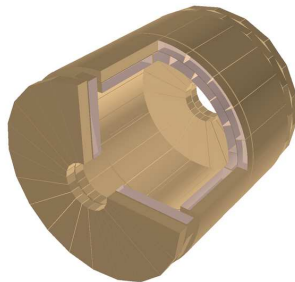


Моделирование счетчиков АШИФ детектора КЕДР

Овтин И.В.
для аэрогелевой группы детектора КЕДР

9 Апреля 2019

KedrSim – пакет моделирования детектора КЕДР основанный на GEANT 3.21.



Моделирования системы АШИФ включает:

- ❶ Описание реальной геометрии всех 160 счетчиков:
 - три активные среды – аэрогель, шифтер (ПММА), тефлон (PTFE)
 - боксы электроники и ВВ выводы.
- ❷ Для каждого счетчика используется индивидуальный показатель преломления и измеренная неоднородность светосбора, а также учитывается долговременная стабильность счетчиков.
- ❸ Для генерации реальной амплитуды используются одноэлектронные калибровочные спектры из БД.

Моделирование счетчиков АШИФ

Сигнал от заряженной частицы в счетчике:

$$I = I_{\text{ch_aer}} + I_{\text{ch_sh}} + I_{\text{ch_tef}} + I_{\text{sc_aer}} + I_{\text{sc_sh}} + I_{\text{sc_tef}}.$$

Величина сцинтилляционного сигнала пропорциональна энергетическим потерям в веществе:

$$I_{\text{sc}_i} = \alpha_i \Delta E_i,$$

где α_i – коэффициент пропорциональности.

Число черенковских фотоэлектронов от релятивистских частиц выше порога:

$$I_{\text{ch}_i} = \frac{dN_i}{dx_i} = K_i \cdot K_{\text{cnt}} \cdot z^2 \sin^2 \Theta = K_i \cdot K_{\text{cnt}} \cdot z^2 \left(1 - \frac{1}{(n_i \beta)^2}\right),$$

где n_i – показатель преломления, K_i – коэффициент пропорциональности учитывающий неоднородность светосбора, K_{cnt} – корректирующий коэффициент для каждого счетчика, $\beta = v/c$, $|z|=1$ – заряд частицы.

Коэффициент пропорциональности определяется из экспериментальных данных:

$$K_i = \frac{\frac{N_{\text{ph.e.}}}{L_{\text{track}}}}{\left(1 - \frac{1}{(n_i \beta)^2}\right)},$$

где $N_{\text{ph.e.}}$ – число фотоэлектронов, L_{track} – длина трека в счетчике.

Определение коэффициента K_i

Данные получены на космических мюонах

Длинный счетчик первого слоя – 68 областей

6.84±0.09	7.33±0.08	7.61±0.08	7.78±0.07	7.95±0.08	7.39±0.07	5.75±0.09
7.60±0.04	8.22±0.04	8.47±0.03	8.88±0.03	9.03±0.03	8.37±0.03	
8.77±0.05	9.41±0.04	9.69±0.04	10.18±0.04	10.54±0.04	9.84±0.04	
10.07±0.08	10.72±0.07	11.13±0.07	11.58±0.06	12.18±0.07	11.84±0.08	
11.79±0.21	12.95±0.19	12.78±0.17	13.33±0.18	13.55±0.19	14.15±0.23	
11.96±0.37	11.84±0.30	12.09±0.30	12.28±0.30	13.24±0.26	11.75±0.41	
10.23±0.09	10.97±0.08	11.25±0.07	11.62±0.07	12.15±0.07	11.79±0.08	
8.97±0.05	9.57±0.04	9.90±0.04	10.26±0.04	10.59±0.04	9.93±0.04	
7.52±0.04	8.19±0.03	8.48±0.03	8.81±0.03	9.06±0.03	8.24±0.03	
6.62±0.07	7.32±0.06	7.54±0.06	7.71±0.06	7.88±0.06	7.23±0.06	5.82±0.06

Короткий счетчик первого слоя – 58 областей

4.37±0.10	5.69±0.08	6.45±0.09	6.55±0.10	6.44±0.10	6.11±0.09
6.68±0.03	7.71±0.04	7.58±0.04	7.38±0.04	6.77±0.05	
8.47±0.04	9.51±0.04	9.10±0.04	8.54±0.04	8.02±0.05	
9.90±0.07	10.87±0.06	10.45±0.06	10.07±0.07	9.51±0.08	
10.66±0.10	11.07±0.08	10.67±0.08	10.31±0.09	9.63±0.11	
8.64±0.04	9.55±0.04	9.21±0.04	8.84±0.04	8.33±0.05	
6.70±0.03	7.62±0.04	7.51±0.03	7.32±0.03	6.77±0.04	
5.59±0.08	5.84±0.07	6.52±0.05	6.49±0.06	6.27±0.07	5.84±0.08

Длинный счетчик второго слоя – 68 областей

4.54±0.04	4.59±0.04	4.72±0.04	4.93±0.04	4.90±0.04	4.43±0.04	3.45±0.06
5.11±0.03	5.44±0.03	5.61±0.03	5.80±0.03	5.89±0.03	5.20±0.02	3.74±0.04
6.28±0.04	6.83±0.04	7.06±0.03	7.28±0.03	7.45±0.03	6.86±0.03	
7.55±0.07	8.12±0.07	8.40±0.06	8.79±0.06	9.04±0.06	8.79±0.07	
8.70±0.47	8.94±0.34	9.06±0.29	10.16±0.31	10.21±0.28	11.42±0.34	
9.15±0.17	9.35±0.13	9.95±0.12	10.08±0.11	10.95±0.12	10.39±0.16	
7.39±0.06	8.02±0.05	8.30±0.05	8.51±0.05	8.72±0.05	8.23±0.06	
6.05±0.04	6.59±0.04	6.77±0.03	6.98±0.03	7.16±0.03	6.31±0.03	
5.17±0.04	5.32±0.03	5.52±0.03	5.66±0.03	5.66±0.03	4.96±0.03	
4.58±0.05	4.67±0.07	4.70±0.06	4.78±0.06	4.88±0.06	4.31±0.05	3.35±0.08

Короткий счетчик второго слоя – 58 областей

3.79±0.06	4.57±0.04	5.34±0.05	5.27±0.05	5.07±0.05	4.59±0.05
5.23±0.02	5.94±0.02	5.93±0.03	5.73±0.03	5.25±0.03	
6.70±0.04	7.37±0.03	7.23±0.03	7.01±0.04	6.52±0.04	
8.53±0.07	8.82±0.06	8.63±0.06	8.32±0.06	7.72±0.07	
8.77±0.43	10.15±0.24	10.06±0.25	9.26±0.23	9.31±0.32	
10.73±0.18	10.95±0.14	9.95±0.14	9.67±0.14	8.68±0.18	
8.28±0.06	8.73±0.06	8.58±0.06	8.27±0.06	7.67±0.06	
6.80±0.03	7.20±0.03	7.05±0.03	6.87±0.04	6.38±0.04	
5.31±0.02	5.88±0.03	5.93±0.03	5.80±0.03	5.30±0.03	
3.92±0.08	4.64±0.05	5.17±0.06	5.30±0.06	5.03±0.06	4.63±0.07

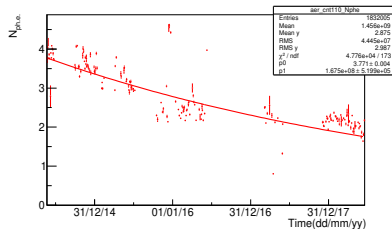
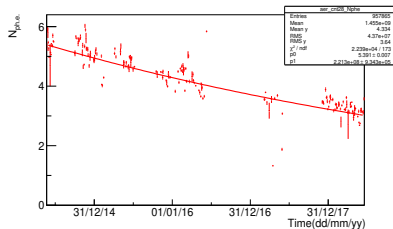
Торцевой счетчик – 28 областей

6.40±0.03	6.54±0.04					
7.10±0.04	7.51±0.03	7.90±0.04	7.89±0.04			
8.39±0.06	9.37±0.06	9.37±0.06	9.44±0.05	9.47±0.07	9.17±0.11	
8.89±0.10	9.44±0.06	9.50±0.06	9.45±0.06	9.39±0.07	9.01±0.11	
7.11±0.12	7.63±0.03	7.95±0.04	7.98±0.04			
6.54±0.03	6.64±0.03					

Тип счетчика (номер счетчика)	Неоднородность светосбора ($\delta = (x_{\max} - x_{\min})/x_{\text{mean}}$)
Короткий счетчик первого слоя (21-40)	±26%
Длинный счетчик первого слоя (41-60)	±25%
Короткий счетчик второго слоя (121-140)	±32%
Длинный счетчик второго слоя (101-120)	±36%
Торцевой счетчик (1-21, 61-100, 141-160)	±19%

Определение коэффициента K_i

Временной интервал с данными делится на 14 областей (~ 1.5 месяца каждый) и для каждого определяются K_i для учета деградации аэрогеля.



Число фотоэлектронов описывается распределением Пуассона:

$$P_n = \frac{\mu^n e^{-\mu}}{n!},$$

где n – число фотоэлектронов, μ – среднее число фотоэлектронов в счетчике.

Амплитудное распределение является сверткой однофотоэлектронного спектра с распределением Пуассона:

$$F(x) = \sum_{n=0}^{n=40} P_n f_n(x).$$

$$f_n(x) = \int f_1(y) f_{n-1}(x-y) dy,$$

где $f_1(x)$ - однофотоэлектронный спектр.

Калибровочные коэффициенты (K_i , $K_{\text{снт}}$) и одноэлектронные спектры применяются на уровне реконструкции (домоделирование) – нет необходимости перемоделировать при корректировке набора коэффициентов.

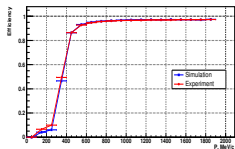
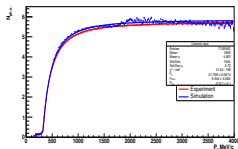
Допороговая эффективность определяется:

- Черенковским излучением от δ -электронов в аэрогеле;
- Черенковским излучением в тефлоне (PTFE);
- Сцинтилляциями в тефлоне (PTFE).

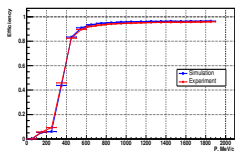
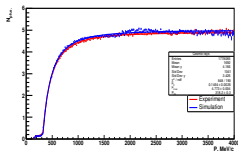
Сцинтилляции в аэрогеле пренебрежимо малы и не учитываются – было показано по результатам обработки данных от 2000 г. с тестового пучка в г. Дубна (меморандум Белобородова К. – результаты не опубликованы)

Моделирование на космических мюонах

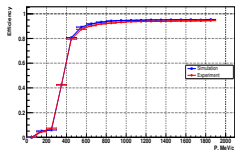
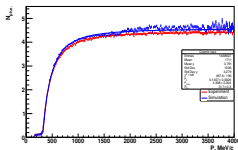
21-60 счетчики, данные и моделирование для 1 временного диапазона (июнь 2014 г.)



21-60 счетчики, данные и моделирование для 5 временного диапазона (ноябрь 2014 г.)

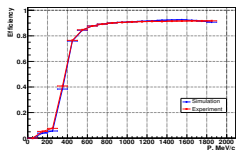
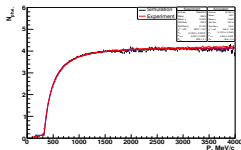


21-60 счетчики, данные и моделирование для 9 временного диапазона (июнь 2015 г.)

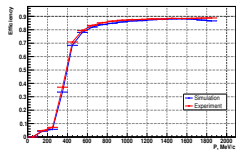
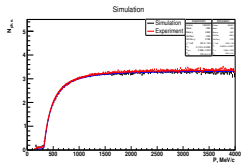


Моделирование на космических мюонах

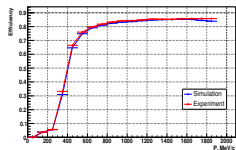
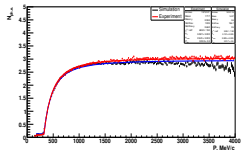
101-140 счетчики, данные и моделирование для 1 временного диапазона (июнь 2014 г.)



101-140 счетчики, данные и моделирование для 5 временного диапазона (ноябрь 2014 г.)



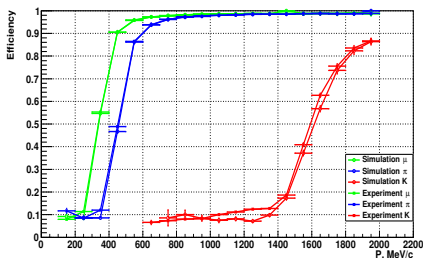
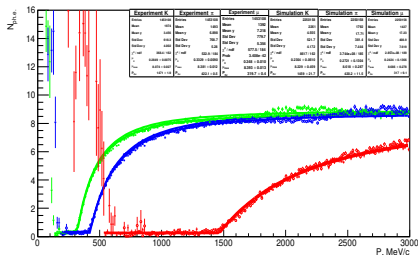
101-140 счетчики, данные и моделирование для 9 временного диапазона (июнь 2015 г.)



Моделирование на космических мюонах

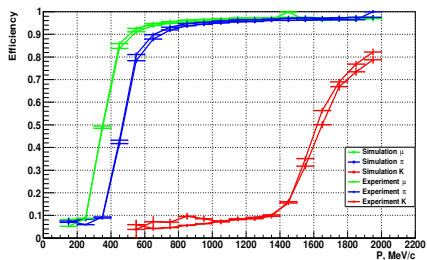
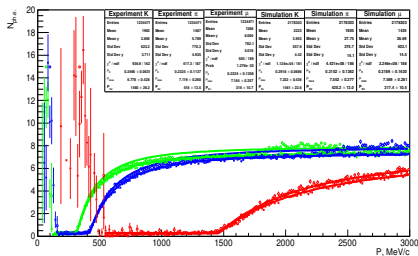
- Для оценки эффективности регистрации π и K , импульсы μ с соответствующим импульсом были выбраны: ($P_\mu = P_{\pi,K} * [m_\mu/m_{\pi,K}]$)
 - $950 < P_K < 1450 \text{ MeV}/c \rightarrow 200 < P_\mu < 300 \text{ MeV}/c \rightarrow 0.885 < \beta < 0.944$
 - $950 < P_\pi < 1450 \text{ MeV}/c \rightarrow 700 < P_\mu < 1100 \text{ MeV}/c \rightarrow 0.989 < \beta < 0.995$

Толстый счетчик – 5 временной диапазон (ноябрь 2014 г.)
 порог – 0.7 ф.э.



Моделирование на космических мюонах

Толстый счетчик – 11 временной диапазон (декабрь 2017 г. – январь 2018 г.)
порог – 0.7 ф.э.



Эффективность регистрации адронов

Экспериментальные данные:

- PDG: $\text{Br}(J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0) = 0.020$
- Обработывались данные сезона 2015-2016 г.:
 - $21740 \div 23114$ (28/04/2015-08/07/2015 и 14/10/2015-29/01/2016) ~ 500 заходов
 - Интегральная светимость $L_t = 0.953 \text{ пб}^{-1}$
 - $N_{J/\psi} = L_{int} * \sigma = 0.953 * 4000 = 3.8 * 10^6$
 - $N_{(J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0)} \simeq 76240$

Моделирование:

- $e^+ e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \dots$ (BES-генератор на основе Jetset 7.4)
- GENE 214 MODE
MODE - номер канала распада J/psi
 - 7 0.00400 $\rho^- \pi^+$ или $\rho^+ \pi^-$
 - 8 0.00400 $\rho^+ \pi^-$ или $\rho^- \pi^+$
 - 9 0.00450 $\rho^0 \pi^0$
- HADR 4 – задание пакета для моделирования ядерных взаимодействий, 4 - пакет FLUKA
- Моделируется 200000 событий

Предварительный отбор:

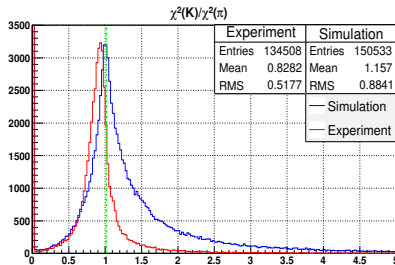
- Число треков равно 2 (один отрицательный, другой положительный);
- Минимальное число треков из точки взаимодействия ≥ 1 , но не > 2 ($R < 3$ см);
- Сумма зарядов треков равна нулю;
- Расколлинеарность треков: $(n_1 \ n_2) > -0.998$;
- Минимальная энергия кластера 50 МэВ;
- 2 трека с привязанными кластерами в калориметре;
- Минимальное число кластеров 3;
- Максимальное число кластеров 6;
- $e/p < 0.80$ для подавления электронов;
- Нет треков в мюонной системе ("Не космика" по мюонной системе, $N_{hitMK} < 3$ на событие);

Финальный отбор:

- Кинематическая реконструкция (Тодышев, Шамов) для выделения пионов (на выходе - число гипотез, предполагаемые частицы и χ^2) – пакет KrRec;

Условия отбора

- Для подавления каонов на χ^2 из кинематической реконструкции накладывается условие: $\chi^2(K)/\chi^2(\pi) > 1.020$.



Производится достаточно жесткий отбор событий.

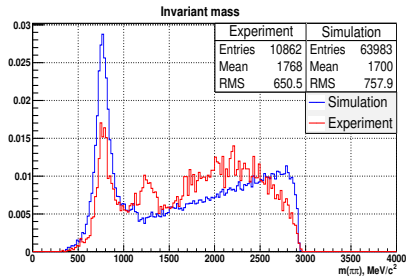
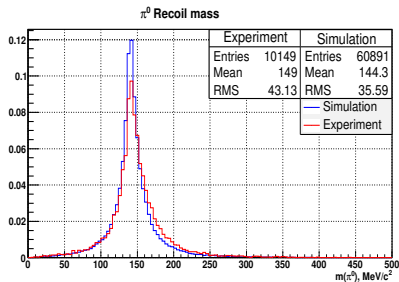
Предварительный отбор проходит число событий:

- Эксперимент – 134508
- Моделирование – 150533

Финальный отбор проходит число событий:

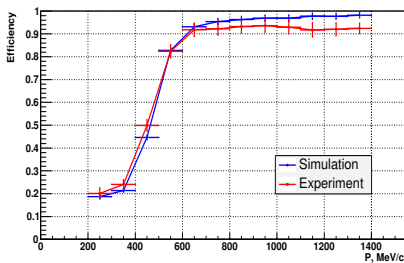
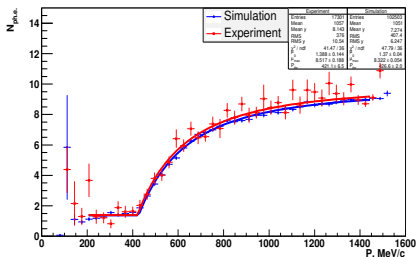
- Эксперимент – 10862
- Моделирование – 63983
- Рассматривается область счетчика АШИФ по аэрогелю без отступа от края, с вырезом электроники и шифтера (геометрическая эффективность для толстого счетчика $\sim 84\%$).

Эффективность регистрации адронов



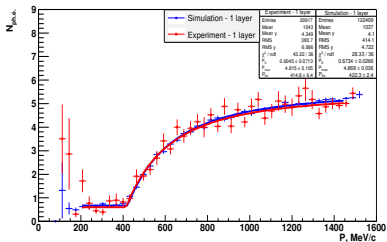
Толстый счетчик

порог — 0.7 ф.э.

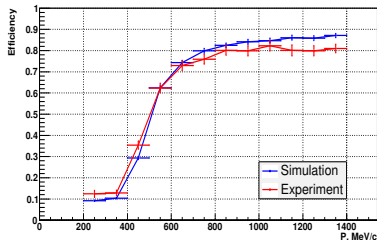


Эффективность регистрации адронов

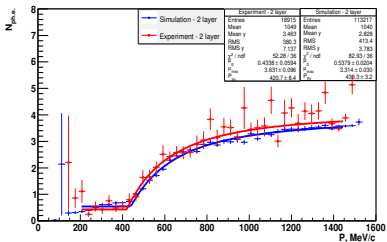
1 слой



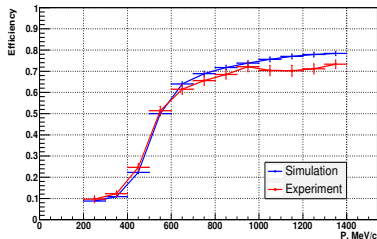
порог 0.1 ф.э.



2 слой



порог 0.1 ф.э.



- Разработана программа моделирования для двухслойной системы счетчиков АШИФ в составе пакета KEDRSIM детектора КЕДР;
- Моделирование эффективности регистрации мюонов хорошо согласуется с экспериментальными данными (из калибровочных заходов с космическими мюонами);
- Моделирование эффективности регистрации адронов в системе АШИФ выполненное для процесса $J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ находится в согласии с эффективностью полученной на экспериментальных данных, набранных в 2015-16 г. в пике J/ψ -резонанса при достаточно жестком отборе.