

5.20

5

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

И Я Ф 59 - 70

**В.Е.Балакин, Г.И.Будкер, Е.В.Пахтусова, В.А.Сидоров,
А.Н.Скринский, Г.М.Тумайкин, А.Г.Хабахпашев**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ϕ -МЕЗОННОГО РЕЗОНАНСА НА
ВСТРЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ ПУЧКАХ**

Новосибирск

1970

В.Е.Балакин, Г.И.Будкер, Е.В.Пахтусова, В.А.Сидоров,
А.Н.Скринский, Г.М.Тумайкин, А.Г.Хабахпашев

ИССЛЕДОВАНИЕ ϕ -МЕЗОННОГО РЕЗОНАНСА НА
ВСТРЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ ПУЧКАХ

А Н Н О Т А Ц И Я

На установке со встречными пучками ВЭПП-2 проведено измерение кривой возбуждения ϕ -мезонного резонанса по трем основным каналам его распада. Получены параметры резонанса: ширина, полное сечение и относительные вероятности ветвей распада

$$\Gamma = (4,67 \pm 0,42) \text{ МэВ}, \quad B(K^+K^-) = (54,0 \pm 3,4)\%,$$
$$B_0 = (3,96 \pm 0,35) \text{ мкбарн}, \quad B(K_S^0 K_L^0) = (25,7 \pm 3,0)\%,$$
$$B(e^+e^-) = (2,81 \pm 0,25) \cdot 10^{-4}, \quad B(\pi^+\pi^-\pi^0) = (20,3 \pm 4,2)\%.$$

Определены также формфактор рождения пары π -мезонов при энергии $2E = 1020$ МэВ и верхняя граница относительной вероятности соответствующей моды распада ϕ -мезона

$$|F_\pi|^2 = 2,3 \pm 1,1, \quad B(\pi^+\pi^-) < 0,6\%.$$

БИБЛИОТЕКА
Института ядерной
Физики СО АН СССР
ИНВ. № _____

На двух установках со встречными пучками (Новосибирск и Орсе) уже проведено несколько работ по изучению нейтральных векторных мезонов /1-8/. Продолжением этого цикла исследований является настоящая работа по изучению Φ -мезонного резонанса. Её отличием от аналогичной работы французской группы /6,7/ является одновременная регистрация всех трех основных ветвей распада Φ -мезона: K^+K^- , $K_S^0 K_L^0$ (через $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$) и $\pi^+\pi^-\pi^0$, а также пар π -мезонов, образующихся при этой энергии. Предварительные результаты работы уже опубликованы /8/.

Работа выполнена на электрон-позитронном накопителе ВЭПП-2. Состояние накопителя во время этих измерений (лето 1969г.) характеризуется следующими параметрами: средняя светимость 10^{28} см⁻² сек⁻¹, начальный ток позитронов 40 ма, электронов -60ма, эффективное время жизни пучков 5 час.

Используемая в эксперименте система искровых камер состоит из двух одинаковых половин (верхней и нижней), охватывающих угол $2 \times 0,9$ стерадиана вблизи вертикального направления. Их расположение показано на рис.1. Искровые камеры с тонкими пластинами служат для определения углов вылета частиц и координат точки взаимодействия. Определение сорта частиц проводится по характеру их взаимодействия с материалом пластин "ливневых" и "пробежных" камер. Ливневая камера содержит 11 свинцовых пластин толщиной 2 мм; пробежная - 21 пластину из нержавеющей стали толщиной 8 мм. Довольно сложная система зеркал позволяет пользоваться одной фотокамерой.

Запуск системы искровых камер проводится четырьмя сцинтилляционными счётчиками, включенными в две схемы совпадений с разрешающим временем $2\tau = 20$ нсек. Четырехкратная схема совпадений настроена на регистрацию частиц с минимальной ионизацией (эффективность 97%). Двухкратная - соединена лишь с внутренними (ближайшими к вакуумной камере накопителя) счётчиками и настроена на регистрацию заряженных K -мезонов (эффективность 100%). Их энергия в максимуме Φ -резонанса составляет всего 16 Мэв, а соответствующий импульс света в сцинтилляторе значительно больше, чем для релятивистской частицы. Для облегчения последующей обработки величина этого импульса для каждого события регистрировалась на фотোগрафии треков.

Для защиты от космического излучения служит счётчик ан-

тисовпадений размером $160 \times 160 \times 5 \text{ см}^3$ на одном фотоумножителе ФЭУ-65. Между этим счётчиком и камерами помещен слой свинца толщиной 20 см, преграждающий путь в счётчик антисовпадений частицам исследуемого процесса. Включение счётчика антисовпадений в 50 раз снижает частоту срабатываний системы от космического излучения. Дополнительный фактор 4 в уменьшении числа срабатываний даёт синхронизация с фазой напряжения на резонаторе накопителя. В этих условиях система искровых камер срабатывает 40 раз в час от космического излучения. В рабочих условиях значительно большую загрузку дают частицы, выбывающие из пучков.

Точность абсолютного определения энергии по магнитным измерениям составляла 1%. Стабильность и воспроизводимость энергии контролировалась методом ядерного резонанса с точностью 0,01%. Абсолютная калибровка энергетической шкалы проведена по табличному значению энергии Φ -резонанса 1019,5 Мэв /9/.

Контроль за условиями встречи пучков и мониторинг (интегрирование светимости) проводились по процессу двойного тормозного излучения. Этот процесс регистрировался двумя счётчиками полного поглощения на кристаллах $\text{NaI}(\text{Tl})$, включенными в схему совпадений с порогом 5 Мэв (2γ - монитор).

Основная серия измерений заняла полтора месяца при круглосуточной работе установки. Измерения проводились при 9 значениях энергии частиц в накопителе от 508 до 514 Мэв. Четвертая часть времени работы накопителя потрачена на фоновые измерения, для которых пучки разводились по вертикали на 2 мм. Кроме этого измерялся фон космического излучения.

Некоторые характеристики эксперимента иллюстрируются таблицей 1:

Таблица 1

	Эффект	Фон	Космика
Время измерений (час)	222	67	68
2γ -монитор (тыс.)	1292	2,3	-
Число фотографий (тыс.)	86,1	25,6	10,2
Интеграл светимости (10^{33} см^{-2})	8,5	-	-

При обработке фотографий выделялось шесть каналов реакции:

1) $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$. Коллинеарность и чёткие картины ливней в верхней и нижней системах камер позволяют чисто (без фона) выделить этот процесс. Принятое ограничение на отклонение от коллинеарности $\Delta\omega < 10^\circ$.

2) $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$. Основными критериями выделения служили коллинеарность ($\Delta\omega < 10^\circ$) и большие амплитуды импульсов в запускающей паре сцинтилляционных счётчиков. Около трети зарегистрированных событий этого процесса имеют в ливневых и пробежных камерах характерную картину распада K -мезона, остановившегося в первом сцинтилляционном счётчике. Эта группа событий не имеет фона.

3) $e^+e^- \rightarrow K_S^0 K_L^0$. Регистрировался распад $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$, вероятность которого принята равной $68,7 \pm 0,6\%$ /9/. Критерий по отклонению от коллинеарности: $10^\circ < \Delta\omega < 34^\circ$. Верхняя граница определяется импульсом K_S^0 -мезона. Длина ионизационного пробега π -мезонов этого процесса не позволяет им пройти дальше четвертого промежутка пробежной камеры, что служило дополнительным критерием отбора. События с малым нарушением коллинеарности в азимутальном направлении $\Delta\varphi < 4^\circ$ не использовались. Этот район загрязнен процессом $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$.

4) $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$. К этому процессу отнесены события, имеющие отклонение от коллинеарности или длину пробега хотя бы одного из π -мезонов большие, чем допустимо для предыдущего процесса. Требование $\Delta\varphi > 4^\circ$ сохранено. Для уменьшения фона принято ограничение $\Delta\omega < 65^\circ$.

5) $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$. Коллинеарные ($\Delta\omega < 2,5^\circ$) треки, заканчивающиеся в ливневых или пробежных камерах.

6) $e^+e^- \rightarrow M^+M^-$. Коллинеарные ($\Delta\omega < 2,5^\circ$) треки, выходящие за пределы пробежных камер. Результаты измерений этого канала реакции приведены в работе, посвященной проверке применимости квантовой электродинамики /10/.

Интегральные результаты эксперимента приведены в таблице 2.

Фоновые измерения нормировались по отношению полного

числа кадров, зарегистрированных при измерении эффекта и фона. Для канала $\pi^+\pi^-$ значение фона получено из измерений на "космике", имеющих лучшую статистическую точность.

При обработке результатов эксперимента относительная интегральная светимость определялась по 2 γ -монитору. Абсолютное значение светимости было измерено по процессу упругого электрон-позитронного рассеяния на большие углы.

Таблица 2.

Канал	Зарегистрировано число событий			Чистый эффект (фон вычтен)	Вероятность регистрации (%)
	эффект	фон	космика		
e^+e^-	530	0	0	530 ± 23	(0,0625 мкбн).
K^+K^-	633	20	2	565 ± 29	$7,1 \pm 0,1$
$K_S^0 K_L^0$	95	0	0	95 ± 10	$3,4 \pm 0,2$
$\pi^+\pi^-\pi^0$	21	0	0	$21 \pm 4,6$	$0,71 \pm 0,08$
$\pi^+\pi^-$	40	3	15	$28,6 \pm 7$	$6,0 \pm 0,7$
Коэффициент нормировки	1	0,298	1,32		

Расчёт геометрических условий регистрации для системы искровых камер проведен методом Монте-Карло. Вероятности регистрации, приведенные в таблице 2, включают в себя поправки на эффективность схемы совпадений, на вероятность π^- -мезону иметь пробег, удовлетворяющий выбранным ограничением и др. Для упругого рассеяния приведено сечение регистрации с учётом радиационных поправок [11]. При вычислении сечения канала $K_S^0 K_L^0$ учитывалось, что часть событий процесса $\pi^+\pi^-\pi^0$ будут удовлетворять условиям отбора канала $K_S^0 K_L^0$. Вероятность регистрации событий $\pi^+\pi^-\pi^0$ в канале $K_S^0 K_L^0$ равна $(0,14 \pm 0,02)\%$.

Радиационные поправки весьма существенны для резонансных каналов реакции /12/. Реально измеренное сечение σ_p связано с интересующим нас ("идеальным") сечением выражением

$$\sigma_p = \sigma(1 + \delta_p). \text{ В максимуме } \phi \text{-резонанса } \delta_p = -0,24.$$

Время измерений в большинстве циклов составляло от 2 до 5 часов. Так как время радиационной поляризации пучков с энергией 510 МэВ для накопителя ВЭПП-2 составляет 3 часа /13/, то при отсутствии деполяризующих эффектов на результатах измерения сечения канала K^+K^- скажется поляризация пучков. Поправка к сечению в этом случае будет $\delta_p = 0,06$. Иными словами: если отсутствуют деполяризующие эффекты, полученное полное сечение этого канала будет завышено на 6%. Величина поправки, определенная из эксперимента по зависимости числа зарегистрированных событий K^+K^- от времени нахождения пучка в накопителе $\delta_{пэ} = 0,02 \pm 0,03$. При обработке результатов принято $\delta_p = 0$.

На рис.2-4 показаны результаты обработки экспериментальных данных по трем основным каналам распада ϕ -мезона. Аппроксимация этих результатов кривой Брайта-Вигнера по методу наибольшего правдоподобия даёт следующие значения ширины резонанса и парциальных резонансных сечений трех каналов реакции:

$$\Gamma = (4,67 \pm 0,42) \text{ МэВ,}$$

$$\sigma(K^+K^-) = (2,13 \pm 0,17) \text{ мкбарн,}$$

$$\sigma(K_S^0 K_L^0) = (1,02 \pm 0,15) \text{ мкбарн,}$$

$$\sigma(\pi^+\pi^-\pi^0) = (0,81 \pm 0,21) \text{ мкбарн.}$$

Величина χ^2 , характеризующая статистическую совместимость результата, оказалась равной 15,5, что соответствует достоверности 84% (число степеней свободы $28 - 6 = 22$).

В предположении отсутствия других мод распада ϕ -мезона получено полное сечение его образования

$$\sigma_0 = (3,96 \pm 0,35) \text{ мкбарн}$$

и относительные вероятности основных каналов распада (%)

$$B(K^+K^-) = 54,0 \pm 3,4,$$

$$B(K_S^0 K_L^0) = 25,7 \pm 3,0,$$

$$B(\pi^+\pi^-\pi^0) = 20,3 \pm 4,2.$$

Полученным данным соответствует относительная вероятность и ширина лептонного распада Φ -мезона

$$B(e^+e^-) = (2,81 \pm 0,25) \cdot 10^{-4}$$

$$\Gamma(e^+e^-) = (1,31 \pm 0,12) \text{ кэВ,}$$

и константе связи Φ -мезона

$$\frac{g^2}{4\pi} = \frac{\alpha^2 m_\Phi Q_\Phi}{3 \Gamma(e^+e^-)} = 11,7 \pm 1,1$$

где $Q_\Phi = 0,85$ коэффициент, учитывающий эффект конечной ширины резонанса /14/.

Сравнение с работой французской группы в Орсе /7/ показывает, что оба результата находятся в удовлетворительном согласии.

Обработка данных, относящихся к каналу $\pi^+\pi^-$ показывает, что в районе Φ -резонанса этот процесс имеет заметное сечение нерезонансного характера. Полученная отсюда величина фактора рождения двух π -мезонов с суммарной энергией 1020 МэВ

$$|F_\pi|^2 = 2,7 \pm 0,7$$

лежит заметно выше значения $1,6 \pm 0,3$, полученного экстраполяцией кривой Брайта-Вигнера для ρ -мезонного резонанса /2,4/.

Попытка наблюдать интерференцию этого процесса с каналом распада Φ -мезона на два π -мезона не увенчалась успехом. Получена лишь верхняя граница относительной вероятности такого распада. Для произвольной фазы интерференции

$$B(\pi^+\pi^-) < 0,6\%$$

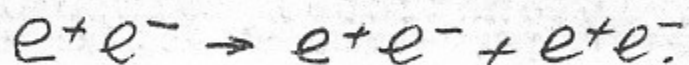
с достоверностью 95%. Предположение о возможности интерференционной картины уменьшает точность результата для фактора нерезонансного процесса:

$$|F_\pi|^2 = 2,3 \pm 1,1$$

При обработке эксперимента было выделено около 100 неколлинеарных событий, которые не принадлежат к рассмотренным

6 каналам реакции. Эти события имеют нулевые пробеги в ливневых камерах. Порог регистрации 4-х кратной схемы совпадений составляет для электронов 13 Мэв и π -мезонов - 35 Мэв. Среднеквадратичный угол многократного рассеяния в фольге ($0,1 \text{ г/см}^2$ железа и $0,05 \text{ г/см}^2$ алюминия) для наблюдаемых событий $\sim 5^\circ$. Поэтому можно предположить, что в этом процессе регистрируются электроны и их энергия $\sim 15 \text{ Мэв}$. Распределение этих событий в зависимости от энергии пучков показывает, что они не связаны с ϕ -мезонным резонансом.

Возможным источником этих событий является процесс рождения электрон-позитронных пар



Полное сечение этого процесса огромно /15/. К сожалению в настоящее время нет расчётов его углового и энергетического распределения.

Авторы благодарны В.Н.Байеру, А.И.Вайнштейну и И.Б.Хриповичу за полезные дискуссии, а также большому коллективу сотрудников, принимавших участие в получении и обработке результатов эксперимента.

Л и т е р а т у р а

1. В.Л.Ауслендер и др. *Phys.Lett.* 25B, 433, 1967.
2. В.Л.Ауслендер и др. *ЯФ*, 9, 1969.
3. I. Augustin et al. *Phys.Rev.Lett.* 20, 126, 1968.
4. I. Augustin et al. *Phys.Lett.*, 28B, 508, 1969.
5. I. Augustin et al. *Phys. Lett.* 28B, 513, 1969.
6. I. Augustin et al. *Phys.Lett.* 28B, 517, 1969.
7. I. Perez-y-Jorba. *Intenational Simposium, Daresbury, 1969.*
8. В.А.Сидоров. *Intenational Simposium, Daresbury, 1969.*
9. A. Rosenfeld et al. *Tables, 1970.*
10. В.Е.Балакин и др. Эксперименты по рождению пар M -мезонов на ВЭПП-2. Представлена на Международную конференцию, Киев, 1970.
11. С.М.Суханов, В.С.Фадин, В.А.Хозе. *ДАН СССР* 178, 822, 1968.
12. В.Н.Байер, В.С.Фадин. *Phys.Lett.* 27B, 223, 1968.
13. В.Н.Байер. *Intenational School of Physics "Enrico Fermi", XLVI, Academic Press, 1970.*
14. F. Renard. *Nucl. Phys.* B15, 267, 1970.
15. Л.Д.Ландау, Е.М.Лившиц. *Sov. Phys.* 6, 615, 1950.

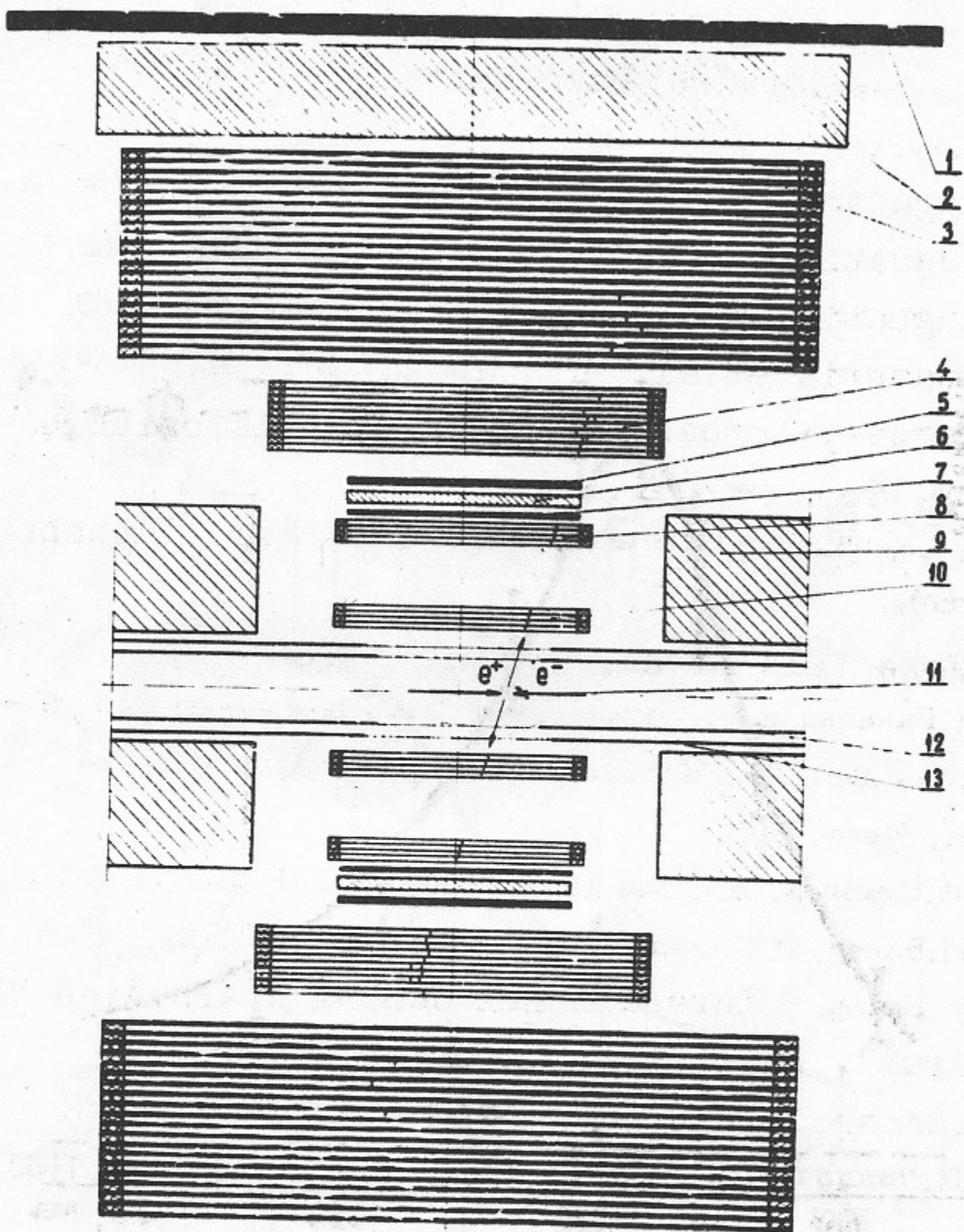


Рис.1. Система искровых камер: 1 - сцинтилляционный счётчик антисовпадений; 2 - слой свинца толщиной 200 мм; 3 - пробежная искровая камера; 4 - ливневая искровая камера; 5,7 - сцинтилляционные счётчики; 6 - слой дюрала толщиной 20 мм; 8,10 - искровые камеры с тонкими пластинами; 9 - магнит накопителя; 11 - область встречи; 12,13 - внутренняя и наружная вакуумные камеры.

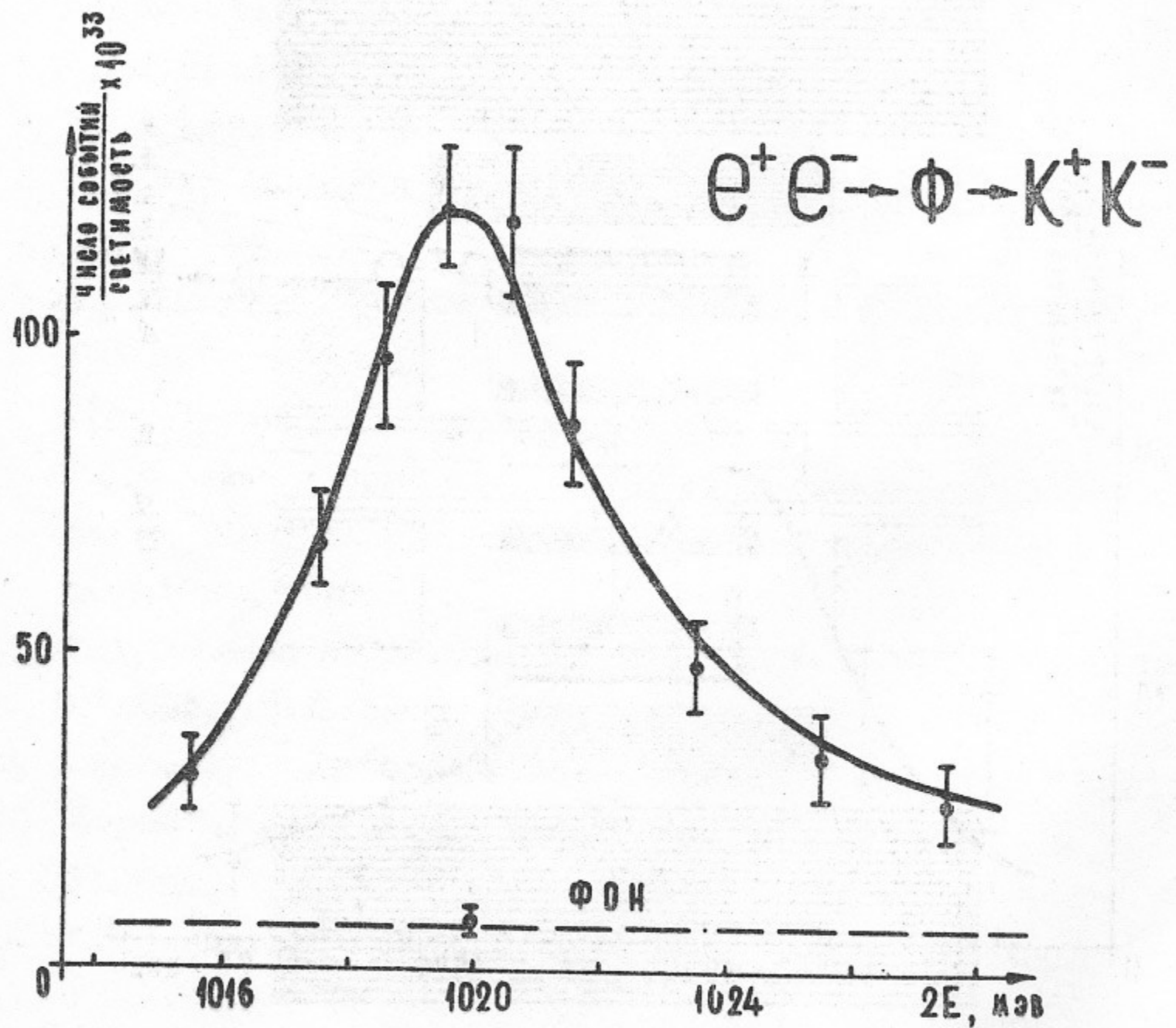


Рис.2. Реакция $e^+e^- \rightarrow \phi \rightarrow K^+K^-$. При выбранной нормировке ординаты точек примерно соответствуют числу зарегистрированных событий.

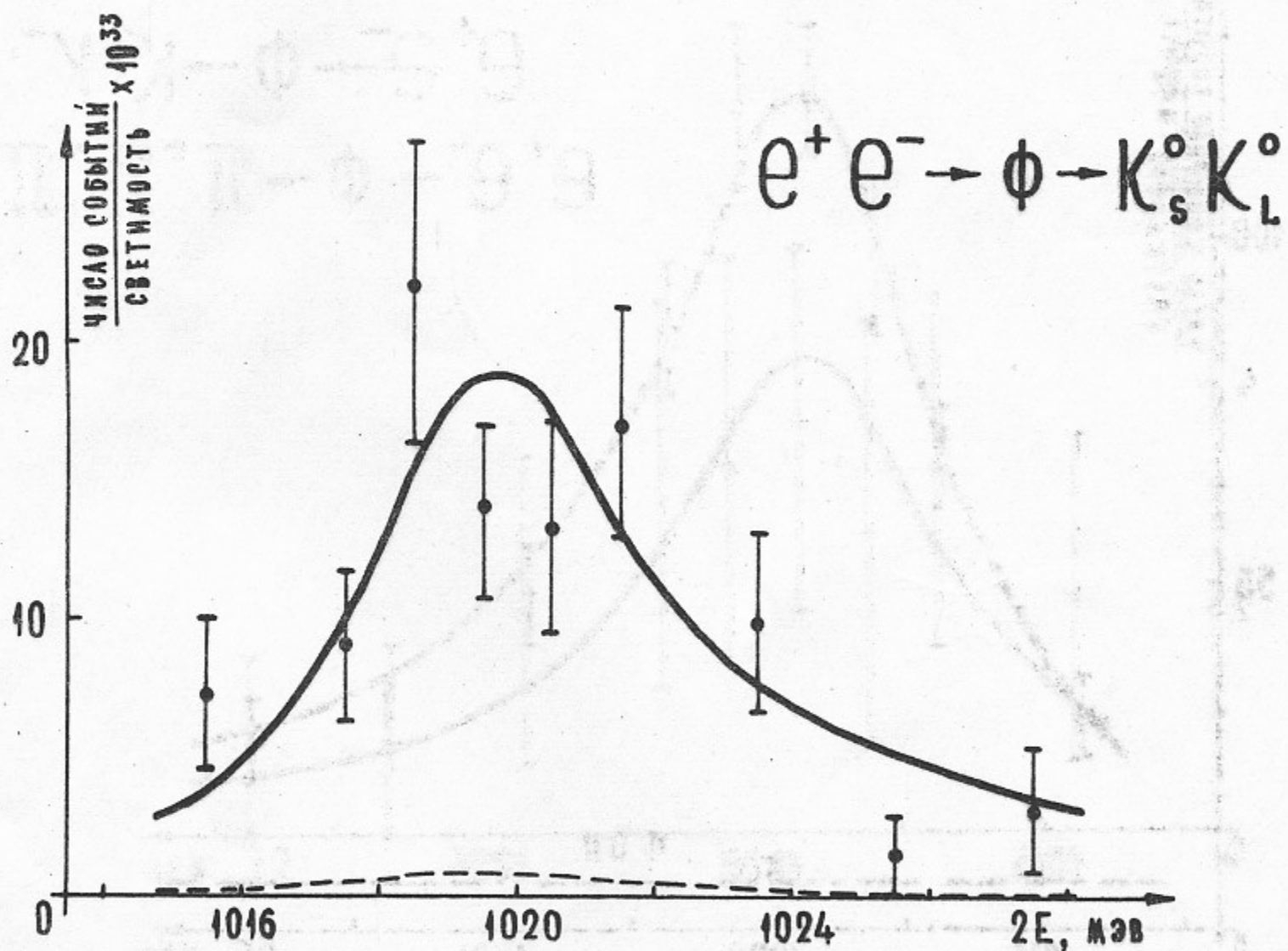


Рис.3. Реакция $e^+ e^- \rightarrow \phi \rightarrow K_s^0 K_L^0$. Пунктиром показана примесь канала $\pi^+ \pi^- \pi^0$.

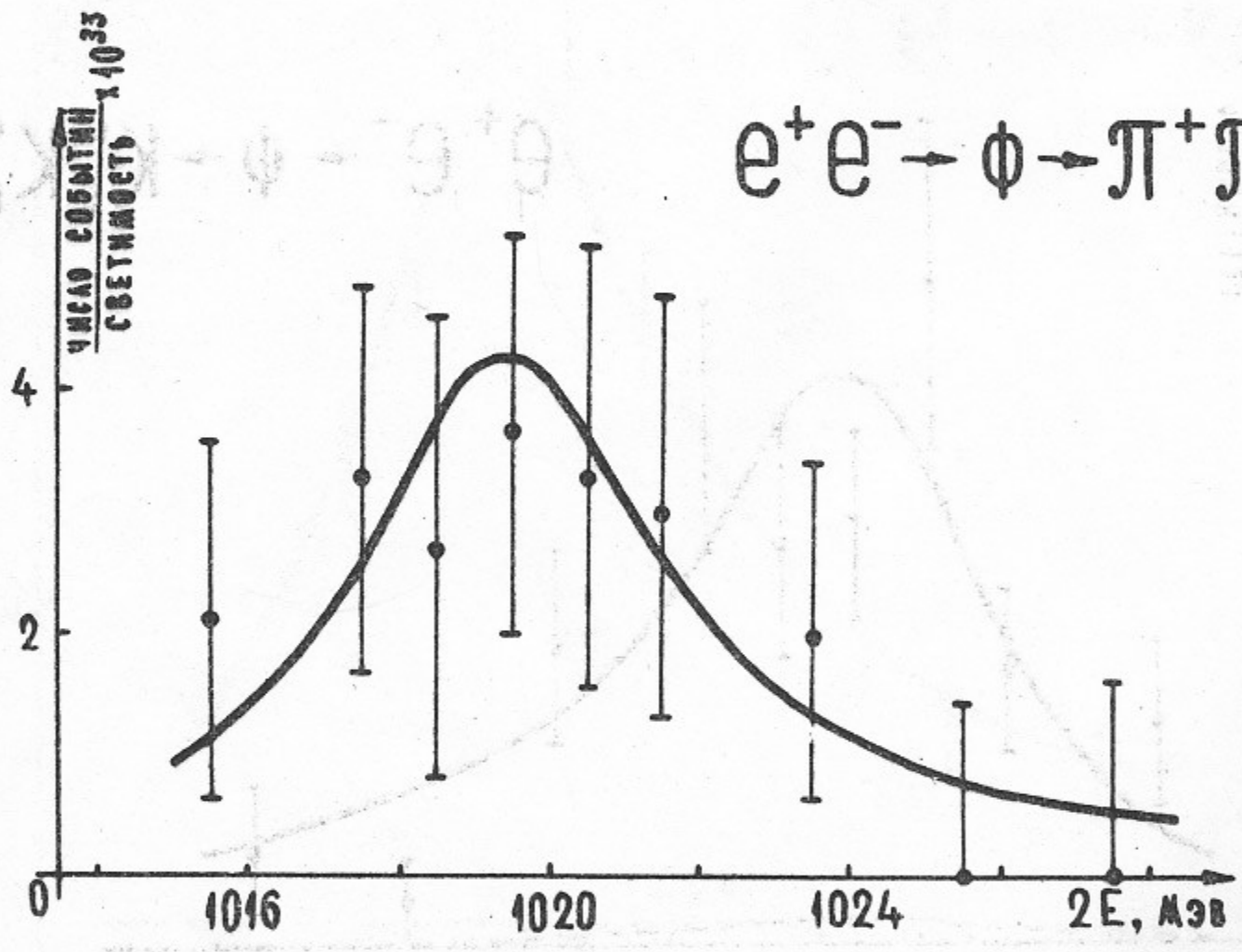


Рис.4. Реакция $e^+e^- \rightarrow \phi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$

Ответственный за выпуск А.Г.Хабарпашев
Подписано к печати 13.УШ-1970г.
Усл. 0,7 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно.
Заказ № 59 . ПРЕПРИНТ.

Отпечатано на ротапринтере в ИЯФ СО АН СССР, нв.