

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

K-19

P1-88-30

Т. Канарек, Е. Н. Кладницкая, Г. П. Тонеева*,
Р. Тогоо

СПЕКТРЫ ПРОТОНОВ И π^- -МЕЗОНОВ
В СС-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 ГэВ/с на нуклон

Направлено в журнал "Ядерная физика"

* Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ

1988

Спектры протонов и π^- -мезонов
в СС-взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон

Приводятся инвариантные сечения выхода протонов и π^- -мезонов под фиксированными углами в системе покоя ядра-мишени в зависимости от импульсов этих частиц для СС-взаимодействий при 4,2 ГэВ/с на нуклон. Спектры протонов и π^- -мезонов, испускаемых под углами $\theta > 20^\circ$, описываются экспонентой вида $\sigma_{\text{инв}} = A \exp(-P/P_0^P(\pi^-))$. Параметры P_0^P и $P_0^{\pi^-}$ убывают с увеличением θ . Значения параметров $P_0^{\pi^-}$ меньше величин P_0^P в соответствующих угловых интервалах до $\theta = 70^\circ$. Для углов выше 70° значения P_0^P и $P_0^{\pi^-}$ близки между собой.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод Л.Н.Барабаш.

Proton and π^- -Meson Spectra in CC-Interactions
at 4.2 GeV/c per Nucleon Momentum

The invariant cross sections of proton and π^- -meson production have been measured at fixed angles in the rest system of the target nucleus versus the momenta of these particles for CC-interactions at 4.2 GeV/c per nucleon. The spectra of protons and π^- -mesons emitted at angles, θ , of $> 20^\circ$ are described by an exponent of the type $\sigma_{\text{инв}} = A \exp(-P/P_0^P(\pi^-))$. The parameters P_0^P and $P_0^{\pi^-}$ decrease with increasing θ . The values of $P_0^{\pi^-}$ are smaller than those of P_0^P in the corresponding angular intervals to $\theta = 70^\circ$. The values of P_0^P and $P_0^{\pi^-}$ are similar for angles above 70° .

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена анализу спектров протонов и π^- -мезонов в лабораторной системе в угловом интервале от 0 до 180° во взаимодействиях ядер углерода с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон с углеродной мишенью. Представленные спектры охватывают практически полный интервал импульсов протонов и отрицательных пионов, кинематически доступный для исследуемых СС-взаимодействий.

В экспериментах по изучению ядро-ядерных соударений, проводившихся на дубненском синхрофазотроне, анализировались распределения протонов и π^- -мезонов из области фрагментации либо ядрамишени^{/1-4/}, либо ядра-снаряда^{/5-7/}. Спектры протонов в широком интервале импульсов и углов получены во взаимодействиях ядер меньших энергий (до 2,1 ГэВ) на ускорителе Бэвалак (см., например,^{/8/}).

Исследованию спектров протонов в интервале до 1 ГэВ/с в адрон-ядерных взаимодействиях посвящены эксперименты, выполненные в ИТЭФ (см., например, работу^{/9/} и ссылки в ней).

Новые результаты измерения инвариантных сечений реакций $pA \rightarrow pX$ и $pA \rightarrow \pi^+X$ для импульсов вторичных протонов и π^- -мезонов в интервалах $0,6 \div 1,83$ ГэВ/с и $0,6 \div 1,62$ ГэВ/с соответственно под углом 119° при энергии первичных протонов 10 ГэВ приведены в работах^{/10/}.

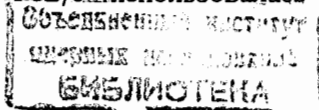
Инклюзивные распределения протонов и π^- -мезонов по кинематическим переменным в СС-взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с на нуклон опубликованы в^{/11, 12/}.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Использованы стереофотографии, полученные при облучении двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ ядрами углерода с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон.

Взаимодействия на ядре углерода отбирались из всех событий в пропане согласно описанной ранее методике^{/11/}. Всего было отобрано 3342 события.

На снимках с пропановой камеры эффективность идентификации протонов близка к 100% лишь для интервала импульсов $0,15 \div 0,5$ ГэВ/с. Протоны с импульсом $P_{\text{лвб}} < 0,15$ ГэВ/с в камере не видны из-за малого пробега (< 2 мм). Для получения спектра протонов в интервале импульсов выше 0,5 ГэВ/с использовалась следующая процедура:



из распределений однозарядных положительных частиц, куда входят протоны (с примесью дейтронов и ядер трития) и π^+ -мезоны с $P_{\text{лаб}} > 0,5$ ГэВ/с, вычитались распределения π^+ -мезонов с $P_{\text{лаб}} > 0,5$ ГэВ/с. Для СС-взаимодействий такой подход вполне правомерен, поскольку спектры π^+ и π^+ -мезонов должны совпадать. Примесь дейтронов и ядер трития среди однозарядных фрагментов составляет не более $10 \div 15\%$ ^{8,13/}. Из спектров были исключены стриппинговые фрагменты ядра-снаряда ($P_{\text{лаб}} > 3$ ГэВ/с и $\theta_{\text{лаб}} < 4^\circ$) и ядра-мишени ($P_{\text{лаб}} < 0,3$ ГэВ/с)^{11/}. Все отрицательные частицы в отобранных СС-взаимодействиях считались π^- -мезонами. В пропановой камере π^- -мезоны надежно идентифицируются с импульсом $P_{\text{лаб}} > 0,07$ ГэВ/с. В дальнейшем анализе использовано ~ 15000 протонов и ~ 6000 π^- -мезонов*.

ИМПУЛЬСНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТОНОВ

Зависимости инвариантных сечений выхода протонов $\sigma_{\text{инв}} = E/P^2 d^2\sigma/dp d\Omega$ от их импульса в лабораторной системе для фиксированных угловых интервалов показаны на рис.1-3. Видно, что форма спектров существенно зависит от угла вылета протонов. При малых углах ($5 \div 10^\circ$) инвариантное сечение протонов слабо меняется вплоть до 4 ГэВ/с, т.е. до величины, соответствующей импульсу на нуклон ядра-снаряда. Выше 4 ГэВ/с спектр экспоненциально убывает. Появление в СС-взаимодействиях протонов с импульсами, превышающими импульс нуклона в налетающем ядре (в нашем случае доля таких протонов составляет $(10 \pm 1)\%$), обсуждалось в работе^{11/}.

Для $\theta_{\text{лаб}}$ выше 10° спектры принимают спадающий вид и могут быть аппроксимированы экспонен-

циальными функциями.

Рис.1. Инвариантные сечения выхода протонов в интервалах углов $5^\circ \div 10^\circ$ (O), $10^\circ \div 20^\circ$ (●) и $20^\circ \div 30^\circ$ (x) в зависимости от импульса протонов.

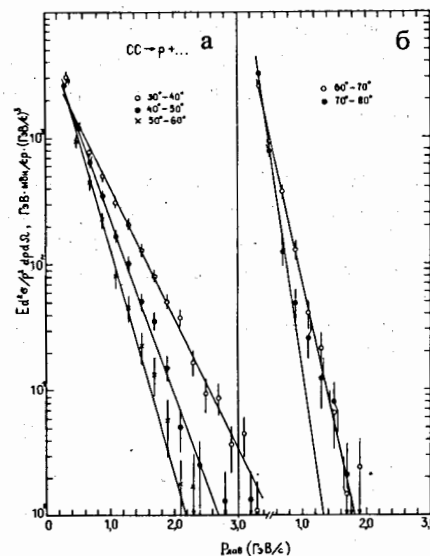
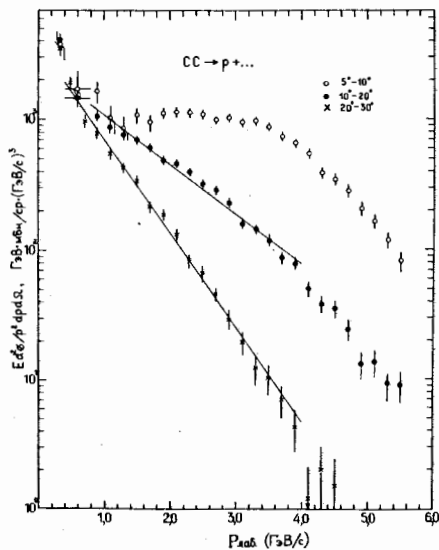


Рис.2. Инвариантные сечения выхода протонов в интервалах углов $30^\circ \div 40^\circ$ (O), $40^\circ \div 50^\circ$ (●), $50^\circ \div 60^\circ$ (x) (a); $60^\circ \div 70^\circ$ (O), $70^\circ \div 80^\circ$ (●) (б) в зависимости от импульса протонов.

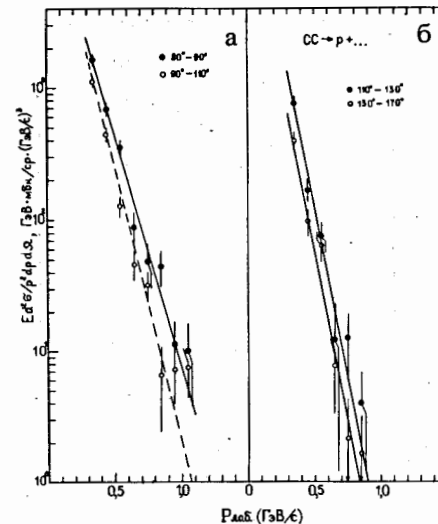


Рис.3. Инвариантные сечения выхода протонов в интервалах $80^\circ - 90^\circ$ (●), $90^\circ - 110^\circ$ (O) (a); $110^\circ - 130^\circ$ (●), $130^\circ - 180^\circ$ (O) (б) в зависимости от импульса протонов.

Таблица

Интервал $\theta_{\text{лаб}}$, град	Интервал $P_{\text{лаб}}$, ГэВ/с	P_0^p , ГэВ/с	$\chi^2/\text{ст.св.}$	Интервал $P_{\text{лаб}}$, ГэВ/с	$P_0^{\pi^-}$, ГэВ/с	$\chi^2/\text{ст.св.}$
10-20	0,8-4,0	$1,14 \pm 0,03$	1,4	0,5-2,6	$0,36 \pm 0,01$	1,2
20-30	0,4-4,0	$0,60 \pm 0,01$	0,9	0,1-2,3	$0,31 \pm 0,01$	1,8
30-40	0,3-3,4	$0,42 \pm 0,01$	1,0	0,1-1,8	$0,26 \pm 0,01$	1,1
40-50	0,3-2,8	$0,31 \pm 0,01$	1,2	0,1-1,5	$0,21 \pm 0,01$	0,6
50-60	0,3-2,4	$0,24 \pm 0,01$	1,8	0,1-1,3	$0,156 \pm 0,005$	2,6
60-70	0,3-2,0	$0,19 \pm 0,01$	0,7	0,1-1,1	$0,138 \pm 0,006$	0,6
70-80	0,3-1,6	$0,12 \pm 0,01$	3,9	0,1-1,1	$0,121 \pm 0,007$	1,0
80-90	0,3-1,1	$0,12 \pm 0,01$	1,2	0,1-0,9	$0,104 \pm 0,007$	1,3
90-110	0,3-1,1	$0,101 \pm 0,005$	1,7	0,1-0,7	$0,085 \pm 0,005$	0,9
110-130	0,3-0,9	$0,081 \pm 0,007$	1,3	0,1-0,6	$0,074 \pm 0,005$	1,4
130-180	0,3-0,9	$0,082 \pm 0,007$	1,2	0,1-0,5	$0,056 \pm 0,004$	1,1

* π^- -мезоны взяты из несколько большей статистики СС-событий, чем протоны.

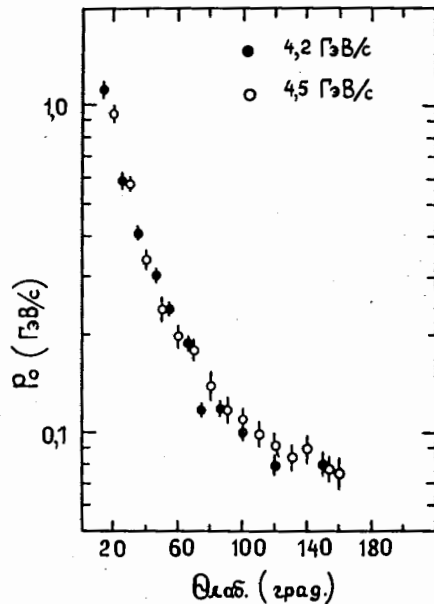
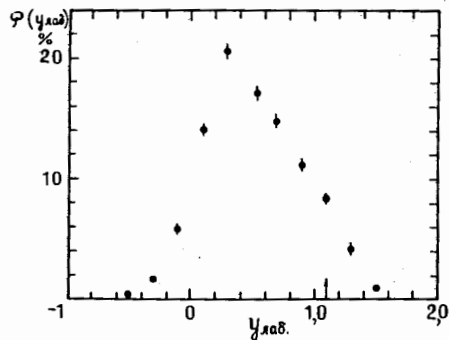


Рис.4. Зависимость параметра P_0^D (см. текст) от угла вылета протонов. ● — данные настоящей работы, ○ — результаты работы^{/3/}.

Рис.5. Распределение по продольной скорости протонов, вылетающих под углами $\theta_{\text{лаб}} > 20^\circ$. Стрелкой показано значение $u_{\text{лаб}}$ для системы центра масс нуклон — нуклон.



той вида $\sigma_{\text{инв}} = A \exp(-P/P_0^D(\theta))$. Значения параметра $P_0^D(\theta)$, интервалы $P_{\text{лаб}}$, по которым проводилась аппроксимация, и значения χ^2 на степень свободы для фиксированных угловых интервалов приведены в таблице. На рис.1-3 результаты фита показаны прямыми линиями. Значения $P_0^D(\theta)$ уменьшаются с увеличением угла испускания протонов примерно до 110° , а далее, в пределах ошибок, остаются постоянными. Полученная в нашем эксперименте зависимость P_0^D от $\theta_{\text{лаб}}$ ($\theta_{\text{лаб}} > 20^\circ$) для спектров протонов совпадает с зависимостью P_0^D от угла вылета протонов, полученной в работе^{/3/} при описании спектров протонов в интервале $350 \div 900$ МэВ/с для СС-взаимодействий при 4,5 ГэВ/с на нуклон (рис.4).

Распределение протонов, вылетающих под углами $\theta_{\text{лаб}} > 20^\circ$ по продольной скорости (рис.5), показывает, что анализируемые нами спектры в указанном угловом интервале содержат протоны не только из области фрагментации ядра-мишени, но частично и из центральной области, куда входят протоны из обоих сталкивающихся ядер.

ИМПУЛЬСНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ π^- -МЕЗОНОВ

Инвариантные сечения выхода π^- -мезонов в СС-соударениях в зависимости от импульса в лабораторной системе показаны на рис.6-8. При малых углах вылета π^- -мезонов сечения мало меняются для $P_{\text{лаб}}$ до 1 ГэВ/с, а потом быстро убывают.

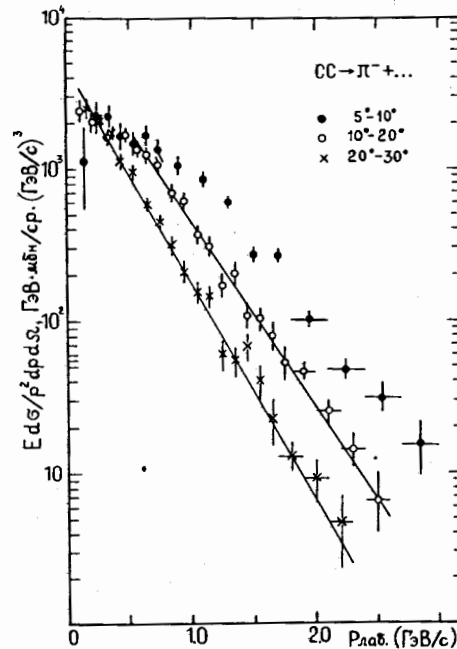


Рис.6. Инвариантные сечения выхода π^- -мезонов в интервалах углов $5^\circ \div 10^\circ$ (●), $10^\circ \div 20^\circ$ (○), $20^\circ \div 30^\circ$ (×), в зависимости от импульса π^- -мезонов.

Рис.7. То же, что на рис.6, для угловых интервалов $30^\circ \div 40^\circ$ (●), $40^\circ \div 50^\circ$ (○), $50^\circ \div 60^\circ$ (×).

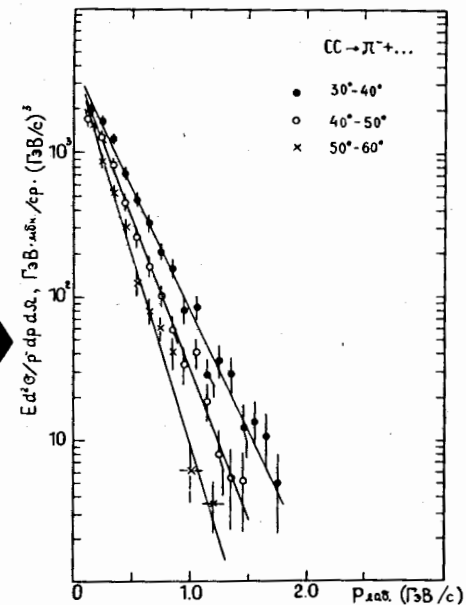
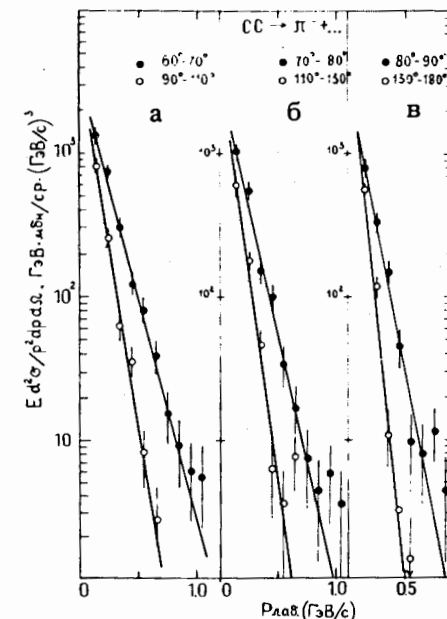


Рис.8. То же, что на рис.6, для угловых интервалов $60^\circ \div 70^\circ$ (●), $70^\circ \div 80^\circ$ (○) а); $80^\circ \div 90^\circ$ (●), $90^\circ \div 100^\circ$ (○) б); $110^\circ \div 130^\circ$ (○) в); $130^\circ \div 150^\circ$ (○) г); $150^\circ \div 180^\circ$ (○) д).

Выше 20° спектры π^- -мезонов экспоненциально спадают с увеличением $R_{\text{лаб}}$. Так же, как и для протонов, спадание усиливается по мере возрастания $\theta_{\text{лаб}}$. Аппроксимация инвариантных сечений функций $\sigma_{\text{инв}} = a \exp(-R/R_0^\pi(\theta))$ дала значения R_0^π , представленные в таблице. Параметры R_0^π убывают вплоть до самых больших углов, однако убывание идет медленнее, чем у параметра R_0^p . Значения R_0^π меньше величины R_0^p для небольших углов, по мере увеличения $\theta_{\text{лаб}}$ эти параметры сближаются и в угловом диапазоне $70 \div 80^\circ$ совпадают. Для углов выше 80° R_0^p и R_0^π близки между собой, хотя R_0^π систематически меньше R_0^p (см. таблицу).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во взаимодействиях ядер углерода с углеродной мишенью при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон спектры всех протонов с $R_{\text{лаб}} > 0,3$ ГэВ/с, испускаемых под углами $\theta_{\text{лаб}} > 20^\circ$ (это 45% протонов), могут быть описаны экспонентой вида $\sigma_{\text{инв}} = A \exp(-R/R_0^p(\theta))$. Значения параметров $R_0^p(\theta)$ убывают с увеличением угла вылета протонов от 20° до 110° , а в интервале $110^\circ \div 180^\circ$ остаются постоянными.

Значения параметров $R_0^p(\theta)$ при соответствующих углах совпадают с величинами $R_0^p(\theta)$, полученными в работе^{/3/} при описании спектров протонов в ограниченном интервале импульсов ($350 \div 900$ МэВ/с) в СС-взаимодействиях при импульсе 4,5 ГэВ/с на нуклон.

При фиксированном угле вылета ($\theta_{\text{лаб}} > 20^\circ$) одной экспонентой описывается импульсный спектр, включающий протоны не только от фрагментации ядра-мишени, но и частично из центральной области по продольной быстрой, куда попадают протоны от фрагментации обоих сталкивающихся ядер.

Спектры π^- -мезонов ($R_{\text{лаб}} > 0,1$ ГэВ/с) из тех же СС-соударений при углах $\theta_{\text{лаб}} > 20^\circ$ (это 68% всех π^- -мезонов) также описываются экспонентой с параметрами $R_0^\pi(\theta)$, убывающими с увеличением $\theta_{\text{лаб}}$ от 20° до 180° . Значения параметров R_0^π меньше величин R_0^p в соответствующих угловых интервалах до $\theta_{\text{лаб}} = 70^\circ$. Для углов выше 70° значения R_0^p и R_0^π близки между собой.

Подобное соотношение параметров R_0^p и R_0^π для углов больше 90° наблюдалось в протон-ядерных взаимодействиях, например в pA -соударениях при 8,9 ГэВ/с^{/2/} и 10 ГэВ^{/10/}. При этом сами параметры R_0^p и R_0^π , определенные нами, в пределах $\sim 10\%$ погрешностей совпадают с соответствующими параметрами из работ^{/2,10/}.

Авторы работы^{/3/} уже отмечали, что имеет место подобие формы спектров протонов в области углов $\theta_{\text{лаб}} > 90^\circ$ как для протон-ядерных (4 ГэВ/с^{/14/} и 7,5 ГэВ/с^{/15/}), так и для ядро-ядерных взаимодействий при 4,5 ГэВ/с на нуклон.

Из сравнения наших результатов с данными работ^{/2/} и ^{/10/} аналогичное заключение можно сделать относительно спектров π^- -мезонов, испускаемых под углами $\theta_{\text{лаб}} > 90^\circ$.

Авторы выражают благодарность Е.Бартке за полезные обсуждения, участникам сотрудничества по исследованию на двухметровой пропановой камере за получение экспериментального материала, лаборантам за просмотр пленок и измерение событий, И.И.Зайцевой, З.В.Сафроновой за помощь в оформлении рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ставинский В.С. – ЭЧАЯ, 1979, т.10, вып.3, с.949.
2. Baldin A.M. et al. JINR, E1-82-472, Dubna, 1982; Балдин А.М. и др. ОИЯИ, P1-83-432, Дубна, 1983.
3. Адьясевич Б.П. и др. – ЯФ, 1984, т.40, в.2(8), с.495.
4. Аникина М.Х. – ЯФ, 1984, т.40, с.489.
5. Abdurakhimov A.U. JINR, E1-12730, Dubna, 1979; Nucl.Phys.A, 1981, v.362, p.376.
6. Глаголев В.В. и др. ОИЯИ, 1-80-244, Дубна, 1980; ОИЯИ, P1-85-149, Дубна, 1985.
7. Ableev V.G. et al. – Nucl.Phys.A, 1983, v.393, p.491.
8. Nagatija S. et al. – Phys.Rev.C, 1981, v.24, p.971.
9. Бургов Н.А. и др. – ЯФ, 1976, т.24, вып.6, с.1183.
10. Бояринов С.В. и др. – ИТЭФ, 86-130, М.: ЦНИИатоминформ, 1986; ИТЭФ, 87-5, М.: ЦНИИатоминформ, 1987.
11. Армуглийски Д. и др. ОИЯИ, P1-86-263, Дубна, 1986; ЯФ, 1987, т.45, вып.4, с.1047.
12. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, P1-84-35, Дубна, 1984; ЯФ, 1984, т.40, с.1209.
13. Adjasevich V.P. et al. IAE-4148/2, Moscow, 1985.
14. Nakai K. et al. – Phys.Lett., 1983, v.121B, N6, p.373.
15. Баюков Ю.Д. и др. – ЯФ, 1985, т.42, вып.1(7), с.185; ЯФ, 1985, т.42, вып.2(8), с.377.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 января 1988 года.