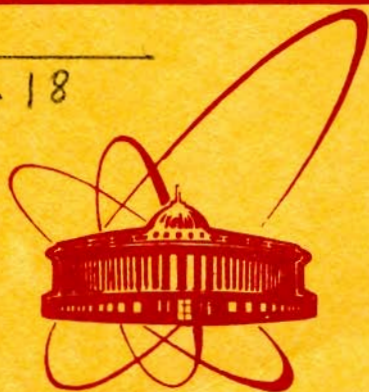


B-18



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

5595/2-79

7/1-80

P1 - 12691

И.Н.Варданян, А.И.Демьянов, С.И.Лютов, Э.Мулас,
В.С.Мурзин, Я.Плюта, В.Пэрыт, Л.И.Сарычева,
Б.Словинский, Л.Н.Смирнова, В.Чай

ПАРЦИАЛЬНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ НЕУПРУГОСТИ
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ АДРОНОВ
С РАЗЛИЧНЫМИ МИШЕНЯМИ

1979

P1 - 12691

И.Н.Варданян,¹ А.И.Демьянов,¹ С.И.Лютов,¹ Э.Мулас,²
В.С.Мурзин,¹ Я.Плюта, В.Пэрыт, Л.И.Сарычева,¹
Б.Словинский,² Л.Н.Смирнова,¹ В.Чай²

ПАРЦИАЛЬНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ НЕУПРУГОСТИ
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ АДРОНОВ
С РАЗЛИЧНЫМИ МИШЕНЯМИ

Направлено в ЯФ

¹ НИИЯФ Московского государственного университета.

² Институт физики Варшавского технического университета.

Варданян И.Н. и др.

P1 - 12691

Парциальные коэффициенты неупругости
при взаимодействии адронов с различными мишенями

Выполнено сравнение парциальных коэффициентов неупругости /долей энергии, переданной в электромагнитную компоненту/ при неупругих соударениях пионов и протонов с различными мишенями /пион, протон, C , Al , Fe , Pb , Xe, ядра фотоэмульсии/.

Показано, что величина парциального коэффициента неупругости α_{γ} определяется природой налетающей частицы и слабо зависит от природы частицы-мишени.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Vardanyan I.N. et al.

P1 - 12691

Partial Coefficients of Inelasticity
at the Interaction of Hadrons with Different
Targets

Partial coefficients of inelasticity (part of energy transmitted to electromagnetic component) in inelastic collisions of pions and protons with various targets (pion, proton, C , Al , Fe , Pb , Xe, photoemulsion targets) are compared. It is shown that the value of partial coefficient of inelasticity is determined by nature of projectile particle and depends on nature of target-particle weakly.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

1. ВВЕДЕНИЕ

Коэффициенты неупругости являются усредненными характеристиками адрон-ядерных взаимодействий; содержащими информацию о механизме передачи энергии от налетающей частицы к частице-мишени. Несмотря на большое количество работ, посвященных изучению этой характеристики, до сих пор отсутствуют эксперименты, выполненные с различными первичными частицами в идентичных условиях. Это обстоятельство значительно усложняет сравнение между собой существующих экспериментальных данных. Тем не менее в работе проведено такое сравнение. Используются работы, выполненные на ускорителях^{/2,3,7-15/} и в космических лучах^{/4-6,16/}, в которых рассматривались столкновения пионов или нуклонов с нуклонами и с различными атомными ядрами. Кроме того, нам удалось получить парциальный коэффициент неупругости в протон-пионном соударении, используя для этой цели данные о π^-p -реакции при 40 ГэВ/с и рассмотрев энергетический баланс в антилабораторной системе координат.

2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ α_γ

Парциальный коэффициент неупругости α_γ определяется по формуле

$$\alpha_\gamma = \frac{\sum E_\gamma}{E_0} \quad /1/$$

Обычно для определения энергии, переданной фотонам ($\sum E_\gamma$) в экспериментах с космическими частицами, используется калориметрическая методика. Детектором фотонов служит ионизационный калориметр со свинцовым поглотителем, прослоенный ионизационными камерами^{/4,6/}, искровыми камерами^{/2,5/}, сцинтилляторами^{/16/} или черенковскими счетчиками^{/5/}. Регистрируется энергия электромагнитных каскадов, образующихся от фотонов, возникающих при распаде нейтральных пионов. Энергия, переданная π^0 -мезонам, определяется по числу частиц в мак-

сумме каскадной кривой. При этом обычно следует вводить поправки на переходные эффекты /в слоях свинец - детектор/, ядерные расщепления и вторичные ядерные взаимодействия в детекторе фотонов. Подробно эта методика описана в работе^{/4/}. Применительно к условиям работы^{/4/}, в которой детектор фотонов состоял из трех рядов свинца толщиной 2 см, прослоенных рядами ионизационных камер, энергия фотонов, после введения указанных выше поправок, определялась из соотношения

$$E_{\gamma} = 0,14 \cdot N_{\max} \quad /2/$$

где N_{\max} - число частиц в максимуме каскадной кривой. Парциальный коэффициент неупругости a_{γ} вычислялся по формуле /1/, причем полная энергия первичной частицы E_0 находилась с помощью ионизационного калориметра. По годоскопическим счетчикам, расположенным над мишенью, определялось наличие или отсутствие заряда у первичной частицы. Пион-ядерные взаимодействия отделялись от нуклон-ядерных разностным методом.

Предполагалось, что на уровне гор /где были выполнены измерения/ доля протонов и нейтронов в космическом излучении одинакова. Поэтому разность распределений для заряженных и нейтральных частиц дает распределение для избытка заряженных, который, по-видимому, происходит в основном от пионов. Аналогичным методом были выполнены измерения в работе^{/5/}.

Следует, однако, отметить, что в работе^{/4/} вклад последовательных взаимодействий и ядерных расщеплений учитывается неполностью. Кроме того, из-за порога регистрации ионизации в калориметре /20-30 частиц в камере/ факт взаимодействия устанавливается лишь при относительно больших коэффициентах a_{γ} . Оценки показывают, что минимальное регистрируемое значение $a_{\gamma \min} \approx 0,025$. В результате среднее измеренное значение парциального коэффициента неупругости $\langle a_{\gamma} \rangle$ оказывается завышенным.

Наиболее точные данные о парциальных коэффициентах неупругости могут быть получены в работах с пузырьковыми камерами, облучаемыми частицами известной природы в экспериментах на ускорителях^{/7-10,12-15/}.

3. ПАРЦИАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ НЕУПРУГОСТИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРОТОНОВ И π^{-} -МЕЗОНОВ С ЯДРАМИ Хе

В данной работе использовались ксеноновые пузырьковые камеры, в которых эффективность регистрации фотонов близка

к ~100%. Энергия фотонов определялась по суммарному пробегу электронов в электронно-фотонном ливне, либо по числу частиц в максимуме ливня^{1/}. Камеры облучались пионами с импульсом 3,5 и 9 ГэВ/с и протонами с импульсом 2,34 ГэВ/с.

Для анализа были использованы события, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Общая характеристика экспериментального материала, полученного с помощью ксеноновых пузырьковых камер

Тип взаимодействия	E_0 (ГэВ/с)	$N_{\text{соб.}}$	E_0 (ГэВ)	$E_{\text{кин}}$ (ГэВ)	$\alpha_\gamma = \frac{\sum E_\gamma}{E_0}$	$\alpha_\gamma = \frac{\sum E_\gamma}{E_{\text{кин}}}$
$\pi^- \text{Xe}$	3.5	2229	3.5	3.37	0.196 ± 0.004	0.204 ± 0.004
$\pi^- \text{Xe}$	9	556	9	8.87	0.183 ± 0.006	0.186 ± 0.006
$p \text{Xe}$	2.34	450	2.52	1.58	0.120 ± 0.010	0.190 ± 0.020

Заметим, что при низких энергиях кинетическая энергия налетающей частицы, которая определяет энергию взаимодействия, существенно отличается от полной, и это необходимо учитывать при определении парциального коэффициента неупругости α_γ , что видно на примере $p \text{Xe}$ - взаимодействия /см. табл. 1 и рис. 1/.

Изменение $\langle \alpha_\gamma \rangle$ для $\pi^- \text{Xe}$ - взаимодействия при переходе от полной к кинетической энергии пренебрежимо мало, и в распределении α_γ мы его не учитываем - рис. 1а,б.

Из данных табл. 2 следует определенная корреляция $\langle \alpha_\gamma \rangle$ и N_{ch} : доля энергии, передаваемая фотонам, уменьшается с ростом множественности N_{ch} заряженных частиц, что согласуется с данными работы^{18/}.

В других работах с пузырьковыми камерами парциальный коэффициент неупругости определялся по энергетическому балансу, в котором учитывалась передача энергии нейтральным и заряженным пионам, а также другим вторичным частицам / K , Λ , p , π и т.д./.

4. КОЭФФИЦИЕНТ НЕУПРУГОСТИ В АНТИЛАБОРАТОРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

В работах^{18,14/} с помощью пропановой пузырьковой камеры, облученной π^- -мезонами с импульсом 40 ГэВ/с, был определен

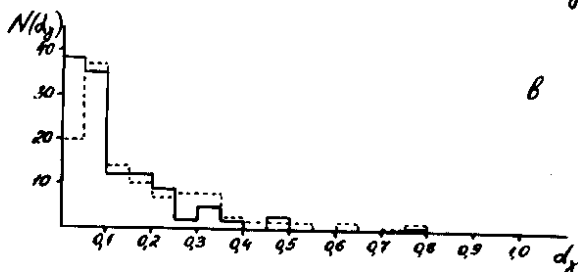
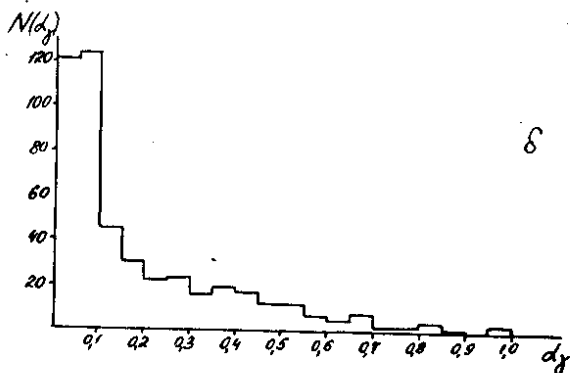
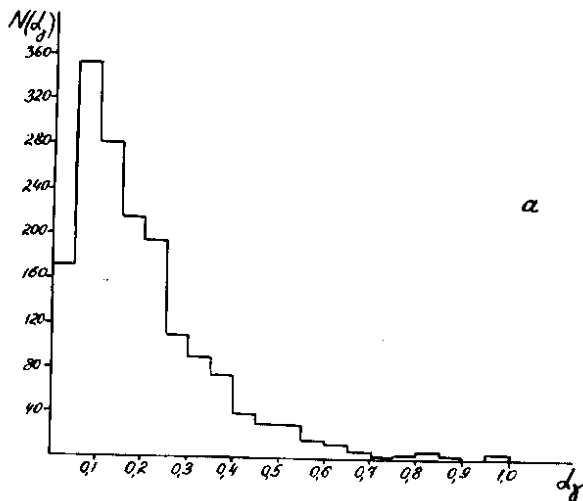


Рис. 1. Распределение доли энергии α_γ , переданной γ -квантам;
 а/ π^- -Xe, $E_{\text{полн}} = 3,5$ ГэВ; б/ π^- -Xe, $E_{\text{полн}} = 9$ ГэВ; в/ p-Xe,

$E_{\text{полн}} = 2,52$ ГэВ; сплошная линия - $\alpha = \frac{\sum E_\gamma}{E_{\text{полн}}}$; пунктир -

$$\alpha_\gamma = \frac{\sum E_\gamma}{E_{\text{кин}}}$$

Таблица 2

Зависимость a_γ от числа заряженных частиц N_z

$P_0 = 3.5 \text{ ГэВ/с}$		$P_0 = 9 \text{ ГэВ/с}$		$P_0 = 2.34 \text{ ГэВ/с}$	
N_z	$\alpha_\gamma = \frac{\sum E_\gamma}{E_0}$	N_z	$\alpha_\gamma = \frac{\sum E_\gamma}{E_0}$	N_z	$\alpha_\gamma = \frac{\sum E_\gamma}{E_0}$
0	0.636 ± 0.040	0	0.923 ± 0.063	0	-
1	0.380 ± 0.029	1	0.508 ± 0.054	1	0.184 ± 0.035
2	0.265 ± 0.014	2	0.365 ± 0.047	2	0.119 ± 0.015
3	0.208 ± 0.011	3	0.306 ± 0.032	3	0.114 ± 0.023
4	0.216 ± 0.010	4	0.270 ± 0.026	4	0.102 ± 0.026
5	0.186 ± 0.009	5	0.195 ± 0.026	≥ 5	0.068 ± 0.011
6	0.187 ± 0.008	6	0.108 ± 0.017		
7	0.152 ± 0.008	7	0.158 ± 0.023		
8	0.141 ± 0.008	8	0.155 ± 0.034		
9	0.128 ± 0.007	9	0.137 ± 0.025		
≥ 10	0.138 ± 0.124	≥ 10	0.085 ± 0.008		

полный энергетический баланс для реакций $\pi^- p$, $\pi^- n$ и $\pi^- C$. Измеренное значение среднего коэффициента неупругости в этих экспериментах является, по-видимому, достаточно надежным.

Мы использовали экспериментальные данные о $\pi^- p$ -взаимодействии и определили парциальный коэффициент неупругости в антилабораторной системе координат, т.е. для $p\pi^-$ -взаимодействий. В этом случае эквивалентная энергия протона получается равной 270 ГэВ, а измеренные парциальные коэффициенты неупругости характеризуют неупругость протона при столкновении с пионной мишенью. Коэффициент неупругости рассчитывался по формуле

$$\langle a_\gamma \rangle = \frac{\langle n_\gamma \rangle \cdot \langle E_\gamma \rangle}{E_0},$$

где $\langle n_\gamma \rangle$ - среднее число γ -квантов на одно неупругое $\pi^- p$ -событие при 40 ГэВ/с, $\langle n_\gamma \rangle = 5,10 \pm 0,05$. $\langle E_\gamma \rangle$ - средняя энергия γ -квантов в антилабораторной системе координат, она оказалась равной $7,85 \pm 0,06$ ГэВ. E_0 - полная энергия взаимодействия. $E_0 = 270$ ГэВ. Средний парциальный коэффициент неупругости $\langle a_\gamma \rangle$ оказался равным в этом случае: $\langle a_\gamma \rangle = 0,15 \pm 0,01$. Полученное значение $\langle a_\gamma \rangle$ для $p\pi^-$ -взаимодействия хорошо согласуется с результатами соответствующих измерений этой величины в pp -столкновении при энергии 200

Таблица 3

Парциальные коэффициенты неупругости в адронных взаимодействиях

Первичная частица - нуклон			Первичная частица - ядро		
Тип взаимодействия	$E_{кин}$ (ГэВ)	$\langle \alpha_{\gamma} \rangle$	Тип взаимодействия	$E_{кин}$ (ГэВ)	$\langle \alpha_{\gamma} \rangle$
p+Xe	1.58	$0.19 \pm 0.02^{+/-}$	π^{-} +Xe	3.37	$0.204 \pm 0.004^{+/-}$
p+C	9.06	$0.15 \pm 0.02^{/2/}$	π^{-} +Xe	8.87	$0.186 \pm 0.006^{+/-}$
p+C	19.56	$0.16 \pm 0.02^{/2/}$	80% π^{-} +p 20% π^{-} +Ne	10.37	$0.240 \pm 0.010^{/10/}$
p+C	27.06	$0.15 \pm 0.02^{/2/}$	π^{-} +Em(N)	16.86	$0.290 \pm 0.020^{x/11/}$
p+Em(N)	20.58	$0.12 \pm 0.01^{xx/3/}$	π^{-} +Em(C,N,O)	16.86	$0.31 \pm 0.03^{x/11/}$
p+C	200	$0.18 \pm 0.03^{/4/}$	π^{-} +Em(Ag,Br)	16.86	$0.31 \pm 0.02^{x/11/}$
p+Fe	200	$0.27 \pm 0.05^{/4/}$	π^{-} +p	18.36	$0.23 \pm 0.02^{/12/}$
p+CH ₂	200+2000	$0.17 \pm 0.01^{/5/}$	π^{+} +p	18.36	$0.21 \pm 0.02^{/12/}$
p+Al	200+2000	$0.18 \pm 0.02^{/5/}$	π^{-} +p	39.86	$0.26 \pm 0.01^{/13/}$
p+Fe	200+2000	$0.19 \pm 0.02^{/5/}$	π^{-} +п	39.86	$0.29 \pm 0.02^{/13/}$
p+Pb	200+2000	$0.21 \pm 0.02^{/5/}$	π^{-} +C	39.86	$0.24 \pm 0.01^{/14/}$
h-A (LiH)	100+500	$0.15 \pm 0.04^{/6/}$	π^{-} +Em(N)	49.86	$0.34 \pm 0.02^{x/15/}$
h-A (70%hPb+30%hCu)	100+300	$0.19 \pm 0.03^{/6/}$	π^{-} +Em(N _k ≤ 6)	49.86	$0.30 \pm 0.01^{x/15/}$
- " -	300+600	$0.17 \pm 0.02^{/6/}$	π^{-} +Em(N _k ≥ 7)	49.86	$0.34 \pm 0.02^{x/15/}$
- " -	600+1400	$0.16 \pm 0.03^{/6/}$	п + C	200	$0.45 \pm 0.05^{/4/}$
p+p	205	$0.14 \pm 0.02^{/7/}$	п + Fe	200	$0.45 \pm 0.05^{/4/}$
p+p	300	$0.17 \pm 0.03^{/8/}$	п + CH ₂	200+2000	$0.33 \pm 0.02^{/5/}$
p+ π^{-}	270	$0.15 \pm 0.01^{0/}$	п + Al	200+2000	$0.37 \pm 0.04^{/5/}$
p+p	68	$0.12 \pm 0.01^{/9/}$	п + Fe	200+2000	$0.38 \pm 0.04^{/5/}$
			п + Pb	200+2000	$0.39 \pm 0.04^{/5/}$
			п + Em(N)	59.86	$0.36 \pm 0.02^{x/3/}$

⁺/ Данные настоящей работы - ксеноновая пузырьковая камера.

[⊖]/ Данные настоящей работы - пропановая пузырьковая камера.

^{x/} Из этих результатов исключены нейтральные странные частицы: $\langle \alpha_{K^0+\Lambda^0} \rangle = 0,04 \pm 0,01^{/13/}$,

^{xx/} $\langle \alpha_{K^0+\Lambda^0} \rangle = 0,048 \pm 0,010$ - данные настоящей работы.

Em - Эмульсия.

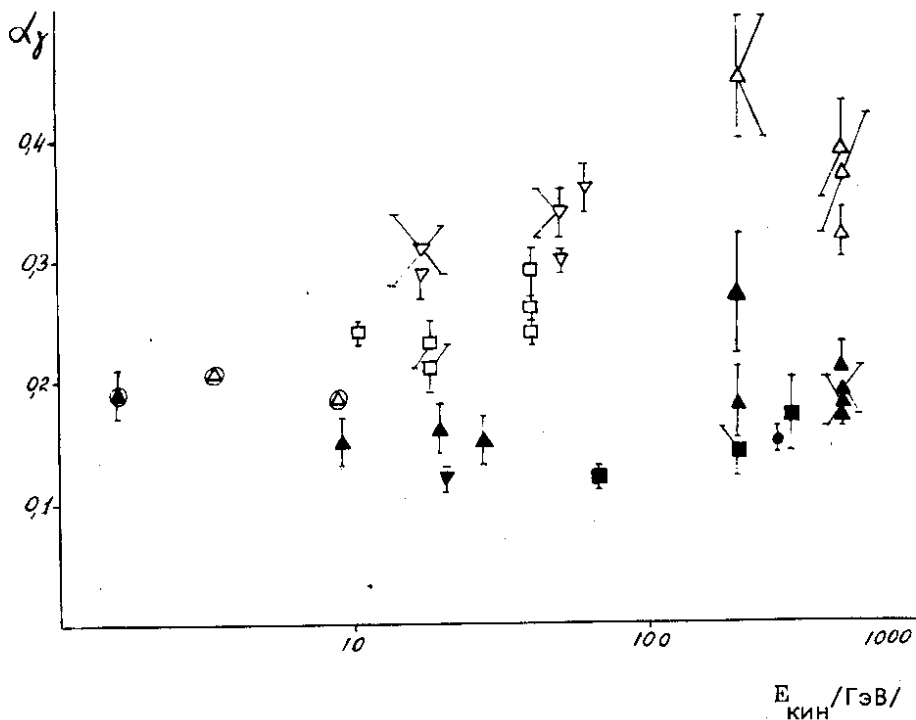


Рис. 2. Парциальные коэффициенты неупругости в адронных взаимодействиях:

- - $p\pi$, ■ - pp , Δ - pA , ∇ - pEm ,
- \triangle - pXe , \square - πp , Δ - πA , ∇ - πEm ,
- \triangle - πXe .

и $300 \text{ ГэВ}^{7,8/}$. Сопоставление этой величины со значением $\langle a_\gamma \rangle = 0,26 \pm 0,01$ для π^-p -взаимодействия, полученным в тех же экспериментальных условиях, позволяет сделать заключение о том, что $\langle a_\gamma \rangle$ определяется природой налетающей частицы и имеет место факторизация вершин взаимодействия.

5. ОБСУЖДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В табл. 3 приводится сводка данных о среднем значении коэффициента неупругости $\langle a_\gamma \rangle$, полученных в разных экспериментах отдельно для первичных протонов и пионов. Следует заметить, что вместо полной первичной энергии E_0 в формуле /1/ при определении a_γ использовалась кинетическая энергия $E_{\text{кин}}$, что сказывается на результатах при низких энергиях частиц.

Отчетливо видно и отмечалось ранее в работах^{/4,5/} различие в коэффициентах неупругости протонов и пионов. Это различие проявляется при энергии первичных частиц > 10 ГэВ. Для большей наглядности поведение $\langle a_\gamma \rangle$ для взаимодействий пионов и протонов с различными мишенями в широком интервале энергий показано на рис. 2. На основании этого рисунка можно также заключить, что когда первичной частицей является протон, размеры мишени не оказывают заметного влияния на величину $\langle a_\gamma \rangle$.

В заключение авторы выражают свою признательность членам Сотрудничества по обработке снимков с пузырьковой камеры за участие в обработке первичного экспериментального материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Словинский Б. Автореферат диссертации. ОИЯИ, 1-10932, Дубна, 1977.
2. Jones W.V. et al. Nuovo Cimento, 1972, 8A, No.3, p.575.
3. Жданов Г.Б. и др. Изв. АН СССР, сер.Физ., 1971, 35, с.2076.
4. Erofeeva I.N. et al. In: Proc. of the Ninth Int. Conf. on Cosmic Rays, v.II. London, 1965, p.833.
5. Азимов С.А. и др. В сб: Упругие и неупругие соударения частиц большой энергии с нуклонами и ядрами. ФАН, 1975, с.224.
6. Фетисов И.Н. и др. Изв. АН СССР, сер.Физ., 1971, 35, с.2187.
7. Jaeger K. et al. Phys.Rev., 1975, D11, p.2405.
8. Sheng A. et al. Phys.Rev., 1975, D11, p.1173.
9. Boratev M. et al. Nucl.Phys., 1976, B111, p.529.
10. Elliot J.R. et al. XVII Int. Conf. of High Energies, Contrib., paper No.162, London, 1974.
11. Масленникова Н.В. и др. Краткие сообщения по физике, 1974, №2, с.575.

12. Bigwas N.N. et al. XVII Int. Conf. on High Energies, Contrib., paper No.761, London, 1974.
13. Ангелов Н.С. и др. ЯФ, 1976, 23, вып.2, с.365.
14. Ангелов Н.С. и др. ЯФ, 1978, 27, вып.1, с.190.
15. Сотрудничество: Алма-Ата - Дубна - Ленинград - Москва - Ташкент. ЯФ, 1977, 26, вып.6, с.1237.
16. Jones L.W. et al. Phys.Rev.Lett., 1970, 25, p.1679.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 июля 1979 года.