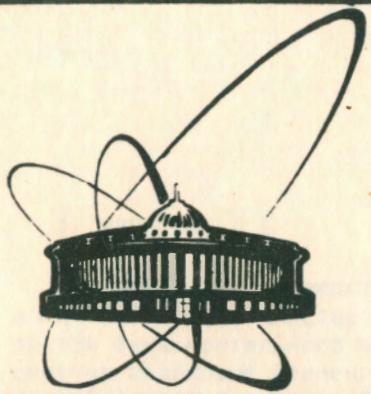


90-32

e  
+



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

A 187

P1-90-52

В.В.Авдейчиков\*, Г.Г.Безногих, Ю.Д.Безногих,  
А.И.Богданов\*, В.А.Будилов, В.Я.Волков,  
Н.К.Жидков, А.В.Никитин, В.А.Никитин,  
П.В.Номоконов, В.Н.Печенов, Ю.А.Троян,  
А.П.Царенков, М.Г.Шафранова, А.Г.Дорошенко

ПОИСК УЗКИХ ДИПРОТОННЫХ РЕЗОНАНСОВ  
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОТОН-ПРОТОННОГО  
РАССЕЯНИЯ В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ  
(116÷199) МэВ

Направлено в журнал "Ядерная физика"

---

\*Радиевый институт им.В.Г.Хлопина, Ленинград

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы ведется интенсивный поиск дибарионных резонансов. Доказательство существования дибарионов явилось бы фактом фундаментального значения, так как пролило бы новый свет на кварковые степени свободы в нуклонах и ядрах. Обнаружение узких дибарионов ( $\Gamma \lesssim 10 \text{ МэВ}/c^2$ ) могло бы свидетельствовать о существовании нового закона сохранения или о неизвестном динамическом механизме, запрещающем их быстрый распад на адроны. В модели мешков и струн КХД шестикварковая система может иметь большое количество уровней возбуждения цветовых степеней свободы<sup>/1/</sup>. Оценки ширины уровней колеблются в очень широких пределах<sup>/2/</sup>.

Поиск узких дибарионных резонансов осуществлялся в разных процессах разными экспериментальными методами. Исследовался спектр эффективной массы двух нуклонов при взаимодействии адронов с нуклонами и ядрами, спектр недостающей массы, изучалась энергетическая зависимость полных и упругих сечений, поляризационных параметров. В ряде работ указывается на существование узких дибарионов<sup>/3/</sup>. В работах<sup>/4/</sup> исследовался спектр массы системы ( $pp\gamma$ ); получено указание на существование узких пиков, причем значения масс и сечений близки к соответствующим значениям для системы ( $pp$ ). Наличие электромагнитного канала распада свидетельствовало бы о малой ширине резонанса; в этом случае она может быть значительно меньше  $1 \text{ МэВ}/c^2$ <sup>/5/</sup>.

Экспериментальная ситуация с исследованием дибарионов довольно сложна: с одной стороны, наблюдается более десятка особенностей в спектре масс и сечений, которые считаются кандидатами в резонансы, а с другой - ряд авторов не наблюдает резонансных эффектов в системе двух нуклонов<sup>/6/</sup>. Большинство экспериментов выполнено с помощью пузырьковых камер с массовым разрешением  $\sim 5 \text{ МэВ}/c^2$ , поэтому истинная ширина кандидатов в узкие дибарионы неизвестна. Большая часть исследований выполнена на бедном статистическом материале. Эффект обычно наблюдается на высоком уровне фона и в значительной степени зависит от способа его описания. Некоторые работы, выполненные с использованием электронной методики, тоже не имеют достаточной статистической точности. Кроме того, в них осуществляется определенная выборка частиц по углу и энергии, что может при-

вести к потере эффекта. Во всяком случае, прямое сопоставление результатов различных авторов затруднено. Разобраться в сложившейся ситуации помогут лишь новые эксперименты, выполненные с высоким разрешением по массе и достаточной статистической точностью.

Если дибарионы с изотопическим спином  $T = 1$  существуют и проявляются в канале распада на пару протонов, то в сечении упругого  $pp$ -рассеяния как функции энергии пучка следует ожидать особенности. На основе условия унитарности показано<sup>77</sup>, что изменение сечения в области резонанса может достигать больших значений  $\sim 100\%$  и более/.

Изложенные факты и соображения побудили нас осуществить эксперимент по прецизионному измерению энергетической зависимости относительного дифференциального сечения упругого  $pp$ -рассеяния с малым шагом по энергии. Исследуется диапазон эффективной массы сталкивающихся протонов  $1,93 \pm 1,97$  ГэВ/ $c^2$ , в котором рядом автором получены указания на резонансы.

## 2. ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Установка расположена на линейном промежутке синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ. В качестве внутренней мишени используется тонкая пленка, изготовленная из сплава обычного и дейтерированного полиэтилена. Мишень имеет примерно одинаковое содержание водорода и дейтерия. Под заданным углом в лабораторной системе измеряется отношение  $R = N_p/N_d = \sigma_p/\sigma_d$  как функция энергии пучка  $E_p$  /или эффективной массы двух протонов  $M$ /, где  $N_p$ ,  $N_d$  - числа упруго рассеянных протонов и дейтронов, а  $\sigma_p$ ,  $\sigma_d$  - соответствующие дифференциальные сечения. Независимость  $R$  от светимости мишени лежит в основе данного эксперимента.

Предполагается, что мониторирующая функция  $N_d$  либо гладкая, либо имеет особенности, положение которых не совпадает с положением искомым особенностей функции  $N_p \sim \sigma_p(M)$ .

Величина  $R(M)$  измеряется с помощью двух независимых телескопов из полупроводниковых детекторов T1 и T2 /рис.1/. Каждый телескоп имеет апертуру  $\sim 1,5$  см<sup>2</sup> и состоит из трех кремниевых полупроводниковых детекторов. Первые два из них работают в режиме совпадения и идентифицируют частицы по  $\Delta E$ - $E$  сигналам / $\Delta E$  - энерговыделение частицы в первом детекторе,  $E$  - во втором/, третий детектор включен на антисовпадения с первыми двумя для подавления пролетных частиц. Первый телескоп регистрирует протоны в интервале энергии  $4 \pm 20$  МэВ, дейтроны -  $5 \pm 27$  МэВ, второй регистрирует протоны в интервале  $4 \pm 24$  МэВ, дейтроны -  $5 \pm 33$  МэВ. Сцинтилляционные телескопы служат для наведения пуч-

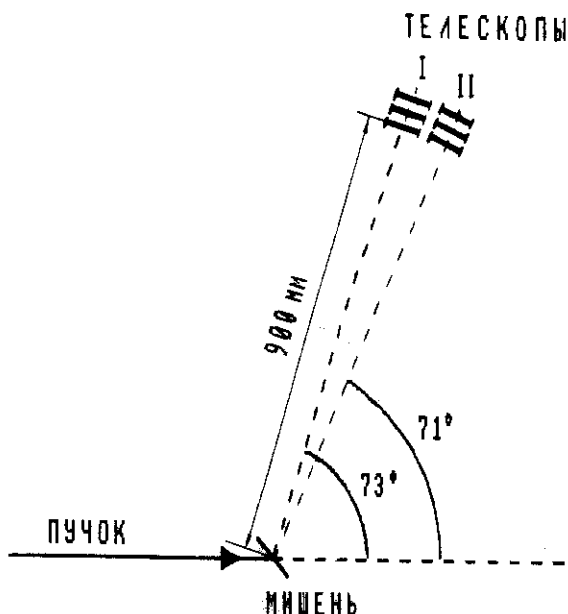


Рис.1. Схема расположения установки внутри камеры ускорителя. Мишень - пленка  $\text{CH}_2 + \text{CD}_2$  площадью  $5 \times 15 \text{ мм}^2$ , подвешенная на кварцевых нитях, телескопы I и II - полупроводниковые кремниевые детекторы.

ка на мишень. Пучок наводится на мишень при спаде магнитного поля ускорителя от 770 до 576 Гс в течение 0,5 с. Измерения проводятся в интервале энергии пучка  $116 \div 199 \text{ МэВ}$ . Вместе с сигналами от детекторов аппаратура фиксирует текущее значение магнитного поля, которое выдается индукционным интегрирующим датчиком с шагом 1 Гс. Долговременная нестабильность магнитного поля в течение сеанса не превышает 1 Гс. Она контролируется путем измерения частоты ускоряющего электрического поля, когда пучок находится на орбите с заданным радиусом, а магнитное поле достигает заданного значения.

Шаг измерений по  $M$  в середине исследуемого интервала эффективной массы  $\Delta M = 0,2 \text{ МэВ}/\text{с}^2$ . Среднеквадратичная величина массового разрешения установки /ширина на полувысоте/ составляет  $0,26 \text{ МэВ}/\text{с}^2$ . Основной вклад в эту величину вносят:

- ширина интервала по магнитному полю  $H$  ( $\Delta H = 1 \text{ Гс}$ ,  $\Delta H/H \approx 0,2\%$ ),

- неточность воспроизведения магнитного поля ускорителя в течение эксперимента /разброс  $\Delta H/H$  не выше  $0,1\%$ ,

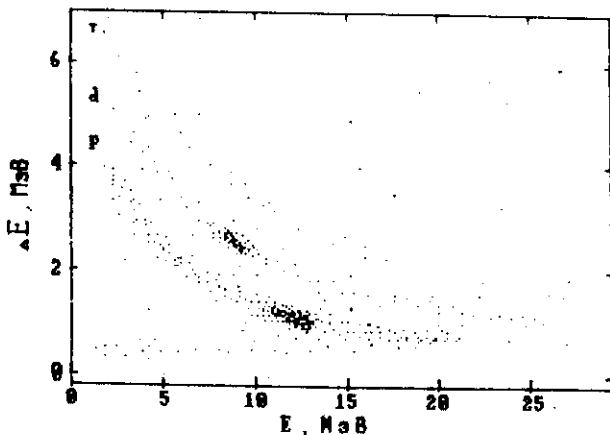


Рис.2. Распределение сигналов  $\Delta E-E$  при  $N = 650$  Гс / $\Delta E$  и  $E$  – энерговыведение соответственно в 1 и 2 детекторах первого телескопа;  $t$ ,  $d$ ,  $p$  – тритиевая, дейтронная и протонная линия соответственно/. Области сгущения точек соответствуют событиям упругого  $pp$ - и  $pd$ -рассеяния.

- немонахроматичность пучка  $\Delta E_p/E_p = 0,12\%$ ,
- протяженность мишени по радиусу  $\Delta E_p/E_p = 0,04\%$ .

На рис.2 представлено распределение сигналов  $\Delta E-E$  в первом телескопе при значении магнитного поля ускорителя  $N = 650$  Гс. Области сгущения точек на протонной и дейтронной линиях соответствуют событиям упругого  $pp$ - и  $pd$ -рассеяния соответственно. Этот снимок с дисплея, сделанный во время эксперимента, характеризует качество идентификации частиц и выделения событий упругого рассеяния.

На рис.3 /снимок с дисплея/ показано распределение сигналов в плоскости  $E - N$  для идентифицированных протонов в одном из телескопов. Согласно кинематике упругого  $pp$ -рассеяния энергия частиц отдачи растёт при возрастании поля  $N$ , что и наблюдается на рисунке.

На рис.4 показано в качестве примера распределение протонов, зарегистрированных в первом телескопе, при поле  $N = 695 \pm 697$  Гс. Хорошо виден пик от упругого рассеяния. Выделение упругих событий производится в результате вычитания фоновых событий под упругим пиком. Число фоновых событий определяется линейной интерполяцией фона слева и справа от упругого пика в область пика. Результат слабо зависит от границ пика, но данный метод может быть источником систематических ошибок.

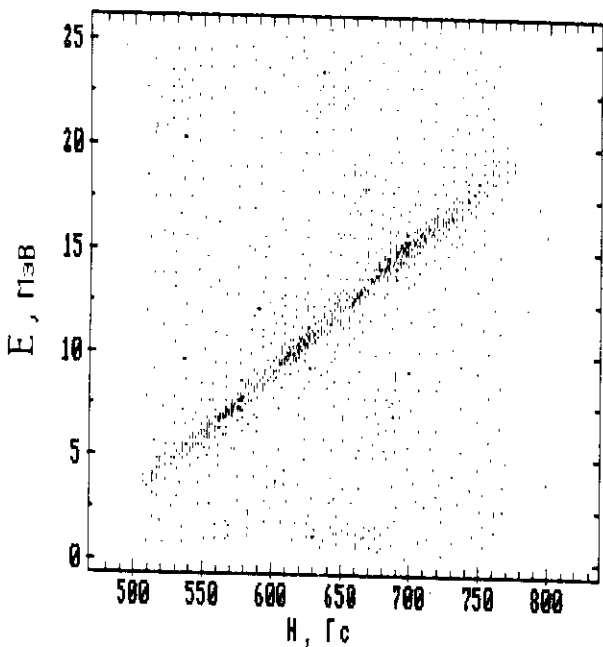


Рис.3. Распределение сигналов в первом телескопе в плоскости  $E-N$  для идентифицированных протонов / $N$  - магнитное поле ускорителя/. Область сгущения точек соответствует событиям упругого  $pp$ -рассеяния.

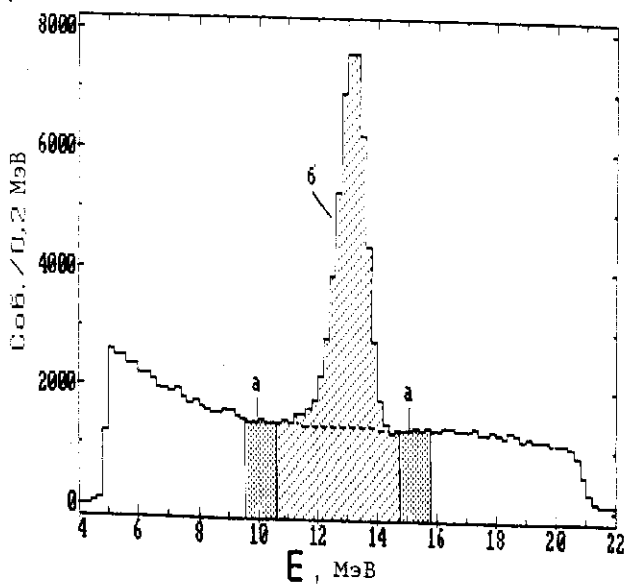


Рис.4. Распределение протонов по кинетической энергии  $E$ , зарегистрированных в первом телескопе, при поле  $H = 695 \pm 697$  Гс. а - области, выбранные для определения фона под упругим пиком, б - область упругого пика.

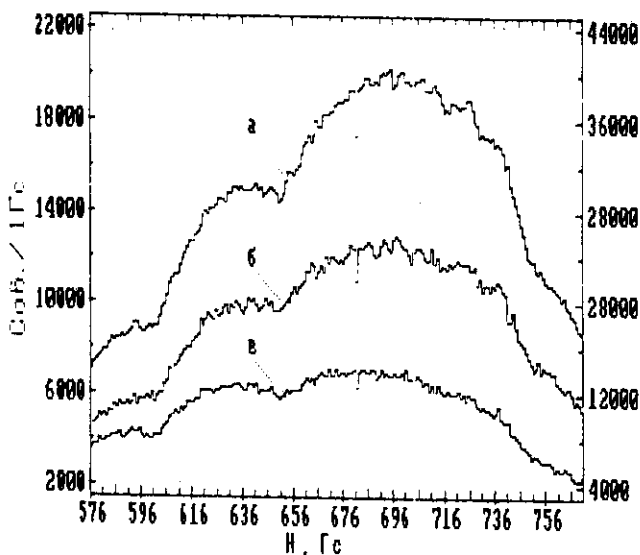


Рис.5. Выход протонов и дейтронов из мишени как функция магнитного поля ускорителя  $H$ : а – протоны от неупругого взаимодействия /правая шкала/; б – протоны от упругого взаимодействия; в – дейтроны от упругого взаимодействия.

На рис.5 показан выход различных частиц из мишени как функция поля  $H$ . В пределах  $\sim 1,5\%$  наблюдается пропорциональность потока протонов от упругого и неупругих процессов, свидетельствующая о малом вкладе фона, не связанного с взаимодействием пучка с мишенью.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Зарегистрировано 3,4 млн и 1,8 млн событий упругого  $pp$ - и  $pd$ -рассеяния. На рис.6 показана функция  $R(H) = N_p/N_d = \sigma_p/\sigma_d$ , построенная на части материала. Функция  $R(H)$  описывается полиномом  $P$  степени  $3 \pm 5$ , и для наглядности представления материала строится нормированная функция  $R_n = R/P$ .

Для оценки систематических ошибок мы рассмотрели отношение счета двух телескопов  $N_1$  и  $N_2$ . На рис.7 и 8 показаны нормированные функции  $N_{p,1}/N_{p,2}/P$  и  $N_{d,1}/N_{d,2}/P$ . Для этих распределений величина  $\chi^2/n/n$  – число точек в распределении/ составляет 0,94 и 1,04. При правильной оценке ошибки величина  $\chi^2/n$  должна быть равна 1 в пределах статистической неопределенно-

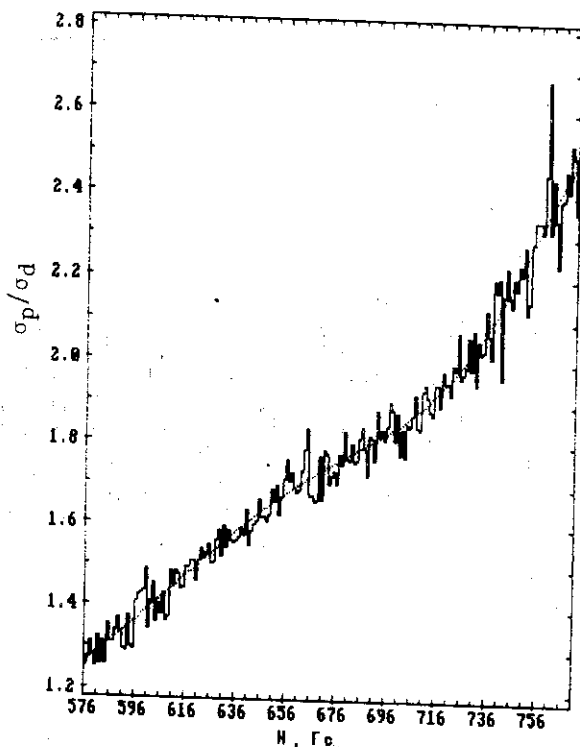


Рис.6. Отношение  $\sigma_p/\sigma_d$  как функция магнитного поля ускорителя.

сти  $\sigma_\chi = \sqrt{2/n} = 0,1$ . Отсюда мы заключаем, что неучтенная нами систематическая ошибка  $\sigma_{\text{сист.}} \leq 0,02\sigma_{\text{стат.}}$  пренебрежимо мала.

Суммарные нормированные данные  $R_n(M)$  представлены на рис.9. В четырех точках показаны характерные статистические ошибки. Среди 195 измеренных точек в энергетической зависимости упругого pp-рассеяния две точки отклоняются от средней гладкой кривой на  $\sim 3\sigma$ , указано соответствующее им значение массы  $M$ .

В работе [77] из условия унитарности выведено соотношение между вариацией полного сечения упругого рассеяния частиц  $\Delta\sigma$  при прохождении резонанса шириной  $\Gamma$  и спином  $j$ :

$$\Delta\sigma = \frac{2\pi}{k^2} (2j + 1) \frac{\Gamma}{\Gamma + \Gamma_0},$$

где  $k = p/\hbar$  - волновое число первичного протона,  $\Gamma_0$  - массовое разрешение аппаратуры. В данном эксперименте  $\Delta\sigma/\sigma \leq 12\%$  /раз-



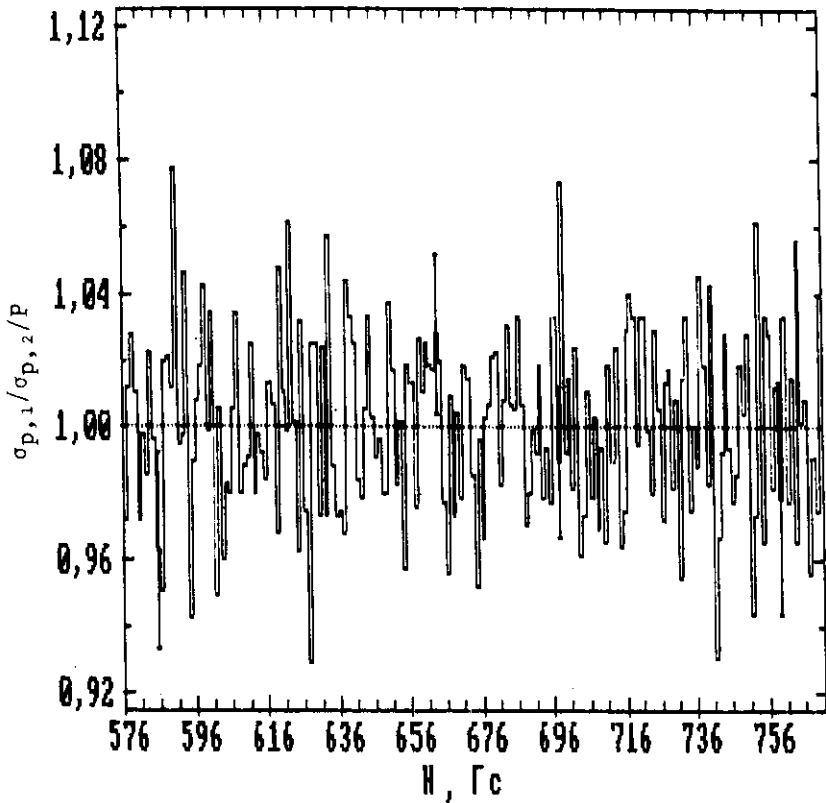


Рис.7. Нормированное отношение  $\sigma_{p,1}/\sigma_{p,2}$  как функция магнитного поля ускорителя.

ность отклонений вверх и вниз от среднего значения на  $3\sigma$ . Отсюда определена верхняя граница  $\Gamma_{\text{max}}$  ширины резонанса:  $j = 0$ ,  $\Gamma_{\text{max}} = 0,04 \text{ МэВ/с}^2$ ;  $j = 1$ ,  $\Gamma_{\text{max}} = 0,013 \text{ МэВ/с}^2$ ;  $j = 2$ ,  $\Gamma_{\text{max}} = 0,008 \text{ МэВ/с}^2$ . Этот вывод справедлив для одноканального резонанса при условии пропорциональности полного и дифференциального сечения упругого рассеяния.

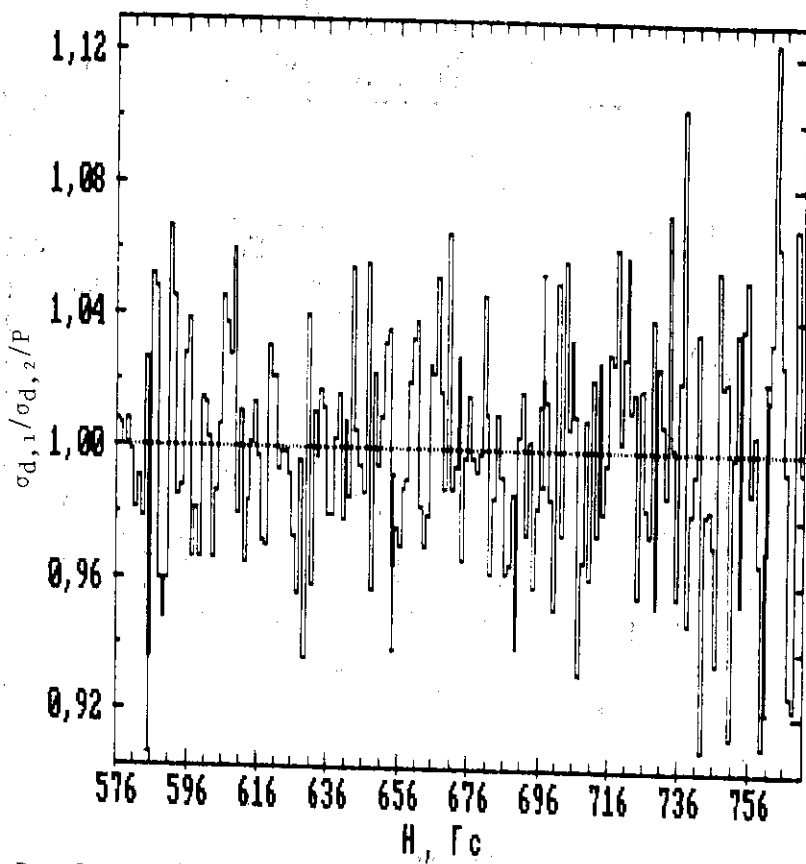


Рис. 8. Нормированное отношение  $\sigma_{d,1}/\sigma_{d,2}$  как функция магнитного поля ускорителя.

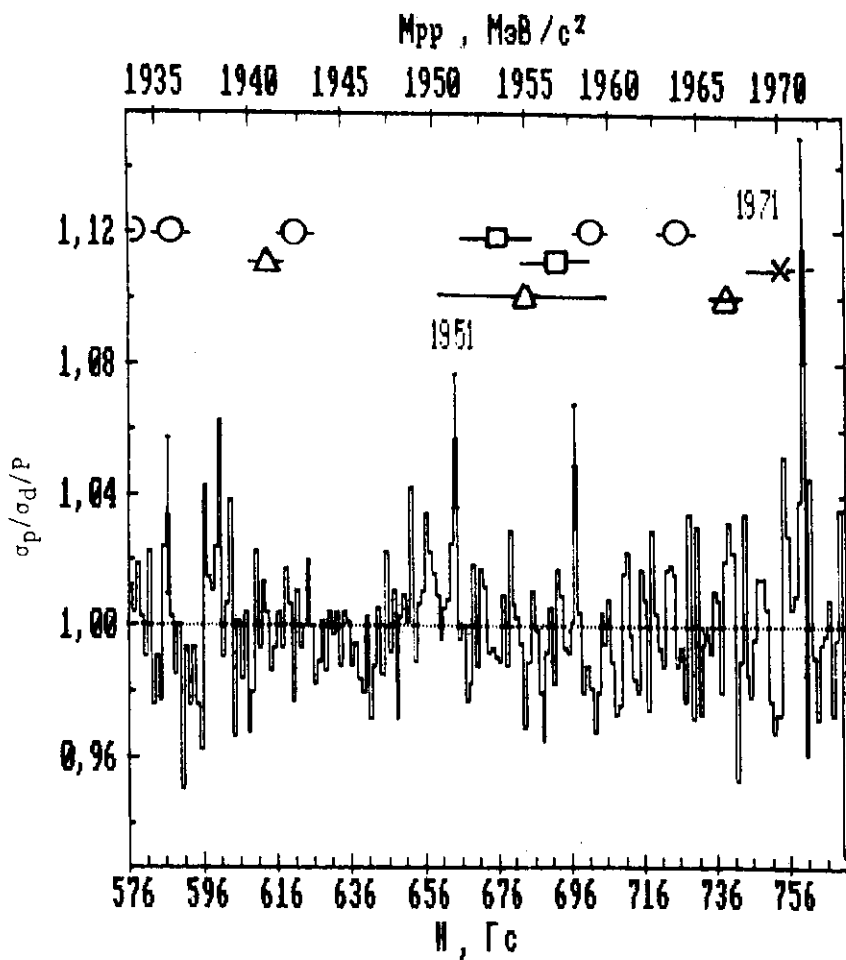


Рис.9. Нормированное отношение  $\sigma_p/\sigma_d$  /суммарные данные/ как функция магнитного поля ускорителя /нижняя шкала/ и как функция эффективной массы двух сталкивающихся протонов /верхняя шкала/. Для сравнения указано положение кандидатов в дибарионы из<sup>3/</sup>: o - Ю.А.Троян и др.; □ - В.Л.Андреев и др.; Δ - С.А.Азимов и др.; \* - О.Б.Абдинов и др.; \* - Б.Татишев и др.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Jaffe R.L. - Phys. Rev. Lett., 1977, v.38, p.195;  
 Aerts F.T. et al. - Phys. Rev., 1978, v.D17, p.260;  
 Jaffe R.L., Low F.E. - Phys. Rev., 1979, v.D19, p.2105;  
 Mulders P.J. et al. - Phys. Rev., 1980, v.D21, p.2653;  
 Mulders P.J. et al. - Phys. Rev. Lett., 1978, v.40, p.1543;  
 Wong C.W., Liu K.F. - Phys. Rev. Lett., 1978, v.41, p.82;  
 Liu K.F., Wong C.W. - Phys. Lett., 1982, v.113B, p.1;  
 Wong C.W. et al. - Phys. Rev., 1980, v.22C, p.2523;  
 Даркин С.М. и др. - ЯФ, 1982, т.36, вып.5/11/, с.1244;  
 Kondratyuk L.A. et al. - Preprint IТЕР-86-127, Moscow, 1986.
2. Матвеев В.А. - В сб.: Множественное рождение частиц и предельная фрагментация ядер. ОИЯИ, Д1,2-12036, Дубна, 1978, с.137;  
 Dorkin S.M., Lukyanov V.K., Titov A.I. - Preprint JINR E2-80-43, Dubna, 1980;  
 Бажанский И.И. и др. - Сообщение ОИЯИ P2-88-501, Дубна, 1988.
3. Веребрюсов В.С. - Препринт ИТЭФ № 273, Москва, 1964;  
 Бешлиу К. и др. - Препринт ОИЯИ Д1-83-815, Дубна, 1983;  
 Бешлиу К. и др. - Препринт ОИЯИ Д1-85-433, Дубна, 1985;  
 Троян Ю.А. и др. - Краткие сообщения ОИЯИ, № 13-85, Дубна, 1985, с.12;  
 Троян Ю.А. и др. - ОИЯИ, Д1-88-329, Дубна, 1988;  
 Агакишиев Г.Н. и др. - Препринты ОИЯИ 1-84-103, 1-84-492, Дубна, 1984;  
 Азимов С.А. и др. - Письма в ЖЭТФ, 1984, т.40, вып.7, с.316;  
 ЯФ, 1985, т.42, вып.4, с.913; Препринты ФВЗ 44-87, Ташкент, 1987; P11, 60-88-РНЕ, Tashkent, 1988;  
 Амелин А.И. и др. - Письма в ЖЭТФ, 1986, т.43, с.455;  
 Андреев В.П. и др. - Письма в ЖЭТФ, 1987, т.43, с.508;  
 Siemaearczuk T. et al. - Phys. Lett., 1983, v.128B, p.367;  
 Phys. Lett., 1984, v.137B, p.434;  
 Глаголев В.В. и др. - JINR, E1-83-59, Dubna, 1983;  
 Z. Phys., 1984, v.A317, p.335;  
 Абдинов О.Б. и др. - Краткие сообщения ОИЯИ, № 15-86, Дубна, 1986, с.34;  
 Tatischeff V. et al. - Zeit. Phys., 1987, v.328, p.147.
4. Абдинов О.Б. и др. - Сообщение ОИЯИ P1-88-102, Дубна, 1988.
5. Kaidalov A.V. - Preprint IТЕР-86-128, Moscow, 1986.
6. Katayama N. et al. - Nucl. Phys., 1984, v.A423, p.410;  
 Воробьев Л.С. и др. - Препринт ИТЭФ, № 125, Москва, 1987;  
 В сб.: IX Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. ОИЯИ, Д1,2-88-652, Дубна, 1988, т.1, с.344;

- Абаев В.В. и др. - Краткие сообщения ОИЯИ № 16-86, Дубна, 1986, с.42;
- Препринт ЛИЯФ № 1318, Ленинград, 1987;
- Ruhn W. et al. - Nucl. Phys., 1986, v.A459, p.557;
- Lisowski P.W. et al. - Phys. Rev. Lett., 1982, v.49, p.255;
- Garson M. et al. - Nucl. Phys., 1985, v.A445, p.669;
- Kawai H. et al. - Nucl. Phys., 1988, v.A481, p.806;
- Santi L. et al. - Phys. Rev. C, 1988, v.38, p.2466.
7. Любошиц В.Л. - Сообщение ОИЯИ P2-88-507, Дубна, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 января 1990 года.