

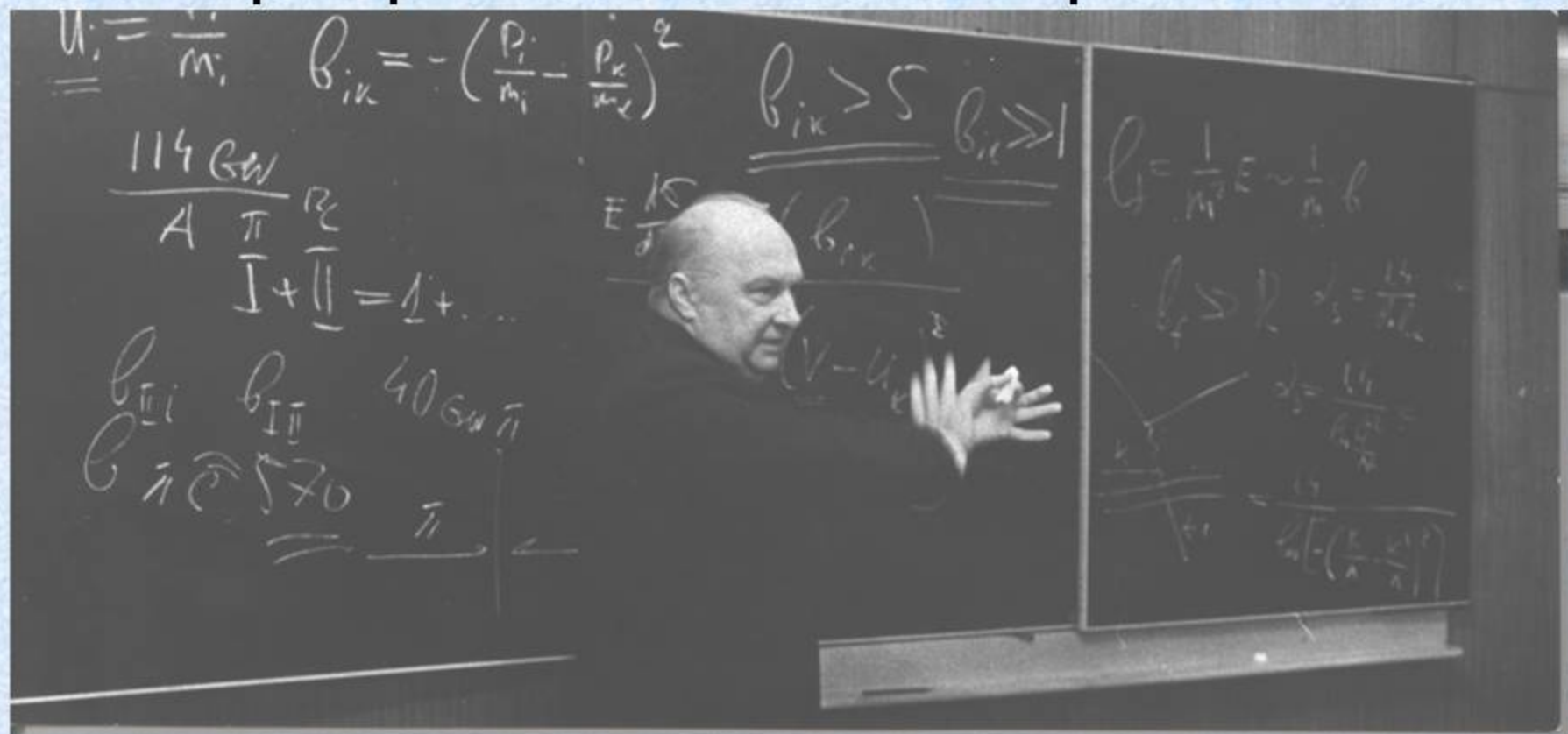
Семинар, посвященный 85-летию академика А.М. Балдина

**Теоретические аспекты
релятивистской ядерной
физики**

В.В.Буров

Александр Михайлович Балдин

26 февраля 1926 - 29 апреля 2001



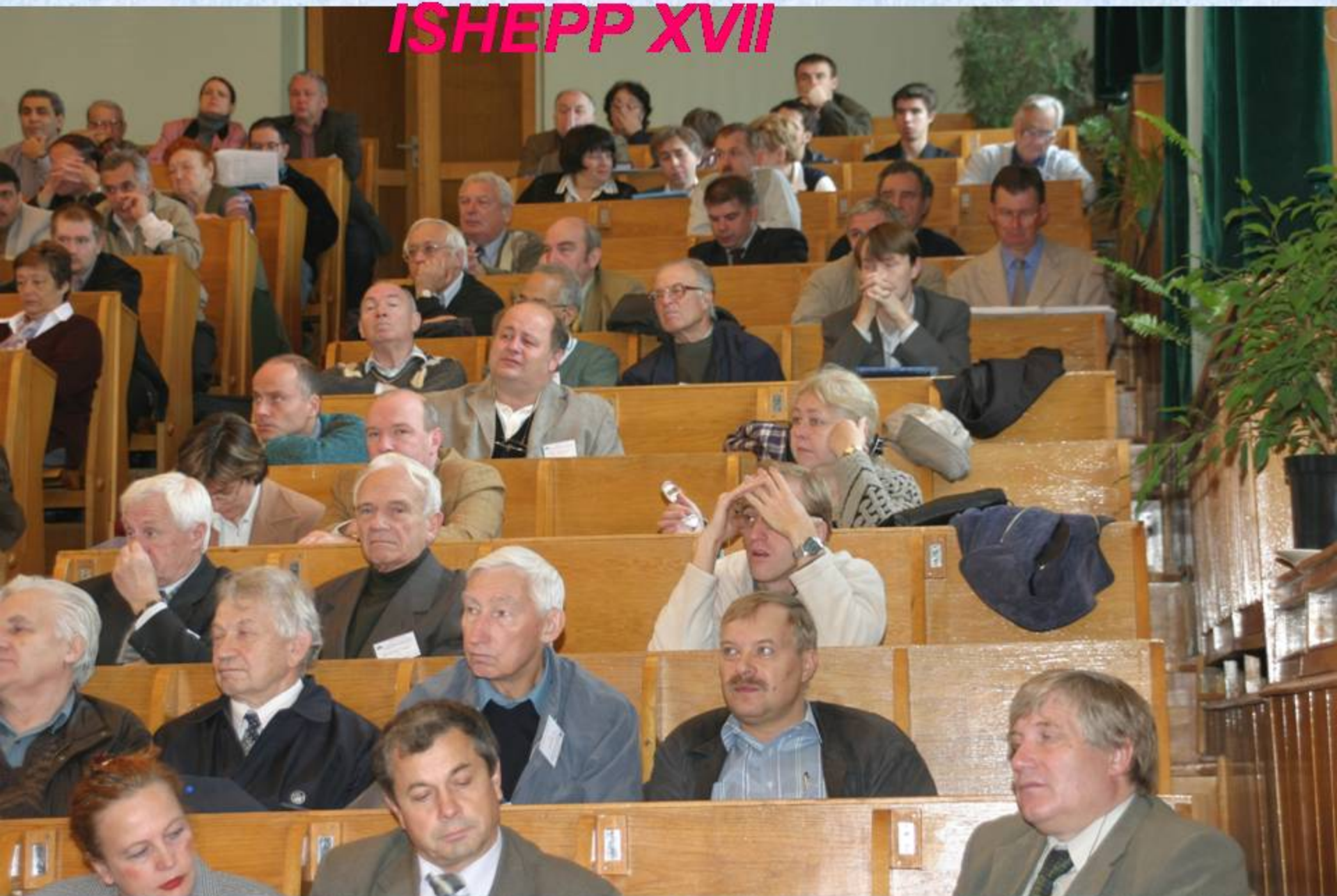
Dubna Seminars 1969 - 2010

- The subsequent seminars of this series were devoted to the physics of strong interactions, multiparticle production, relativistic nuclear physics, quantum chromodynamics, cumulative meson production, structure functions, **EMC-effect**, ...
- The laws governing the limiting fragmentation of nuclei and the nuclear reactions with large momentum transfers which were discovered in the early seventies became the main trends in the program of investigations of relativistic nuclear collisions at the **Synchrofasotron and Nuclotron**.

Dubna Seminars 1969 - 2010

- The Proceedings of the ISHEPP VI -XIX include talks on hot problems of the **relativistic nuclear physics** and reports on status and perspectives of the important experiments which devoted to investigations of the exotic properties and polarization phenomena of the relativistic nuclei.
- **As a rule during the Seminars more than two hundred participants from 20th countries presents more than 120 reports.**

ISHEPP XVII



11.03.2011

Теоретические аспекты РЯФ

5

ISHEPP XVIII

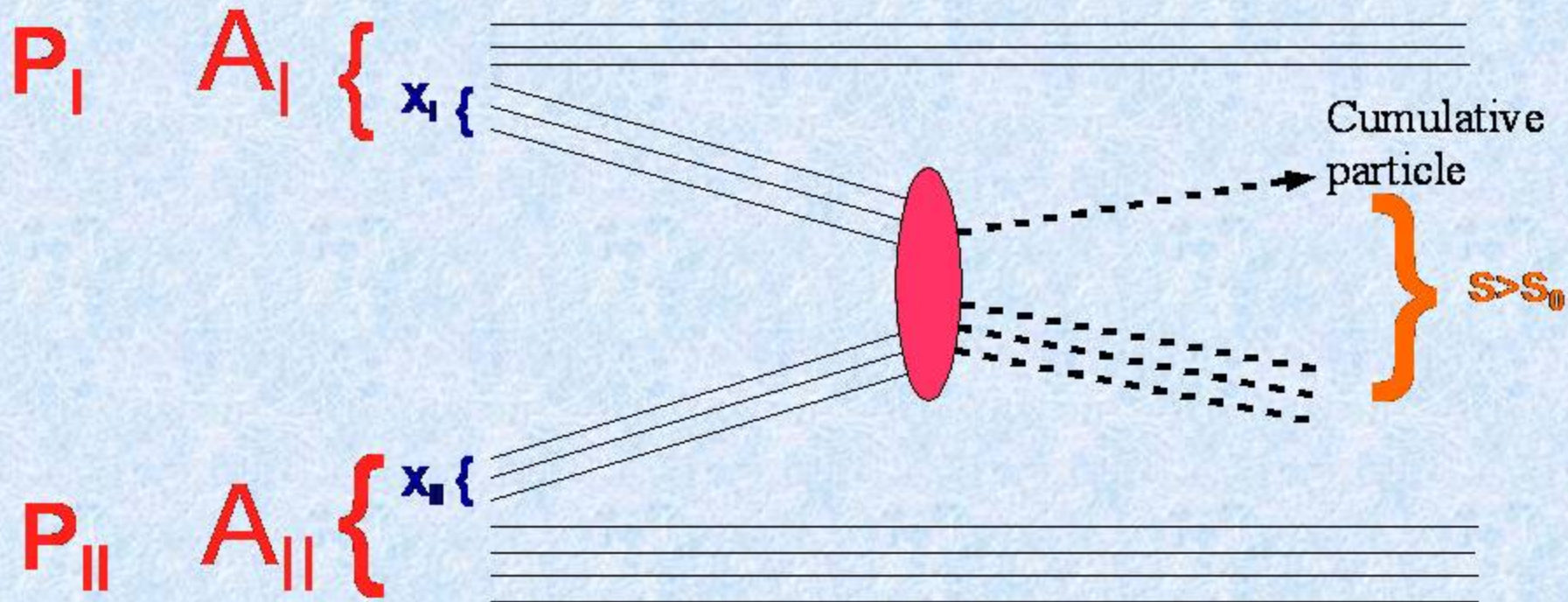
2006.09.25



Cumulative effect-40 years: Historical Notes

- 1. Cumulative processes.
Kinematics.*
- 2. Predictions.*
- 3. Experiment.*
- 4. Theory.*

Cumulative processes



$$s_0 = \left(\frac{P_I}{A_I} + \frac{P_{II}}{A_{II}} \right)^2$$

kinematics' limit for free
NN-interaction

$$S_{\text{cumulative}} = \left(X_{\text{I}} \cdot \frac{P_{\text{I}}}{A_{\text{I}}} + X_{\text{II}} \cdot \frac{P_{\text{II}}}{A_{\text{II}}} \right)^2$$

Cumulative processes -> $S_{\text{cumulative}} > S_0$

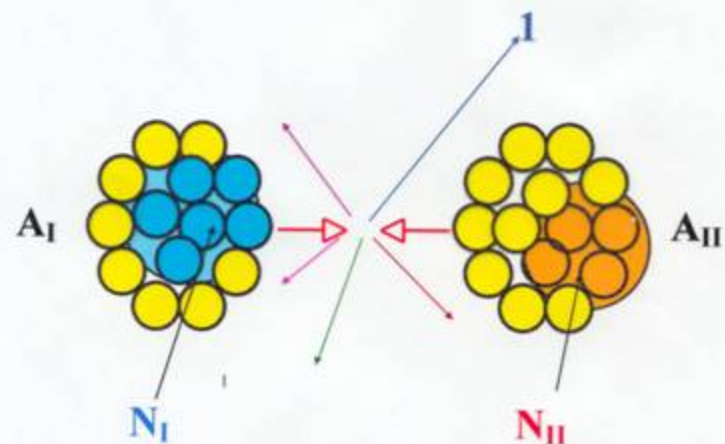
$X_{\text{I}} \in [0, A_{\text{I}}]$ and $X_{\text{II}} \in [0, A_{\text{II}}]$

$X_{\text{I}} = X_{\text{II}} = 1$ - for free NN-interaction



Cumulative effect

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



$N_{I,II} > 1 \leftarrow$ CUMULATIVE region

...с помощью ускорения тяжелых ядер, обладающих более высоким зарядом, можно было бы сравнительно дешевым способом в короткие сроки получить пучки частиц рекордно высоких энергий.

...it is possible to obtain the record high energy particle beams by means of accelerating the heavy nuclei with large charges

январь 1971

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Ордена Ленина

Физический институт им П.Н. Лебедева

ННЫХ
УЧЕНИЯ
ПРИ
ЗАРЯДНЫХ

двух време-
и электрон-
иц, обладаю-
, обладающих
о, в принципе
оряемых час-
ля) большую,
ое кратности
нхрофазотро-
в с энергией
ргией 20 Гэв,

е) с энергией 100 Гэв. Возни-
кает вопрос, не получится ли в резуль-
тате столкновения тяжелых ядер, например, неона,
обладающих энергией 100 Гэв, пучки вторичных частиц,
полученные пока только на Серпуховском ускорителе?

Утвердительный ответ на этот вопрос означал бы, что
с помощью ускорения тяжелых ядер, обладающих более
высоким зарядом, можно было бы сравнительно деше-
вым способом в короткие сроки получить пучки частиц
рекордно высоких энергий.

Цель настоящей заметки – рассмотреть этот вопрос
и сделать определенные предсказания.

Обычно на вопрос о возможности передачи большой
энергии составным ядром отдельному (например, сво-

The first introduction of the term “cumulative effect”

Выражаю глубокую благодарность С. Б. Герасимову, А. Б. Говоркову и Г. Н. Флерову за обсуждение изложенных соображений. Как мне стало известно, Г. Н. Флеров еще несколько лет назад высказывал мысль о возможных кумулятивных эффектах при соударении релятивистских ядер.

Поступила в редакцию
11 ноября 1970 г.



P1 - 5819

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

А. М. Балдин, Н. Гиордэнеску, В. Н. Зубарев,
А. Д. Кириллов, В. А. Кузнецов, Н. С. Мороз,
В. Б. Радоманов, В. Н. Рамзия, В. А. Свиридов,
В. С. Ставинский, М. И. Якута

НАБЛЮДЕНИЕ ПИОНОВ
ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ
ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ
ДЕЙТОНОВ С ЯДРАМИ

1971

The first experimental data

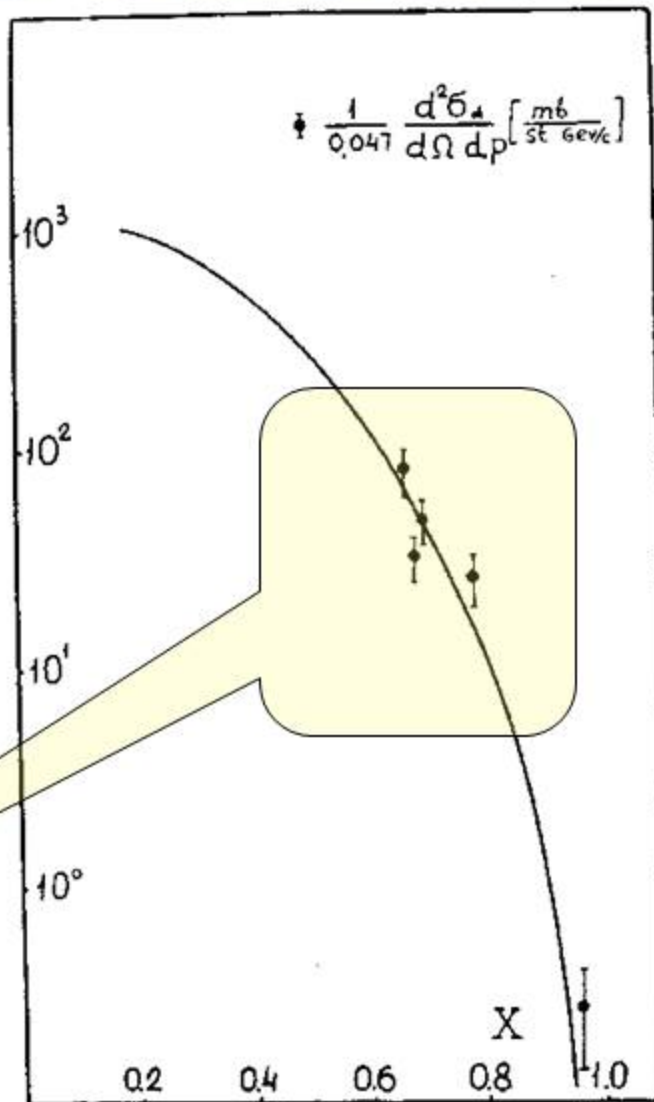


Рис. 3. Сравнение экспериментальных данных по сечению рождения пионов дейтронами с теоретической функцией, описывающей сечение рождения пионов протонами.

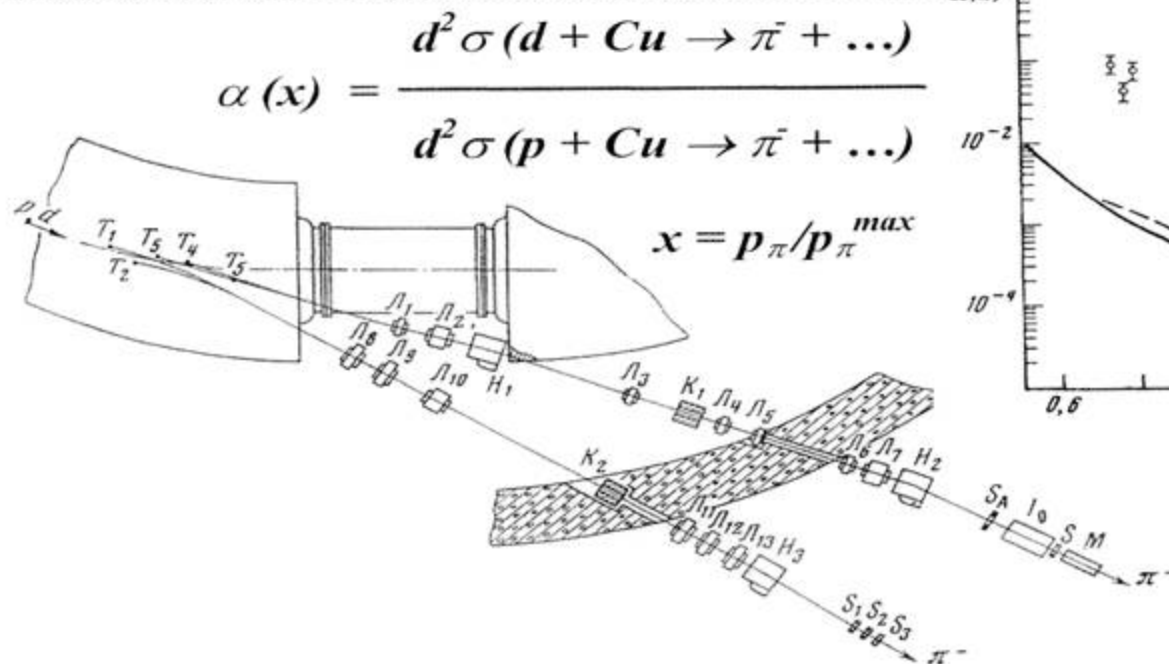
КУМУЛЯТИВНОЕ МЕЗОНООБРАЗОВАНИЕ

А. М. БАЛДИН, С. Б. ГЕРАСИМОВ, Н. ГИОРДЭНЕСКУ, В. Н. ЗУБАРЕВ,
 Л. К. ИВАНОВА, А. Д. КИРИЛЛОВ, В. А. КУЗНЕЦОВ, Н. С. МОРОЗ,
 В. Б. РАДОМАНОВ, В. Н. РАМЖИН, В. С. СТАВИНСКИЙ, М. И. ЯЦУТА

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

(Поступила в редакцию 5 февраля 1973 г.)

Измерена вероятность рождения мезонов ускоренными ядрами дейтерия. Энергия вторичных пионов превышает энергию одного нуклона ядра дейтерия. Отношение сечений рождения мезонов ядрами дейтерия к сечению рождения пионов нуклонами при равных энергосодержаниях не зависит ни от отношения импульса пиона к максимально возможному по кинематике, ни от энергии первичных дейтронов и равно 0,06. Сама величина отношения и ее энергетическая зависимость не может быть объяснена ферми-движением.



Energy Dependence of Charged Pions Produced at 180° in 0.8–4.89-GeV Proton-Nucleus Collisions

L. S. Schroeder, S. A. Chessin, J. V. Geaga, J. Y. Grossiord,^(A)
J. W. Harris, D. L. Hendrie, R. Treuhaff, and K. Van Bibber

Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Berkeley, California 94720
(Received 25 September 1979)

High-energy charged pions produced at 180° in 0.8–4.89-GeV proton-nucleus collisions have been studied. Both the slopes of the energy spectra and the π^-/π^+ ratios increase rapidly with primary energy up to ~ 3 –4 GeV, where limiting values appear to be reached. The dependence on target mass also changes over this energy range. Unlike forward pion-production results, backward pions at these energies do not obey the scaling law suggested by Schmidt and Blankenbecler.

We report on a systematic study of the energy dependence of charged pions produced at 180° in the collisions of 0.8–4.89-GeV protons with nuclei. A principal reason for studying production of energetic pions from nuclei in the backward direction is that in free nucleon-nucleon (N - N)

collisions such production is kinematically restricted. Observation of pions beyond this kinematic limit may then be evidence for exotic production mechanisms such as production from clusters.^{1–5} Early experiments by Baldin *et al.*⁶ using 5.14- and 7.52-GeV protons observed

© 1979 The American Physical Society

1787

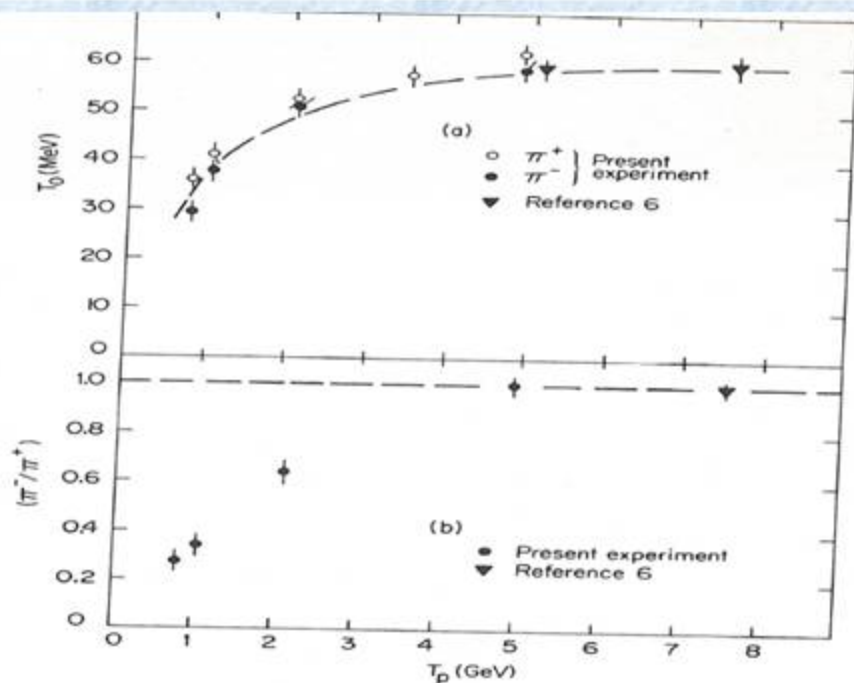


FIG. 1. Energy dependence of (a) T_0 parameter for pions, and (b) the π^-/π^+ ratio at 180° obtained by integrating each spectra up to 100 MeV for p -Cu collisions from 0.8 to 4.89 GeV. The dashed curve in both cases refers to the predictions of the "effective-target" model (Refs. 3 and 4).

tering mechanism to one where nucleon clusters play an ever increasing role. To isolate the production mechanism further, experiments are required which will measure additional observables such as associated multiplicities and two-particle correlations. However, it is clear that by measuring the production of pions in kinematic regions beyond those available in free N - N collisions, such as at 180° and high energies, one is probing the short-range behavior of nucleons in nuclei. This behavior might manifest itself as large Fermi momenta or nucleon clusters.

(a) Present address: Institut de Physique Nucléaire de Lyon, Lyon, France.

¹V. V. Burov, V. K. Lukyanov, and A. I. Titov, *Phys. Lett.* **67B**, 46 (1977).

²M. I. Gorenstein and G. M. Zinovjev, *Phys. Lett.* **67B**, 100 (1977).

³Meng Ta-chung, in *Proceedings of the Symposium on Relativistic Heavy Ion Collisions, 1978*, edited by R. Bock and R. Stock (Gesellschaft für Schwerionenforschung, Darmstadt, W. Germany, 1978).

⁴H. B. Mathis and Meng Ta-chung, *Phys. Rev. C* **18**, 952 (1978).

⁵L. L. Frankfurt and M. I. Strikman, *Phys. Lett.* **83B**, 407 (1979).

⁶A. M. Baldin, N. Giordenescu, V. N. Zubarev, L. K. Ivanova, N. S. Moroz, A. A. Povtoreiko, V. B. Radomanov, and V. S. Stavinskii, *Yad. Fiz.* **20**, 1201 (1975) [*Sov. J. Nucl. Phys.* **20**, 629 (1976)].

⁷C. F. Perdrisat, S. Frankel, and W. Frati, *Phys. Rev. C* **18**, 1764 (1978).

⁸R. D. Amado and R. M. Woloshyn, *Phys. Rev. Lett.* **36**, 1435 (1976).

⁹S. Frankel, *Phys. Rev. Lett.* **38**, 1338 (1977).

¹⁰T. Hayashiro, O. Kusumoto, G. Fujioka, H. Fukushima, and T. Hara, *Lett. Nuovo Cimento* **16**, 71 (1976).

¹¹I. A. Schmidt and R. Blankenbecler, *Phys. Rev. D* **15**, 3321 (1977).

¹²J. Papp, J. Jaros, L. Schroeder, J. Staples, H. Steiner, A. Wagner, and J. Wiss, *Phys. Rev. Lett.* **34**, 601 (1975).

¹³R. P. Feynman, *Phys. Rev. Lett.* **23**, 1415 (1969).

¹⁴A. M. Baldin, in *Proceedings of the Nineteenth International Conference on High Energy Physics, Tokyo, Japan, 1978*, edited by G. Takeda, S. Homma, M. Kawaguchi, and H. Miyazawa (Physical Society of

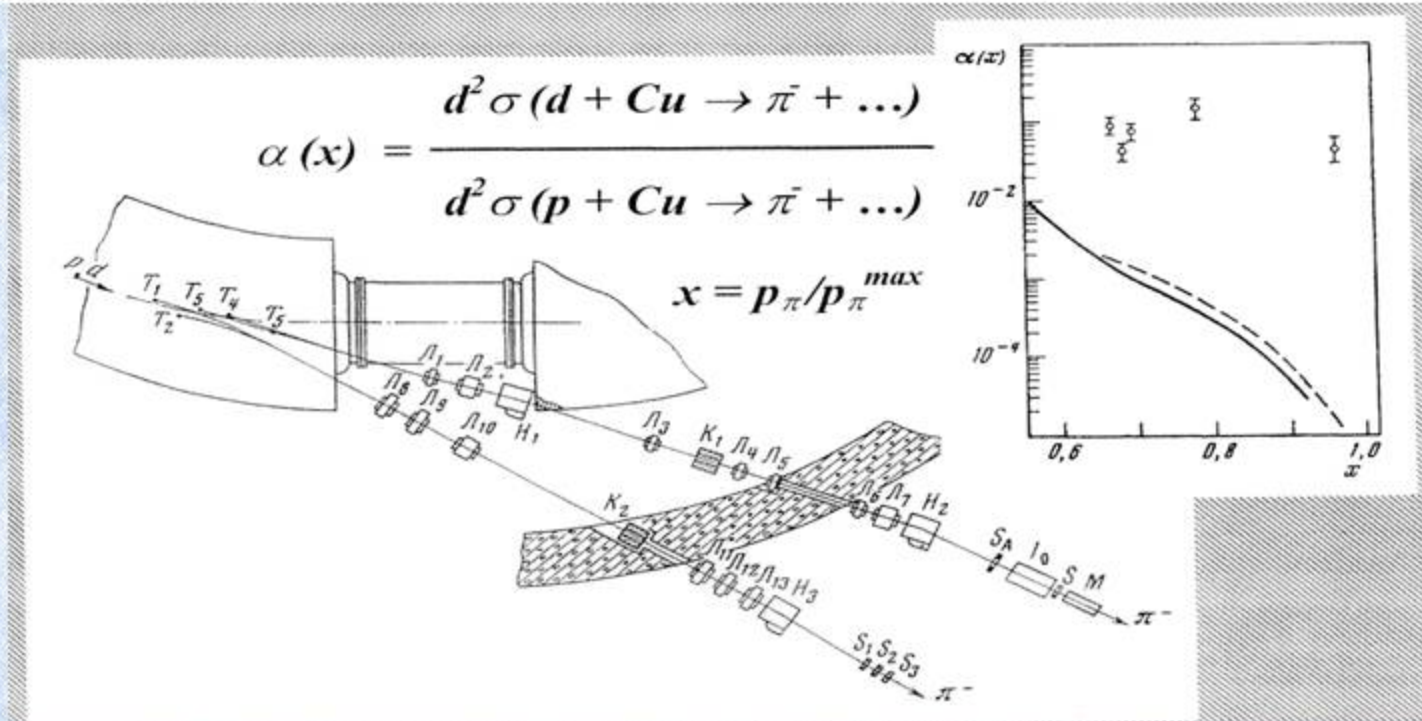
КУМУЛЯТИВНОЕ МЕЗОНООБРАЗОВАНИЕ

А. М. БАЛДИН, С. Б. ГЕРАСИМОВ, Н. ГИОРДЭНЕСКУ, В. Н. ЗУВАРЕВ,
 Л. К. ИВАНОВА, А. Д. КИРИЛЛОВ, В. А. КУЗНЕЦОВ, Н. С. МОРОЗ,
 В. Б. РАДОМАНОВ, В. Н. РАМЖИН, В. С. СТАВИНСКИЙ, М. И. ЯЦУТА

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

(Поступила в редакцию 5 февраля 1973 г.)

Измерена вероятность рождения мезонов ускоренными ядрами дейтерия. Энергия вторичных пионов превышает энергию одного нуклона ядра дейтерия. Отношение сечений рождения мезонов ядрами дейтерия к сечению рождения пионов нуклонами при равных энергвыделениях не зависит ни от отношения импульса пиона к максимально возможному по кинематике, ни от энергии первичных дейтронов и равно 0,06. Сама величина отношения и ее энергетическая зависимость не может быть объяснена ферми-движением.

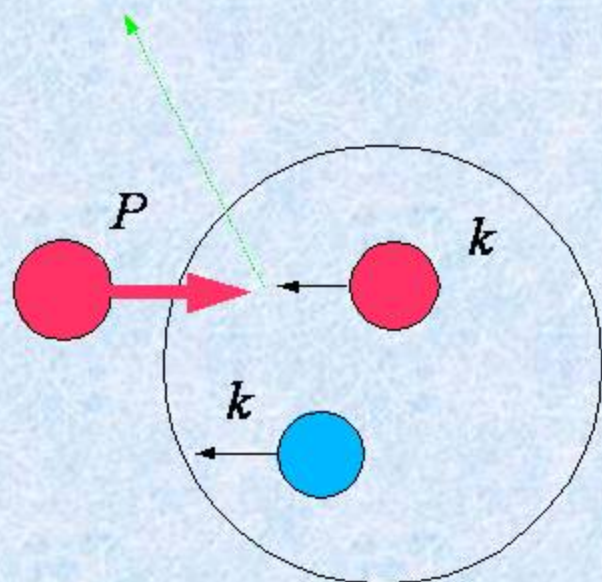


Cumulative particle production

Theory and Experiment

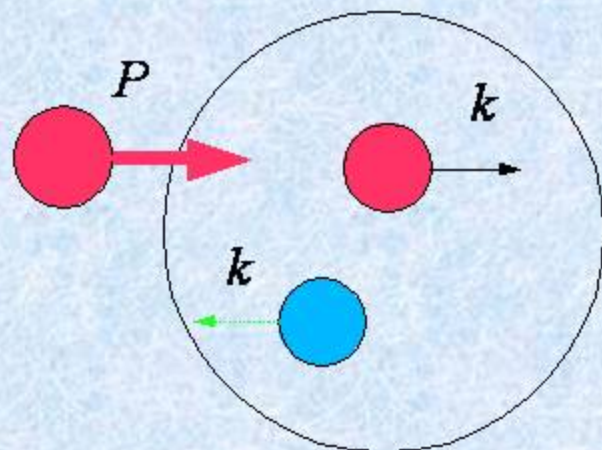
- Fermi motion (*I.S.Shapiro, ...*)
- Rescattering (*V.B.Kopeliovich, G.I. Lykasov, ...*)
- Tube Model (*F.Takagi, ...*)
- Model of the Fireball (*U.M.Zinoviev, ...*)
- Diquark Model (*S.Fridriksson, ...*)
- Correlated Clusters (CC) (*T.Fujita, V.I.Komarov, ...*)
- Fluctons (*D.I.Blokhintsev, A.V.Efremov, V.V.Burov, V.K.Lukyanov, A.I.Titov, ...*)
- Multiquark Systems (*..., V.A.Matveev, ...*)
- Experiment (*V.S.Stavinsky, A.I.Malakhov, L.S.Zolin, Yu.A. Panebratsev, L.S.Azhgirei, G.A.Leksin, S.S.Shimansky, A.G. Litvinenko, L.S. Strunov, N.Piskunov, E.A. Stokovsky, ...*)

Fermi motion



$$pA \rightarrow \pi, K, \bar{p} \dots + X$$

$$\sigma_{\pi} \propto n(\vec{k}) \cdot \sigma(NN \rightarrow \pi, K + X)$$



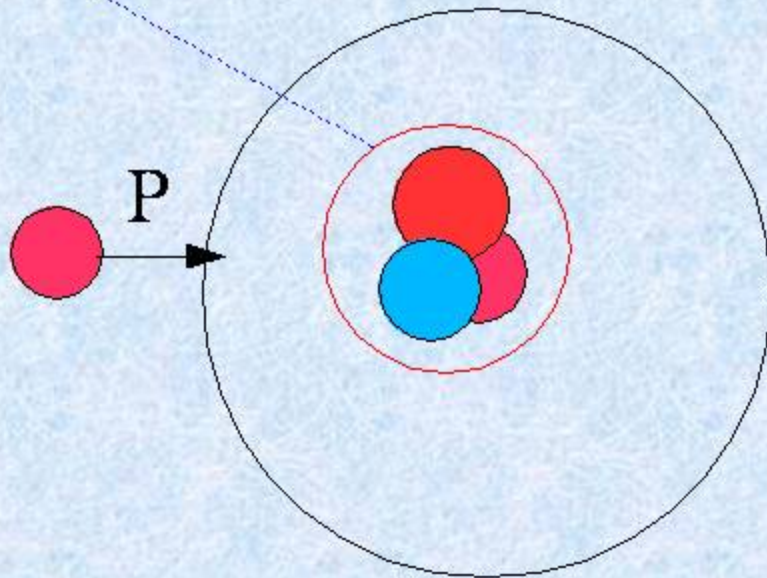
$$pA \rightarrow p, n + X$$

$$\sigma_N \propto n(\vec{k}) \cdot \sigma_0$$

Fluctons



$$\sigma_h \propto P_K \cdot G_{h/K}(K)$$



*1957 – Idea of D.I. Blokhintsev
about fluctuation of the nuclear matter,
based on experiment M.G. Mesheryakov,
L.S. Azhgirei, G.A. Leksin*

ON THE FLUCTUATIONS OF NUCLEAR MATTER

D. I. BLOKHINTSEV

Joint Institute for Nuclear Research

Submitted to JETP editor July 1, 1957

J. Exptl. Theoret. Phys. (U.S.S.R.) 33, 1295-1299 (November, 1957)

It is shown that the production of energetic nuclear fragments in collisions with fast nucleons can be interpreted in terms of collisions of the incoming nucleon with the density fluctuations of the nuclear matter.

1. INTRODUCTION

THE motion of nucleons in nuclei can result in short-lived tight nucleon clusters, in other words, in density fluctuations of nuclear matter. Since such clusters are relatively far removed from the other nucleons of the nucleus, they become atomic nuclei of lower mass in a state of fluctuating compression.

In their study of the scattering of 675-Mev protons by light nuclei, Meshcheriakov and coworkers^{1,2} observed recently certain effects which confirm the existence of such fluctuations, at least for the simplest nucleon-pair fluctuations, which lead to the formation of a compressed deuteron.

We recall in this connection reports in earlier works^{3,4} that high-energy nucleons can split nuclei into "supra-barrier" fragments, i.e., fragments with an energy much larger than their binding energy and the energy of the Coulomb barrier. However, there was a lack of quantitative experimental data on which to base the theoretical analysis.

Some authors related this curious process, without foundation, to hypothetical long-range nuclear forces. Others tried to connect it with nuclear many-body forces.

The experimental data on the emission of high-energy deuterons from light nuclei give support to the idea that "supra-barrier" fragments are produced also by direct collision of an incoming nucleon with a tight nucleon cluster that results from density fluctuations of the nuclear matter. We offer in the following a quantitative argument in favor of the production of fast deuterons and other "supra-barrier" fragments by such fluctuations.

Concerning the nuclear many-body forces, it should be noted that, according to existing estimates,⁵ there is no reason to believe that they are considerably stronger than the two-body forces. At the instant of dense clustering both paired and collective interactions may take place. However, at present there exists no experimental information which would allow an explanation of this interaction, or in particular allow a determination of the relative contributions of the paired and the collective interactions.

2. INTERACTION OF DEUTERONS WITH FAST PROTONS

It was shown experimentally^{1,2} that scattering of 675-Mev protons by deuterium produces, in addition to scattered nucleons, a small number of undestroyed deuterons of high energy (up to 660 Mev). This shows that in such collisions the nucleon imparts an appreciable fraction of its momentum to the deuteron as a whole.

ТЕОРИЯ

LARGE MOMENTUM PION PRODUCTION IN PROTON NUCLEUS COLLISIONS AND THE IDEA OF "FLUCTUONS" IN NUCLEI

V.V. BUROV

The Moscow State University, Moscow, USSR

and

V.K. LUKYANOV and A.I. TITOV

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, USSR

Received 27 January 1977

It is shown that in proton-nucleus collisions, the production of pions with large momenta can be explained by the assumption of the existence of nuclear density fluctuations ("fluctuons") at short distances of the nucleon core radius order, with the mass of several nucleons.

The purpose of this note is to realize the idea [4] that the cumulative effect is connected largely with a suggestion on the existence in nuclei of the so-called fluctuons. Earlier fluctuons were proposed [7] in order to understand the nature of the "deuteron peak" in the pA-scattering cross section at large momentum transfers [8] and also to interpret the pd-scattering

cross section [9]. Compressional fluctuations of mass $M_k = km_p$ of nucleons in the small volume $V_\xi = \frac{4}{3}\pi r_\xi^3$ where r_ξ is the fluctuon radius were assumed.

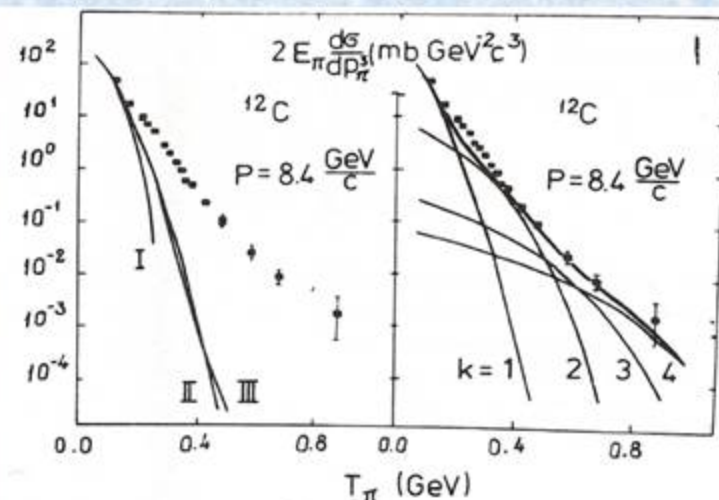


Fig. 1. (a) Calculations of the invariant pion production cross section for ^{12}C : I – for the free proton target; II – with fermi motion; III – the relativization effect. (b) The contributions of separate fluctuons with mass $M_k = km_p$ where k is the order of cumulativity.

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.

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 ^3He , 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 ($E \approx M_A \approx AM$, 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_k [1]

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

Здесь $r_0 = 1,2$ фм — средний радиус нуклон-нуклонного взаимодействия в ядре, а параметр $r_k = 0,75$ фм — порядка радиуса кора NN -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. $E_k = M_A + \Delta_k$, где $\Delta_k \geq 0,2$ 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 $|C(E \approx E_k)|^2 \approx 1$. В настоящее время есть указания на резонансное поведение фаз 1D_2 и 3F_3 нуклон-нуклонного рассеяния в области полной энергии системы $E_k \approx 2,2$ 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:

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

где A — атомный номер ядра-мишени, а

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

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

При больших энергиях масштабная переменная $x = (p_{1c}^2 + E_c^2)/(p + E)$.

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-

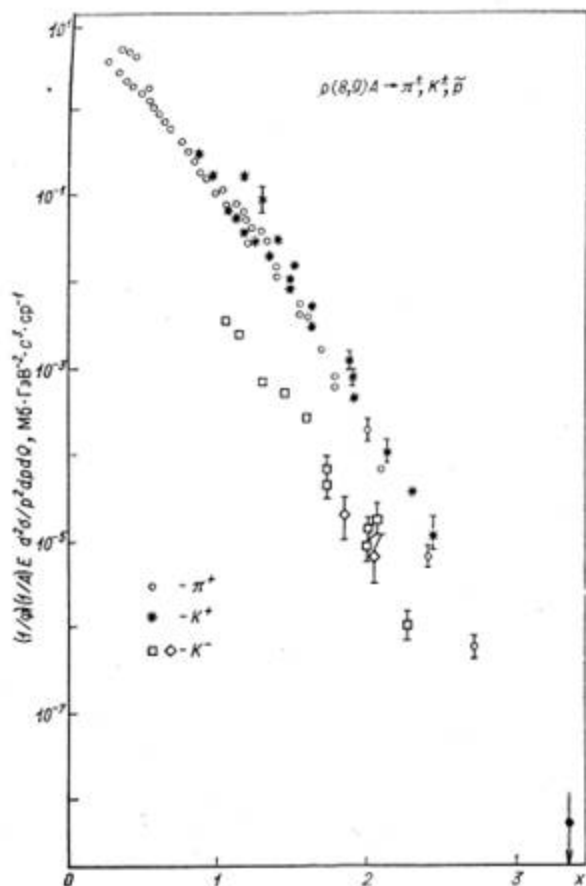


Рис. 1. Инвариантные сечения образования кумулятивных мезонов в pA -столкновениях $E_0 = 9,54$ ГэВ

ную, относящуюся к одному нуклону-мишени, $x = kX$. Отсюда видно, во-вторых, что кумулятивная область определяется как область, запрещенная по кинематике для взаимодействия с одним нуклоном ядра, т. е. $x > 1$ (в принципе теперь $k > 1$ и в пределе $k = A$ имеем $x \leq A$). Теперь можно говорить, что x имеет смысл части массы объекта, отнесенной к массе нуклона. Из рис. 1 видно [13], что процесс наблюдается при значении x , изменяющемся вплоть до 3 и даль-

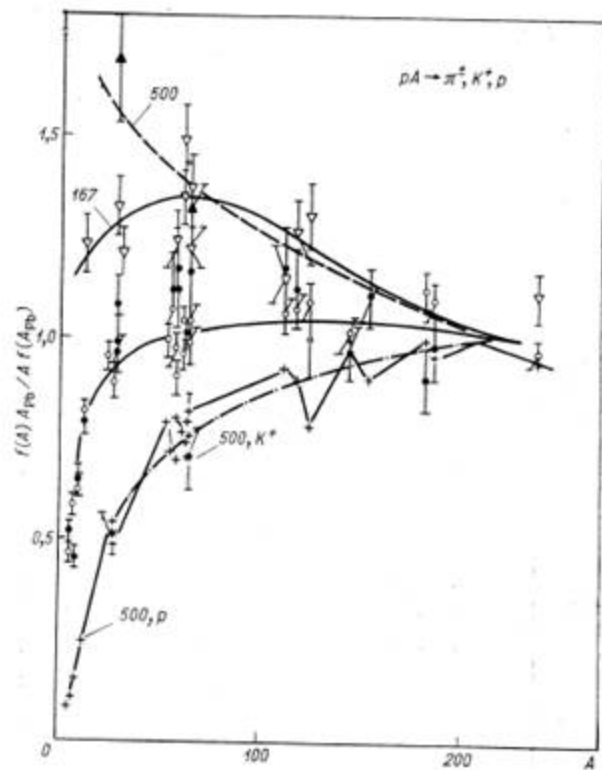


Рис. 2. Отношения $f(A) A_{pB} / A f(A_{pB})$ в зависимости от атомного номера A для различных импульсов и углов эмиссии частиц, рожденных в pA -взаимодействиях:

○, ● — данные для π^+ (168°) и π^+ (180°)-мезонов с импульсом 500 МэВ/с; ▲ — пионы с импульсом 500 МэВ/с и углом эмиссии 90° ; ▽ — пионы с импульсом 167 МэВ/с, угол 168° ; + — протоны с импульсом 500 МэВ/с, 180° ; * — мезоны, $p = 500$ МэВ/с, 168°

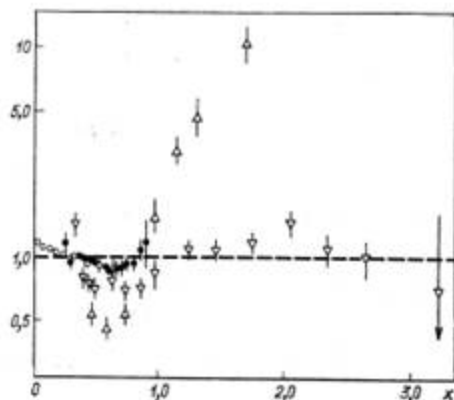


Рис. 3. Отношение инвариантных сечений:

○ — $\sigma_{Fe/D}(\mu A \rightarrow \mu' + \dots)$;
● — $\sigma_{Fe/D}(e A \rightarrow e' + \dots)$;
▲ — $\sigma_{Pb/Al}(p A \rightarrow \pi + \dots)$;
▽ — $\sigma_{Pb/D}(p A \rightarrow \pi + \dots)$

Seventh International Conference on

High-Energy Physics and Nuclear Structure

Zürich, Switzerland,
29 August—2 September 1977

organized by
Swiss Institute of
Nuclear Research
(SIN)

sponsored by
Swiss Federal Institute of Techn.
Zürich
International Union of Pure and
Applied Physics (IUPAP)

Proceedings edited by M.P. Le

INTERACTION OF NUCLEI AT HIGH ENERGIES

Herbert Steiner
Department of Physics and Lawrence Berkeley Laboratory
University of California, Berkeley, CA 94720

1977

Birkhäuser Verlag, Basel und S

11.03.2011

Теоретические аспекты РЯФ

- (2) The counting rules based on the short range $N-N$ interaction determine the behaviour of the fragmentation cross section.
- (3) Generally good agreement with experiment has been obtained for one simple model, i.e. vector exchange with nucleon form factors at each vertex, which also agrees with other data.
- (4) The vector exchange model with nucleon form factors has the same counting rules as the quark dimensional counting model. This is perhaps surprising because the energy sum too low to excite the quark degrees of freedom.
- (5) The power g is independent of energy.
- (6) The model fits quasi elastic scattering.
- (7) The predictions for scattering at backward angles can be checked.
- (8) The model allows one to describe a region of the wave function which cannot be described in non-relativistic theories.

11.3.2 Type (2) theories

A number of models based on variations of the cumulative effect have been proposed recently. For example Burov et al.²⁵ have speculated on the possible existence of fluctuations in nuclei and the role they might play in the production of particles into the shadow kinematic regions of Fig. 1. Basically a fluctuation is a localized ($\approx 0.5 - 0.7 \text{ fm}$) density fluctuation which can occur when more than one nucleon finds itself in a small volume. Burov et al. first show that the pion production cross sections of the Dubna group²⁶ cannot be explained with an independent particles model using normal Fermi-motion and taking into account relativistic effects of the nucleons in the nucleus. By invoking fluctuations they effectively increase the size of the target and hence the energy available to produce pions. They use a simple form for the nuclear wave function to calculate the relative probability of finding $k = 1, 2, 3, \dots$ nucleons inside a small volume of radius ($r \approx 0.5 - 0.7 \text{ fm}$). Here k is the order of cumulativity. The subsequent fits to the data are shown in Fig. 33. They then develop a microscopic theory of pion production from nuclei in which the fluctuations are the basic constituents. Their theory has obvious similarity to that of Schmidt and Blankenbueler. They

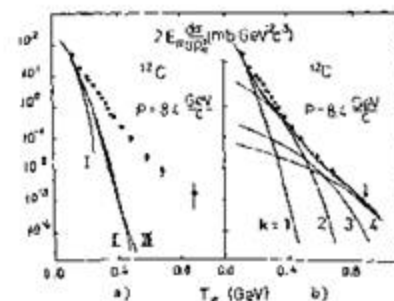


Fig. 33

- a) The calculation of the pion production invariant cross section on ^{12}C :
I the production on nucleons at rest,
II taking into account the Fermi motion,
III taking into account the relativistic effects;
- b) the contributions to the cross section from separate fluctuations with mass $M_k = k\omega$ where k is the order of cumulativity.

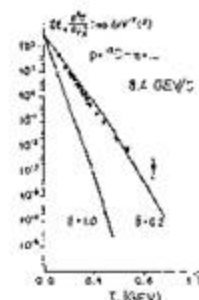


Fig. 34

The comparison with experiment of the pion production cross section on ^{12}C at $\delta = 0.2$ and $\omega = 1$, where δ is a fitted parameter invoked in order to account for the non-asymptotic incoming energy.

They parametrize their structure functions of the fluctuations

$$G_{j/k}(x_k) \sim x_k Y_j(1) (1-x_k)^j Y_j(2) + 6(k-1),$$

where $x_k = p_j/p_{j1}$. Using this model they get good fits to the data for both pion and proton inclusive spectra (Fig. 34 and

26

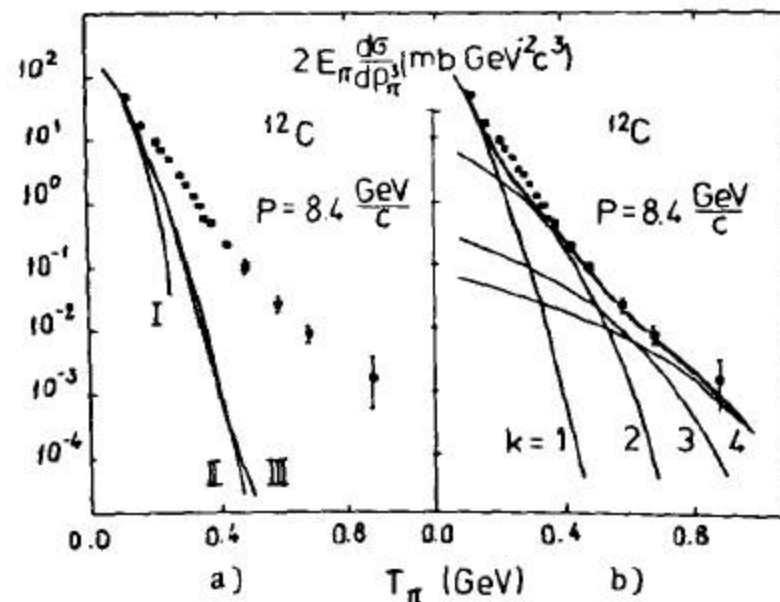


Fig. 33

a)

The calculation of the pion production invariant cross section on ^{12}C :

- I the production on nucleons at rest,
- II taking into account the Fermi motion,
- III taking into account the relativistic effects;

b)

the contributions to the cross sections from separate fluctuations with mass $M_k = km$ where k is the order of cumulativity.

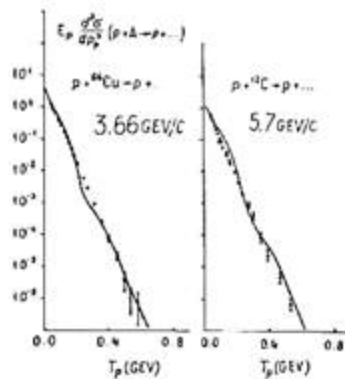


Fig. 35

Comparison of theoretical cross sections in the reactions of cumulative production of protons on nuclei with experiment.

Fig. 35). They conclude that the idea of nuclear fluctuations makes it possible to quantitatively understand the main regularities of inclusive spectra resulting from proton-nucleus collisions. In this approach the experiments yield information about the probabilities of finding nucleons in a small volume of the order of the nucleon-nucleon core, which is a slightly different way of saying that such experiments determine the small distance behavior of the nuclear wave function. They suggest that it would be of considerable interest for experimentalists to study processes on nuclei involving momentum transfers considerably larger (e.g. $7 - 10 \text{ fm}^{-1}$) than those investigated at present.

In another variant of the same general idea Fujita²⁷⁾ introduces the concept of correlated clusters as a mechanism for the cumulative effect. The point here is that collisions sometimes take place from a more extended group of nucleons which stay as they are during fast collisions at high energies. He finds that clusters involving up to four nucleons are needed to fit the backward scattering data of Frankel et al. (28).

Coherent tubes²⁹⁾ provide still another picture whereby several nucleons act jointly in producing particles and this model, too, has been successfully used to describe many of the general features of the data.

Fig. 35). They conclude that the idea of nuclear fluctuations makes it possible to quantitatively understand the main regularities of inclusive spectra resulting from proton-nucleus collisions. In this approach the experiments yield information about the probabilities of finding nucleons in a small volume of the order of the nucleon-nucleon core, which is a slightly different way of saying that such experiments determine the small distance behavior of the nuclear wave function. They suggest that it would be of considerable interest for experimentalists to study processes on nuclei involving momentum transfers considerably larger (e.g. $7 - 10 \text{ fm}^{-1}$) than those investigated at present.

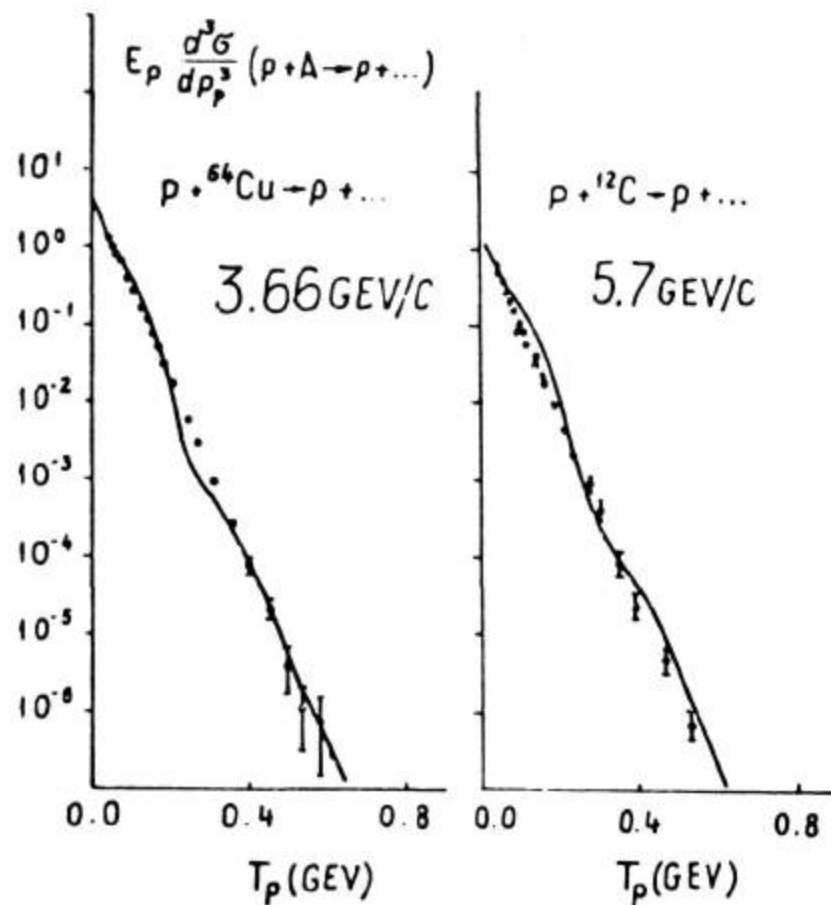


Fig. 35

Comparison of theoretical cross sections in the reactions of cumulative production of protons on nuclei with experiment.

Труды
Международной конференции
по избранным вопросам
структуры ядра

(15 - 19 июня 1976 г., Дубна)

Том II

**Proceedings
of International Conference
on Selected Topics
in Nuclear Structure**

(June 15 - 19 1976, Dubna)

Volume II

О КУМУЛЯТИВНОМ ОБРАЗОВАНИИ ПИОНОВ В ЯДЕРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ

В.В.Буров

Московский государственный университет, Москва, СССР

В.К.Лукиянов, А.И.Титов

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Аннотация

Исследуется кумулятивное образование пионов в pd - и pA -столкновениях в области фрагментации дейтрона и ядра соответственно. Рассмотрены основные идеи интерпретации этого явления. Показано, что учет ферми-движения связанных протонов и релятивизация их волновых функций не позволяют объяснить кумулятивный эффект. Анализируется связь этого явления с поведением ядерных формфакторов и квазиупругим выбиванием кластеров с большими передачами импульса. Проведены расчеты и дано качественное объяснение поведения сечений кумулятивного пинообразования на основе предположения о существовании в ядрах "флюктуонов" - флюктуаций плотности ядерного вещества в малых объемах.

Abstract

The cumulative pion production is investigated in the pd - and pA -collisions in the regions of the deuteron and nuclear fragmentation, respectively. The main ideas advanced to interpret this phenomenon are considered. It is shown that taking into account the Fermi motion of bound nucleons and the relativization of their wave functions does not permit the interpretation of the cumulative effect. The relationship of this phenomenon with the behaviour of nuclear form factors and quasi-elastic knock-out of clusters at large momentum transfers is also considered. The calculations performed and the qualitative explanation of the cumulative pion production are based on the assumption of the existence of nuclear "fluctons", i.e., nuclear density fluctuations in small regions of the nucleus.

Заключение

1. Имеющиеся данные по кумулятивному пинообразованию в реакциях фрагментации дейтронов ¹/1/ не позволяют выявить механизм реакции.

2. Кумулятивный эффект в реакциях фрагментации сложных ядер ²/2/ не удастся объяснить только ферми-движением нуклонов.

3. Эффекты релятивизации волновой функции ядерного нуклона несущественны в исследованной области кумулятивного мезообразования.

4. По-видимому, кумулятивный эффект наиболее ярко выявляет те проблемы, которые встречаются в ряде явлений ядерной физики с большой передачей импульса.

5. Идея ядерных флуктуаций дает возможность качественно понять основные закономерности как квазиупругого выбивания из ядер кластеров, так и кумулятивного мезообразования.

Спасибо за внимание