

ИЗМЕРЕНИЕ R С ДЕТЕКТОРОМ КЕДР НА КОЛЛАЙДЕРЕ ВЭПП-4М

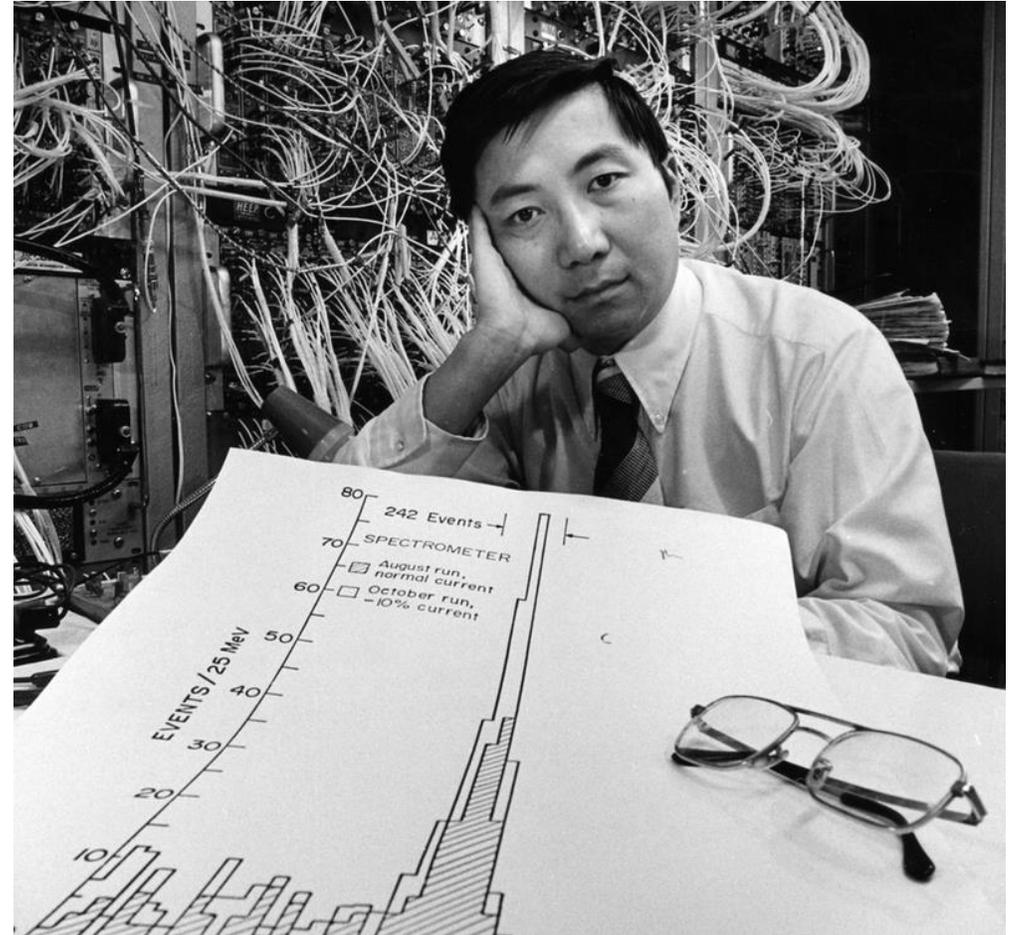
Татьяна Харламова (коллаборация КЕДР)
ИЯФ СО РАН

10.03.2026



План доклада

- Введение и мотивация
- Экспериментальная установка
- Набор данных и обработка
- Анализ данных и метод извлечения R
- Результаты и систематические погрешности
- Заключение

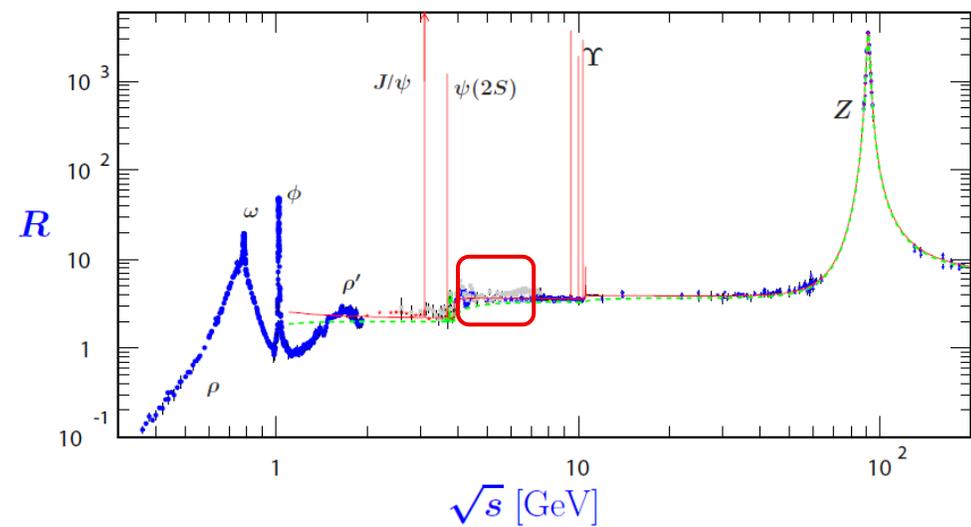
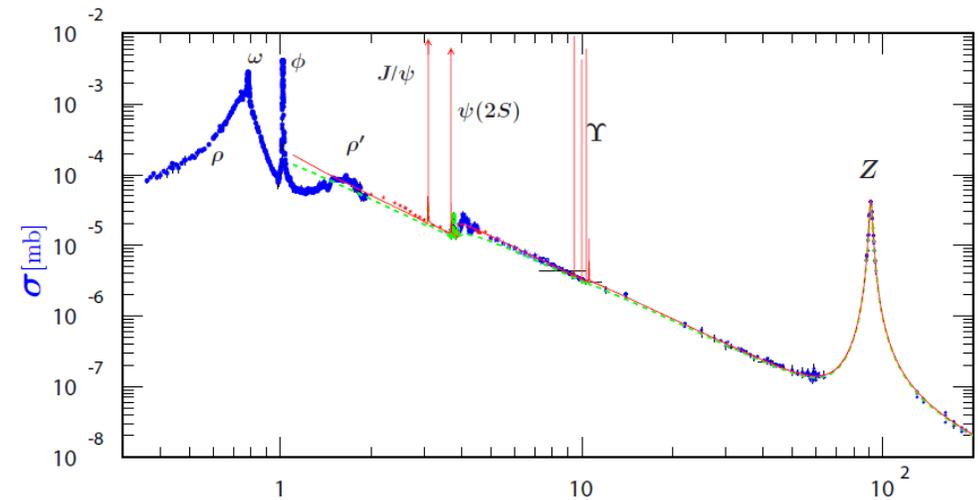
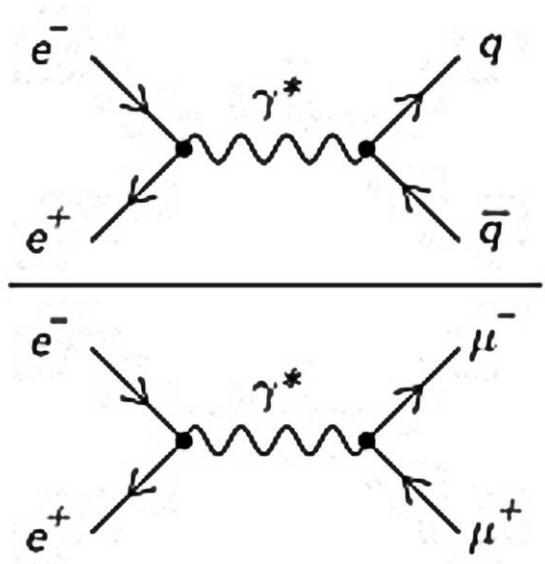


С. Тинг и открытие J/ψ -мезона

Что такое R?

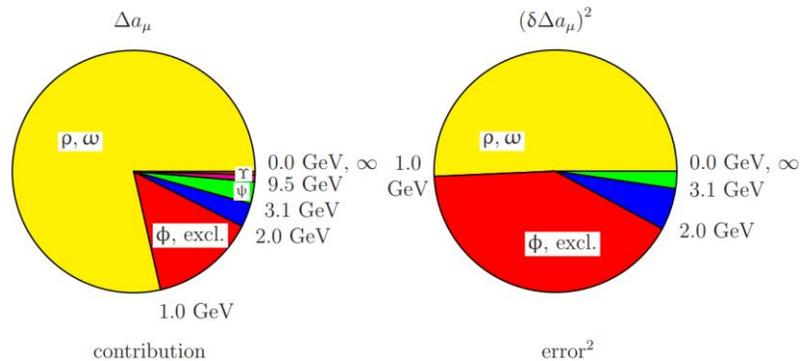
Определение величины

$$R = \frac{\sigma(e^-e^+ \rightarrow \text{hadrons})}{\sigma(e^-e^+ \rightarrow \mu^-\mu^+)}$$

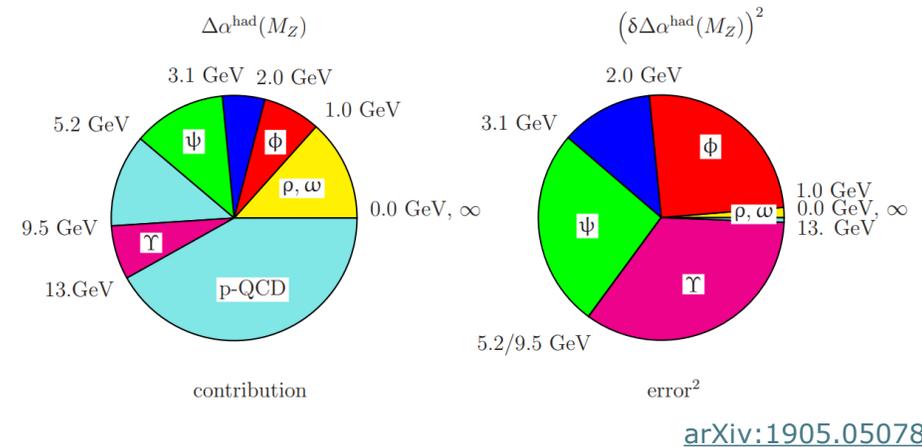


Зачем нужны прецизионные измерения R?

Вычисление адронного вклада в аномальный магнитный момент мюона ($g - 2$)



Определение бегущей постоянной тонкой структуры $\alpha(M_Z^2)$

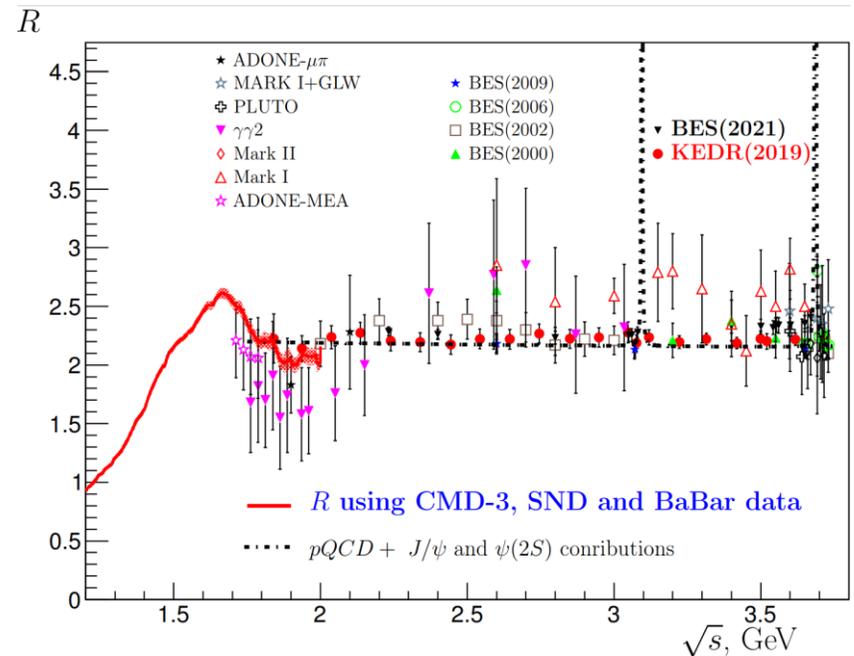


Проверка стандартной модели и поиск "Новой физики"

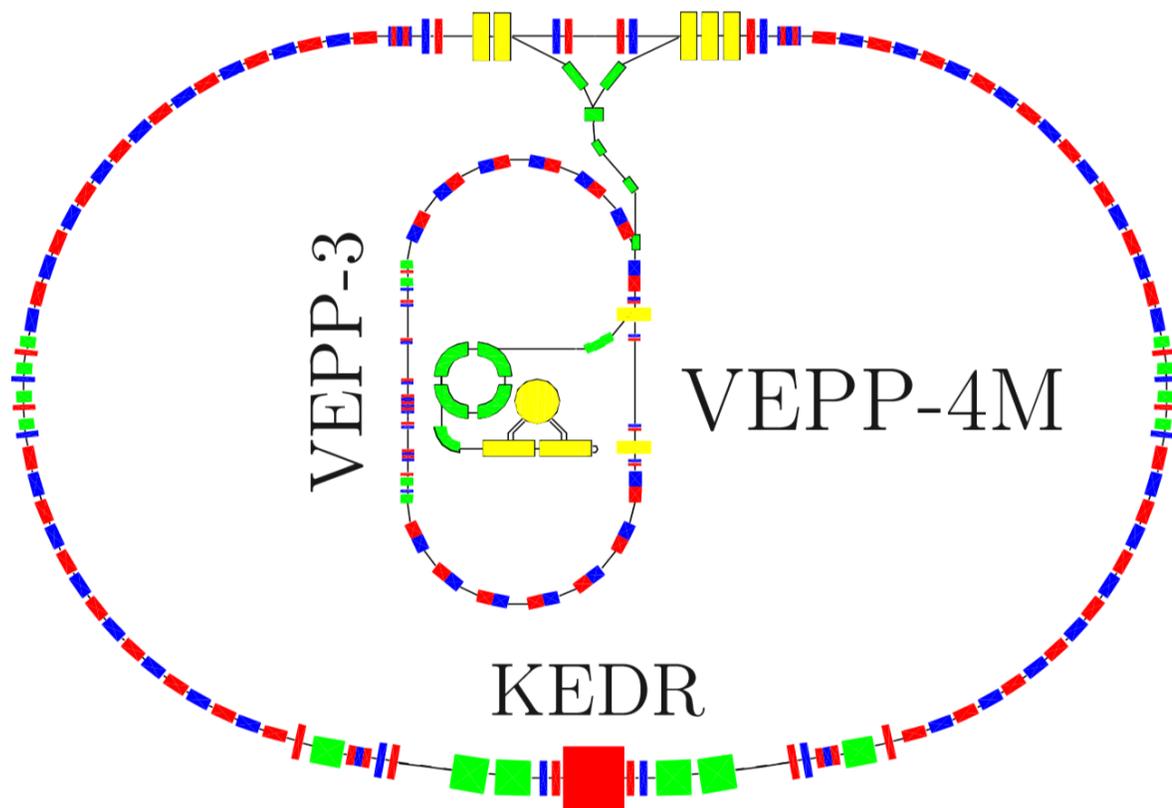
Цели работы

Почему диапазон 4-7 ГэВ?

- Область между семействами ψ - и Υ -мезонов.
- Необходимость уточнения существующих экспериментальных данных.
- В более низкой области энергий (1.84-3.72 ГэВ) КЕДР уже измерил R с высокой точностью.



Коллайдер ВЭПП-4М

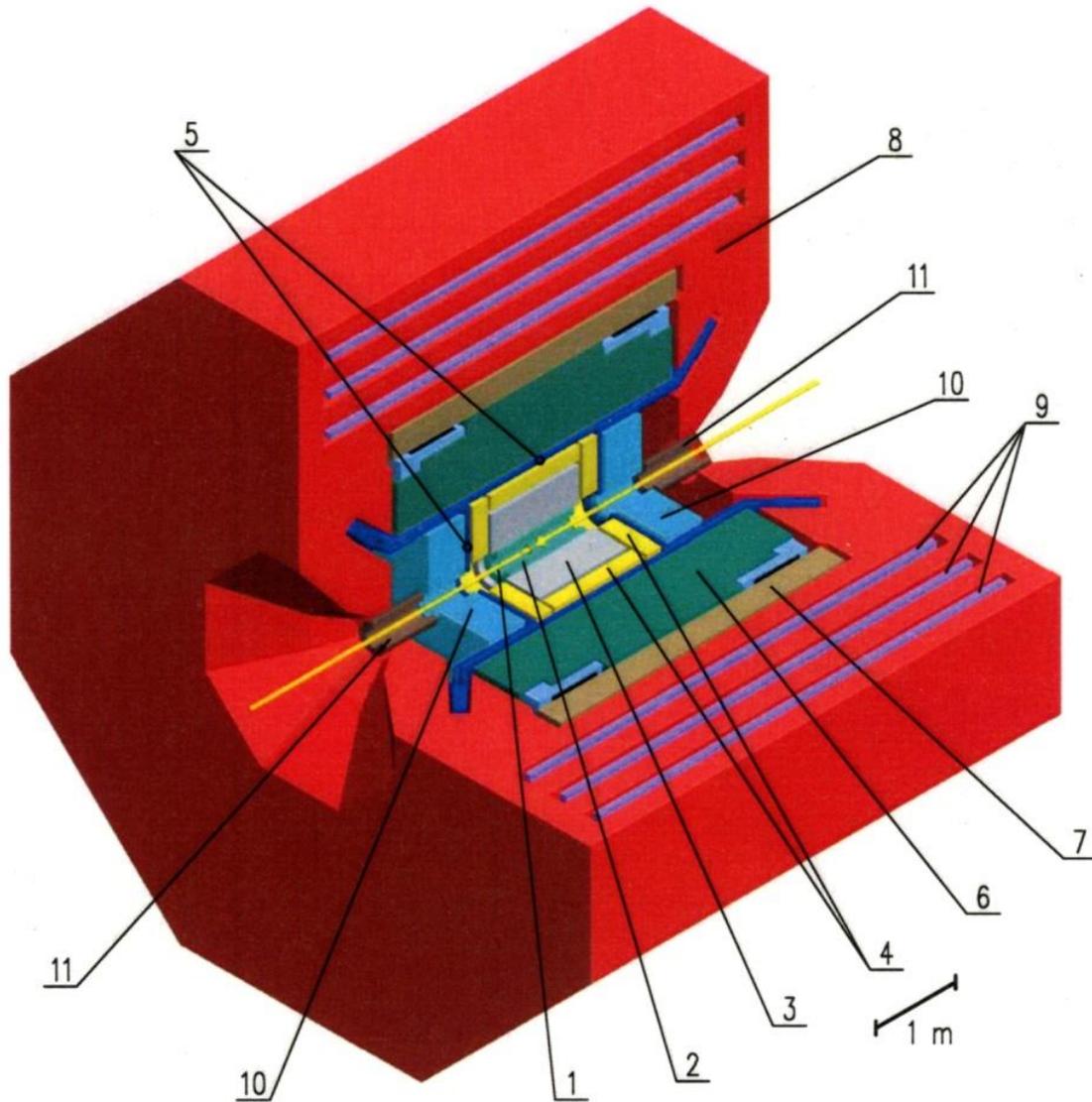


Энергия пучков	1 – 5 ГэВ
Число банчей	2 x 2
Светимость на 1.5 ГэВ	$2 \cdot 10^{30} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$
Светимость на 5.0 GeV	$2 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$

Измерение энергии пучков:

- Метод резонансной деполяризации
Точность измерения 1 кэВ
Точность интерполяции 10-30 кэВ
- Метод обратного комптоновского рассеяния
Мониторинг с точностью 100 кэВ

Детектор КЕДР

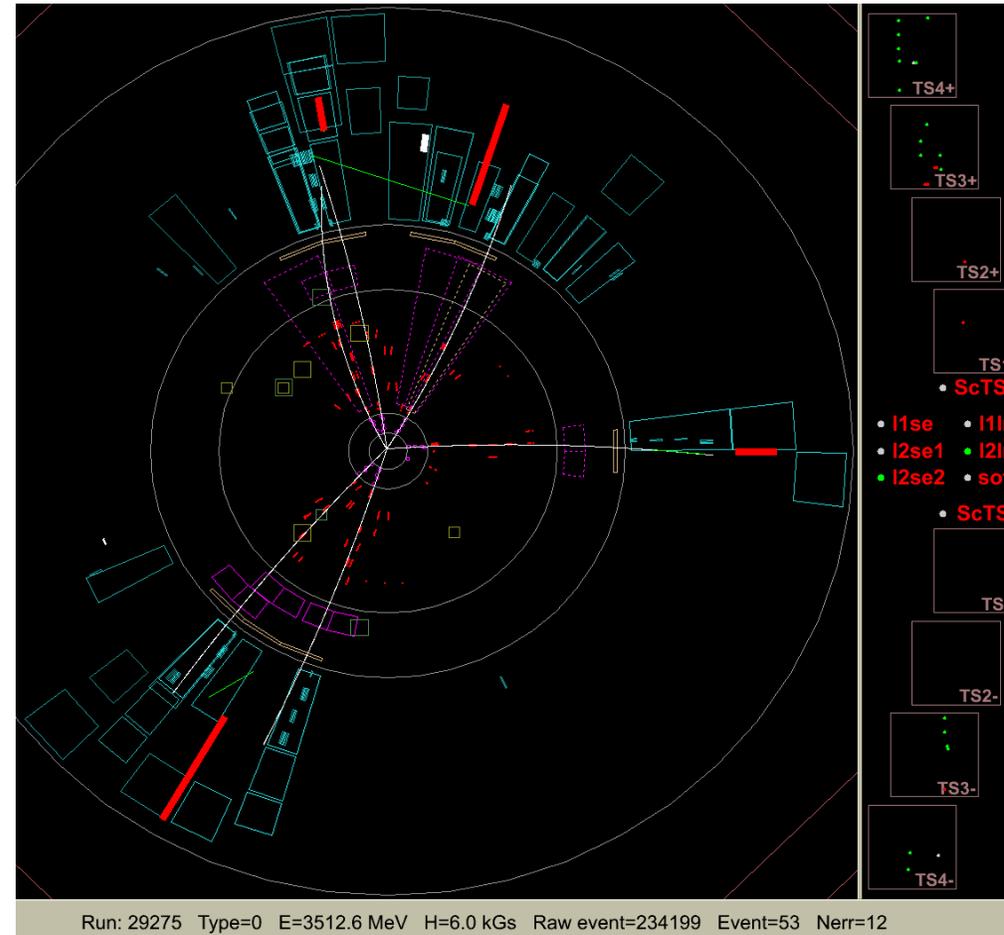


1. Вакуумная труба ускорителя
2. Вершинный детектор
3. Дрейфовая камера
4. Пороговые аэрогелевые счетчики
5. ТоF счётчики
6. Баррельный LKr калориметр
7. Сверхпроводящая катушка
8. Ярмо магнита
9. Мюонные камеры
10. Торцевой CsI калориметр
11. Компенсирующая катушка

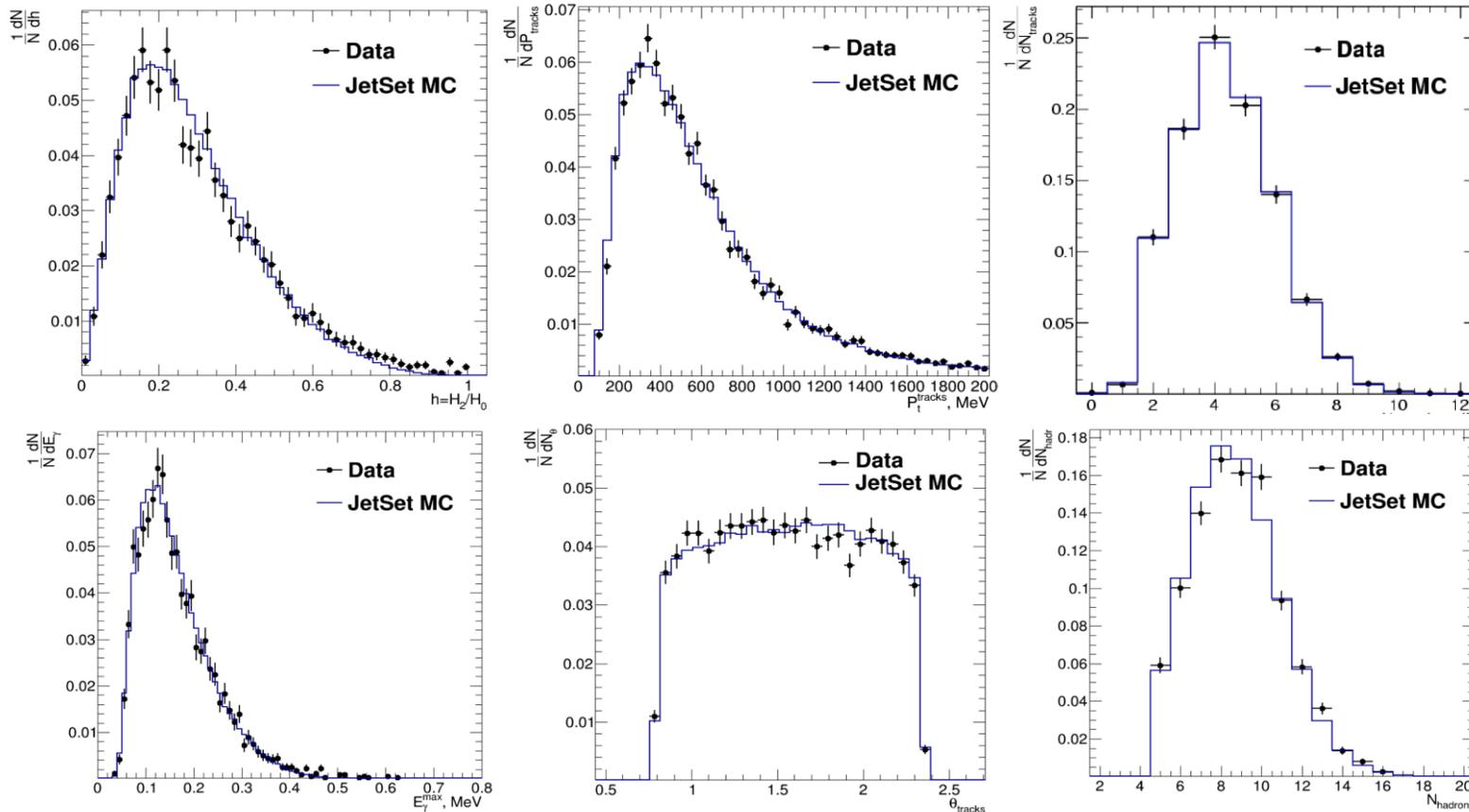
Стратегия сканирования

- Диапазон энергий в центре масс: **от 4.56 до 6.96 ГэВ**
- Количество точек: **17 энергетических точек**
- Шаг сканирования: ~ 0.15 ГэВ
- Интегральная светимость: ~ 13.7 пбн $^{-1}$

~ 5 тыс событий в каждой точке
 ~ 100 тыс событий всего



Моделирование и отбор событий



Для моделирования использовался генератор JetSet с модифицированными параметрами

$N_{\text{IP}} \geq 2$
 $N_{\text{particles}} \geq 5$
 $H_2/H_0 < 0.9;$
 $E_y^{\text{max}} < 0.35 E_{\text{run}}$
 $E_{\text{vis}} > 0.4 E_{\text{run}}$
 $E_{\text{LKr}} > 0.4 E_{\text{cal}}$
 $E_{\text{cal}} > 0.25 E_{\text{run}}$
 $P_z^{\text{miss}} < 0.3 E_{\text{run}}$

Основная формула и процедура

$$R(s) = \frac{\sigma_{obs}^{mh}(s) - \sigma^{ee \rightarrow ee}(s) - \sigma^{ee \rightarrow \mu\mu}(s) - \sigma^{ee \rightarrow \tau\tau}(s)}{\varepsilon(s)(1 + \delta(s))\sigma_{\mu\mu}^0}$$

$\sigma_{obs}^{mh}(s) = \frac{N^{mh} - N^{bkg}}{L}$ - наблюдаемое адронное сечение

N^{mh} - число отобранных событий

N^{bkg} - число событий фона

L - интегральная светимость

$\sigma^{ee \rightarrow ee}(s)$ - вклад процесса $ee \rightarrow ee$ ($< 0.01\%$)

$\sigma^{ee \rightarrow \mu\mu}(s)$ - вклад процесса $ee \rightarrow \mu\mu$ ($\sim 0.01\%$)

$\sigma^{ee \rightarrow \tau\tau}(s)$ - вклад процесса $ee \rightarrow \tau\tau$ ($\sim 0.2\%$)

$\varepsilon(s)$ - эффективность регистрации

$1 + \delta(s)$ - радиационная поправка

Сечение процесса
 $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$
в Борновском
приближении

$$\sigma_{\mu\mu}^0 = \frac{4\pi\alpha^2}{3s}$$

Ключевые моменты анализа

- **Учет узких резонансов:** $J/\psi, \psi(2S)$ рассматриваются явно, их вклад не включается в радиационные поправки, а вычитается .
- **Контроль фона:** Оценка фона от двухфотонных процессов, космики и лептонных распадов, остаточного машинного фона.
- **Определение светимости:** Прецизионное измерение по процессу упругого e^+e^- рассеяния на большой угол (Bhabha)

Оценка систематических неопределенностей

Источник	Сист. неопр., %
Светимость	1.2
Моделирование	1.4
Реконструкция треков	0.7
Ядерной взаимодействие	0.6
Рад. поправка	0.3
Машинный фон	0.2
Триггер	0.1
Вариация критериев отбора	1.1
Итого	2.4

Заключение

- В эксперименте КЕДР на ВЭПП-4М выполнен набор статистики в 17 точках в области 4.56 - 6.96 ГэВ
- Проведен анализ данных
- Получены новые прецизионные значения R
- Работа демонстрирует уникальные возможности комплекса ВЭПП-4М с детектором КЕДР в этом энергетическом диапазоне

СПАСИБО

за внимание