

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ
 $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ И $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$
НА ДЕТЕКТОРЕ СНД

Константин Белобородов

по материалам апробации

Дубна 15.03.2017

Введение

Цель изучения процессов $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ и $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$:

➤ Точное измерение сечений процессов:

- Исследование спектроскопия легких векторных мезонов ρ , ω , ϕ и их радиальных и орбитальных возбужденных состояний:

ρ' , ω' , ϕ' , ρ'' , ω'' , ϕ'' , ... ;

- Дает вклад в полное сечение $e^+e^- \rightarrow hadrons$, которое используется для вычисления величин:

$(g-2)_\mu$ – аномального магнитного момента мюона;

$\alpha_{em}(M_Z)$ – электромагнитная константа связи на массе Z-бозона.

- Совместный анализ $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ и $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$ позволяет:

- Разделить изоскалярную $A(I=0)$ и изовекторную $A(I=1)$ амплитуды процесса: $\gamma^* \rightarrow K\bar{K}$
- Тест CVC ($\tau^- \rightarrow K^- K^0 \nu_\tau$)

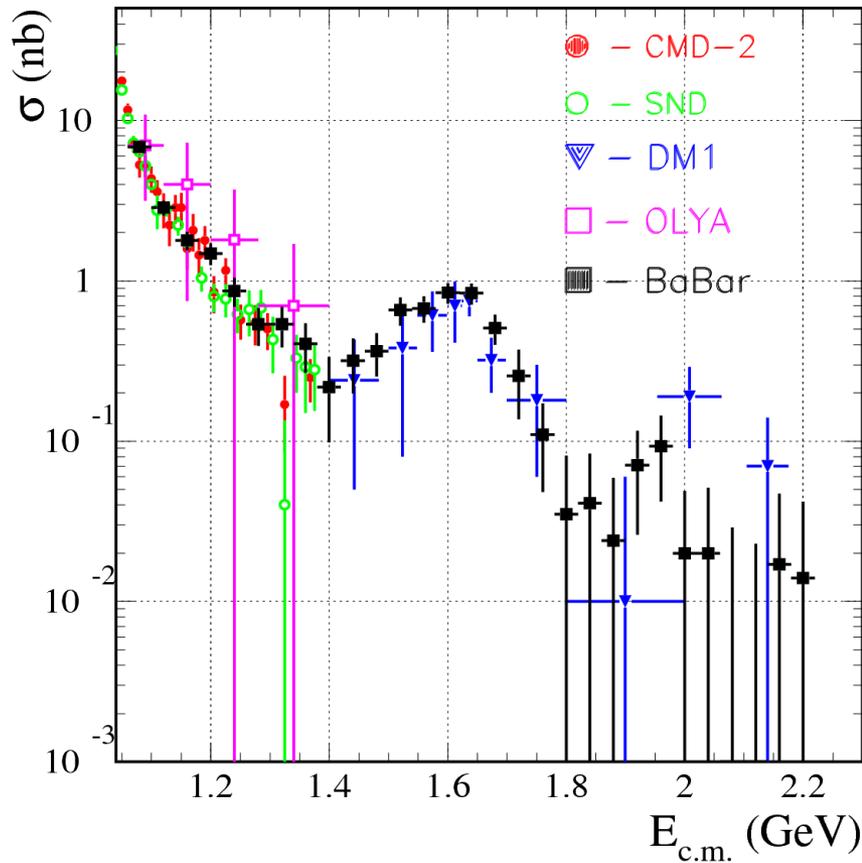
➤ Проверка новых аэрогелевых счетчиков на каонах

- Исследование других процессов с каонами

➤ Процесс $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$ используется как источник K_L :

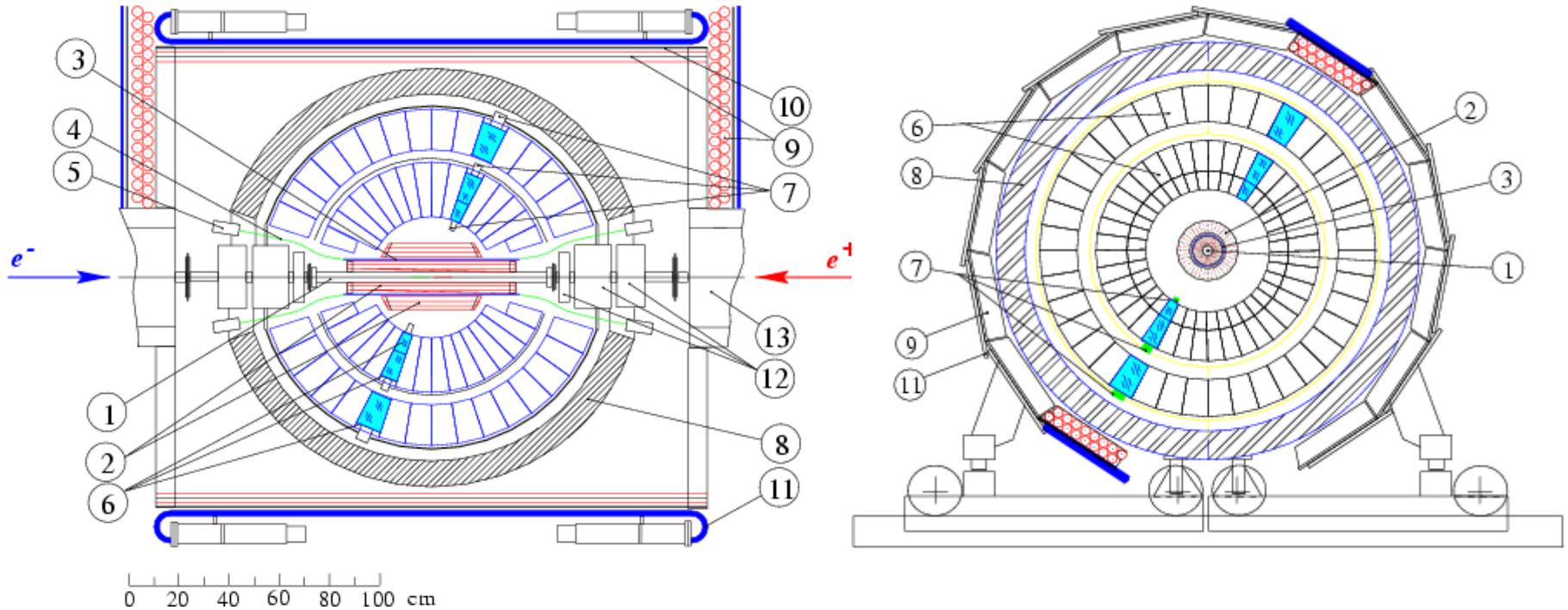
- Измерение ядерной неупругой длины в NaI
- Проверка программ моделирования (UNIMOD, GEANT и т.д.)
- Коррекция моделей для ядерного взаимодействия при малых импульсах K_L

Экспериментальное изучение процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$ с детектором СНД в интервале энергии $2E_0 = 1.04 \div 1.38$ ГэВ



Эксперимент	год	$2E$, GeV	L , nb $^{-1}$
ОЛЯ (ВЭПП-2М)	1982	1,06÷1,40	0,7
DM1 (DCI)	1981	1,40÷2,18	1,4
КМД2 (ВЭПП-2М)	2003	1,05÷1,4	9,0
BABAR (PEPII)	2014	1,08÷2,16	

Детектор СНД

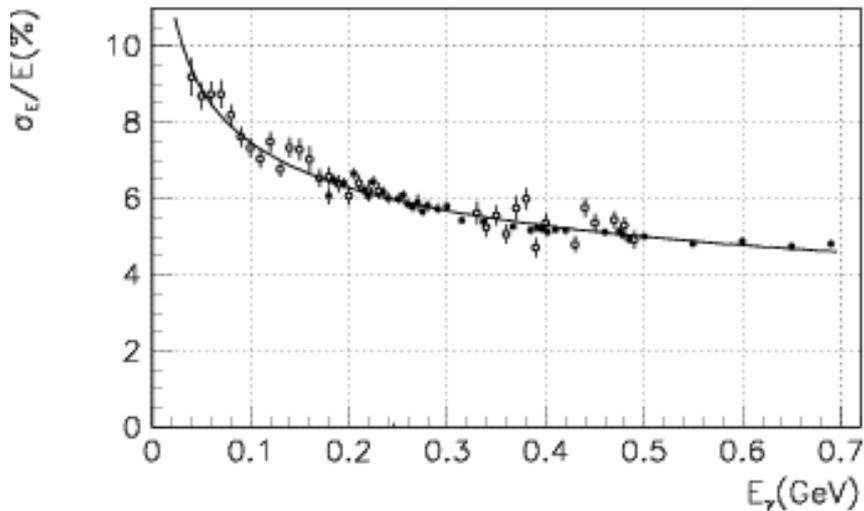


1 --- вакуумная камера ВЭПП-2М, 2 --- трековая система, 3-5 --- внутренний сцинтилляционный счетчик, 6 --- кристаллы NaI(Tl), 7 --- вакуумные фототриоды, 8 --- железный поглотитель, 9-11 --- мюонная система, 12-13 --- элементы ВЭПП-2М

Калориметр Снд

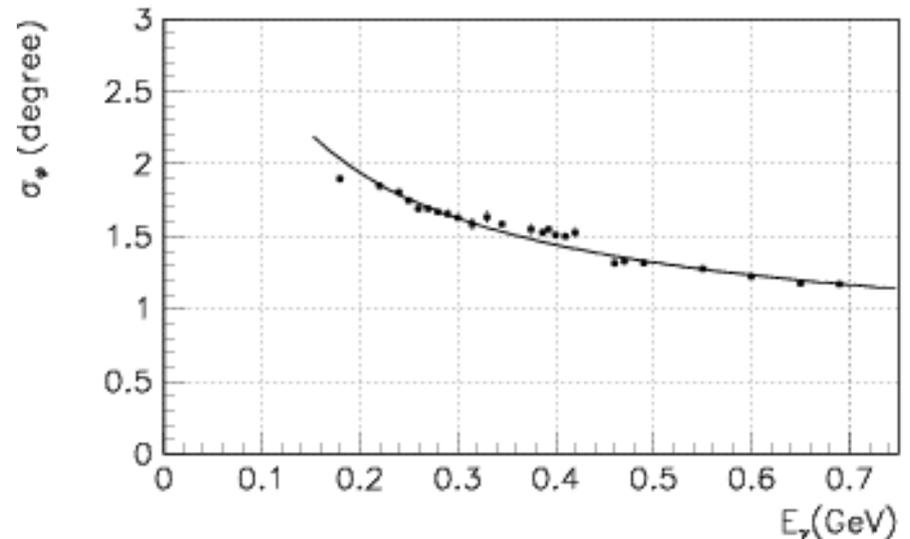
- Телесный угол 90 % от 4л
- толщина 13,4 X_0
- большая гранулированность 1632 кристалла
- хорошее угловое и энергетическое разрешение

Энергетическое разрешение



$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{4.2\%}{\sqrt[4]{E(\text{GeV})}}$$

Угловое разрешение



$$\sigma_{\varphi, \theta} = \frac{0.82^\circ}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus 0.63^\circ$$

Эксперименты МНАД

МНАД9701:

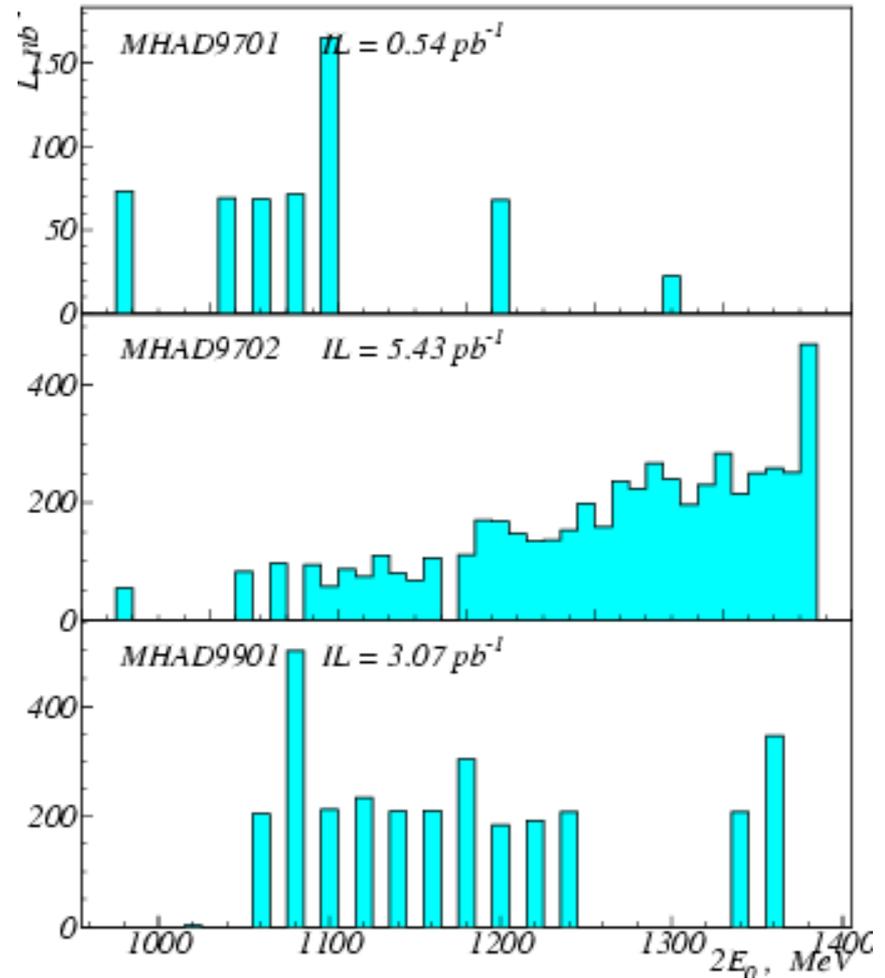
- январь–февраль 1997
- 7 точек по энергии
- $L=0,54 \text{ пб}^{-1}$

МНАД9702:

- февраль–июнь 1997
- 32 точек по энергии
- $L=5,43 \text{ пб}^{-1}$

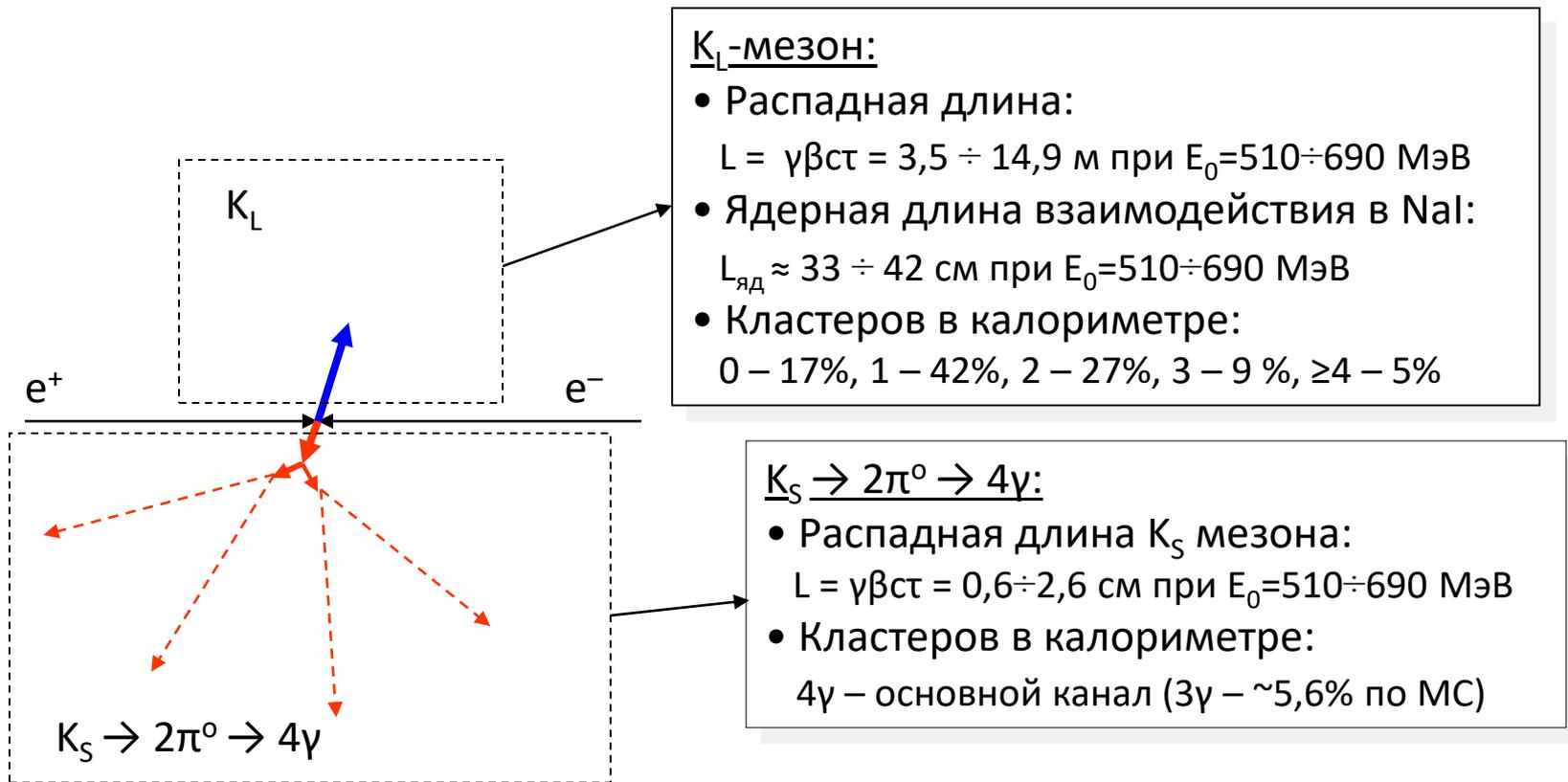
МНАД9901:

- декабрь 1998 – апрель 1999
- 14 точек по энергии
- $L=3,07 \text{ пб}^{-1}$



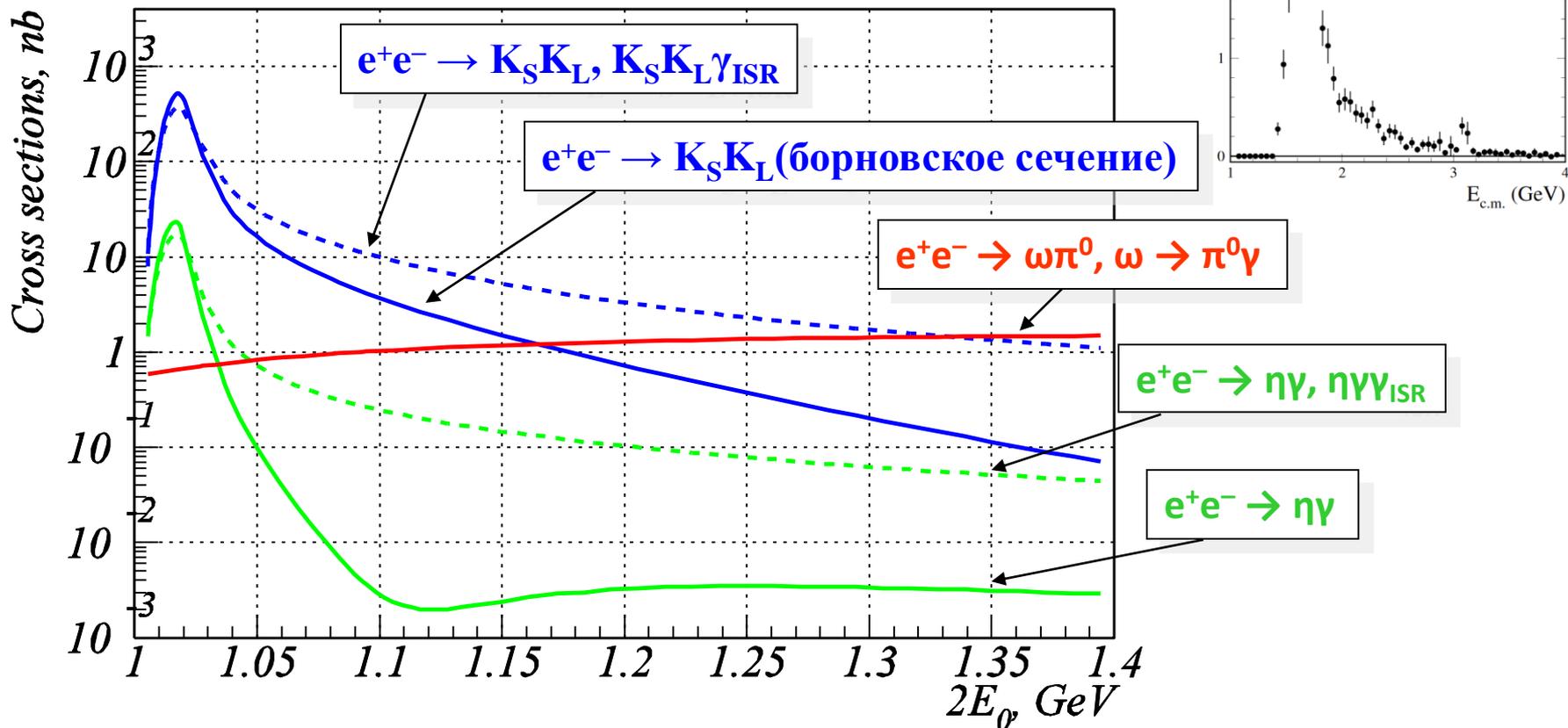
* В обработке использовались данные с энергией $2E_0 \geq 1,04 \text{ ГэВ}$

Некоторые особенности процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$



1. Основная часть событий содержит 4 кластера от распада K_S -мезона + кластеры от ядерного взаимодействия K_L -мезона в калориметре
2. Практически не содержит заряженных частиц
3. Возможны большие величины недостающей энергии и импульса в событии

Фоновые процессы



«Нефизический фон»:

1. пучковый фон
2. космический фон

Условия отбора

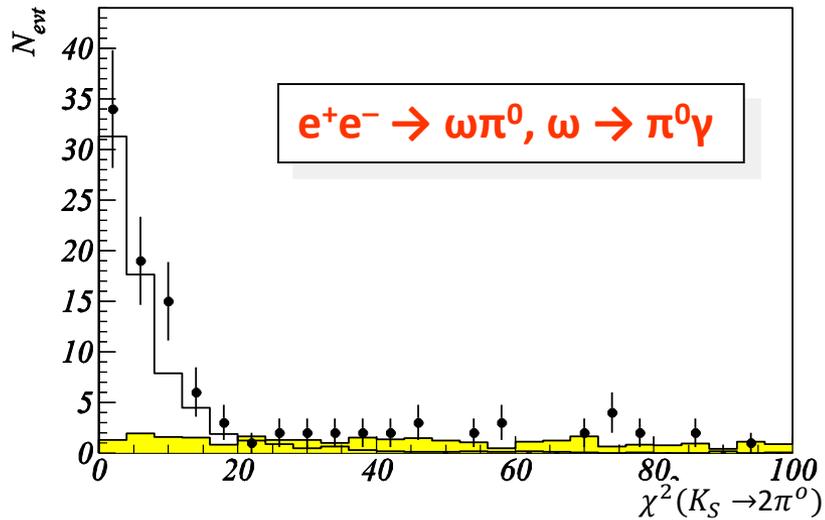
1. Нейтральный триггер
2. $N_{NP} \geq 4$
3. $N_{CP} = 0$
4. Исключались события с найденным в калориметре космическим треком

-
- $\chi_1^2 < 25$ в гипотезе $K_S \rightarrow 2\pi^0 \rightarrow 4\gamma$
 - * $\zeta_\gamma < 0$
 - * $36^\circ < \theta_\gamma < 144^\circ$
 - * $400 < M_{REC} < 550$ – масса отдачи K_S
 - $\chi_2^2 > 60$ в гипотезе $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$

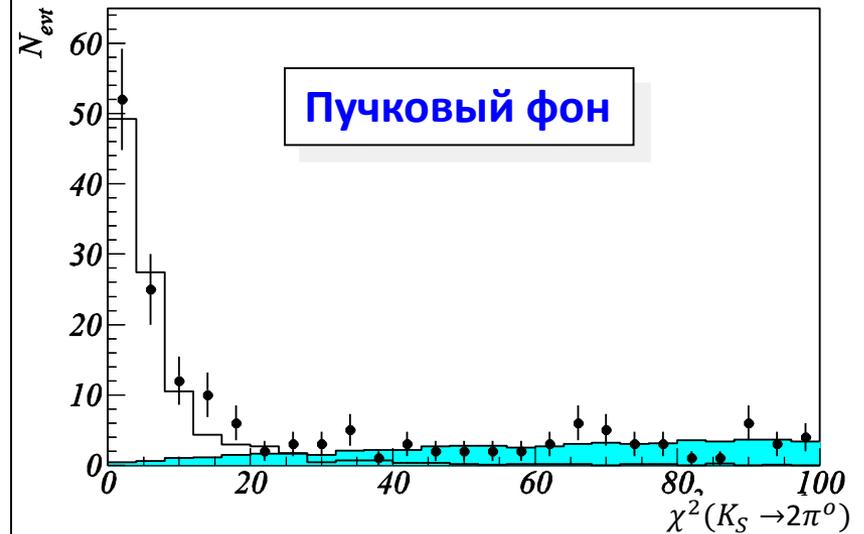
* – только для фотонов вошедших в реконструированный K_S -мезон

- ζ – параметр «качества» фотона. Используется для подавления вклада кластеров от распадов или ядерного взаимодействия K_L -мезона
- θ – полярный угол фотона. Используется для подавления вклада пучкового фона.
- M_{REC} – масса отдачи K_S . Используется для подавления вклада процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \gamma_{ISR}$
- χ_2^2 – позволяет подавить вклад процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0$, $\omega \rightarrow \pi^0\gamma$ и $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$, $\eta\gamma\gamma_{ISR}$

Оценка вклада фонов



- Дополнительные условия:
 - $\sqrt{s} > 1,2$ ГэВ
 - $N_{NP} < 7$
 - $E_{tot} \geq 0.5 \sqrt{s}$
- Точность определения фона: **~5%** (сист.)

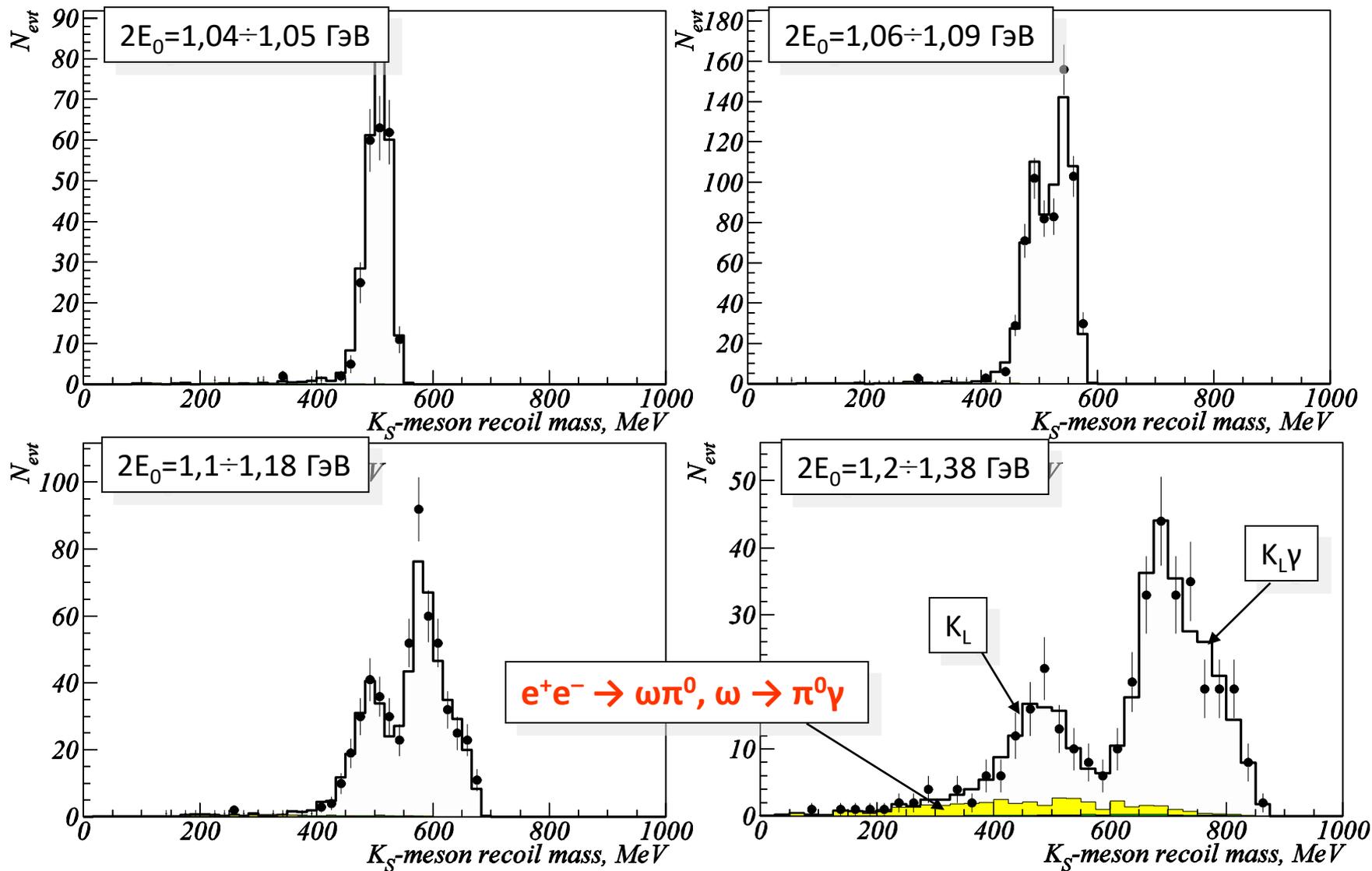


- Дополнительные условия:
 - $\sqrt{s} > 1,12$ ГэВ
 - $E_{tot} < 0.5 \sqrt{s}$
- Точность определения фона: **~20%** (сист.)

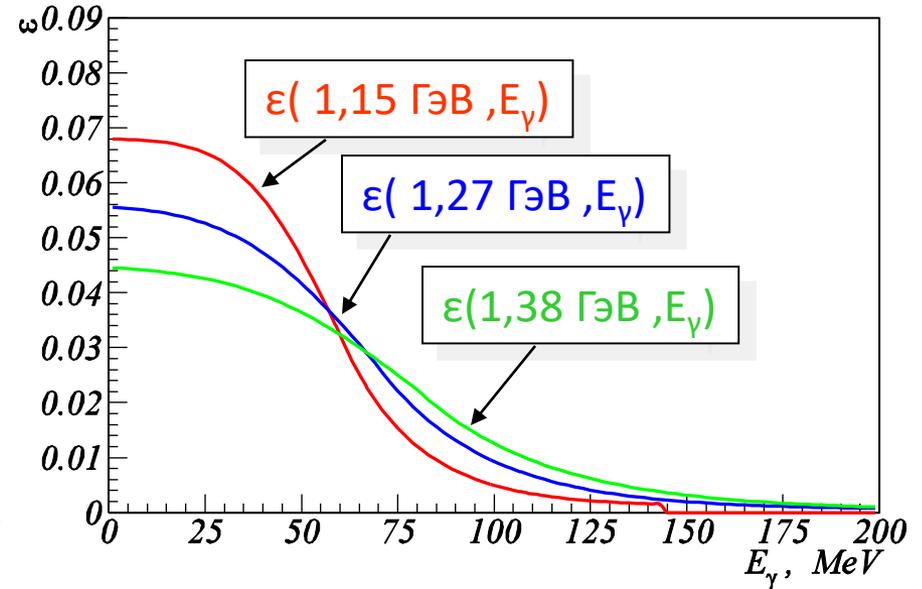
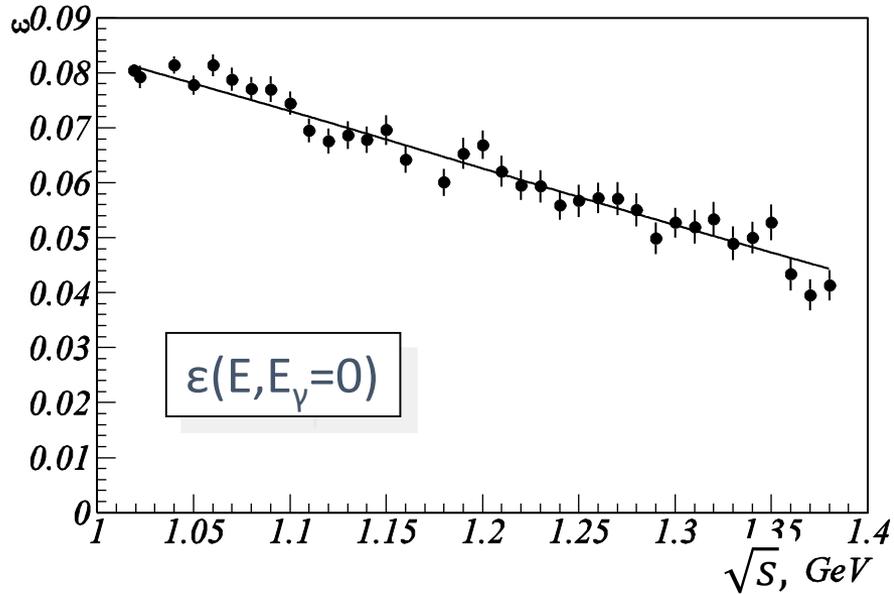
$e^+e^- \rightarrow \eta\gamma, \eta\gamma\gamma_{ISR}$

- вклад определялся по моделированию
- систематическая погрешность не более **3%** и определяется:
 - ✓ точностью определения сечения в области ϕ -мезона – **~2%**
 - ✓ точностью вычисления радипоправки – **~1%**

Масса отдачи K_S -мезона



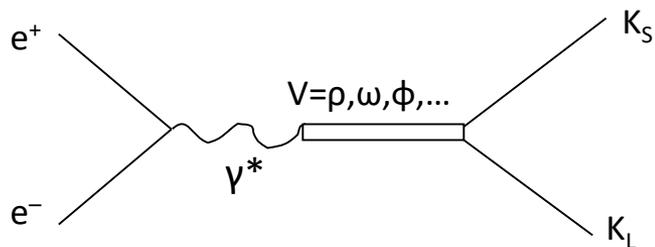
Эффективность регистрации $\varepsilon(E, E_\gamma)$



$$\sigma_{vis}(E) = \sigma_0(E) \cdot \varepsilon(E) \cdot (1 + \delta(E)) \quad \Longrightarrow \quad \sigma_{vis}(E) = \int_0^1 dz \sigma_0(E(1-z)) F(E, z) \varepsilon(E, zE)$$

Аппроксимация данных

Модель векторной доминантности



$$\sigma_0(s) = \frac{12\pi}{s^{3/2}} \left| \sum_{V=\rho,\omega,\phi,\dots} \frac{\sqrt{\Gamma_{V \rightarrow K_S K_L}(s) \Gamma_{V \rightarrow e^+ e^-} m_V^3 e^{i\theta_V}}}{s - m_V^2 + im_V \Gamma_V(s)} \right|^2$$

$$\Gamma_\phi(s) = \Gamma_{\phi \rightarrow K^+ K^-}(s) + \Gamma_{\phi \rightarrow K_S K_L}(s) + \Gamma_{\phi \rightarrow 3\pi}(s) + \Gamma_{\phi \rightarrow \eta\gamma}(s) + \Gamma_{\phi \rightarrow \pi^0 \gamma}(s)$$

$$\Gamma_\omega(s) = \Gamma_{\omega \rightarrow 3\pi}(s) + \Gamma_{\omega \rightarrow \eta\gamma}(s) + \Gamma_{\omega \rightarrow \pi^0 \gamma}(s) + \Gamma_{\omega \rightarrow 2\pi}(s)$$

$$\Gamma_\rho(s) = \Gamma_{\rho \rightarrow 2\pi}(s)$$

SU(3)

$$\Gamma_{\rho \rightarrow K_S K_L}(s) = \Gamma_{\omega \rightarrow K_S K_L}(s) = 2\Gamma_{\phi \rightarrow K_S K_L}(s)$$

$$\theta_\rho = 0^\circ \quad \theta_\omega = 180^\circ \quad \theta_\phi = 180^\circ$$

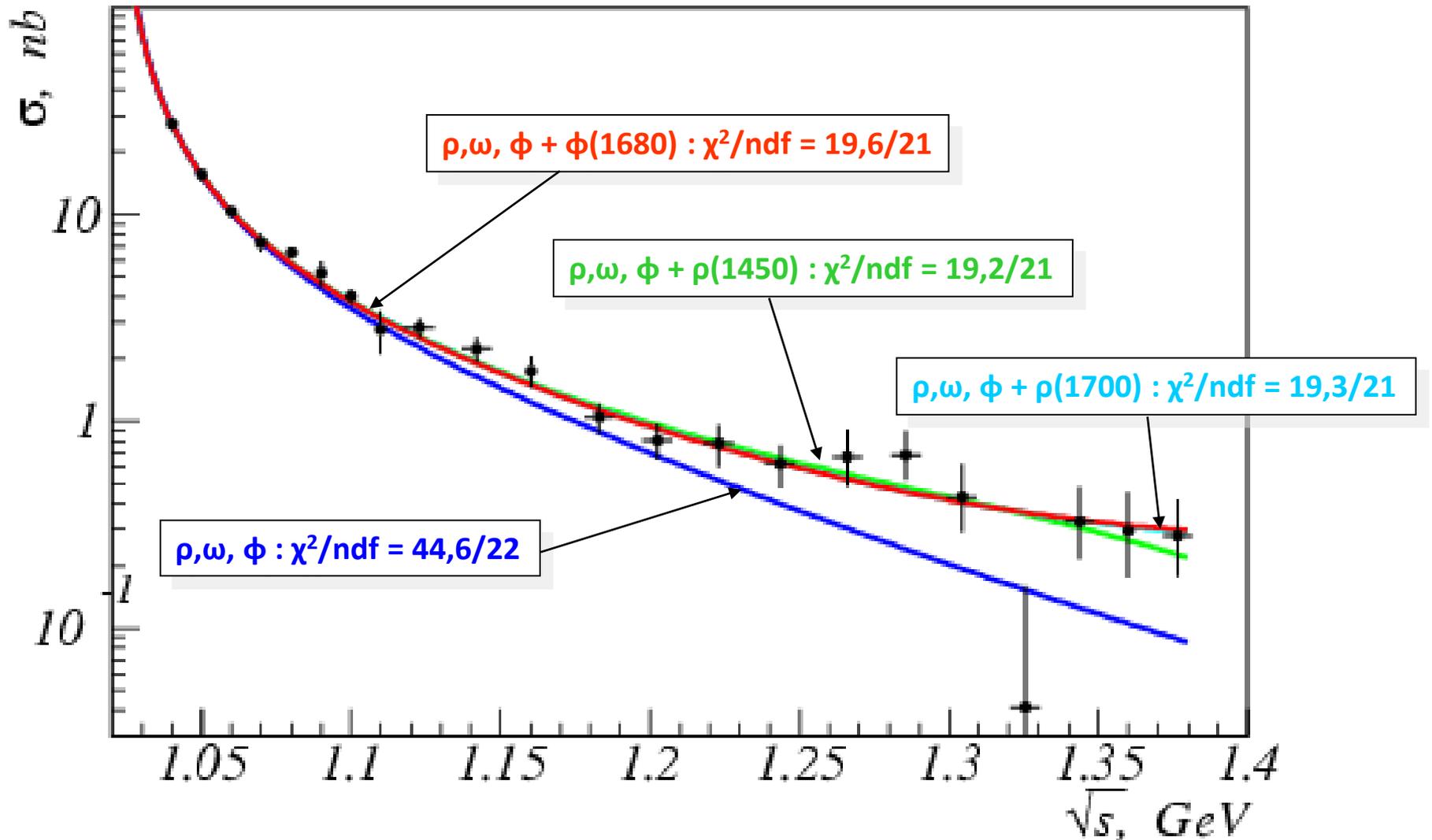
$J^{PC} = 1^{--}$

$n^{2S+1}J$	I=1	I=0	I=0
1^3S_1	$\rho(770)$	$\phi(1020)$	$\omega(783)$
1^3D_1	$\rho(1700)$	—	$\omega(1650)$
2^3S_1	$\rho(1450)$	$\phi(1680)$	$\omega(1420)$

Описание:

- Брейт-Вигнер
- $\Gamma_V(s) = \Gamma_{V \rightarrow K_S K_L}(s)$
- $\theta_V = 0^\circ$

Борновское сечение процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$



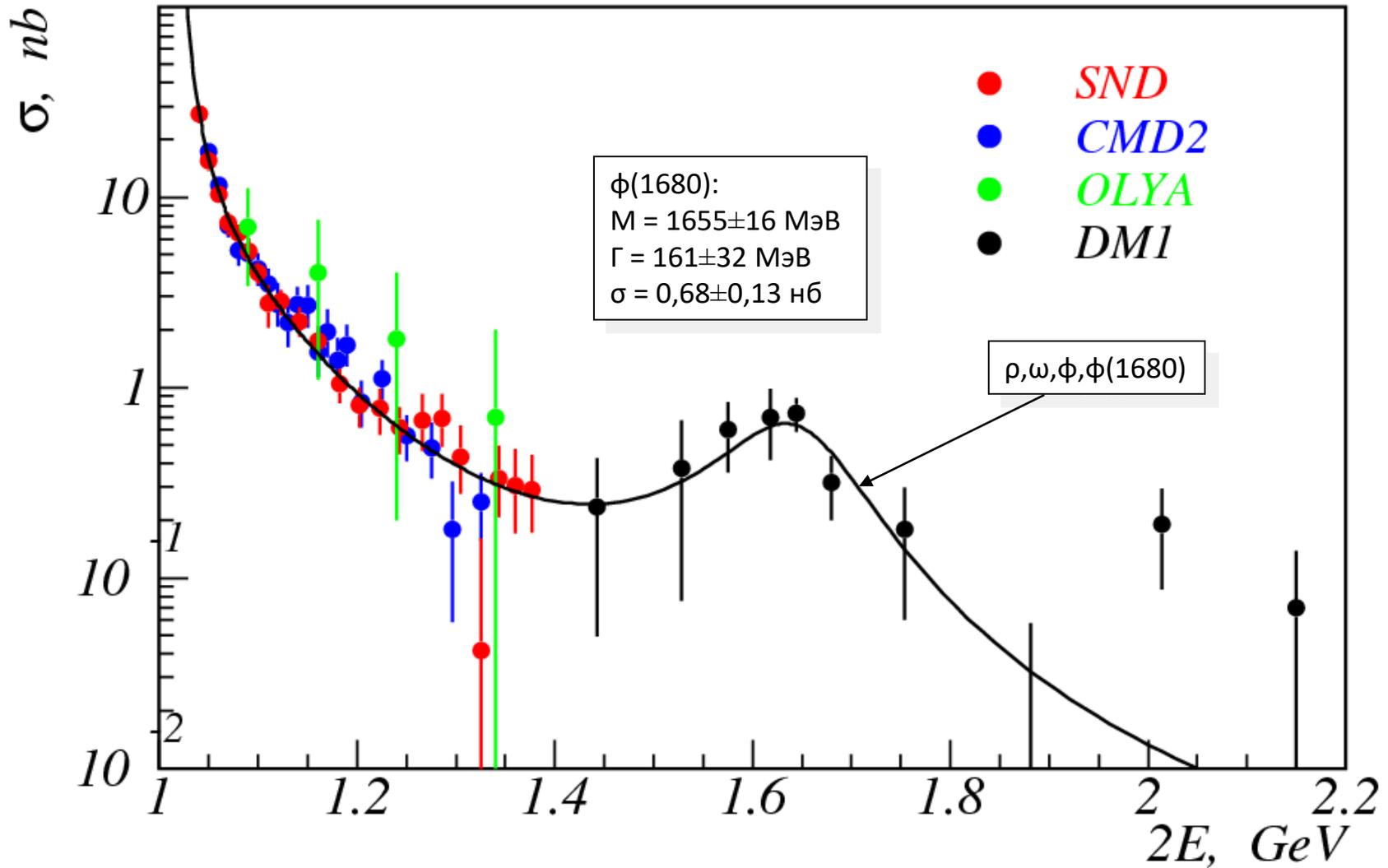
Систематические погрешности

Источники систематической ошибки:

	$2E_0:$	$1,04 \div 1,38 \text{ ГэВ}$
➤ определение светимости		2 %
➤ эффективность регистрации		$2,1 \div 2,5 \%$
➤ определение фона		$0,4 \div 4,0 \%$
➤ модельная зависимость		$1,5 \div 2,5 \%$
Суммарная погрешность		$3,3 \div 5,7 \%$

* Суммарная систематическая погрешность вычислялась как сумма независимых погрешностей

Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$



Заключение I

- Измерено сечение процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$ в интервале энергии $2E_0 = 1,04 \div 1,38$ ГэВ с детектором СНД
- Наблюдается значительное превышение измеренного сечения процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$ над предсказанием Модели векторной доминантности, учитывающей только наличие легких векторных мезонов $\rho(770)$, $\omega(783)$ и $\phi(1020)$
- Данное превышение может быть объяснено наличием возбужденных состояний $\rho(770)$, $\omega(783)$ и $\phi(1020)$ мезонов

Измерение длины неупругого ядерного взаимодействия K_L -мезонов в калориметре на основе NaI(Tl)

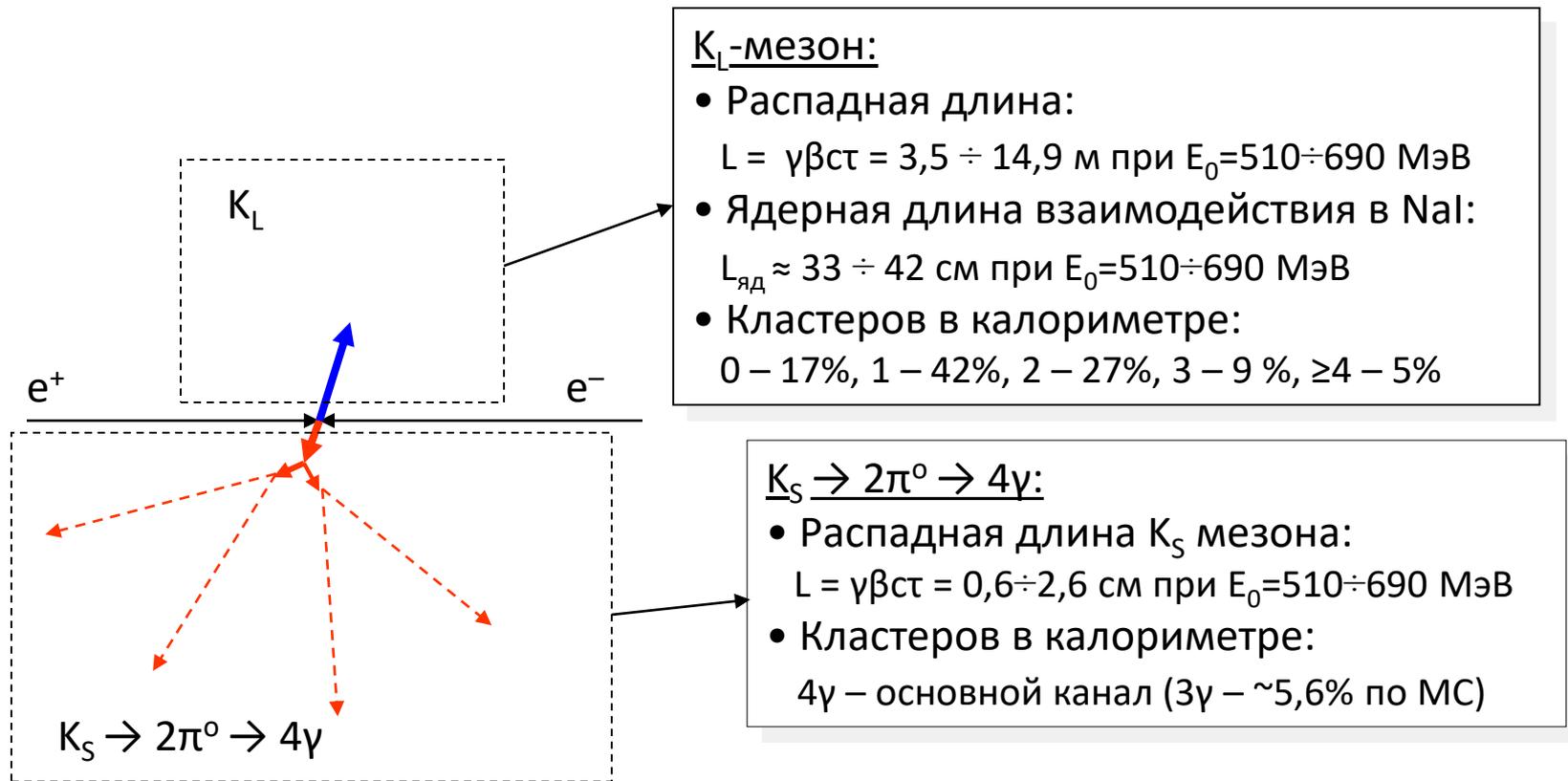
Мотивация:

- Отсутствуют экспериментальные данные (K_L +NaI) при низких импульсах
- Необходимость проверки программ моделирования (UNIMOD, GEANT4)
- Коррекция моделей

Существующие измерения:

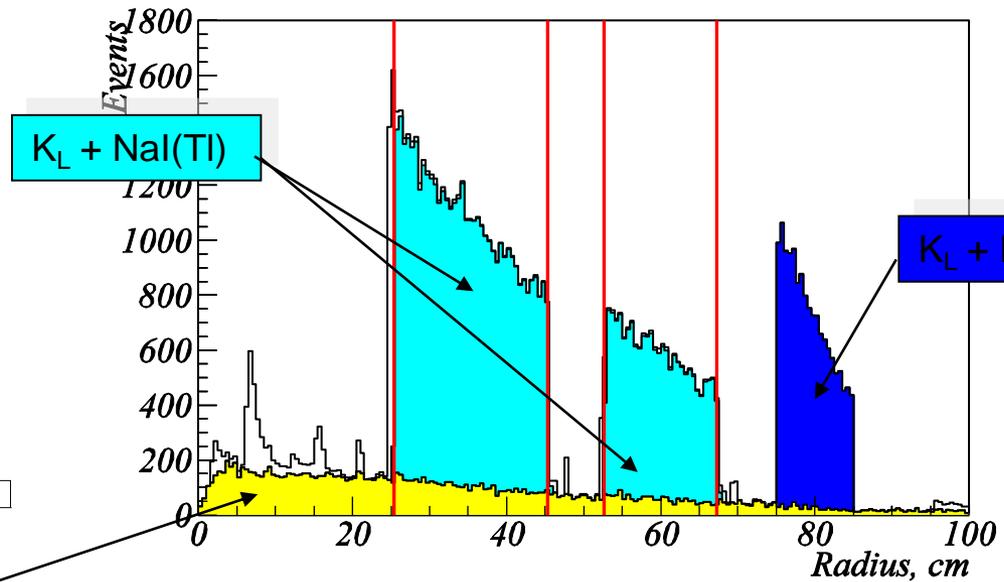
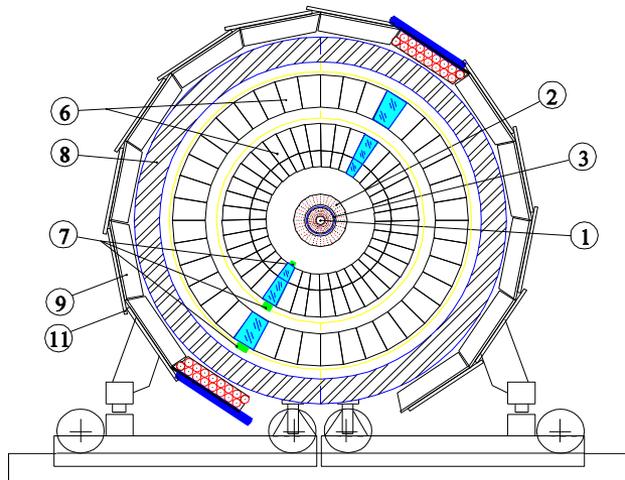
1. Принстон-Пенсильванский ускоритель (1967):
измерение полного ядерного сечения K_L с Be, C, Al, Fe, Cu, Pb и U в диапазоне импульса каона от 0.168 до 0.343 ГэВ/с
2. КМД2 (1996):
Полное ядерное сечение K_L с Be, $p=0,114$ ГэВ/с

Некоторые особенности процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$



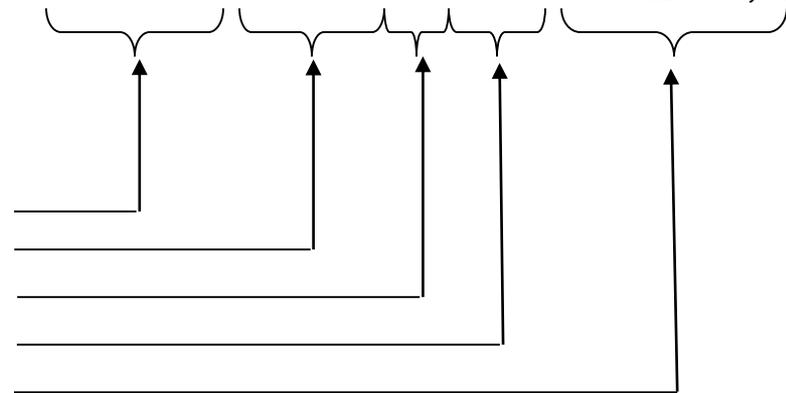
1. Основная часть событий содержит 4 кластера от распада K_S -мезона + кластеры от ядерного взаимодействия K_L -мезона в калориметре
2. Практически не содержит заряженных частиц
3. Возможны большие величины недостающей энергии и импульса в событии

Взаимодействие K_L мезона с детектором СНД. Моделирование.



Распады K_L мезонов

1. Дрейфовая камера, внутренний сч. счетчик
2. I и II слои калориметра
3. Область между II и III слоями калориметра
4. III слой калориметра
5. Железный поглотитель, внешняя система



Метод восстановления длины неупругого взаимодействия K_L с NaI(Tl)

1. N_0 – общее число событий
2. $n_1 = w_1 \cdot N_0, \quad N_1 = N_0 - n_1$
3. $n_2 = w_2 \cdot N_1, \quad N_2 = N_1 - n_2, \quad w_2 = 1 - \exp(-L_2/\lambda), \quad 1/\lambda = 1/\lambda_d + 1/\lambda_{in}$
4. $n_3 = w_3 \cdot N_2, \quad N_3 = N_2 - n_3$
5. $n_4 = w_4 \cdot N_3, \quad N_4 = N_3 - n_4, \quad w_4 = 1 - \exp(-L_4/\lambda), \quad 1/\lambda = 1/\lambda_d + 1/\lambda_{in}$
6. $n_5 = N_4$

N_{i-1} – число событий на входе i -го слоя

n_i – число событий с распадом или с неупругим взаимодействием в i -ом слое

w_i – вероятность распада или неупругого взаимодействия в i -ом слое

L_2, L_4 – толщины I+II и III слоев калориметра ($L_2=20,0$ см, $L_4=14,7$ см)

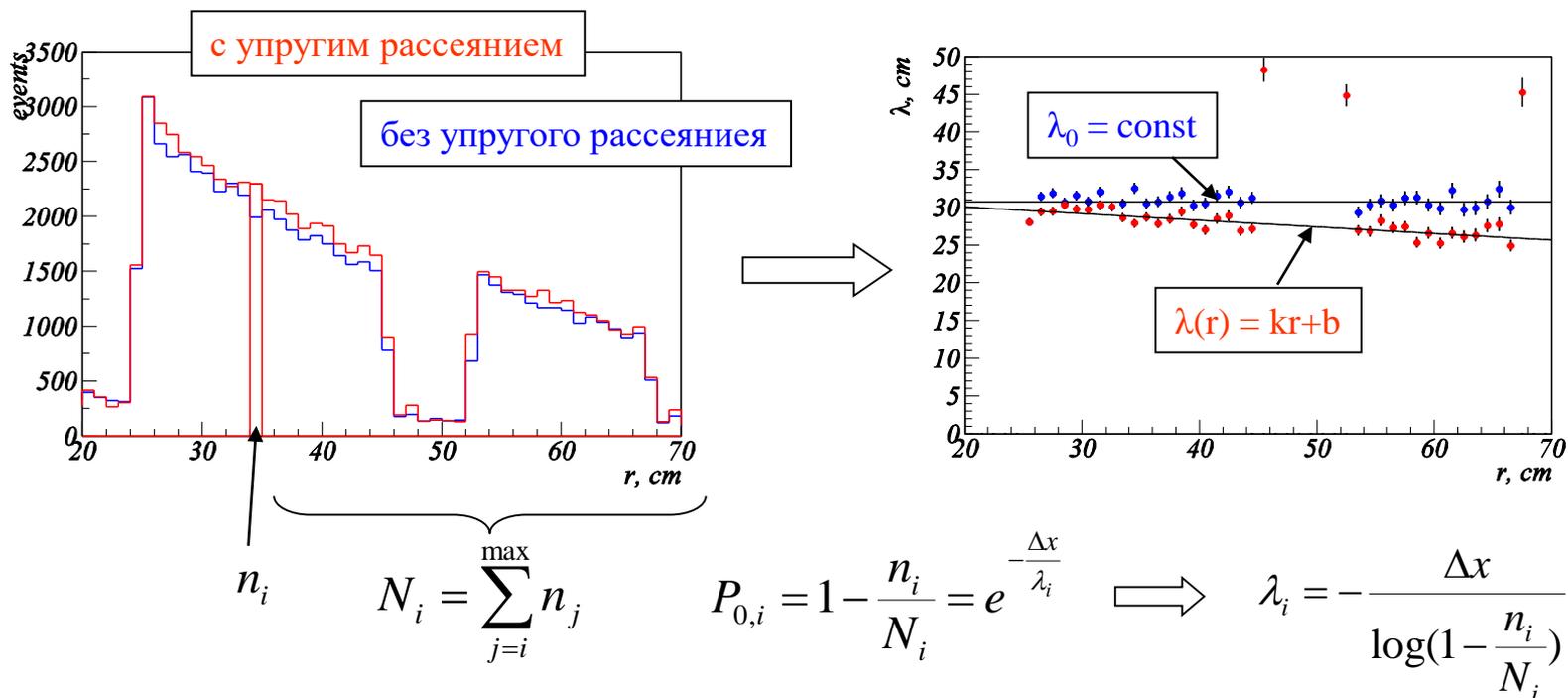
λ_{in} – длина неупругого взаимодействия K_L мезона в NaI(Tl)

λ_d – распадная длина K_L мезона: $\lambda_d = \sigma \tau \gamma \beta, \quad \sigma \tau = 15,33$ м

$$\left. \begin{aligned} n_{\gamma=4} &= \sum_{i=1}^5 \varepsilon_{i,\gamma=4} n_i \\ n_{\gamma>4} &= \sum_{i=1}^5 \varepsilon_{i,\gamma>4} n_i \end{aligned} \right\} \Rightarrow P_0(\lambda_{in}) = \frac{n_{\gamma=4}}{n_{\gamma=4} + n_{\gamma>4}} \Rightarrow \lambda_{in}$$

$\varepsilon_{i,\gamma=4}, \varepsilon_{i,\gamma>4}$ – эффективности регистрации событий $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$ для i -го слоя

Учет упругого ядерного взаимодействия K_L с NaI(Tl)



Эффективная толщина calorimetра

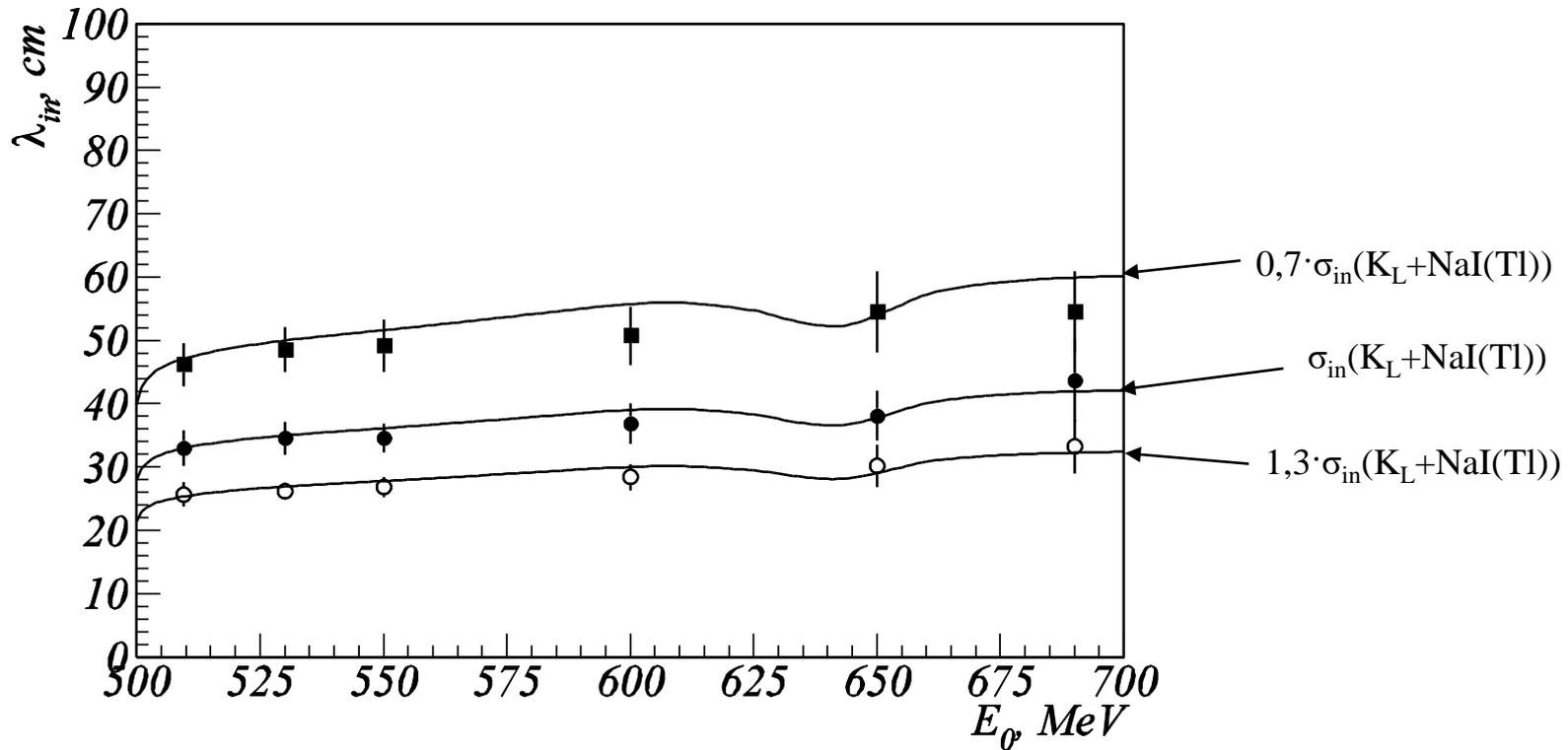
$$L_* = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\lambda_0}{\lambda(r)} dr \quad \sigma_{L_*} \approx L_* - L$$

Слой	L, см	L*, см	σ_{L_*}/L_* , %
I+II	20,00	20,71	3,5
III	14,70	16,45	11,2

Восстановление длины неупр. яд.-ого взаимодей.-я K_L

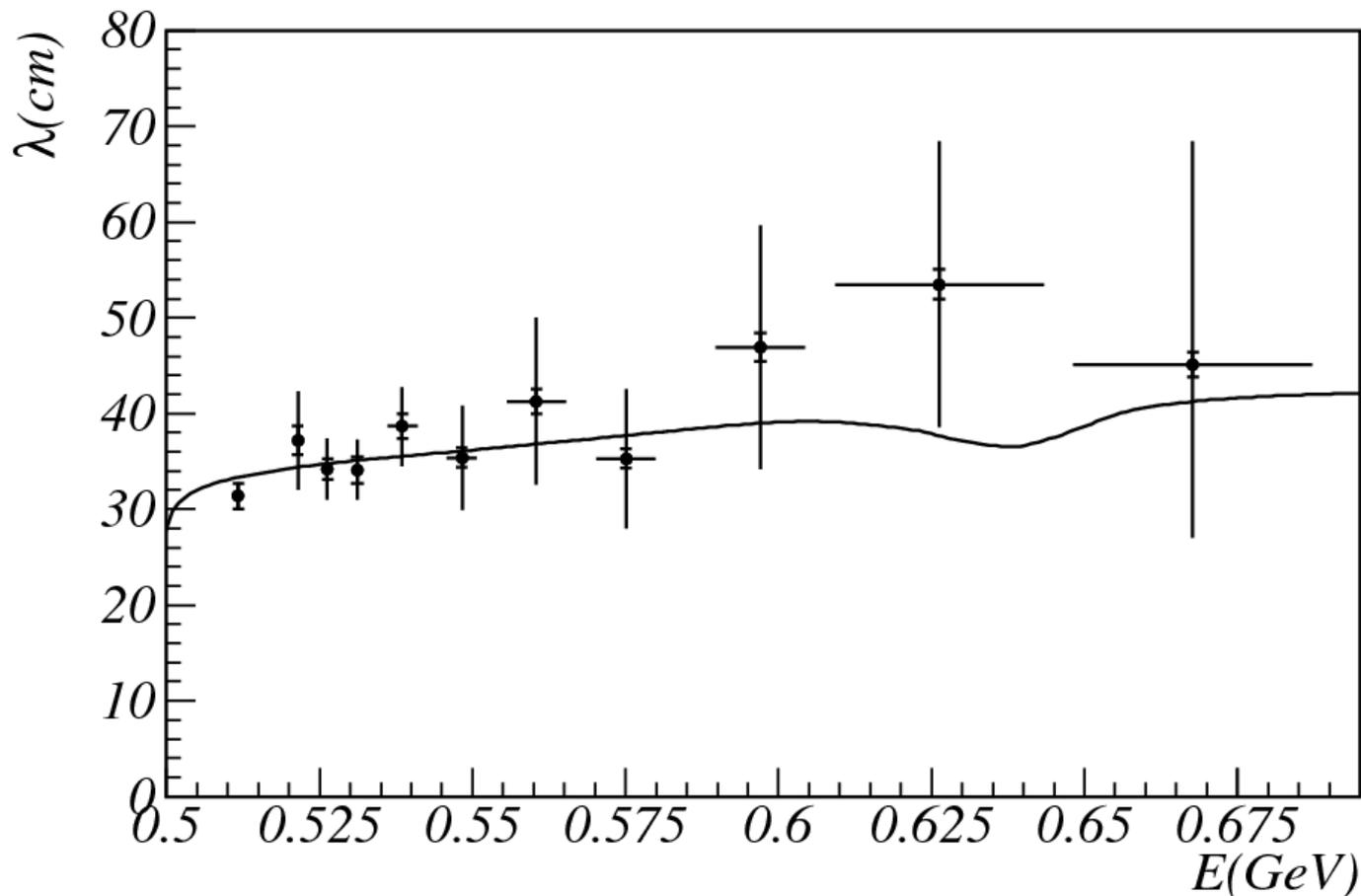
	$\lambda_{in, c}$, см	$(\lambda_{in, c} - \lambda_{in})/\lambda_{in, c}$, %
SCATTER ($\lambda_{in, c}$)	32,96	0,0
без поправки (L)	30,50	-7,5
с поправкой (L*)	32,86	-0,3

Длина неупругого ядерного взаимодействия K_L в NaI(Tl). Моделирование.



На рисунке линиями представлена расчетная длина ядерного неупругого взаимодействия K_L мезона в NaI(Tl) в зависимости от энергии K_L мезона. Расчет выполнялся для трех различных величин сечений. Точками представлены результаты восстановления длины из полученных данных. Видно хорошее согласие.

Длина неупругого ядерного взаимодействия K_L в NaI(Tl). Эксперимент.



На рисунке линией показана расчетная длина ядерного неупругого взаимодействия K_L мезона в NaI(Tl) в зависимости от энергии K_L мезона. Точками показаны полученные экспериментальные данные. Также показана полная ошибка (статистическая + систематическая) без риска. Систематическая ошибка показана с рисками. Видно хорошее согласие.

Учет энергетического спектра K_L мезонов.

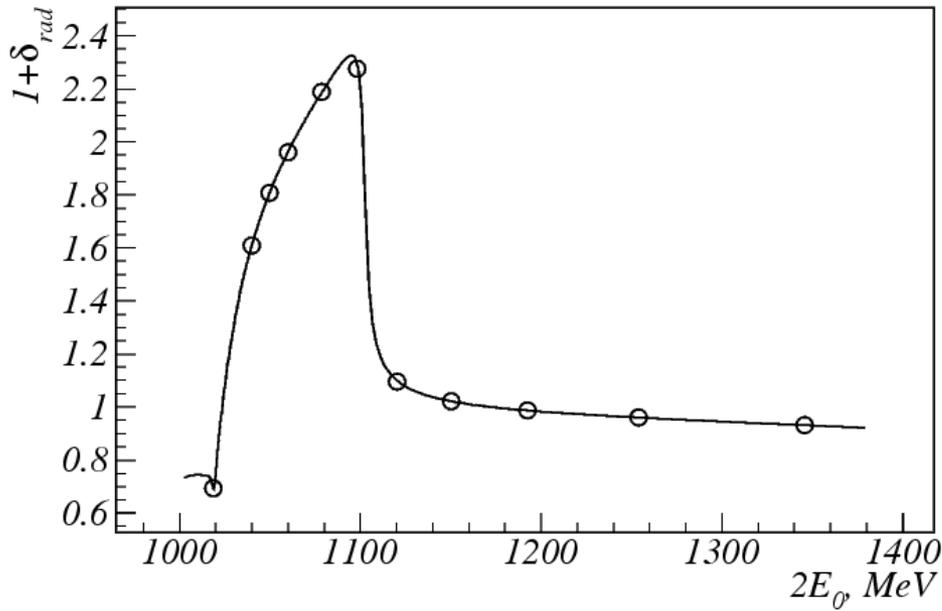


Рис. 8. Зависимость радиационной поправки к сечению процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$ от энергии.

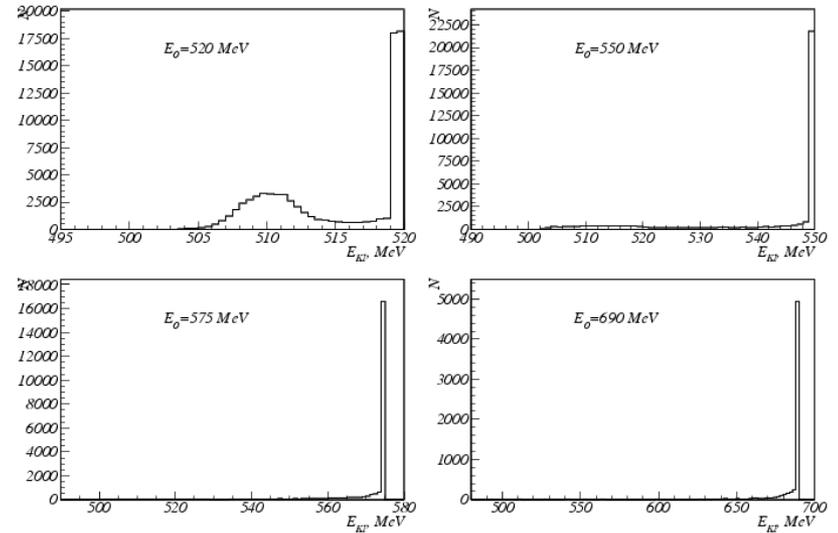


Рис. 9. Распределения событий по энергии зарегистрированного K_L -мезона для различной энергии пучка.

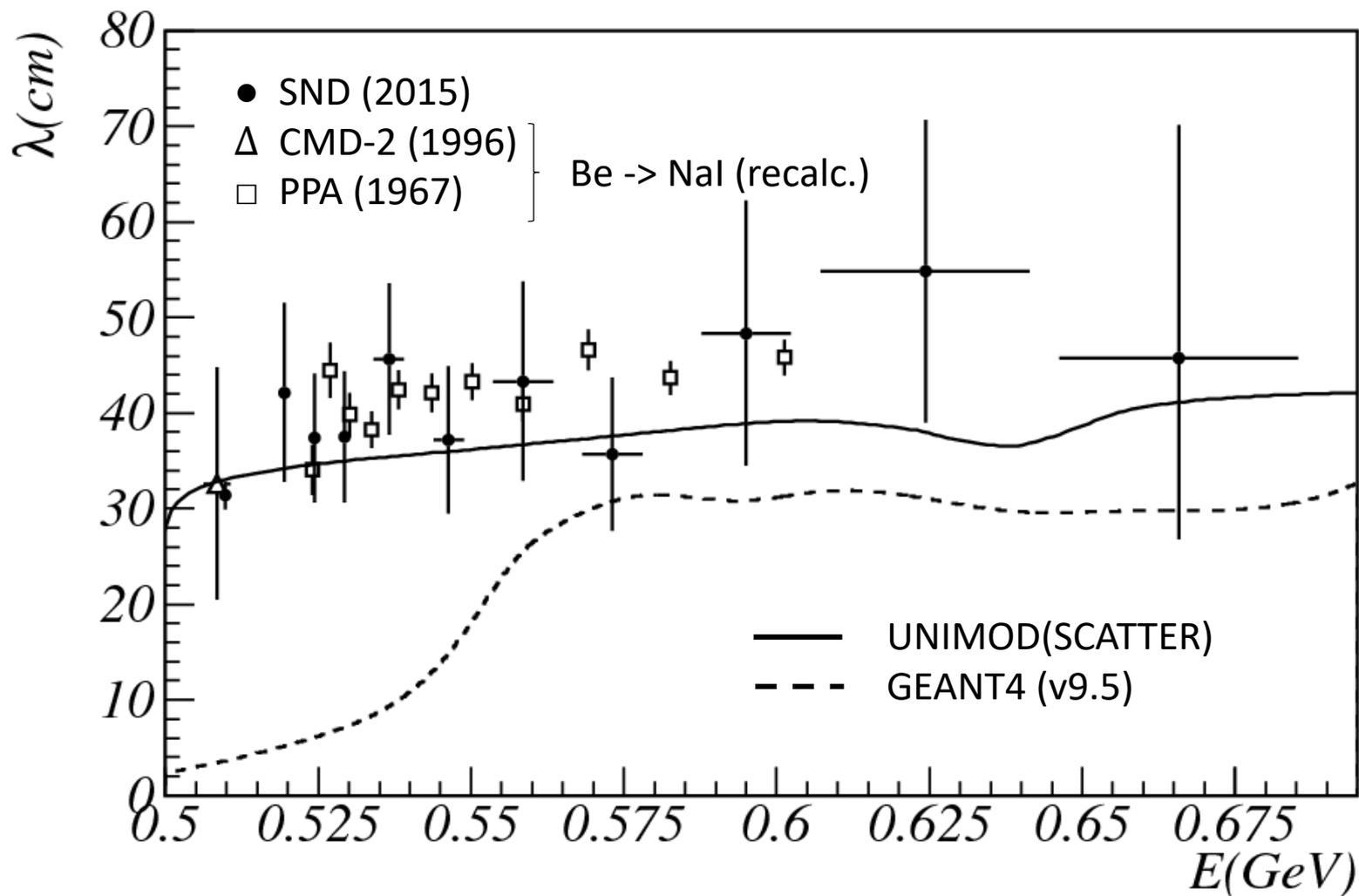
$$\langle \lambda_{in} \rangle = \int_{E_{min}}^{E_0} \lambda_{in}(E) w_K(E) dE, \quad \Longrightarrow \quad \langle \lambda_{in} \rangle_i = \sum_{j=1}^i P_{ij} \lambda_{in,j}$$

Систематические ошибки

Таблица 4.4. Вклады в систематическую ошибку для трех значений энергии пучка.

Источник	$E_0 = 520$ МэВ	$E_0 = 640$ МэВ	$E_0 = 690$ МэВ
Вычитание фона	1.5	1.5	1.5
Эффективность	2.2	2.3	2.6
Немонохроматичность K_L -мезона	1.0	3.0	1.0
Неупругое яд. взаимодействие вне NaI(Tl)	3.4	3.4	3.4
Упругое яд. взаимодействие в NaI(Tl)	2.0	2.0	2.0
Наложения	1.0	1.0	1.0
Сумма	5.0	5.8	5.2

Длина неупругого ядерного взаимодействия K_L в NaI(Tl).



Сравнение эксперимента и UNIMOD

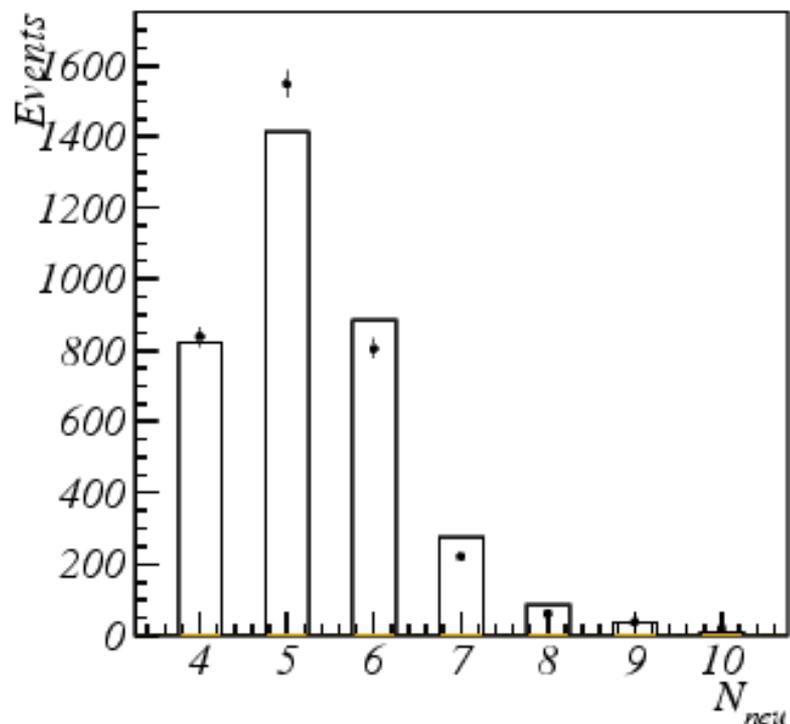


Рис. 13. Распределение событий по числу реконструированных фотонов.

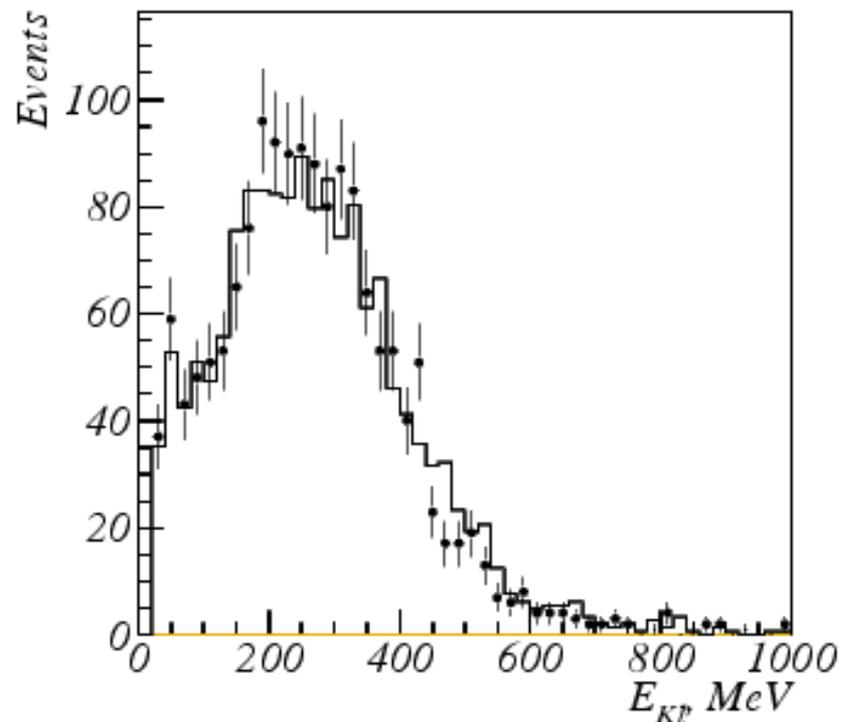


Рис. 14. Распределение энергосодержания K_L мезона в калориметре.

Сравнение эксперимента и UNIMOD

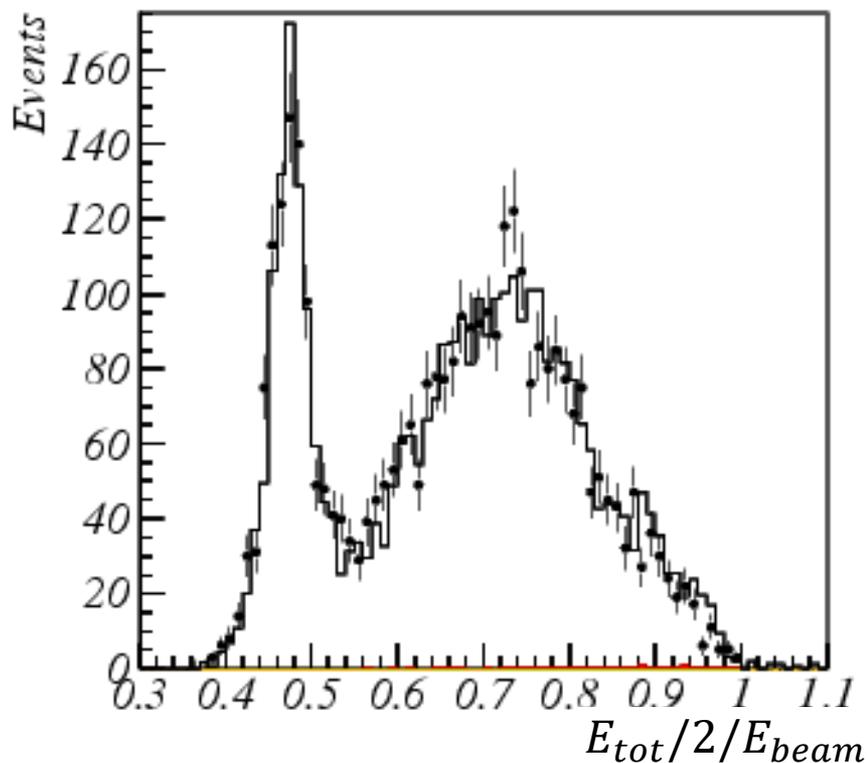


Рис. 15. Распределение событий по полному нормированному энерговыделению.

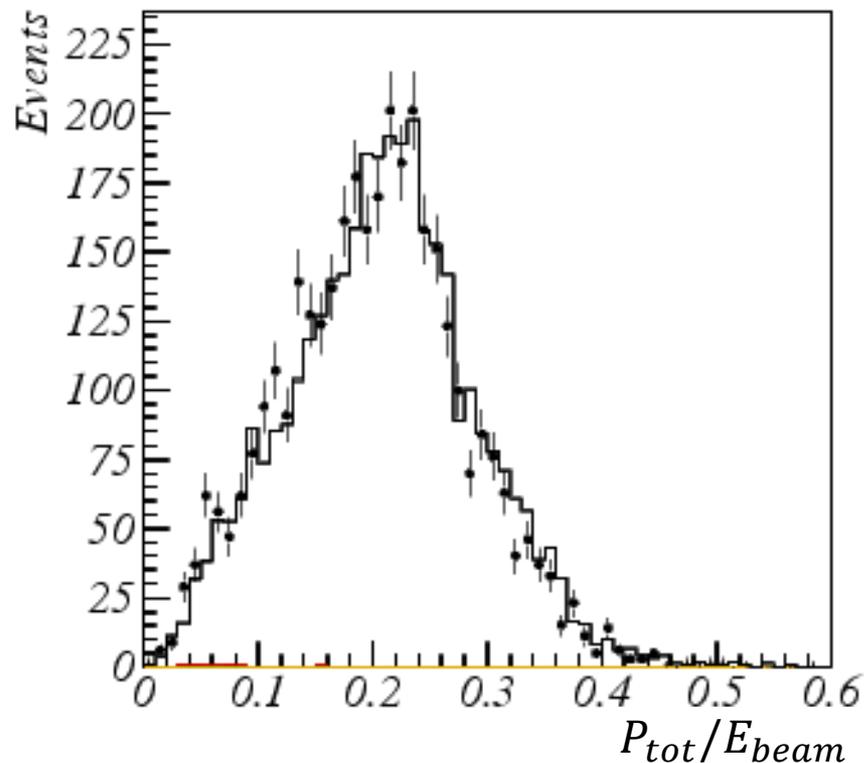


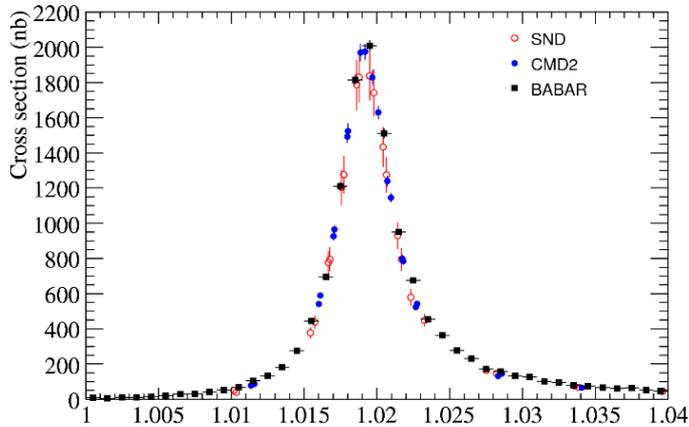
Рис. 16. распределение событий по полному нормированному импульсу.

Заключение II

1. Измерена длина ядерного неупругого взаимодействия K_L мезона в NaI(Tl) области энергии K_L мезона от 510 до 690 МэВ
2. Полученные данные согласуются с расчетами выполненными программой расчета ядерных сечений SCATTER
3. Полученные данные не согласуются с расчетами программы GEANT4(v9.5)
4. Данные согласуются с расчетами основанными на результатах измерений на Ве детектора КМД-2 и Принстон-Пенсильванского ускорителя

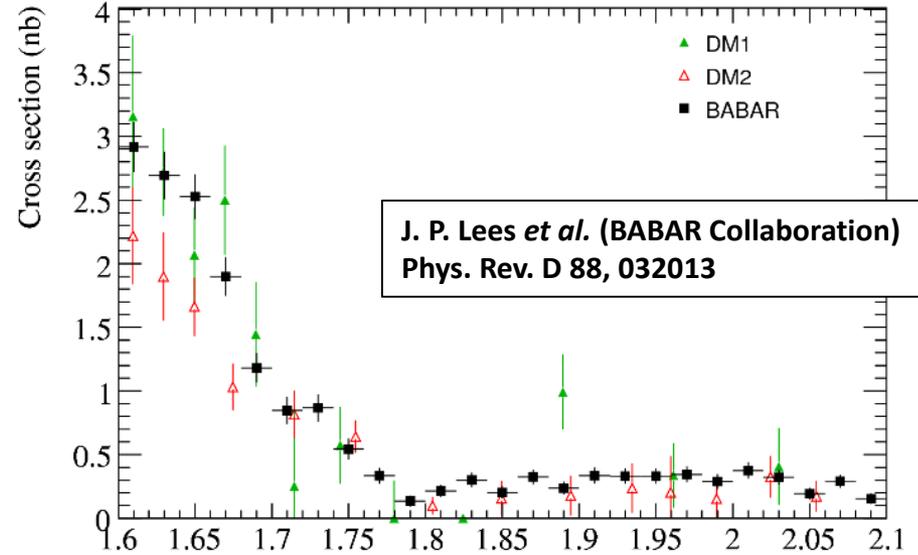
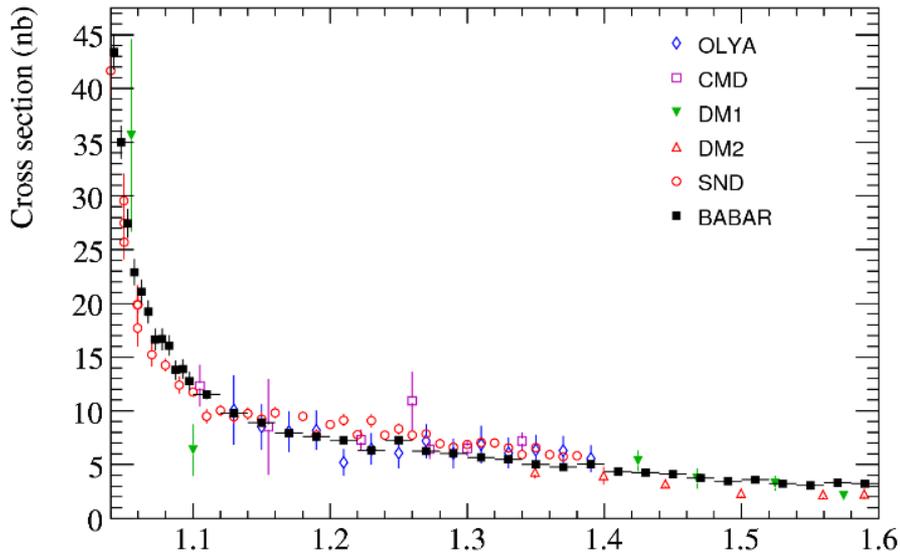
Измерение сечения процесса
 $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$
в диапазоне энергии от 1.05 до 2 ГэВ

Цель измерения $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$, предыдущие эксперименты



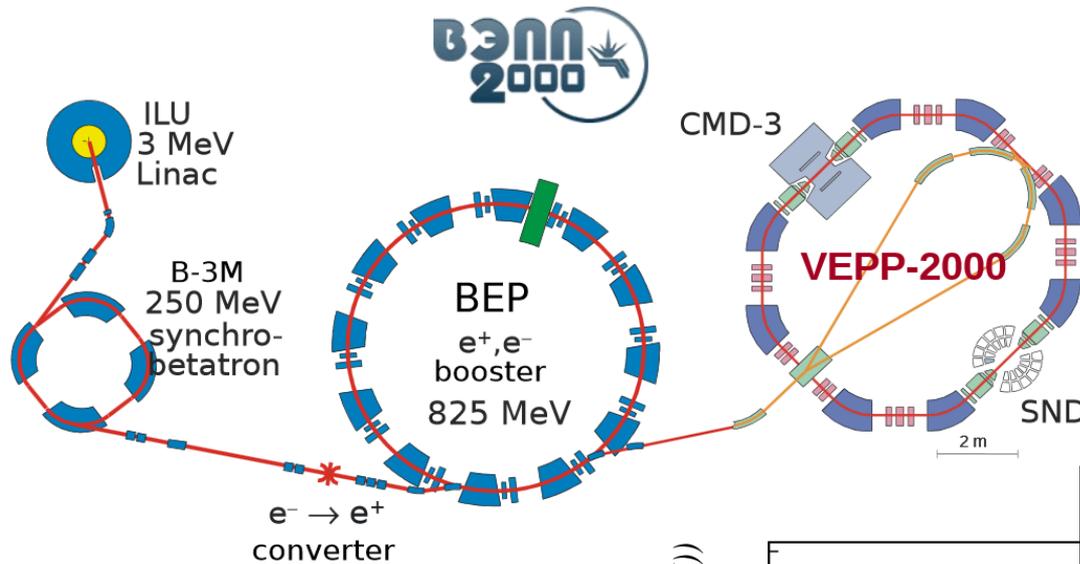
Цель измерения процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$:

- Точное измерение сечения процесса:
 - Изучение возбужденных состояний ρ, ω и ϕ
 - $(g-2)_\mu$ и α_{em}
 - Совместно с $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$:
 - Тест CVC ($\tau^- \rightarrow K^- K^0 \nu_\tau$)
 - Разделение $A(I=0)$ и $A(I=1)$: $\gamma^* \rightarrow K \bar{K}$
- Проверка новых аэрогелевых счетчиков на каонах
 - Исследование других процессов с каонами



Диапазон по энергии

ВЭПП-2000, эксперименты

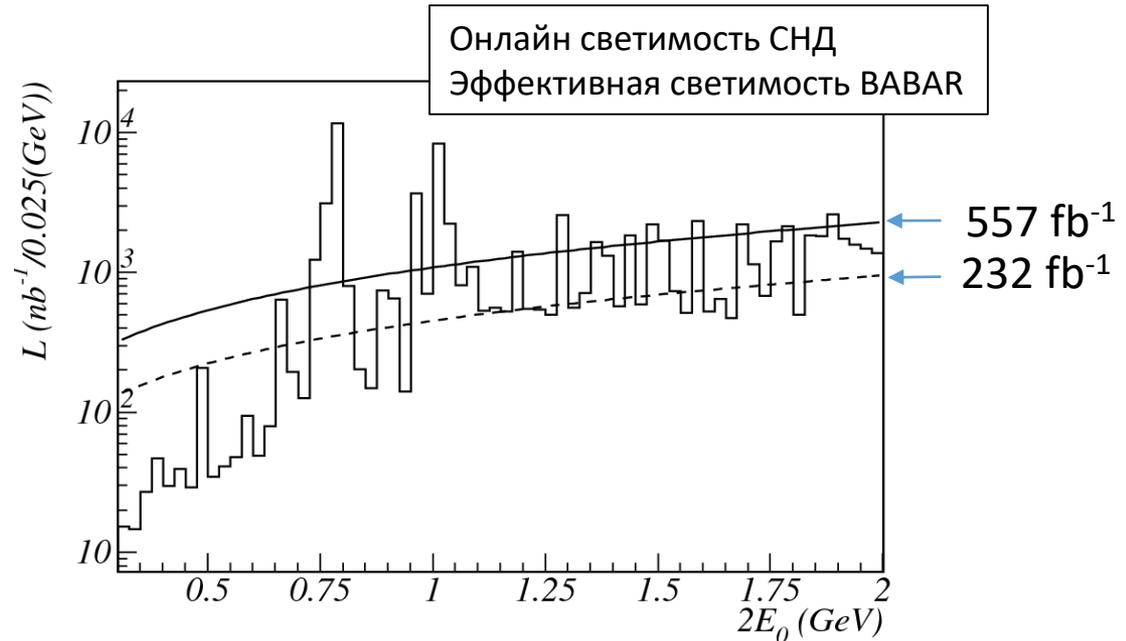


Максимальная энергия:
 $\sqrt{s} = 2 \text{ ГэВ}$

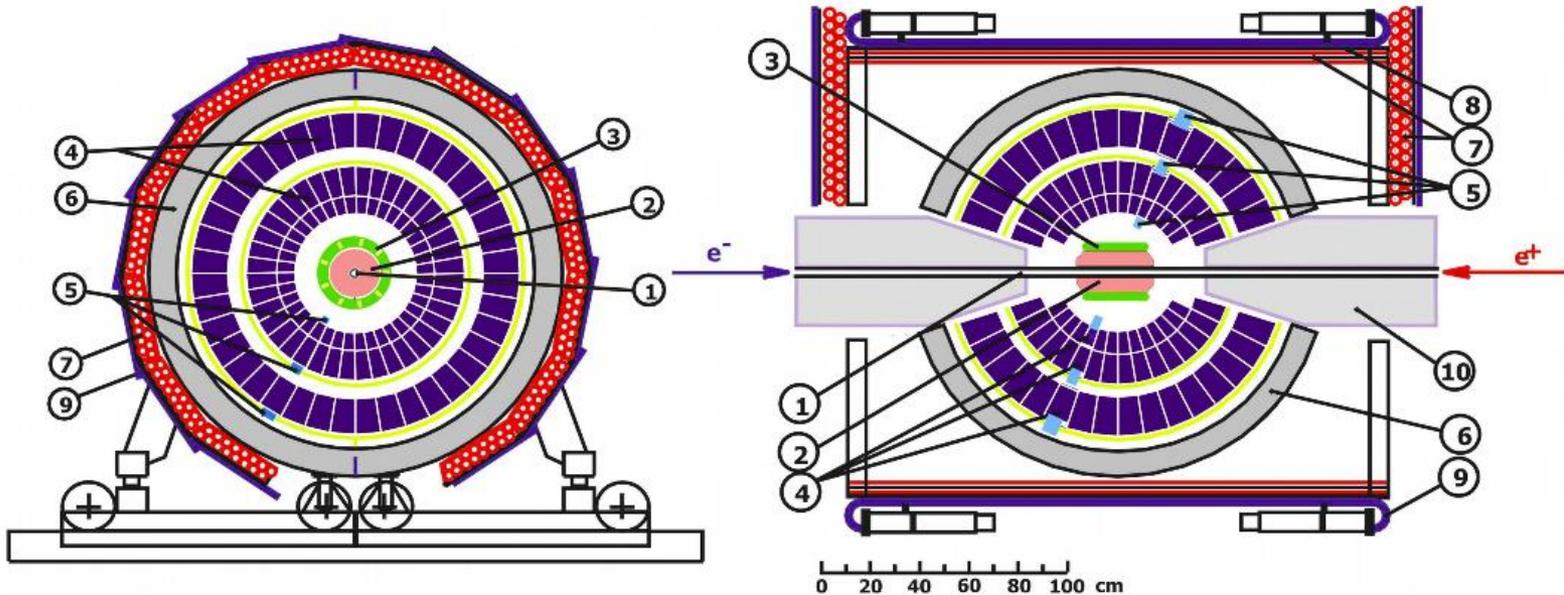
Достигнутая светимость:
 $L = 2 \cdot 10^{31} \text{ 1/cm}^2\text{s}$ при $\sqrt{s} = 2 \text{ ГэВ}$

Year	Energy(GeV)	L(pb ⁻¹),SND
2010	1.05-2.0	5
2011	1.05-2.0	25
2012	1.05-2.0	17
2013	0.32-1.06	22
Total	0.32-2.0	69

$$IL \cong 35 \text{ пб}^{-1}$$



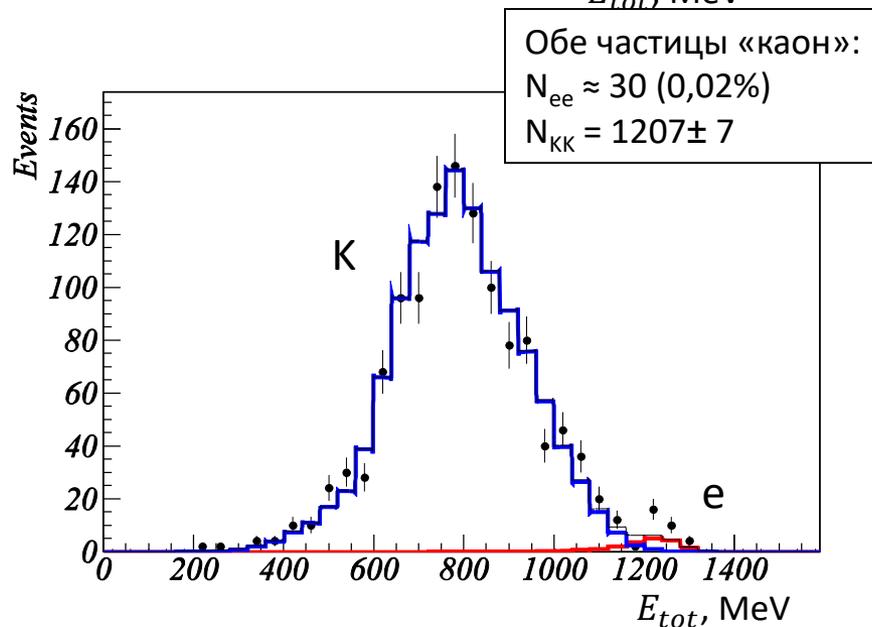
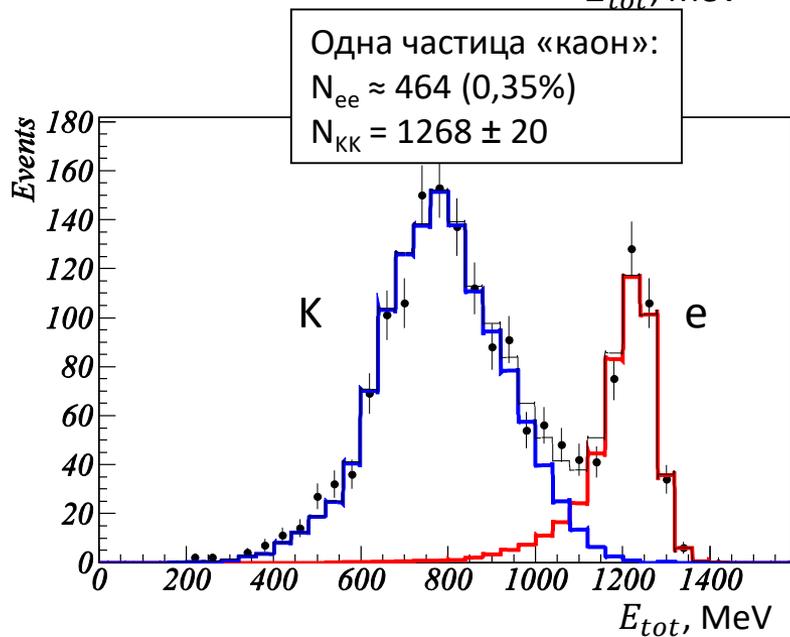
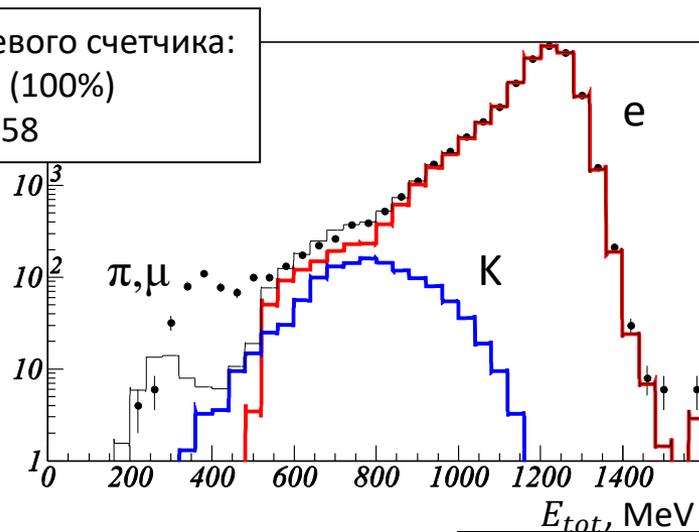
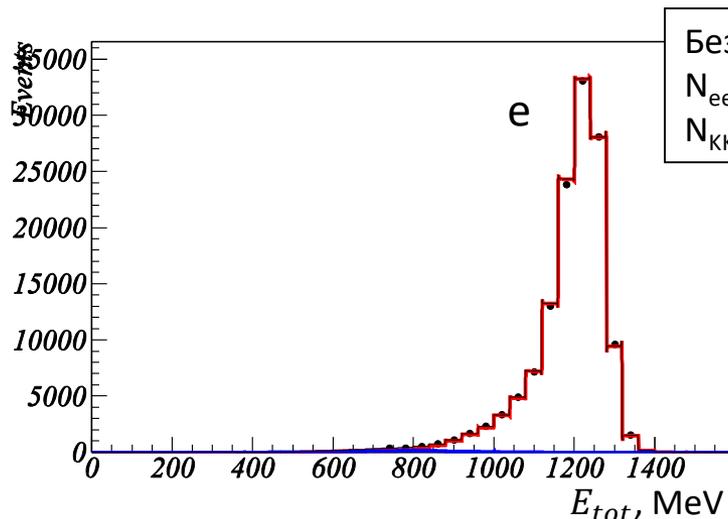
СНД (обновленный)



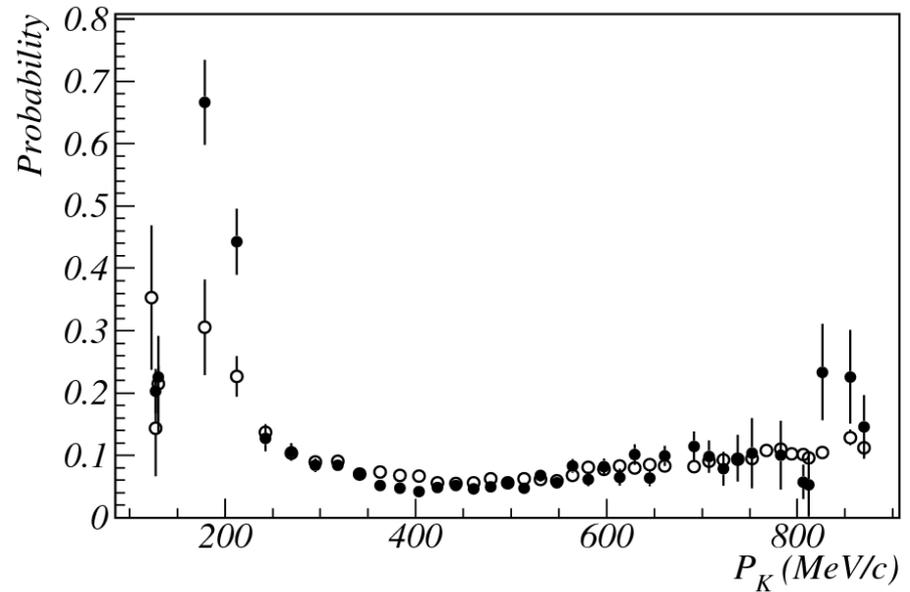
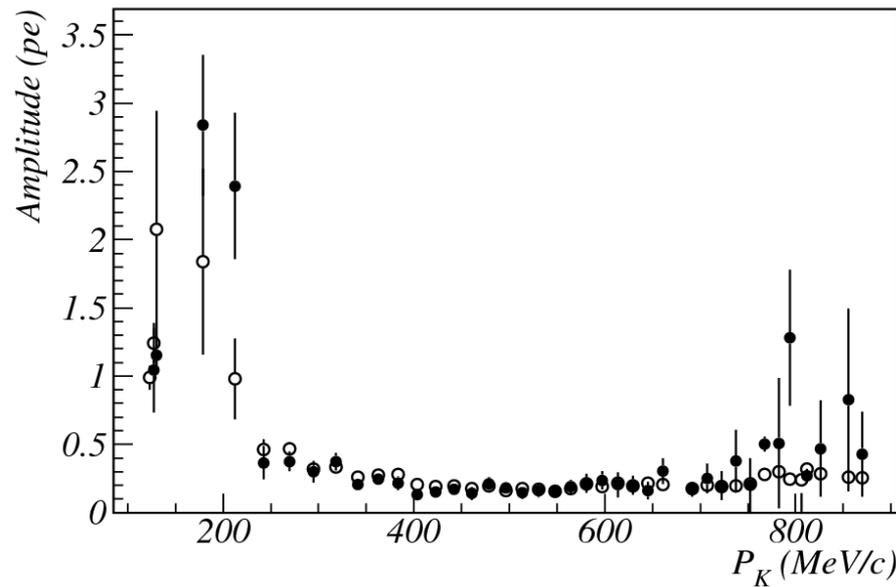
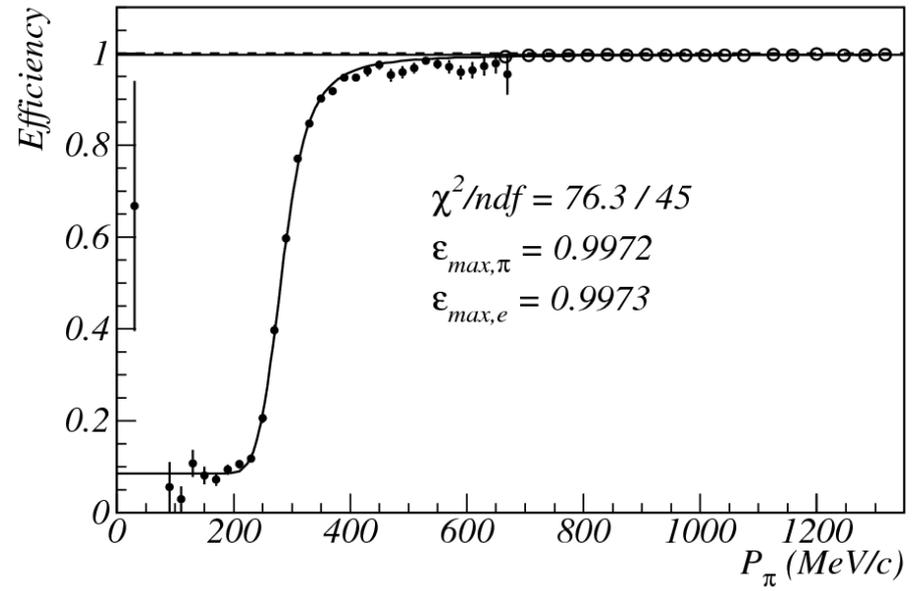
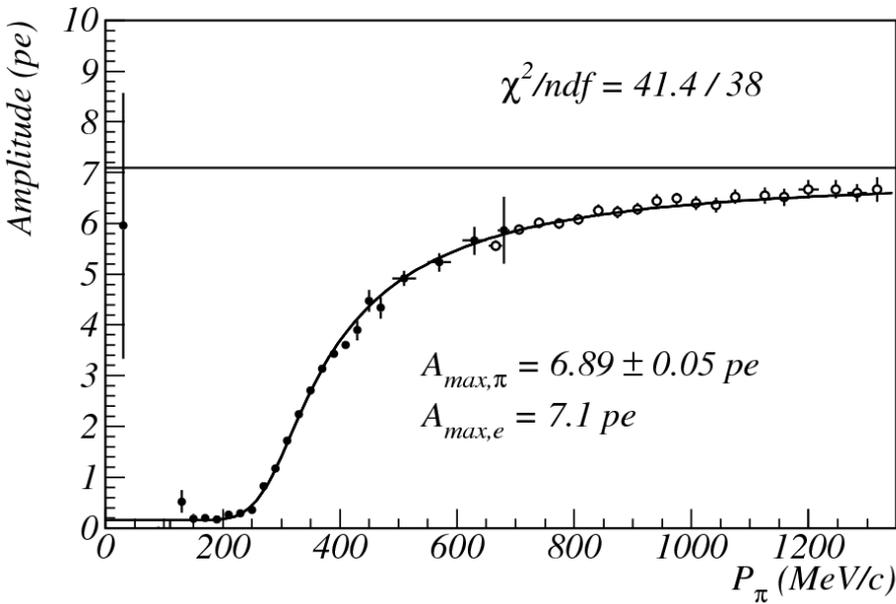
- 1 – вакуумная труба
- 2 – трековая система
- 3 – аэрогелевые счетчики
- 4 – кристаллы NaI(Tl)
- 5 – фототриоды
- 6 – мюонный поглотитель
- 7–9 – внешняя система
- 10 – фокусирующий соленоид

- Основные улучшения по сравнению с предыдущим СНД:
- новая система – черенковские счетчики ($n=1.05, 1.13$)
 e/π разделение $E < 450 \text{ MeV}$
 π/K разделение $E < 1 \text{ GeV}$
 - новая дрейфовая камера

Тесты с аэрогелевым счетчиком (n=1.13) на экспериментальных событиях



Регистрация π и K



Условия отбора

- число заряженных частиц:

$$n_c \geq 2$$

- пучковость:

$$|\Delta z_{12}| < 1 \text{ см}, |z_i| < 7 \text{ см}, |\rho_i| < 0.25 \text{ см}$$

- коллинеарность:

$$|\Delta\phi| < 10^\circ, |\Delta\theta| < 10^\circ \quad \text{для} \quad \sqrt{s} < 1,1 \text{ ГэВ}$$

$$|\Delta\phi| < 5^\circ, |\Delta\theta| < 7^\circ \quad \text{для} \quad \sqrt{s} \leq 1,2 \text{ ГэВ}$$

$$|\Delta\phi| < 3^\circ, |\Delta\theta| < 7^\circ \quad \text{для} \quad \sqrt{s} > 1,2 \text{ ГэВ}$$

Кинематические условия

- Одна из частиц «каон»

- Энерговыделение в камере:

$$(dE/dx)_1 + (dE/dx)_2 > 3 (dE/dx)_e \quad \text{для} \quad \sqrt{s} \leq 1,1 \text{ ГэВ}$$

$$(dE/dx)_1 + (dE/dx)_2 > 2,5 (dE/dx)_e \quad \text{для} \quad 1,1 < \sqrt{s} \leq 1,2 \text{ ГэВ}$$

$$(dE/dx)_{1||2} < 1,5 (dE/dx)_e \quad \text{для} \quad \sqrt{s} > 1,9 \text{ ГэВ}$$

Идентификационные условия

Источники фонов

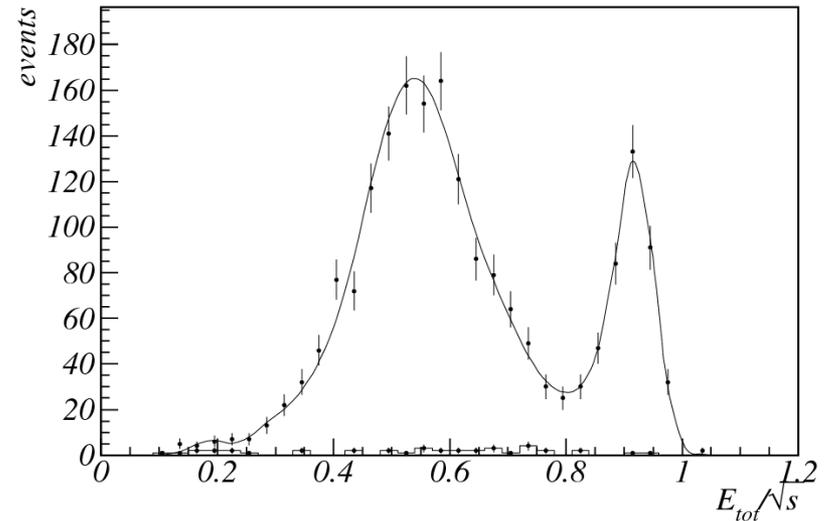
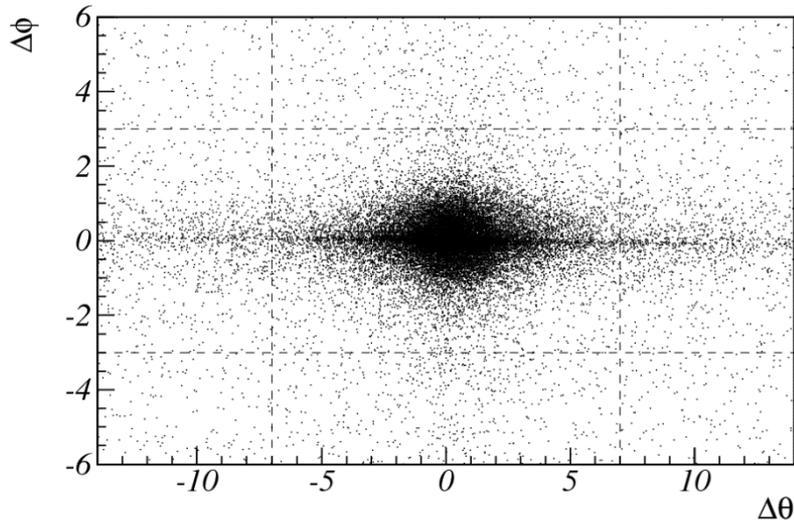
1. Коллинеарные фоны:

- Космические события
- Заряженные двух-частичные процессы (e^+e^- , $\mu^+\mu^-$, $\pi^+\pi^-$, p^+p^-)

2. Неколлинеарные процессы:

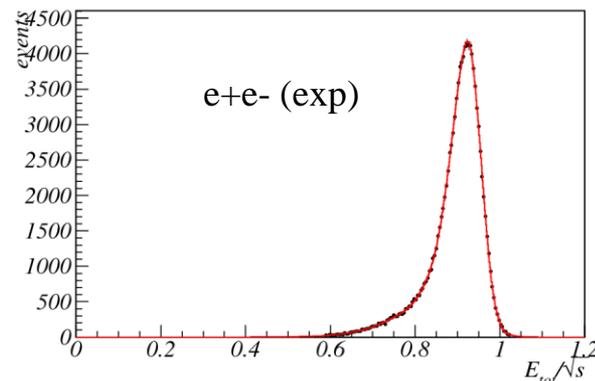
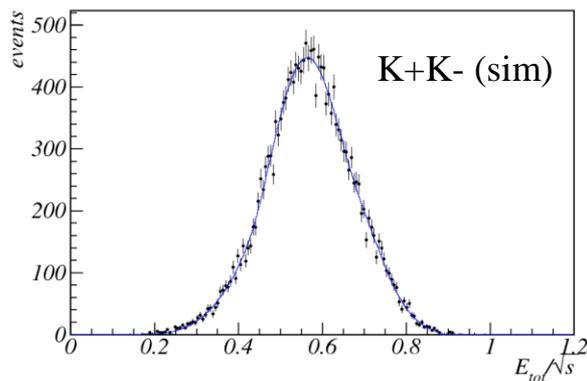
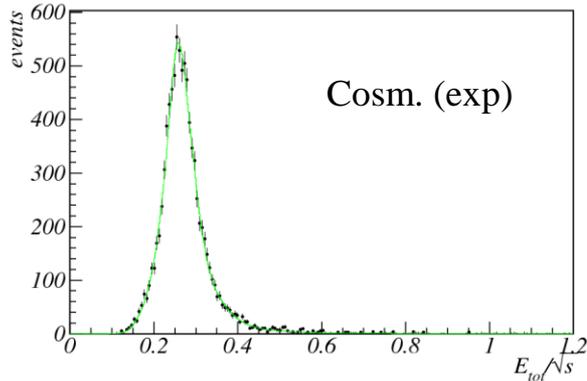
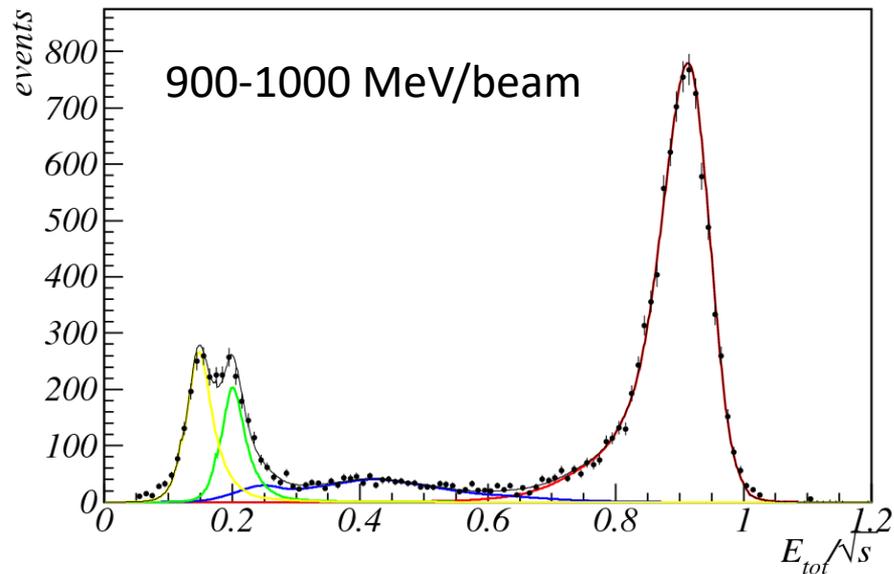
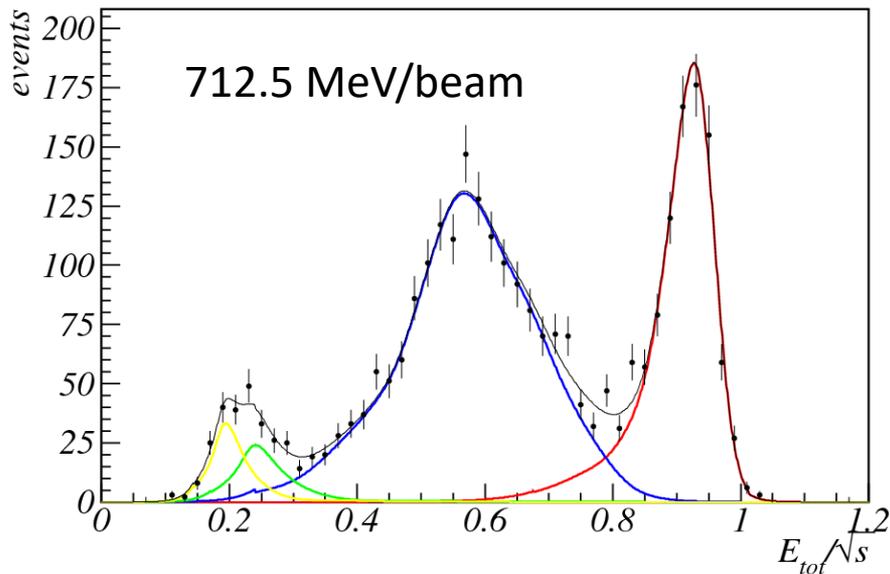
- Заряженные много-частичные процессы ($\pi^+\pi^-\pi^0$, $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$, $KK\pi$ etc.)
- Двух-фотонные процессы (e^+e^- , $\mu^+\mu^-$, $\pi^+\pi^-$)

Вычитание неколлинеарного фона

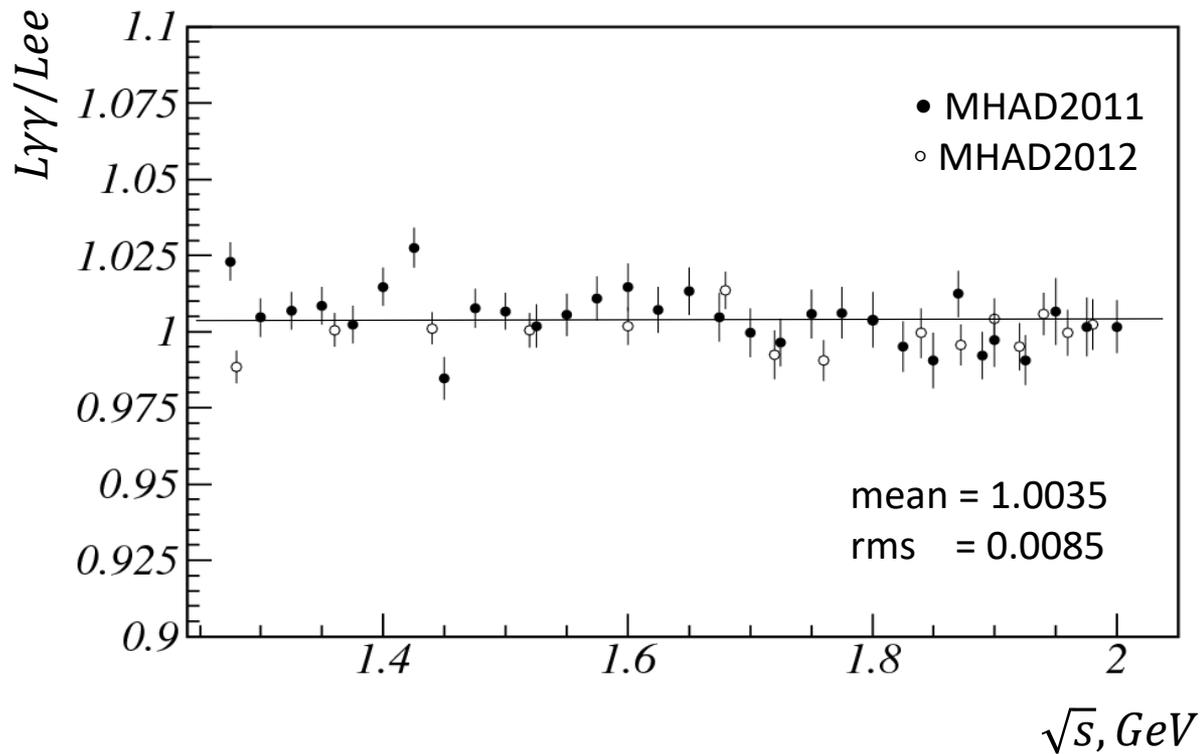


- Вклад неколлинеарного фона оценивался по угловым областям
- Коэффициент пересчета определялся по моделированию процессов $e+e^- \rightarrow 3\pi, 4\pi, K+K-\pi^0, K+K-\eta$
- Коэффициент равен единице с точностью 10%
- Для дальнейших вычислений данный фон вычитался из распределения E_{tot}/\sqrt{s}

Вычитание коллинеарного фона



Светимость



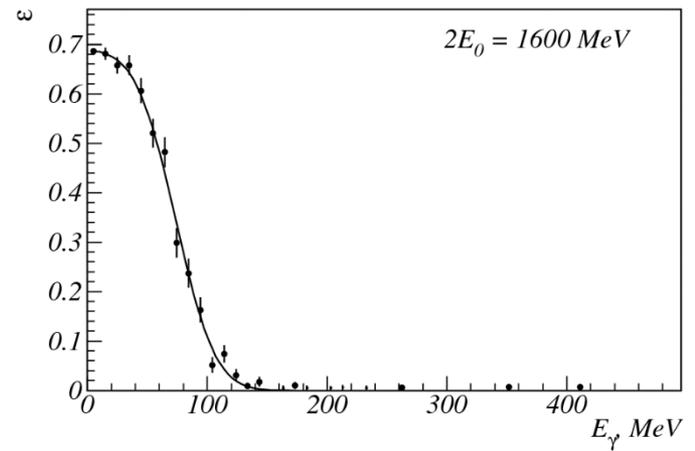
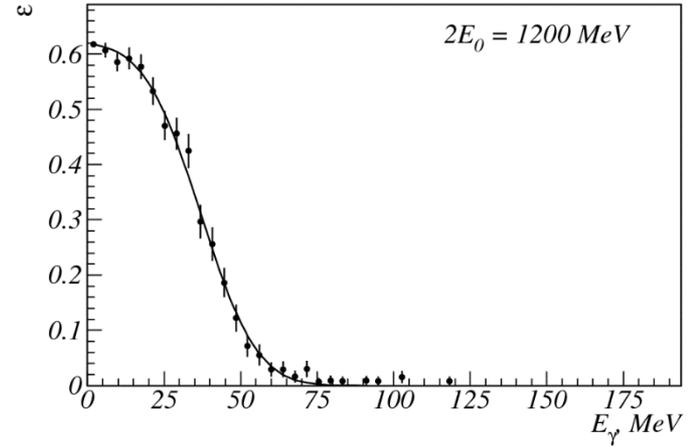
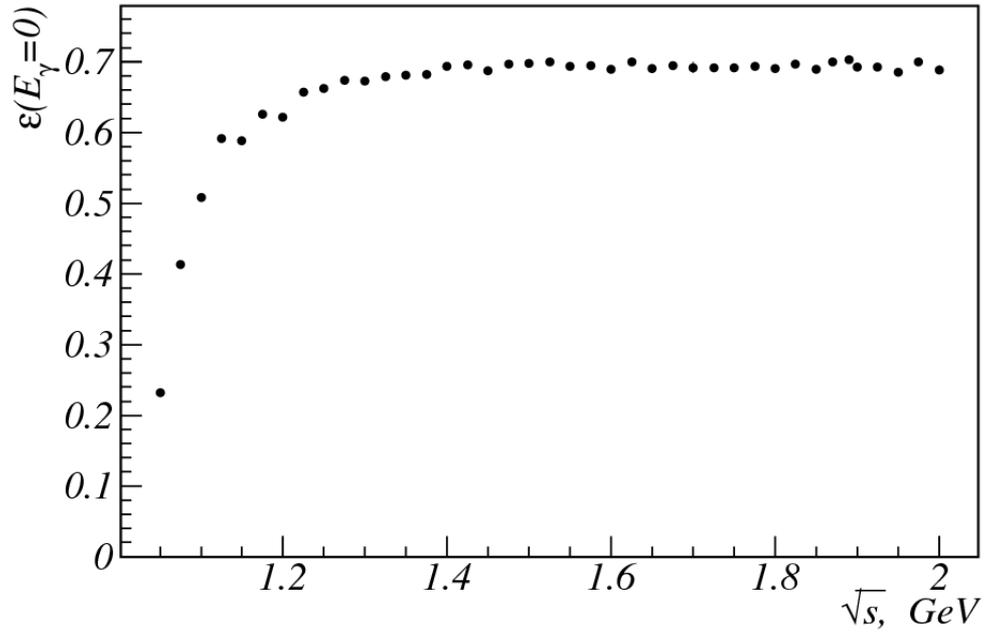
Светимость определялась по процессам:

$$e^+e^- \rightarrow e^+e^-$$

$$e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$$

Отношение близко к 1

Эффективность отбора



Поправки к эффективности

Кинематические условия

Идентификация каонов

Геометрические

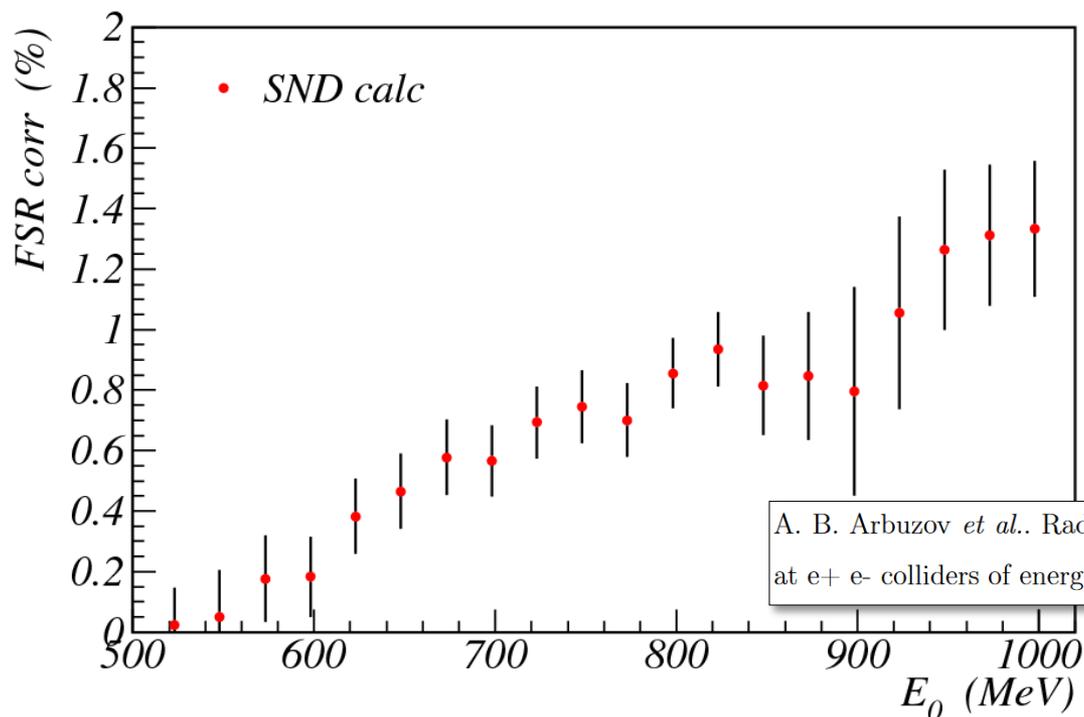
$$c_{kin} = 1.008 \pm 0.002$$

$$c_{id} = 1.003 \pm 0.007 \text{ (2011)}$$

$$c_{id} = 1.004 \pm 0.012 \text{ (2012)}$$

$$c_{geo} = 1.0017 \pm 0.0004 \text{ (2011)}$$

$$c_{geo} = 0.9974 \pm 0.0007 \text{ (2012)}$$

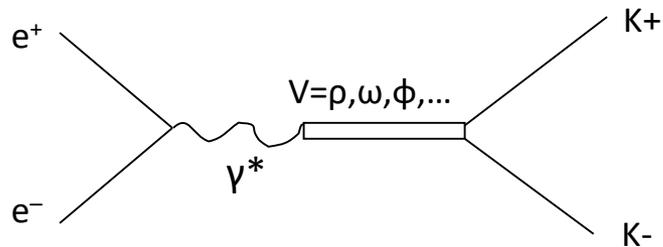


Излучение в
конечном состоянии
(FSR)

A. B. Arbuzov *et al.*. Radiative corrections for pion and kaon production at $e^+ e^-$ colliders of energies below 2-GeV // JHEP **9710**, 006 (1997)

Аппроксимация данных: модель

Модель векторной доминантности



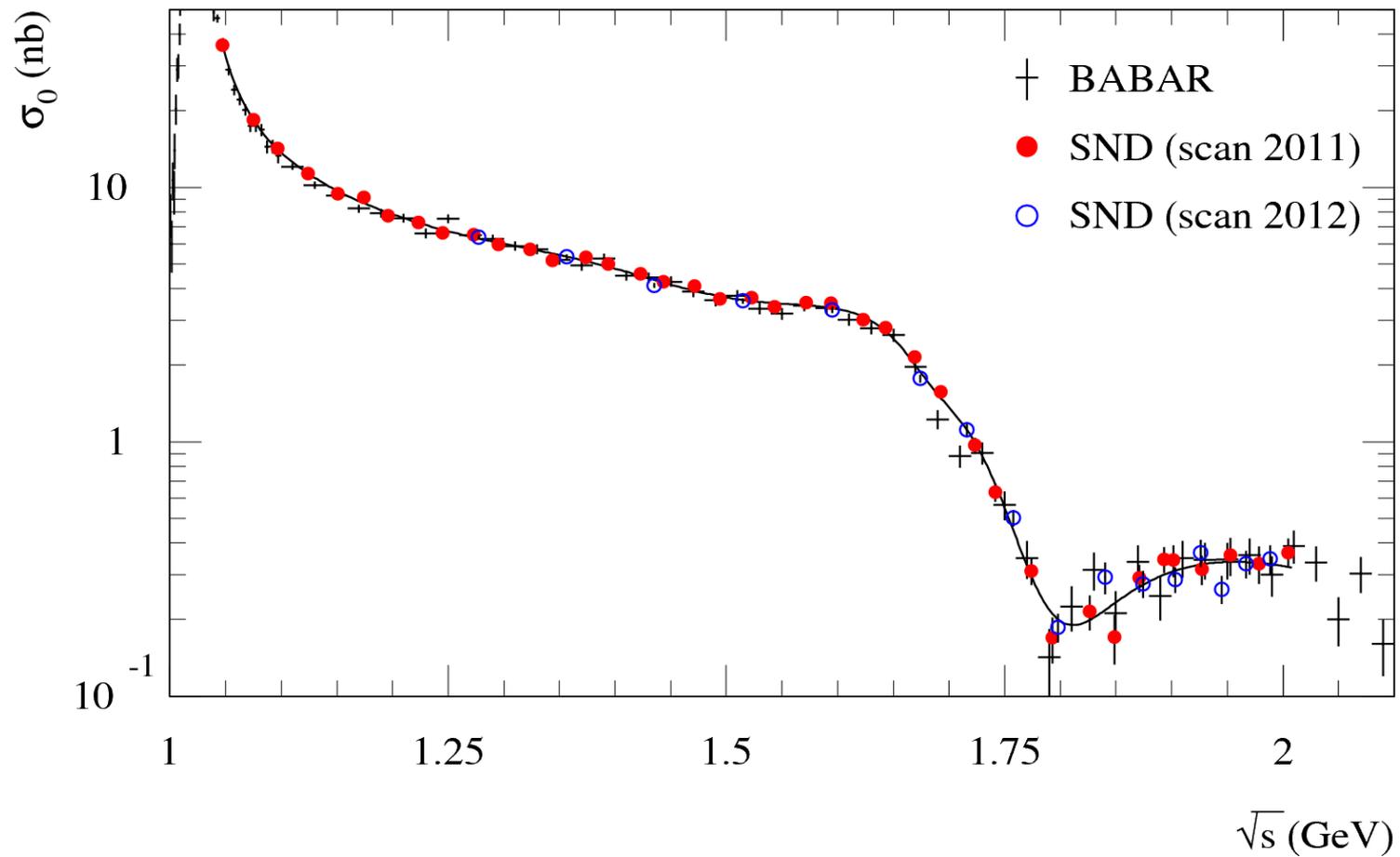
$$\sigma_0(s) = \frac{\pi\alpha^2\beta^3}{3s} |F_K(s)|^2 (1 + C_{FS})$$

$$J^{PC} = 1^{--}$$

$n^{2S+1}L_J$	I=1	I=0	I=0
1^3S_1	$\rho(770)$	$\phi(1020)$	$\omega(783)$
1^3D_1	$\rho(1700)$	—	$\omega(1650)$
2^3S_1	$\rho(1450)$	$\phi(1680)$	$\omega(1420)$

$$\sigma_{vis}(\sqrt{s}) = \int_0^{z_{max}} dz \sigma_0(\sqrt{s(1-z)}) F(z, s) \varepsilon(\sqrt{s}, z)$$

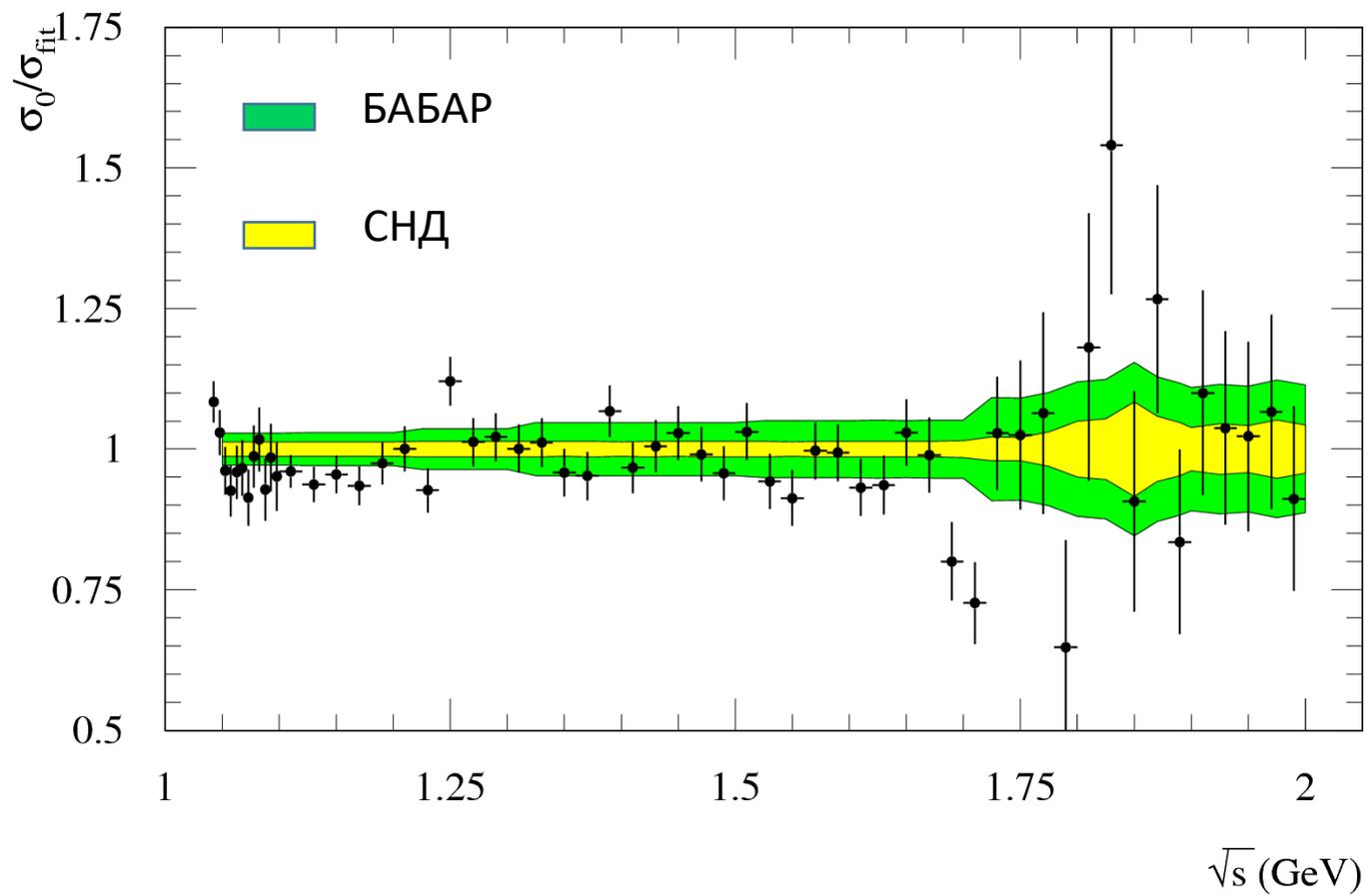
Борновское сечение



Систематика

Источник	2011		2012	
	2E < 1.8 GeV	2E > 1.8 GeV	2E < 1.8 GeV	2E > 1.8 GeV
Светимость	1 %	1 %	1 %	1 %
Условия отбора	0.7 %	0.7 %	1.2 %	1.2 %
Вычитание фона	0.7 %	4.1 %	0.7 %	4.1 %
Ядерное взаимодействие	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %
Рад. поправка	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %
Общая	1.4 %	4.3 %	1.7 %	4.4 %

Систематика



Заключение III

- ✓ Измерено сечение процесса $e+e- \rightarrow K+K-$
- ✓ Сечение $e+e- \rightarrow K+K-$ не противоречит прецизионному измерению на детекторе BABAR, имеет сравнимую или лучшую точность
- ✓ Система идентификации на основе аэрогелевых счетчиков готова к использованию в анализе данных
- ✓ Система идентификации используется для анализа других процессов, содержащих заряженные каоны

Основные положения, выносимые на защиту

1. В эксперименте с детектором СНД на e^+e^- коллайдере ВЭПП-2М измерено сечение процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$ в области энергий в системе центра масс от 1.04 ГэВ до 1.38 ГэВ. Несмотря на то, что измерение сделано 10 лет назад, оно не уступает по точности более поздним измерениям.
2. В эксперименте с детектором СНД на e^+e^- коллайдере ВЭПП-2000 измерено сечение процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ в области энергий в системе центра масс от 1.05 ГэВ до 2.0 ГэВ. На сегодняшний день это самое точное измерение сечения $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ в указанной области энергий.
3. В эксперименте с детектором СНД на e^+e^- коллайдере ВЭПП-2М измерена длина неупругого ядерного взаимодействия K_L мезона в NaI(Tl) в диапазоне энергий K_L мезона от 510 МэВ до 690 МэВ. Это первое измерение энергетической зависимости неупругой ядерной длины K_L мезона при низких энергиях.

Публикации по теме:

- 1) M.N. Achasov, ..., K.I. Beloborodov et al.
Experimental Study of the Reaction $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$ in the Energy Range $\sqrt{s} = 1.04$ GeV. J. Exp. Theor. Phys. **103** 720 (2006).
- 2) M.N. Achasov, ..., K.I. Beloborodov et al.
Measurement of the $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ cross section in the energy range $\sqrt{s} = 1.05 - 2.0$ GeV. Phys. Rev. D **94**, 112006 (2016).
- 3) M.N. Achasov, ..., K.I. Beloborodov et al.
Measurement of the K_L nuclear interaction length in the NaI(Tl) calorimeter. JINST **10**, P09006 (2015).
- 4) M.N. Achasov, ..., K.I. Beloborodov et al.
Proc. of the Int. Workshop “ e^+e^- Collisions from ϕ to J/ψ ”. Novosibirsk, 1999, p. 196.
- 5) K.I. Beloborodov.
Experimental study of the $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ process cross section with the SND detector at the VEPP-2000 e^+e^- collider. Journal of University of Science and Technology of China, **46**, 279 (2016).
- 6) K. I. Beloborodov et al.
CVC test in $e^+e^- \rightarrow K\bar{K}$ and $\tau^- \rightarrow K^- K^0 \nu_\tau$ processes. Nucl. Phys. Proc. Suppl. **181-182**, 306 (2008).