

К. 93

**И Н С Т И Т У Т  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР**

**И Я Ф 54 - 72**

**Л.М.Курдадзе, А.П.Онучин,  
С.И.Середняков, В.А.Сидоров, С.И.Эйдельман**

**НАБЛЮДЕНИЕ МНОГОЧАСТИЧНЫХ АДРОННЫХ  
СОБЫТИЙ В  $e^+e^-$  СТОЛКНОВЕНИЯ ПРИ ЭНЕРГИИ  
1,18 - 1,34 Гэв**



**Новосибирск**

**1972**

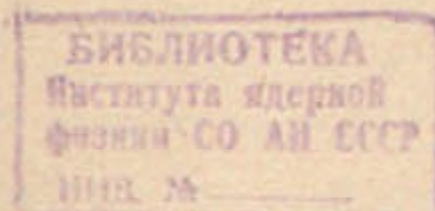
✓+

Л.М.Курдадзе, А.П.Онудин,  
С.И.Середняков, В.А.Сидоров, С.И.Эйдельман

НАБЛЮДЕНИЕ МНОГОЧАСТИЧНЫХ АДРОННЫХ  
СОБЫТИЙ В  $e^+e^-$  СТОЛКНОВЕНИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ  
1,18 - 1,34 Гэв

А Н Н О Т А Ц И Я

В электрон-позитронных столкновениях на накопителе ВЭПП-2 наблюдались многопионные события в области суммарной энергии частиц 1,18-1,34 Гэв. Эффективное сечение, полученное в эксперименте, значительно превышает сумму сечений для процессов  $e^+e^- \rightarrow \rho\pi$ ,  $\rho\pi$ ,  $\omega\pi$ ,  $A_1\pi$ . Приведены данные по полному сечению, полученные в статистической модели с четырьмя пионами.



На электрон-позитронном накопителе ВЭПП-2 в 1970 году был проведен эксперимент по изучению формфактора пионов и каонов при трех значениях суммарной энергии частиц 1,18, 1,26, 1,34 Гэв /1,2/. При обработке этого эксперимента были обнаружены события, соответствующие регистрации пар заряженных неколлинеарных частиц (многочастичные события). Предварительные данные анализа этих результатов были представлены на Киевскую конференцию /3/. В области энергии 1,6 - 2,0 Гэв многочастичные события наблюдались во Фраскати, что также сообщалось на Киевской конференции /4,5/.

После этих сообщений в печати появилось довольно большое число теоретических работ /6-14/, в которых рассматриваются различные возможные механизмы рождения многочастичных событий. В работах /6-8/ обсуждаются партонная и статистическая модели. В работе /9/ предлагается новый векторный мезон  $\rho'$  с массой  $\sim 1,5$  Гэв.

После Киевской конференции в печати началось широкое обсуждение процессов двойного электророждения

$$\begin{aligned}
 e^+e^- &\rightarrow e^+e^- + e^+e^- \\
 &\rightarrow e^+e^- + \mu^+\mu^- \\
 &\rightarrow e^+e^- + \pi^+\pi^-
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

(Подробная библиография приведена в /10/).

Процесс электророждения позитрон-электронной пары (1), впервые наблюдавшийся в Новосибирске /15/, отделяется от многочастичных адронных процессов по характерным особенностям прохождения электронов через регистрирующую аппаратуру. Что касается процессов электророждения пар мюонов и пионов, то оценки показали, что вкладом этих процессов в наблюдаемые многочастичные адронные события можно пренебречь.

Несколько работ /11-14/ посвящено подробному расчету сечений в рамках модели векторной доминантности квазидвухчастичных процессов типа

$$e^+e^- \rightarrow \rho\pi, \rho\varepsilon, \omega\pi, A_1\pi
 \tag{2}$$

с последующим распадом родившихся резонансов. Вклад квази-двухчастичных процессов в эксперимент не вызывает сомнения. К сожалению, отсутствие экспериментальных данных на константы связи делает результаты расчетов весьма неопределенными. Так, для канала  $\rho E$  оценки сечения в работах /13/ и /14/ отличаются почти на два порядка, а для канала  $A_1 \pi$  расчеты по разным моделям /12,13,14/ дают отличие сечений в 4-10 раз. Если к тому же добавить, что само существование резонансов  $E$  и  $A_1$  не является твердо установленным фактом, а последние экспериментальные данные по рождению пар  $\Pi$ -мезонов /1,2,16/ в рассматриваемой области передач импульса не согласуются с моделью векторной доминантности, то вряд ли можно надеяться сегодня на количественное согласие этих расчетов с экспериментом.

После Киевской конференции во Фраскати /16-18/ в несколько раз увеличили число зарегистрированных событий и расширили рабочий диапазон энергии в накопителе, а в событиях с четырьмя заряженными  $\Pi$ -мезонами получили первые указания на наличие  $\rho^+$ -мезона /20/. Многочастичные события наблюдались также в Орсе при энергии 0,98 Гэв /21/. Но несмотря на довольно большое число теоретических работ и новые экспериментальные данные, заключения о механизме множественного рождения частиц пока еще не удалось получить.

В настоящей работе приводятся результаты детального анализа обнаруженных нами многочастичных событий /2,3. Как уже сообщалось /2,22/, часть этих событий являются событиями двойного электророждения позитрон-электронной пары (1). Оставшиеся многочастичные события обсуждаются в данной работе.

Система регистрации, использованная в эксперименте (рис.1), описана в работах /1,22,24/. Она состояла из оптических и проволочных искровых камер, сцинтилляционных и пороговых водяных черенковских счетчиков /23/. Камеры и счетчики охватывают угол  $+25^\circ$  вокруг вертикального направления, телесный угол системы равен  $2 \times 0,8$  стерадиан. Полная толщина материала искровых камер составляла  $170 \text{ г/см}^2$ . Порог запуска систем составляет 25 Мэв для электронов и 50 Мэв для  $\Pi$ -мезонов. Эффективность регистрации черенковских счетчиков -  $99\%$  для электронов; для  $\Pi$ -мезонов эффективность равна  $50\%$  при энергии 80 Мэв и  $80\%$  при энергии 120 Мэв.

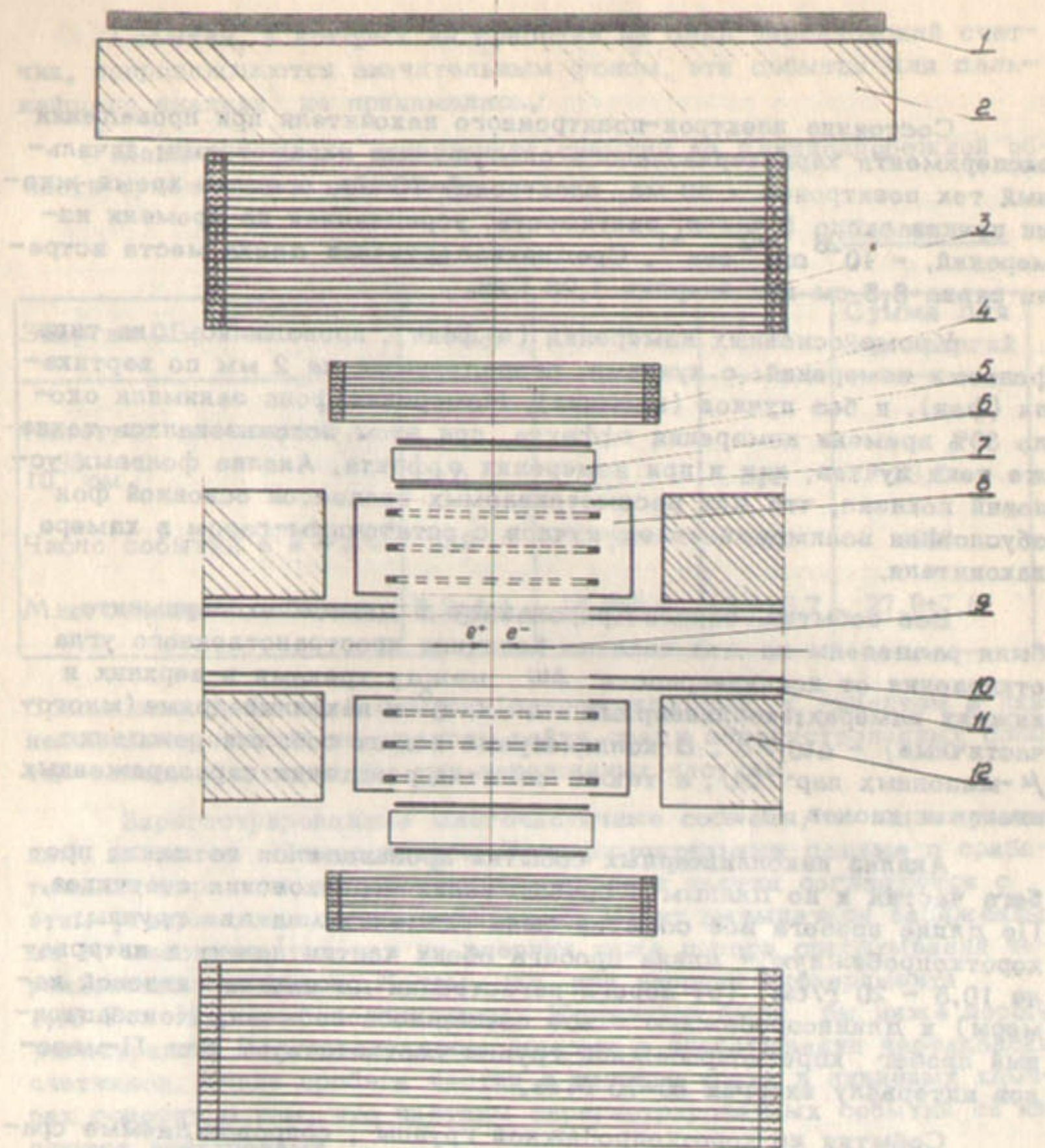


Рис.1. Геометрическая схема эксперимента: 1-сцинтилляционный счетчик антисовпадений; 2-свинец; 3-пробегная искровая камера; 4-ливневая искровая камера; 5,7-сцинтилляционные счетчики; 6-водяной черенковский счетчик; 8-координатные проволочные искровые камеры; 9-область встречи; 10,11-внутренняя и наружная вакуумная камеры; 12-магнит накопителя.

Состояние электрон-позитронного накопителя при проведении эксперимента характеризовалось следующими параметрами: начальный ток позитронов - 40 ма, электронов - 70 ма, среднее время жизни пучков около 5 часов, светимость, усредненная по времени измерений, -  $10^{28}$  см<sup>-2</sup> сек<sup>-1</sup>. Среднеквадратичная длина места встречи равна 8,5 см при энергии 1,26 Гэв.

Кроме основных измерений (эффект), проводились два типа фоновых измерений: с пучками, разведенными на 2 мм по вертикали (фон), и без пучков (космика). Измерения фона занимали около 30% времени измерения эффекта, при этом использовались также же токи пучков, как и при измерении эффекта. Анализ фоновых условий показал, что для рассматриваемых процессов основной фон обусловлен взаимодействием пучков с остаточным газом в камере накопителя.

Все события, зарегистрированные в данном эксперименте, были разделены на два типа по величине пространственного угла отклонения от коллинеарности  $\Delta\omega$  между треками в верхних и нижних камерах: коллинеарные  $\Delta\omega < 5^\circ$  и неколлинеарные (многочастичные) -  $\Delta\omega > 5^\circ$ . В коллинеарные вошли события рождения  $\mu$ -мезонных пар /24/, а также события рождения пар заряженных пионов и каонов /1,2/.

Анализ неколлинеарных событий производился по длине пробега частиц и по данным о срабатывании черенковских счетчиков. По длине пробега все события были разделены на две группы: короткопробежную - длина пробега обеих частиц лежит в интервале 10,5 - 20 г/см<sup>2</sup> (от порога регистрации до начала ливневой камеры) и длиннопробежную - все оставшиеся события. Ионизационный пробег короткопробежной группы соответствует для  $\Pi$ -мезонов интервалу энергии 50-70 Мэв.

События из короткопробежной группы, сопровождаемые срабатыванием обоих черенковских счетчиков, были идентифицированы как электрон-позитронные пары, образовавшиеся в процессе двойного электророждения (1). Анализ этих событий приведен в отдельной работе /2,22/. Возможные кандидаты этого процесса были найдены также в интервале пробега 20-30 г/см<sup>2</sup>, эти события дальше не рассматриваются. Оценки показывают, что в оставшейся области может быть 1 событие процесса двойного электророждения.

События, в которых не сработал ни один черенковский счетчик, сопровождаются значительным фоном, эти события для дальнейшего анализа не принимались.

Данные о числе оставшихся событий из длиннопробежной области приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Энергия 2E, Гэв	1,18	1,26	1,34	Сумма для 3-х энергий
Интеграл светимости, $10^{33}$ см <sup>-2</sup>	6,0	5,1	2,4	13,5
Число событий $e^-e^+ \rightarrow e^-e^+$	239	174	67	480
Многоочисленные события	5,2 $\pm$ 4,4	15,9 $\pm$ 5,0	6,8 $\pm$ 3,7	27,9 $\pm$ 7,6

Среди этих событий 3 события сопровождаются  $\gamma$ -квантом в ливневой камере. Нам не удалось найти среди зарегистрированных событий такие, в которых бы три заряженных частицы.

Зарегистрированные многочастичные события, по нашему мнению, являются  $\Pi$ -мезонными. Экспериментальные данные о срабатывании черенковских счетчиков и пробеги частиц согласуются с этим утверждением. Эти события не могут вызываться заряженными  $K$ -мезонами, так как их энергия ниже порога срабатывания черенковских счетчиков. К тому же, при энергии эксперимента 1,18 Гэв энергия неколлинеарных  $K$ -мезонов была бы ниже порога регистрации. Вся совокупность данных о срабатывании черенковских счетчиков, длине пробега частиц и картине трека в ливневых камерах говорит о том, что частицы зарегистрированных событий не являются электронами.

Мы провели сравнение экспериментальных данных с теоретическими расчетами для реакций (2), а также для процессов тормозного излучения начальных электронов с возвращением на  $\rho$  и  $\Phi$ -резонансы.

$$e^+e^- \rightarrow \rho\gamma, \Phi\gamma \quad (3)$$

Для условий нашего эксперимента методом Монте-Карло было проведено интегрирование дифференциальных сечений Алтухова и Хрипловича /14/ для процессов (2), а для процессов (3) использовалось дифференциальное сечение Байера и Хозе /25/. В расчетах учитывались конечные размеры области взаимодействия пучков и ядерное поглощение  $\Pi$ -мезонов.

В таблице II приведены вероятности регистрации двух заряженных пионов для энергии эксперимента 1,26 Гэв и порога регистрации  $T_{\pi} = 50$  Мэв. Для сравнения здесь же приведены вероятности регистрации для статистической модели (матричный элемент равен 1). Из таблицы видно, что статистическая модель дает результаты весьма близкие к конкретным процессам, за исключением процессов  $\rho E$  и  $A_2\pi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ . В последнем столбце таблицы приведено ожидаемое число событий, просуммированных для трех энергий эксперимента.

Поскольку теоретические значения сечения процессов  $\rho\gamma$  и  $\Phi\gamma$  достаточно надежные, то для сравнения эксперимента с процессами (2) можно из экспериментального числа событий вычесть расчетное число событий, обусловленных процессами  $\rho\gamma$  и  $\Phi\gamma$ . В этом смысле экспериментальное число событий  $24,1 \pm 7,6$  нужно сравнивать с ожидаемым 7,1 для процессов (2), что явно не согласуется друг с другом. Хотелось бы отметить, что при расчете числа событий квазидвухчастичных процессов (2) мы использовали полные сечения из работы Алтухова и Хрипловича (14), в которой получены наибольшие сечения для этих процессов /11-14/. Превышение экспериментальных данных над расчетом, по-видимому указывает на существование каких-то новых эффектов, ответственных за рождение многочастичных событий.

На рис.2 приведена зависимость числа событий от порога регистрации. Из экспериментальных значений вычтено расчетное число событий процессов  $\rho\gamma$  и  $\Phi\gamma$ . Сплошной линией показаны результаты расчетов для процессов (2). На рисунке видно, что все экспериментальные значения превышают расчетные.

На рис.3 показано число событий для каждой энергии эксперимента. Для удобства число событий нормировано на интеграл светимости, полученный при энергии 1,18 Гэв. Светлые и темные точки относятся соответственно к порогу регистрации 50 и 85 Мэв. Последнее значение порога, примерно, соответствует порогу в экспериментах во Фраскати. Пунктиром и сплошной линией показаны результаты расчета для процессов (2) соответственно для порога 50 и 85 Мэв.

Таблица II.

Процесс	Вероятность регистрации, % (2E=1,26 Гэв)	Ожидаемое число событий (сумма для 3-х энергий эксперимента)
$\rho E \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ $\rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$	6,0 3,8	1,8
$\rho\pi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$	0,8	0,7
$\omega\pi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$	1,1	2,2
$A_2\pi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ $\rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$	4,0 0,3	2,4
$\rho\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$	1,4	3,2
$\Phi\gamma \rightarrow K_L K_S \gamma$ $\hookrightarrow \pi^+\pi^-$	1,2	0,6
Стат. модель $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$	4,0	
$\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$	0,8	
$\pi^+\pi^-\pi^0$	1,4	

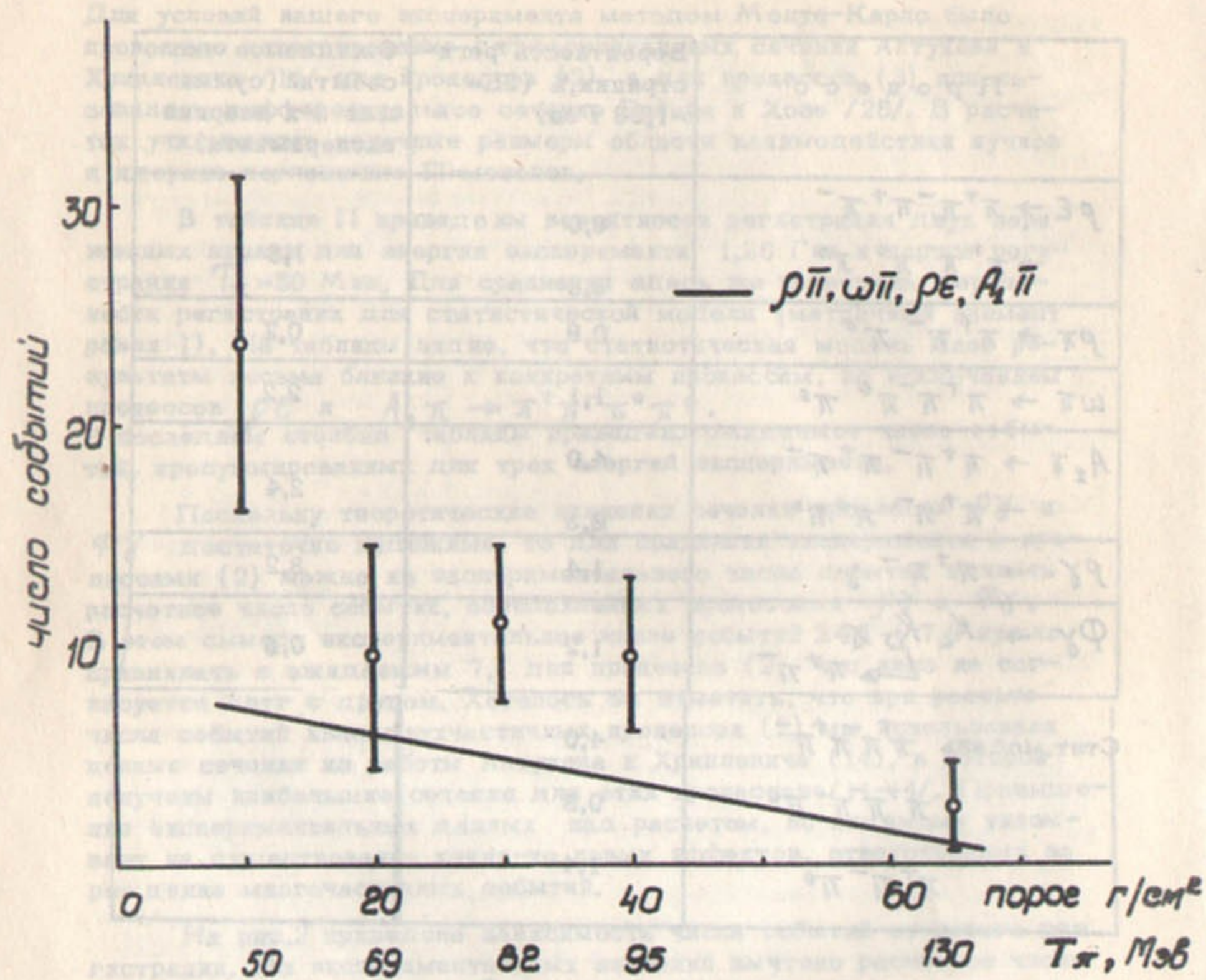


Рис.2. Распределение событий по отношению к толщине материала, проходимой объемами частицами. Сплошная линия - результаты расчета для процессов  $p\pi$ ,  $pE$ ,  $\omega\pi$ ,  $A_2\pi$  с сечениями работы /14/. События  $p\gamma$  и  $\Phi\gamma$  вычтены.

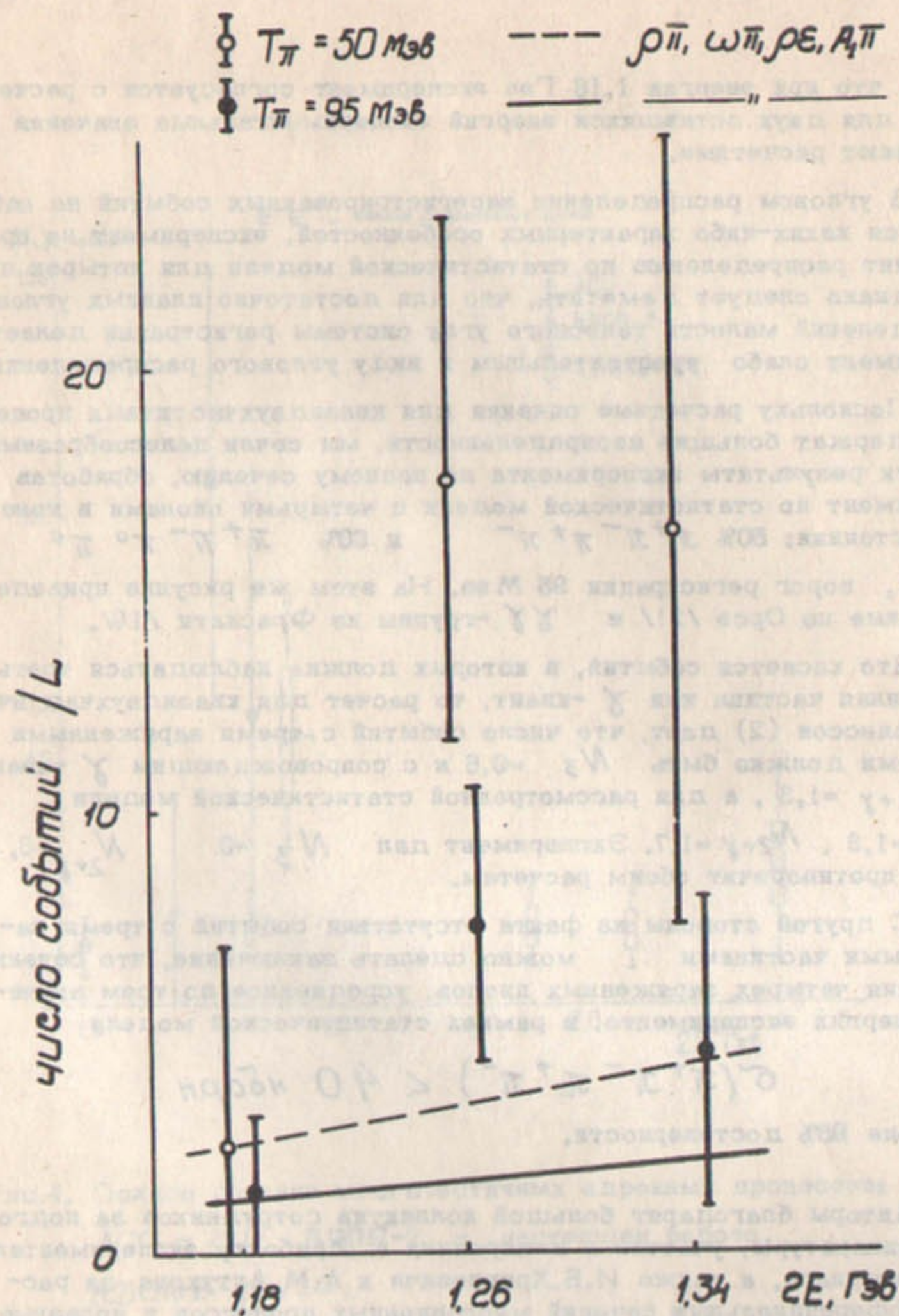


Рис.3. Число событий, нормированное на интеграл светимости, полученный при энергии 1,18 ГэВ,  $L = 6 \cdot 10^{33}$  см<sup>-2</sup>. Светлые и темные точки относятся к порогу регистрации соответственно 50 и 95 МэВ. Пунктиром и сплошной линией показаны результаты расчета процессов  $p\pi$ ,  $pE$ ,  $\omega\pi$ ,  $A_2\pi$  с сечениями работы /14/ для порога регистрации 50 и 95 МэВ. События  $p\gamma$  и  $\Phi\gamma$  вычтены.

Видно, что при энергии 1,18 Гэв эксперимент согласуется с расчетом, а для двух оставшихся энергий экспериментальные значения превышают расчетные.

В угловом распределении зарегистрированных событий не наблюдается каких-либо характерных особенностей, эксперимент не противоречит распределению по статистической модели для четырех пионов. Однако следует заметить, что для достаточно плавных угловых распределений малость телесного угла системы регистрации делает эксперимент слабо чувствительным к виду углового распределения.

Поскольку расчетные сечения для квазидвухчастичных процессов содержат большие неопределенности, мы сочли целесообразным привести результаты эксперимента по полному сечению, обработав эксперимент по статистической модели с четырьмя пионами в конечном состоянии: 50%  $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$  и 50%  $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  (рис.4), порог регистрации 95 Мэв. На этом же рисунке приведены данные из Орсе /21/ и  $\gamma\gamma$ -группы из Фраскати /19/.

Что касается событий, в которых должна наблюдаться третья заряженная частица или  $\gamma$ -квант, то расчет для квазидвухчастичных процессов (2) дает, что число событий с тремя заряженными частицами должно быть  $N_3 = 0,6$  и с сопровождающим  $\gamma$ -квантом  $N_{2+\gamma} = 1,3$ , а для рассмотренной статистической модели  $N_3 = 1,3$ ,  $N_{2+\gamma} = 1,7$ . Эксперимент дал  $N_3 = 0$ ,  $N_{2+\gamma} = 3$ , что не противоречит обоим расчетам.

С другой стороны из факта отсутствия событий с тремя заряженными частицами можно сделать заключение, что сечение рождения четырех заряженных пионов, усредненное по трем значениям энергии эксперимента, в рамках статистической модели

$$\sigma(\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-) < 40 \text{ нбарн}$$

на уровне 95% достоверности.

Авторы благодарят большой коллектив сотрудников за подготовку аппаратуры, участие в измерениях и обработку экспериментального материала, а также И.Б.Хрипловича и А.М.Алтухова за расчет дифференциальных сечений многопионных процессов и полезные дискуссии.

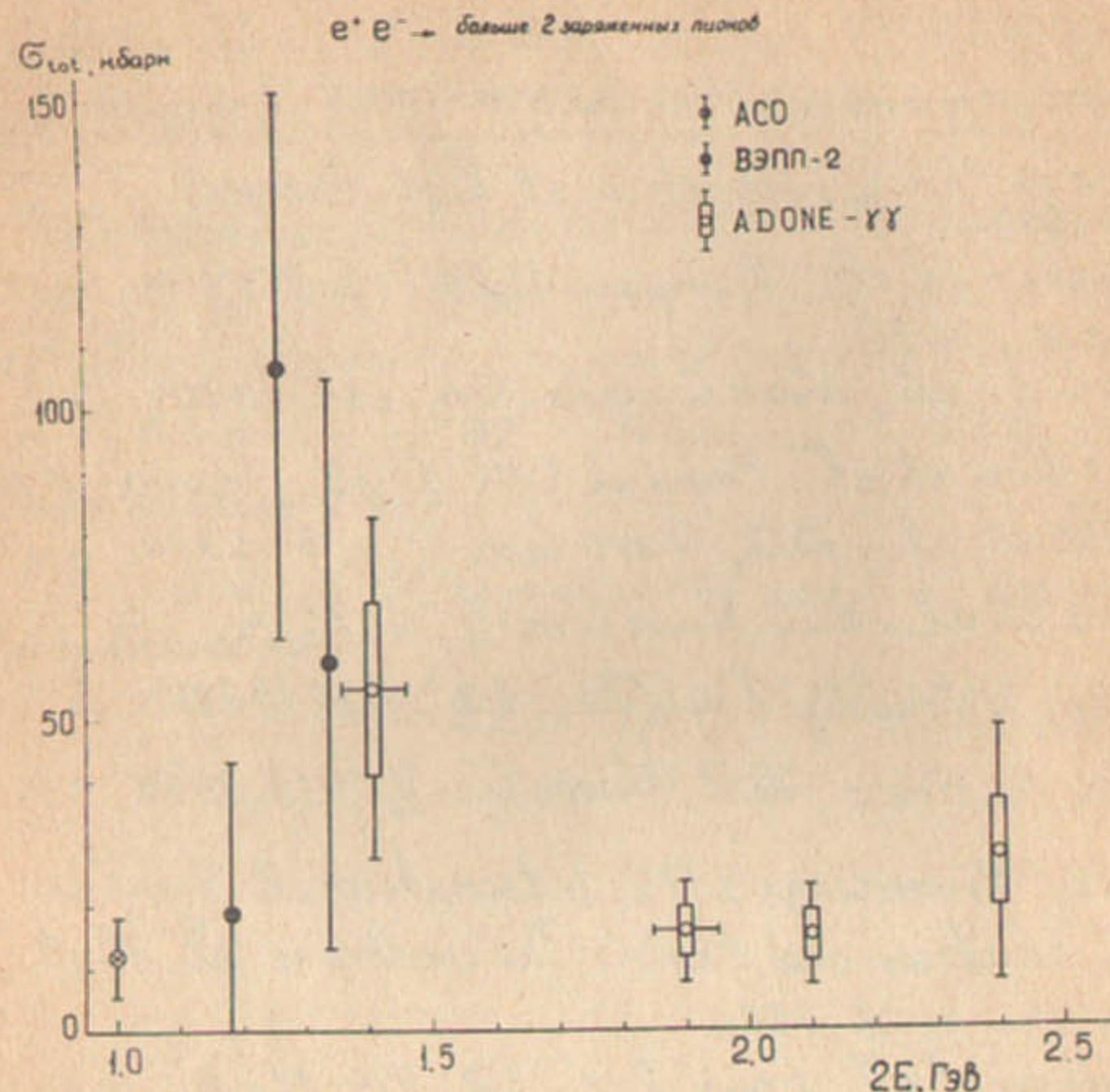


Рис.4. Полное сечение многочастичных адронных процессов: ACO - /21/, ВЭПП-2 - настоящая работа, ADONE- $\gamma\gamma$ /19/.



Литература

1. V.E. Balakin et al., Препринт ИЯФ 56-71, Новосибирск, 1971
2. V.A. Sidorov, Proceedings 1971 International Symposium on Electron and Photon Interactions at High Energies, Cornell, 1971
3. V.E. Balakin et al., Препринт ИЯФ 62-70, Новосибирск, 1970
4. B. Bartoli et al., Nuovo Cimento 70A, 615, 1970
5. G. Barbiellini et al., Preprint LNF-70/38, Frascati, 1970
6. N. Cabibbo et al., Lett. Nuovo Cim. 4, 35, 1970
7. S. Ferrara et al., Lett. Nuovo Cim. 4, 1, 1970
8. J. Bjorken, S. Brodsky, Phys. Rev. 120, 1416, 1970
9. A. Bramon, M. Greco, Lett. Nuovo Cim 1, 739, 1971
10. S. Brodsky, Proceedings 1971 International Symposium on Electron and Photon Interactions at High Energies, Cornell, 1971
11. G. Kramer et al., Phys. Rev., 30, 714, 1971
12. M. Vaugh, P. Polito, Lett. Nuovo Cim. 1, 74, 1971
13. J. Layssac, F. Renard, Lett. Nuovo Cim 1, 197, 1971
14. А.М. Алтухов, И.Б. Хрунловуз, Ядерная физика 14, 783, 1971
15. V.E. Balakin et al., Phys. Lett 34B, 663, 1971
16. C. Bernardini, Proceedings 1971 International Symposium on Electron and Photon Interactions at High Energies, Cornell, 1971

17. B. Bartoli et al., Phys. Lett 36B, 598, 1971
18. M. Gmelli, Preprint LNF-71/100, Frascati, 1971
19. C. Bacci et al., Phys. Lett 38B, 551, 1972
20. G. Barbarino et al., Lett. Nuovo Cim 3, 689, 1972
21. J. Lefrancois, Proceedings 1971 International Symposium on Electron and Photon Interactions at High Energies, Cornell, 1971
22. V.E. Balakin et al., Препринт ИЯФ 54-71, Новосибирск, 1971
23. А.П. Окушкин, С.И. Середняков, ПТЭ, Буденко-ский библиотечный кабинет
24. V.E. Balakin et al., Phys. Lett 37B, 435, 1971
25. В.Н. Байер, В.А. Хозе, ЖЭТФ 48, 1708, 1965