

7

И Н С Т И Т У Т ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН С С С Р

И Я Ф 51 - 72

В.Е.Балакин, Г.И.Будкер, Л.М.Курдадзе, А.П.Онучин,
Е.В.Пахтусова, С.И.Середняков, В.А.Сидоров, А.Н.Скринский

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОН - ПОЗИТРОННОЙ
АННИГИЛЯЦИИ В ПАРЫ $\pi^+ \pi^-$, $K^+ K^-$ ПРИ ПОЛНОЙ
ЭНЕРГИИ 1,18 - 1,34 ГэВ

Новосибирск

1972

Изучение поведения электромагнитных формфакторов за —
ряженных пионов и каонов во времениподобной области пере-
дач импульса на установках со встречными электрон-позитронными
пучками началось с работ по изучению векторных мезонов /1-4/.
Естественно, что большое сечение процессов в резонансах облегчи-
ло проведение этих экспериментов.

В настоящей работе приводятся результаты измерений в за-
резонансной области энергии, доступной для накопителя ВЭПП-2.
Эксперимент был проведен в 1970 году /5/ при трех значениях сум-
марной энергии частиц 1,18 , 1,26 и 1,34 Гэв.

Состояние электрон-позитронного накопителя во время прове-
дения эксперимента характеризовалось следующими параметрами:
начальный ток позитронов - 40 ма, электронов - 70 ма, среднее вре-
мя жизни пучков около 5 часов, светимость, усредненная по време-
ни измерений, - 10^{28} см⁻² сек⁻¹.

Оперативное измерение светимости проводилось с помощью
регистрации процесса двойного тормозного излучения /6/. Интеграл
светимости определялся по процессу упругого электрон-позитронно-
го рассеяния.

Кроме основных измерений - эффект, проводились измерения
фона в двух режимах - с пучками, разведенными по вертикали на
2 мм, и без пучков (космика). В последнем случае выключалась
синхронизация с фазой напряжения на резонаторе накопителя, что
увеличило эффективное время измерений в 4 раза.

Система регистрации, использованная в эксперименте (рис.1),
состояла из оптических и проволочных искровых камер, сцинтилля-
ционных счетчиков и водяных черенковских счетчиков. Камеры и
счетчики имели прямоугольную форму и охватывали угол $\pm 25^\circ$ вок-
руг вертикального направления. Телесный угол системы составлял
2 x 0,8 стерадиан.

Сцинтилляционные счетчики и оптические ливневые и пробег -
ные искровые камеры использовались те же самые, что и в Ф-мезон-
ном эксперименте /4/. Полная толщина материала оптических искро-
вых камер составляла 170 г/см². С их помощью определялась дли-
на пробега частиц и наличие ливней в случае регистрации электронов.
Геометрические характеристики событий определялись с помощью про-
волочных камер. С каждой стороны от места встречи находилось по

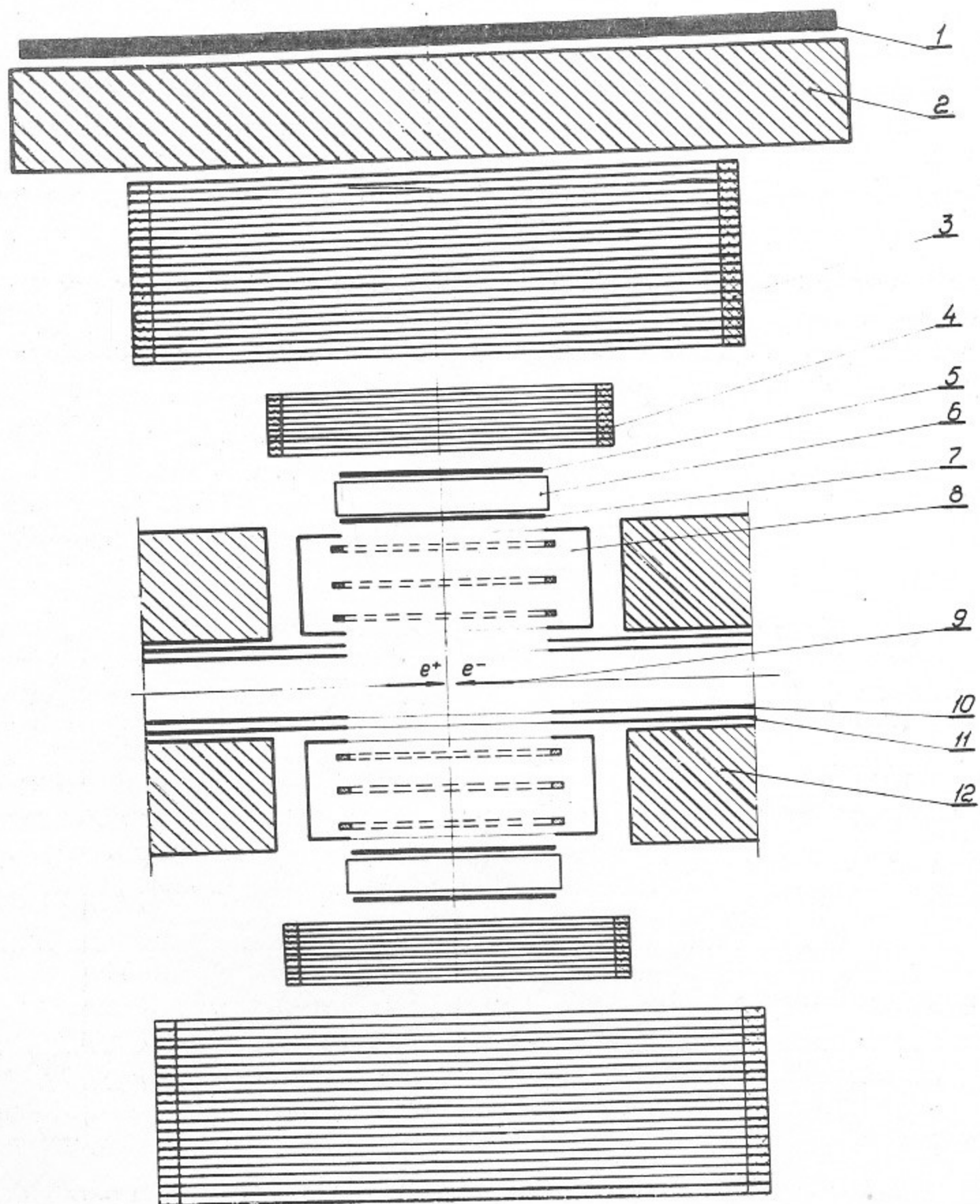


Рис.1. Система регистрации: 1-сцинтилляционный счетчик антисовпадений; 2-свинец; 3-пробежная искровая камера; 4-ливневая искровая камера; 5,7-сцинтилляционные счетчики; 6-водяной черенковский счетчик; 8-координатные проволочные искровые камеры; 9-область встречи; 10,11-внутренняя и наружная вакуумная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

три двухкоординатных камеры с памятью на ферритах. Проволочные камеры работали в режиме непосредственной связи с ЭВМ "Минск-22", параллельно вся информация записывалась на магнитную ленту. Для событий, отобранных с помощью проволочных камер, просматривались фотографии с оптических искровых камер.

Для разделения Π - и K -мезонов использовались пороговые водяные черенковские счетчики. Эффективность черенковских счетчиков, измеренная в этом же эксперименте по событиям упругого электрон-позитронного рассеяния, составляет 99%. Эффективность регистрации для интересующих нас Π -мезонов такая же как для электронов. Расчетное значение эффективности регистрации K -мезонов с полной энергией 670 Мэв равна 7%, при энергии 630 и 590 Мэв эффективность меньше 1%.

Суммарные данные эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1

Энергия $2E$, Гэв	1,18	1,26	1,34	Фон
Время измерений, 10^3 сек	558	706	226	3214
Число запусков системы регистр. 10^3 шт.	12,7	10,5	7,3	21,8
Интеграл светимости, 10^{33} см ⁻²	6,0	5,1	2,4	-
Число событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$	239	174	67	-

Обработка экспериментального материала производилась следующим образом. С помощью координатных камер отбирались события, у которых верхний и нижний треки пересекаются в медианной плоскости накопителя, и точка их пересечения находится в области взаимодействия пучков. Для этих событий просматривались фотографии с оптических искровых камер.

По ограничению на угол отклонения от коллинеарности $\Delta\omega < 5^\circ$ были выделены события, соответствующие образованию двух частиц в конечном состоянии. Часть неколлинеарных — многочастичных событий, наблюдавшихся в этом эксперименте, обусловлена реакцией двойного электророждения электрон-позитронных пар /78/. Остальные относятся к адронным процессам /5,8/.

Коллинеарные события были разделены на четыре типа процессов.

1. $e^-e^+ \rightarrow e^-e^+$. События выделяются по характерной картине ливня в верхних и нижних камерах. На фоновых измерениях таких событий обнаружено не было.

2. $e^-e^+ \rightarrow \mu^- \mu^+$. Пробег обеих частиц превышает толщину оптических камер. Подробный анализ процесса рождения μ -мезонных пар приведен в отдельной работе /9/.

3. $e^-e^+ \rightarrow \pi^+ \pi^-$. Пробег частиц, обусловленный ядерным поглощением, заканчивается в любом месте оптических камер. Дополнительным требованием на выделение этих событий было требование срабатывания обоих черенковских счетчиков.

Измерения фона показали, что основной фон в этот процесс дают космические частицы. Поэтому нормировка фона делалась по отношению времени измерения эффекта и фона. Для уменьшения фона от космических частиц были исключены из рассмотрения события, у которых трек в верхних камерах идет до конца пробежной камеры, а также на 10% уменьшен полезный телесный угол. В этих условиях осталось 5 фоновых событий.

Основная трудность при выделении событий рождения пионных пар заключалась в разделении Π -мезонов и электронов при просмотре фотографий с оптических искровых камер. Требование на разделение весьма высокое, так как число событий упругого рассеяния почти на два порядка больше числа событий пионных пар (разделение этих событий производилось методом корреляционного анализа, описанного в работе /1/).

В таблице приведено число пионных событий, а также данные по определению полного сечения рождения Π -мезонных пар и электромагнитного формфактора пиона.

Таблица 1.

Энергия $2E$, Гэв	1,18	1,26	1,34
Число событий, $\Pi^+\Pi^-$	5,5 $\begin{matrix} + 3,2 \\ - 2,5 \end{matrix}$	6,1 $\begin{matrix} + 4,0 \\ - 2,7 \end{matrix}$	1,1 $\begin{matrix} + 3,8 \\ - 1,8 \end{matrix}$
σ_{π} , 10^{-33} см ²	22 $\begin{matrix} + 13 \\ - 10 \end{matrix}$	33 $\begin{matrix} + 21 \\ - 15 \end{matrix}$	12 $\begin{matrix} + 37 \\ - 11 \end{matrix}$
$ F_{\pi} ^2$	1,6 $\begin{matrix} + 1,0 \\ - 0,7 \end{matrix}$	2,8 $\begin{matrix} + 1,9 \\ - 1,2 \end{matrix}$	1,1 $\begin{matrix} + 3,2 \\ - 1,0 \end{matrix}$

Определение полного сечения производилось с помощью мониторирующего процесса упругого электрон-позитронного рассеяния, события которого отбирались с теми же геометрическими критериями, что и для Π -мезонных пар. В этом случае отпадают вопросы определения эффективности отбора Π -мезонных событий и в значительной мере компенсируются радиационные поправки /10/.

В ошибку определения сечения включены, кроме статистических ошибок, возможные ошибки перепутывания событий упругого рассеяния и рождения пионных пар, а также ошибки определения вероятности ядерного поглощения пионов в камерах. Оценка вклада от многочастичных процессов /5,8/ показала, что этим эффектом можно пренебречь.

На рис.2 приведены экспериментальные значения формфактора. Кривая, проведенная на рисунке, является экстраполяцией кривой Гунариса и Сакураи /11/ из области ρ -мезонного резонанса с параметрами, полученными усреднением результатов эксперимента /1/ и нового эксперимента в Орсе /12,13/.

На рисунке видно, что все экспериментальные точки лежат выше расчетной кривой. Вероятность статистического согласия экспериментальных данных с теоретической кривой составляет 1%.

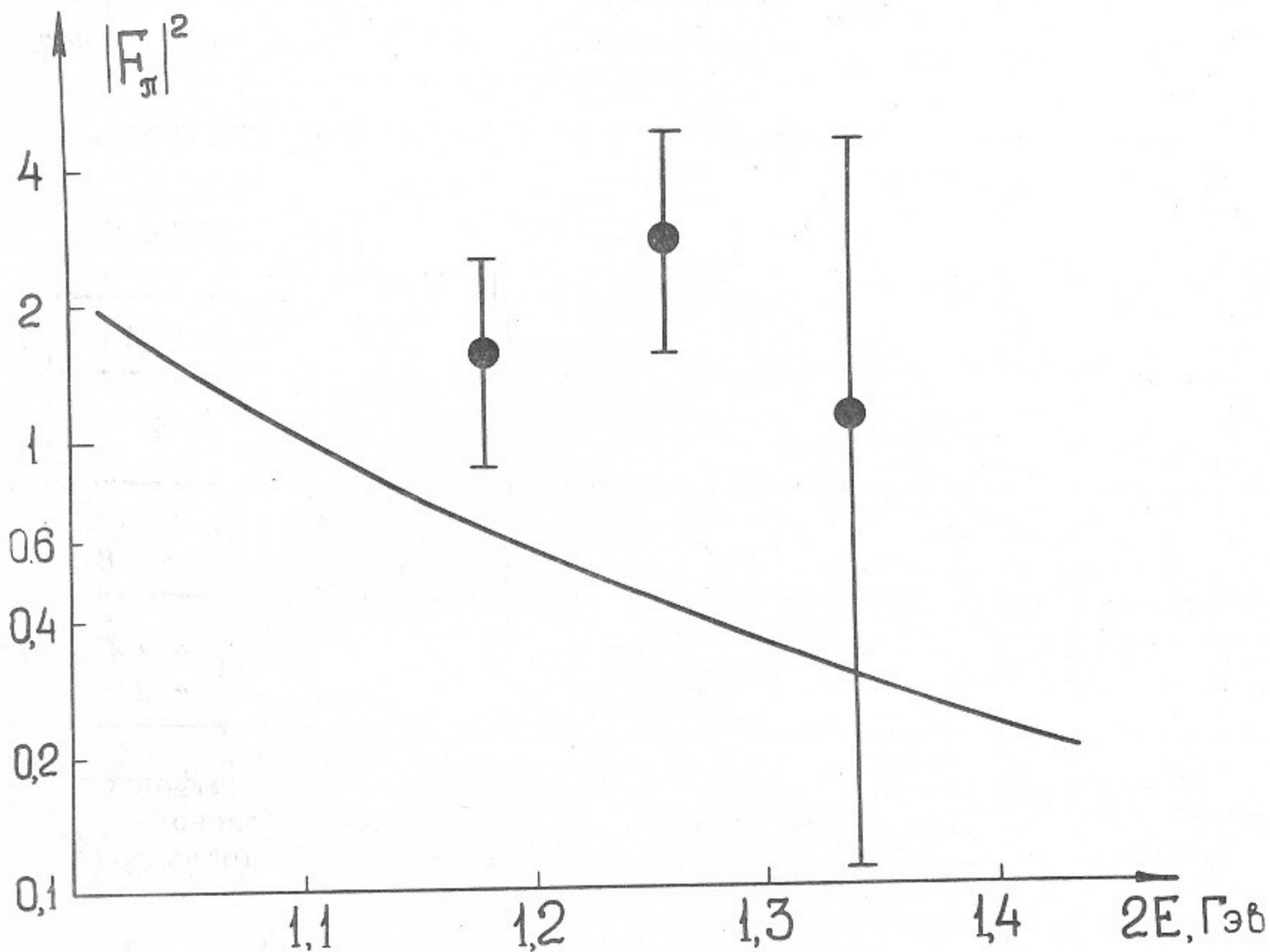


Рис.2. Экспериментальные значения квадрата формфактора π -мезона. Сплошной линией показана кривая Гунариса и Сакураи, экстраполированная из области ρ -мезонного резонанса по данным работ [1, 14, 15].

4. $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$. Эти события выделялись по отсутствию срабатывания черенковских счетчиков, расчетной длине пробега частиц и наличию характерной картины распада остановившихся K-мезонов. При энергии 1,18 ГэВ K-мезон должен останавливаться во втором сцинтилляционном счетчике и выделять в нём энергию на порядок большую, чем частица с минимальной ионизацией. Данные об амплитуде импульсов этих счетчиков использовались при анализе событий.

В таблице 3 приведено число зарегистрированных событий. На фоне таких событий не обнаружено.

Таблица 3

Энергия 2E, ГэВ	1,18	1,26	1,34
Число событий, K^+K^-	1	1	2
$\sigma_K, 10^{-33} \text{ см}^2$	$2,9 \begin{matrix} +6,6 \\ -2,4 \end{matrix}$	$3,4 \begin{matrix} +7,8 \\ -2,9 \end{matrix}$	$12 \begin{matrix} +16 \\ -8 \end{matrix}$
$ F_K ^2$	$1,2 \begin{matrix} +2,8 \\ -1,0 \end{matrix}$	$1,1 \begin{matrix} +2,5 \\ -1,0 \end{matrix}$	$3,4 \begin{matrix} +4,4 \\ -2,2 \end{matrix}$

Для сравнения с экспериментом использовался формфактор K-мезонов в виде суммы вкладов от ρ^- , ω и Φ -мезонов. Учитывая близость масс $m_\rho \approx m_\omega$, формфактор удобно записать в виде

$$F_K(s) = \frac{g_{\Phi KK}}{g_\Phi} \frac{m_\Phi^2}{s - m_\Phi^2} \pm \left(\frac{g_{\omega KK}}{g_\omega} + \frac{g_{\rho KK}}{g_\rho} \right) \frac{m_\rho^2}{s - m_\rho^2}$$

Используя условие нормировки $F_K(0) = 1$, можно исключить неизвестные константы $g_{\omega KK}$ и $g_{\rho KK}$.

На рис.3 приведены экспериментальные значения квадрата формфактора и три расчетных кривых. Одна из них относится к экстраполяции кривой Брейта-Вигнера из области Φ -мезонного резонанса и

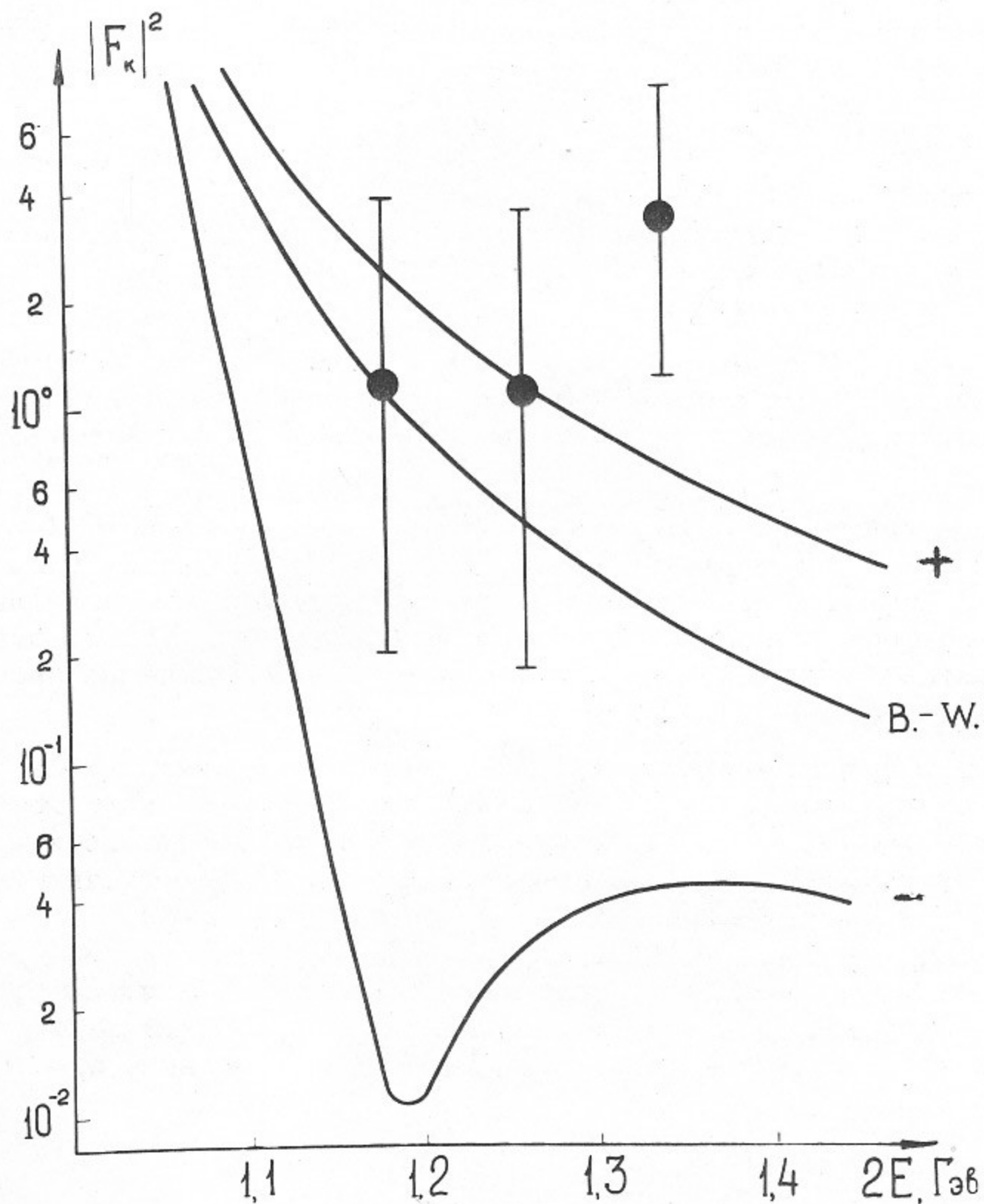


Рис.3. Экспериментальные значения квадрата формфактора K -мезона. Кривая $B.W.$ является экстраполяцией кривой Брейта-Вигнера из области Φ -мезонного резонанса. Кривые "+" и "-" построены с учетом вклада ρ - и ω -мезона, соответственно со знаком "+" или "-".

две кривые соответствуют учету вклада ρ - и ω -мезонов со знаком "+" или "-".

При вычислении кривых использовалась величина $g_{\rho\pi\pi}/g_{\rho\pi\pi}$, полученная усреднением экспериментальных данных Орса/3/ и Новосибирска /4/.

Вероятность статистического согласия экспериментальных данных с кривой Брейта-Вигнера составляет $P(B.-W.) = 2,3\%$, а для кривых с учетом ρ - и ω -мезонов $P(+)=9\%$ и $P(-)=0,4\%$ соответственно для знаков "+" и "-". Таким образом, можно считать знак "-" исключенным.

Обращает на себя внимание тот факт, что экспериментальные значения формфакторов как для пионов и так и для каонов лежат выше соответствующих экстраполяций из области ρ - и ϕ -мезонов.

Во Фраскати проводятся аналогичные эксперименты в области энергии 1,5 - 2,4 Гэв. К сожалению, их аппаратура не разделяет π - и K -мезоны и в эксперименте измеряется сумма квадратов формфакторов пионов и каонов. Предварительные данные этих экспериментов /14/ также показывают заметное превышение экспериментальных значений над кривой Брейта-Вигнера.

Вопрос о причинах превышения экспериментальных данных над расчетными кривыми остается открытым. Может быть, этот эффект обязан существованию ρ' -мезона. Одним из объяснений этого эффекта может быть вклад промежуточных многоадронных состояний, как предлагают Байер и Фадин /15/.

В заключение авторы благодарят большой коллектив сотрудников за подготовку аппаратуры, участие в измерениях и обработке эксперимента, а также А.И.Вайнштейна и И.Б.Хрипловича за обсуждение.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. V.L. Auslander et al., Phys. Letters , 25B, 433 (1967).
В.Л.Ауслендер и др., Ядерная физика, 9, 114 (1969).
2. J.E. Augustin et al., Phys. Rev. Letters , 20, 126 (1968). J.E. Augustin et al., Phys. Lett., 28B, 508 (1969).
3. J.C. Bizot et al., Phys. Letters , 32B, 416 (1970).
4. V.E. Balakin et al., Phys. Lett. . 34B, 328 (1971).
5. V.E. Balakin et al., Experiments on electron-positron colliding beams at 2×590 , 2×630 2×670 MeV
Submitted to the XVth International Conference, Kiev, 1970, Preprint, Inst. of Nucl. Phys. 62-70, Novosibirsk, 1970
6. П.И.Голубничий и др. Атомная энергия, 22, 168 (1967).
7. V.E. Balakin et al, Phys. Lett. 34B, 663 (1971).
8. V.A. Sidoren, Proceedings 1971 International Symposium on Electron and Photon Interactions at High Energies, Cornell (1971)
9. V.E. Balakin et al, Phys. Letters 37B, 435 (1971).
10. G. Pancheri, Nuovo Cimento , 60A, 321 (1969).
11. G.I. Gounaris, I. I. Sakurai, Phys. Rev. Letters 21, 224 (1968).
12. J. Lefrancois, Proceedings 1971 International Symposium on Electron and Photon Interactions at High Energies, Cornell (1971)
13. G. Parrou, Thesis, LAL 1257, Orsay (1971)

14. C. Bernardini, Proceedings 1971 International Symposium on Electron and Photon Interactions at High Energies, Cornell (1971)
15. В.Н.Байер, В.С.Федин. Письма в ЖЭТФ, 15, 219 (1972).

Ответственный за выпуск Середняков С.И.
Подписано к печати 3.УП-72г., МН 10388
Усл. 0,7 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно.
Заказ № 51. ПРЕПРИНТ.

Отпечатано на ротапринте в ИЯФ СО АН СССР, вг