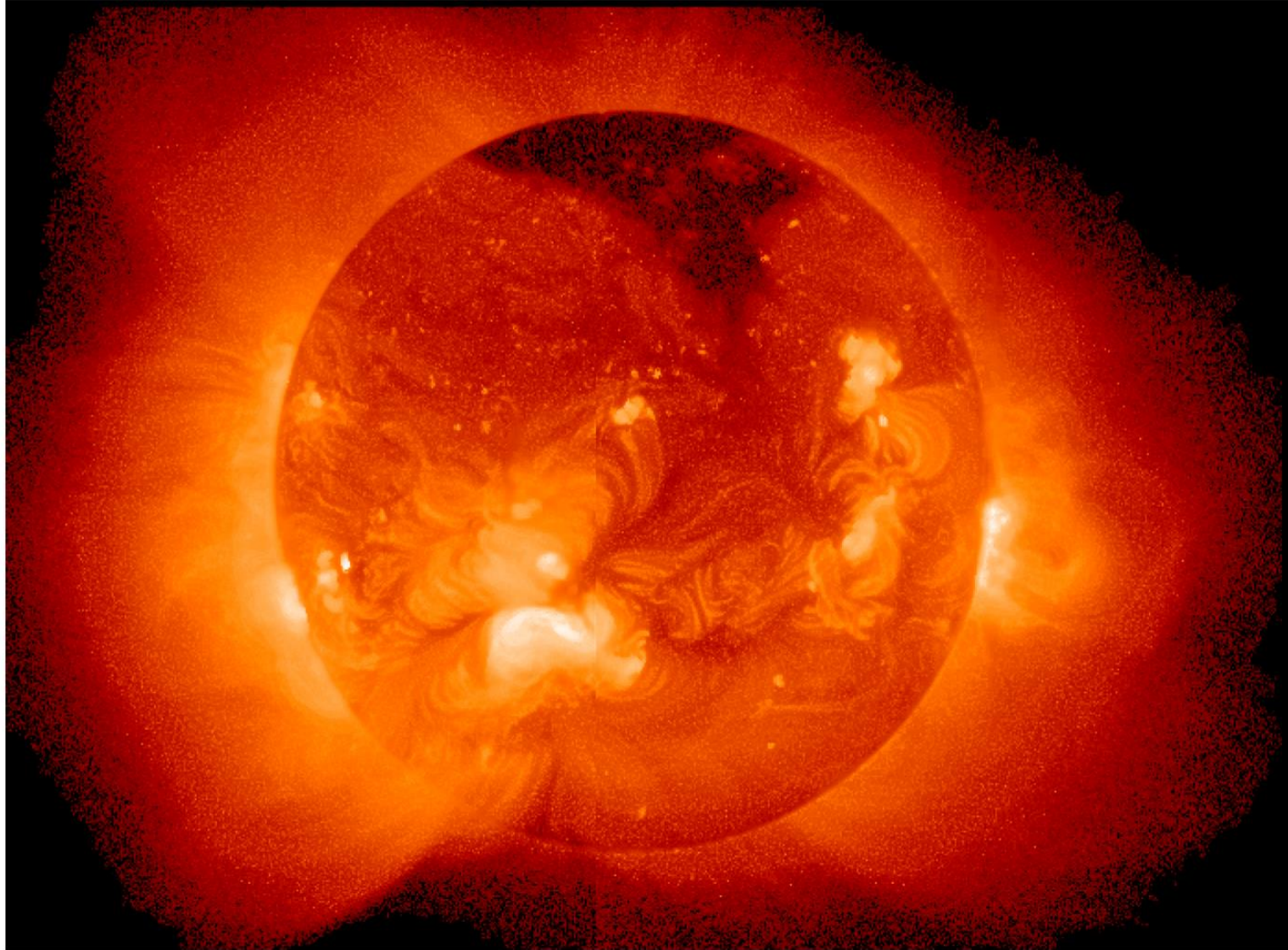
### **В области научных исследований:**

**"Поиск холодной сверхплотной барионной компоненты ядерной материи в процессах рождения кумулятивных частиц с большими поперечными импульсами в столкновениях протонов с ядрами при энергии 50 ГэВ"**

# CsDBM

1. **Cold** – (холодная) существует как квантовая компонента в обычной ядерной материи.
2. **superDense** – (сверхплотная) несколько нуклонов находятся в объёме меньшем чем размер нуклона.
3. **Baryonic Matter** – (барионная материя) повышенное содержание протонов и нейтронов, подавлено число мезонов, которые образуются при адронизации кварков и глюонов.

Температура в центре Солнца ~ 15 000 000 К(эВ)



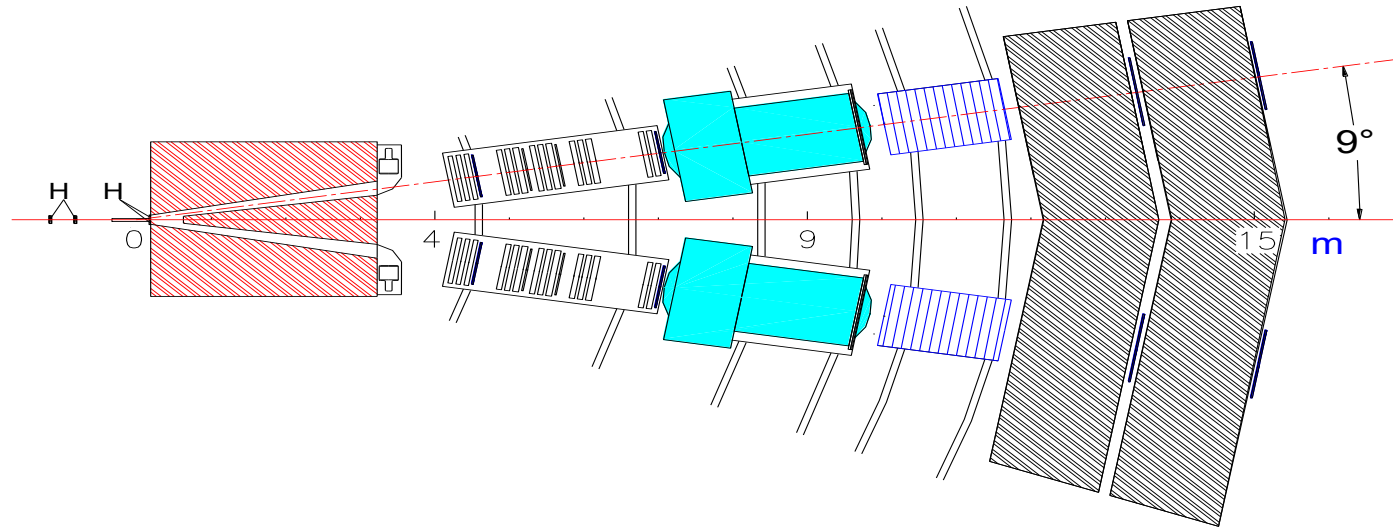
Температура КГТ около 170 МэВ

**2019 +**

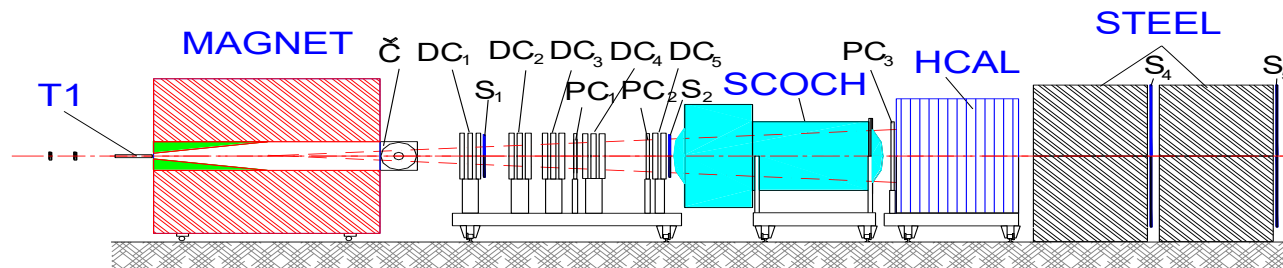
# FODS

(proton energy 20-50 GeV and nuclear beams up to 30 GeV/u)

TOP VIEW



SIDE VIEW (ALONG THE ARM AXIS)





# pp, pA, AA-interactions

А.А. Балдин<sup>1</sup>, Я.А. Бердников<sup>2</sup>, А.И. Берлёв<sup>1</sup>, А.Ю. Бордановский,  
Ю.Т. Борзунов<sup>1</sup>, А.А. Волков, В.П. Ефремов, А.Е. Иванов<sup>2</sup>,  
А.Ю. Калинин, В.Т. Ким<sup>2,3</sup>, А.В. Константинов<sup>1</sup>, А.В. Кораблёв,  
В.И. Корешев, А.Н. Криницын, В.И. Крышкин, И.В. Кудашкин<sup>1</sup>,  
Н.В. Кулагин, А.А. Логинов, В.А. Мурзин<sup>3</sup>, В.А. Орешкин<sup>3</sup>,  
Е.Б. Плеханов<sup>1</sup>, В.В. Скворцов, В.В. Талов, Л.К. Турчанович,  
С.С. Шиманский<sup>1</sup>

**Программа корреляционных исследований  
при взаимодействии адронов и ядер при больших  $X_T$**

**1.4. Исследования эффектов цветовой (ядерной) прозрачности**

**1.5. Аномалия при  $p_T \sim 2$  ГэВ/с**

**2.1. Кумулятивные процессы**

<sup>1</sup>ОИЯИ, Дубна  
<sup>2</sup>СПбГПУ, Санкт-Петербург  
<sup>3</sup>ПИЯФ, Гатчина

М.Ю. Боголюбский, А.Ю. Бордановский, А.А. Волков,  
Д.К. Елумахов, В.П. Ефремов, А.Ю. Калинин,  
А.Н. Криницын, В.И. Крышкин, Н.В. Кулагин,  
В.В. Скворцов, В.В. Талов, Л.К. Турчанович

## Образование частиц в переднем направлении при взаимодействии протонов и ядер с ядрами

(предложение эксперимента)

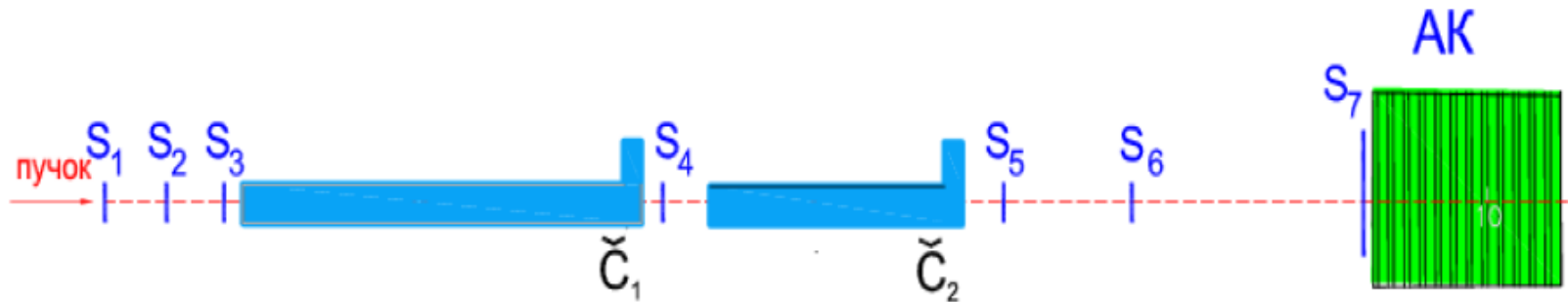


Рис. 5. Положение установки для измерения кумулятивных процессов.  $S_i$  – сцинтилляционные счётчики,  $\check{C}_i$  – черенковские счётчики,  $AK$  – адронный калориметр.

---

---

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ И ПОЛЯ

---

---

**А-ЗАВИСИМОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ В ПЕРЕДНЕМ НАПРАВЛЕНИИ  
ЗАРЯЖЕННЫХ АДРОНОВ И ЯДЕРНЫХ ФРАГМЕНТОВ  
В СРЬ- И СС-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ ПУЧКА  
19.6 ГэВ/НУКЛОН**

© 2021 г. А. Г. Афонин<sup>1)</sup>, М. Ю. Боголюбский<sup>1)\*</sup>, А. А. Волков<sup>1)</sup>, Д. К. Елумахов<sup>1)</sup>,  
В. Н. Запольский<sup>1)</sup>, А. А. Иванюков<sup>1)</sup>, А. Ю. Калинин<sup>1)</sup>, А. Н. Криницын<sup>1)</sup>,  
Н. В. Кулагин<sup>1)</sup>, В. И. Крышкин<sup>1)</sup>, Д. И. Паталаха<sup>1)</sup>, К. А. Романишин<sup>1)</sup>,  
В. В. Скворцов<sup>1)</sup>, В. В. Талов<sup>1)</sup>, Л. К. Турчанович<sup>1)</sup>, Ю. А. Чесноков<sup>1)</sup>

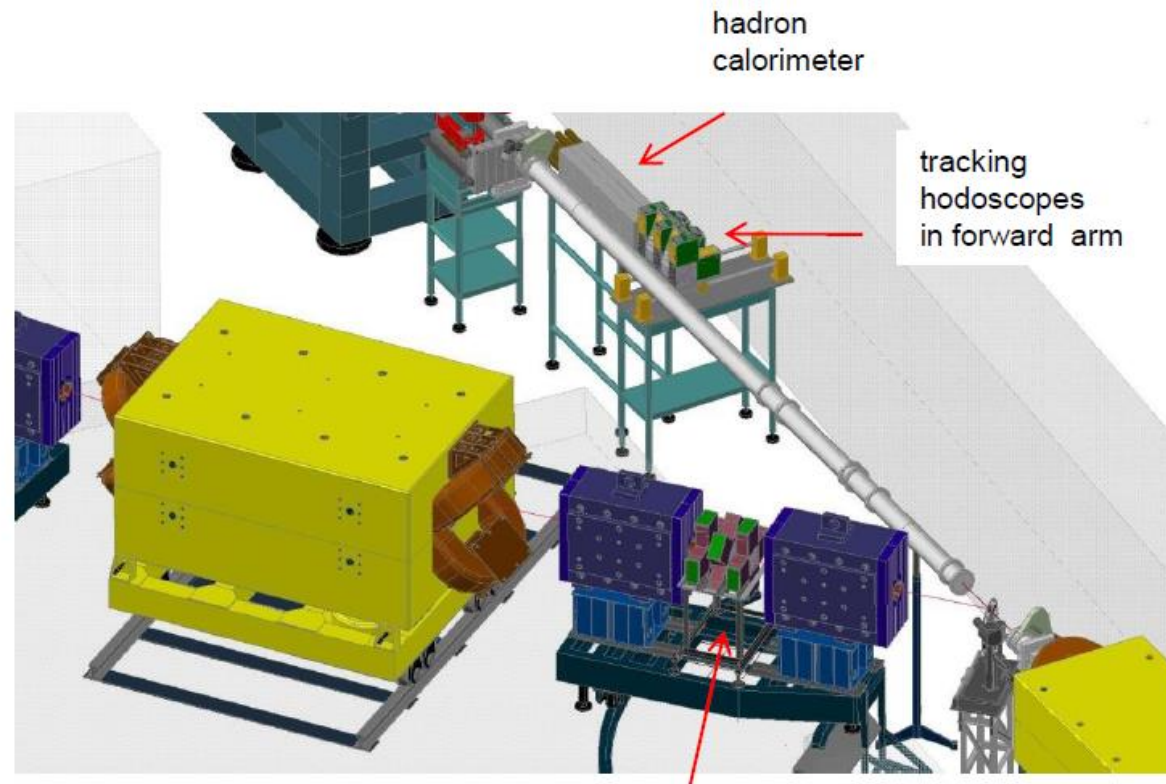
Поступила в редакцию 26.12.2020 г.; после доработки 19.01.2021 г.; принята к публикации 19.01.2021 г.

Измерены инклюзивные дифференциальные сечения образования  $\pi^{\pm}$ -,  $k^-$ -мезонов, протонов, антипротонов с импульсами от 6 до 50 ГэВ/с и ядерных фрагментов с атомным номером  $1 \leq A \leq 10$  в интервале импульсов 20–220 ГэВ/с в СРЬ-столкновениях при кинетической энергии пучка 19.6 ГэВ/нуклон ( $\sqrt{S_{NN}} = 6.3$  ГэВ). Приведены сравнение с сечениями в СС-взаимодействиях и оценка А-зависимости от ядра мишени. Анализ показывает, что наблюдаемые частицы образуются в основном в периферических взаимодействиях.

# FLUKTON

**Recoil arm:** will be almost similar to existing SPIN arm but added with tracking system based of hodoscopes

**Forward arm:** consists of several hodoscope stations and 100 modules of hadron calorimeter. Distance between target and calorimeter – 700 cm



tracking hodoscopes  
in the recoil arm

---

---

FIELDS, PARTICLES,  
AND NUCLEI

---

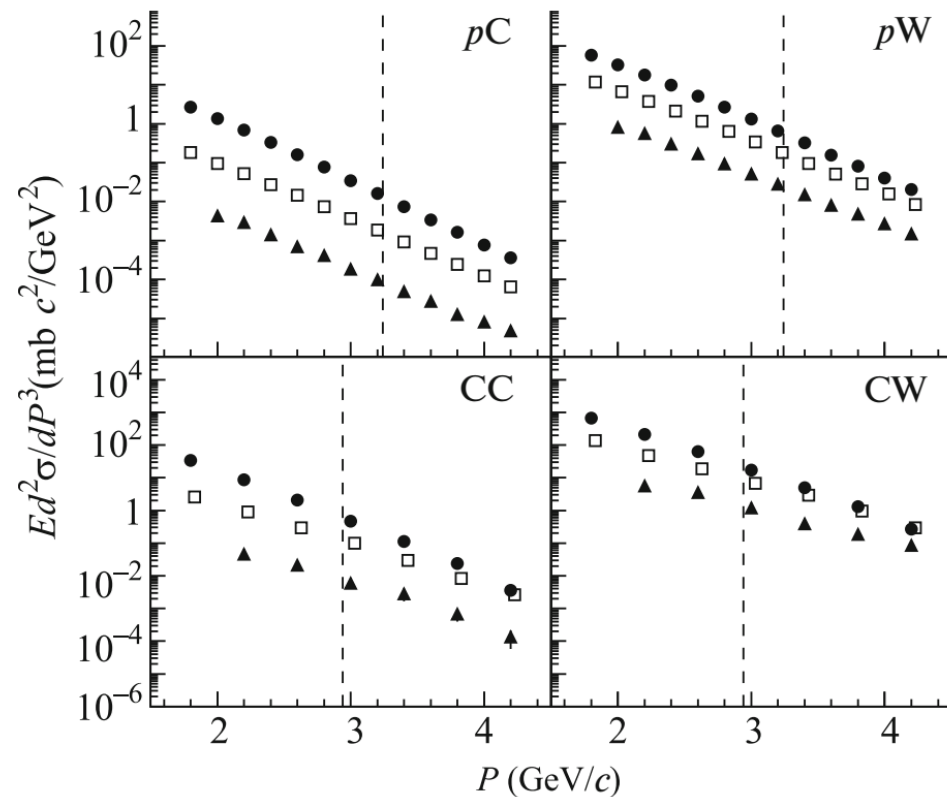
---

## Scaling Behavior of Spectra of Protons, Deuterons, and Tritons Produced with High Transverse Momenta in $pA$ and $^{12}CA$ Collisions

N. N. Antonov<sup>a</sup>, A. A. Baldin<sup>b</sup>, V. A. Viktorov<sup>a</sup>, A. S. Galoyan<sup>b</sup>, V. A. Gapienko<sup>a, \*</sup>,  
G. S. Gapienko<sup>a</sup>, V. N. Gres'ya<sup>a</sup>, M. A. Ilyushin<sup>a</sup>, A. F. Prudkoglyad<sup>a</sup>, D. S. Pryanikov<sup>a</sup>,  
V. A. Romanovskii<sup>a</sup>, A. A. Semak<sup>a</sup>, I. P. Solodovnikov<sup>a</sup>, V. I. Terekhov<sup>a</sup>,  
M. N. Ukhanov<sup>a</sup>, and S. S. Shimanskii<sup>b</sup>

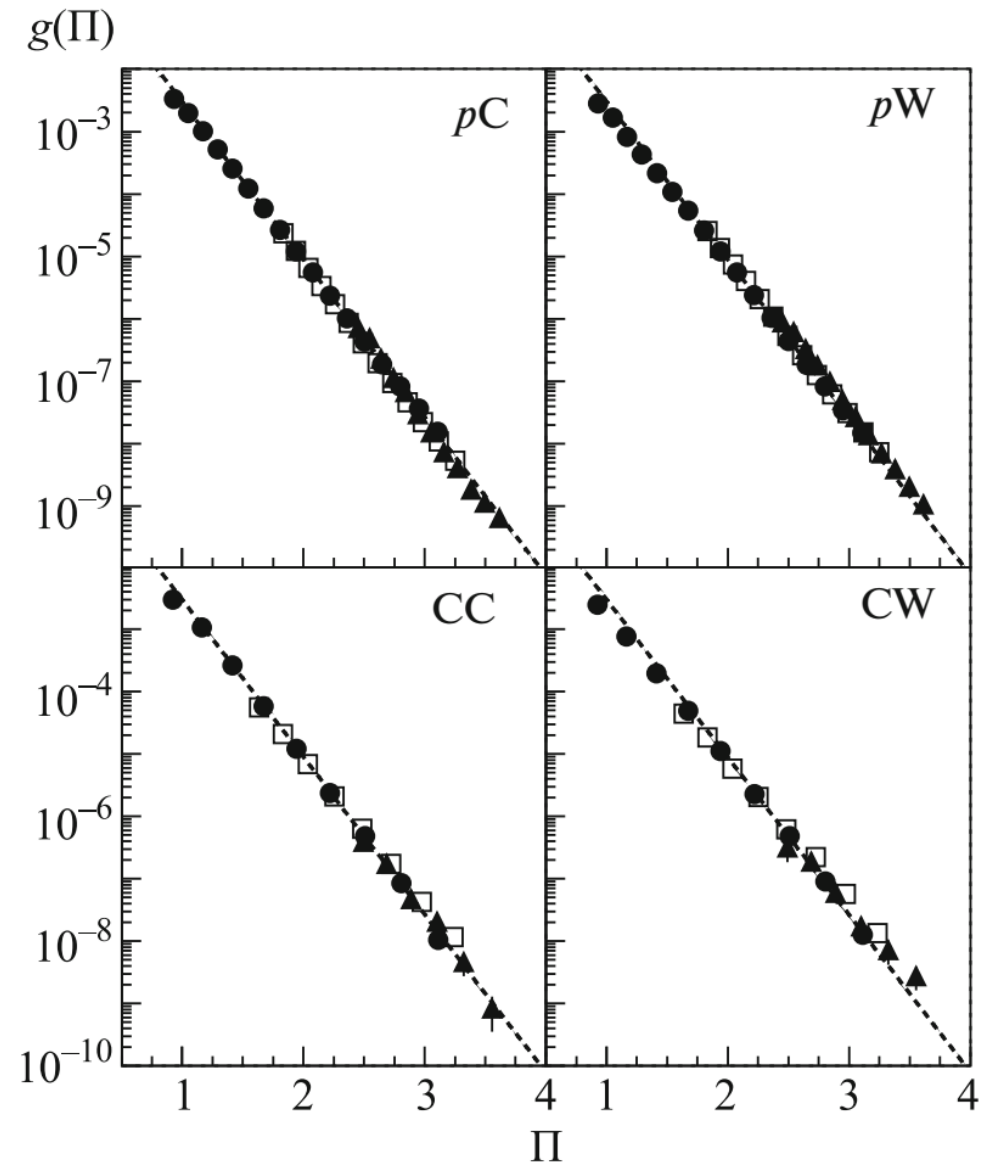
The first data on the yield of the lightest nuclear fragments (protons  $p$ , deuterons  $d$ , and tritons  $t$ ) with high transverse momenta  $p_T$  at an angle of  $40^\circ$  in the laboratory reference frame from nuclear targets bombarded by 50-GeV/ $c$  protons and 20A-GeV/ $c$  carbon nuclei obtained in the SPIN experiment (IHEP, Protvino, Russia) have been reported. It has been shown that the  $pA$  and  $CA$  data can be described within a common scaling approach, which possibly indicates that the mechanism of formation of high- $p_T$  nuclear fragments is common for these reactions.

$$f_{A_1+A_2} = E \frac{d^3\sigma}{dp^3} = C_1 A_1^{\alpha(X_1)} A_2^{\alpha(X_2)} \exp(-\Pi/C_2)$$



**Fig. 1.** Spectra of (circles) protons, (rectangles) deuterons, and (triangles) tritons in four different collisions. The vertical dashed straight lines indicate the kinematic limit of elastic nucleon–nucleon scattering at  $40^\circ$ .

$$g(\Pi) = E \frac{d^3\sigma}{dp^3} / \left( C_1 A_1^{\alpha(X_1)} A_2^{\alpha(X_2)} \right) \quad \alpha(X) = (2.4 + X)/3$$



**Fig. 4.** Exponential dependence of the cross sections on  $\Pi$  for (circles) protons, (squares) deuterons, and (triangles) tritons. The dashed lines represent the function  $\exp(-\Pi/0.172)$ .

## ELEMENTARY PARTICLES AND FIELDS

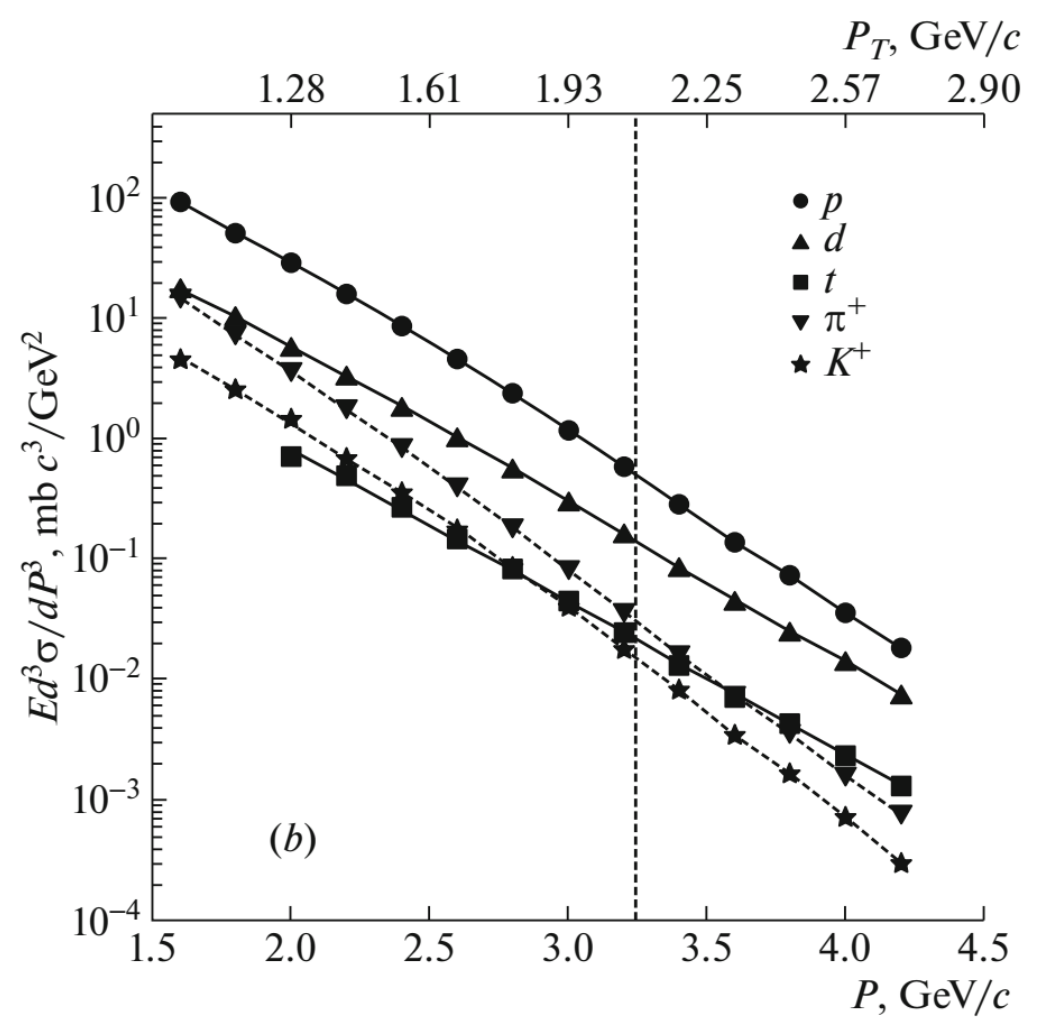
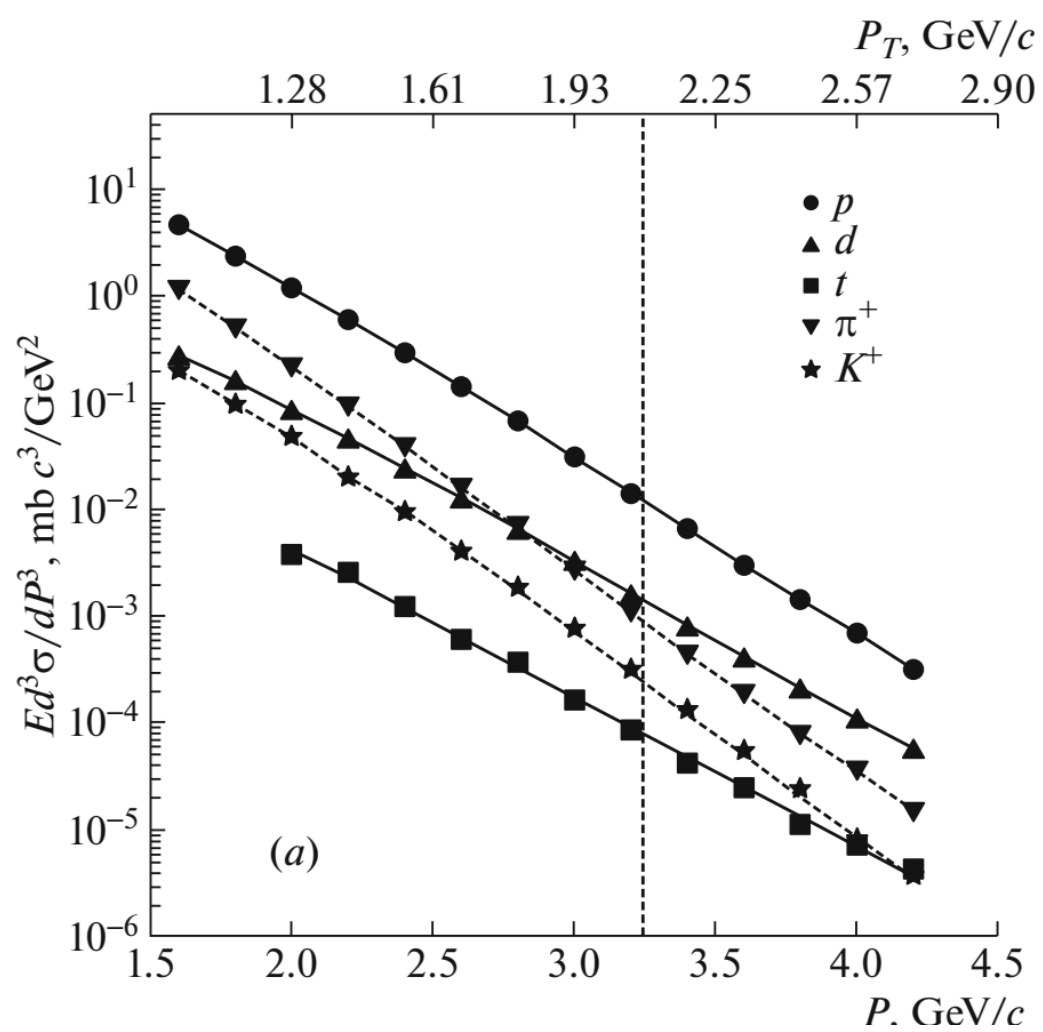
### Experiment

# Production of High-Transverse-Momentum Deuterons and Tritons at an Angle of $40^\circ$ in Proton–Nucleus Interactions at a Beam Energy of 50 GeV

N. N. Antonov<sup>1)</sup>, V. A. Viktorov<sup>1)</sup>, V. A. Gapienko<sup>1)</sup>\*, G. S. Gapienko<sup>1)</sup>,  
V. N. Gres<sup>1)</sup>, A. F. Prudkoglyad<sup>1)</sup>, V. A. Romanovskii<sup>1)</sup>, A. A. Semak<sup>1)</sup>,  
I. P. Solodovnikov<sup>1)</sup>, V. I. Terekhov<sup>1)</sup>, M. N. Ukhanov<sup>1)</sup>, and S. S. Shimanskii<sup>2)</sup>

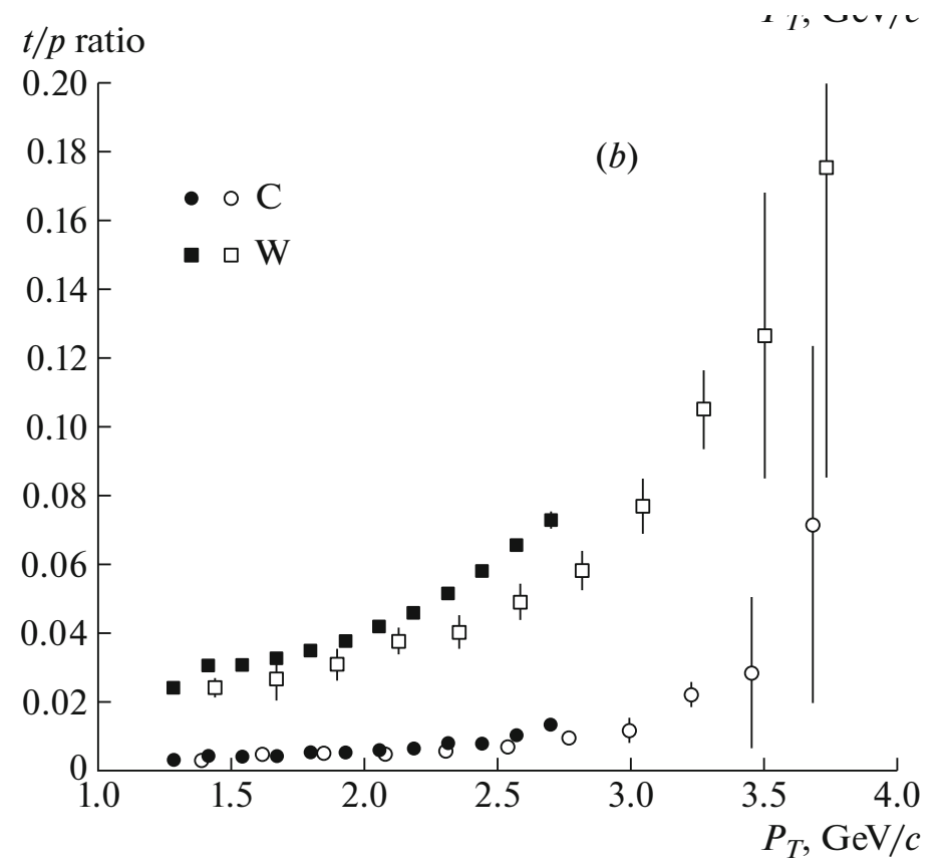
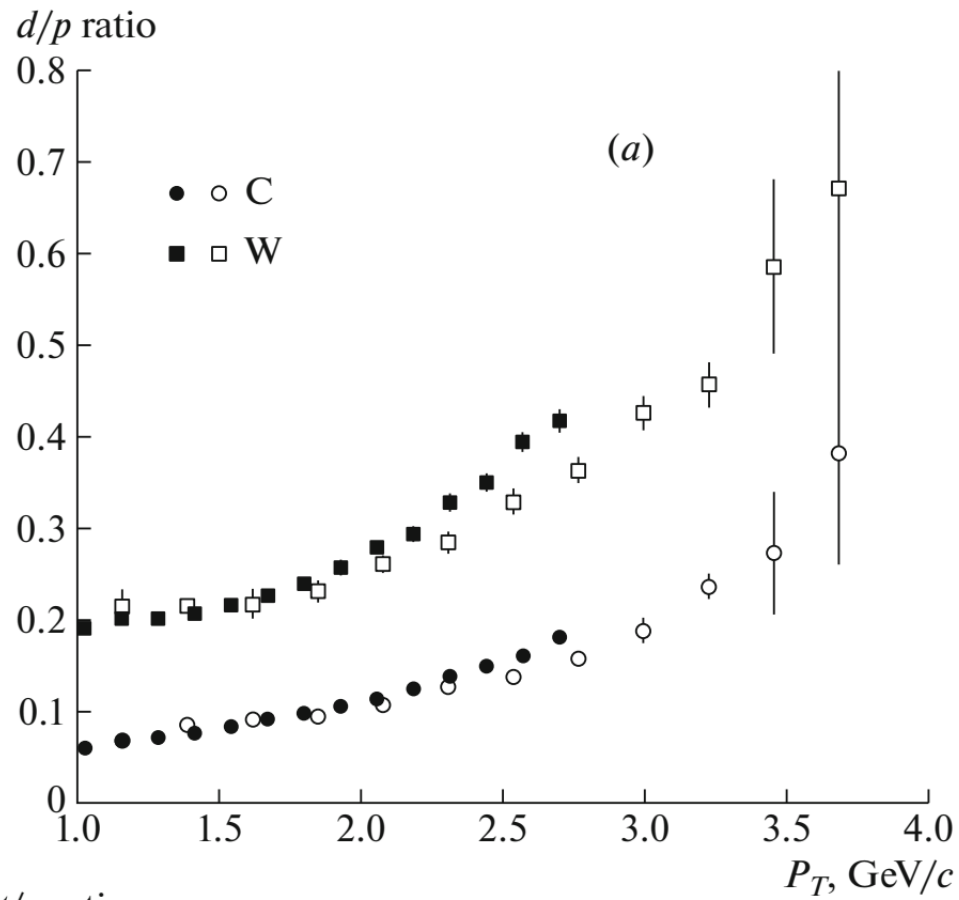
Received December 27, 2021; revised December 27, 2021; accepted January 5, 2022

**Abstract**—Data on the production of positively charged particles emitted at an angle of  $40^\circ$  (in the laboratory frame) with transverse momenta of up to  $2.7 \text{ GeV}/c$  in the interaction of  $50\text{-GeV}/c$  protons with carbon, aluminum, copper, and tungsten nuclear targets are presented. Particular attention is given to studying the production of light nuclear fragments, such as deuterons ( $d$ ) and tritons ( $t$ ). An analysis of data on  $d$  and  $t$  particles gives grounds to state that these fragments arise via a local mechanism of their direct knockout from nuclei. The results were obtained in the SPIN experiment at the Institute for High Energy Physics (IHEP, Protvino).



**Fig. 2.** Invariant cross sections for  $\pi^+$ ,  $K^+$ ,  $p$ ,  $d$ , and  $t$  production at an angle of  $40^\circ$  in proton interactions with (a) carbon and (b) tungsten targets. The vertical lines correspond to elastic nucleon–nucleon scattering at an angle of  $40^\circ$ . The transverse-momentum values are given on the upper horizontal scale. The curves in this figure are drawn to guide the eye.





**Fig. 3.** Ratios of the (a) deuteron and (b) triton yields to the proton yield at various transverse momenta of particles in the cases of employing carbon and tungsten targets. The closed symbols represent results of the present study. The open symbols stand for data measured earlier in [3] for an angle of  $35^\circ$ .

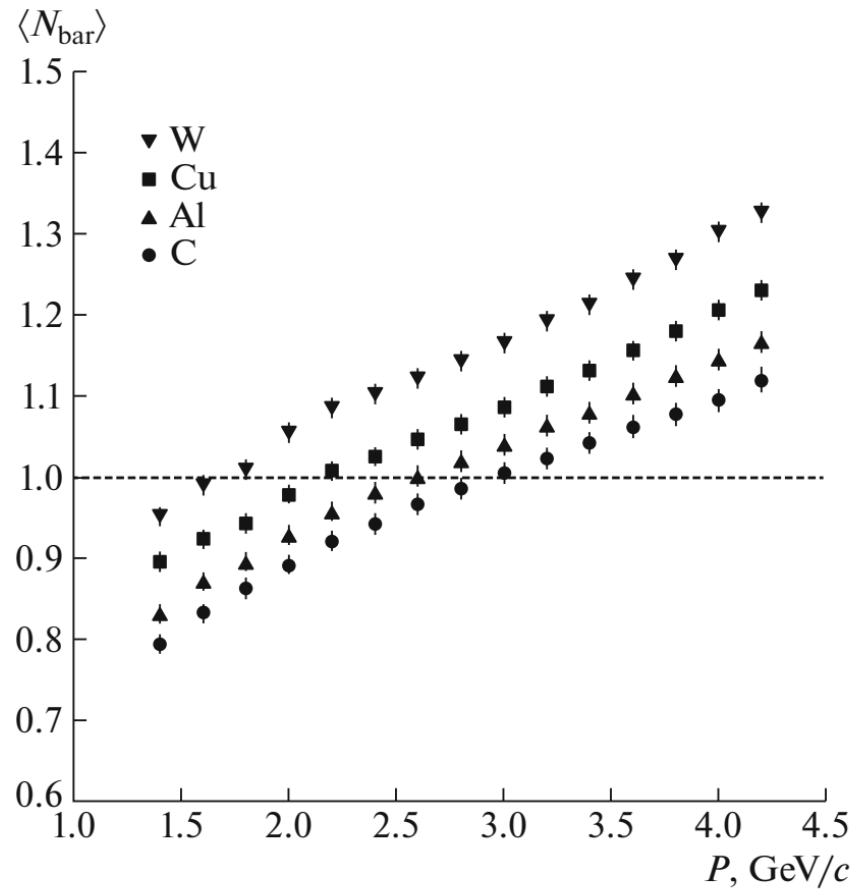
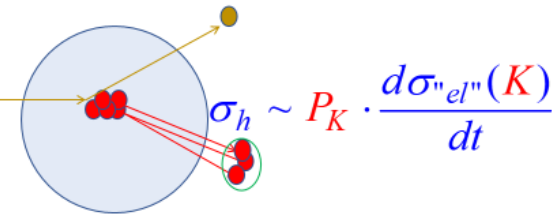


Fig. 4. Average baryon number at various momenta.

Среднее число барионов для флуктонов с разными свойствами

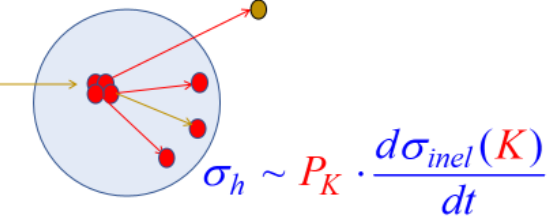
$\langle B \rangle > 1$

«Холодные» флуктоны - меньшие ядра в сжатой конфигурации. Выбивание лёгких ядер.



$\langle B \rangle < 1$

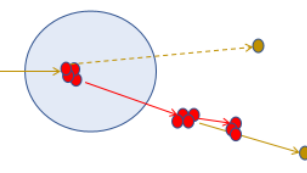
Горячие флуктоны - кварки и глюоны в малом объёме и большие относительные импульсы.



Среднее число барионов для флуктонов с разными свойствами

$\langle B \rangle > 1$

Холодные флуктоны. Выбивание возбуждённых мгнонуклонных конфигураций и дальнейший их распад.



$$\frac{E_d}{\sigma_{inel}} \frac{d^3\sigma_A}{dp_d^3} = B_2 K_{np} \left( \frac{E_p}{\sigma_{inel}} \frac{d^3\sigma_p}{dp_p^3} \right)^2$$

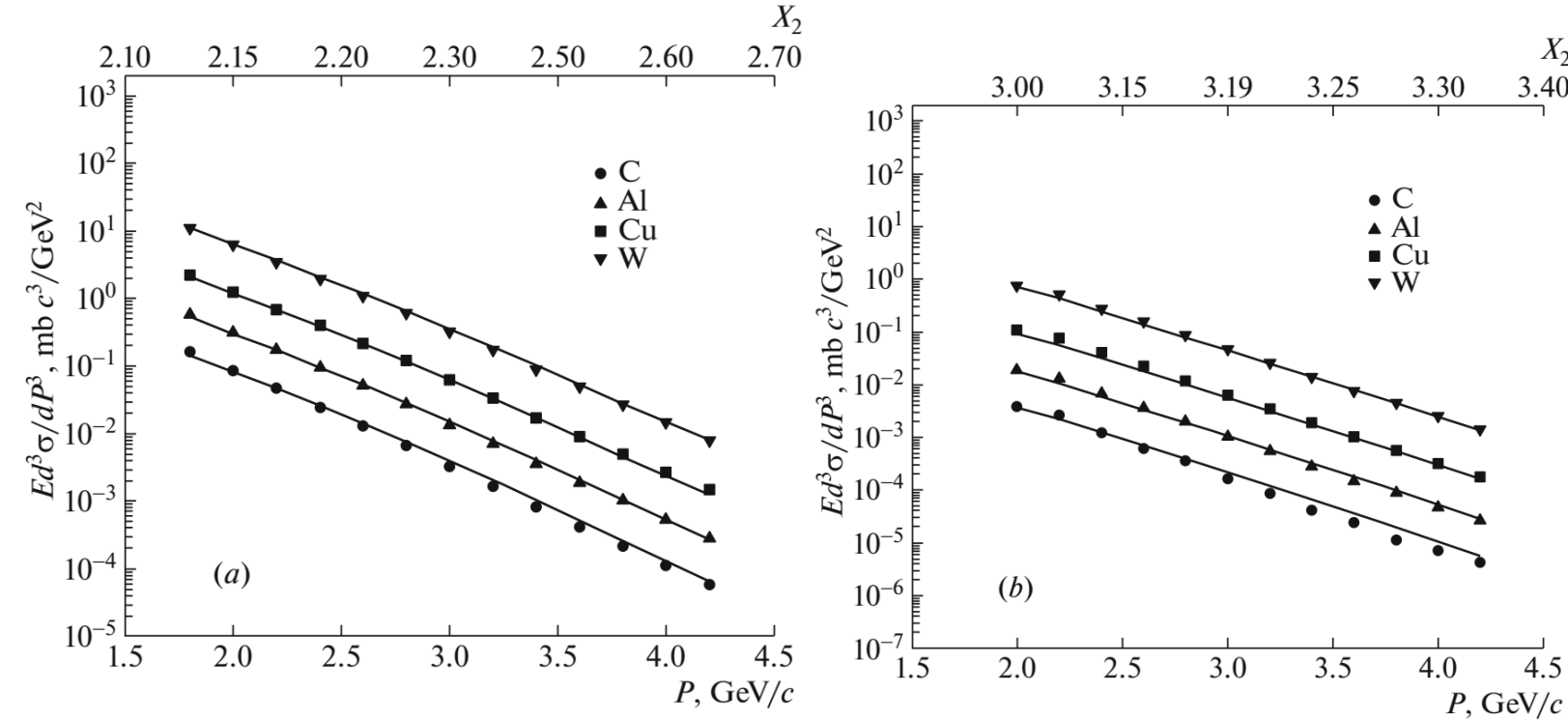
Table 1. Average values of  $B_2$  for  $p_d = 2-4$  GeV/c

Target	C	Al	Cu	W
$B_2, \text{GeV}^2/c^3$	$0.021 \pm 0.004$	$0.025 \pm 0.004$	$0.029 \pm 0.005$	$0.022 \pm 0.003$

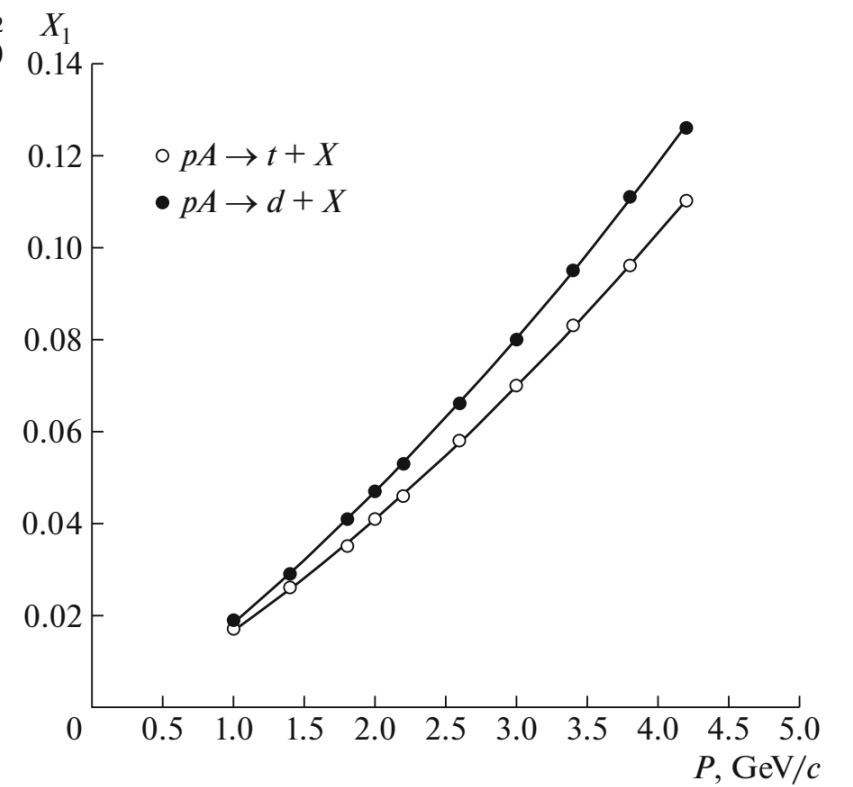
$$\alpha(X) = (2.45 + X)/3$$

$$E \frac{d^3\sigma}{dp^3} = C_1 A_1^{\alpha(X_1)} A_2^{\alpha(X_2)} \exp(-\Pi/C_2) \quad C_2 = 0.172 \pm 0.003$$

$$C_1 = 185 \pm 15 \text{ mb } c^3/\text{GeV}^2 \text{ (d)} \quad C_1 = 56 \pm 13 \text{ mb } c^3/\text{GeV}^2 \text{ (t)}$$



**Fig. 5.** Invariant cross sections for (a) deuteron and (b) triton production versus the momentum. The calculated values of the variable  $X_2$  are given on the upper horizontal scales. The curves represent the results of an approximation of the data by a parameterization of the form (3).



**Fig. 6.** Values calculated for Stavinsky's variable  $X_1$  for  $d$  and  $t$  production according to the algorithm proposed in [14] for various values of the fragment momentum.

**Спасибо, что пришли и слушали!**