

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

A-139

23/11-79

P1 - 12126

А. Абдивалиев, К. Бешлиу, А. П. Гаспарян, С. Груиа,
А. П. Иерусалимов, Д. К. Копылова, Ф. Которобай,
В. И. Мороз, А. В. Никитин, Ю. А. Троян

1594/2-79

НАБЛЮДЕНИЕ ОСОБЕННОСТИ
В РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ ЭФФЕКТИВНЫХ МАСС

$p \pi^+ \pi^+ (n \pi^- \pi^-)^-$

КОМБИНАЦИЙ В РЕАКЦИИ $pn \rightarrow p \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^- n$

ПРИ $P_n = (5,10 \pm 0,17)$ ГЭВ/с

1979

P1 - 12126

А. Абдивалиев, К. Бешлиу, А. П. Гаспарян, С. Груиа,
А. П. Иерусалимов, Д. К. Копылова, Ф. Которобай,
В. И. Мороз, А. В. Никитин, Ю. А. Троян

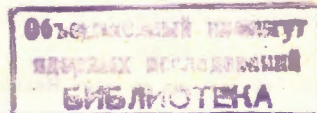
НАБЛЮДЕНИЕ ОСОБЕННОСТИ
В РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ ЭФФЕКТИВНЫХ МАСС

$p \pi^+ \pi^+ (n \pi^- \pi^-) ^-$

КОМБИНАЦИЙ В РЕАКЦИИ $pn \rightarrow p \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^- n$

ПРИ $P_n = (5,10 \pm 0,17)$ ГЭВ/с

Направлено в ЯФ



Абдивалиев А. и др.

P1 - 12126

Наблюдение особенности в распределениях эффективных масс $p\pi^+\pi^+(n\pi^-\pi^-)$ - комбинаций в реакции $np \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-n$ при $P_n = (5,10 \pm 0,17)$ ГэВ/с

В реакции $np \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-n$ при $P_n = (5,10 \pm 0,17)$ ГэВ/с обнаружена особенность в распределениях эффективных масс $p\pi^+\pi^+(n\pi^-\pi^-)$ - комбинаций при $M = 1440$ МэВ/с². Возможный резонанс имеет изотопический спин $I = 5/2$, ширину $\Gamma_0 \approx 43$ МэВ/с², распадается в $\approx 90\%$ случаев на $\Delta^{++}\pi^+$. Его спин $> 1/2$. Сечение образования резонанса $= (21 \pm 3)$ мкб. Показано хорошее согласие полученных характеристик с предсказаниями на основе сверхсходящихся правил сумм для рассеяния реджеонов на частицах.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Abdivaliev A. et al.

P1 - 12126

Observation of Anomaly in the Effective Mass Distributions of $p\pi^+\pi^+(n\pi^-\pi^-)$ Combinations in the $np \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-n$ Reactions at $P_n = (5.10 \pm 0.17)$ GeV/c

In the $np \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-n$ reaction at $P_n = (5.10 \pm 0.17)$ GeV/c an anomaly in the distributions of effective masses of $p\pi^+\pi^+(n\pi^-\pi^-)$ combinations at $M = 1440$ MeV/c² has been observed. A possible resonance has an isotopic spin $I = 5/2$, width $\Gamma_0 \approx 43$ MeV/c², and decays in approximately 90 percent cases to $\Delta^{++}\pi^+$. Its spin is less than $1/2$. The resonance production cross section is (21 ± 3) mkb. A good agreement of obtained characteristics with predictions on the basis of superconvergent sum rules for scattering of reggeons on particles is shown.

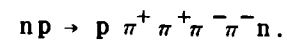
The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

В 1964 году S. Goldhaber сообщила о наблюдении особенности в спектре эффективных масс $p\pi^+\pi^+$ - комбинаций при массе 1560 МэВ/с² из реакции $\pi^+p \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-$ при $P_{\pi^+} = 3,65$ ГэВ/с. Особенность имела ширину около 200 МэВ/с². Барийонный резонанс с такой модой распада должен быть экзотическим состоянием с изотопическим спином $I = 5/2$. Как показано в работе^{/1/}, это состояние должно быть построено из 4 кварков и одного антикварка. В работах группы румынских теоретиков^{/2/} в рамках кварковой модели с учетом углового момента получена модифицированная формула для масс резонансов и предсказана масса резонанса с $I = 5/2$, которая оказалась равной приблизительно 1470 МэВ/с².

Поиску экзотических барийонных резонансов с $I = 5/2$ посвящен ряд экспериментальных работ^{/3/}. Из них следует, во-первых, что эффект, наблюдавшийся S. Goldhaber, обязан кинематическому отражению совместного рождения Δ_{33} -изобары и ρ -мезона и, во-вторых, что ни в одном эксперименте не установлено твердо существования искомого резонанса.

В представляемой работе исследовалась реакция



/1/

Всего обработано 1249 случаев этой реакции, полученных при облучении 1-метровой водородной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ пучком нейтронов с импульсом $P_n = 5,10 \pm 0,17$ ГэВ/с. Методы разделения каналов реакций, исследования реакции /1/ в данном облучении изложены в работах^{/4-6/}.

В них показано, что реакция /1/ идет через подпроцессы

$p \rightarrow p \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^- n$,	16%	/1,1/
$\Delta_{33}^{++} \pi^+ \pi^- \pi^- n$,	37%	/1,2/
$p \pi^+ \pi^+ \pi^- \Delta_{33}^-$,	37%	/1,3/
$\Delta_{33}^{++} \pi^+ \pi^- \Delta_{33}^-$,	10%	/1,4/

Цифры около реакций указывают долю данного подпроцесса в процентах.

Были построены распределения эффективных масс $p \pi^+ \pi^+$ и $p \pi^+ \pi^-$ - комбинаций. Они показаны на рис. 1: на рис. 1а - все события /комбинации $p \pi^+ \pi^+$ и $p \pi^+ \pi^-$ сложены/, на рис. 1б - события, в которых эффективная масса протона /нейтрона/ хотя бы с одним $\pi^+(\pi^-)$ -мезоном заключена в пределах $1160 \leq M_{p \pi^+(\pi^-)} \leq 1300 \text{ МэВ}/c^2$, т.е. лежит в полосе Δ_{33} -изобары. Фоновые кривые получены моделированием подпроцессов /1,1/ ÷ /1,4/ по соответствующим фазовым объемам с учетом формы Δ_{33} -изобары. Для распределения рис. 1б из моделированных событий отбираются те, которые удовлетворяют таким же условиям, что и экспериментальные, т.е. $M_{N\pi}$ лежит в области от 1160 до 1300 $\text{МэВ}/c^2$.

Моделированные подпроцессы складываются с весами, определенными на эксперименте /сплошные кривые на рис. 1а и 1б/. При построении кривой на рис. 1б учтены вероятности попадания массы нуклона и π -мезона в область Δ_{33} -изобары. Сама Δ_{33} -изобара при моделировании процессов /1,2/ ÷ /1,4/ также ограничена указанной полосой масс.

Из рис. 1а и 1б видно, что в спектре эффективных масс $p \pi^+ \pi^+(\pi \pi^- \pi^-)$ - комбинаций в области 1440 $\text{МэВ}/c^2$ виден пик, отстоящий примерно на 3 стандартных отклонения от фоновой кривой, представленной на рис. 1а, и на 5,5 стандартных отклонения от кривой на рис. 1б. Эффект примерно на 90% связан с Δ_{33} -изобарой, т.к. числа событий в полосе масс от 1420 до 1460 $\text{МэВ}/c^2$ на рис. 1а и 1б одинаковы. Оценка

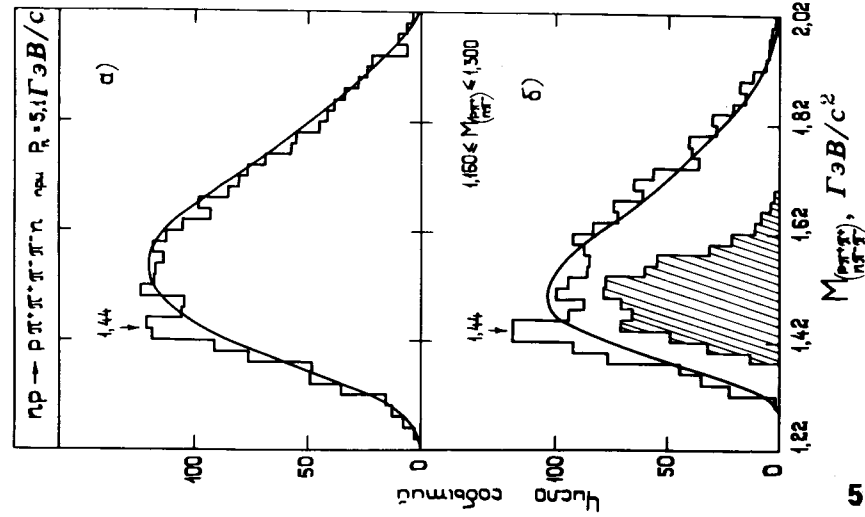
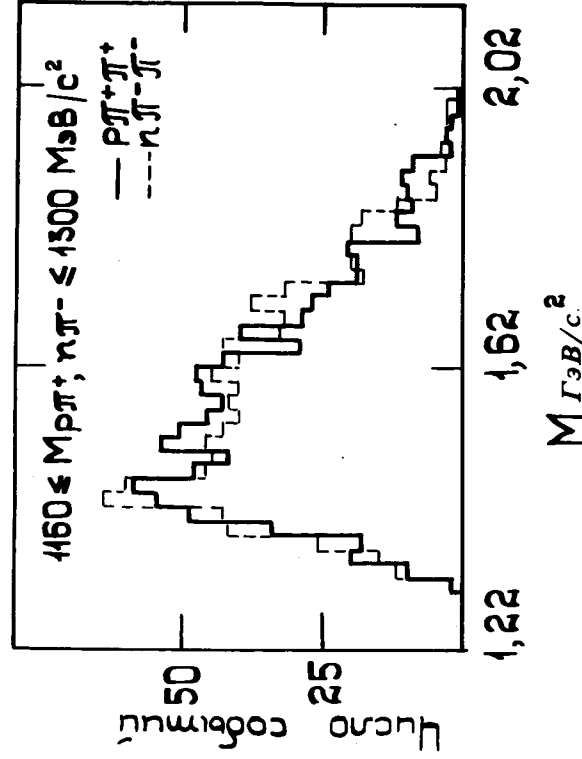


Рис.1. Распределение эффективных масс $p \pi^+ \pi^+(\pi \pi^- \pi^-)$ - комбинаций: а - все события, б - события, для которых масса $p \pi^+(\pi^-)$ - комбинаций заключена в пределах $1160 \leq M_{p \pi^+(\pi^-)} \leq 1300 \text{ МэВ}/c^2$. Заштрихованное распределение - масса $p(n)$ с обоими, $\pi^+(\pi^-)$, мезонами лежит в указанной полосе.

Рис.2. Массы $\Delta_{33}^{++} \pi^+$ /сплошная линия/ и $\Delta_{33}^- \pi^-$ /пунктир/ - комбинаций.



сечения рождения возможного резонанса, распадающегося через канал $N^{+++} \rightarrow \Delta^{++} + \pi^+$, дает $\sigma_{N^{+++}} = 21 \pm 3$ мкб. Масса резонанса оценивается нами как $M_{N^{+++}} = 1420 \pm 12$ МэВ/с², ширина $\Gamma = 48$ МэВ/с². Учитывая экспериментальное разрешение по массам, равное 21 МэВ/с², получаем естественную ширину $\Gamma_0 = 43$ МэВ/с².

Для характеристики качества представляемого материала на рис. 2 показаны отдельно массы $\Delta^{++}\pi^+$ -и $\Delta^-\pi^-$ -комбинаций. В пределах ошибок они совпадают.

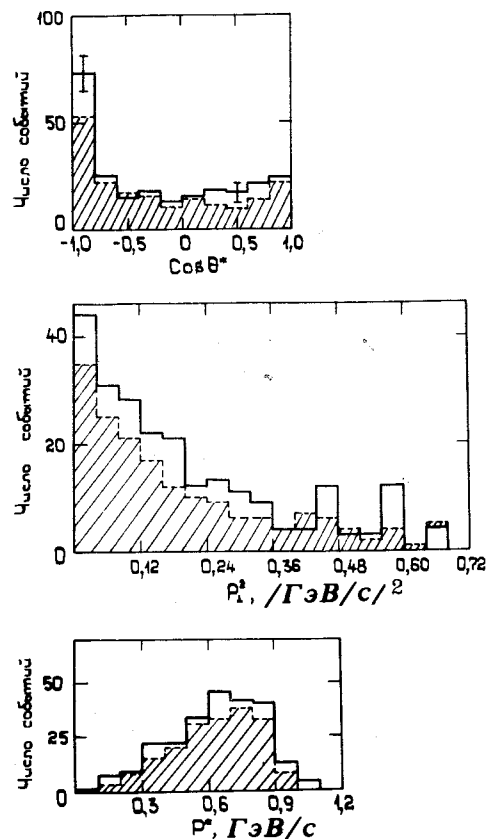
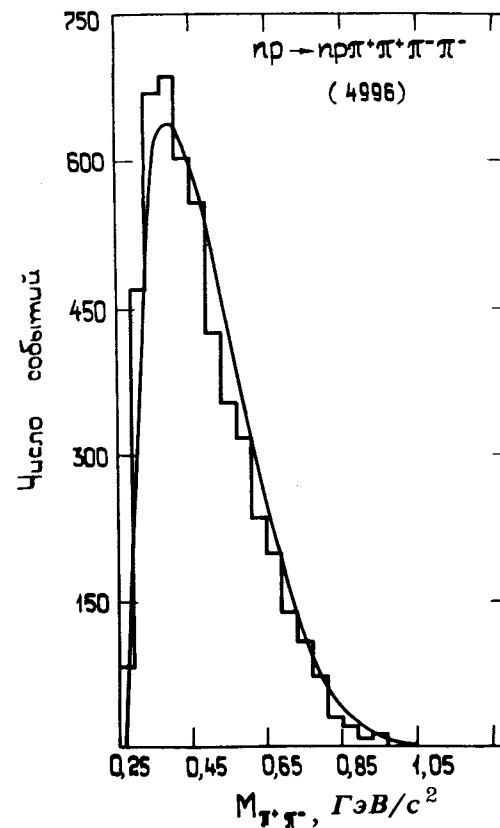


Рис.3. Некоторые характеристики системы $p\pi^+\pi^+$ из полосы $1,42 \leq M_{p\pi^+\pi^+} \leq 1,46$ ГэВ/с². Заштрихованные распределения - характеристики систем из полос слева и справа от указанной.

Рис.4. Распределение эффективных масс $\pi^+\pi^-$ -комбинаций.



На рис. 3 представлены некоторые характеристики системы $p\pi^+\pi^+(n\pi^-\pi^-) - \cos\theta^*$ в общей с.ц.м./при этом распределение для $n\pi^-\pi^-$ -комбинаций повернуто на 180° и сложено с $p\pi^+\pi^+$, P_+^2, P^* в с.ц.м. Масса $p\pi^+\pi^+(n\pi^-\pi^-)$ взята в полосе от 1420 до 1460 МэВ/с². Заштрихованные распределения - характеристики систем из полос слева и справа от указанной.

На рис. 4 представлено распределение эффективных масс $\pi^+\pi^-$ -комбинаций из реакции /1/. В районе масс ρ -мезона никаких особенностей не наблюдается. Поэтому имитации резонанса совместным рождением Δ_{33} -и ρ -мезона, по-видимому, нет.

Другой имитирующий эффект могут давать случаи, для которых эффективная масса протона и с одним, и с

другим π^+ -мезонами лежит в полосе Δ_{33} -изобары /то же относится к нейтрону и π^- -мезонам/. В этом случае возникают кинематические ограничения на массу $p\pi^+\pi^+$ -комбинаций и возможно сгущение событий вокруг какой-либо массы в пределах этих ограничений. На рис. 1б заштриховано распределение, в котором эффективная масса протона /нейтрона/ и с одним и другим $\pi^+(\pi^-)$ -мезонами лежит в полосе Δ_{33} -изобары. Распределение имеет максимум в районе массы $p\pi^+\pi^+$ ($n\pi^-\pi^-$), равной $1530 \text{ МэВ}/c^2$, и довольно широкое, так что не может имитировать наблюдаемый нами пик при массе $1440 \text{ МэВ}/c^2$. Отметим, что события, о которых можно было бы думать как о неразделенных между реакциями $pr \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-n$ и $pr \rightarrow p\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$ /на рис. 4 работы /4/ заштриховано/ и которые отнесены ко второй реакции, будучи обработаны как реакция /1/, дают распределение эффективных масс $p\pi^+\pi^+$ ($n\pi^-\pi^-$), более или менее равномерное во всей доступной области масс $N\pi\pi$, но их добавление в реакцию /1/ существенно ухудшает угловые распределения частиц в ней.

На рис. 5 представлены распределения эффективных масс $p\pi^+\pi^-(n\pi^+\pi^-)$ - и $p\pi^-\pi^-(n\pi^+\pi^+)$ - комбинаций. Фоновые кривые получены в результате соответствующей обработки подпроцессов /1,1/ ÷ /1,4/. В этих

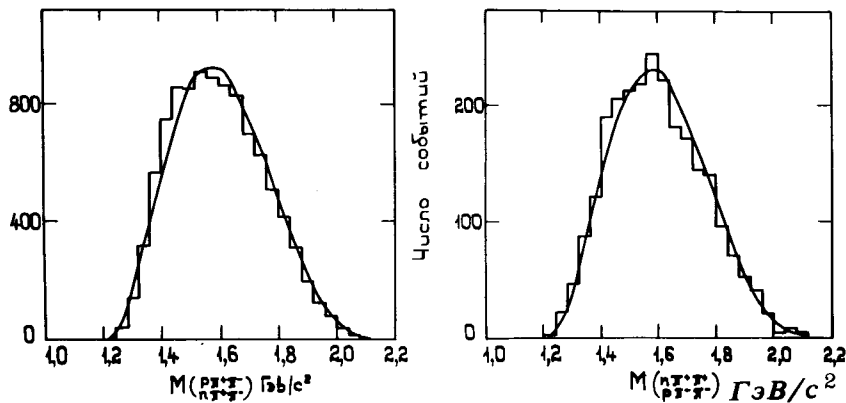


Рис.5. Распределение эффективных масс $p\pi^+\pi^-(n\pi^+\pi^-)$ - и $p\pi^-\pi^-(n\pi^+\pi^+)$ -комбинаций.

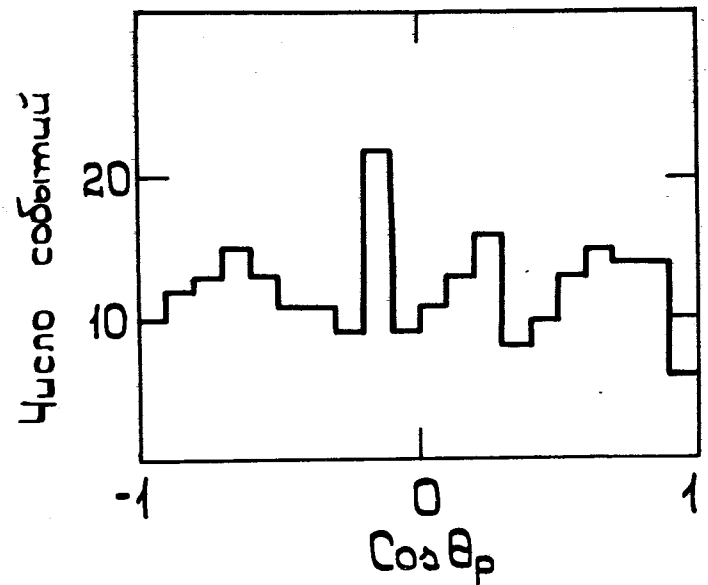


Рис.6. Угловое распределение протонов в системе Δ^{++} относительно поля Δ^{++} в системе N^{+++} из полосы $1,42 \leq M_{N^{+++}} \leq 1,46 \text{ ГэВ}/c^2$.

распределения заметных особенностей при $M = 1440 \text{ МэВ}/c^2$ не видно.

В 1978 году появились теоретические работы А.А.Григоряна и А.Б.Кайдалова /7/, которые исследовали сверхсходящиеся правила сумм /СПС/ для рассеяния реджеонов на частицах. Показано, что для насыщения получаемых уравнений требуется существование целой последовательности резонансов с возрастающими изотопическими спинами I , с обычными спинами $J=1$, распадающихся по схеме $(I,J) = (I-1, J-1) + \pi$. Массы этих барионных резонансов не очень велики, в частности, масса резонанса E_{55} должна находиться в районе $1,4 \div 1,7 \text{ ГэВ}/c^2$. Для ширины резонанса E_{55} авторы /7/ получили соотношение $\Gamma_{55} = 4/3(k^*/k)^3 \Gamma_{\Delta}$ (1), где k и k^* - импульсы частиц, образующихся при распаде Δ_{33} - и E_{55} -резонансов соответственно. Из формулы /1/ следует, что $\Gamma \approx 36 \text{ МэВ}/c^2$ для $M_{55} = 1,44 \text{ ГэВ}/c^2$, что хорошо согласуется с нашими данными.

Для оценки спина наблюдаемого нами резонанса была построена угловая корреляция между направлением вылета протона из Δ -изобары, входящей в N^{+++} в с.ц.м. изобары Δ , и направлением полета самой Δ -изобары в с.ц.м. N^{+++} . Полученное распределение для полосы $1420 \leq M_{N^{+++}} \leq 1460 \text{ МэВ}/c^2$ показано на рис. 6. Оно близко к изотропному, что свидетельствует о том, что спин $N^{+++} > 1/2$. Мы благодарим В.Л.Любошица, предложившего выполнить указанное построение.

Таким образом, полученные на эксперименте характеристики резонанса N^{+++} довольно хорошо согласуются с предсказаниями А.А.Григоряна и А.Б.Кайдалова. Из теоретических работ, о которых шла речь выше, следует, что четность резонанса E_{55} должна быть положительной. Это согласуется с предположением, что относительный орбитальный момент Δ_{33} - и π -мезона входящих в резонанс, равен $L=1$ и не противоречит тому, что полный спин резонанса равен $5/2$. Мы построили график зависимости полного спина барионов /для которых выполнено условие $J=I$ и четность которых положительна/ от квадрата их массы /рис. 7/. Протон, Δ^{++} и N^{+++} с массой $1440 \text{ МэВ}/c^2$ хорошо ложатся на прямую линию. Если эта закономерность сохраняется и для более высоких спинов, то можно получить предсказания о других резонансах, входящих в последовательность: для E_{77} , например, имеем массу $\approx 1640 \text{ МэВ}/c^2$, положительную четность, если он распадается на E_{55} и π -мезон, и ширину $\Gamma_{77} = 34 \text{ МэВ}/c^2$.

Существование узкого резонанса с $I=5/2$ предсказывается в рамках квантовой хромодинамики^{18/}. В этой работе рассматривается система мезобариония, состоящая из 4 кварков и одного антикварка, причем система из трех кварков связана с системой кварк-антикварк угловым моментом. Предсказываются масса резонанса, равная $\approx 2,44 \text{ ГэВ}/c^2$, и схема распада на нуклон и мезоны. По-видимому, было бы интересно провести поиск резонанса с $I=5/2$ при значительно больших энергиях, чем в нашей работе, для проверки этого экзотического предсказания.

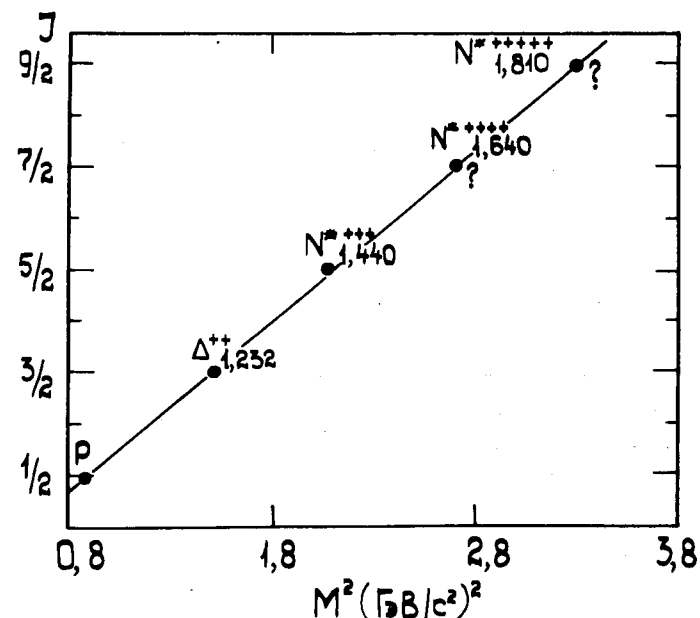


Рис.7. Зависимость спина резонансов с $I=J$ и положительной четностью от квадрата их массы.

Авторы выражают глубокую благодарность А.А.Григоряну и А.Б.Кайдалову, В.Л.Любошицу за плодотворное обсуждение полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зельдович Я.Б. и др. ЯФ, 1966, 4, вып. 2, с. 395.
2. Hegedüs E. e.a. Z.Physik, 1969, 225, p.121-124;
Abramovici A. e.a. Z.Physik, 1972, 255, p.446-449;
Hegedüs E., Abramovici A. Univ. of Timisoara, preprint FT3, 1968.
3. Goldhaber S. e.a. XII Intern. Conf. on High Energy Phys., Dubna, 1964;
M., Атомиздат, 1966, т. 1, с. 1474-1487;
Klein P.R. e.a. Phys.Rev., 1966, 150, No 4, p.1123;
Вишневский В.Ф. и др. ОИЯИ, Р1-3146, Дубна, 1967;
Johnson D. Phys.Lett., 1971, 34B, No. 5, p.428;
Alexander G.e.a. Phys.Rev., 1967, 154, p.1284;
Colleraine A.F., Nauenberg U. Phys.Rev., 1967; 161, No.5, p.1387;

- Goldhaber G. UCRL-17388, 1967;
Caso C. e.a. Nuovo Cim., 1968, LVA, No.1, p.66;
Bodini L. e.a. Nuovo Cim., 1968, LVIII, p.475;
Moroz V.I., Nikitin A.V., Troyan Yu.A. JINR, E1-3940, Dubna, 1968;
Benvenuti A. e.a. Phys.Rev.Lett., 1969, 22, p.970;
Dauburg J.S. e.a. Phys.Rev.Lett., 1969, 23, p.41;
Banner M. e.a. Nucl.Phys., 1970, B15, p.205;
Бирулев В.К. и др. ОИЯИ, P1-5059, Дубна, 1970;
Ammann A.C. Phys.Lett., 1971, 34B, p.533;
Price R.R. e.a. Phys.Lett., 1970, 33B, p.533;
Бекетов Г.В. и др. ЯФ, 1978, 28, вып.5/11/, с. 1266.
4. Абдиевалиев А. и др. ОИЯИ, 1-10669, Дубна, 1977.
 5. Абдиевалиев А. и др. ОИЯИ, 1-11137, Дубна, 1977.
 6. Абдиевалиев А. и др. ОИЯИ, P1-11616, Дубна, 1978.
 7. Григорян А.А., Кайдалов А.Б. Письма в ЖЭТФ, 1978, 28, вып.5, с. 318.
 8. De Crombrugge M. e.a.Ref. TH. 2537-CERN, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 декабря 1978 года.