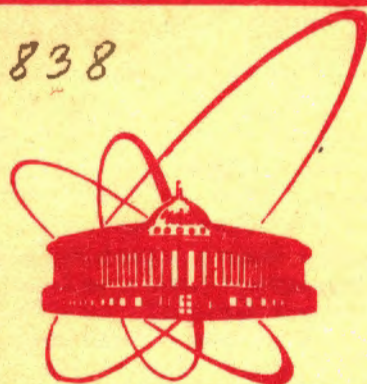


A-838



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

3742 / 4-80

P1-80-314

Д. Армутлийски, Н. Ахабабян, Л. Грекова

ПОДОБИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ  
ПО МНОЖЕСТВЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ,  
ОБРАЗОВАННЫХ В  $pC$ - И  $pTa$ -СОУДАРЕНИЯХ  
ПРИ ИМПУЛЬСЕ  $2+10$  ГэВ/с

Направлено в "Болгарский физический журнал"

1980

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Повышенный интерес к исследованиям взаимодействий релятивистских ядер, который намечается в настоящее время, обусловлен поиском эффектов, протекающих в экстремальных условиях. Однако эти трудно обнаруживаемые явления не исключают, а наоборот, предполагают детальное изучение основных характеристик ядроядерных взаимодействий при высоких энергиях. Шаг в этом направлении - систематический и детальный анализ процессов адрон-ядерных соударений при соответствующих энергиях. Хотя взаимодействия этого типа изучаются давно и при очень высоких энергиях /космические лучи/, методические особенности этих исследований не позволяют провести детального анализа характеристики таких процессов. Исследования на ускорителях, которые в первую очередь были направлены на изучение акта элементарного взаимодействия, только в последнее время были использованы для проведения некоторых экспериментов с целью систематического изучения процессов адрон-ядерного и ядроядерных столкновений.

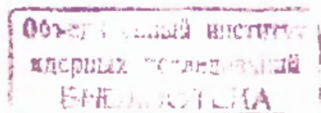
В настоящей работе на основе методики пузырьковых камер исследовано подобие в распределениях по множественности вторичных частиц, образованных при взаимодействиях протонов с импульсом от 2 до 10 ГэВ/с с ядрами углерода и тантала.

## 2. МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Экспериментальный материал получен на основе данных визуальной идентификации треков на фотографиях, полученных на 2-метровой пропановой пузырьковой камере ЛВЗ ОИЯИ<sup>1/</sup>. В рабочем объеме камеры были размещены три пластинки из тантала толщиной 0,8 мм, и камера облучалась на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий в пучке протонов с импульсами 2,3; 4,2; 5,4 и 9,9 ГэВ/с. Были отобраны 7821 взаимодействие в пропане и 4183 события на танталовой мишени.

Наличие магнитного поля при облучении камеры и информация об ионизационной способности частиц позволили разделить их на следующие группы:

- а/ отрицательные частицы, в основном  $\pi^-$ -мезоны;
- б/ медленные положительные частицы с повышенной ионизацией и с импульсом меньше 700 МэВ/с ( $P_{\text{мед}}$ );

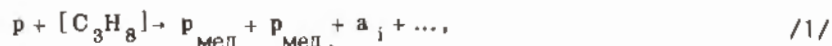




в/ релятивистские положительные частицы, в основном протоны с импульсом больше 700 МэВ/с ( $P_{\text{рел}}$ ) и  
 г/ идентифицированные  $\pi^+$ -мезоны с импульсом меньше 700 МэВ/с.

Примесь отрицательных странных частиц и электронов не превышает 3%, а точность разделения положительных частиц на три указанных типа зависит от импульса падающего протона, но не превышает 10% при 9,9 ГэВ/с. Методические особенности, связанные с обработкой событий взаимодействия релятивистских ядер в пропановой камере, описаны в<sup>/1/</sup>.

Пропановое наполнение камеры и наличие танталовой мишени предоставляет возможность изучать и сравнивать взаимодействия протонов с легкими и тяжелыми ядрами. Однако выделение событий взаимодействия протонов с углеродом в пропане имеет свои особенности. Используемая процедура вычитания<sup>/2/</sup> характеристик протон-нуклонных взаимодействий, полученных с помощью другой экспериментальной методики, пригодна только для определения множественности вторичных отрицательных частиц. Так как в настоящей работе рассматриваются все вторичные заряженные частицы, то события на углероде выделяются на основе процесса



где  $a_i = \pi^-$ ,  $p_{\text{рел}} \cdot p_{\text{мед}}$ .

Для сравнения взаимодействий на легком и тяжелом ядрах события на тантале выбирались при аналогичном условии:



Это условие выделяет неупругие соударения с относительно малым прицельным параметром, уменьшая вклад периферических соударений. Как было указано в<sup>/3/</sup>, зависимость средних множественностей вторичных частиц от числа недленных протонов почти не меняется при  $p_{\text{мед}} \geq 3$ . В настоящей работе анализ данных всегда проводился отдельно для реакций /1/ и /2/. В случае статистической неразличимости рассматриваемых характеристик данные приводятся совместно.

Как известно, установление подобия в распределении по множественности сводится к установлению независимости топологических сечений  $n$ -частичных инклюзивных процессов от энергии, предсказанной Коба, Нильсеном и Олсенем<sup>/4/</sup> в форме соотношения

$$\langle n \rangle \frac{\sigma_n(s)}{\sigma_{\text{ин}}(s)} \xrightarrow{s \rightarrow \infty} \Psi \left( \frac{n}{\langle n \rangle} \right) \quad /3/$$

Анализ данных по множественности всех заряженных вторичных частиц, образованных в адрон-адронных взаимодействиях, подтвердил выполнение этой зависимости для энергии свыше 50 ГэВ/с<sup>/5/</sup>. Бюрас и др.<sup>/6/</sup> установили, что введение переменной

$$z' = \frac{n - a}{\langle n - a \rangle} \quad /4/$$

приводит /3/ к представлению

$$\langle n - a \rangle \frac{\sigma_n}{\sigma_{\text{ин}}} = \Psi' \left( \frac{n - a}{\langle n - a \rangle} \right), \quad /5/$$

которое проявляет тоже скейлинговые свойства. Величина  $a$  является параметром, не зависящим от энергии первичной частицы, но имеющим разные значения для разных сортов вторичных частиц. Такая модификация КНО-скейлинга хорошо описывает данные по множественности всех заряженных частиц, образованных в адрон-адронных взаимодействиях при энергии  $E \geq 4$  ГэВ и в протон-ядерных реакциях при больших энергиях<sup>/7/</sup>.

Эквивалентное КНО-скейлингу выражение

$$\frac{D_q}{\langle n \rangle} = C_q = \text{const.} \quad (q=2, 3, \dots), \quad /6/$$

где

$$D_q = \sqrt[q]{\langle (n - \langle n \rangle)^q \rangle}, \quad /7/$$

при введении параметра  $a$  преобразуется в

$$\frac{D_q}{\langle n - a \rangle} = A_q = \text{const.} \quad /8/$$

Параметр  $a$  определяется из аппроксимации экспериментальных данных линейной зависимостью:

$$D_q = A_q (\langle n \rangle - a_q). \quad /9/$$

Такии способом в работе<sup>/8/</sup> было показано подобие в распределении по множественности вторичных отрицательных частиц, образованных при взаимодействиях  $p$ ,  $d$ ,  $He$  и  $C$  с ядрами углерода и  $p$ ,  $d$  и  $He$  с ядрами тантала при импульсе налетающего ядра 4,2 ГэВ/с. нукл.

В настоящей работе этот подход применяется для изучения подобия в распределениях разных видов вторичных частиц, образованных в протон-ядерных взаимодействиях при импульсе от 2 до 10 ГэВ/с.

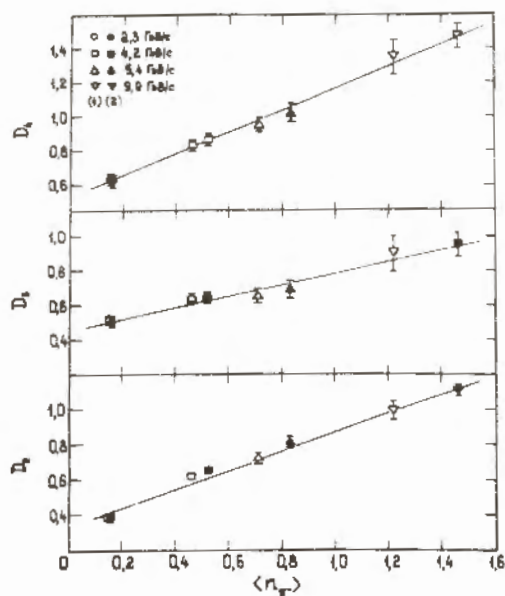


Рис.1. Зависимость  $D_q$  от  $\langle n \rangle$  для отрицательных  $\pi^-$ -мезонов, образованных в реакциях /1/ и /2/: — - аппроксимация линейной зависимости.

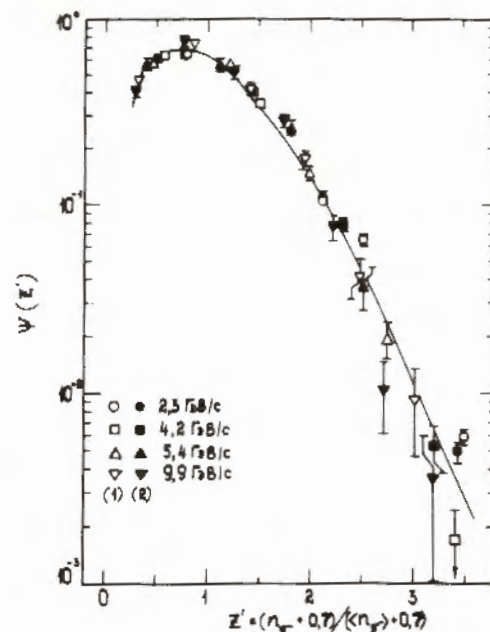
### 3. ПОДОБИЕ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ВТОРИЧНЫХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ПИОНОВ

На рис.1 показаны зависимости  $D_2$ ,  $D_3$  и  $D_4$  от средних значений множественности вторичных  $\pi^-$ -мезонов, образованных в реакциях /1/ и /2/. Видна хорошая линейная аппроксимация для всех вышеуказанных  $D_q$  и для двух рассматриваемых реакций. В табл.1 представлены величины /6/ и /8/ для этих

Таблица 1

$P_p$ ГэВ/с	$A_t$	$\langle n_{\pi^-} \rangle$	$D_2 / \langle n \rangle$	$D_2 / \langle n - a_2 \rangle$	$D_3 / \langle n - a_3 \rangle$	$D_4 / \langle n - a_4 \rangle$
2,3	С	$0,15 \pm 0,02$	$2,42 \pm 0,25$	$0,54 \pm 0,04$	$0,29 \pm 0,04$	$0,65 \pm 0,06$
	Та	$0,16 \pm 0,02$	$2,43 \pm 0,31$	$0,54 \pm 0,04$	$0,27 \pm 0,04$	$0,64 \pm 0,06$
4,2	С	$0,46 \pm 0,03$	$1,35 \pm 0,08$	$0,61 \pm 0,03$	$0,29 \pm 0,03$	$0,65 \pm 0,05$
	Та	$0,52 \pm 0,03$	$1,24 \pm 0,07$	$0,60 \pm 0,03$	$0,29 \pm 0,03$	$0,65 \pm 0,05$
5,4	С	$0,69 \pm 0,03$	$1,05 \pm 0,05$	$0,56 \pm 0,03$	$0,33 \pm 0,05$	$0,63 \pm 0,04$
	Та	$0,77 \pm 0,03$	$1,02 \pm 0,05$	$0,60 \pm 0,03$	$0,30 \pm 0,03$	$0,66 \pm 0,04$
9,9	С	$1,21 \pm 0,07$	$0,82 \pm 0,06$	$0,56 \pm 0,04$	$0,31 \pm 0,03$	$0,67 \pm 0,06$
	Та	$1,46 \pm 0,05$	$0,76 \pm 0,04$	$0,55 \pm 0,03$	$0,31 \pm 0,03$	$0,65 \pm 0,04$
$a_q$				$-0,58 \pm 0,02$	$-1,48 \pm 0,22$	$-0,82 \pm 0,07$
$\chi^2 / \text{NDF}$				2,23	2,55	1,19

Рис.2. Распределение /5/ с  $a_{\pi^-} = -0,7$  для вторичных отрицательных пионов, образованных в реакциях /1/ и /2/: — - аппроксимация функцией вида /10/.



процессов. Тогда как отношение  $D_q / \langle n \rangle$  значительно уменьшается, отношение  $D_q / \langle n - a \rangle$  для рассмотренных  $q = 2, 3, 4$  остается постоянным в пределах статистических ошибок, что указывает на подобие в распределениях вторичных  $\pi^-$ -мезонов в представлении /8/ в интервале импульсов налетающих протонов от 2 до 10 ГэВ/с, независимо от типа ядра мишени.

На рис.2 представлена зависимость /5/ для вторичных отрицательных частиц, образованных в рассматриваемых столкновениях, с параметром  $a = -0,7$ , полученным на основе усреднения со статистическим весом трех полученных  $a_q$ . Сплошной линией показана аппроксимация функций  $\Psi'(z')$  в виде предложенной в работе /8/:

$$\Psi'(z') = a(z' + b) \exp(-cz' - dz'^2).$$

/10/

Полученные значения для параметров  $a = 4,15 \pm 0,34$ ;  $b = 0,18 \pm 0,02$ ;  $c = 0,83 \pm 0,09$  и  $d = 0,41 \pm 0,03$  при  $\chi^2 / \text{NDF} = 1,94$  сравнимы с полученными в /8/ при аппроксимации распределения вторичных отрицательных пионов, образованных в ядро-ядерных соударениях при 4,2 ГэВ/с. Небольшую разницу значений  $a_{\text{я.я.}} = 0,6$ , полученное при этом рассмотрении,  $a_{\text{pp}} = -0,5$ , следующее из зависимости Врублевского /9/ для pp-взаимодействия в очень широком энергетическом интервале, и  $a_{\text{я.я.}} = -0,7$ , полученное в настоящей работе, можно рассматривать как вклад образования  $\pi^-$ -мезонов на нейтронах ядра-мишени. Это указывает на единый, в основном независимый нуклон-нуклонный процесс образования отрицательных пионов в рассматриваемых протон-ядерных соударениях в интервале импульсов  $2 \pm 10$  ГэВ/с.



#### 4. ПОДОБИЕ В РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ ВТОРИЧНЫХ ПРОТОНОВ

Физические основания поиска подобия в распределениях различных типов вторичных частиц связаны с механизмом их образования. Основная часть медленных протонов, образованных в рассматриваемых процессах, - результат развала ядра и "хвоста" ферми-импульсов нуклонов-мишени и других процессов. Релятивистские протоны выбиты в актах неупругих столкновений падающего адрона с нуклонами ядра-мишени. Конечно, четкое разграничение вторичных частиц по механизму их образования тесно связано с методическими особенностями эксперимента, и разделение вторичных протонов на "медленные" и "релятивистские", как и принятая граница 700 МэВ/с, является условным. Поэтому все дальнейшие рассмотрения подобия в распределениях этих частиц имеют предварительный и иллюстративный характер.

В табл.2 представлены как отношения /6/ и /8/ для вторичных релятивистских положительных частиц, образованных в реакциях /1/ и /2/, так и сами значения  $\alpha_q$ ,  $\chi^2/NDF$ , полученные при линейной аппроксимации зависимостью /9/. И для этого вида вторичных частиц, вопреки значительному изменению отношения  $D_q/\langle n \rangle$ , отношение  $D_q/\langle n - \alpha_q \rangle$  ( $q=2,3,4$ ) в пределе статистических ошибок остается постоянным. На рис.3 представлена зависимость /5/ с  $a=-1,0$  и аппроксимация этого распределения с функцией вида /10/. Полученные при этом параметры имеют значения:  $a = 3,40 \pm 0,28$ ;  $b = 0,21 \pm 0,02$ ;  $c = 0,31 \pm 0,05$  и  $d = 0,88 \pm 0,04$  при  $\chi^2/NDF=3,43$ .

Выполнение условия /1/ для выделения событий на углероде не позволяет рассматривать подобие для вторичных медленных протонов  $p_{мед}$ , образованных при соударениях первичного протона с ядрами углерода. Для этого мы рассматриваем зависимости моментов распределения этих частиц только в реакции /2/.

В табл.3 представлены те же отношения /6/ и /8/, а также параметры линейной аппроксимации зависимостью /9/. Постоянство отношения /8/ получается при положительных значениях параметра  $\alpha_q$ . Для усредненного значения  $a=+1,3$  построена зависимость /5/, показанная на рис.4. Аппроксимация с помощью функции /10/ показана штриховой кривой; лучшая аппроксимация получается зависимостью типа

$$\Psi''(z') = g \exp(-fz' - hz'^2), \quad /11/$$

показанная сплошной кривой на рис.4. При этом получают значения параметров:  $g = 0,66 \pm 0,05$ ;  $f = 0,12 \pm 0,04$  и  $h = 0,29 \pm 0,05$  при  $\chi^2/NDF=1,59$ .

Таблица 2

$P_p$ ГэВ/с	A t	$\langle n_{рел}^+ \rangle$	$D_2/\langle n \rangle$	$D_2/\langle n - \alpha_2 \rangle$	$D_3/\langle n - \alpha_3 \rangle$	$D_4/\langle n - \alpha_4 \rangle$
2,3	C	$0,36 \pm 0,02$	$1,69 \pm 0,13$	$0,53 \pm 0,03$	$0,39 \pm 0,05$	$0,64 \pm 0,08$
	Ta	$0,40 \pm 0,03$	$1,38 \pm 0,10$	$0,47 \pm 0,03$	$0,31 \pm 0,04$	$0,58 \pm 0,06$
4,2	C	$0,91 \pm 0,03$	$0,98 \pm 0,05$	$0,52 \pm 0,03$	$0,35 \pm 0,04$	$0,66 \pm 0,05$
	Ta	$1,20 \pm 0,04$	$0,79 \pm 0,06$	$0,45 \pm 0,02$	$0,30 \pm 0,03$	$0,56 \pm 0,04$
5,4	C	$1,22 \pm 0,04$	$0,88 \pm 0,05$	$0,53 \pm 0,03$	$0,38 \pm 0,05$	$0,63 \pm 0,07$
	Ta	$1,34 \pm 0,04$	$0,77 \pm 0,05$	$0,55 \pm 0,04$	$0,36 \pm 0,04$	$0,66 \pm 0,05$
9,9	C	$2,16 \pm 0,11$	$0,75 \pm 0,05$	$0,55 \pm 0,04$	$0,37 \pm 0,05$	$0,68 \pm 0,04$
	Ta	$3,07 \pm 0,08$	$0,62 \pm 0,03$	$0,48 \pm 0,03$	$0,37 \pm 0,04$	$0,65 \pm 0,10$
$\alpha_q$				$-0,80 \pm 0,05$	$-1,52 \pm 0,01$	$-0,94 \pm 0,10$
$\chi^2/NDF$				2,32	2,51	2,73

#### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ распределений по множественности различных типов вторичных частиц, образованных при столкновениях протонов с импульсами от 2 до 10 ГэВ/с с ядрами углерода и тантала, дает возможность установить некоторые общие закономерности, не зависящие от атомного веса ядра-мишени и энергии взаимодействия /в рассматриваемом интервале импульсов/:

- имеется линейная зависимость между моментами распределений  $D_q$  и средней множественности частиц  $\langle n \rangle$  ( $q=2,3,4$ );
- увеличение энергии столкновения приводит к увеличению средней множественности различных видов вторичных частиц, и значение отношения  $D_q/\langle n \rangle$  уменьшается. Введение параметра  $\alpha$  приводит к постоянству отношения  $D_q/\langle n - \alpha_q \rangle$ , что указывает на подобие в распределениях по множественности в использованном представлении;

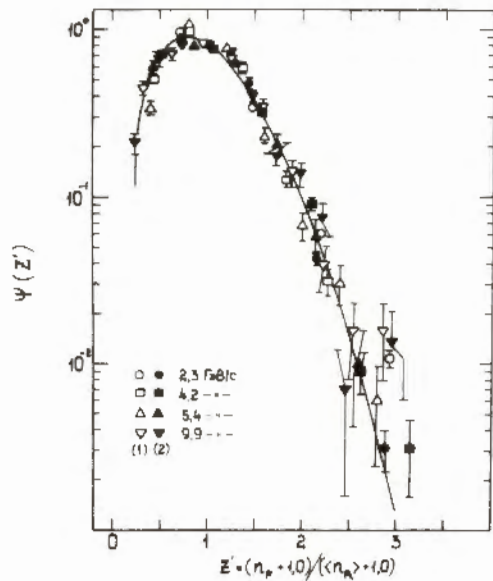


Рис.3. Распределение /5/ с  $\alpha_{\text{рел}} = -1,0$  для вторичных релятивистских протонов, образованных в реакции /1/ и /2/: — — — аппроксимация функцией вида /10/.

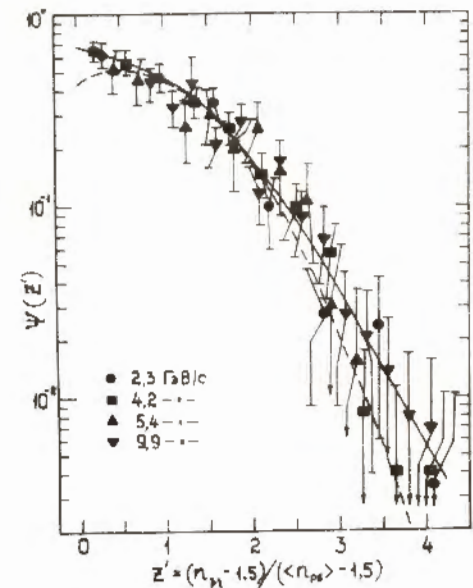
— — — распределения "модифицированного КНО-скейлинга"

$\langle n - \alpha \rangle \frac{\sigma_n}{\sigma_{\text{in}}} = \Psi' \left( \frac{n - \alpha}{\langle n - \alpha \rangle} \right)$  для рожденных отрицательных пионов и вторичных релятивистских протонов аппроксимируются четырехпараметрической функцией /10/; медленные протоны, образованные в рТ-столкновениях, тоже хорошо описываются зависимостями вида /11/.

Таблица 3

$P_p$ ГэВ/с	$A_t$	$\langle n_{\text{мед}}^+ \rangle$	$D_2 / \langle n \rangle$	$D_2 / \langle n - a_2 \rangle$	$D_3 / \langle n - a_3 \rangle$	$D_4 / \langle n - a_4 \rangle$
2,3	Тн	$3,09 \pm 0,06$	$0,38 \pm 0,02$	$0,82 \pm 0,10$	$0,68 \pm 0,12$	$0,96 \pm 0,15$
4,2	Тн	$4,10 \pm 0,08$	$0,47 \pm 0,02$	$0,79 \pm 0,08$	$0,64 \pm 0,10$	$0,91 \pm 0,12$
5,4	Тн	$4,96 \pm 0,10$	$0,54 \pm 0,02$	$0,82 \pm 0,06$	$0,69 \pm 0,08$	$0,98 \pm 0,10$
9,9	Тн	$5,58 \pm 0,13$	$0,58 \pm 0,02$	$0,82 \pm 0,06$	$0,69 \pm 0,08$	$0,98 \pm 0,10$
$\alpha_q$				$1,68 \pm 0,22$	$1,19 \pm 0,45$	$1,24 \pm 0,37$
$\chi^2 / \text{NDF}$				0,70	1,28	1,51

Рис.4. Распределение /5/ с  $\alpha_{\text{мед}} = +1,3$  для вторичных медленных протонов, образованных в реакции /2/: - - - подгонка под функцию вида /10/; — — — аппроксимация функцией вида /11/.



Пока трудно интерпретировать вводимый параметр  $\alpha$ , как и его различные значения, получаемые для разных видов вторичных частиц. Близкие значения параметров  $\alpha$  для вторичных  $\pi^-$ -мезонов, образованных в адрон-адронных, протон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях, указывают на единую природу их рождения, в основном в актах независимых однонуклонных взаимодействий.

Авторы выражают свою глубокую благодарность В.Г.Гришину за интерес и поддержку в работе и участникам сотрудничества по изучению множественных процессов за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, 1-12424, Дубна, 1979.
2. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, P1-12281, Дубна, 1979; ЯФ, 1979, 30, с.1590.
3. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, P1-10779, Дубна, 1977; ЯФ, 1978, 27, с.1020.
4. Koba Z., Nielsen H., Olesen P. Nucl.Phys., 1972, B40, p.317.
5. Slattery P. Phys.Rev.Lett., 1972, 29, p.1624; Phys.Rev., 1973, D7, p.2073.
6. Buras A., Dias de Deus J., Moller R. Phys.Lett., 1973, 77B, p.251.
7. Kaur M. et al. Nuovo Cim., 1978, 45A, p.161.
8. Ахабабян Н., Грекова Л. ОИЯИ, P1-12566, Дубна, 1979; Болгарский физический журнал, 1980, 7, вып.1, с.39.
9. Wroblewski A. In: Proc. of the 8th Int.Symp. on Multiparticle Dynamics. Kaysserberg, France, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел 24 апреля 1980 года.