



ДЕТЕКТОР СНД состояние и планы

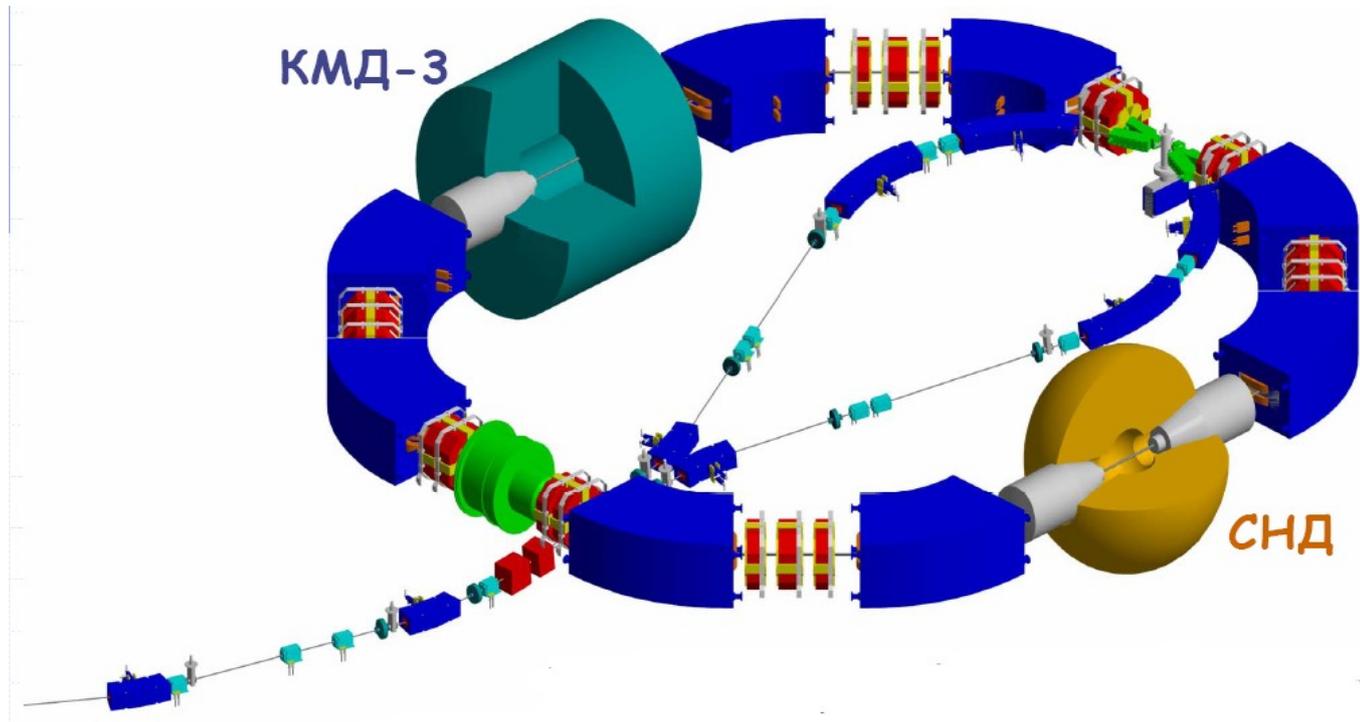
(лаб. 3-1, 3-2, 3-12)

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⁻¹/год.**

Скорость набора данных в 2018 г: **90 пб⁻¹/год.**

Скорость набора данных в 2019 г: **70 пб⁻¹/год.**

Скорость набора данных в 2020 г: **50 пб⁻¹/год.**

Эксперимент длился 2 месяца. Могли набрать **130 пб⁻¹/год?**

Предельная ожидаемая, возможная скорость: 1000 пб⁻¹/год.

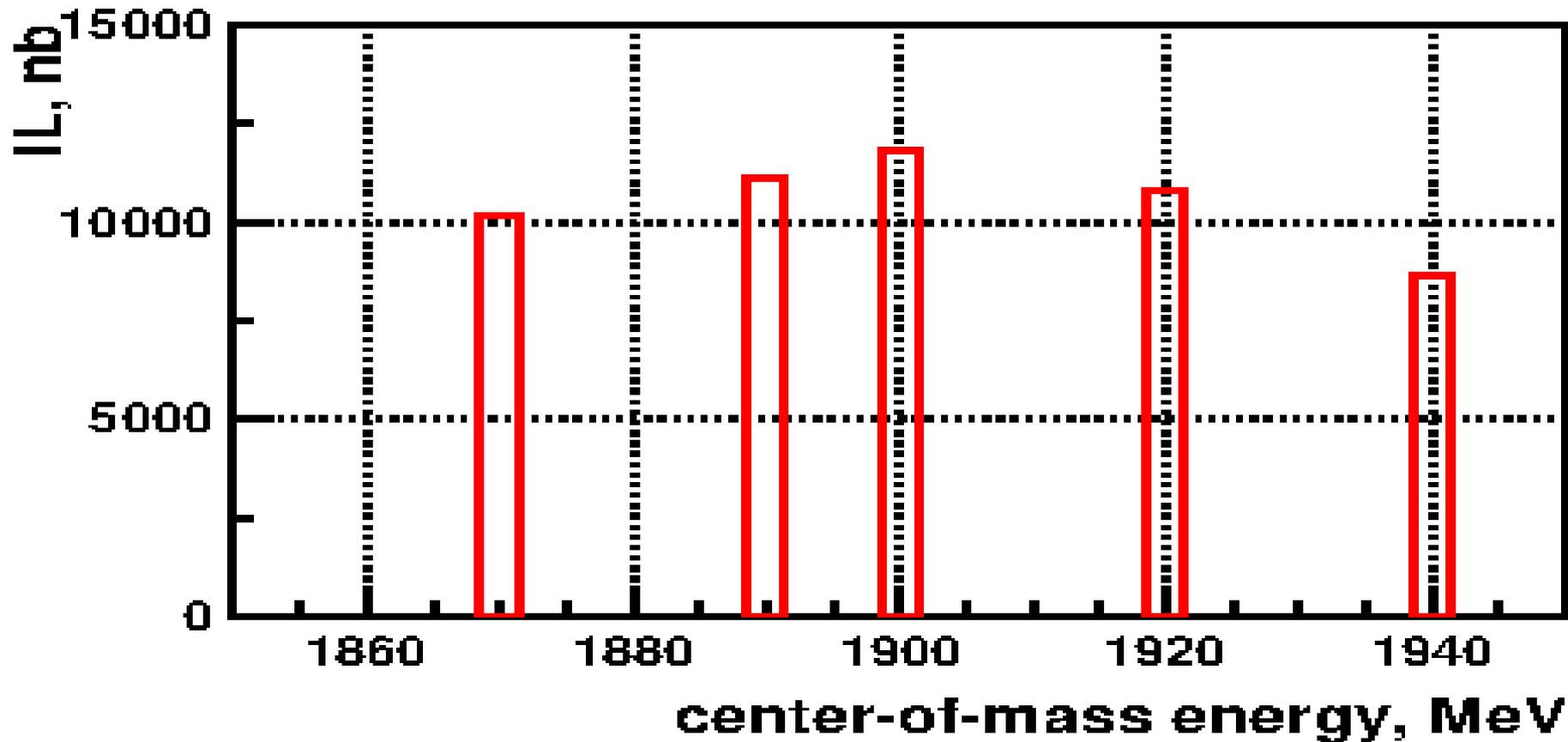
Развитие электроники и системы сбора данных СНД.

Анализ данных 2010 – 2019 гг: **280 пб⁻¹.**



Эксперимент СНД в 2020 году.

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



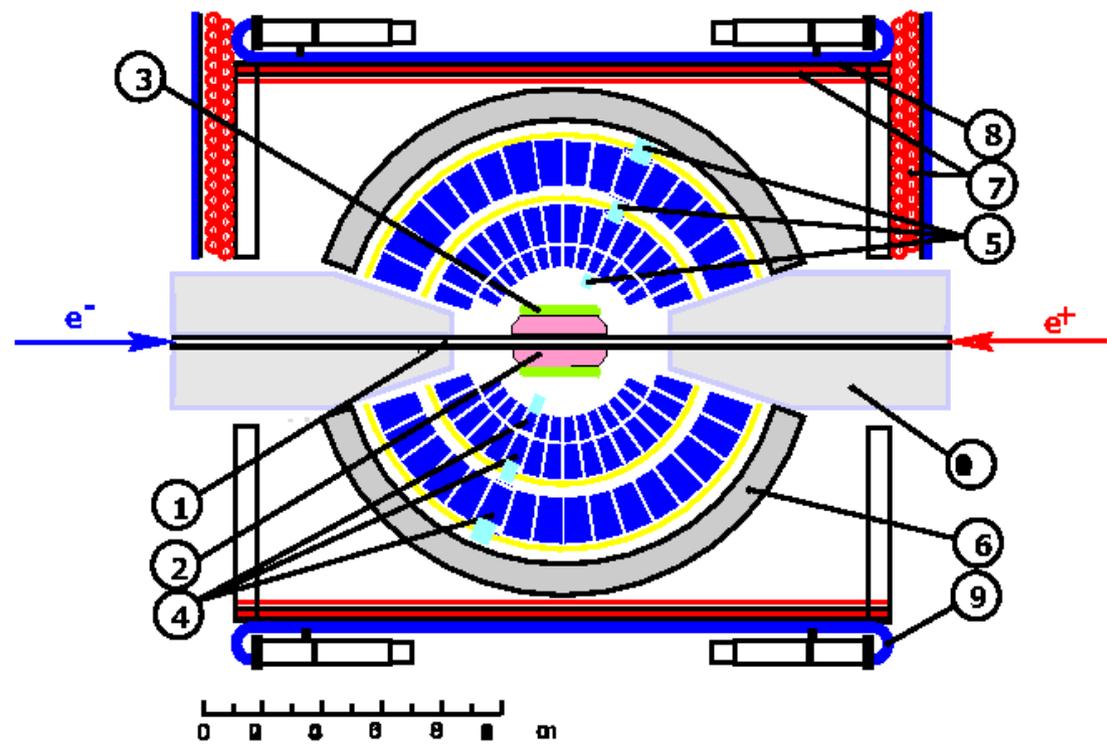
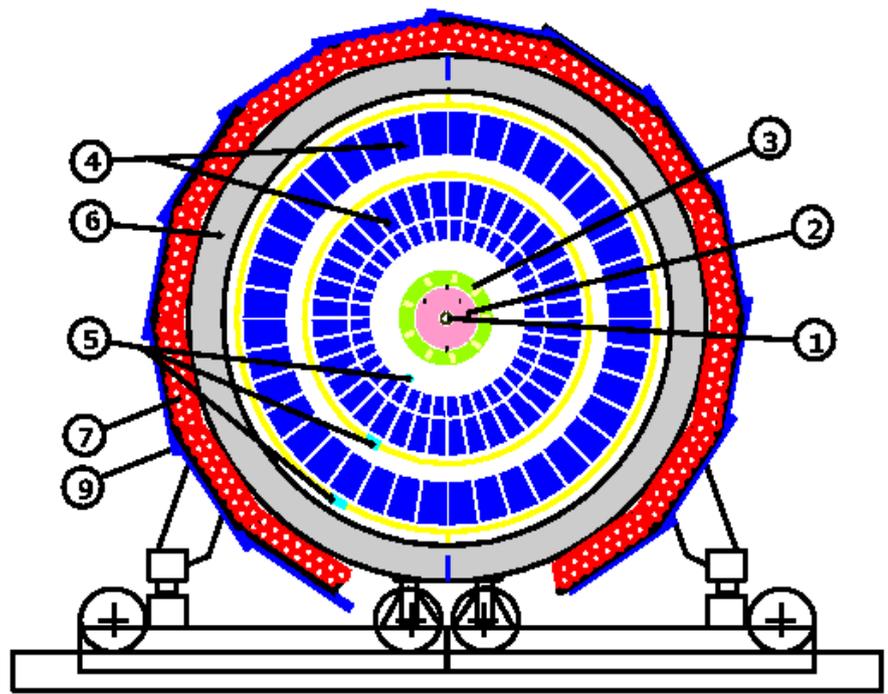
Распределение интегральной светимости по энергии в системе центра масс.

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 ≈ 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



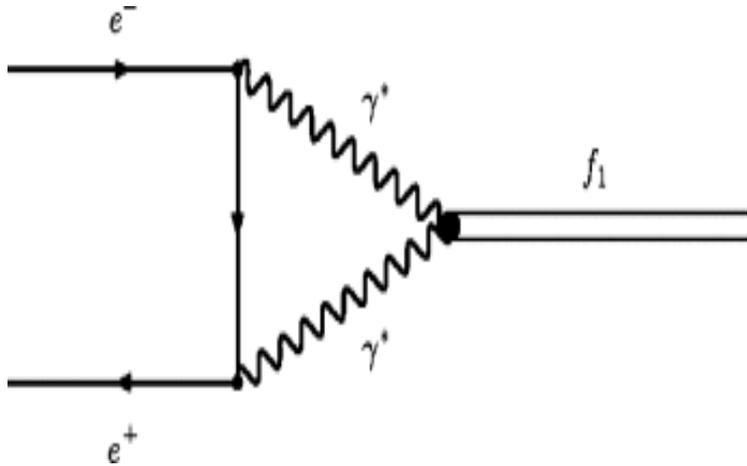
Анализ данных СНД.

Физическая программа эксперимента:

- Измерение сечений процессов $e^+e^- \rightarrow \text{адроны}$.
Измерение сечений и электромагнитных формфакторов, исследование динамики многоадронных процессов.
- Изучение векторных мезонов ρ, ω, ϕ 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⁻¹.

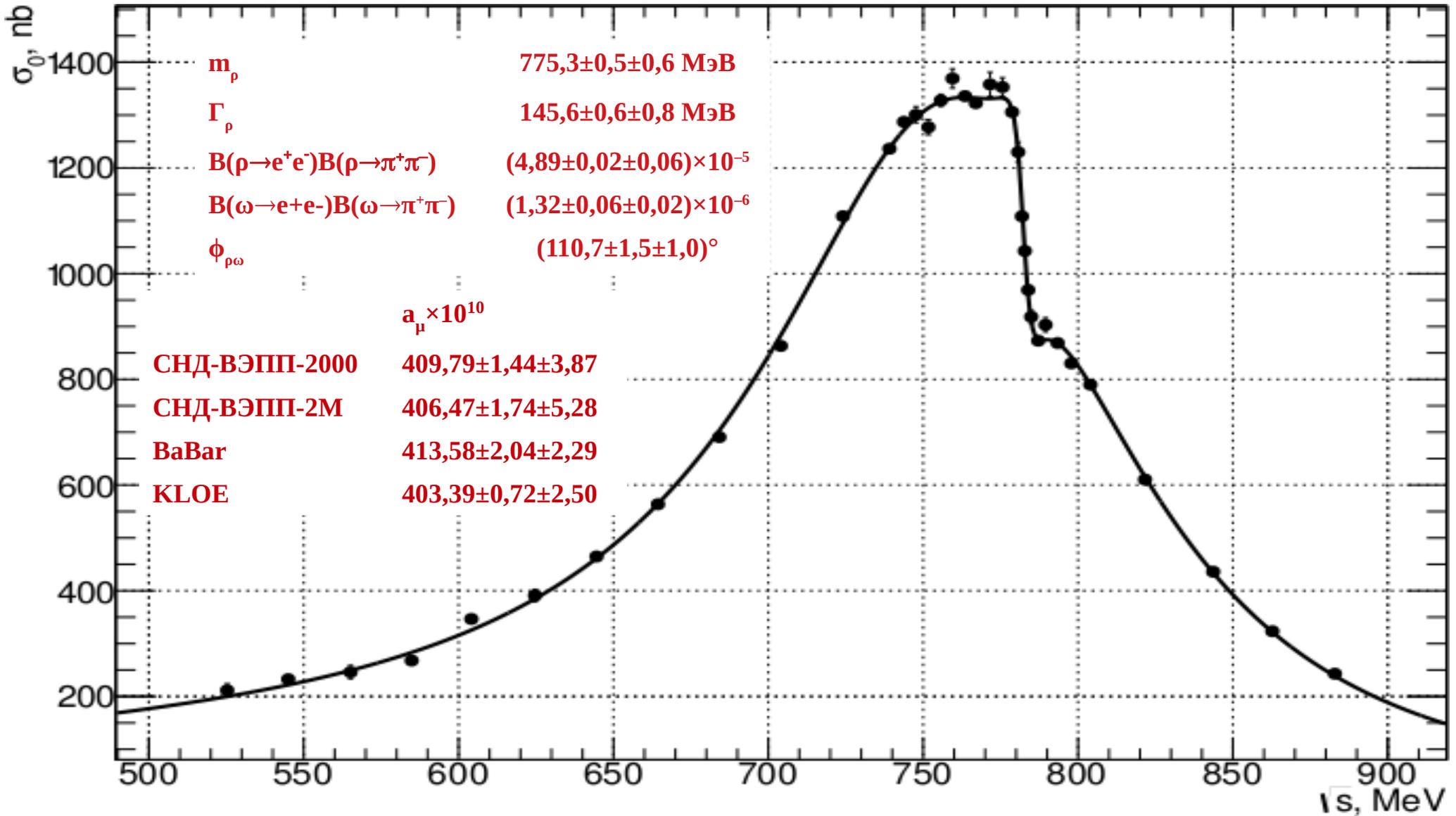
Отбирались события $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^0\pi^0 \rightarrow 6\gamma$. Эффективность отборов 1%. В пике $f_1(1285)$ ($IL = 3,4$ пб⁻¹) отобрано 2 события (ожидаемый фон 0,25 событий), вне пика 0 событий (ожидаемый фон 0,9 событий)

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. B* 800 (2020) 135074.



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

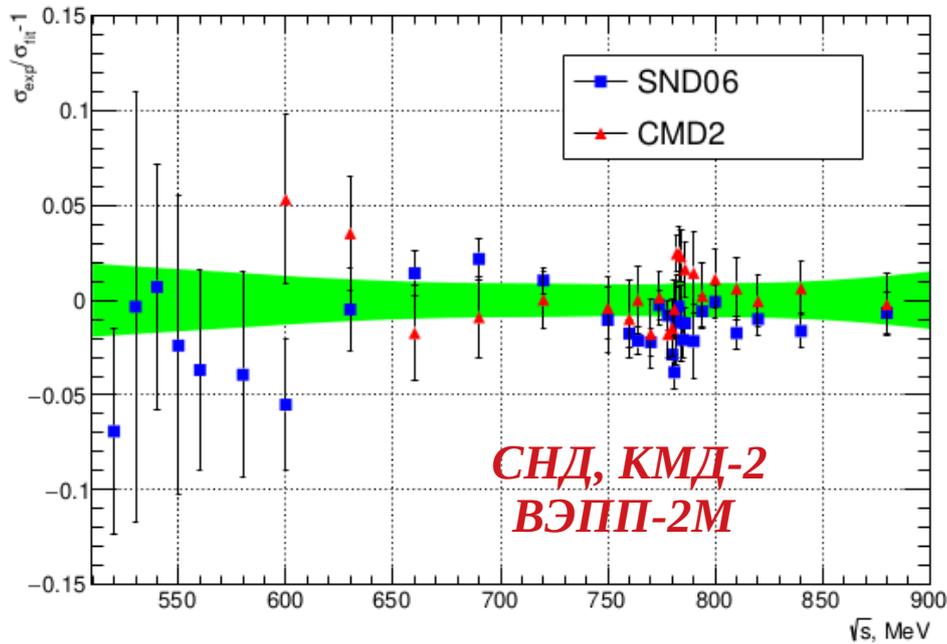
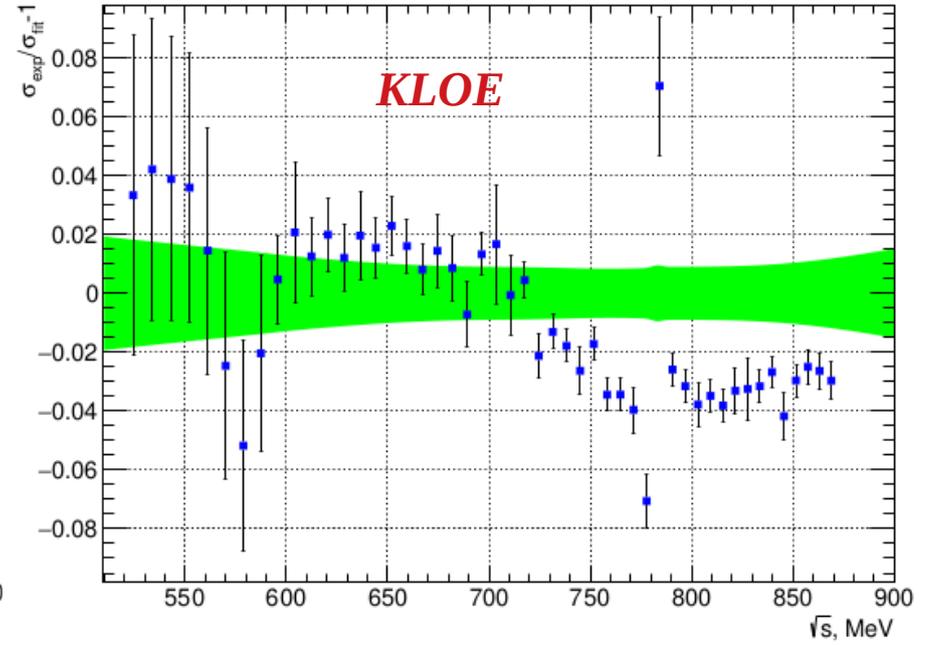
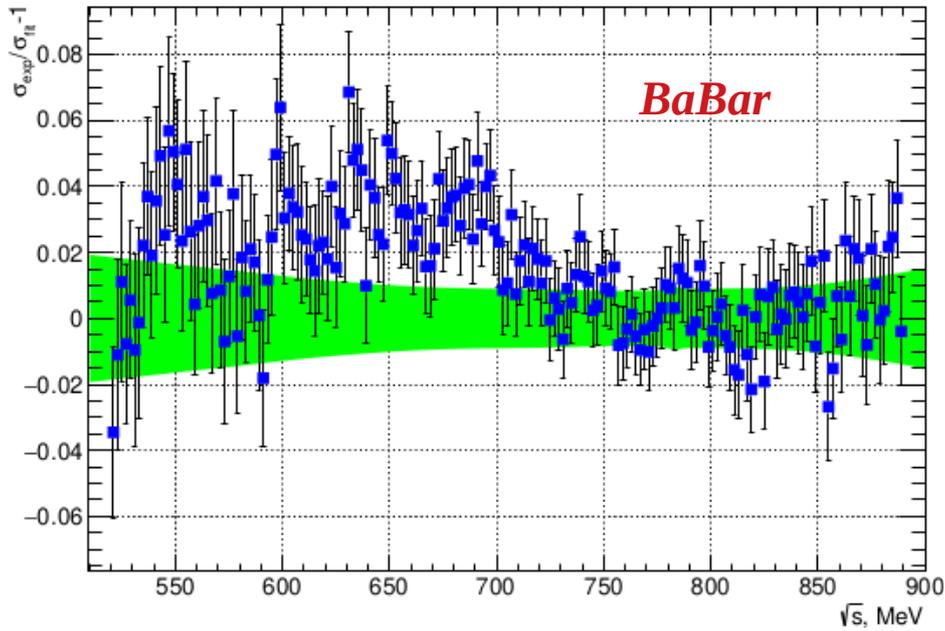


Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ измерено в области энергии $\sqrt{s} < 1$ ГэВ, $\Gamma_L \approx 5 \text{ нб}^{-1}$, систематическая ошибка – **0,8 %**. Результаты согласуются с измерениями КМД-2 и СНД на ВЭПП-2М.

Опубликовано *JHEP* 2101 (2021) 113



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

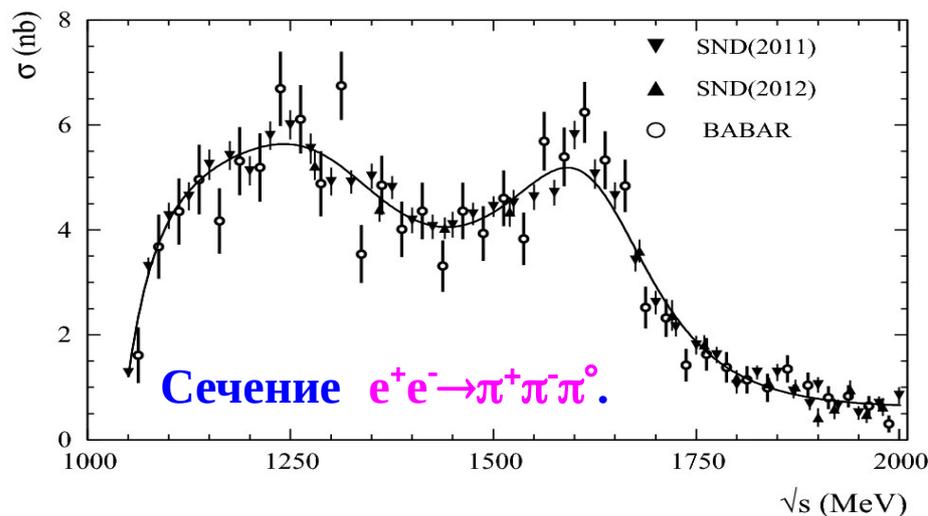


Относительное различие измерения сечения $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ СНД на ВЭПП-2000 с измерениями BaBar, KLOE, СНД и КМД-2 на ВЭПП-2М.

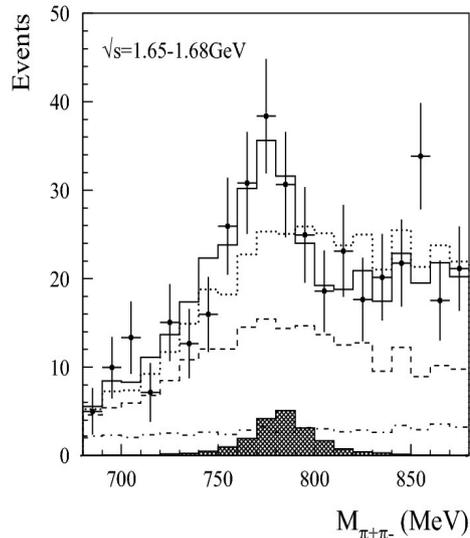
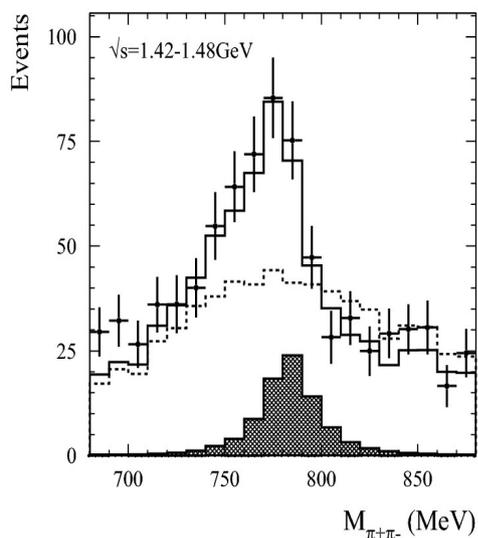


Процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ в области энергии $\sqrt{s} > 1$ ГэВ.

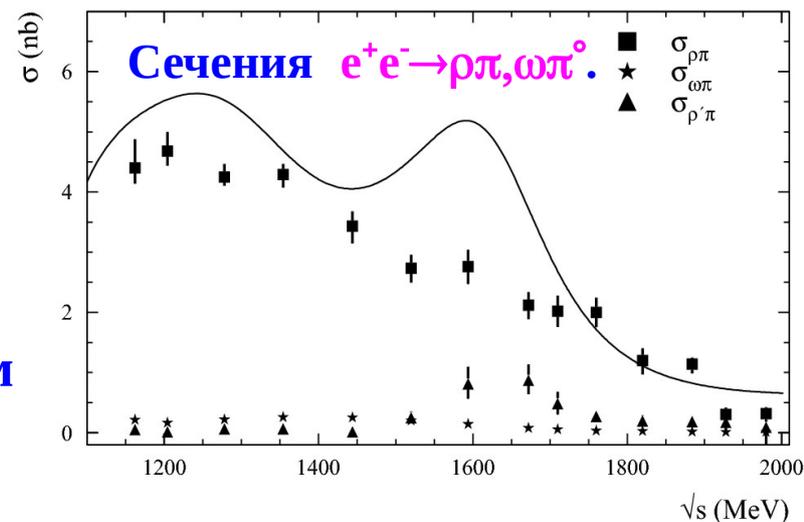
Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ измерено в области энергии $\sqrt{s} = 1,05-2$ ГэВ, $\mathcal{L} = 34 \text{ пб}^{-1}$, систематическая ошибка – 4,4%. Основной вклад $\omega(1420)$ и $\omega(1650)$.



Динамика $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ была изучена в области энергии $\sqrt{s} > 1,15$ ГэВ, $\mathcal{L} = 28 \text{ пб}^{-1}$ 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 $\omega(1650) \rightarrow \rho(1450)\pi$.

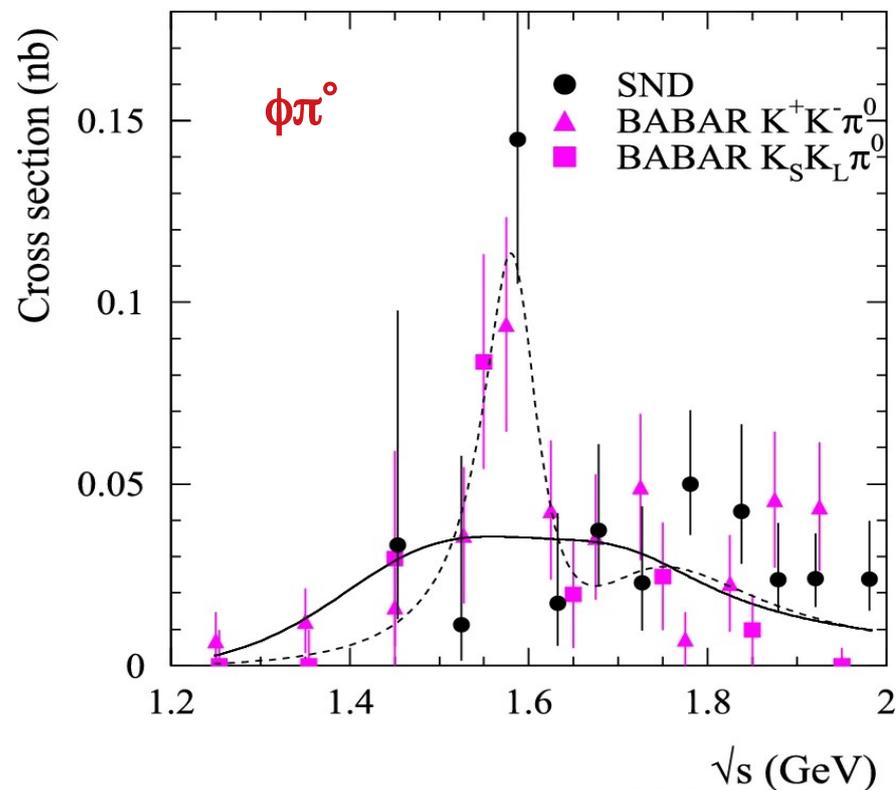
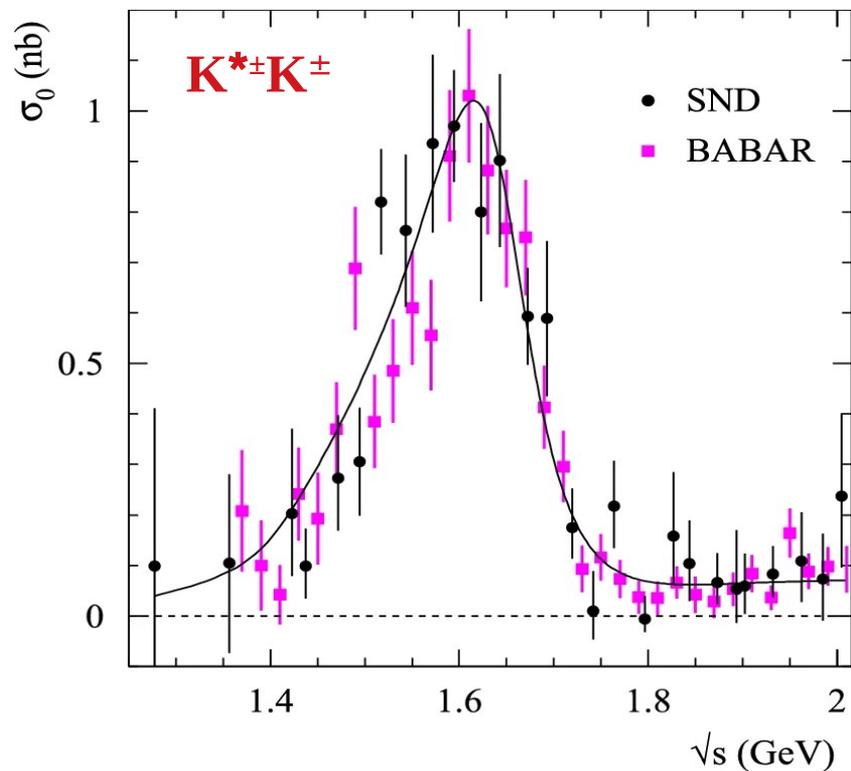


Опубликовано *Eur.Phys.J. C80 (2020) no.10, 993.*



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 3σ .

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, $IL = 95 \text{ пб}^{-1}$.

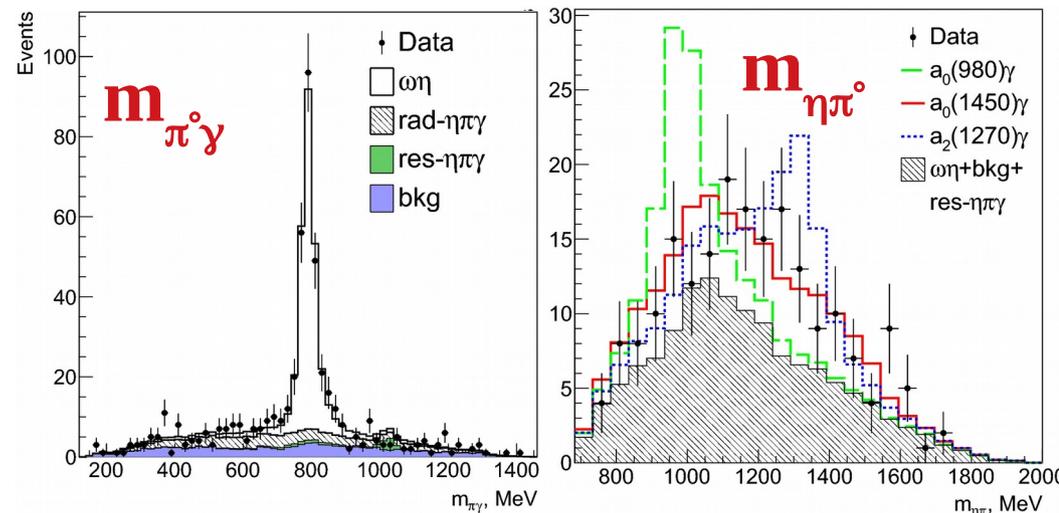
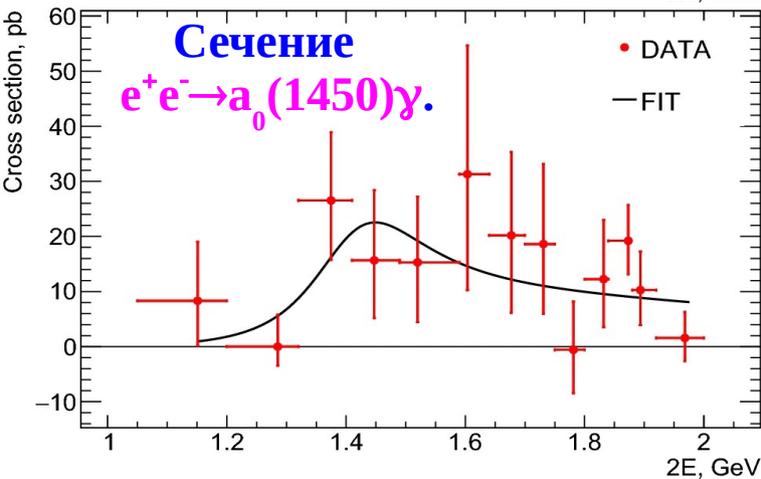
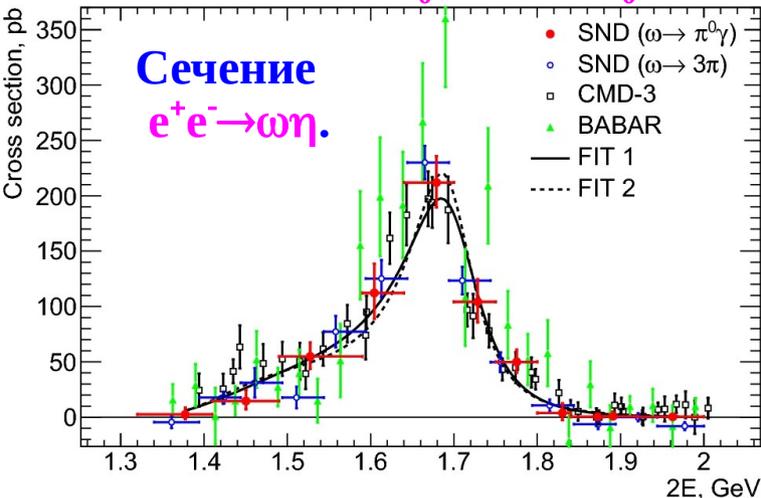
В $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^0\gamma$ дают вклад реакции:

$e^+e^- \rightarrow \omega\eta$ (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, $\mathcal{IL} = 87 \text{ пб}^{-1}$.

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.

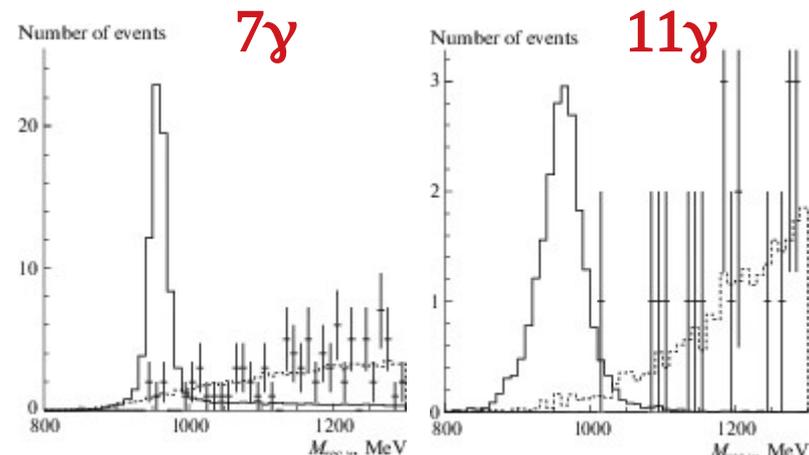
Установлены верхние пределы $\sigma_{\text{экс}}$ на сечение

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

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	$N_{\text{экс}}$	$N_{\text{фон}}$	ϵ , %	$\sigma_{\text{экс}}$, 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⁻¹** 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.