



# ДЕТЕКТОР СНД состояние и планы

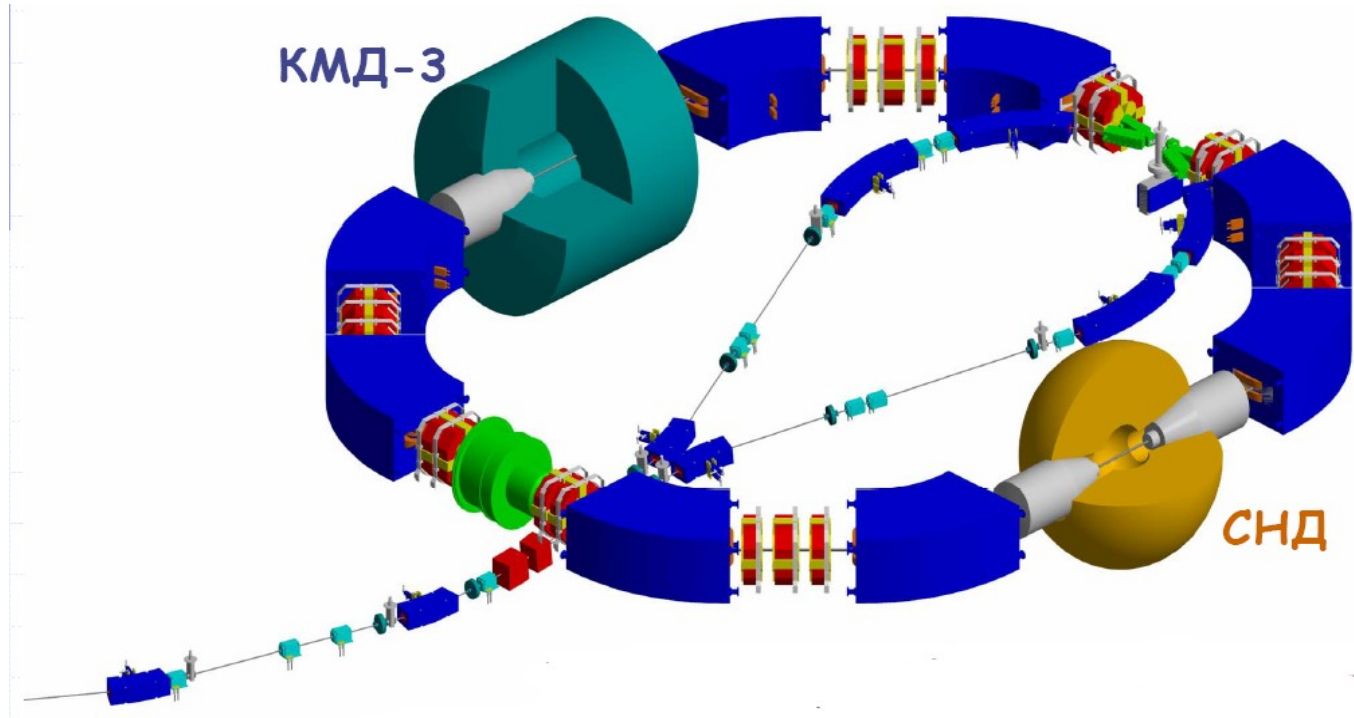
(лаб. 3-1, 3-2, 3-12)

М.Н. Ачасов

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ИЯФ  
4 февраля 2021 г.



# СНД в 2020 г.



2020 г: набор данных в области энергии выше **1 ГэВ** (с.ц.м.)

Скорость набора данных в 2017 г: **50 пб<sup>-1</sup>/год.**

Скорость набора данных в 2018 г: **90 пб<sup>-1</sup>/год.**

Скорость набора данных в 2019 г: **70 пб<sup>-1</sup>/год.**

Скорость набора данных в 2020 г: **50 пб<sup>-1</sup>/год.**

Эксперимент длился 2 месяца. Могли набрать **130 пб<sup>-1</sup>/год?**

**Предельная ожидаемая, возможная скорость: 1000 пб<sup>-1</sup>/год.**

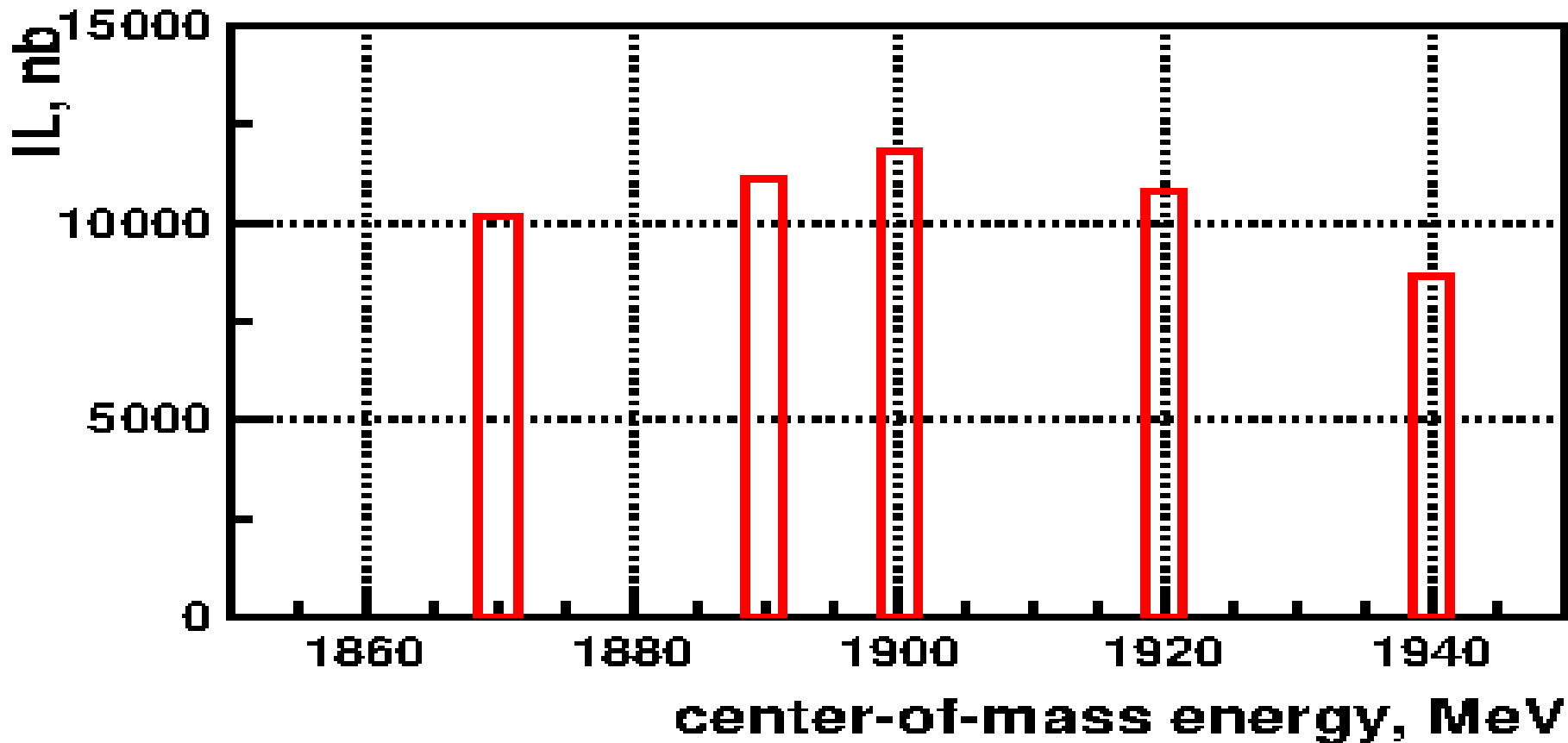
Развитие электроники и системы сбора данных СНД.

Анализ данных 2010 – 2019 гг: **280 пб<sup>-1</sup>.**



# Эксперимент СНД в 2020 году.

В 2020 г. набран  $IL=50 \text{ пб}^{-1}$



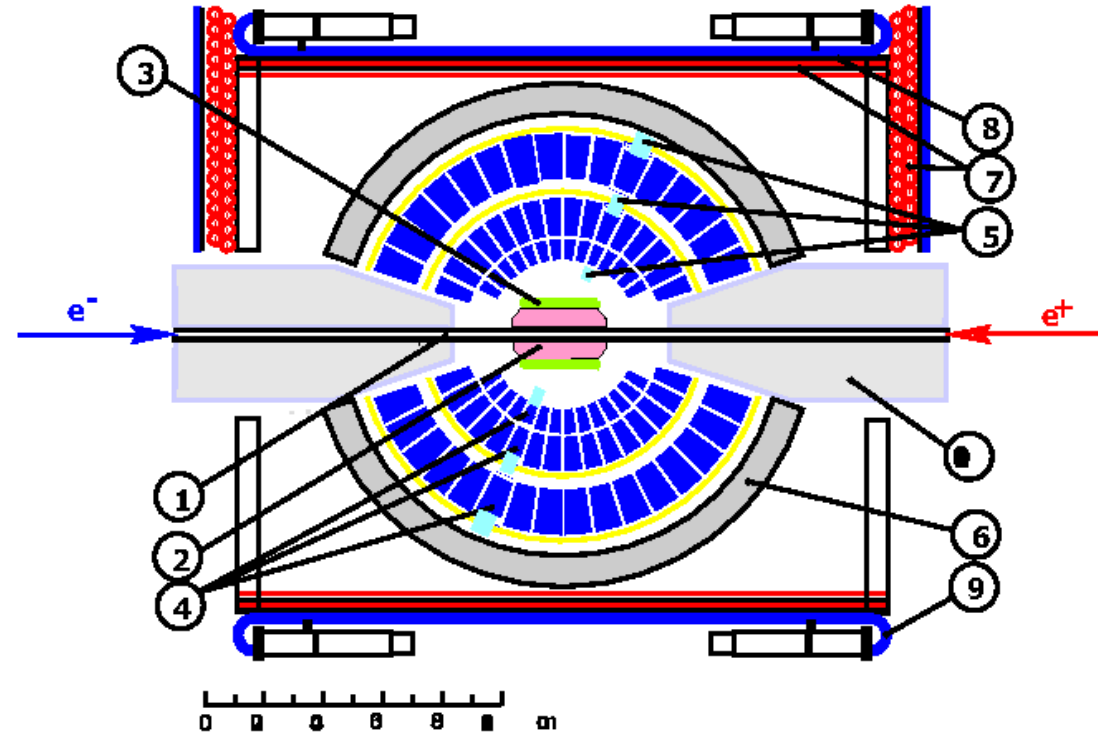
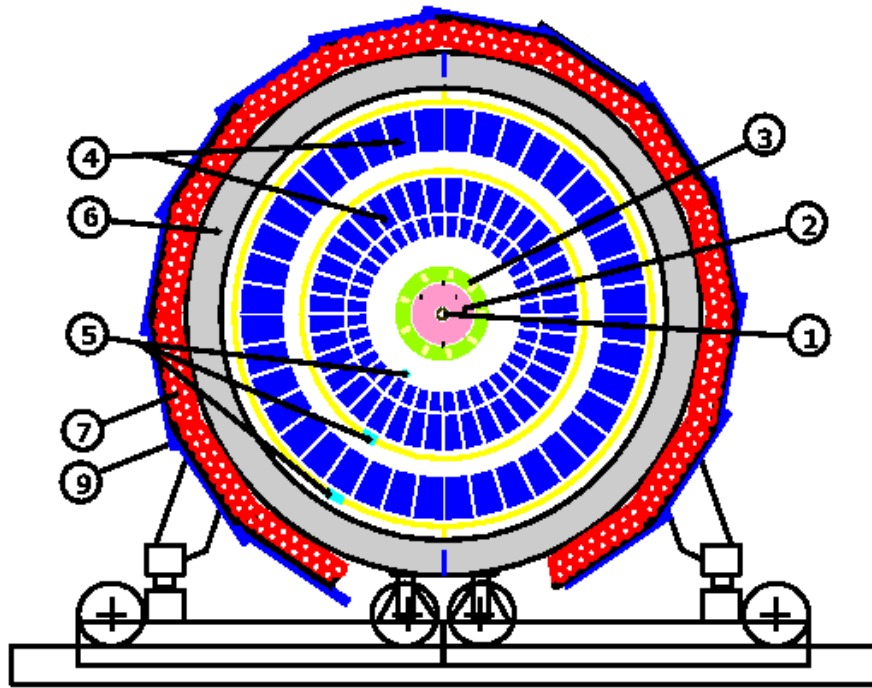
Распределение интегральной светимости по энергии в системе центра масс.

Физические задачи эксперимента 2020 г. :

- Измерение сечений  $e^+e^- \rightarrow N\bar{N}$ , адроны.



# Сферический нейтральный детектор (СНД).



1-вакуумная камера, 2-трековая система, 3-черенковские счётчики, 4-кристаллы NaI(Tl), 5-вакуумные фототриоды, 6-железный поглотитель, 7-пропорциональные трубки, 9-сцинтилляционные счётчики, 10-соленоиды ВЭПП-2000.



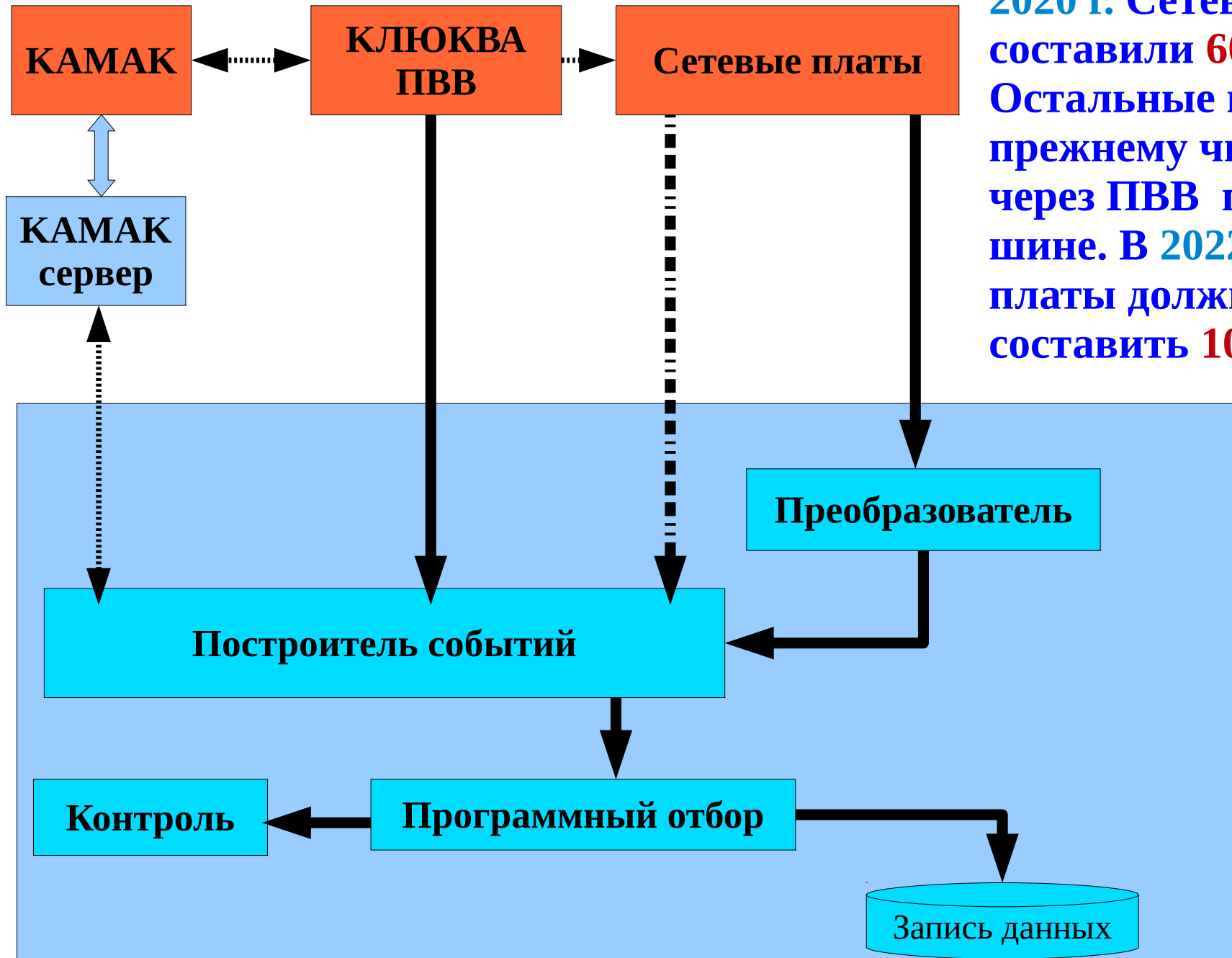
# Новая электроника.

В 2020 году выполнены работы с прототипом сетевые платы с ПЛИС со встроенным процессором для оцифровки сигналов с проволочек дрейфовой камеры (период оцифровки  $\approx 5$  нс).

По итогам работ принято решение изготовить платы на всю систему к концу 2021 года.



# Система сбора данных СНД.



2020 г. Сетевые платы составили **60%**.  
Остальные платы по-прежнему читаются через ПВВ по общей шине. В 2022г сетевые платы должны составить **100%**.

Вычислительная ферма



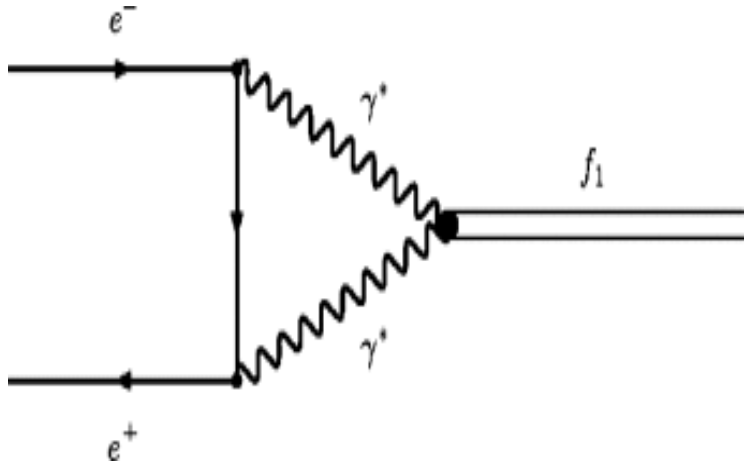
# Анализ данных СНД.

Физическая программа эксперимента:

- Измерение сечений процессов  $e^+e^- \rightarrow \text{адроны}$ .  
Измерение сечений и электромагнитных формфакторов, исследование динамики многоадронных процессов.
- Изучение векторных мезонов  $\rho, \omega, \phi$  и их возбуждённых состояний  $\rho', \rho'', \omega', \omega'', \phi', \dots$   
Параметры мезонов определяются путём подгонки измеренных сечений теоретическими моделями.
- Двухфотонная физика  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- + \text{адроны}$ .
- Рождение С-чётных резонансов:  $e^+e^- \rightarrow S, P, A, T$ .



# Поиск процесса $e^+e^- \rightarrow f_1(1285)$ .



Измерялась относительная вероятность распада  $f_1(1285) \rightarrow e^+e^-$  посредством поиска обратного процесса  $e^+e^- \rightarrow f_1(1285)$ .

Теоретический расчёт на основе модели ДВМ:  $Br(f_1 \rightarrow e^+e^-) = (3,5 \pm 1,8) \times 10^{-9}$ .

Эксперимент 2010 – 2012 и 2017 гг,  $\sqrt{s} = 1,2 - 1,4$  ГэВ,  $IL = 15$  пб<sup>-1</sup>.

Отбирались события  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^0\pi^0 \rightarrow 6\gamma$ . Эффективность отборов 1%. В пике  $f_1(1285)$  ( $IL = 3,4$  пб<sup>-1</sup>) отобрано 2 события (ожидаемый фон 0,25 событий), вне пика 0 событий (ожидаемый фон 0,9 событий)

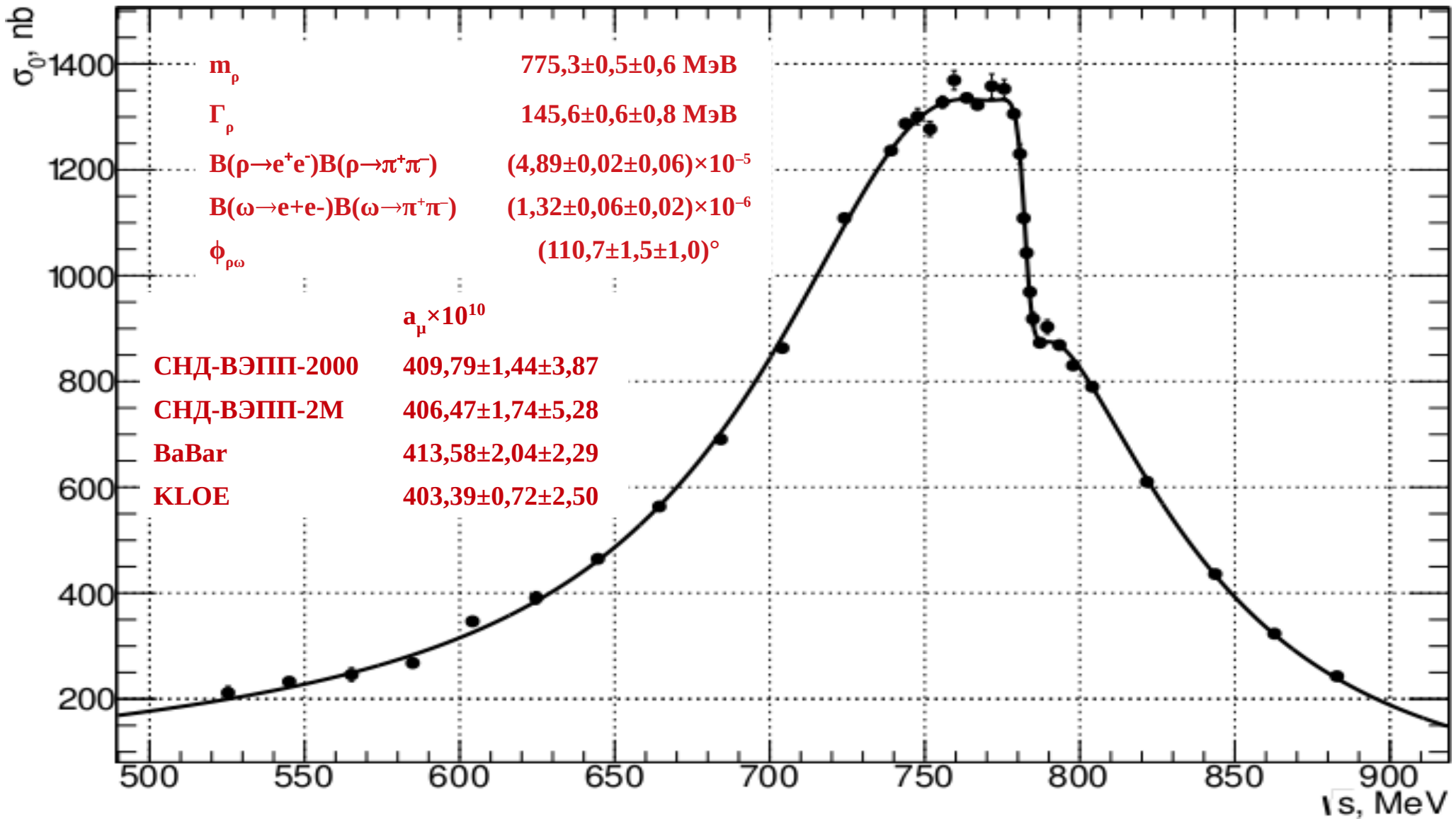
Измерена величина:  $Br(f_1 \rightarrow e^+e^-) = (5,1^{+3,7}_{-2,7}) \times 10^{-9}$ . Значимость  $2,5\sigma$ .

Опубликовано в *Phys. Lett. B800 (2020) 135074*.





# Процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ .

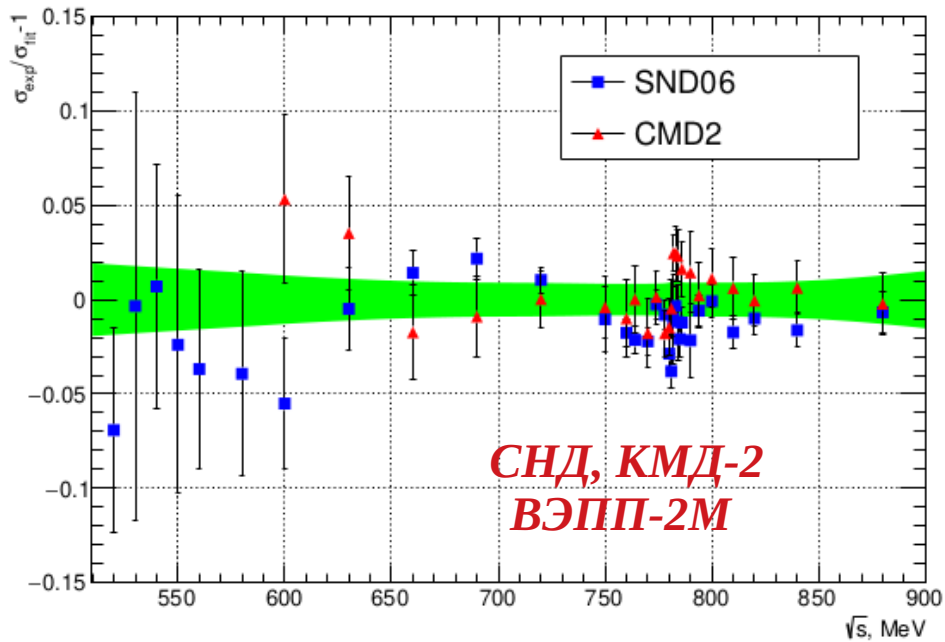
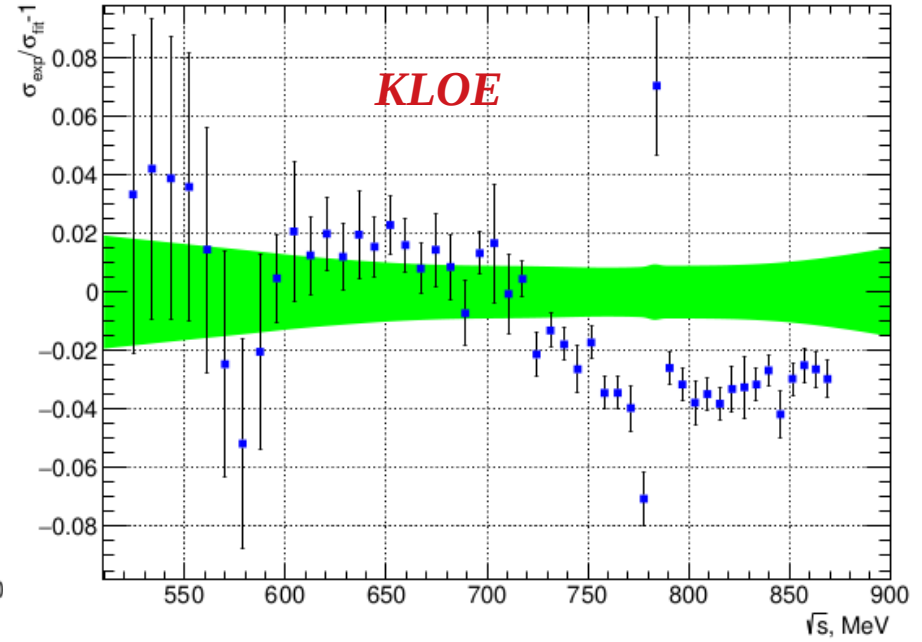
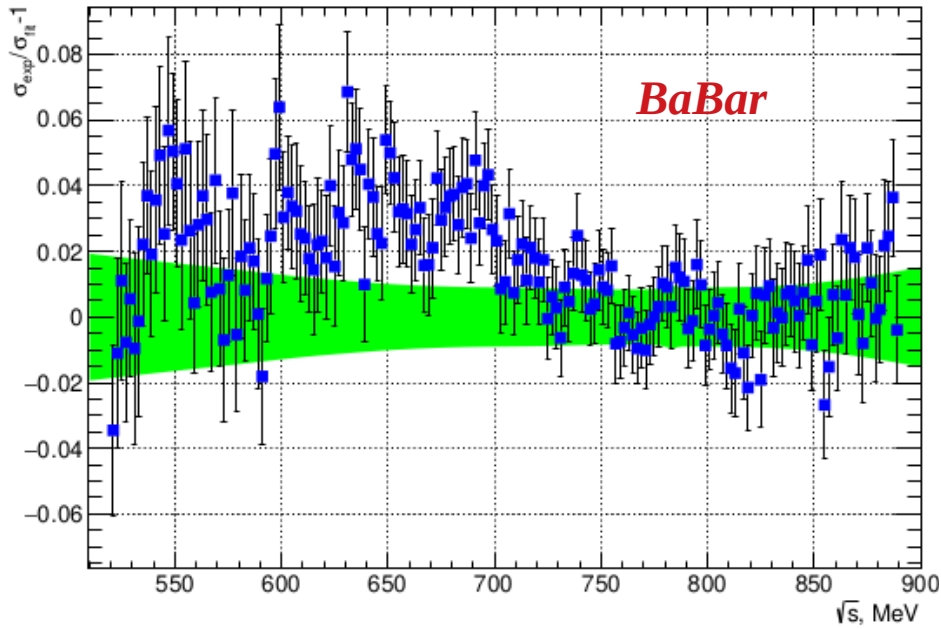


Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  измерено в области энергии  $\sqrt{s} < 1$  ГэВ,  $I_L \approx 5 \text{ нб}^{-1}$ , систематическая ошибка – **0,8 %**. Результаты согласуются с измерениями КМД-2 и СНД на ВЭПП-2М.

Опубликовано *JHEP* 2101 (2021) 113



# Процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ .

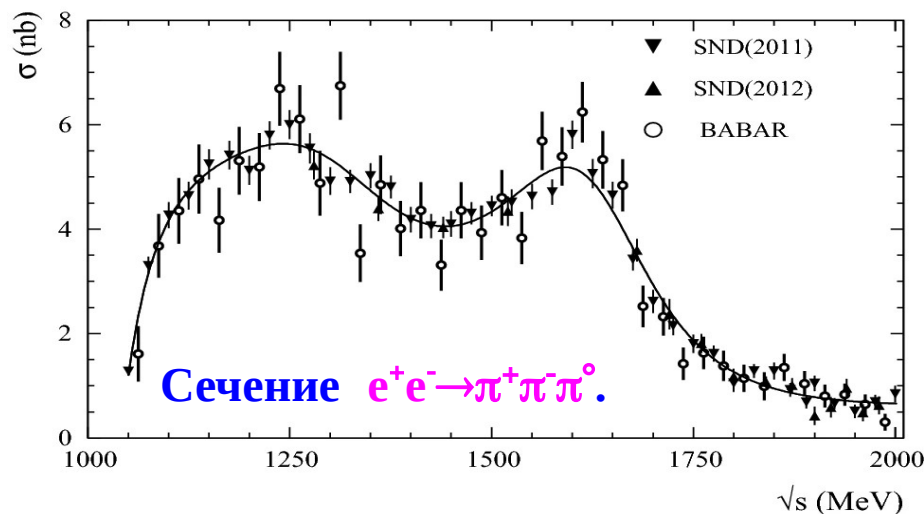


Относительное различие измерения сечения  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  СНД на ВЭПП-2000 с измерениями BaBar, KLOE, СНД и КМД-2 на ВЭПП-2М.

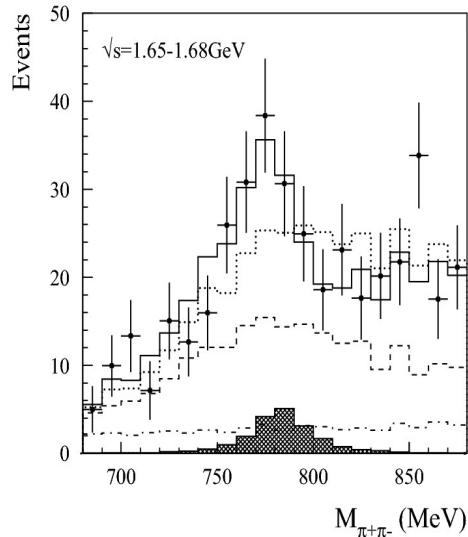
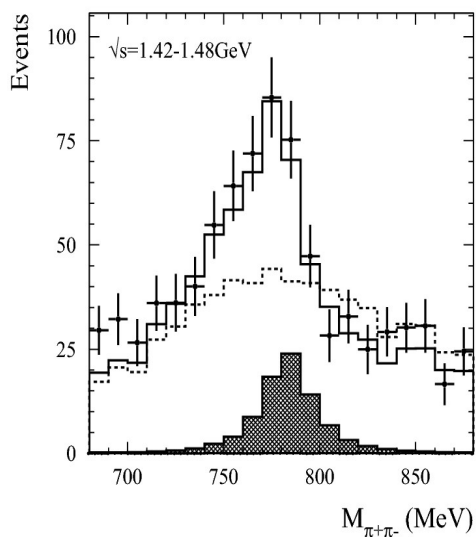


# Процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ в области энергии $\sqrt{s} > 1$ ГэВ.

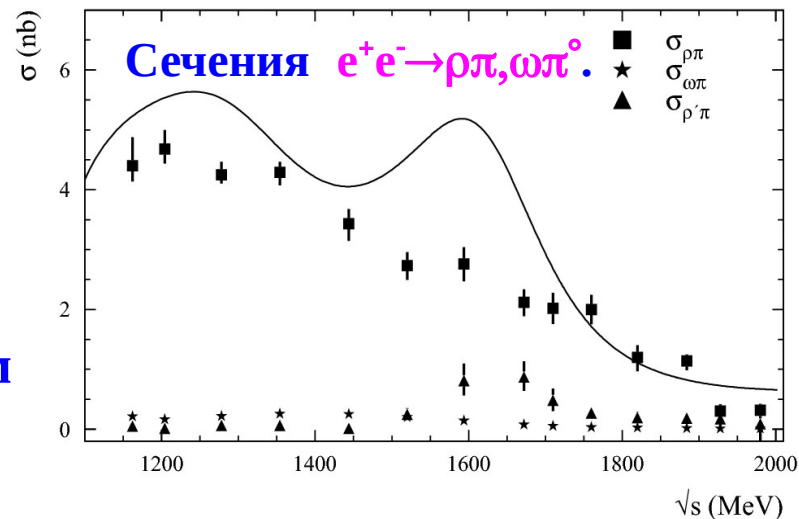
Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  измерено в области энергии  $\sqrt{s} = 1,05-2$  ГэВ,  $\mathcal{I}L = 34 \text{ пб}^{-1}$ , систематическая ошибка – 4,4%. Основной вклад  $\omega(1420)$  и  $\omega(1650)$ .



Динамика  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  была изучена в области энергии  $\sqrt{s} > 1,15$  ГэВ,  $\mathcal{I}L = 28 \text{ пб}^{-1}$  посредством анализа распределений по импульсам и инвариантной массе заряженных пионов. Рассмотрены промежуточные состояния:  $e^+e^- \rightarrow \rho(770)\pi$ ,  $\rho(1450)\pi$ ,  $\omega\pi^0$  ( $\rho\pi$ :  $\rho^+\pi^-$ ,  $\rho^-\pi^+$ ,  $\rho^0\pi^0$ ).



Определены сечения  $e^+e^- \rightarrow \rho(770)\pi$ ,  $\rho(1450)\pi$ ,  $\omega\pi^0$ . В распаде  $\omega(1420) \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  доминирует механизм  $\omega(1420) \rightarrow \rho(770)\pi$ , неожиданно обнаружено, что в распаде  $\omega(1650) \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  существенную роль играет механизм  $\omega(1650) \rightarrow \rho(1450)\pi$ .

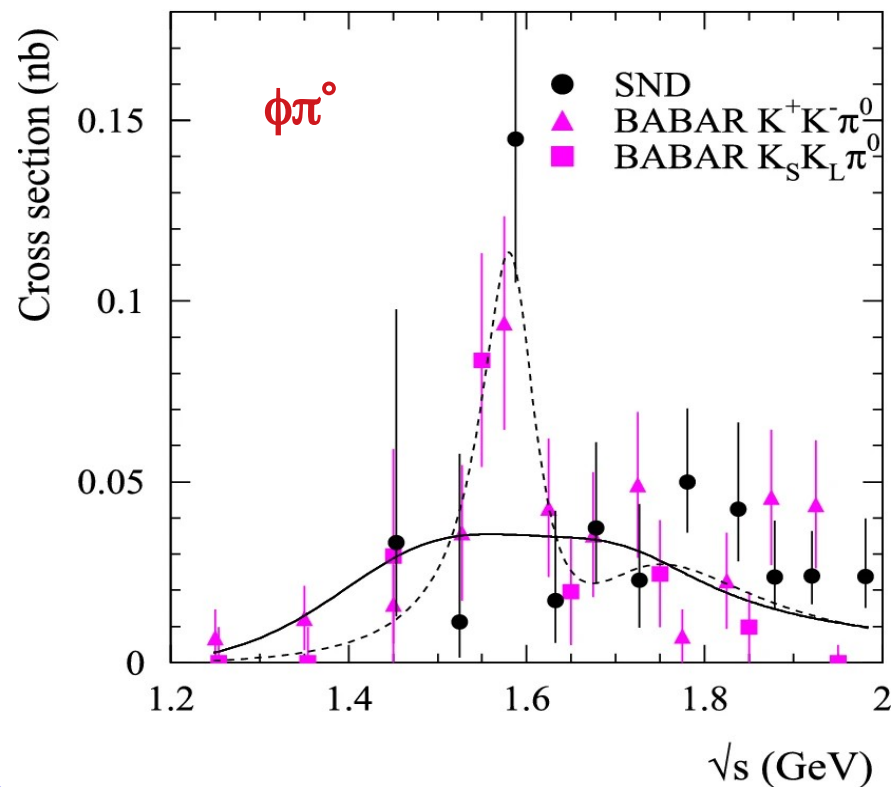
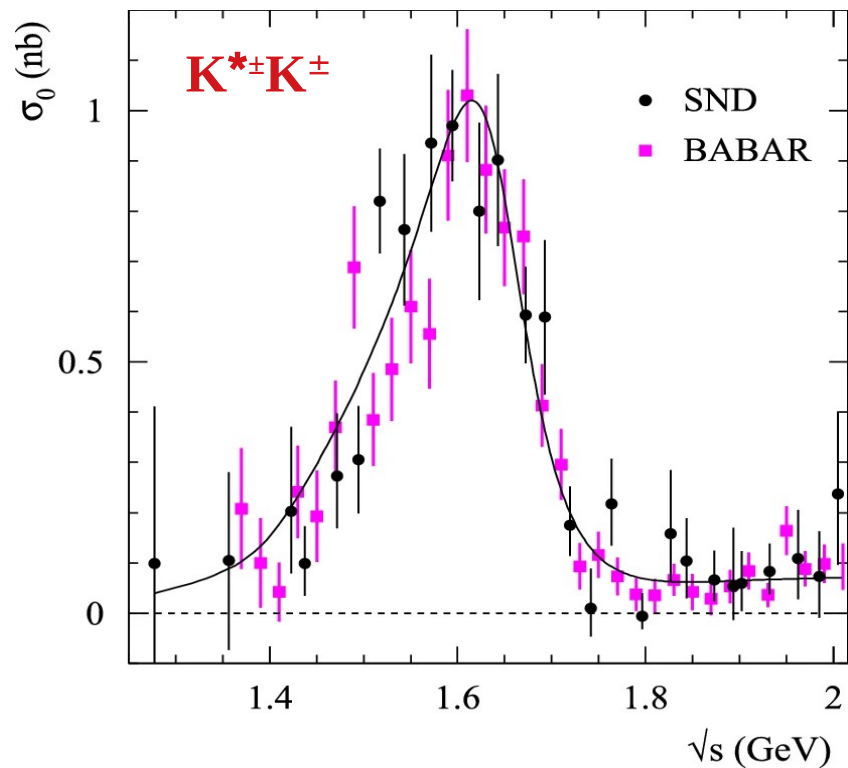


Опубликовано *Eur.Phys.J. C80 (2020) no.10, 993.*



# Процесс $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0$ .

Процесс  $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0$  изучен в области энергии  $\sqrt{s} = 1,27-2$  ГэВ,  $IL = 26 \text{ пб}^{-1}$ .  
Отдельно измерены сечения  $e^+e^- \rightarrow K^{*\pm}K^\pm \rightarrow K^+K^-\pi^0$  и  $e^+e^- \rightarrow \phi\pi^0 \rightarrow K^+K^-\pi^0$ .



В сечение  $e^+e^- \rightarrow K^{*\pm}K^\pm \rightarrow K^+K^-\pi^0$  основной вклад даёт резонанс  $\phi(1680)$ .  
Подгонка сечения  $e^+e^- \rightarrow \phi\pi^0 \rightarrow K^+K^-\pi^0$  (совместно с данными *BaBar*) с учётом вкладов  $\rho(1450)$  и  $\rho(1700)$  резонансов не описывает точки в области  $\sqrt{s} = 1,58$  ГэВ.  
Лучшее описание даёт модель с двумя резонансами  $\rho(1700)$  и неизвестным резонансом с  $m = 1585 \pm 15$  МэВ и  $\Gamma = 75 \pm 30$  МэВ. Достоверность неизвестного резонанса  $3\sigma$ .

Опубликовано *Eur.Phys.J. C80 (2020) no.12, 1139*.



# Процесс $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^0\gamma$ в области энергии $\sqrt{s} > 1$ ГэВ.

Процесс  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^0\gamma$  изучен в области энергии  $\sqrt{s} = 1,05-2$  ГэВ,  $IL=95\text{пб}^{-1}$ .

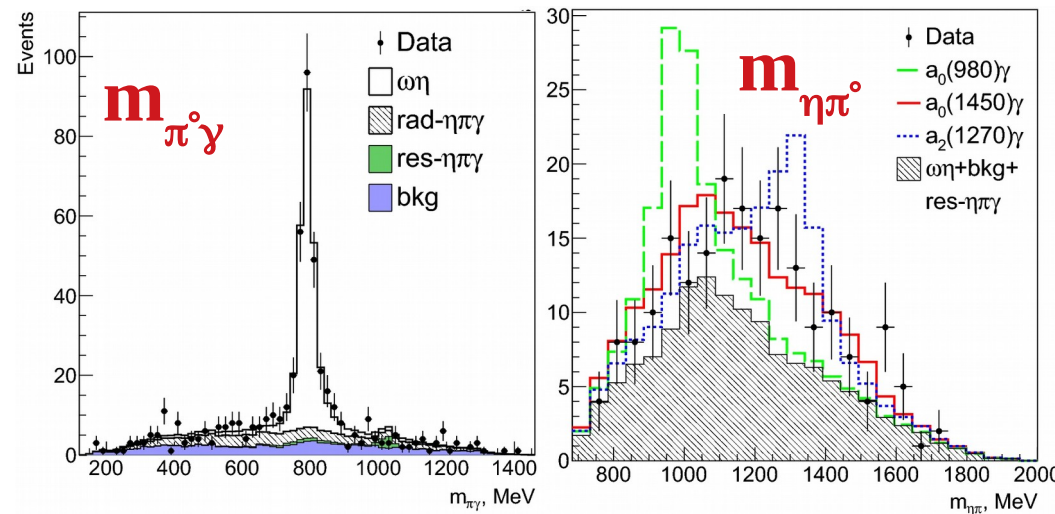
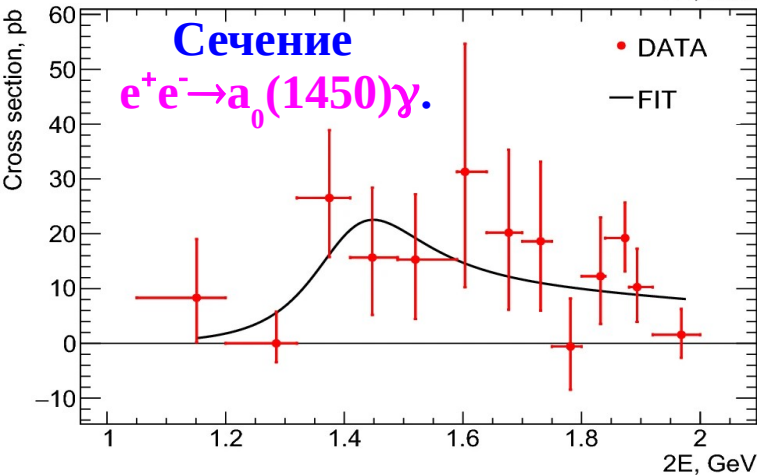
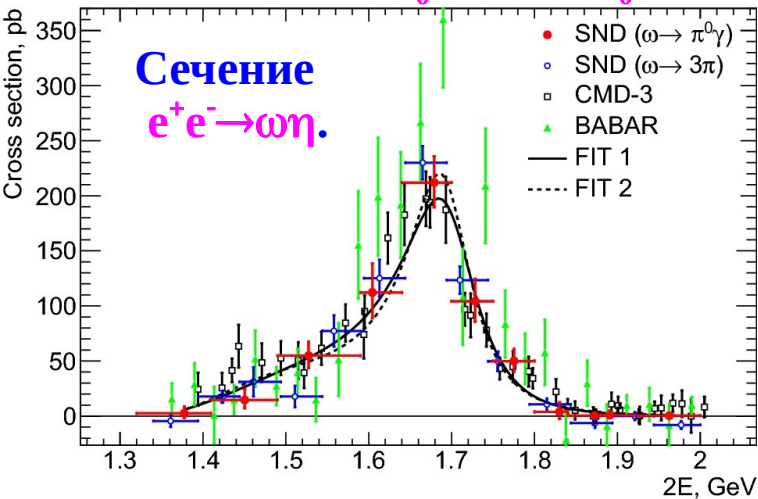
В  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^0\gamma$  дают вклад реакции:

$e^+e^- \rightarrow \omega\eta$  (основной),

$e^+e^- \rightarrow \phi\eta, \rho\eta, \phi\pi^0, \omega\pi^0$  (небольшой),

Возможен вклад радиационных распадов

$e^+e^- \rightarrow V', V'' \rightarrow a_0(980)\gamma, a_0(1450)\gamma, a_2(1320)\gamma$ .



Для описания сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow \omega\eta \rightarrow \eta\pi^0\gamma$  необходимо учесть резонансы  $\omega(1420)$  и  $V''(1680)$ .  
 Процесс  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^0\gamma$  не описывается только реакциями типа  $e^+e^- \rightarrow VP$  с достоверностью  $5,6\sigma$ .  
 Обнаружен радиационный процесс  $e^+e^- \rightarrow a_0(1450)\gamma$ .  
**Опубликовано *Eur.Phys.J. C80 (2020) no.11, 1008.***



# Процесс $e^+e^- \rightarrow \eta' \gamma$ в области энергии $\sqrt{s} > 1$ ГэВ.

Процесс  $e^+e^- \rightarrow \eta' \gamma$  изучен в области энергии  $\sqrt{s} = 1,15 - 2,05$  ГэВ,  $\mathcal{L} = 87 \text{ пб}^{-1}$ .

Рассмотрены два типа событий:

$e^+e^- \rightarrow \eta' \gamma \rightarrow \eta \pi^0 \pi^0 \gamma \rightarrow \gamma \pi^0 \pi^0 \gamma \rightarrow 7\gamma$  и  $e^+e^- \rightarrow \eta' \gamma \rightarrow \eta \pi^0 \pi^0 \gamma \rightarrow 5\pi^0 \gamma \rightarrow 11\gamma$ .

Распределения по массе фотона отдачи для обоих типов событий согласуются с ожидаемым фоном.

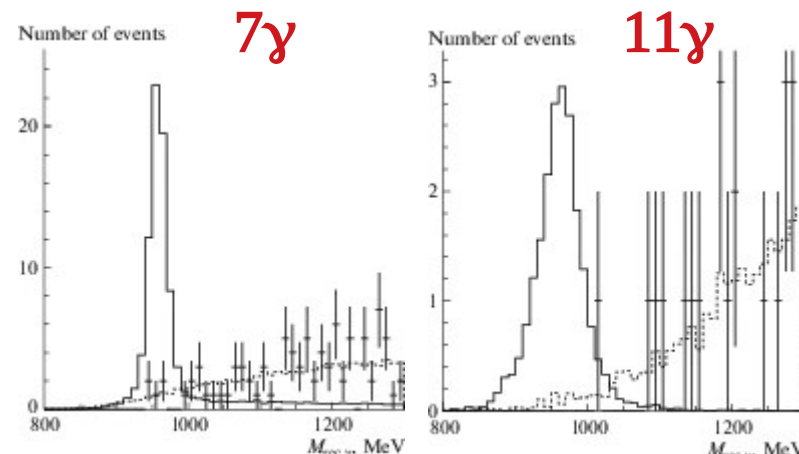
Установлены верхние пределы  $\sigma_{\text{экс}}$  на сечение

$e^+e^- \rightarrow \eta' \gamma$ .

Ожидаемое сечение  $e^+e^- \rightarrow \eta' \gamma$   $\sigma_{\text{теор}}$  рассчитано с

использованием сечения  $e^+e^- \rightarrow \eta \gamma$ , ранее

измеренного СНД [*Phys. Rev. D*90. 0322002(2014)].



Распределения по массе фотона отдачи.

$\sqrt{s}$ , МэВ	$N_{\text{экс}}$	$N_{\text{фон}}$	$\epsilon$ , %	$\sigma_{\text{экс}}$ , пб	$\sigma_{\text{теор}}$ , пб
1150 – 1390	1	$0,5 \pm 0,2$	0,75	<28	15
1390 – 1690	0	$2,2 \pm 1,1$	0,96	<12	30
1690 – 2000	6	$6,9 \pm 0,8$	0,60	<12	10

Опубликовано ЯФ Т.83, №5 (2020) 427-432.





# Заключение.

- В 2020 г СНД набрал **50 пб<sup>-1</sup>** в области энергии выше **1 ГэВ**.
- Продолжается поэтапная модернизация электроники и системы сбора данных.
- Продолжается обработка данных, набранных в 2010–2019 гг.
- Опубликовано 6 статей, сделано 4 доклада на международных конференциях.
- Грантов РФФИ – 5.