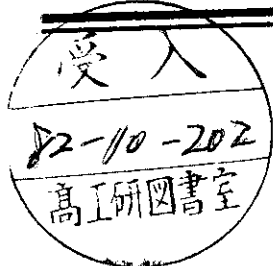


ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



ЕФИ-552(39)-82

Г.Р.ГУЛКАНЯН, С.А.КОРЧАГИН,  
И.М.РАВИНОВИЧ

ОПИСАНИЕ КОРРЕЛЯЦИЙ МЕЖДУ МНОЖЕСТВЕННОСТЯМИ  
 $\pi^-$ -МЕЗОНОВ И НЕРЕЛЯТИВИСТСКИХ ПРОТОНОВ В  
ЯДРО-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ИМПУЛЬСЕ  
4,2 ГЭВ/С НА НУКЛОН

ԵՐԵՎԱՆ. 1982 ԵՐԵՎԱՆ

Г.Р.ГУЛКАНЯН, С.А.КОРЧАГИН, И.М.РАВИНОВИЧ

ОПИСАНИЕ КОРРЕЛЯЦИЙ МЕЖДУ МНОЖЕСТВЕННОСТЯМИ  
 $\bar{N}$ -МЕЗОНОВ И НЕРЕЛЯТИВИСТСКИХ ПРОТОНОВ В ЯДРО-ЯДЕРНЫХ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 ГЭВ/С НА НУКЛОН

В модели независимо взаимодействующих нуклонов вычислены корреляции между множественностями  $\bar{N}$  - мезонов и нерелятивистских протонов в столкновениях легких ядер с тяжелым ядром - мишенью. Результаты вычислений сравниваются с экспериментальными данными по взаимодействиям ( $p, d, He, C$ ) с ядром тантала ( $Ta$ ) при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон, полученными на 2-метровой пропановой пузырьковой камере (ПК) ЛВЭ ОИЯИ с внутренней танталовой мишенью.

Ереванский физический институт

Ереван 1982

H.R.GULKANYAN, S.A.KORCHAGIN, I.M.RAVINOVICH

DESCRIPTION OF CORRELATIONS BETWEEN THE MULTIPLICITIES  
OF  $\mathcal{J}_T^-$ -MESONS AND NONRELATIVISTIC PHOTONS  
IN NUCLEUS-NUCLEAR INTERACTIONS  
AT 4.2 GEV/C MOMENTUM PER NUCLEON

The correlations between the multiplicities of  $\mathcal{J}_T^-$ -mesons and nonrelativistic protons in collisions of light nuclei with a heavy target-nucleus are calculated in the model of independently interacting nucleons. The calculation results are compared with experimental data on the interactions of (p, d, He, C) with a tantalum (Ta) nucleus at 4.2 GeV/c momentum per nucleon, obtained at a 2m propane bubble chamber HEL of JINR with an internal tantalum target.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1982

Г.Р.ГУЛКАНЯН, С.А.КОРЧАГИН, И.М.РАВИНОВИЧ

ОПИСАНИЕ КОРРЕЛЯЦИЙ МЕЖДУ МНОЖЕСТВЕННОСТЯМИ  
 $\pi^-$ -МЕЗОНОВ И НЕРЕЛЯТИВИСТСКИХ ПРОТОНОВ В ЯДРО-ЯДЕРНЫХ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 ГЭВ/С НА НУКЛОН

Ереван 1982

© *Ереванский физический институт, 1982*

В данной работе сделана попытка проверить более детально сделанный ранее вывод [1] о том, что при столкновении релятивистских ядер отрицательные пионы рождаются в результате независимых взаимодействий нуклонов снаряда с мишенью. С этой целью анализируются экспериментальные данные по корреляциям между множественностями  $\pi^-$ -мезонов и  $q$ -частиц (преимущественно протонов с импульсами  $P \approx 700$  МэВ/с) во взаимодействиях  $p, d, He, C$  с ядрами тантала при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон (рис.1). Приведенные на рис.1 экспериментальные данные получены при помощи 2-метровой пропановой ПК ЛВЭ ОИЯИ с внутренней танталовой мишенью, облученной на пучках релятивистских ионов на синхрофазотроне ОИЯИ. В работе [2] отмечалось, что характер экспериментально наблюдаемых корреляций между множественностями  $\pi^-$ -мезонов и  $q$ -частиц можно качественно объяснить простыми геометрическими соображениями.

Прежде чем перейти к количественному описанию наблюдаемых корреляций, отметим следующее обстоятельство: из данных [3] по  $pC$  и  $pTa$ -столкновениям при 4,2 ГэВ/с на нуклон следует, что средняя множественность  $\pi^-$ -мезонов в протон-ядро неупругих взаимодействиях  $\langle n \rangle_{pA}^{in}$  практически определяется только вероятностью того, что налетающий протон столкнется неупруго с одним

из нуклонов ядра; суммарный же вклад вторичных неупругих процессов (в рассматриваемой области энергий) незначителен. Действительно, ожидаемый рост множественности  $\pi^-$ -мезонов в  $pA$ -взаимодействиях по сравнению с  $pN$ -взаимодействием, обусловленный ростом вероятности неупругого столкновения хотя бы с одним нуклоном ядра и без учета вторичных неупругих процессов, равен

$$R_A = \frac{\langle n \rangle_{pA}^{in}}{\langle n \rangle_{pN}^{tot}} = \frac{\sigma_{pA}^{prod} / \sigma_{pA}^{in}}{\sigma_{pN}^{in} / \sigma_{pN}^{tot}}, \quad (I)$$

где  $\sigma_{pA}^{prod}$  - сечение рождения (хотя бы одного пиона). Рассчитанные по (I) значения  $R_A$  для  $pC$  и  $pTa$ -взаимодействий равны, соответственно,  $R_C = 1,20$  и  $R_{Ta} = 1,37$  и хорошо согласуются с экспериментально измеренными величинами [3].

Исходя из сказанного, естественно считать, что средняя множественность  $\pi^-$ -мезонов, образованных при фиксированном прицельном параметре столкновения протона с ядром, определяется вероятностью  $\bar{\nu}_p^{in}(\ell)$  неупругого взаимодействия при прохождении протона через "толщину" ядерного вещества  $T_A(\ell) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_A(z, \ell) dz$  ( $\rho_A(r)$  - плотность нуклонов в ядре, нормированная на массовое число  $A$ ):

$$\bar{\nu}_p^{in}(\ell) = \frac{1 - e^{-\sigma_{pN}^{in} \cdot T_A(\ell)}}{1 - e^{-\sigma_{pN}^{tot} \cdot T_A(\ell)}}. \quad (2)$$

Величина  $\bar{\nu}_p^{in}(\ell)$  нормирована на вероятность хотя бы одного столкновения (упругого или неупругого) при данном прицельном параметре  $\ell$ .

Среднее число нуклонов мишени, претерпевших столкновение со снарядом при прицельном параметре  $\ell$ , равно:

$$\bar{v}_A(b) = \frac{\sigma_{PN}^{\text{tot}} \cdot T_A(b)}{1 - e^{-\sigma_{PN}^{\text{tot}} \cdot T_A(b)}} \quad (3)$$

В случае, когда снарядом является ядро В, для нахождения среднего числа неупруго взаимодействовавших нуклонов  $\bar{v}_B^{\text{in}}(b)$  при данном прицельном параметре ядро-ядерного столкновения  $b$  необходимо провести интегрирование по нуклонам снаряда:

$$\bar{v}_B^{\text{in}}(b) = \frac{1}{N(b)} \int T_B(b_B) [1 - e^{-\sigma_{NN}^{\text{in}} \cdot T_A(|\vec{b} - \vec{b}_B|)}] d^2 b_B. \quad (4)$$

Аналогично, среднее число нуклонов мишени, претерпевших хотя бы одно столкновение (упругое или неупругое) со снарядом, равно:

$$\bar{v}_A(b) = \frac{1}{N(b)} \int T_A(b_A) [1 - e^{-\sigma_{NN}^{\text{tot}} \cdot T_B(|\vec{b} - \vec{b}_A|)}] d^2 b_A. \quad (5)$$

Нормировочный член  $N(b)$  означает вероятность, того, что при данном прицельном параметре  $b$  произошло столкновение, по крайней мере, одной пары нуклонов:

$$N(b) = 1 - (1 - \omega_A)^A, \quad (6)$$

где

$$\omega_A(b) = \frac{1}{A} \int T_A(b_A) [1 - e^{-\sigma_{NN}^{\text{tot}} \cdot T_B(|\vec{b} - \vec{b}_A|)}] d^2 b_A,$$

есть вероятность того, что случайный нуклон мишени столкнется со снарядом при фиксированном прицельном параметре  $b$ .

Отметим, что выражение для среднего числа неупругих столкновений (4) справедливо, если нуклоны снаряда на своем пути встречают только (или преимущественно) нуклоны мишени, не претерпевшие до этого неупругого столкновения; тогда неупругое взаимо-

действие имеет те же характеристики ( $\sigma_{NN}^{in}$ ,  $\langle n \rangle_{NN}^{in}$  и т.д.), что и неупругое нуклон-нуклонное взаимодействие при известном первичном импульсе (влияние ферми-движения на указанные характеристики в рассматриваемой области энергий пренебрежимо мало). Указанное условие достаточно хорошо реализуется, если снаряд намного легче мишени:  $B \ll A$ . Однако даже в этом случае при достаточно больших прицельных параметрах имеются области перекрытия ядер, где  $T_B > T_A$ ; интегрирование (4) по этим областям приводит к несколько завышенному значению  $\bar{v}_B^{in}(b)$ . Поэтому более точным приближением для среднего числа неупругих столкновений является выражение, инвариантное по отношению к перестановке снаряда и мишени:

$$\bar{v}_B^{in}(b) = \bar{v}_A^{in}(b) = \frac{1}{N(b)} \int T_1(b_1) [1 - e^{-\sigma_{NN}^{in} (|B - \bar{b}_1|)}] d^2 b_1, \quad (4a)$$

где  $T_1 = \min\{T_A, T_B\}$ ,  $T_2 = \max\{T_A, T_B\}$ .

В дальнейших расчетах для величины  $\bar{v}_B^{in}(b)$  использовалось выражение (4a).

Связь между величинами  $\bar{v}_{p(B)}^{in}(b)$  и  $\bar{v}_A(b)$ , рассчитанная по формулам (2) - (6), приведена на рис.2. Кресты на правых концах кривых на рисунке соответствуют "самым" центральным столкновениям (прицельный параметр  $b \approx 0$ ), кресты на левых концах - "самым" периферическим столкновениям, когда взаимодействует только одна пара нуклонов. Для нуклонных плотностей ядер использовались следующие распределения: для ядер дейтона и гелия - гауссовское; для углерода - распределение, соответствующее осцилляторной волновой функции; для тантала - распределение Вуда-Саксона.

Переход от вычисленных величин  $\bar{v}_B^{in}(\ell)$ ,  $\bar{v}_A(\ell)$  к экспериментальным (рис. I) осуществлен следующим образом. Как отмечалось выше, средняя множественность  $\pi^-$ - мезонов в  $\rho A$ -взаимодействиях при данном прицельном параметре пропорциональна вероятности неупругого взаимодействия с каким-либо из нуклонов ядра, следовательно:

$$\langle n_{-}(\ell) \rangle_{\rho Ta} = \bar{v}_\rho^{in}(\ell) \cdot \langle n_{-} \rangle_{\rho N}^{in}, \quad (7a)$$

где  $\langle n_{-} \rangle_{\rho N}^{in} \approx 0,48$  [4].

Для ( $d, He, C$ )  $Ta$ - взаимодействий

$$\langle n_{-}(\ell) \rangle_{vTa} = \bar{v}_v^{in}(\ell) \cdot \langle n_{-} \rangle_{NN}^{in}, \quad (7b)$$

где  $\langle n_{-} \rangle_{NN}^{in} = 0,57$  [4].

Для нахождения связи между числом  $q$ - частиц  $n_q$  и числом провзаимодействовавших со снарядом нуклонов ("битых" нуклонов) мишени  $\bar{v}_A(\ell)$  воспользуемся следующим экспериментальным фактом [5]: средняя множественность  $q$ - частиц  $\langle n_q \rangle_{vTa}$  во взаимодействиях ( $p, d, He, C$ ) с ядром  $Ta$  при 4,2 ТэВ/с на нуклон приблизительно пропорциональна вычисленному значению среднего числа "битых" нуклонов мишени  $\bar{v}_{Ta}$ :

$$\langle n_q \rangle_{vTa} \approx 0,62 \cdot \bar{v}_{Ta}, \quad (8)$$

где  $\bar{v}_{Ta} = A_{Ta} \cdot \sigma_{NB}^{in} / \sigma_{vTa}^{in}$ .

Мы предполагаем, что аналогичное соотношение имеет место не только "в среднем", но и при данном прицельном параметре  $\ell$ , и делаем следующее приближение: экспериментально наблюдаемым событиям с данным фиксированным  $n_q \geq 1$  соответствуют взаимодействия со средним прицельным параметром  $\bar{\ell}$ , таким, что

$$\bar{v}_{Ta}(\bar{b}) = n_g / 0.62 \quad (\text{при } n_g \geq 1), \quad (9a)$$

а событиям с  $n_g = 0$  соответствуют "самые" периферические взаимодействия, в которых участвует преимущественно один нуклон мишени:

$$\bar{v}_{Ta}(\bar{b}) \approx 1 \quad (\text{при } n_g = 0) \quad (9б)$$

Далее при помощи соотношений (7) и (9) и расчетных кривых на рис.2 вычисляется зависимость средней множественности  $\bar{\pi}^-$  мезонов от  $n_g$ . Сравнение результатов расчета с экспериментом представлено на рис.1. Как видно из рисунка, модель независимо взаимодействующих нуклонов качественно описывает основные характеристики корреляций между множественностями  $\bar{\pi}^-$  мезонов и  $q$  - частиц. Количественное согласие также можно считать удовлетворительным.

Остановимся кратко на физической интерпретации полученных результатов. В случае  $pTa$ -взаимодействий при больших прицельных параметрах столкновения ( $n_g \sim 0 + 1$ ) протон взаимодействует, в основном, с одним нуклоном ядра-мишени, и  $\langle n_-(b) \rangle_{pTa} \approx \langle n_- \rangle_{pN_{Ta}} = 0,32$  [4]; с уменьшением прицельного параметра наряду с ростом  $n_g$  увеличивается вероятность неупругого столкновения. Так как протон претерпевает практически не более одного неупругого взаимодействия, то при дальнейшем увеличении кратности столкновения хотя и число выбитых  $q$  - частиц растет, но средняя множественность  $\bar{\pi}^-$  мезонов остается неизменной:

$$\langle n_-(b) \rangle_{pA} \approx \langle n_- \rangle_{pN_{Ta}}^{in} = 0,48 \quad (\text{рис.1}).$$

В случае ядро-ядерного столкновения с уменьшением прицельного параметра растет среднее число неупруго провзаимодействовавших нуклонов снаряда  $\bar{v}_B^{in}(b)$ , одновременно увеличиваются

средние числа  $\pi^-$  - мезонов и  $q$  - частиц. При значениях  $v_B^{(b)}$ , близких к массовому числу ядра-снаряда  $B$ , дальнейший рост числа  $q$  - частиц обеспечивается, в основном, увеличением кратности столкновения отдельных нуклонов снаряда с мишенью, что не приводит, как мы видели в случае рТа.-взаимодействий, к заметному росту числа  $\pi^-$  - мезонов. Этим и объясняется наблюдаемое на эксперименте ослабление (с ростом  $nq$ ) корреляций между  $nq$  и средним числом  $\pi^-$  - мезонов, причем, как и ожидается, это ослабление для случая более тяжелых снарядов наступает при больших значениях  $nq$ .

В заключение авторы выражают благодарность участникам Содружества на 2-метровой пропановой ПК ЛВЭ ОИЯИ за предоставление полного статистического материала; обслуживающему персоналу и лабораториям, принимавшим участие в обработке снимков.

Подписи к рисункам

Рис.1 Зависимость средней множественности  $\pi^-$  - мезонов от числа  $g$  - частиц во взаимодействиях (p, d, He, C) с Ta при 4.2 ГэВ/с на нуклон. Кривые - расчет. (см.текст)

Рис.2 Корреляции между средним числом неупруго провзаимодействовавших нуклонов снаряда  $\bar{v}_B^{in}(\ell)$  и средним числом нуклонов мишени  $\bar{v}_A(\ell)$ , провзаимодействовавших хотя бы один раз со снарядом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ангелов Н., Ахсаббян Н., Баатар Ц. и др. Анализ поведения сечений и множественности  $\pi^-$  - мезонов при взаимодействии релятивистских ядер  $p$ ,  $d$ ,  $He$ ,  $C$  с ядрами углерода и тантала. Препринт ОИЯИ, PI-80-473, Дубна, 1980
2. Ангелов Н., Анохин А.М., Армутлийски Д. и др. Наблюдение корреляций между множественностями  $\pi^-$  - мезонов и протонов в неупругих взаимодействиях  $p$ ,  $d$ ,  $He$  и  $C$  с ядрами тантала в интервале импульсов  $12+101$  ГэВ/с на нуклон. Препринт ОИЯИ, PI-80-168, Дубна, 1980
3. Баатар Ц., Гаспарян А.Л., Гафуров Г.Г. и др. Множественность  $\pi^-$  - мезонов в неупругих взаимодействиях протонов с ядрами углерода и тантала в интервале импульсов  $(2+10)$  ГэВ/с. Препринт ОИЯИ, I-80-III, Дубна, 1980
4. Flaminio V., Gray I.F., Hansen J.D. et al. Compilation of Cross -Sections III-  $p$  and  $\bar{p}$  Induced Reactions CERN-HERA 19-03, GENEVA, 1979
5. Abdrahmanov E.O., Basina A.N., Chasnikov I.Ya. et al. Secondary Particle Multiplicity and the Number of Interacting Nucleons in the Collisions of  $p, d, He$  and  $C$  with Tantalum Nuclei at 4.2 GeV/c per Nucleon Препринт ОИЯИ, EI-II5I7, Дубна, 1978

Рукопись поступила 11 марта 1982 г.

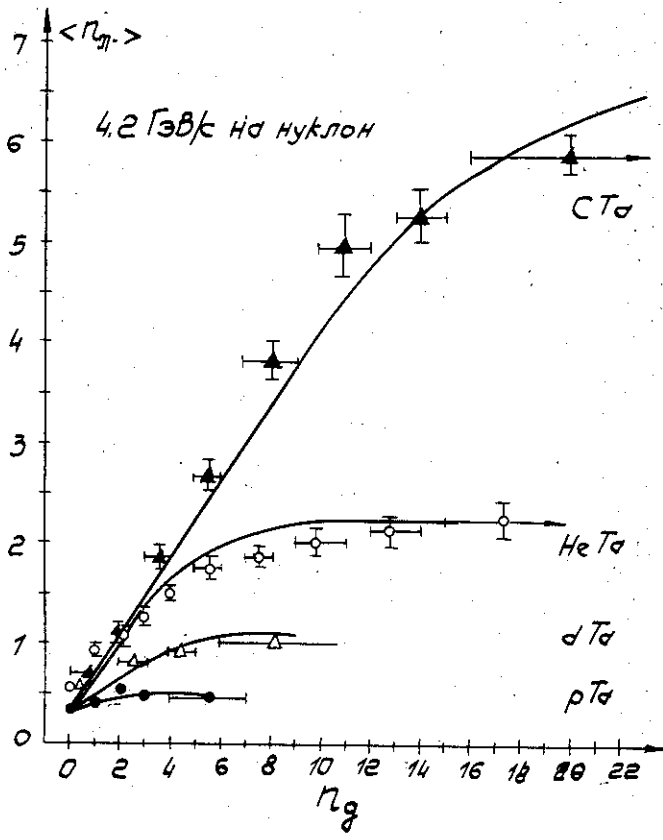


Рис. I

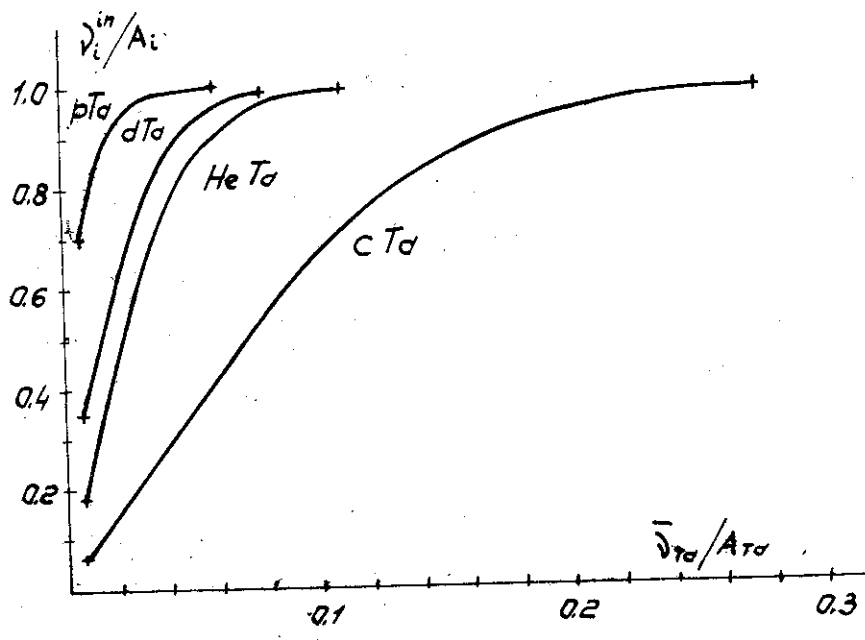


Рис 2

Редактор Л.П.Мукаян  
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 210

ВФ-05237

Тираж 299

Препринт ЕФИ

Формат издания 60 х 84/16

Подписано к печати 14/VI-82г. I,0 уч.изд.л. Ц. 15 к.

Издано Отделом научно-технической информации  
Ереванского Физического института, Ереван 36, Маркарянна 2

индекс 3624