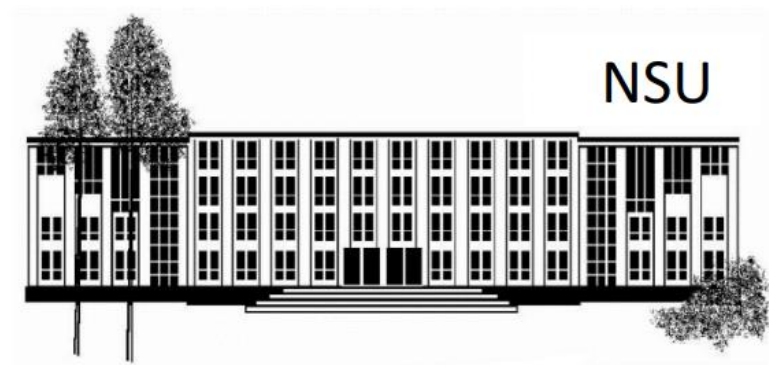


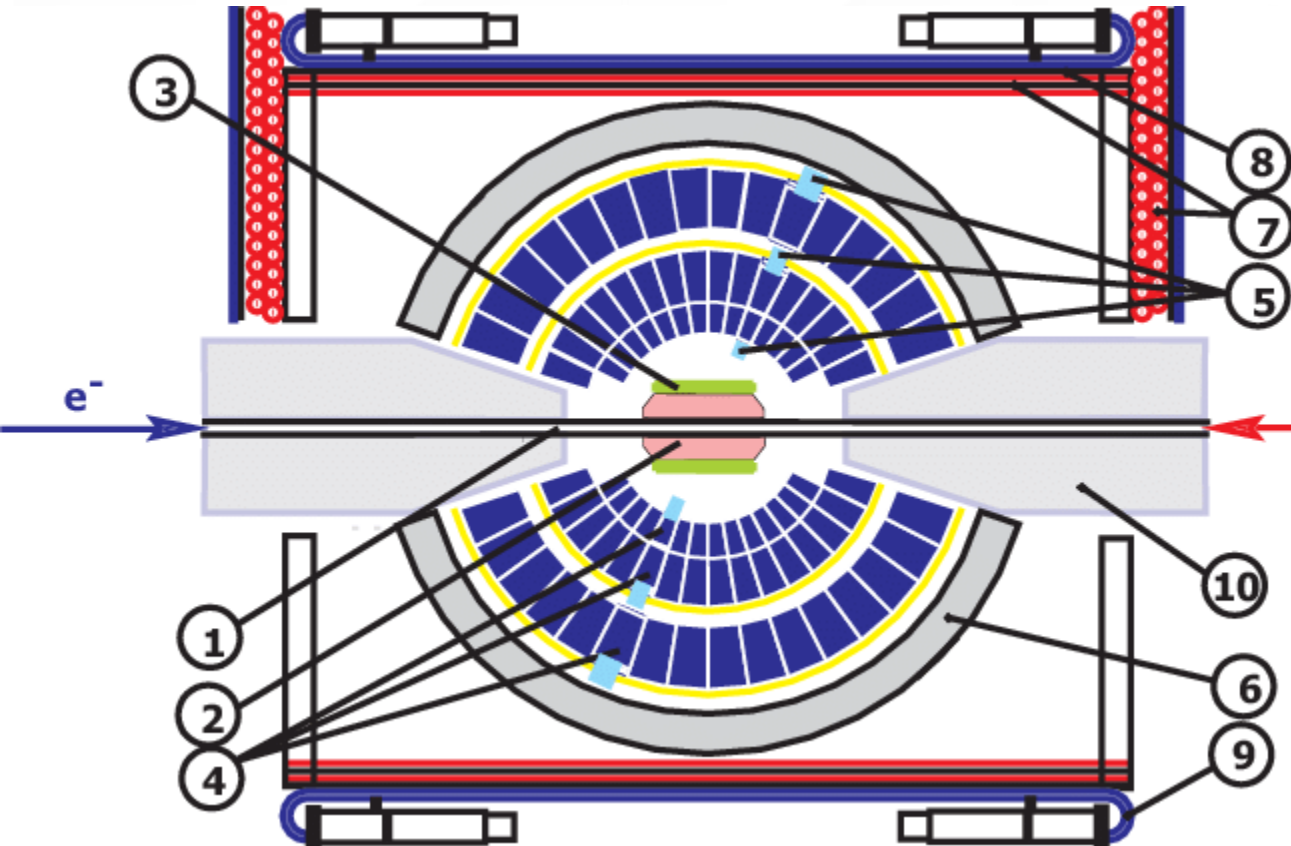
# Калибровка неоднородности светосбора аэрогелевого черенковского счетчика СНД

Кладов Валентин Алексеевич

Научный руководитель:  
Белобородов Константин Иванович  
ИЯФ, Лаборатория 3-1

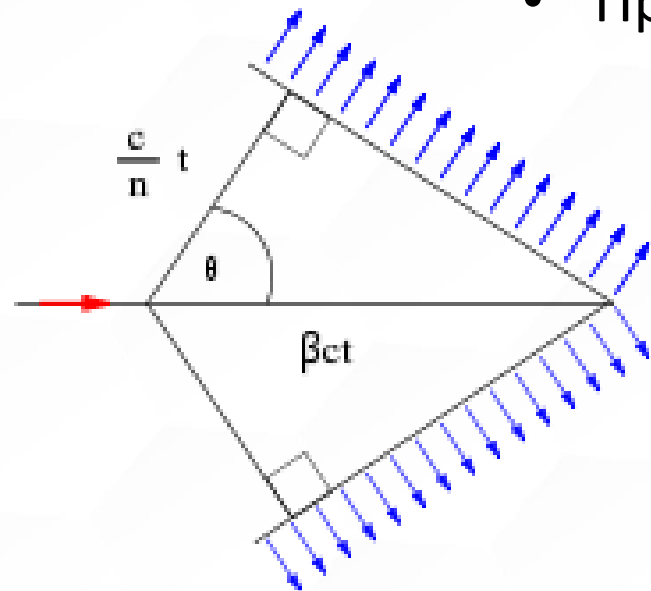


# Сферический Нейтральный Детектор



- 1 - вакуумная труба
- 2 - трековая система
- 3 - аэрогелевый черенковский счетчик
- 4 - кристаллы калориметра NaI (Tl)
- 5 - вакуумные фототриоды
- 6 - поглотитель
- 7–9 - мюонный детектор
- 10 - сверхпроводящие фокусирующие соленоиды

# Задачи черенковского счетчика

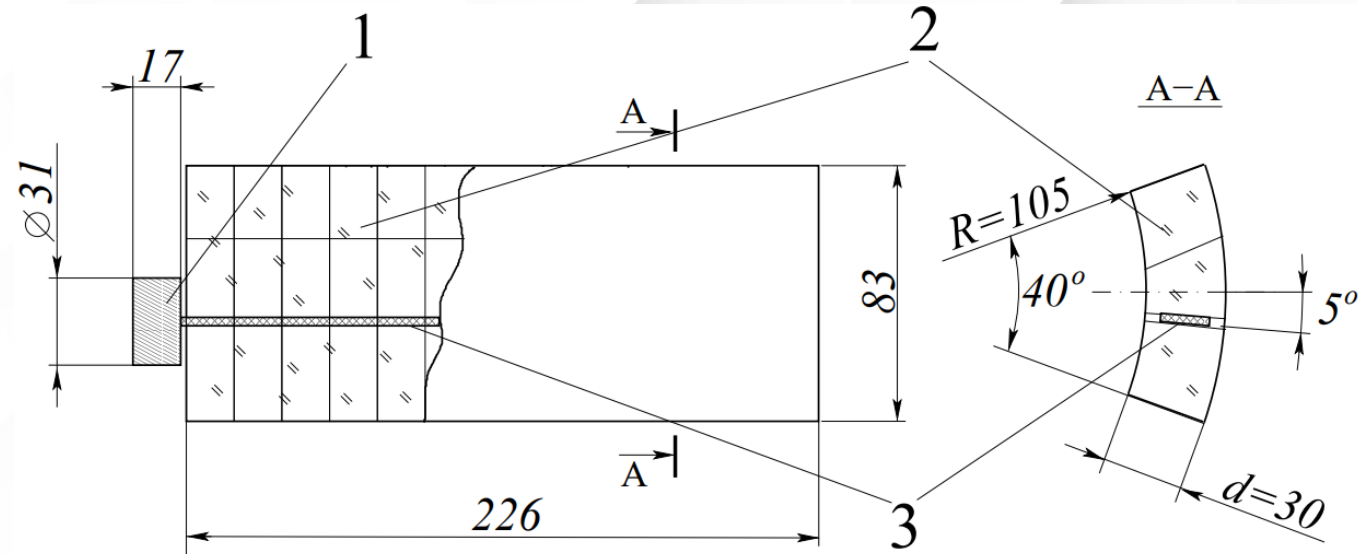
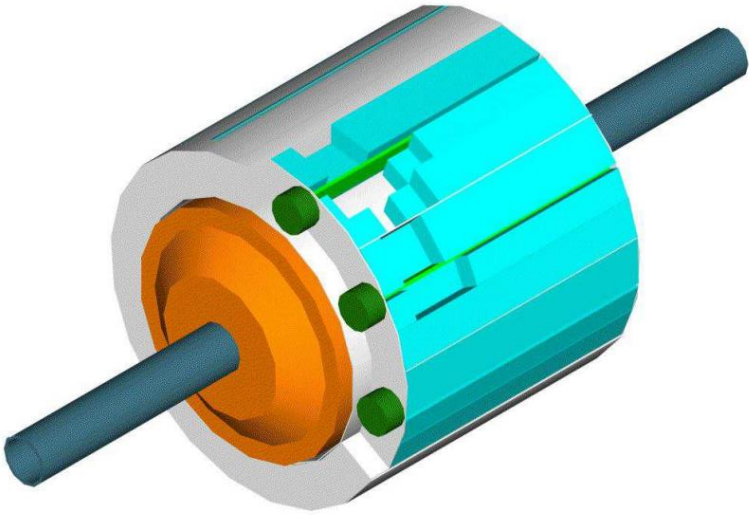


- При  $v > c/n$  заряженная частица излучает в конус с углом  $\cos \theta = \frac{1}{n\beta}$
- Количество излученных фотонов пропорционально  $\sin^2 \theta$
- Счетчик позволяет разделять частицы по массе в некотором диапазоне энергий т.к.  $v > c/n$  эквивалентно  $E^2 > \frac{m^2 n^2}{n^2 - 1}$

	$n = 1,05$	$n = 1,13$
e	1,8	1,1
$\mu$	373	227
$\pi$	493	300
K	1756	1059

Пороги энергии частиц для излучения, МэВ

# Устройство черенковской системы



1 – ФЭУ с МКП, 2 – аэрогель, 3 - шифтер

- 9 счетчиков в алюминиевом корпусе
- Телесный угол 60% от  $4\pi$
- $n = 1.05$  для  $e/\pi$  разделения
- $n = 1.13$  для  $\pi/K$  разделения

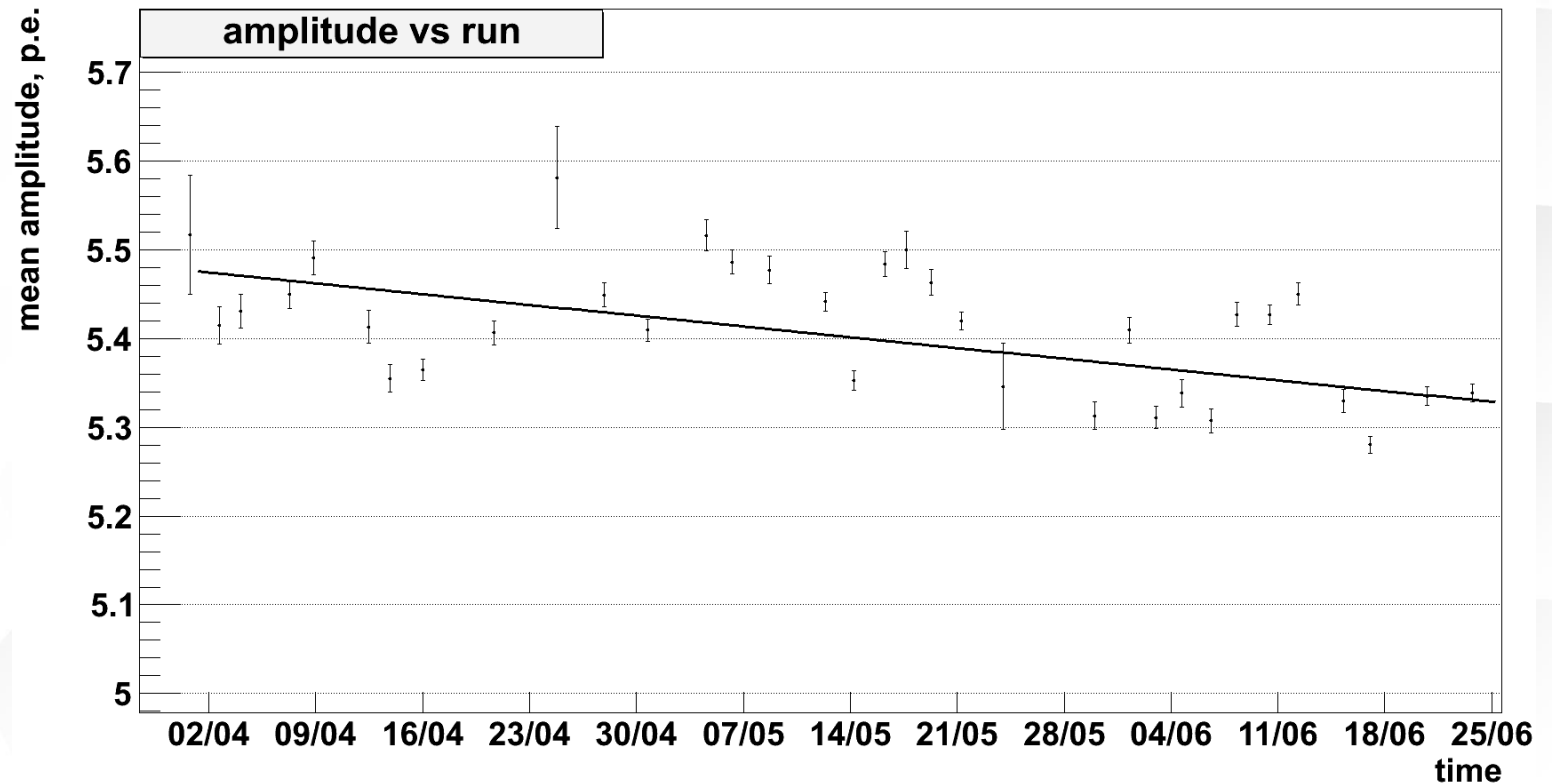
- Шифтер сдвинут на  $5^\circ$
- Толщина системы  $0.09 X_0$
- 3 ряда блоков аэрогеля в каждом счетчике

# Деградация светосбора

Светосбор – доля дошедших до ФЭУ фотонов от изначально излученных частиц

Эффективности светосбора:

- 1) Поглощение в аэрогеле
- 2) Прохождение части фотонов через тефлон
- 3) Поглощение в примесях металлов, окисляющихся в результате попадания влаги в счетчик
- 4) Деградация ФЭУ



Светосбор сильно зависит от трека частицы, деградирует со временем (3% за сезон) -> Необходима периодическая калибровка

# Цели и задачи работы

**Целью работы является** калибровка неоднородности сбора света системой.

## **Задачи:**

1. Измерение карты неоднородности светосбора.
  2. Применение карты в настройке моделирования и выполнение калибровок:
    - Калибровка средней амплитуды сигнала, учет излучения вторичных частиц
    - Калибровка эффективности регистрации
  3. Проверка калибровки на допороговой эффективности регистрации каонов
- 
- Процессы рождения пар, тормозное излучение, рождение дельта электронов и т.д. увеличивают экспериментальный сигнал.
  - Заложив экспериментальный сигнал в моделирование, в котором каждой заряженной частице будет присвоен увеличенный сигнал, в итоге получим еще больший сигнал.
  - Вычитать из моделируемого сигнала поправку, пока он не сойдется с заложенным экспериментальным.

# Отбор событий

Калибровка по событиям Баба-рассеяния  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ , отобранным из коллинеарного потока 2017 года с установленным аэрогелем  $n = 1.13$

Критерии отбора:

- Нет космики
- 2 заряженных частицы с зарядом = 1
- 0 незаряженных
- Попадание в счетчик
- Энерговыделение в калориметре:
  - $E_1/E_{\text{beam}} > 0.8$
  - $E_2/E_{\text{beam}} > 0.7$

- Коллинеарность

$$|\theta_1 + \theta_2 - \pi| < 6.9^\circ$$

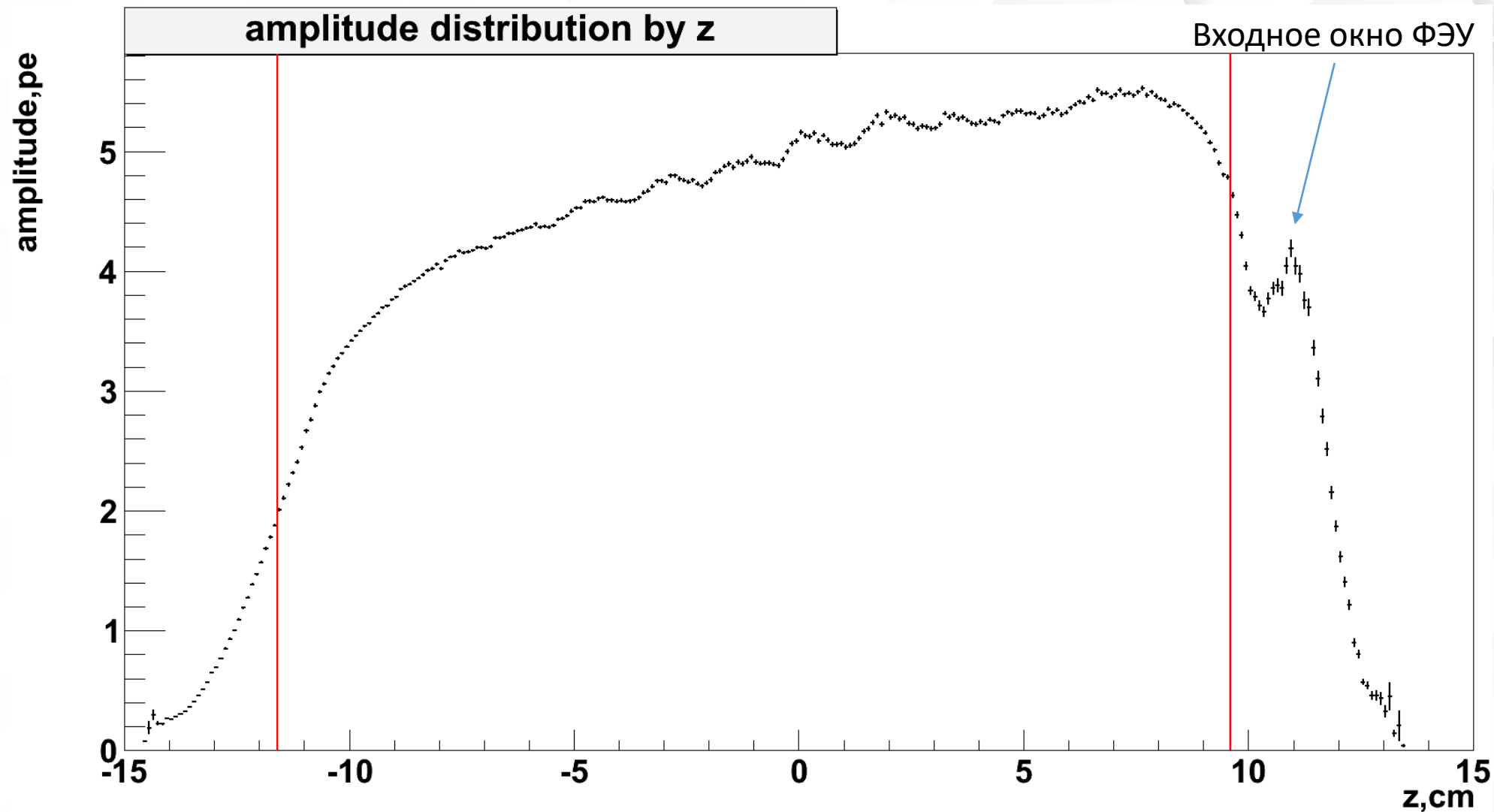
$$||\varphi_1 - \varphi_2| - \pi| < 5.7^\circ$$

- Пучковость -

$$|z_{01} - z_{02}| < 1.0 \text{ см}$$

$$|d_{01} - d_{02}| < 0.5 \text{ см}$$

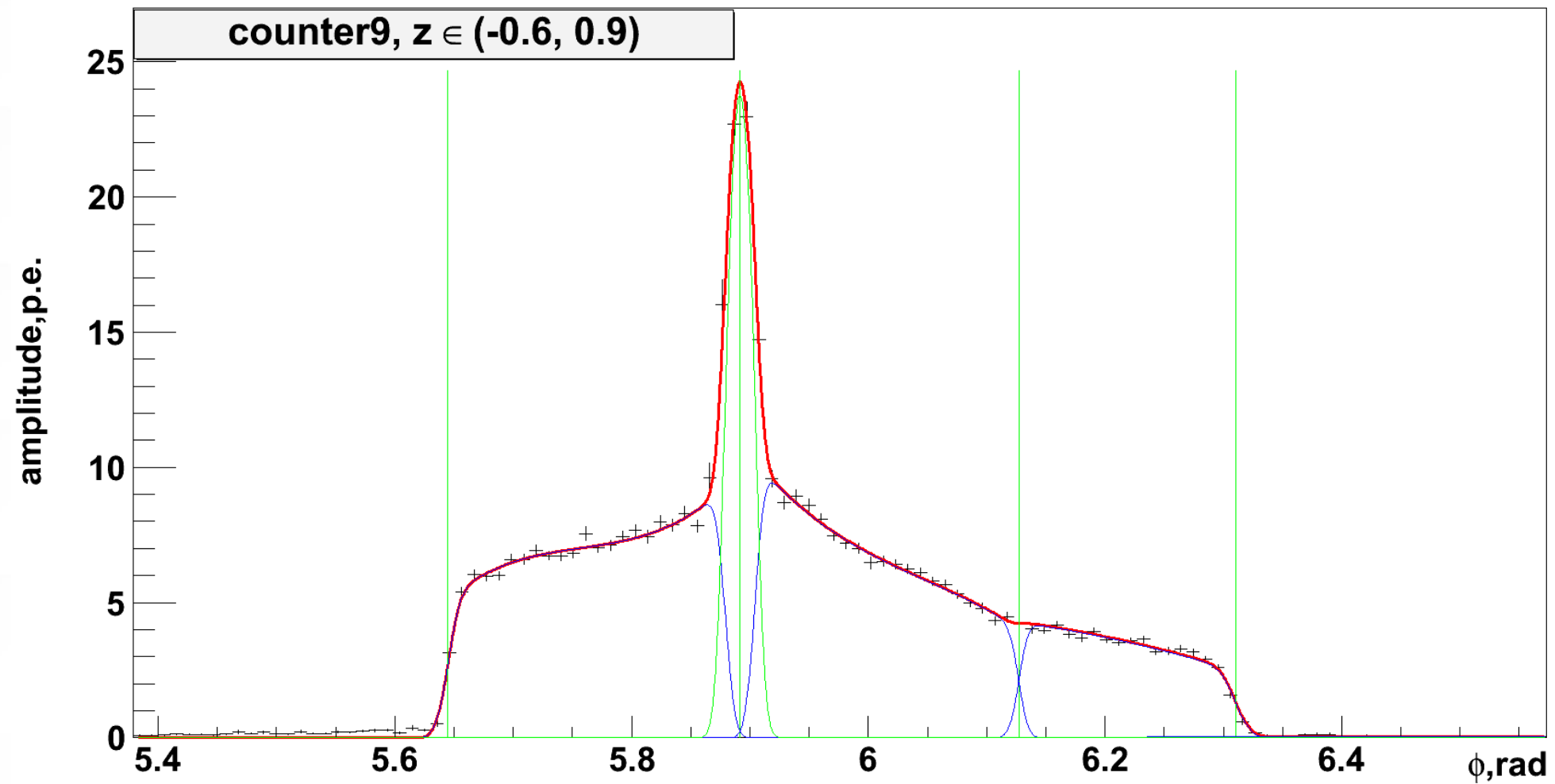
# Распределение по продольной координате пересечения счетчика



Продольное распределение амплитуды для всех счетчиков

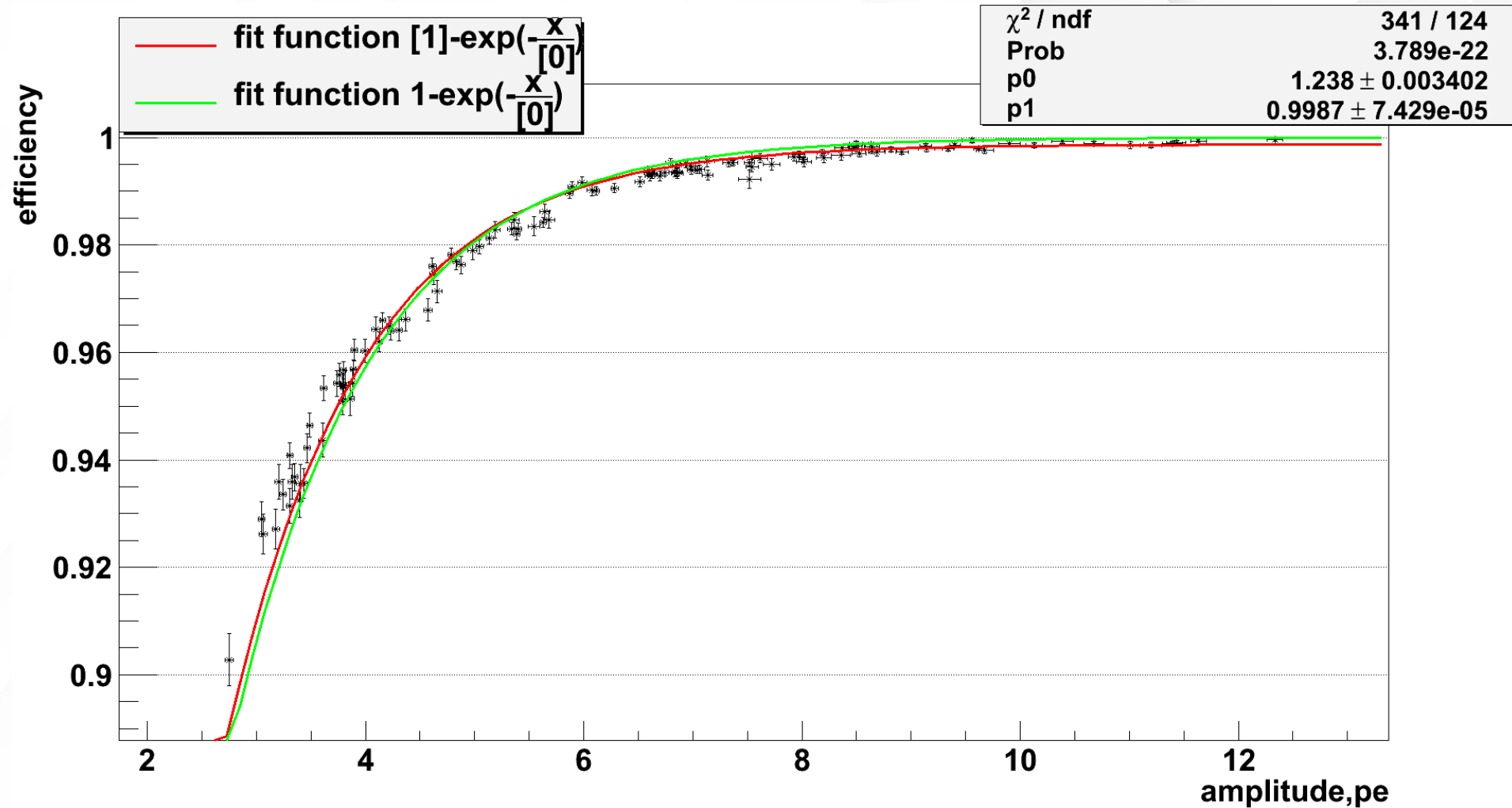


# Распределение по азимутальному углу вылета



Азимутальное распределение амплитуды для девятого счетчика и  $z$  в пределах от -0.6 до 0.9 см

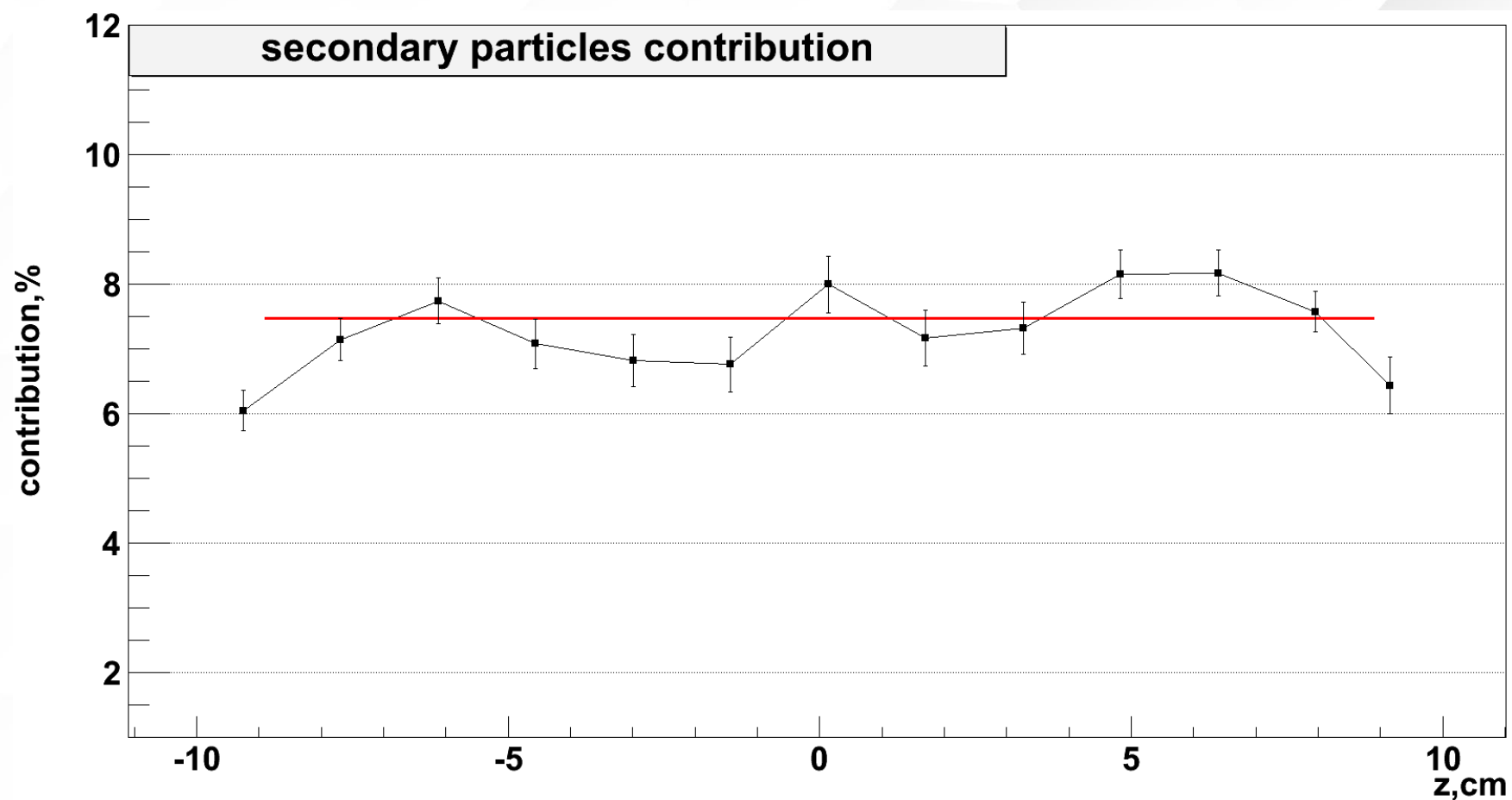
# Уровень просчетов системы



Измеренная эффективность в зависимости от измеренной амплитуды. Каждая точка – область счетчика.  
Уровень просчетов не больше чем 0.4%, а в среднем равен 0.25%

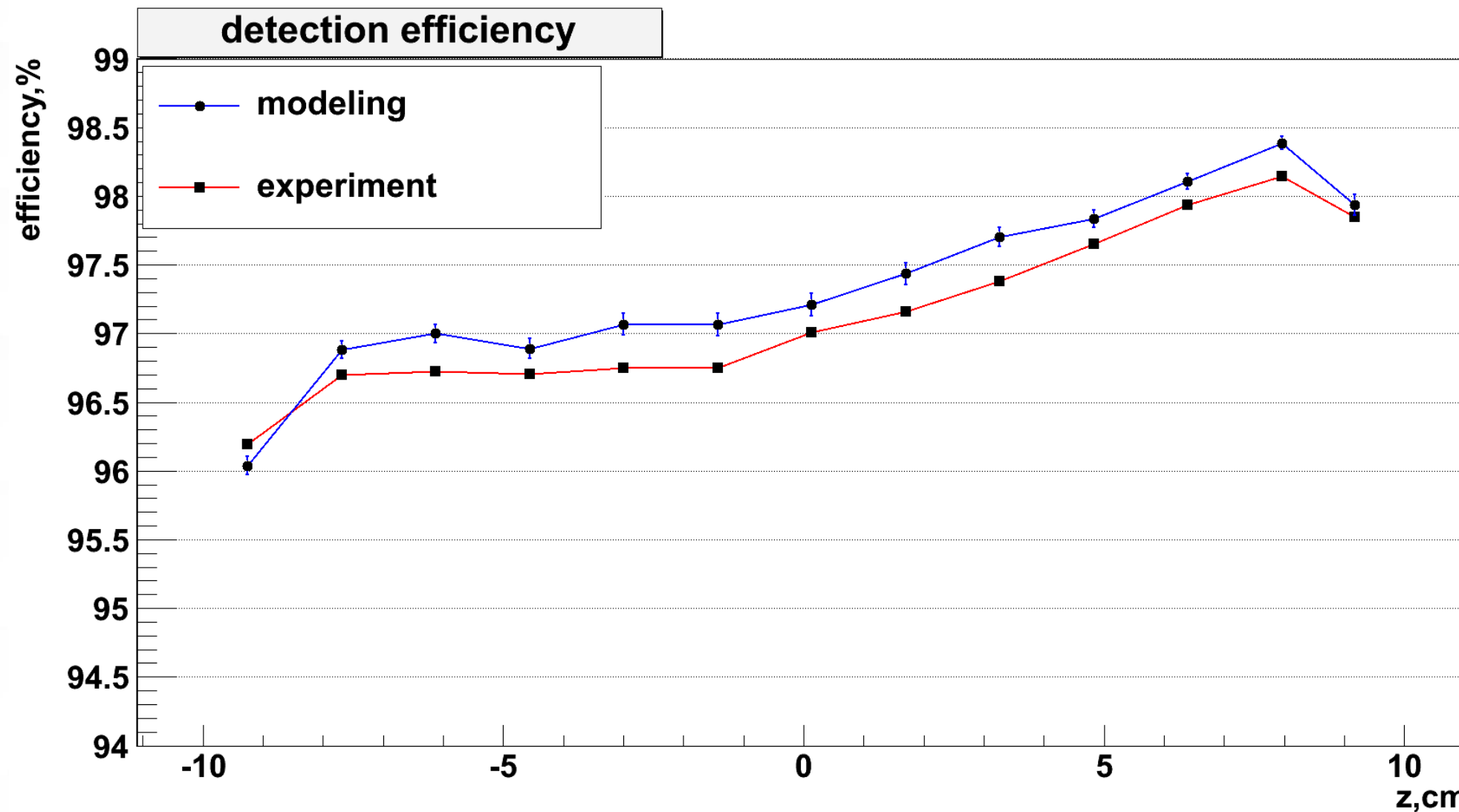
# Калибровка

1. Моделируются процессы рассеяния Баба в детекторе СНД
2. В черенковском счетчике каждой частице приписывается найденный выше экспериментальный сигнал
3. Отличие распределений связано со вкладом сигнал излучения вторичных частиц –  $7.5 \pm 0.5\%$



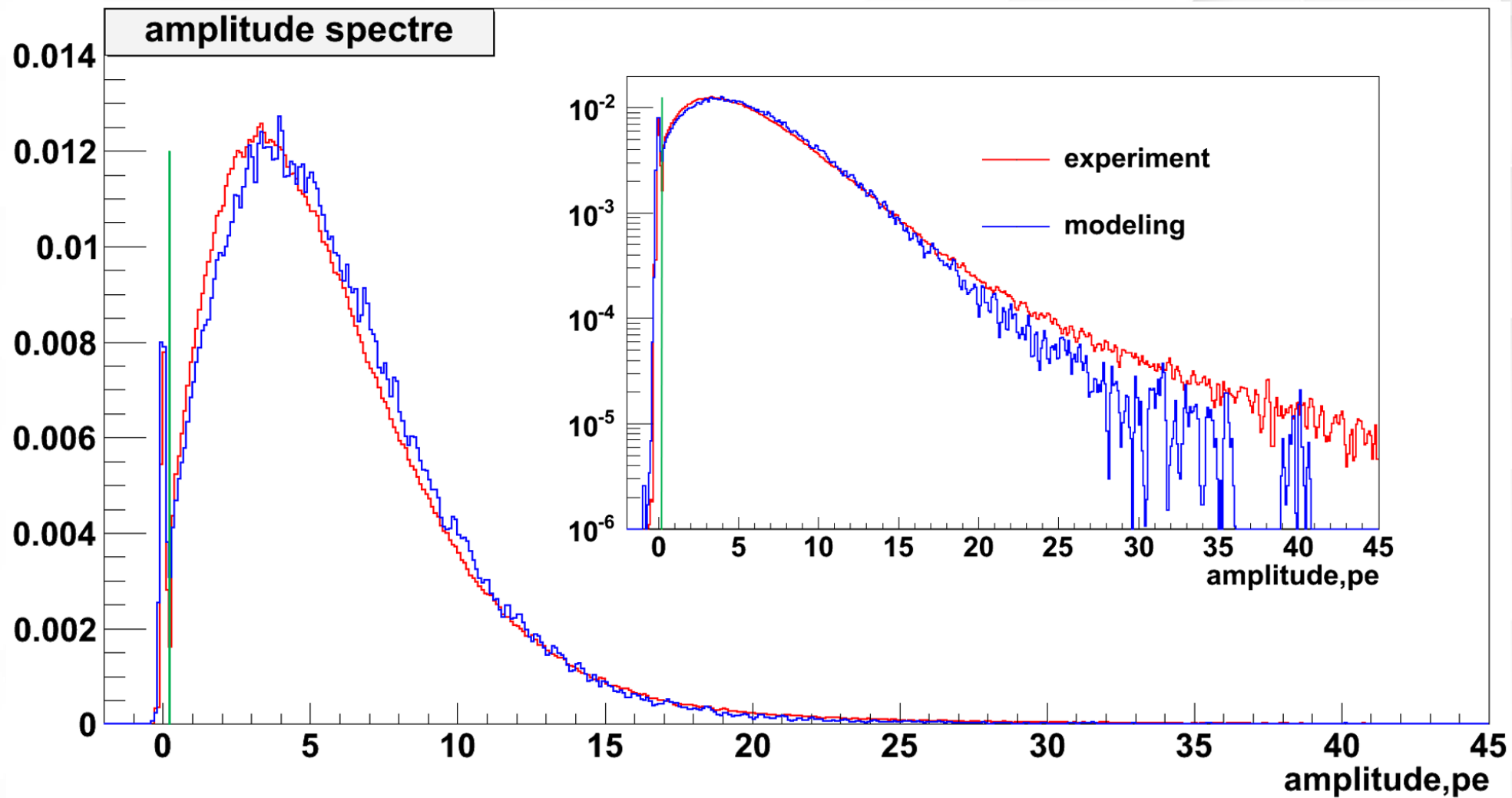
# Калибровка

Эффективности регистрации. Отличие 0.25%



# Калибровка

Отличие амплитудных спектров

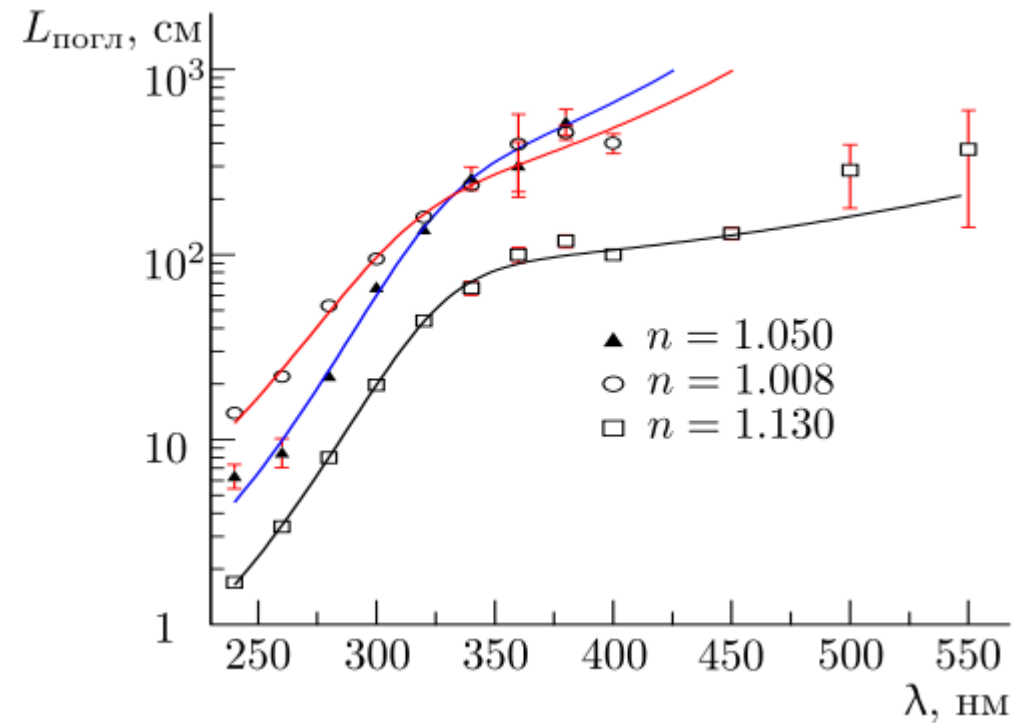
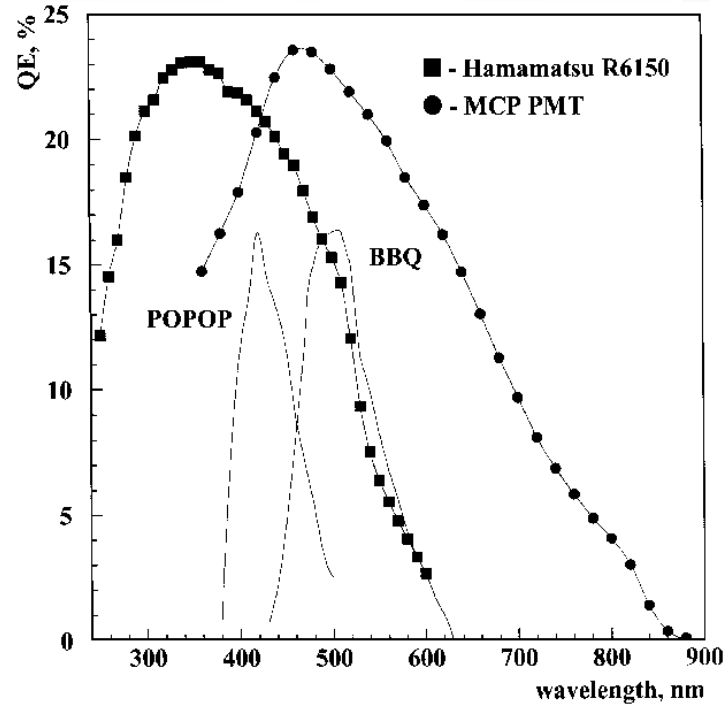
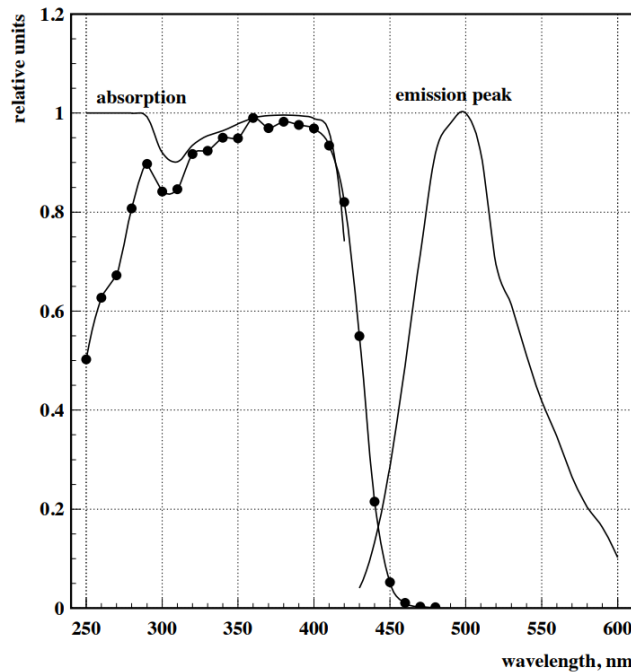


# Заключение

1. Измерена карта неоднородности светосбора черенковского счетчика на ультрарелятивистских частицах
  2. Исследована эффективность регистрации и найден уровень просчетов электроники.
  3. Найден и учтен вклад вторичных частиц в амплитуду сигнала.
  4. Учет неоднородности карты и доли вторичных частиц позволил воспроизвести эффективность регистрации счетчика.
- 
1. Проверка калибровки на допороговой эффективности регистрации каонов
  2. Уточнение одноэлектронной калибровки амплитудной шкалы
  3. Учет в моделировании неэффективности электроники

# Приложение

# Некоторые характеристики материалов



Спектр поглощения и излучения BBQ. Квантовая эффективность ФЭУ

Черенковское излучение обладает непрерывным спектром частот  $\sim \frac{1}{\lambda^2}$

Длина поглощения света для аэрогелей с разными показателями преломления

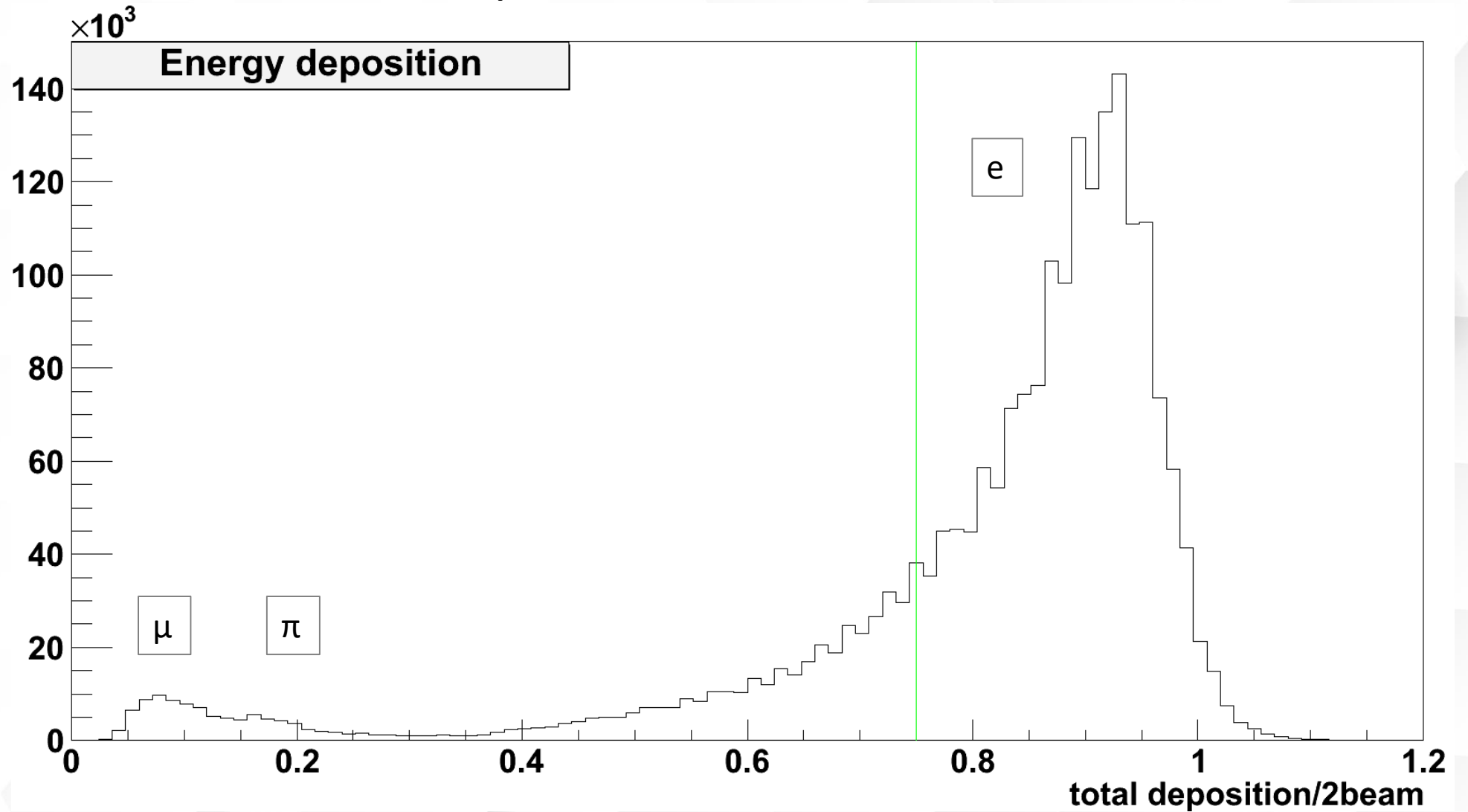
$L_{\text{расс}} \sim \lambda^4$ , 1.7 см при  $\lambda = 400$  нм

Barnykov, M. Yu, et al. "Development of aerogel Cherenkov counters with wavelength shifters and phototubes."



# Отбор событий

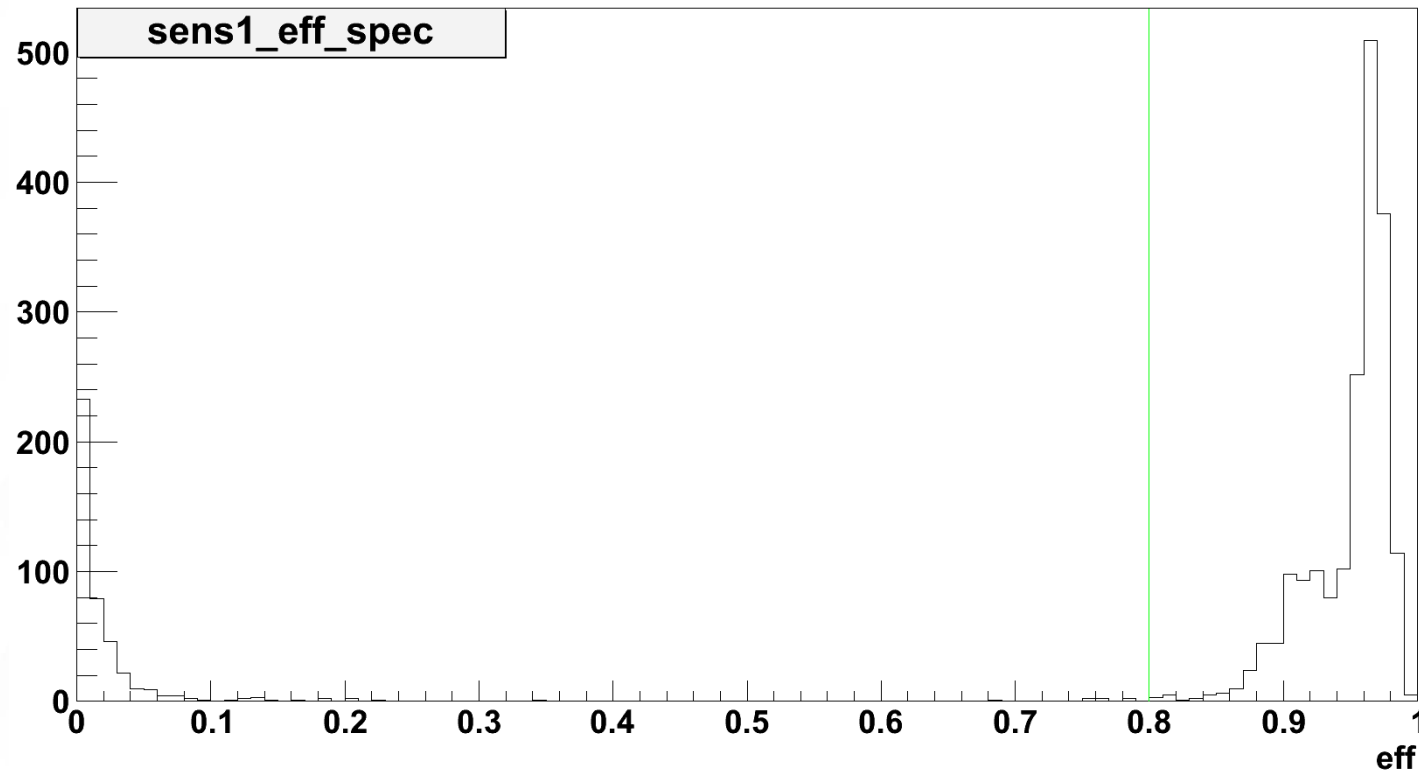
- $E_1/E_{\text{beam}} > 0.8$
- $E_2/E_{\text{beam}} > 0.7$



Энерговыделение в калориметре

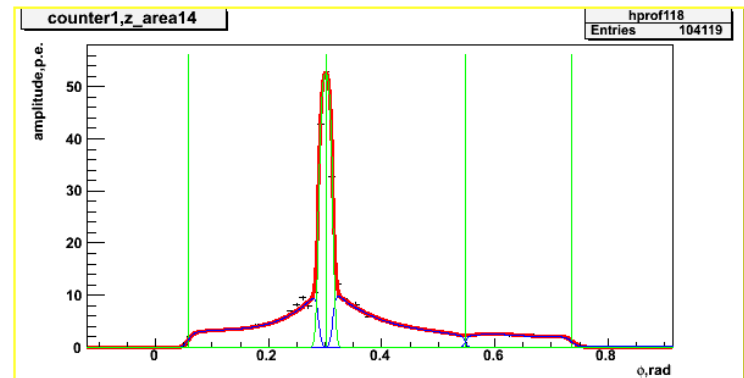
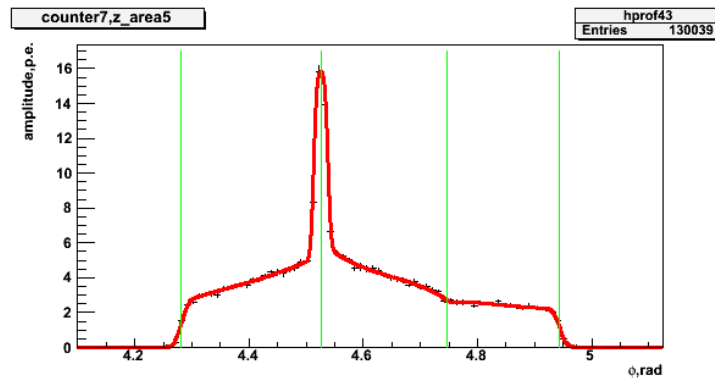
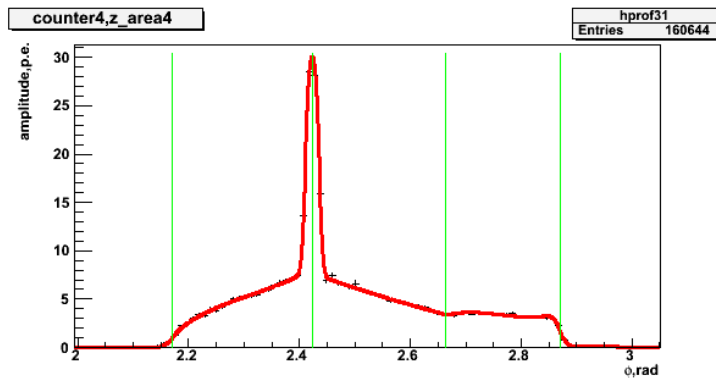
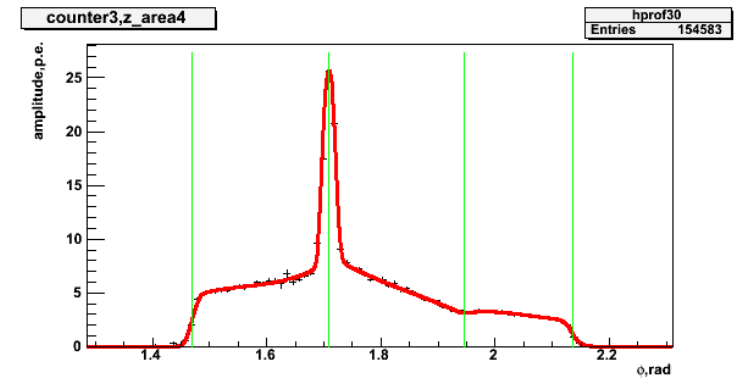
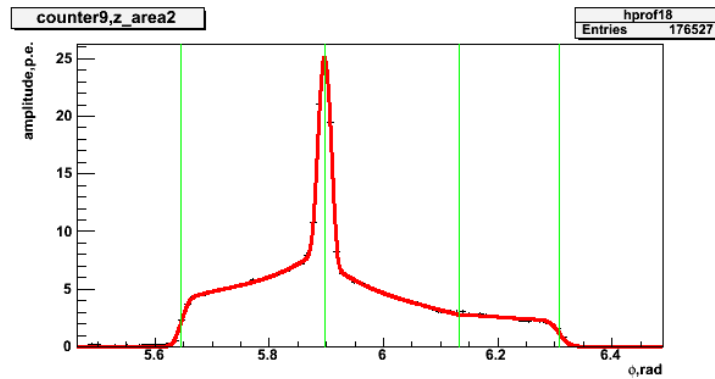
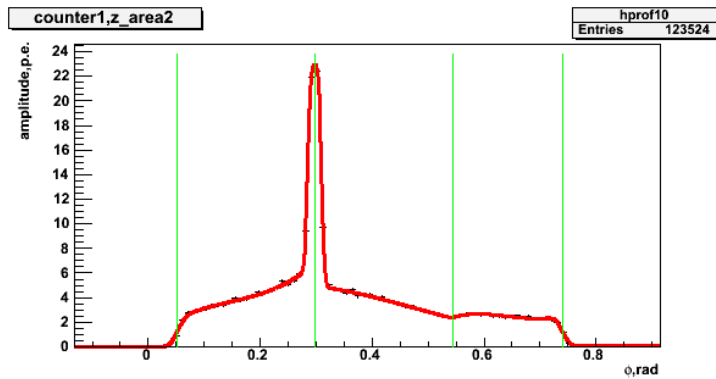
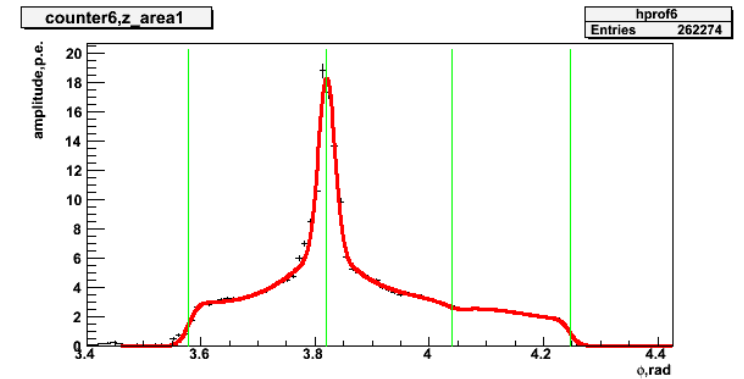
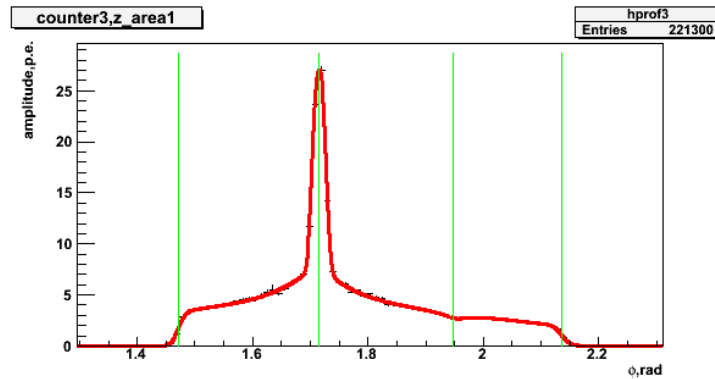
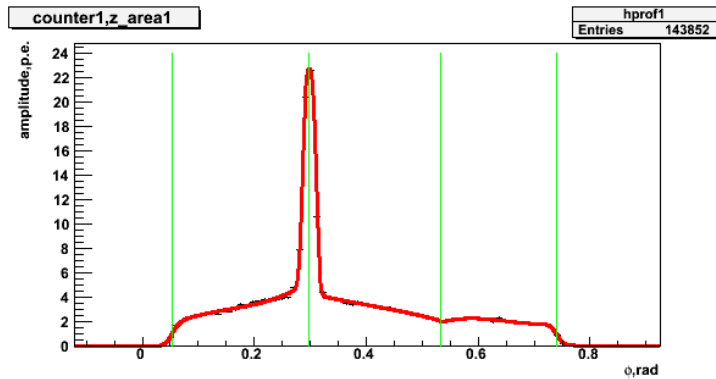
# Отбор событий

Выбор событий с хорошей эффективностью > 80%

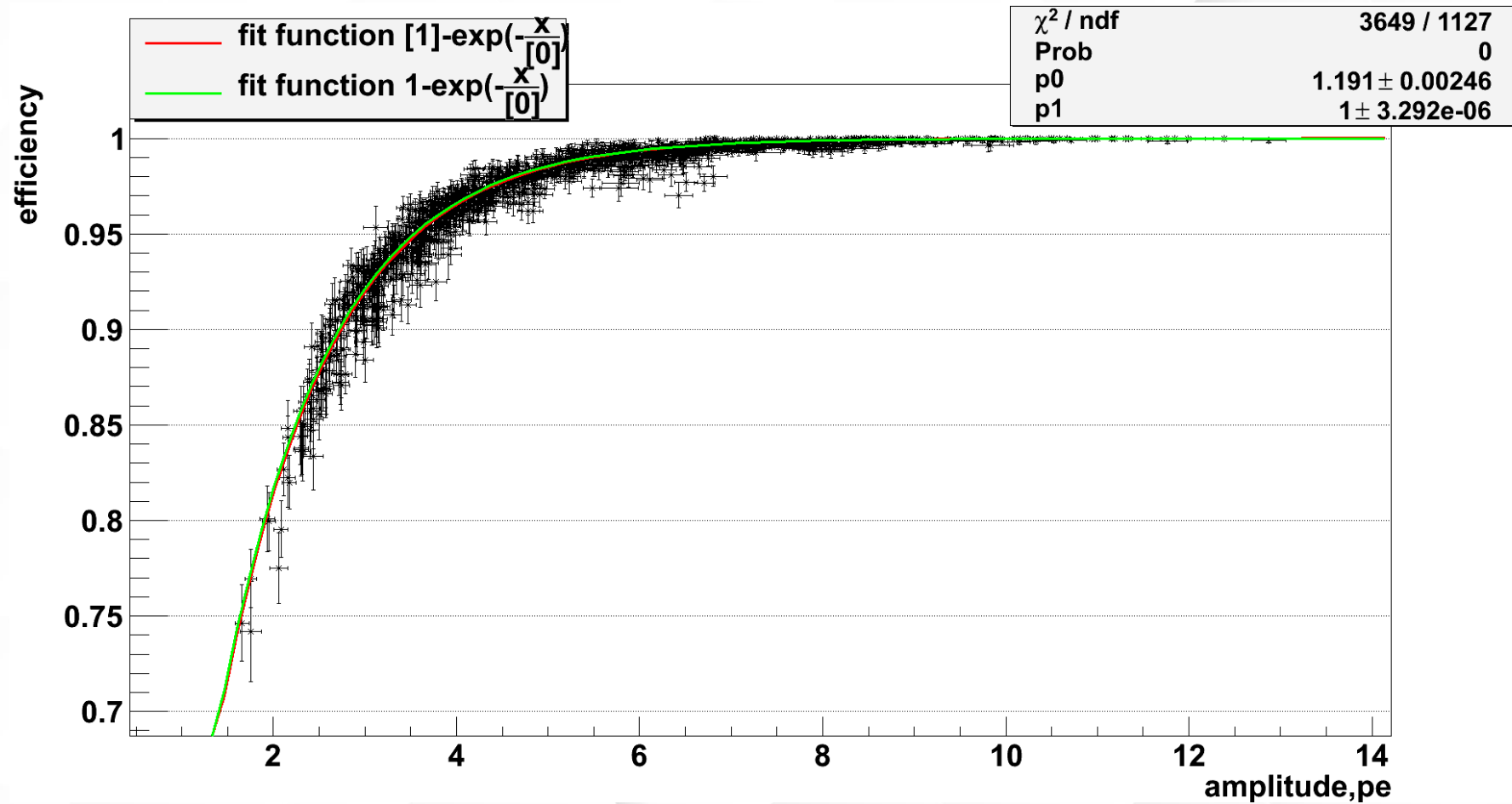


Спектр эффективности одного из 9 черенковских счетчиков

# Некоторые распределения



# Эффективность регистрации в моделировании



# Одна из физ. программ детектора

## Overview of SND results

### Published

$e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$	Phys. of Atomic Nuclei (2018)
$e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$	Phys.Rev. D97 (2018) no.1
$e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$	Phys.Rev. D97 (2018) no.3
$e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$	Phys.Rev. D94 (2016) no.11
$e^+e^- \rightarrow K^+K^-$	Phys.Rev. D94 (2016) no.11
$e^+e^- \rightarrow \omega\eta$	Phys.Rev. D94 (2016) no.9
$e^+e^- \rightarrow \omega\eta\pi^0$	Phys.Rev. D94 (2016) no.3
$e^+e^- \rightarrow \pi^0\gamma$	Phys.Rev. D93 (2016) no.9
$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$	JETP 121 (2015) no.1
$\eta \rightarrow e^+e^-$	JETP Lett. 102 (2015) no.5
$\eta' \rightarrow e^+e^-$	Phys.Rev. D91 (2015)
$e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$	Phys.Rev. D91 (2015) no.5
$e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$	Phys.Rev. D90 (2014) no.11
$e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$	Phys.Rev. D90 (2014) no.3
$e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$	Phys.Rev. D88 (2013) no.5

### In process

$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$   
 $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$   
 $\eta \rightarrow e^+e^-$   
 $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^0\pi^+\pi^-$   
 $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$   
 $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0$   
 $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0\pi^0$   
 $e^+e^- \rightarrow 6\pi$   
*etc*