



Физика с ВЭПП-6

А.Гармаш

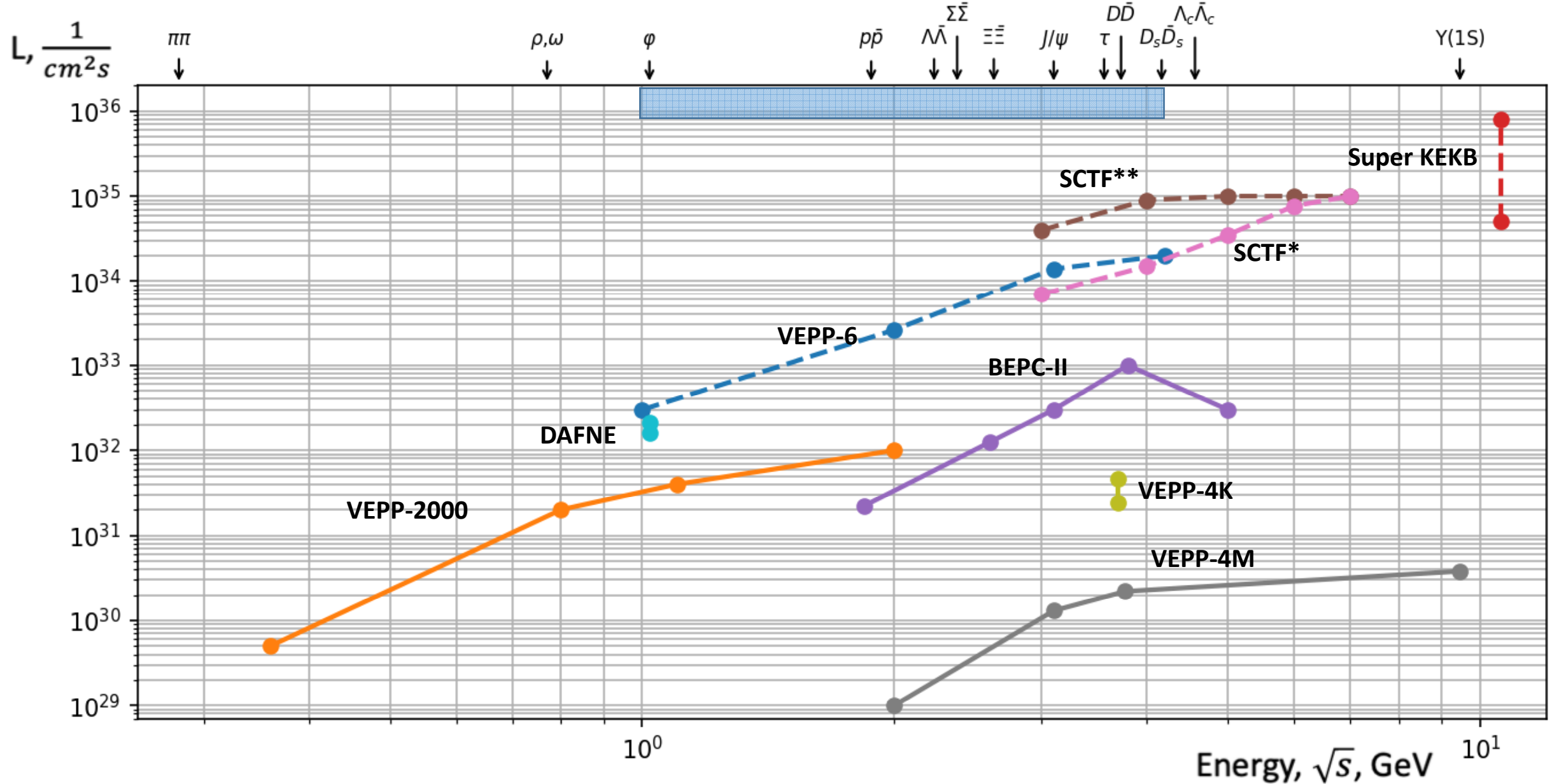
А.Бобров, А.Винокурова, Л.Кардапольцев, Т.Харламова, К.Чиликин

ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН

*Слышу голос, голос спрашивает строго
А сегодня, что для завтра сделал я?*

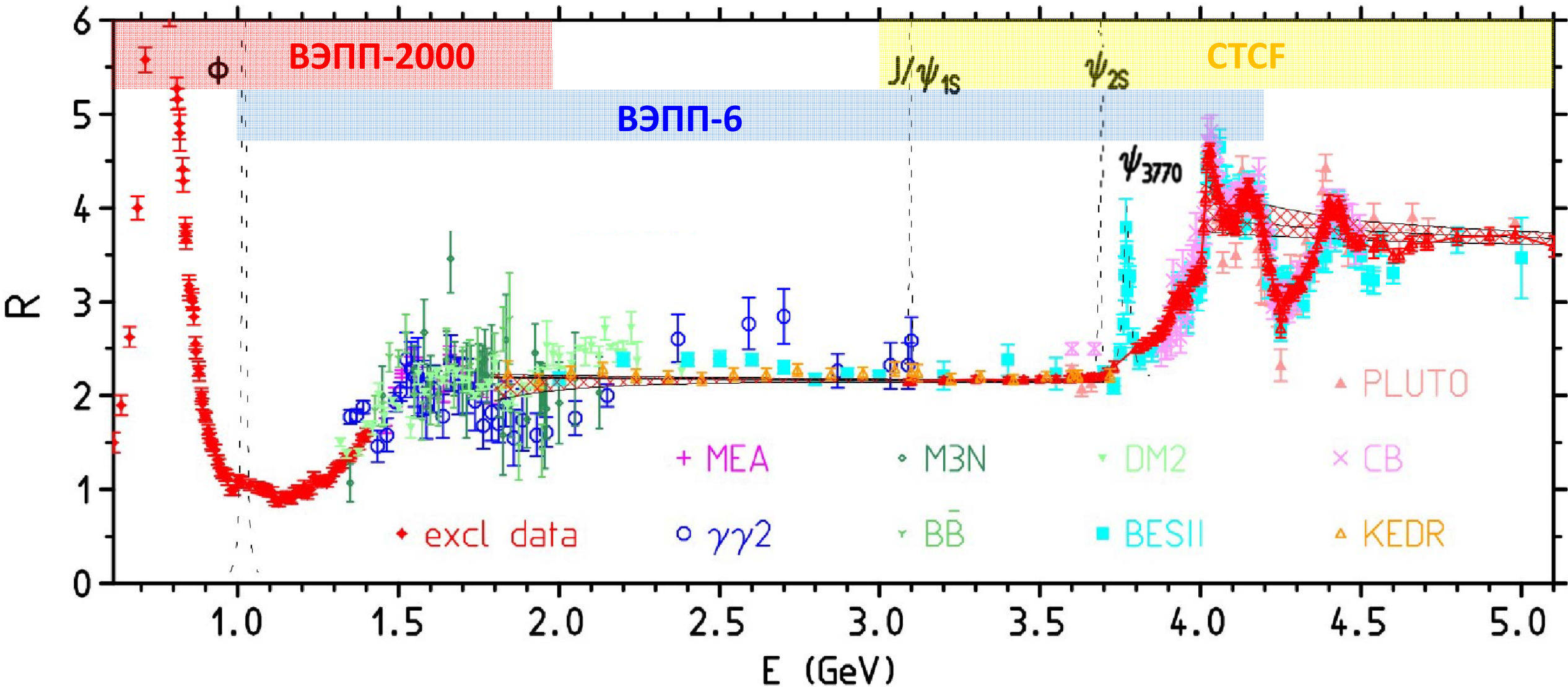


e^+e^- коллайдеры: Вчера, сегодня, завтра



Физика с ВЭПП-6 и СТСФ

$e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}$



Физическая программа ВЭПП-6

Структура $e^+e^- \Rightarrow$ адроны в сканировании

прямое измерение R в области от 1 до 3 ГэВ

эксклюзивные многочастичные конечные состояния \Rightarrow динамика (амплитудный анализ)

$(g-2)$, $\alpha(s)$, тест моделей pQCD, вычисления на решетках и др.

Физика барионов

ЭМ формфакторы гиперонов

относительная фаза ЭМФФ, поляризация гиперонов

взаимодействие в конечном состоянии

Фабрика чармония (ψ' , J/ψ , а также h_c , η_c , χ_c в их распадах)

радиационные и адронные переходы в системе чармония

адронные распады чармония \Rightarrow спектроскопия легких адронов, поиск гибридов и глюболов

слабые распады J/ψ

невидимые распады J/ψ (поиск «темного» фотона, аксионы и др.)

Дополнительные возможности:

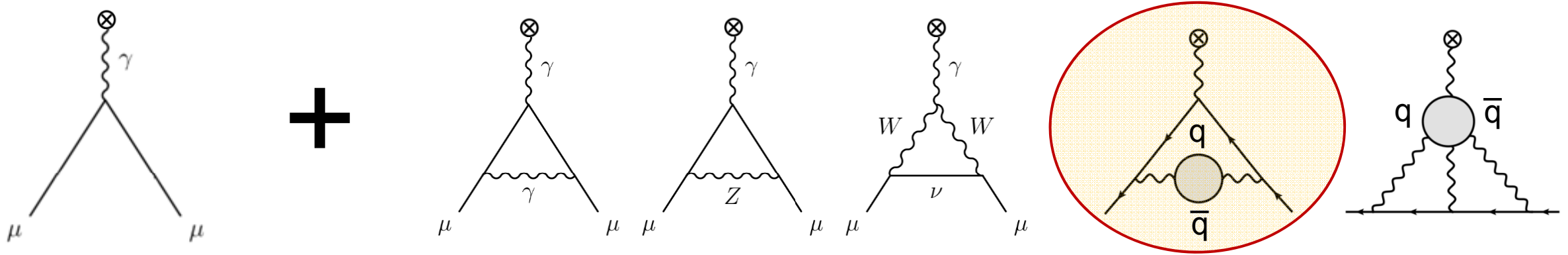
новая физика, $e^+e^- \Rightarrow D^{*0}$ (большая статистика)

энергетическое сканирование сечений $e^+e^- \rightarrow DD, DD\pi, DD^*, DD\pi\pi, D^*D^*...$ (повышенная энергия)

двухфотонная физика, физика τ и т.д.

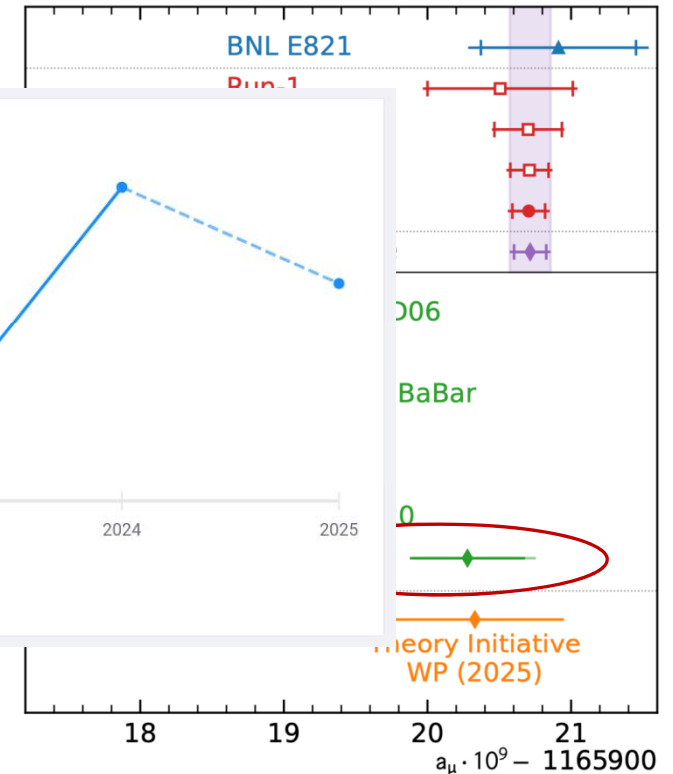
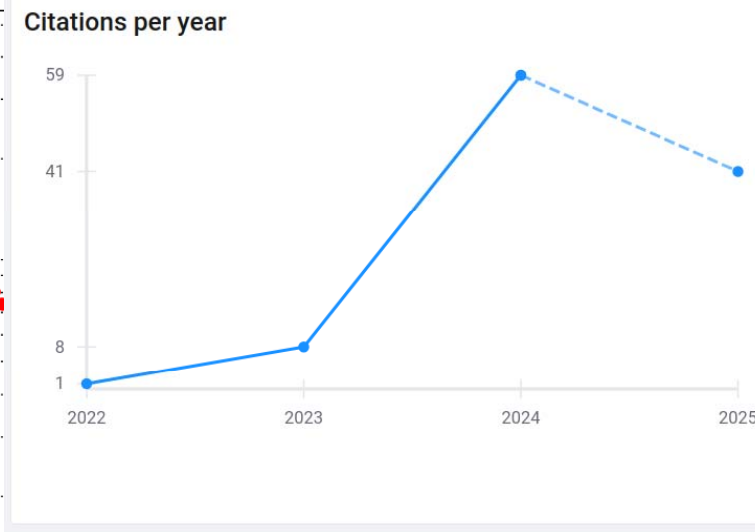
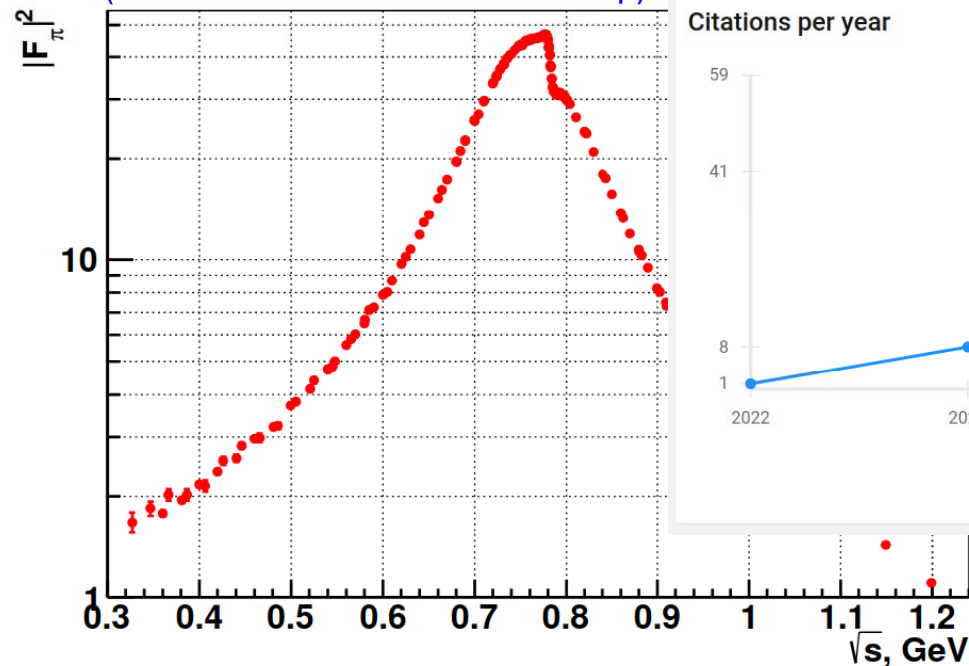
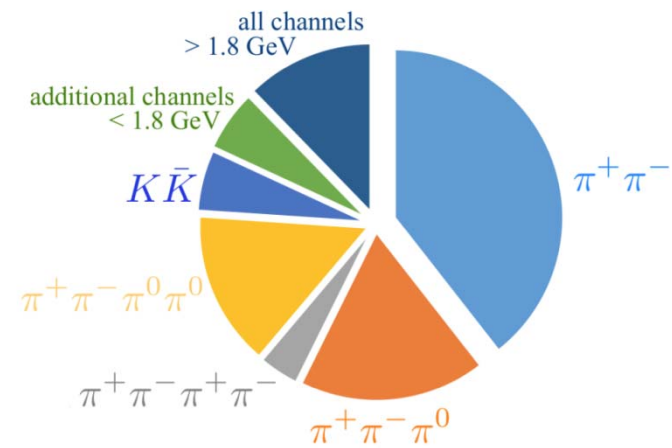
Физика адронов с ВЭПП-6: g-2

Аномальный магнитный момент мюона



CMD-3: Phys. Rev. Lett. 132, 231903 (2024)
(109 ссылок по базе INSPIREhep)

Вклады в ошибку в $g-2$

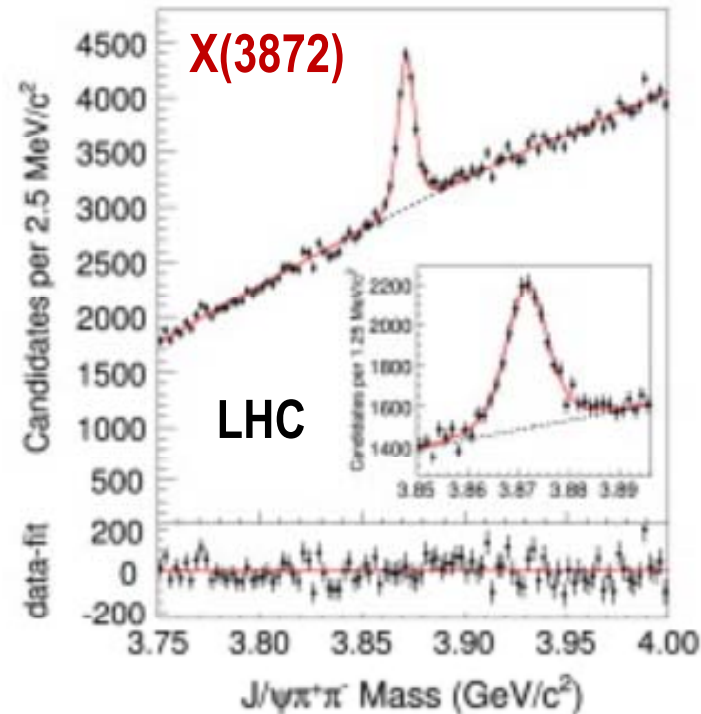
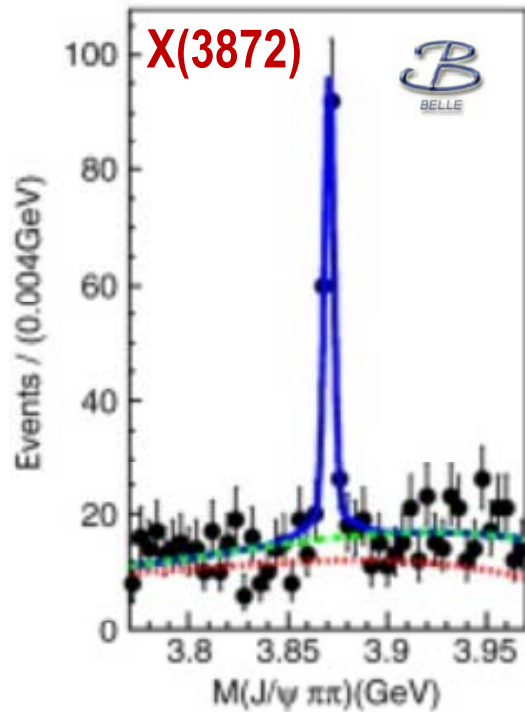


Большая статистика \equiv Новые эффекты

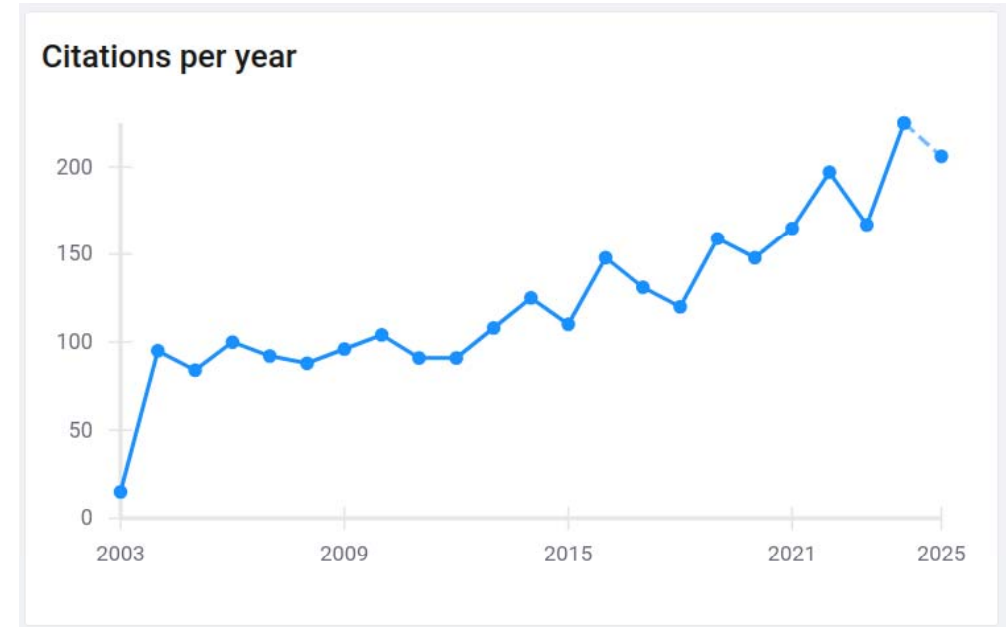
Большая статистика, полученная на мезонных фабриках, позволила обнаружить новые эффекты в казалось бы уже хорошо изученной системе чармония

Belle: Phys.Rev.Lett. 91,262001 (2003)

$B^+ \rightarrow J/\psi \pi \pi K^+$



(2865 ссылок по базе iNSPIREhep)

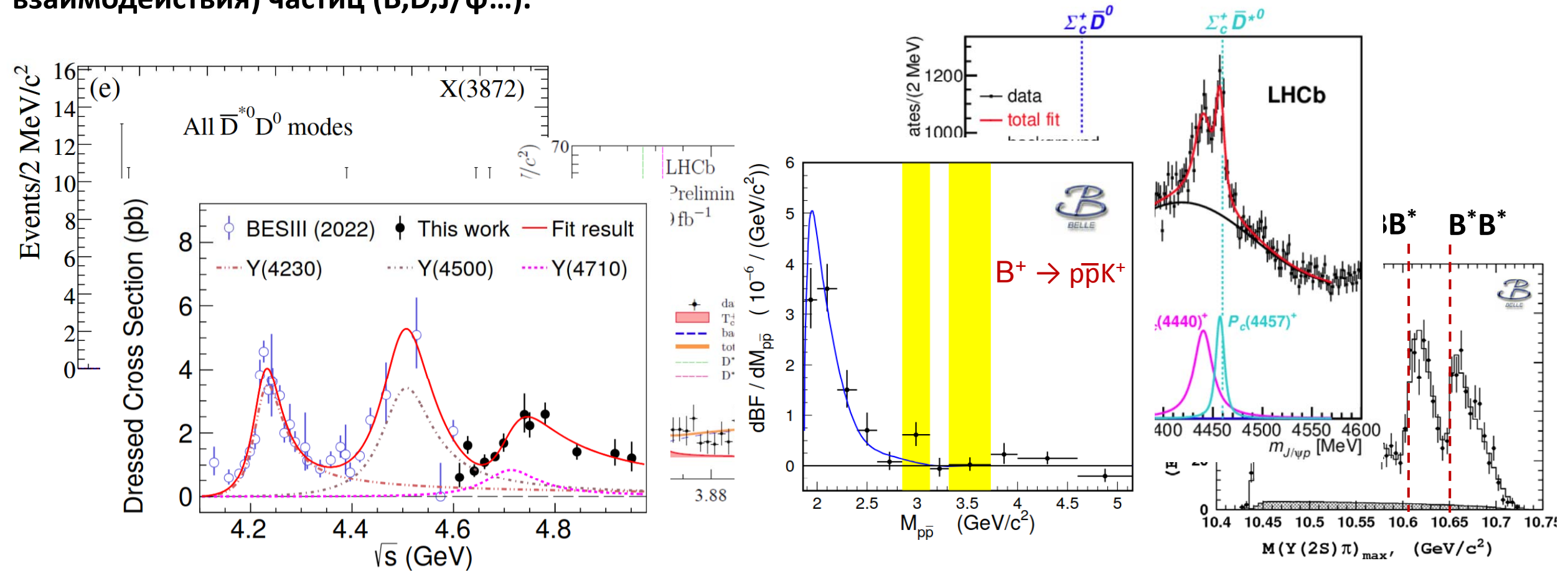


Актуальная область исследований!

что поначалу выглядело как очевидно новый и «экзотический» резонанс в системе чармония...

Большая статистика \equiv Новые эффекты

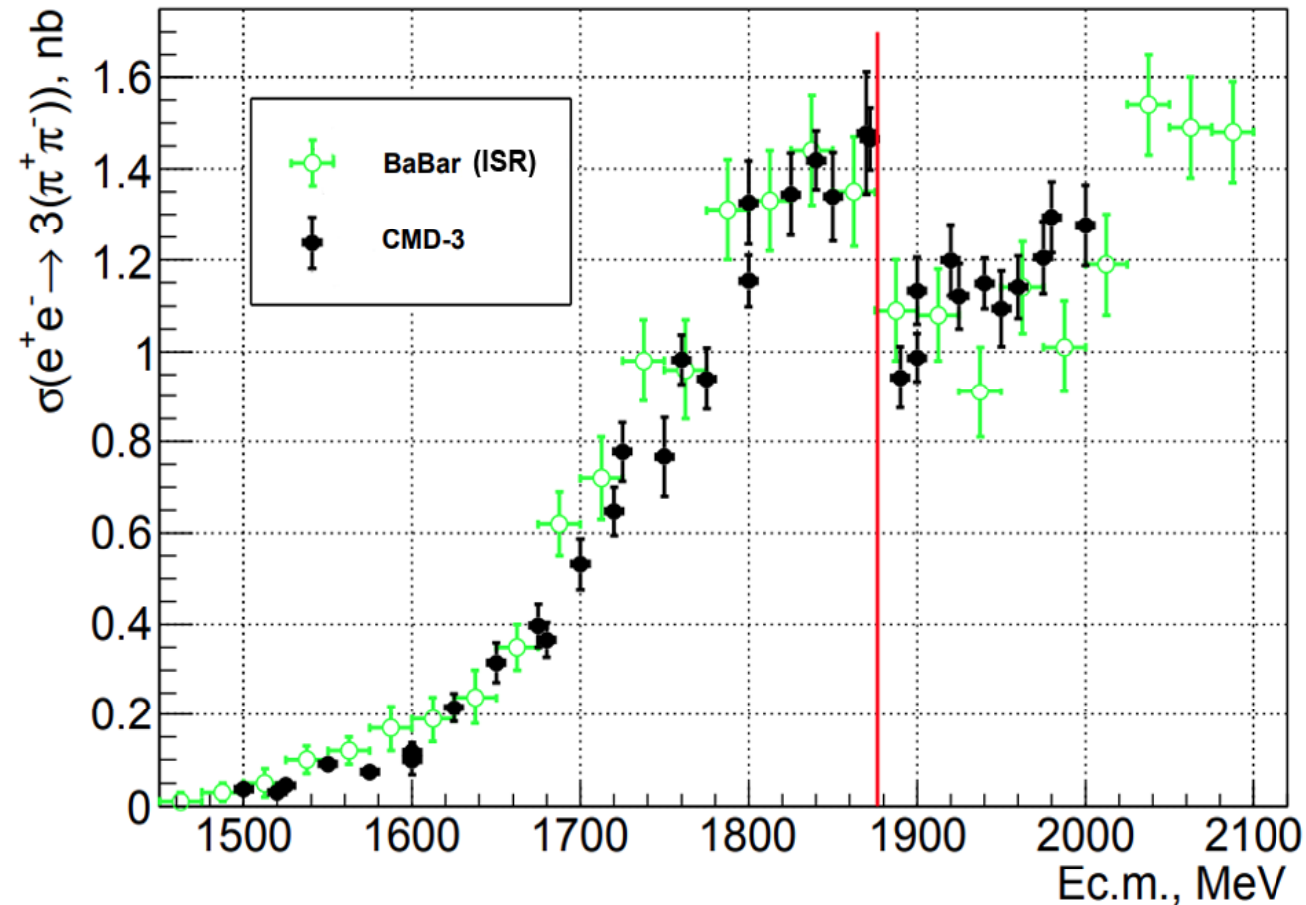
В дальнейшем было обнаружено множество (десятки!) подобных структур в системах с тяжелыми кварками (с, b), как правило **вблизи порогов рождения** систем стабильных (в масштабе сильного взаимодействия) частиц ($B, D, J/\psi \dots$).



В системах, состоящих из легких кварков (u,d,s), эти эффекты еще **изучены очень плохо**. Однако уже есть первые указания. (подробнее в докладе Л.Кардапольцева)

Припороговые структуры: u,d,s-сектор

В эксперименте КМД-3 было обнаружено резкое изменение величины сечения процесса $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$... на пороге рождение NN!



Метод ISR «не работает» => прямое энергетическое сканирование с «мелким» шагом.

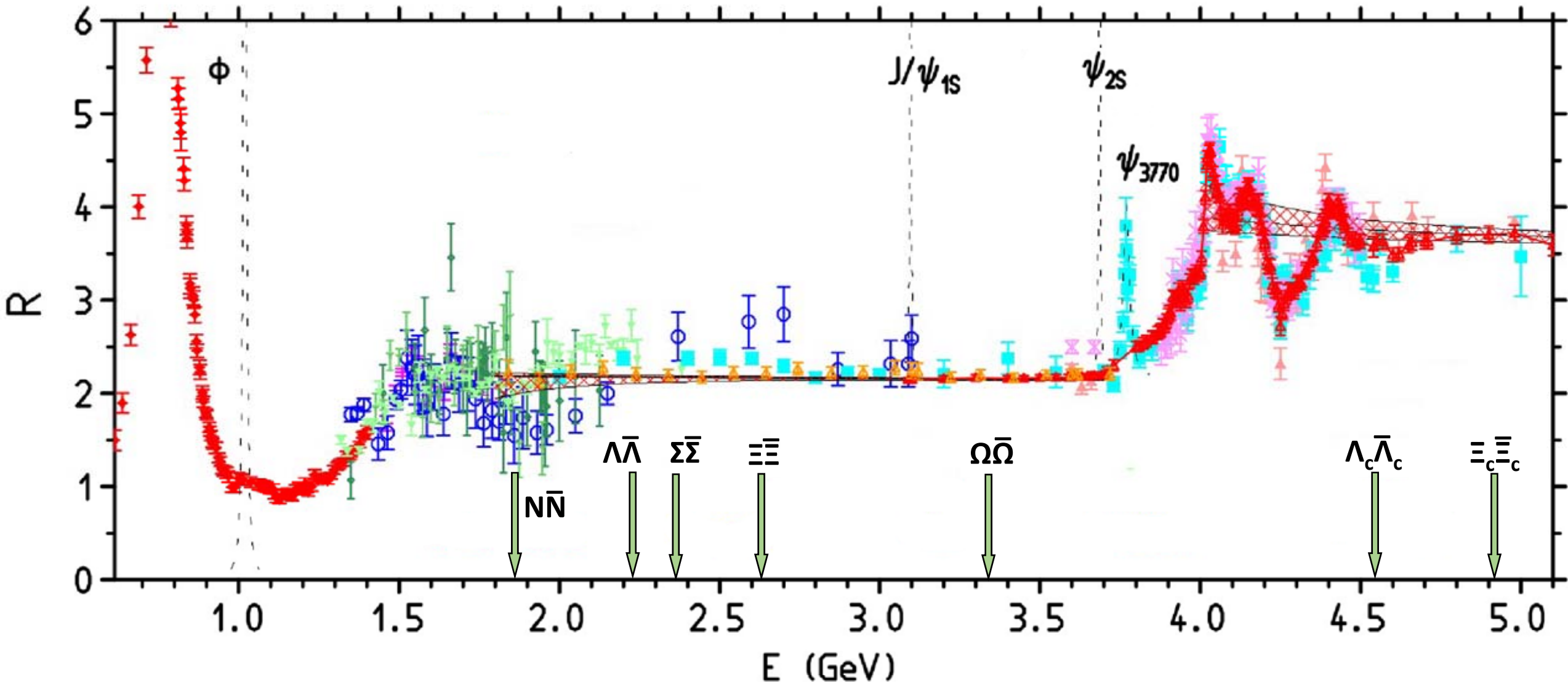
В каких еще процессах наблюдается (или нет, и почему?) подобное поведение?

Необходимо исследовать динамику процесса (амплитудный анализ в **КАЖДОЙ** точке по энергии)

- большая статистика
- низкий фон
- требования к детектору: энергетическое и импульсное разрешение, PID)

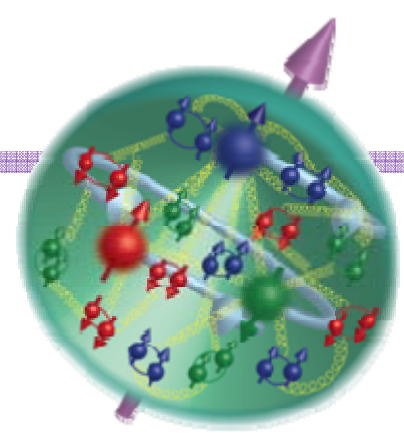
Какова ситуация на порогах рождения пар гиперонов?

Припороговые структуры: u,d,s-сектор



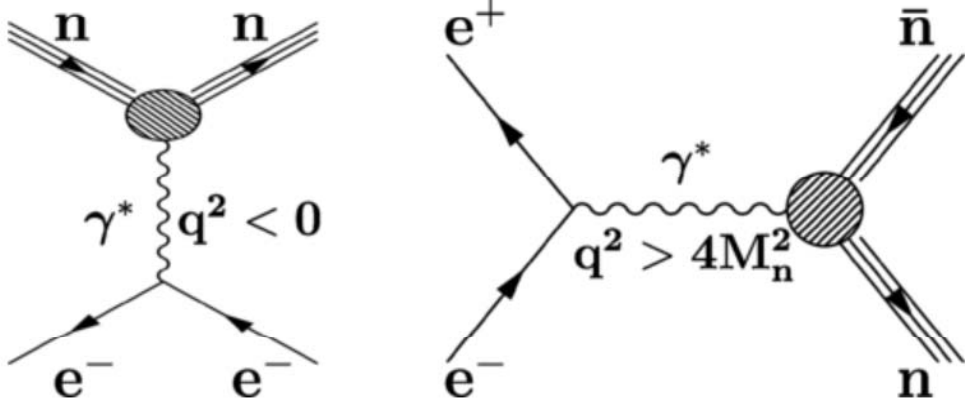
+ пороги в комбинациях барион+антибарион+легкие мезоны (π, K, η).

ЭМФФ легких барионов: $N\bar{N}$



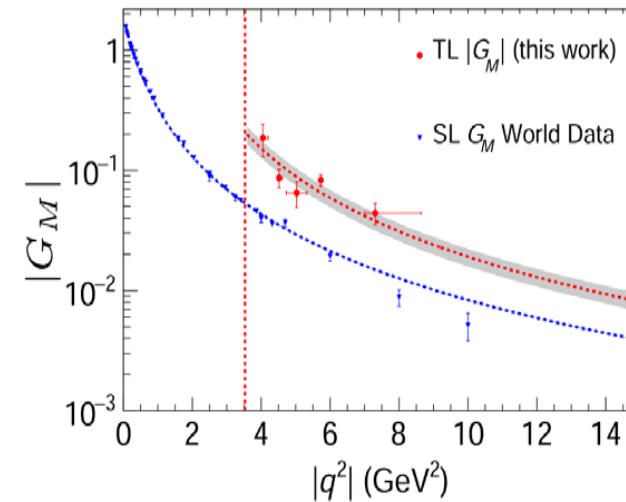
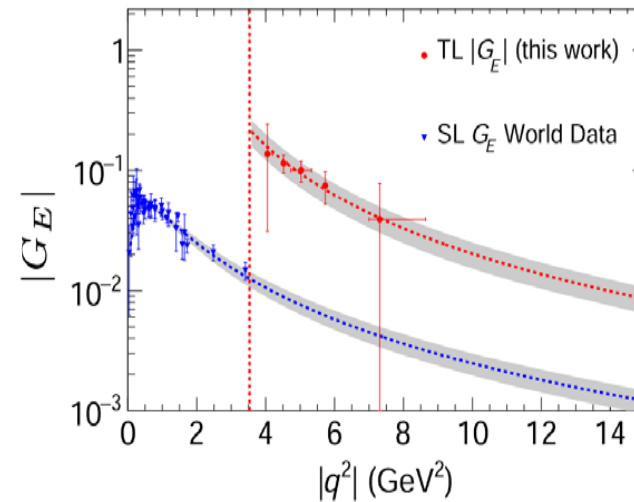
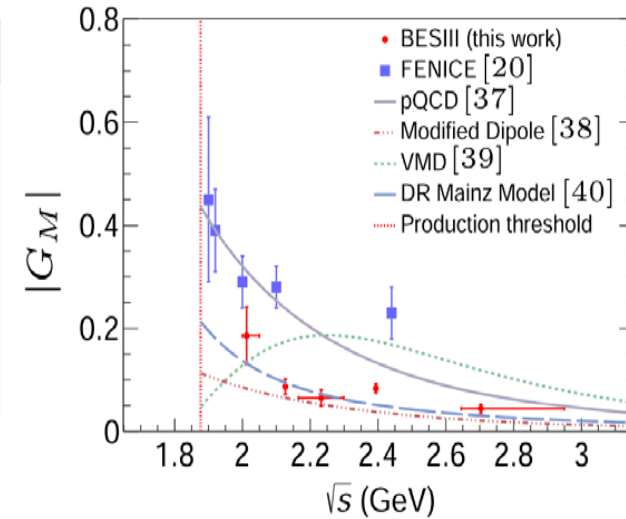
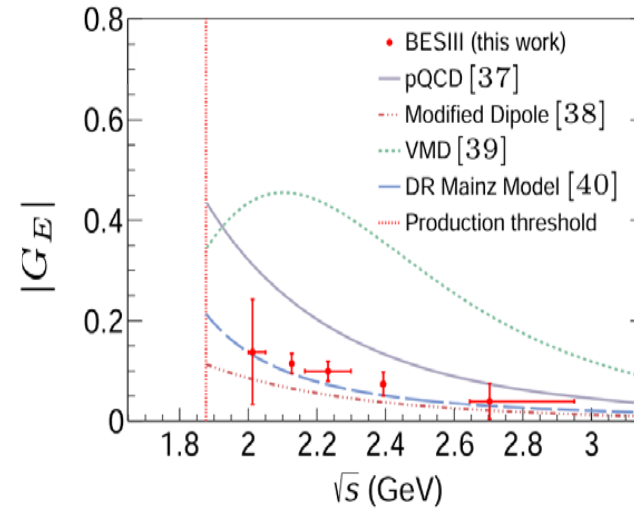
Электромагнитные форм факторы
(распределение спина и заряда)

$$\frac{d\sigma_{B\bar{B}}(s)}{d\Omega} = \frac{\alpha^2 \beta C}{4s} \left[|G_M(s)|^2 (1 + \cos^2 \theta) + \frac{4m_B^2}{s} |G_E(s)|^2 \sin^2 \theta \right]$$



Из анализа угловых распределений возможно извлечь G_E и G_M (+ относительная фаза) в зависимости от s .

BESIII Collaboration, Phys. Rev. Lett. 130, 151905 (2023).



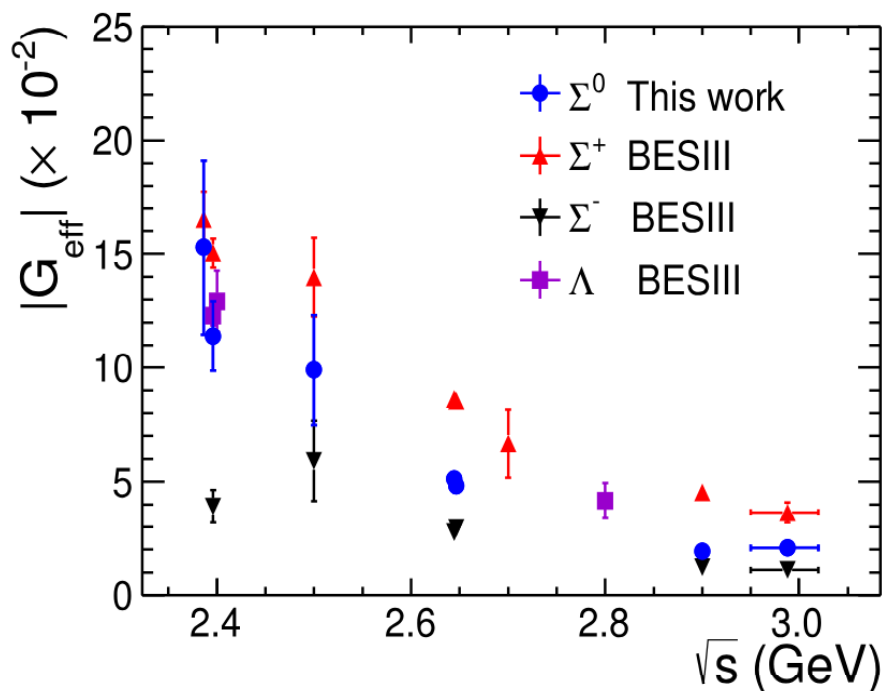
Информация о ЭМФФ нуклонов (и барионов в целом) во времениподобной области по q^2 крайне ограничена и зачастую противоречива. (подробнее в докладе А.Боброва)

ЭМФФ легких гиперонов: $\Lambda\Sigma\Xi\Omega$

Первые результаты по измерению ЭМФФ для гиперонов в эксперименте BESIII.

Energy	\mathcal{L} (pb ⁻¹)
2.3864	22.6
2.3960	66.9
2.6544	67.8
2.9000	105.5
2.9500	16.0
2.9810	16.0
3.0000	15.8
3.0200	17.3
3.0800	126.6

Phys. Lett. B 831 (2022) 137187



BESIII: статистика в области $<\sim 3$ ГэВ всего $O(100 \text{ пб}^{-1})$, несколько точек по энергии.

ВЭПП-6: ЭМФФ и относительная фаза могут быть детально (с малым шагом по энергии) и с высокой точностью (статистикой) измерены от порога рождения ~ 2 ГэВ и до ~ 3 ГэВ.

При проектной светимости ВЭПП-6, темп набора статистики составит $\sim 200 \text{ пб}^{-1}$ в сутки!



(диапазон от 2 ГэВ до 3 ГэВ с шагом 10 МэВ за год)

Физика чармония

BESIII На данный момент:
 $\sim 10^{10} \text{ J}/\psi$ $\sim 3 \times 10^9 \psi(2S)$

ВЭПП6 Год работы со светимостью 10^{34} : $\sim 10^{11} \text{ J}/\psi$ или $\sim 2 \times 10^{10} \psi(2S)$

Мода распада	Бранчинг / сечение	Число событий на BESIII (на данный момент)	Число событий на ВЭПП-6 (год работы)
$\text{J}/\psi \rightarrow \gamma \eta_c$	$(1.41 \pm 0.14) \%$	10^8	10^9
$\psi' \rightarrow \gamma \eta_c$	$(3.6 \pm 0.5) \times 10^{-3}$	10^7	7×10^7
$\psi' \rightarrow \gamma \chi_{c0}$	$(9.75 \pm 0.22) \%$	3×10^8	2×10^9
$\psi' \rightarrow \gamma \chi_{c1}$	$(9.75 \pm 0.27) \%$	3×10^8	2×10^9
$\psi' \rightarrow \gamma \chi_{c2}$	$(9.38 \pm 0.23) \%$	3×10^8	2×10^9
$\psi' \rightarrow \gamma \eta_c(2S)$	$(5.4 \pm 3.4) \times 10^{-4}$	2×10^6	10^7
$\psi' \rightarrow \pi^0 h_c$	$(7.4 \pm 0.5) \times 10^{-4}$	2×10^6	10^7
$e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- h_c$	$(50 \pm 10) \text{ пб}$	$7 \times 10^4 (11 \text{ фб}^{-1})$	5×10^6

Чармоний	Полный известный бранчинг
η_c	60 %
χ_{c0}	30 %
χ_{c1}	50 %
h_c	70 %
χ_{c2}	30 %
$\eta_c(2S)$	10 %



Большой объем данных на ψ и ψ'

– позволит исследовать свойства «легких» (до порога рождение $D\bar{D}$ системы) состояний чармония с высокой точностью;
 (подробнее в докладе А.Винокуровой)

– предоставляет широкие возможности по исследованию структуры систем легких кварков в адронных (многочастичных) распадах чармония;

распад чармония происходит через аннигиляцию с и анти-с кварков в систему глюоны+фотоны => глюонно обогащенная среда, возможно рождение «экзотических» кварк-глюонных систем (гибриды) или чисто глюонных систем (глюболы);
 (подробнее в докладе Л.Кардапольцева)

Заключение

Эксперимент ВЭПП-6 предоставляет уникальную возможность провести **всестороннее и систематическое** исследование непертурбативных эффектов КХД:

- динамическая масса адронов
- структура КХД вакуума
- механизм конфайнмента
- поиск эффектов вне Стандартной модели

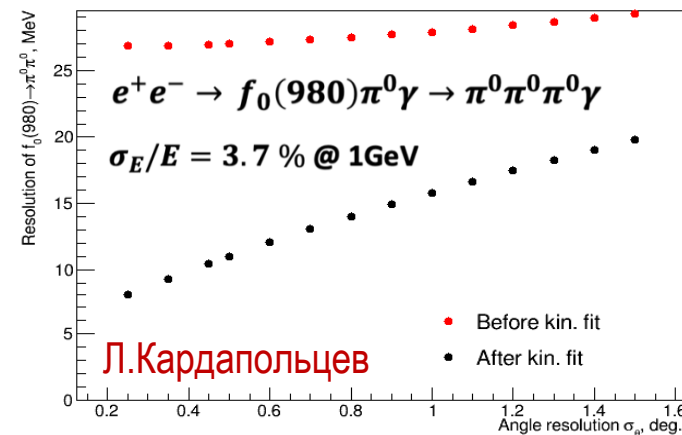
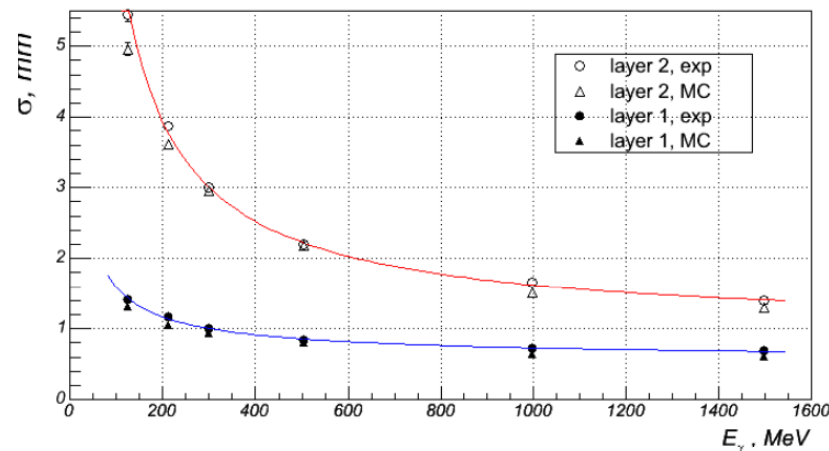
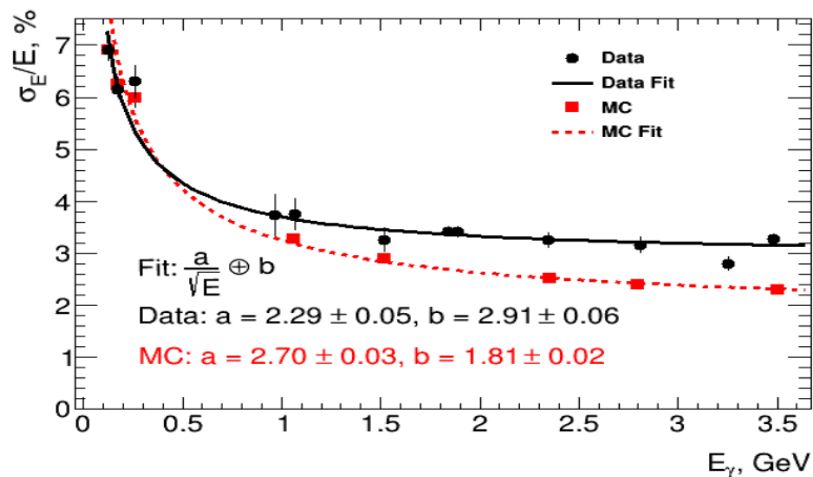
+ Вычисления на решетках

Ведется активная работа по подготовке текстового документа «Физическая программа эксперимента ВЭПП-6».

Формируются требования к ключевым системам детектора. В настоящее время используется быстрое (параметрическое) моделирование для оценки фонов и эффективности к сигналам.

Компановка детектора, создание полного моделирования.

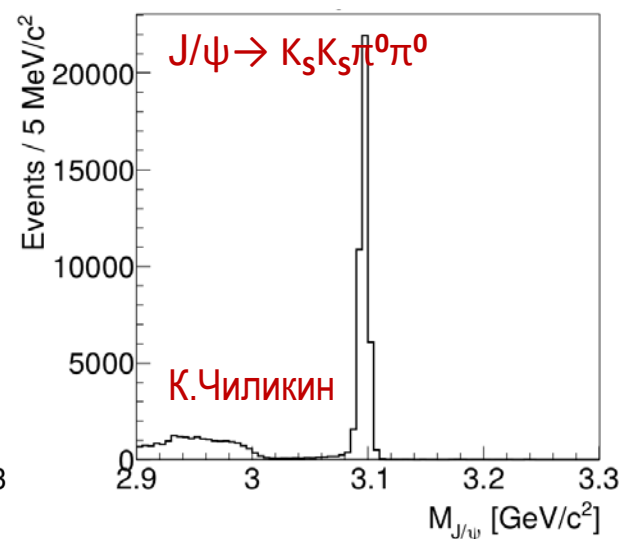
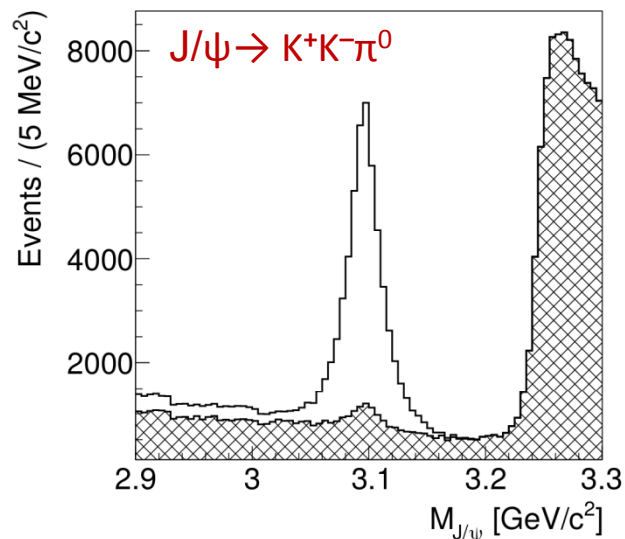
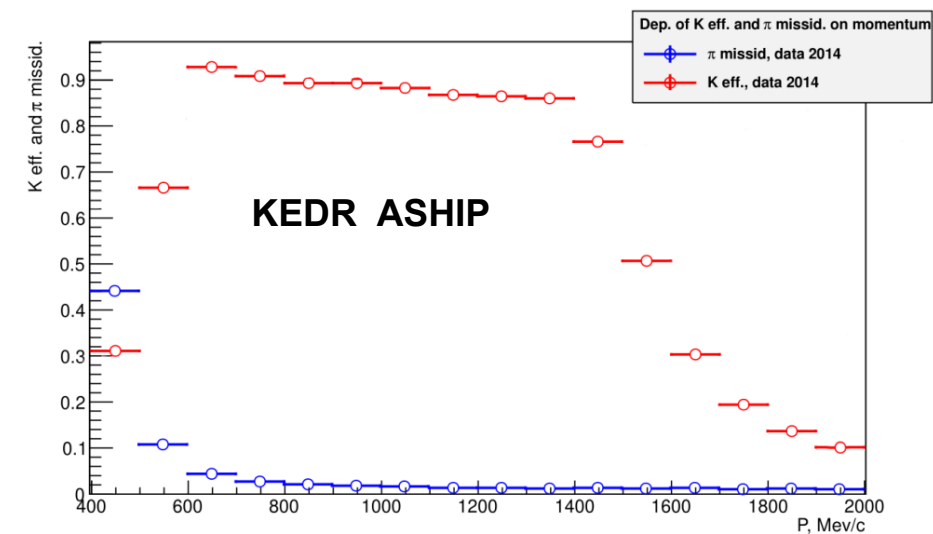
Детектор: Быстрое моделирование



Высокое пространственное разрешение LKr позволяет частично компенсировать потерю энергетического разрешения.

Возможно ли улучшить энергетическое разрешение с новой электроникой?

Каково влияние большой загрузки (светимости) на параметры?



Заключение

Эксперимент ВЭПП-6 предоставляет уникальную возможность провести **всестороннее и систематическое** исследование непертурбативных эффектов КХД:

- динамическая масса адронов
- структура КХД вакуума
- механизм конфайнмента
- поиск эффектов вне Стандартной модели



+ Вычисления на решетках

ВЭПП-6 уникальный проект – в этой области энергий нет (и не планируется!) других экспериментов со сравнимыми параметрами.

ВЭПП-6 и BESIII (CTCF) не являются конкурентами!

Чрезвычайно широкая программа исследований CTCF выше порога рождения $D\bar{D}$ (>4 ГэВ). CTCF+ ВЭПП-6(+ВЭПП-2000М?) способны обеспечить уникальную синергию в изучении КХД при низких энергиях.

Частичное перекрытие диапазонов даст возможность «сшивки» и перекрестных проверок.