



ДЕТЕКТОР СНД состояние и планы

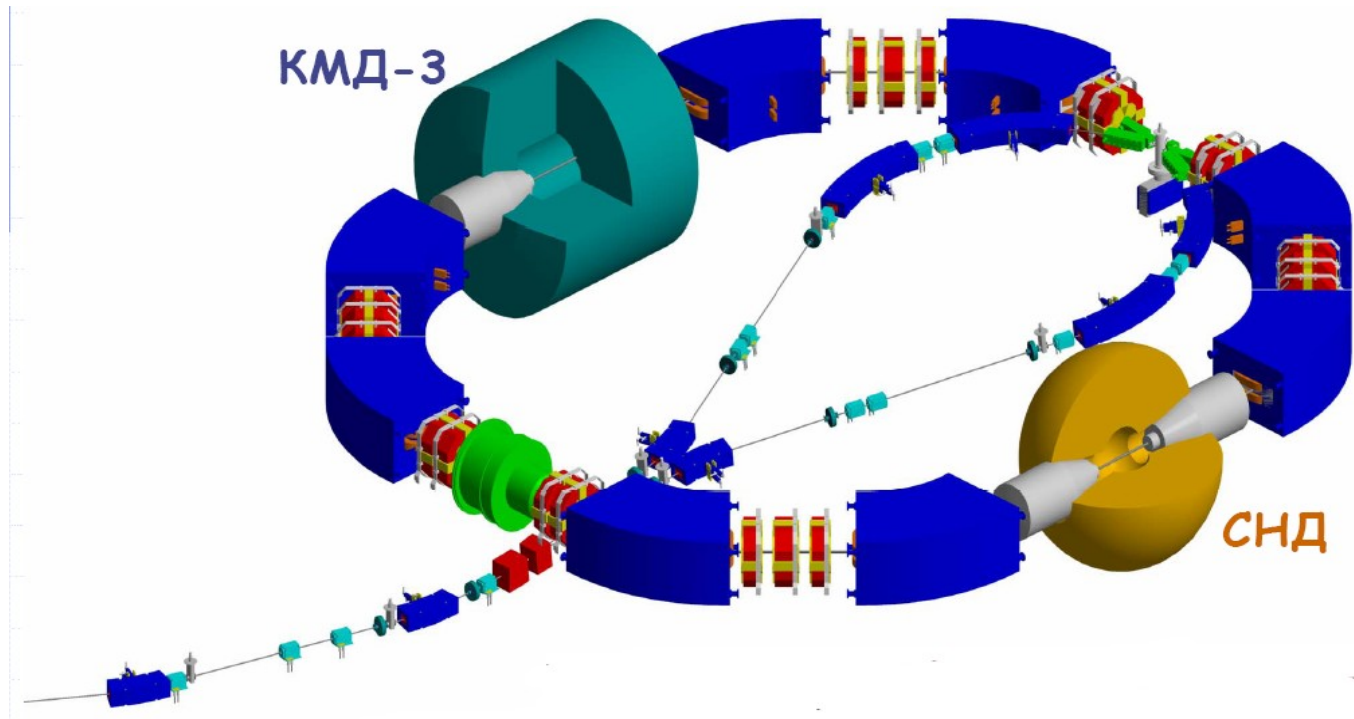
(лаб. 3-1, 3-2, 3-12)

М.Н. Ачасов

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ИЯФ
10 марта 2022 г.



СНД в 2021 г.



2021 г: набор данных в области энергии выше **1 ТэВ** (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.**

Скорость набора данных в 2021 г: **95 пб⁻¹/год.**

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

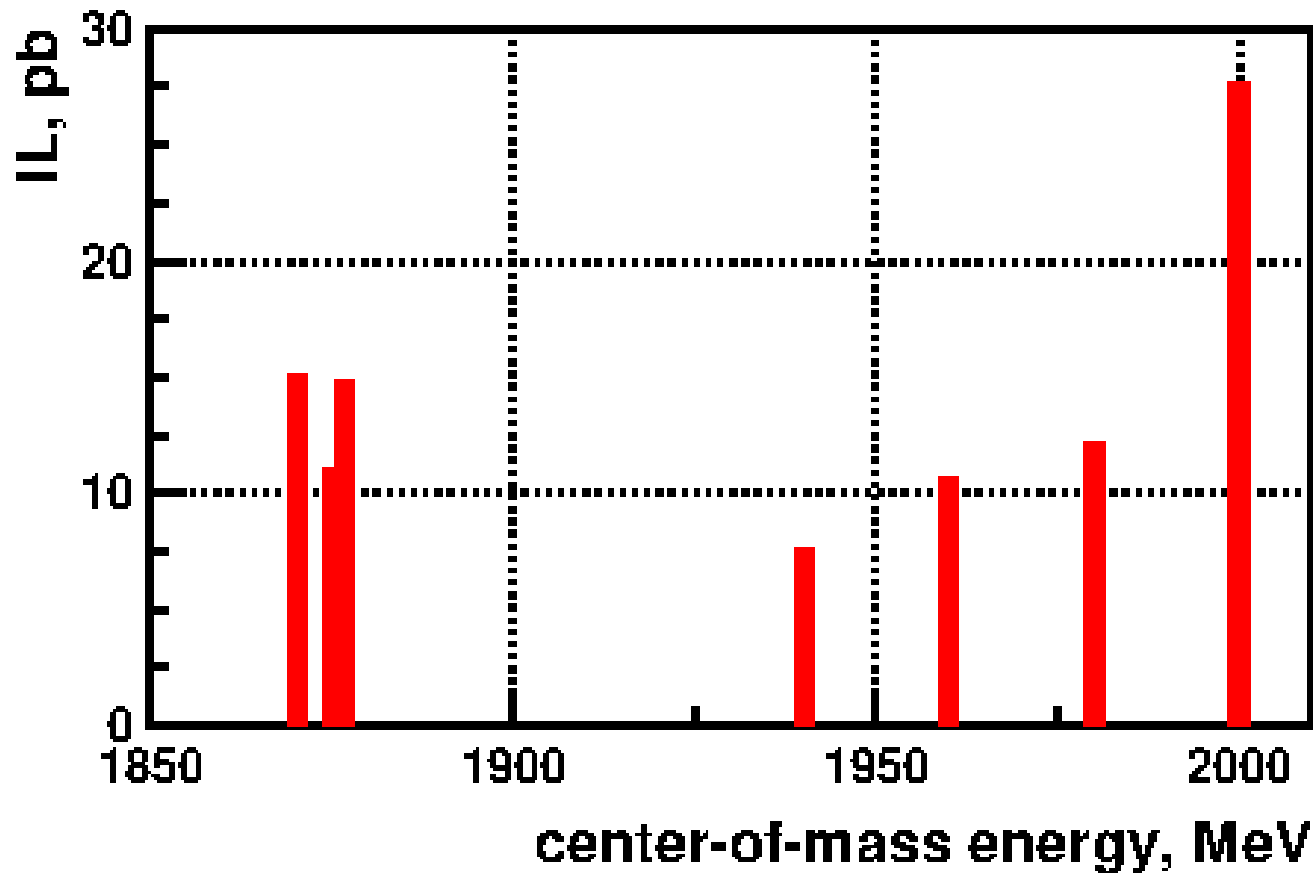
Развитие электроники и системы сбора данных СНД.

Анализ данных 2010 – 2020 гг: **330 пб⁻¹.**



Эксперимент СНД в 2021 году.

В 2021 г. набран $IL=95 \text{ пб}^{-1}$



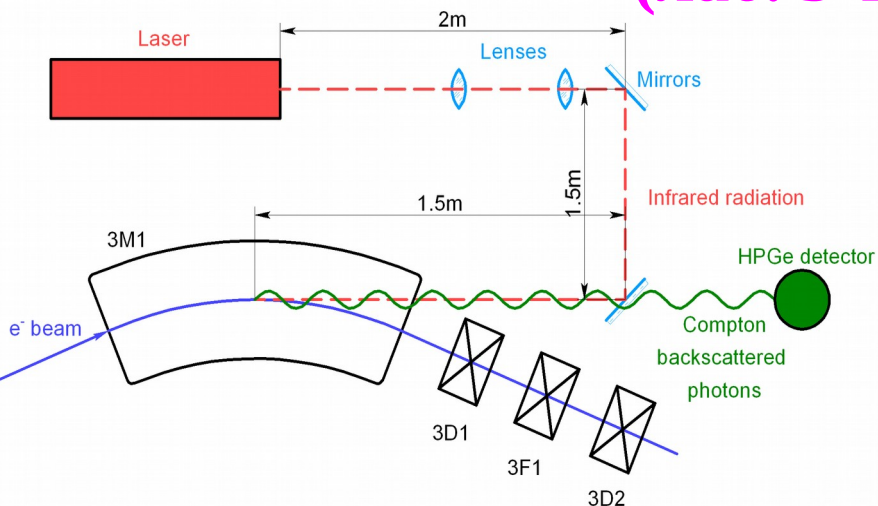
Распределение интегральной светимости по энергии в системе центра масс.

Физические задачи эксперимента 2021 г. :

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



Система измерения энергии ВЭПП-2000 методом обратного комптоновского рассеяния (ОКР). (лаб. 3-1, сек. 1-31)



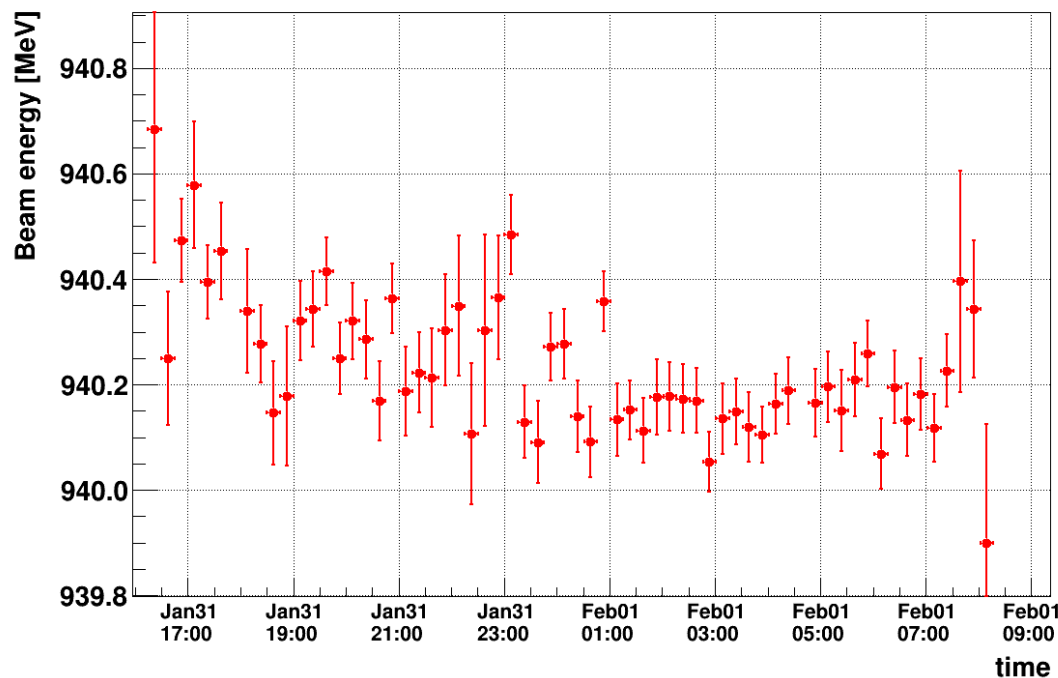
Два источника фотонов:

Уб и **СО** лазеры.

СО для энергии выше **500 МэВ**,

Уб для энергии до **500 МэВ**.

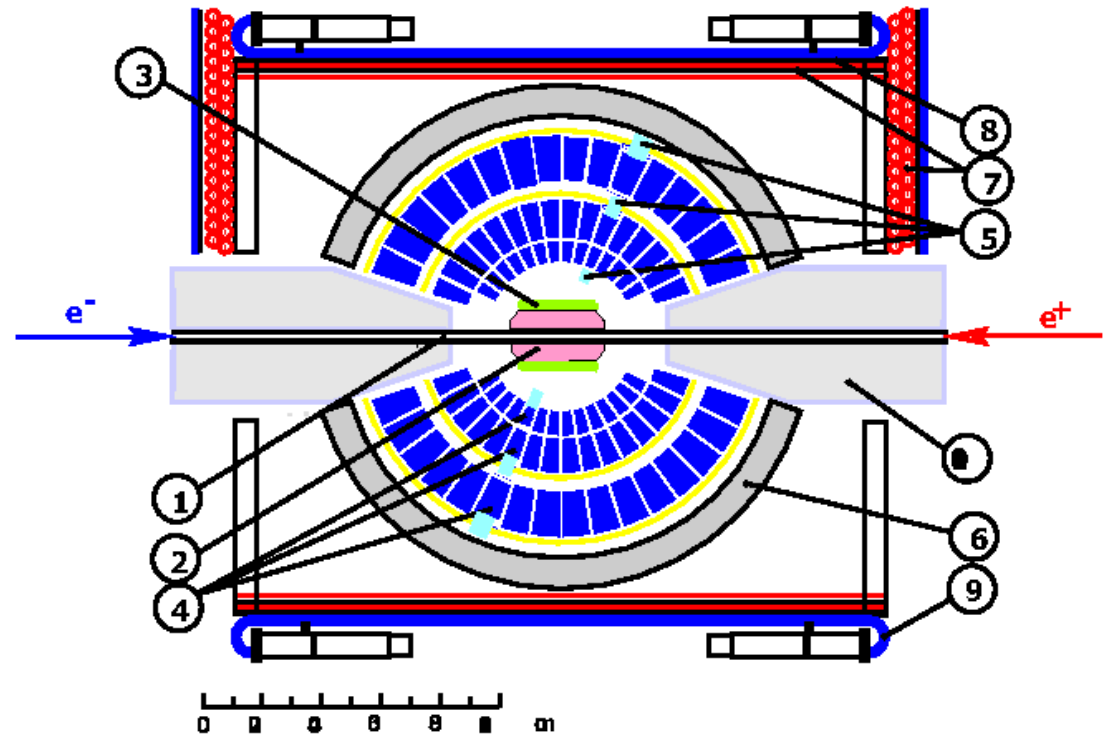
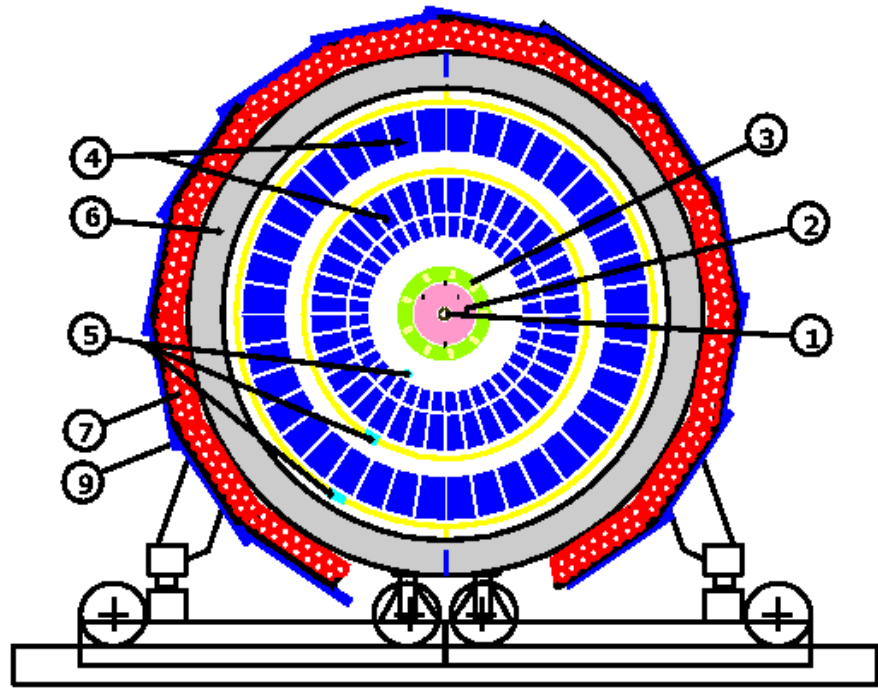
Энергия пучка ВЭПП-2000 измеряется по положению края спектра рассеянных фотонов. Точность измерения **30кэВ**.



Энергия пучка, измеренная во время набора данных.



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.

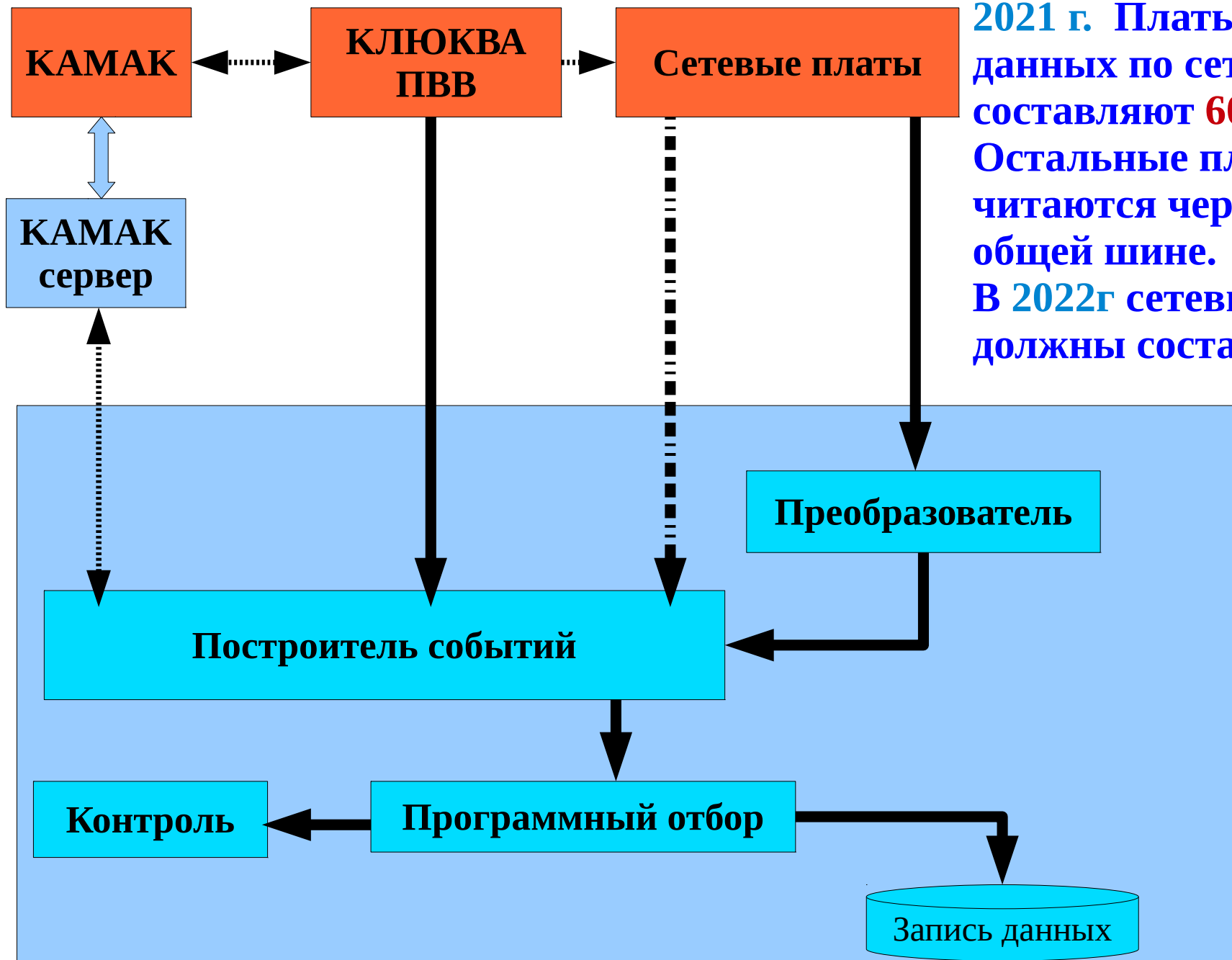
В 2021 году изготовлены платы **T200 (54 шт.)** для оцифровки сигналов с проволочек дрейфовой камеры (период оцифровки ≈ 5 нс) с ПЛИС, со встроенным процессором и передачей данных по сети .

Одна из плат **T200** была включена в ССД СНД, записаны данные с космическими и пучковыми событиями. Начата разработка ПО для обработки сигналов.

Летом 2022 года платы **T200** должны быть подключены к трековой системе детектора.



Система сбора данных СНД.



2021 г. Платы с передачей данных по сети составляют **60%**.
Остальные платы читаются через ПВВ по общей шине.
В 2022г сетевые платы должны составить **100%**.



Анализ данных СНД.

Физическая программа эксперимента:

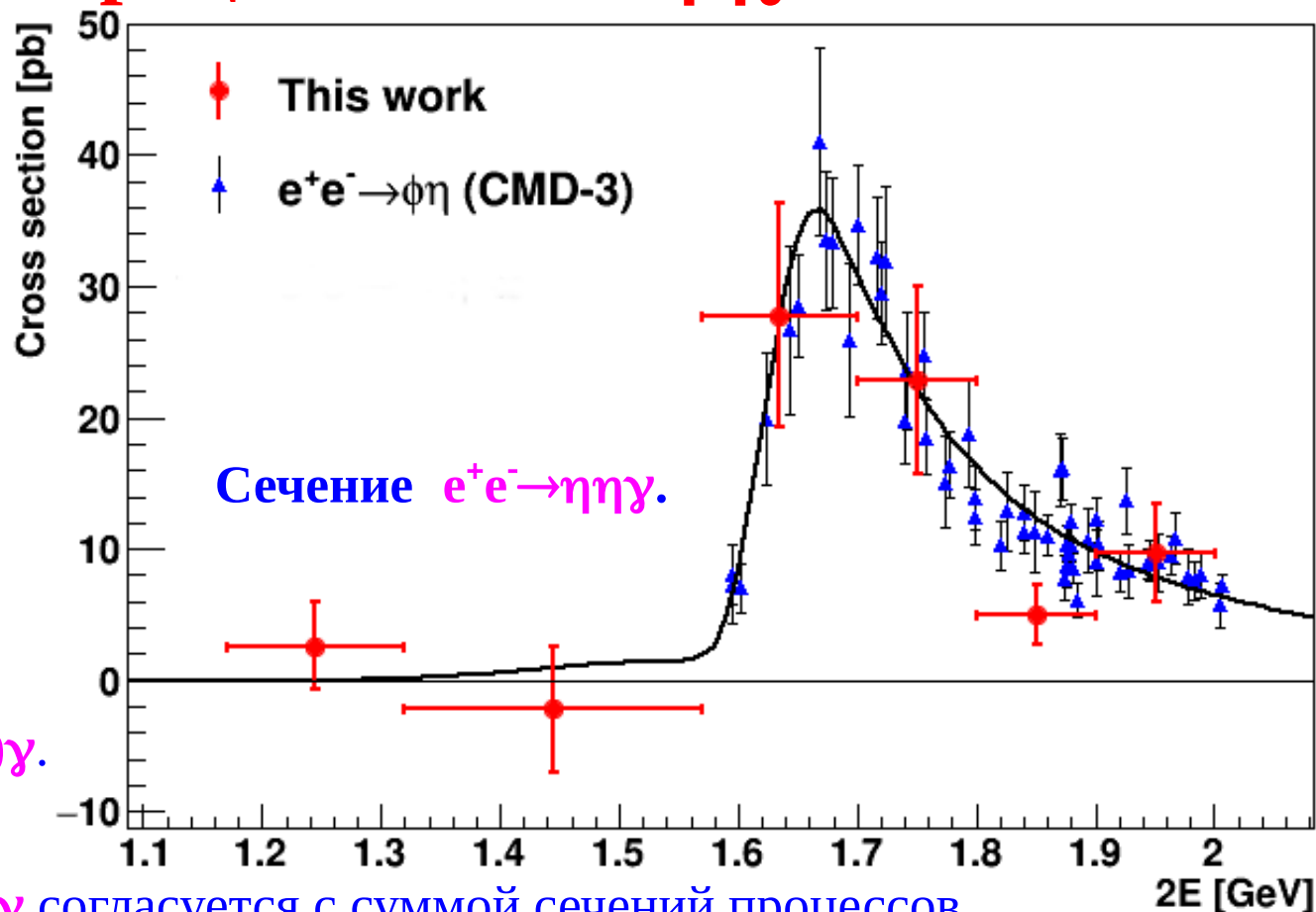
- Измерение сечений процессов $e^+e^- \rightarrow \text{адроны}$.
Измерение сечений и электромагнитных формфакторов, исследование динамики многоадронных процессов.
- Изучение векторных мезонов ρ, ω, ϕ и их возбуждённых состояний $\rho', \rho'', \omega', \omega'', \phi', \dots$
Параметры мезонов определяются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



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

Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\eta\gamma$ измерено в области энергии $\sqrt{s} = 1,17 - 2$ ГэВ, $IL = 200$ пб⁻¹.

В $e^+e^- \rightarrow \eta\eta\gamma$ дают вклад реакции:
 $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ (основной),
 $e^+e^- \rightarrow \omega\eta, \rho\eta$ (небольшой),
возможен вклад радиационных распадов:
 $e^+e^- \rightarrow V \rightarrow f_0(1500)\gamma, f_2'(1525)\gamma$.



Измеренное сечение $e^+e^- \rightarrow \eta\eta\gamma$ согласуется с суммой сечений процессов $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$, $e^+e^- \rightarrow \omega\eta$ и $e^+e^- \rightarrow \rho\eta$.

Вклад радиационных распадов не обнаружен.

В области рождения резонансов $\phi(1680)$ и $\rho(1700)$ верхний предел на сечение радиационных распадов **11 пб (90% CL)**.

Теоретические оценки сечений

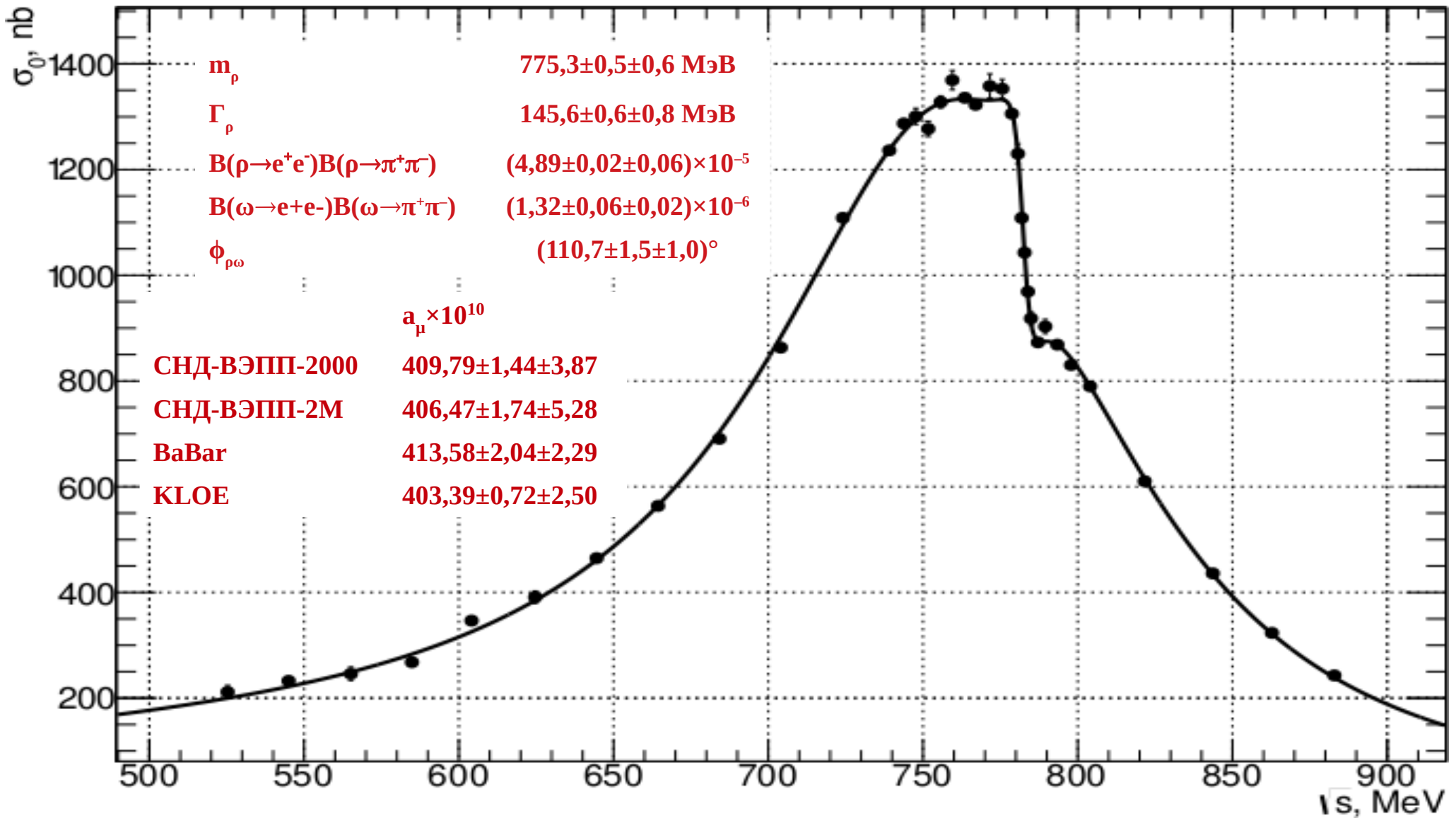
$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \phi(1680) \rightarrow f_2'(1525)\gamma \rightarrow \eta\eta\gamma) = 1,7 \text{ пб},$$

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \rho(1700) \rightarrow f_0(1500)\gamma \rightarrow \eta\eta\gamma) = 0,4 - 1,9 \text{ пб}.$$

Направлено для публикации в *Eur.Phys.J.*



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

$e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ (предварительные результаты).

Дифференциальное сечение: $\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^2 \beta C}{4s} \left[|G_M(s)|^2 (1 + \cos^2 \theta) + \frac{1}{\tau} |G_E(s)|^2 \sin^2 \theta \right]$, $\beta = \sqrt{1 - 4m_N^2/s}$, $\tau = \frac{s}{4} m_N^2$.

G_E и G_M – электрический и магнитный формфакторы,
 $|G_E| = |G_M|$ на пороге реакции, C – кулоновский формфактор.

Полное сечение: $\sigma_0(s) = \frac{4\pi \alpha^2 \beta C}{3s} \left[|G_M(s)|^2 + \frac{1}{\tau} |G_E(s)|^2 \right]$.

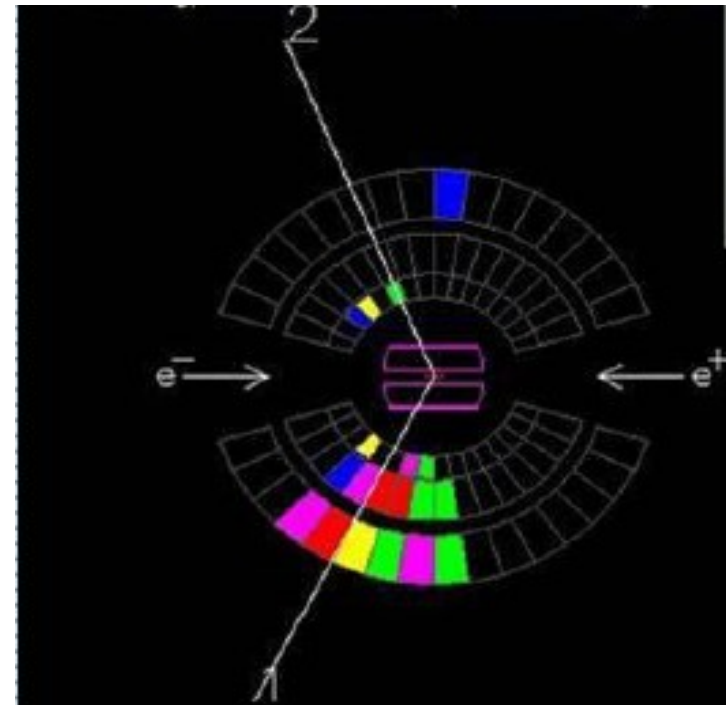
Эффективный формфактор можно определить со сечению $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$.

$$F(s)^2 = \frac{2\tau |G_M(s)|^2 + |G_E(s)|^2}{2\tau + 1}.$$

Отношение $|G_E / G_M|$ можно определить по распределению $\cos\theta$.

События $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ в СНД.

- \bar{n} аннигилирует в калориметре с большим энерговыделением.
- Энерговыделение n мало, нейтрон практически не реконструируется.
- n медленный, что приводит к большому времени пролёта в детекторе.



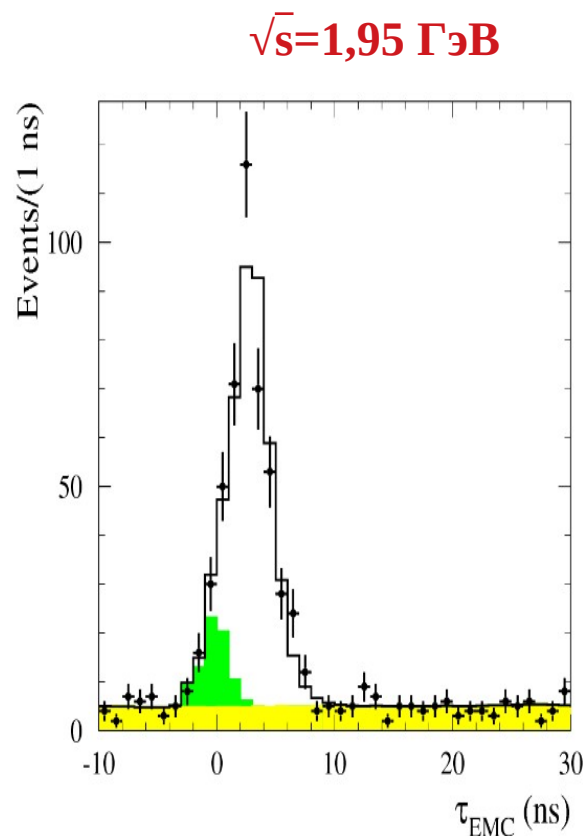
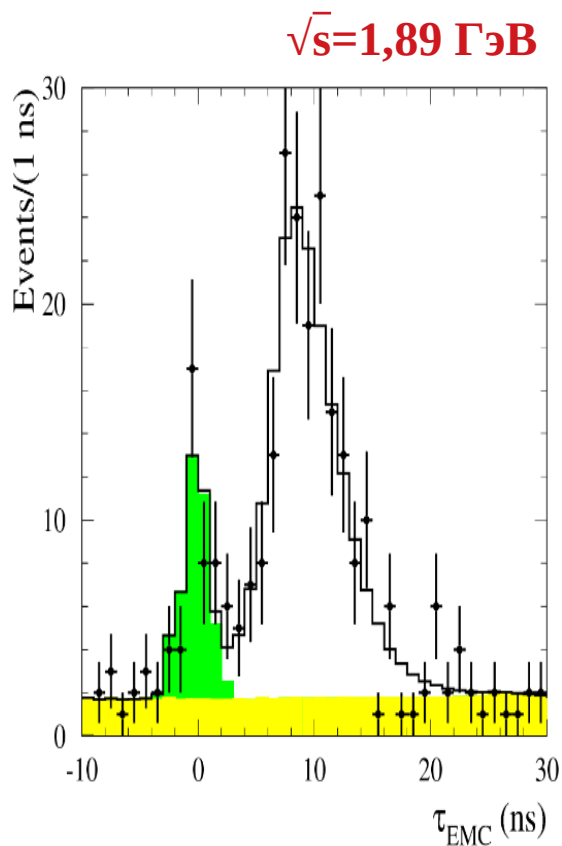
$e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ (предварительные результаты).

Для анализа событий $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ используется время срабатывания калориметра относительно момента столкновения пучков (среднее время события):

$$T = \frac{\sum t_i E_i}{\sum E_i}$$

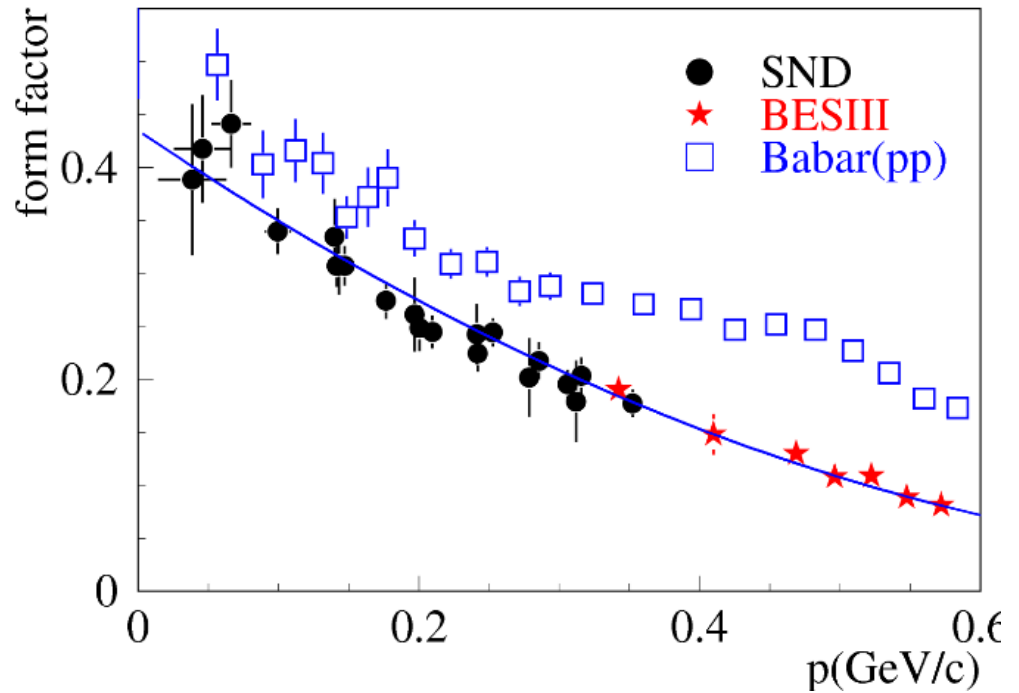
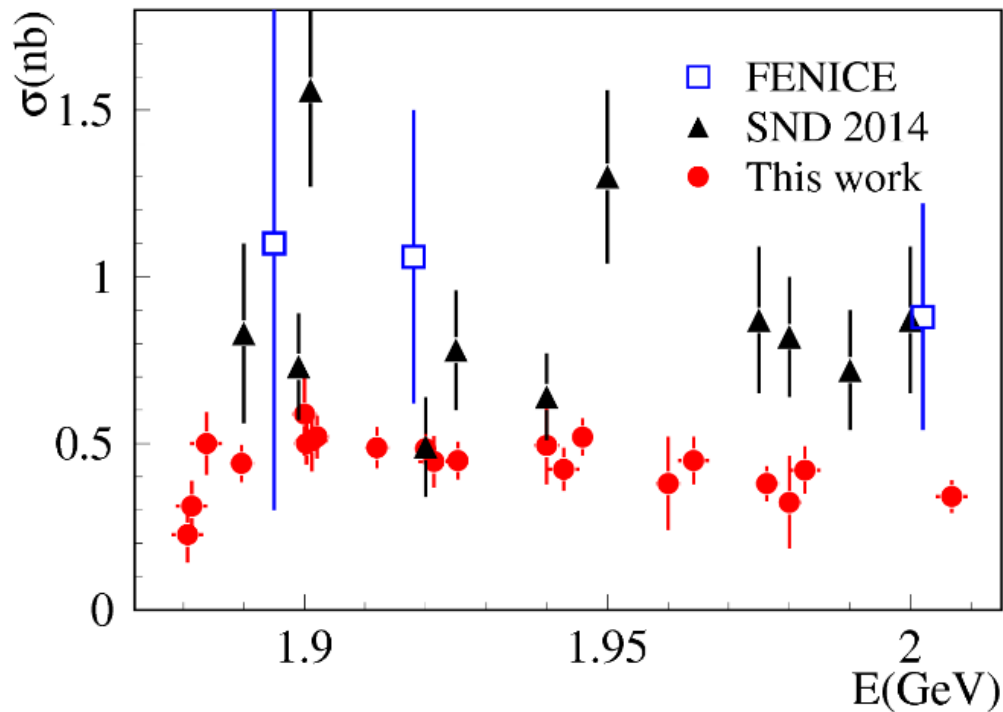
t_i – время срабатывания кристалла,

E_i – энерговыделение в кристалле.



Распределение экспериментальных событий по времени. Гистограмма – подгонка суммой распределений событий $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$, космического фона (жёлтая гистограмма), физического и пучкового фона (зелёная гистограмма).

$e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ (предварительные результаты).



Сечение $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$.

Величина сечения в новом измерении **СНД** ниже чем в предыдущих **FENICE** и **СНД 2014**.

В работе были **СНД 2014** недооценены:

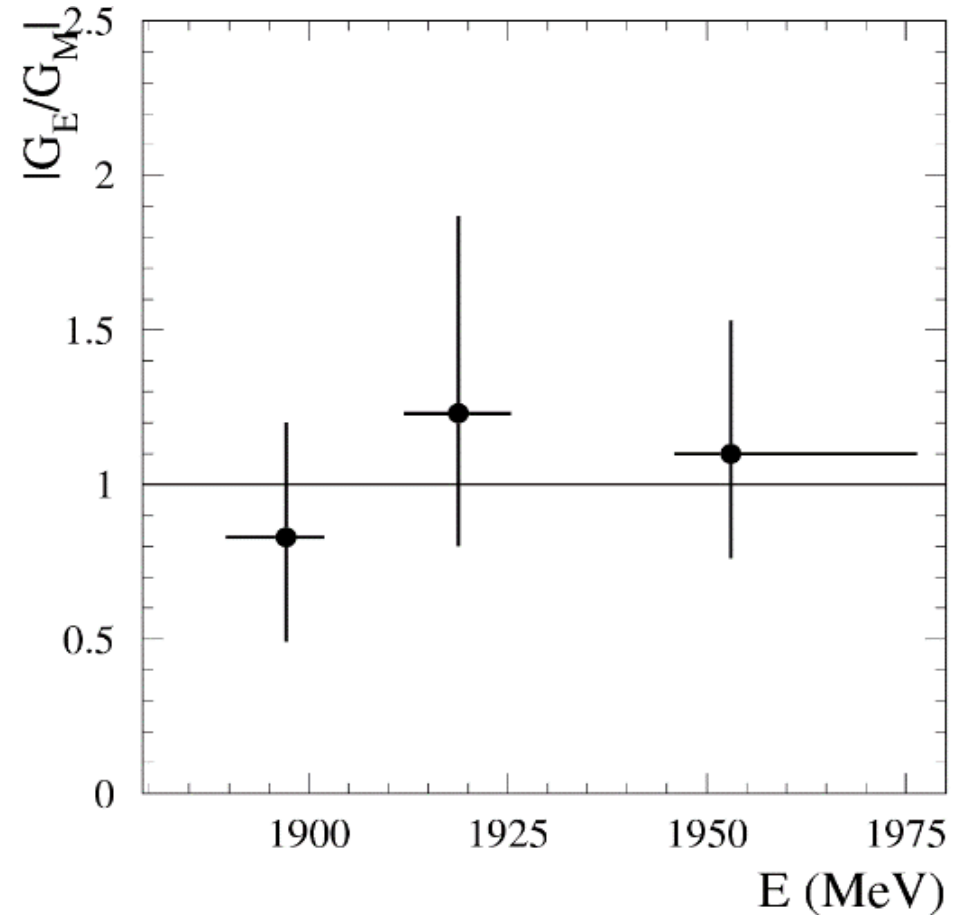
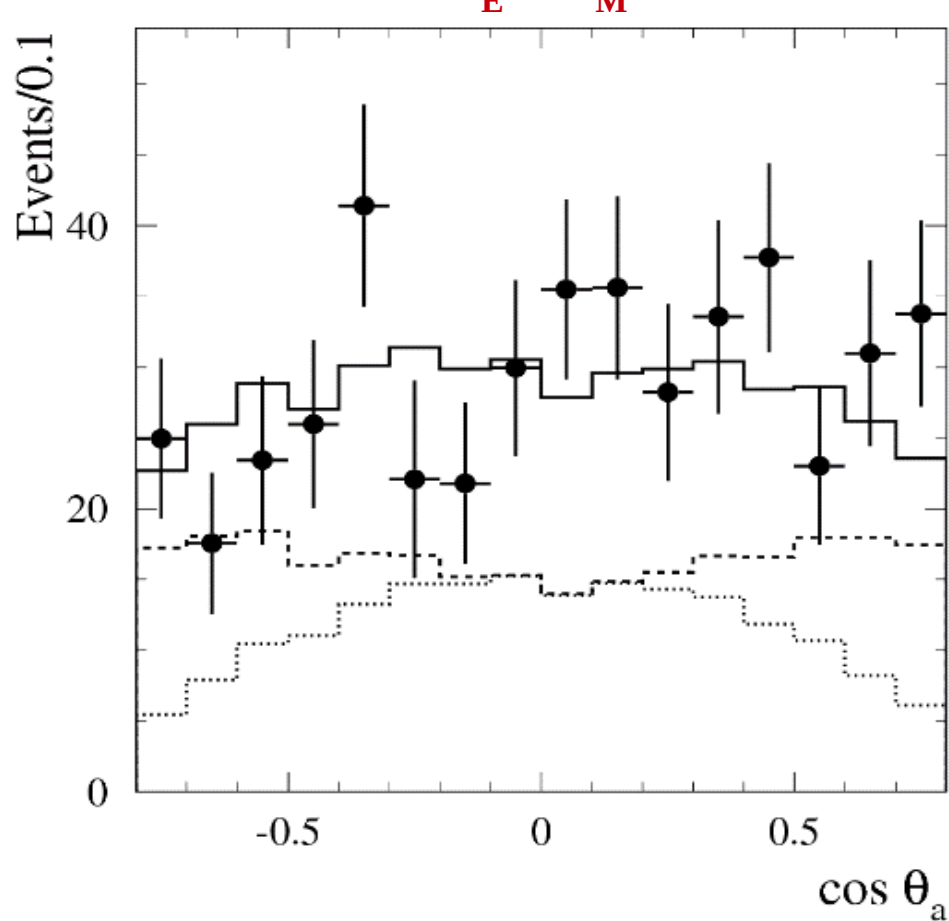
- вклад пучкового фона,
- систематические ошибки определения эффективности регистрации по моделированию.

Эффективный электромагнитный формфактор нейтрона (**СНД** и **BESIII**) и протона (**BaBar**):

- измерения **СНД** и **BESIII** согласуются при энергии 2 ГэВ,
- протонный формфактор систематически выше нейтронного.

$e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ (предварительные результаты).

Отношение $|G_E / G_M|$ можно определить по распределению $\cos\theta$.



Распределение по $\cos\theta$ антинейтрона в области энергии **1,95 ГэВ**.

Гистограмма – подгонка суммой распределений $\sin^2\theta$ для $|G_E|$ и

$1+\cos^2\theta$ для $|G_M|$.

Отношение $|G_E / G_M|$ согласуется с **1**.



Заключение.

- В 2021 г СНД набрал **95 пб⁻¹** в области энергии выше **1 ГэВ**.
- Продолжается поэтапная модернизация электроники и системы сбора данных.
- Продолжается обработка данных, набранных в 2010–2020 гг.
- Опубликовано 2 статьи, сделано 6 докладов на международных конференциях.
- Грантов РФФИ – 3.