

# Исследование физических характеристик прототипа GEM детектора для «Лазерного поляриметра» коллайдера ВЭПП-4М

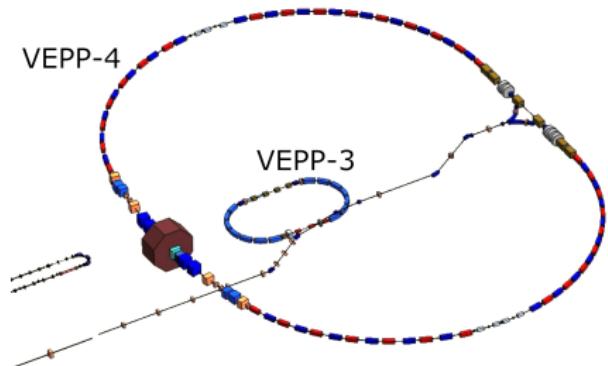
*Докладчик:* Степан Алексеевич Захаров

*Научный руководитель:* к.ф.-м.н. Иван Борисович Николаев

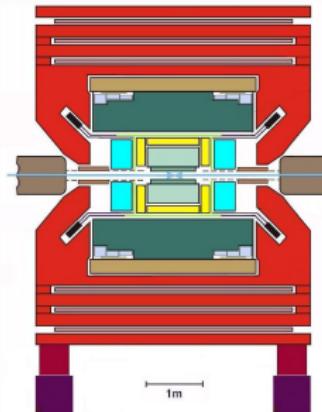
*Научный консультант:* д.ф.-м.н. Лев Исаевич Шехтман

13.06.2019

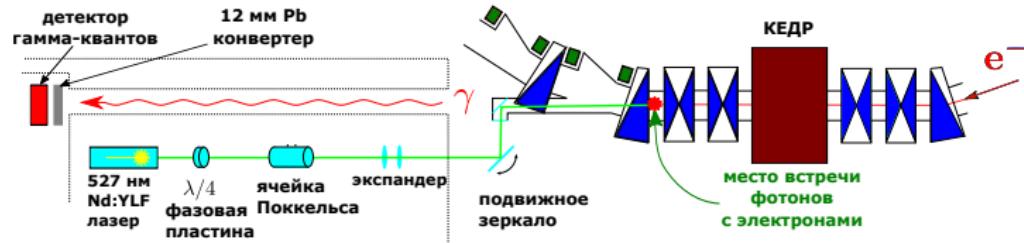
# Комплекс ВЭПП-4М – КЕДР



Коллайдер ВЭПП-4М



Детектор КЕДР



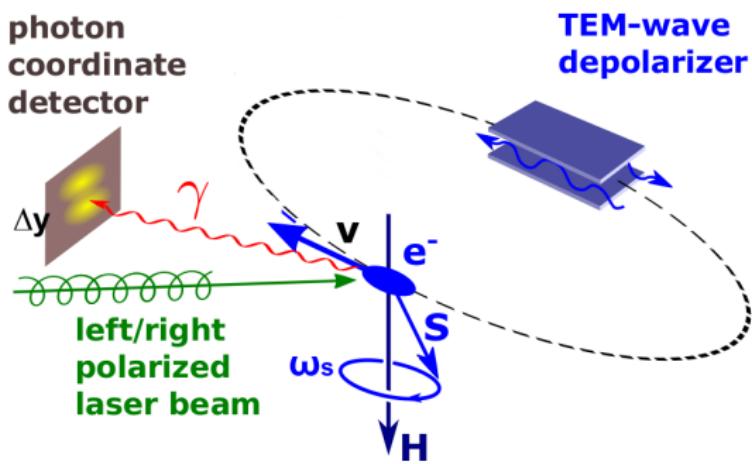
Лазерный поляриметр

# Метод резонансной деполяризации

Впервые реализован в ИЯФ СО РАН в 1974 г.

- $\Delta E/E \geq 10^{-6}$
- $\omega_r = \omega_s \left(1 + \gamma \frac{\mu'}{\mu}\right)$
- Условие резонанса:  
 $\omega_s = k\omega_r \pm \omega_d$
- Измеряем:

$$\Delta y = \frac{\omega_0}{2m_e} PL \Delta V$$



# Мотивация

- Прецизионные измерения масс в области  $\Upsilon$  – резонанса ( $m = 9.46 \text{ GeV}/c^2$ )
- Использование метода резонансной деполяризации при измерении энергии пучков
- Создание установки «Лазерный поляриметр»
- Необходим координатный детектор гамма-квантов

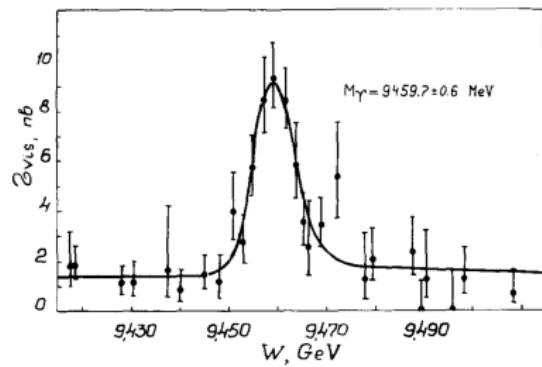


Рисунок из статьи: A.S. Artamonov et al., High Precision Measurement of the  $\Upsilon$  Meson Mass, 1982

# Цель

Создание прототипа GEM-детектора для установки  
«Лазерный поляриметр» и исследование его  
физических характеристик

# Задачи

- Изучение физических принципов работы газовых электронных умножителей
- Создание детектора на основе GEM
- Определение его физических характеристик:
  - уровня шумов
  - коэффициента усиления
  - пространственного разрешения
  - эффективности регистрации

# Газовые электронные умножители (GEM)

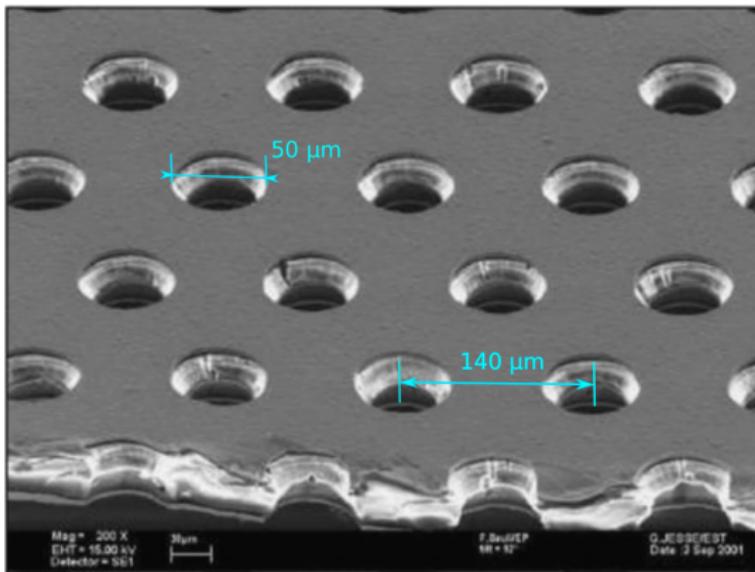
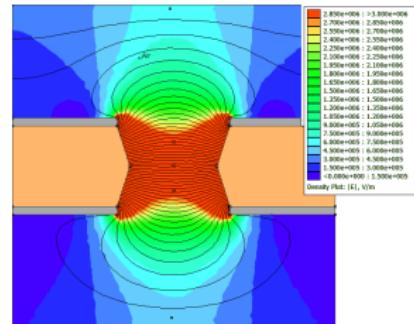


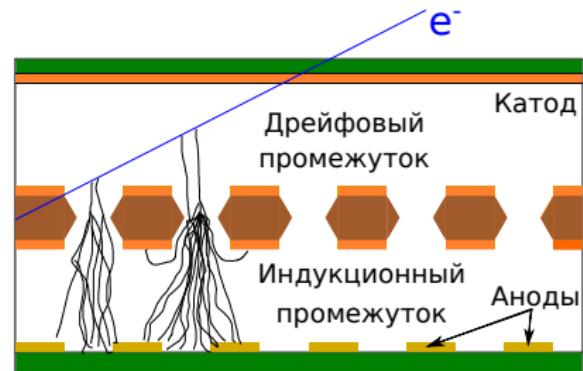
Рисунок из статьи: F. Sauli, The gas electron multiplier (GEM): Operating principles and applications, 2016

# Принцип работы GEM детектора

- Первичная частица  $\Rightarrow e^-$  ионизации
- Дрейф  $e^-$  в область с высоким полем
- Возникновение электронных лавин в отверстиях GEM
- Проникновение  $e^-$  в индукционный промежуток
- Регистрация заряда считающей структурой



Моделирование распределения электрического поля в отверстиях GEM

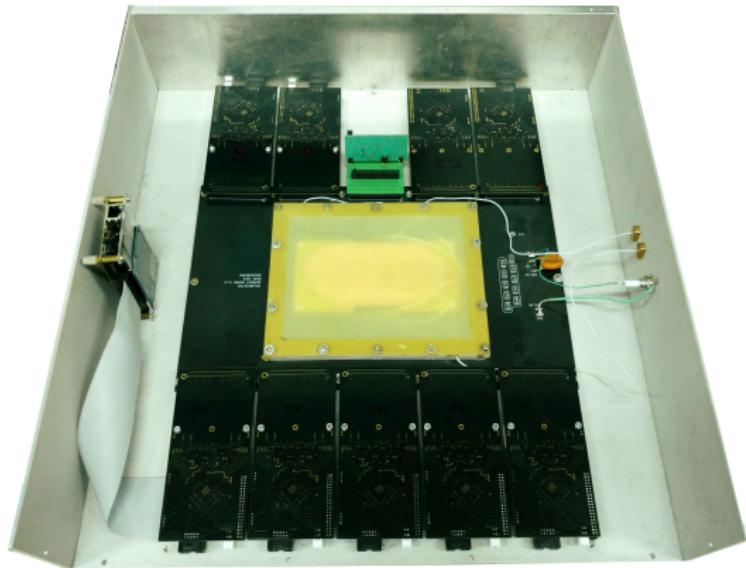


Принципиальная схема GEM детектора

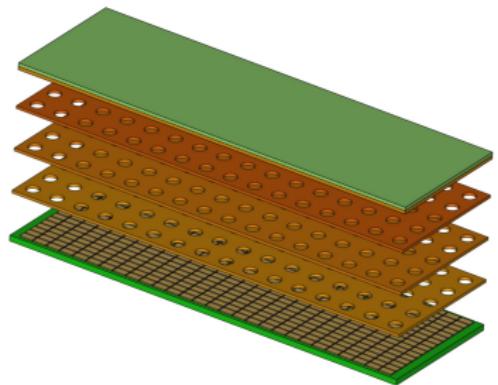
# Ключевые параметры детектора для «Лазерного поляриметра»

- Уровень шумов: шумы АЦП, кросс-токи, сторонние наводки
- Коэффициент усиления: напряжение на GEM, геометрия усиливающей структуры
- Эффективность регистрации: напряжение на GEM, размеры чувствительной области
- Пространственное разрешение: геометрия регистрирующей структуры, напряжение на GEM

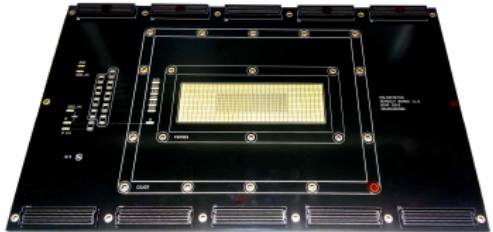
# Прототип детектора



Детектор в сборе

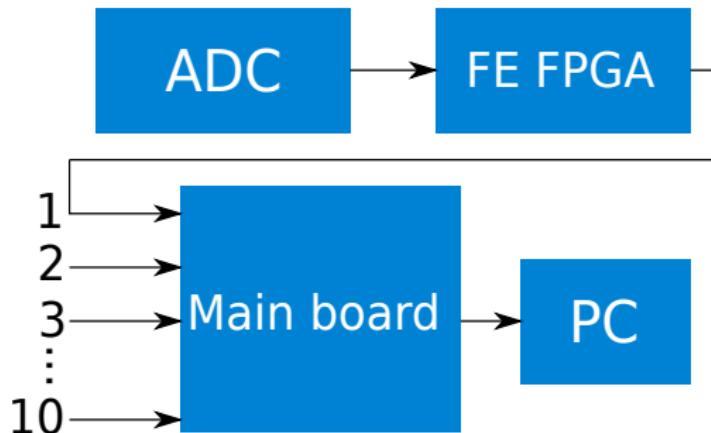


Расположение электродов и  
считывающей структуры

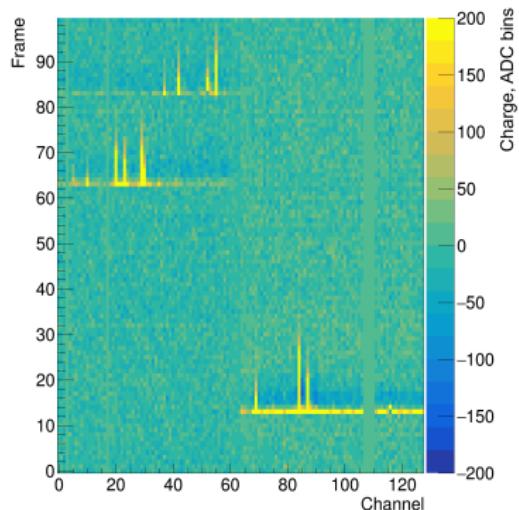


Плата со считающей структурой

# Организация системы сбора данных

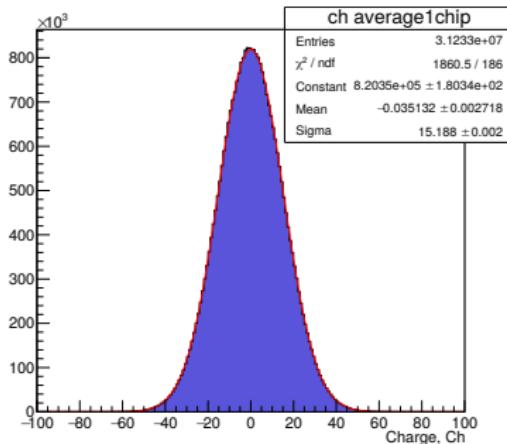


- Одно событие:  
128 каналов × 100 кадров
- 1 файл —  $10^4$  событий (640 MB)



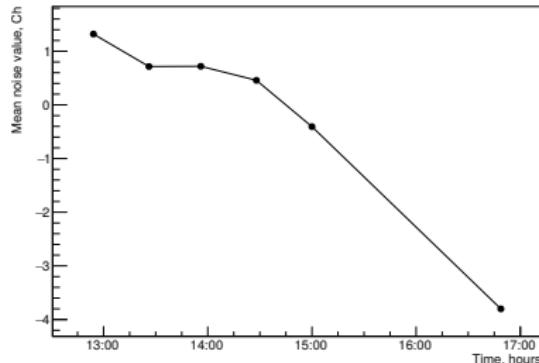
Монитор события

# Измерение уровня шумов

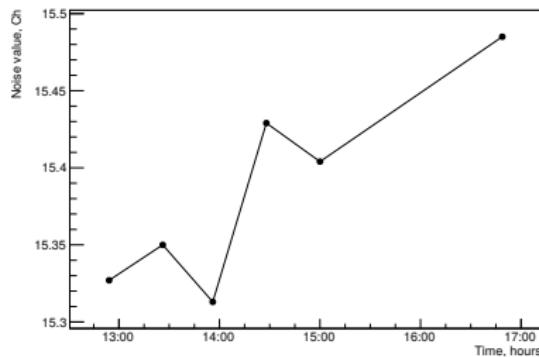


$$\sigma_n \approx 15.4 \text{ Ch} = 5700 e^-$$

$$\frac{\delta(\sigma_n)}{\sigma_n} = 0.01$$

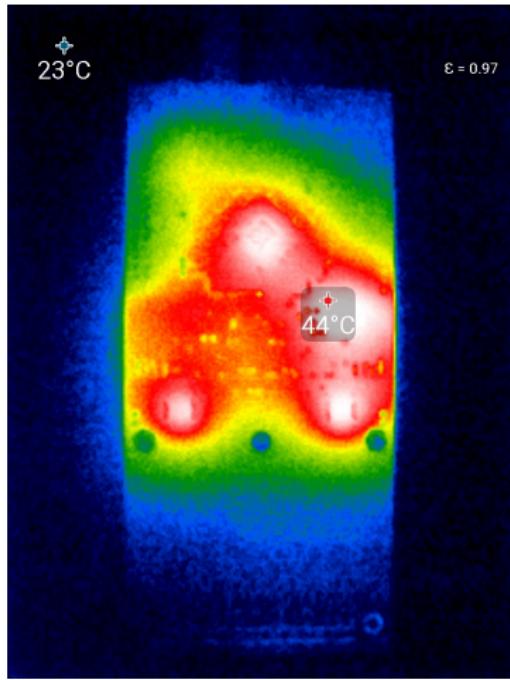


Дрейф среднего значения шумов

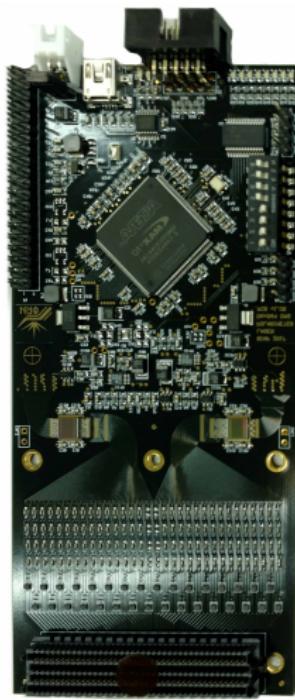


Дрейф уровня шумов

# Возможное объяснение: температурный дрейф

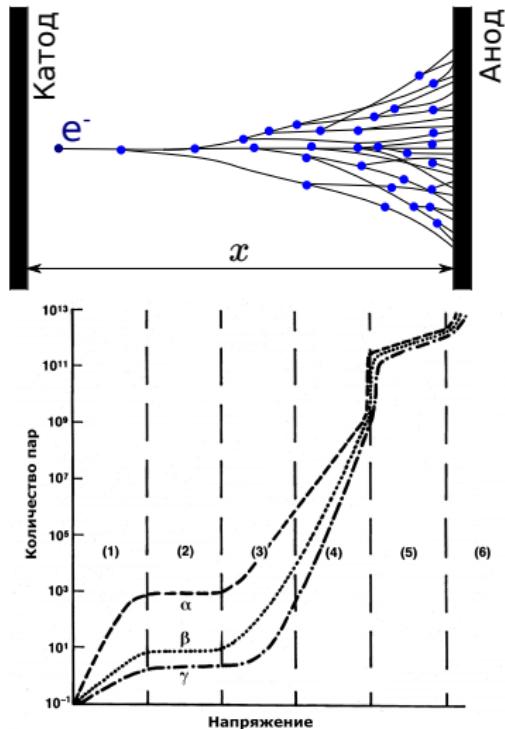


Автор фото: Василий Курдяев



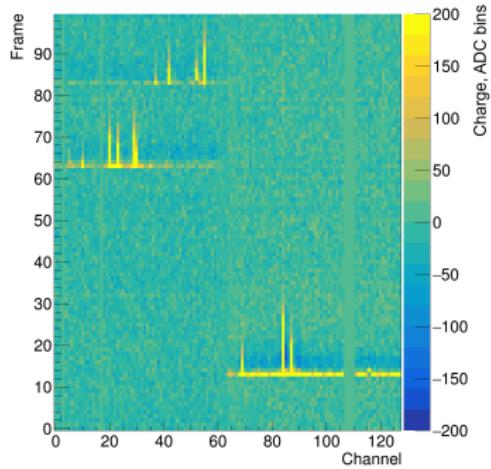
## Механизм газового усиления

- Условие возникновения  
 $E_e \gtrsim W_I$
  - Количество первичной ионизации:  $n_0 = \frac{\Delta E}{W_I}$
  - Количество зарегистрированного заряда:  $n_{tot} = \epsilon n_0 e^{\alpha x}$
  - Коэффициент газового усиления:  $K = \frac{n_{tot}}{n_0}$



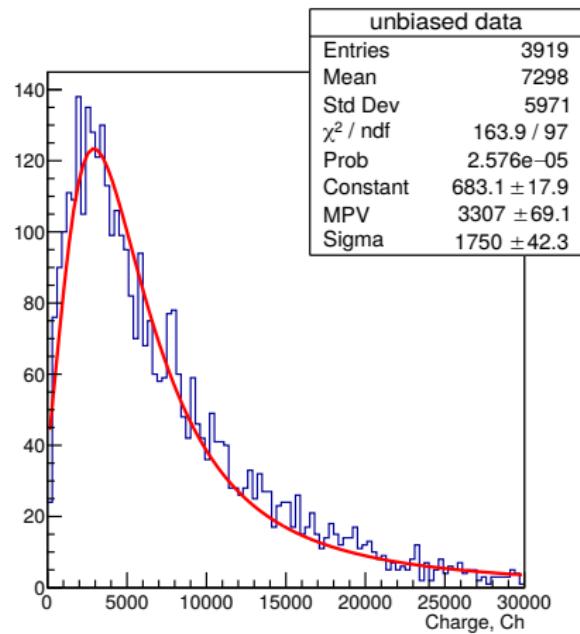
# Измерение коэффициента усиления GEM

- $^{90}\text{Sr}$  в качестве источника первичной ионизации
- Знаем  $n_0 \Rightarrow Q_0$  ( $n_0 \approx 26 e^-$ )
- Измеряем  $MPV(Q)$
- $K = \frac{MPV(Q)[Ch] \cdot 370[e^-/Ch]}{Q_0[e^-]}$

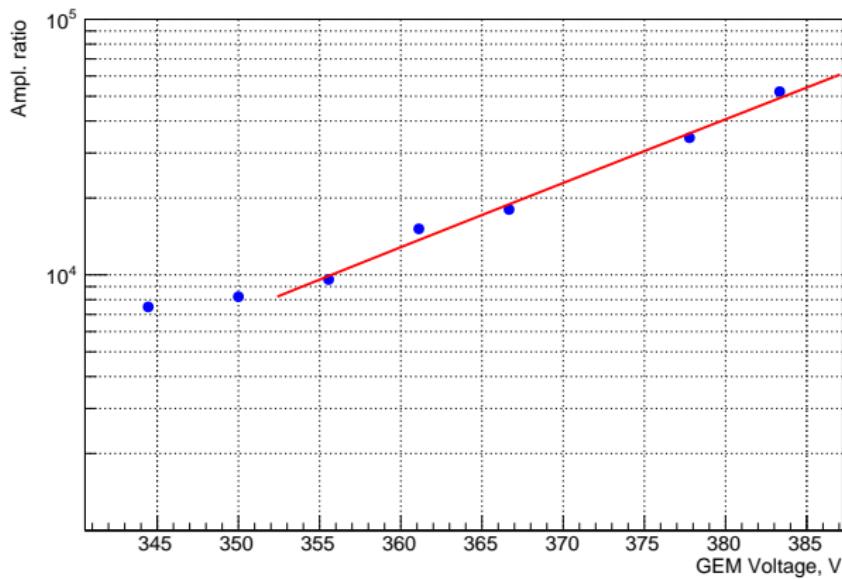


# Измерение коэффициента усиления GEM (обработка данных)

- Группа сработавших каналов → кластер
- $\Sigma Q$  для кластера
- Распределение по заряду кластера для выборки
- $MPV(Q)$  из аппроксимации
- $$K = \frac{MPV(Q)}{Q_0}$$



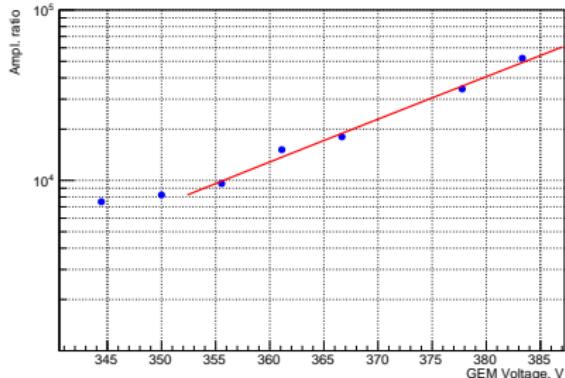
# Зависимость коэффициента усиления от напряжения



# Анализ полученных результатов

- Максимальный  $K \approx 58000$
- При  $K < 10000$  сигнал под шумами
- Экспоненциальный рост К с увеличением напряжения питания GEM

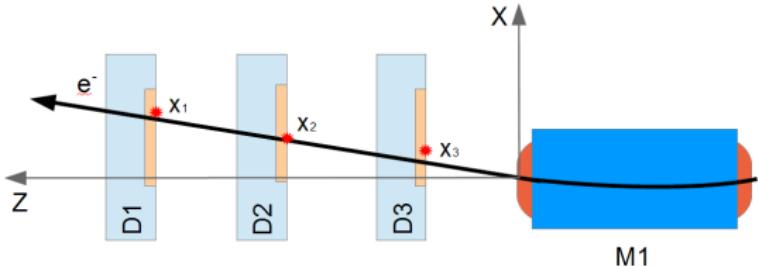
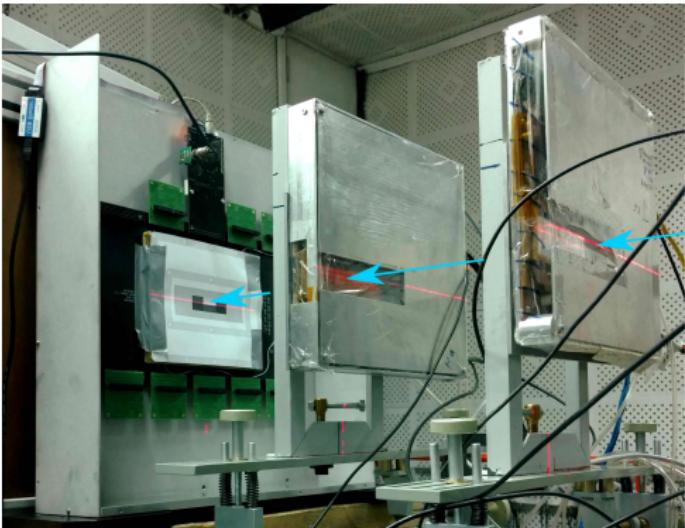
Такое поведение К характерно для GEM, что является показателем правильной работы усиливающей структуры детектора



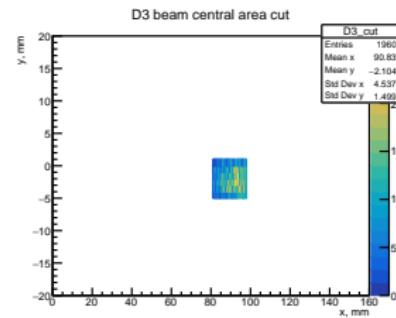
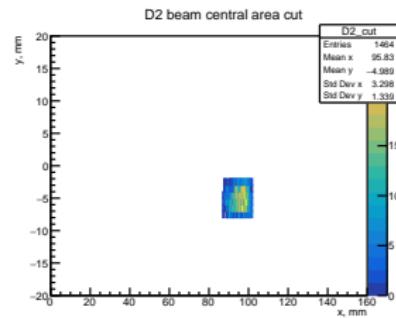
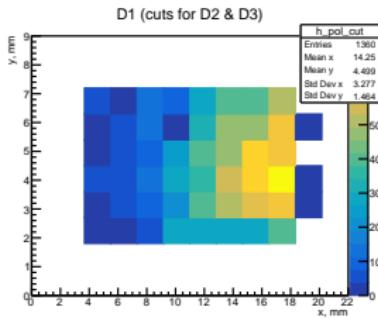
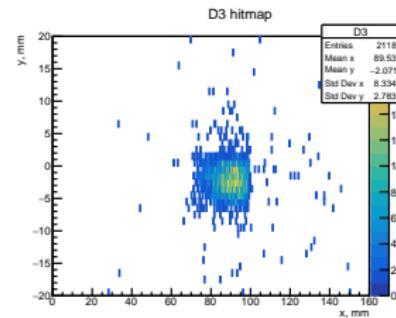
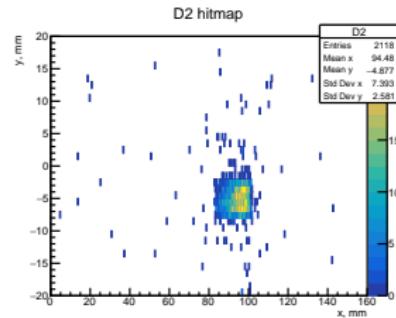
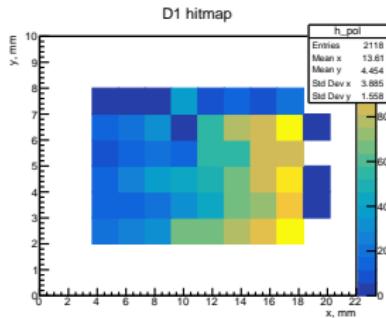
# Измерение эффективности регистрации

- $N_{23} = \varepsilon_2 \varepsilon_3 N_0$
- $N_{123} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 N_0$
- $\varepsilon_1 = \frac{N_{123}}{N_{23}}$

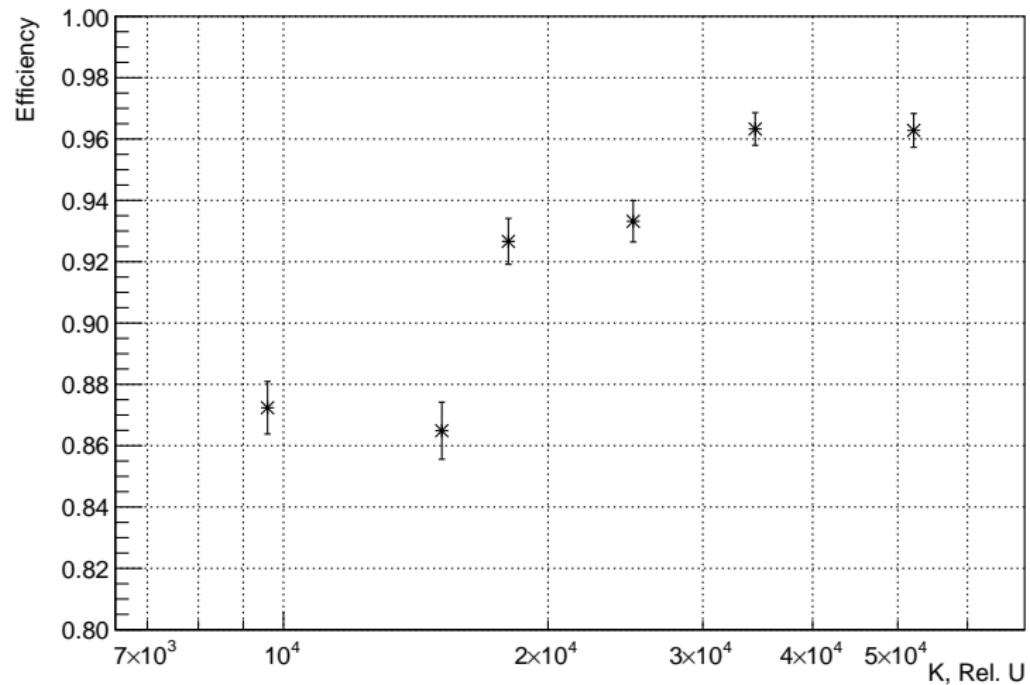
Проблема: не учитывается геометрия детектора!



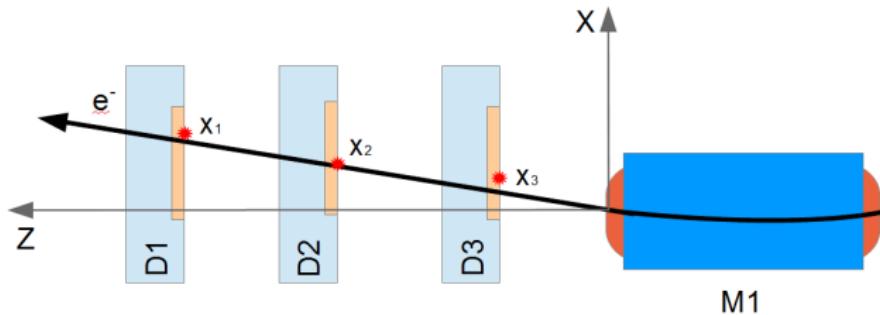
# Учет геометрического фактора



# Эффективность регистрации

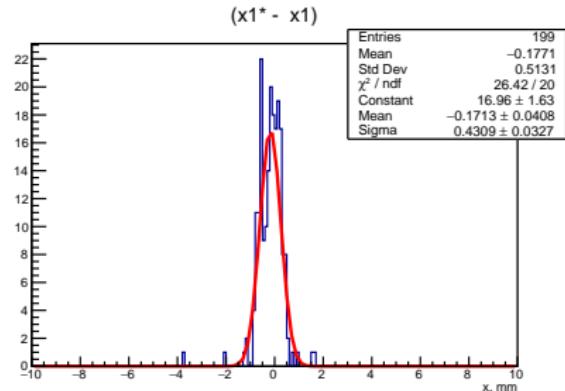
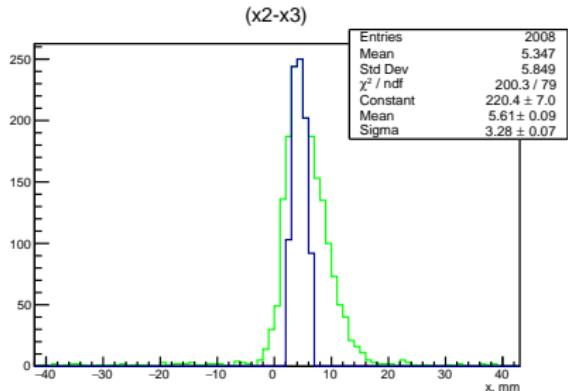
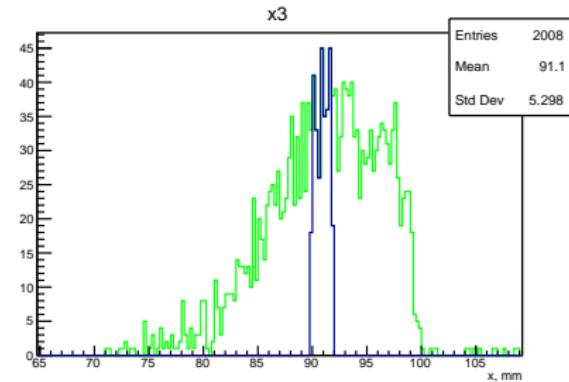
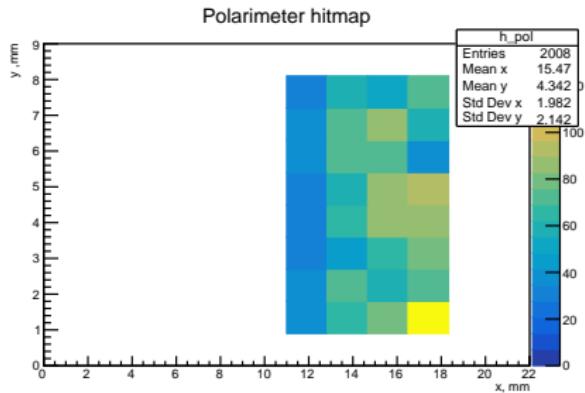


# Измерение пространственного разрешения

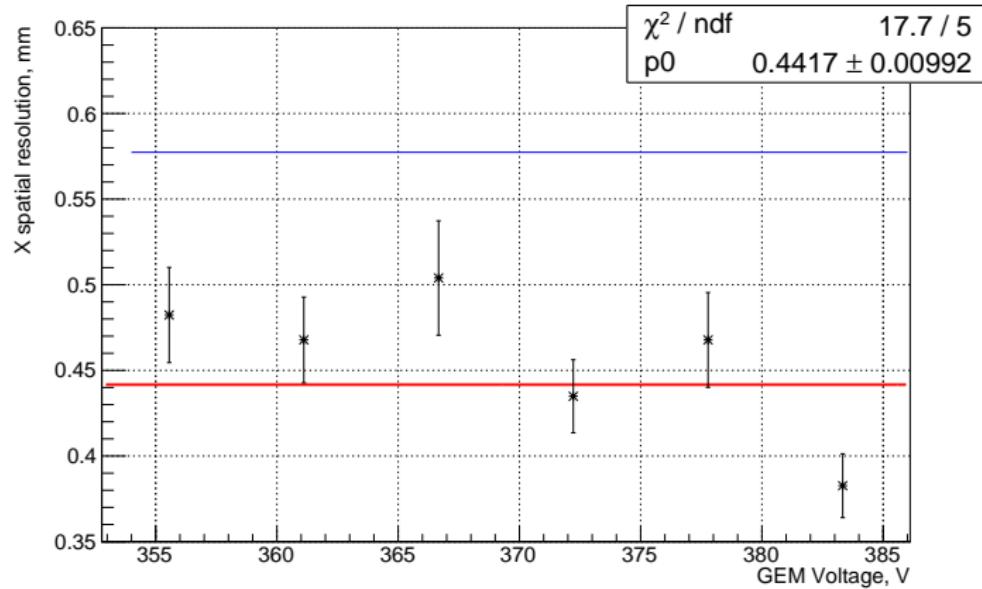


- Экстраполируем трек в D1:  
$$x_1^* = \frac{x_3 - (x_2 - \Delta x_{23})}{z_{23}}(z_{12} + z_{23}) + x_3 + \Delta x_{13}$$
- Распределение по величине  $(x_1 - x_1^*)$
- Пространственное разрешение —  $\sigma$  из аппроксимации гауссовой функцией

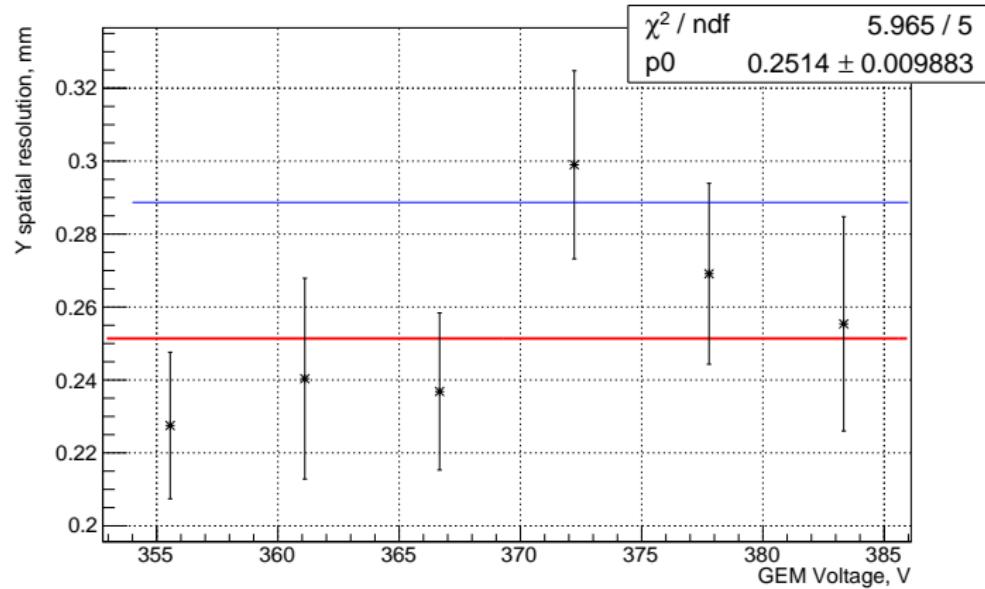
# Обработка полученных данных



# Пространственное разрешение по горизонтали



# Пространственное разрешение по вертикали



# Заключение

- Вводится в эксплуатацию прототип координатного детектора для «Лазерного поляриметра»
- В ходе работы измерены его физические параметры:
  - Уровень шумов:  $\sigma_n \approx 5700e^-$
  - Коэффициент усиления GEM:  $K_{max} \approx 58000$
  - Эффективность регистрации  $\varepsilon = (87 \div 96) \pm 1\%$
  - Пространственное разрешение:
    - $\sigma_x = 0.44 \pm 0.01$ (стат.) мм
    - $\sigma_y = 0.251 \pm 0.009$ (стат.)  $\pm 0.017$ (сист.) мм

# Исследование физических характеристик прототипа GEM детектора для «Лазерного поляриметра» коллайдера ВЭПП-4М

*Докладчик:* Степан Алексеевич Захаров

*Научный руководитель:* к.ф.-м.н. Иван Борисович Николаев

*Научный консультант:* д.ф.-м.н. Лев Исаевич Шехтман

13.06.2019

# Backup: Наиболее вероятное значение потерь энергии в детекторе

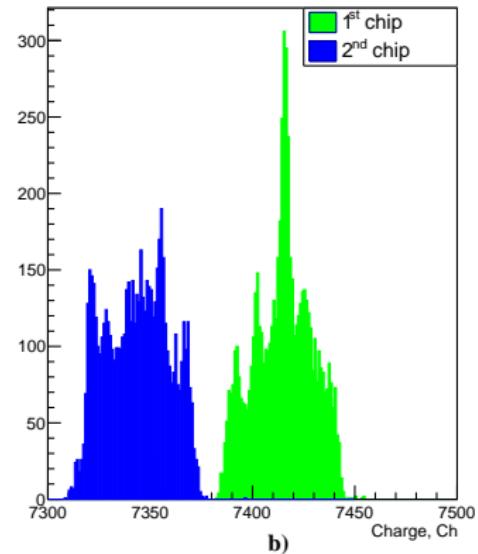
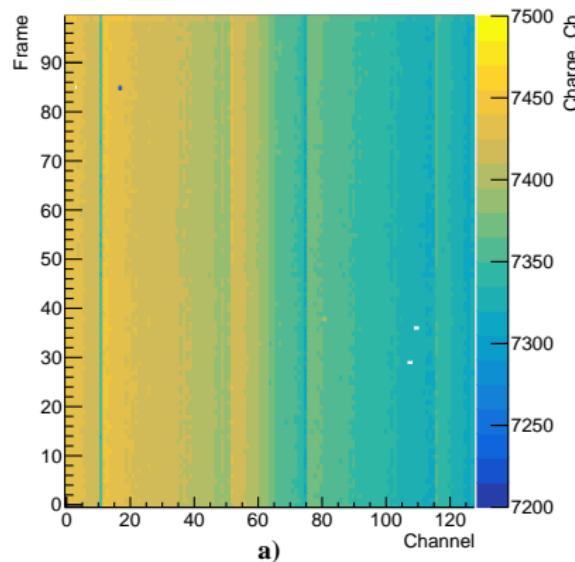
Для 2.2 MeV  $e^-$ :

$$\kappa = \frac{dE/dx_{rad}}{dE/dx_{ion}} = \frac{ZE[\text{MeV}]}{600}.$$

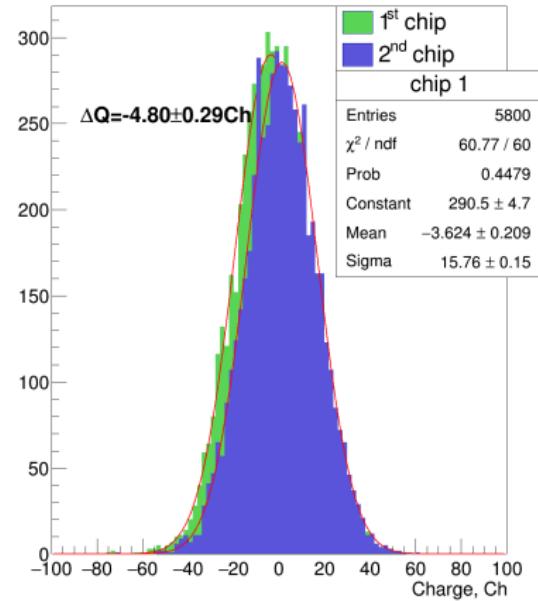
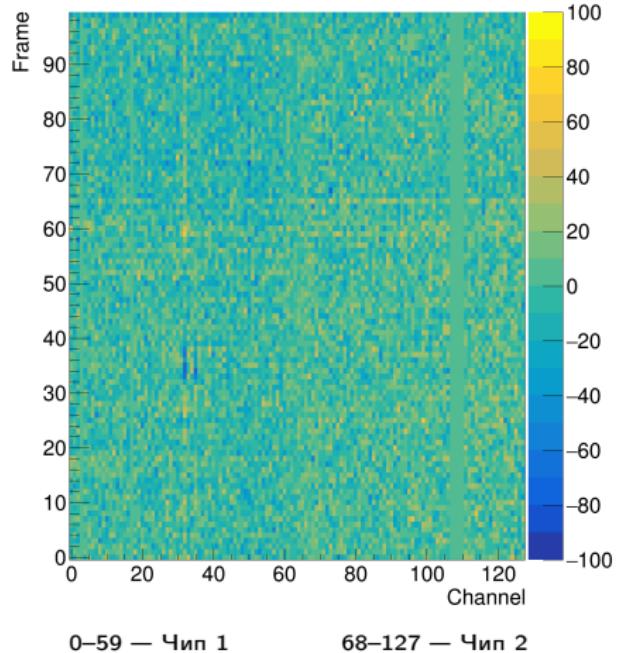
Используем Ar:  $E_{crit} = 33.3 \text{ MeV} > 2.2 \text{ MeV} \Rightarrow$  потери ионизационные.

$$\Delta_p = \xi \left[ \ln\left(\frac{m_e c^2 T \beta^2 \gamma^2}{2 I^2}\right) + \ln\left(\frac{\xi}{I}\right) + j - \beta^2 \right] = 685 \text{ eV}$$

# Backup: пьедесталы АЦП

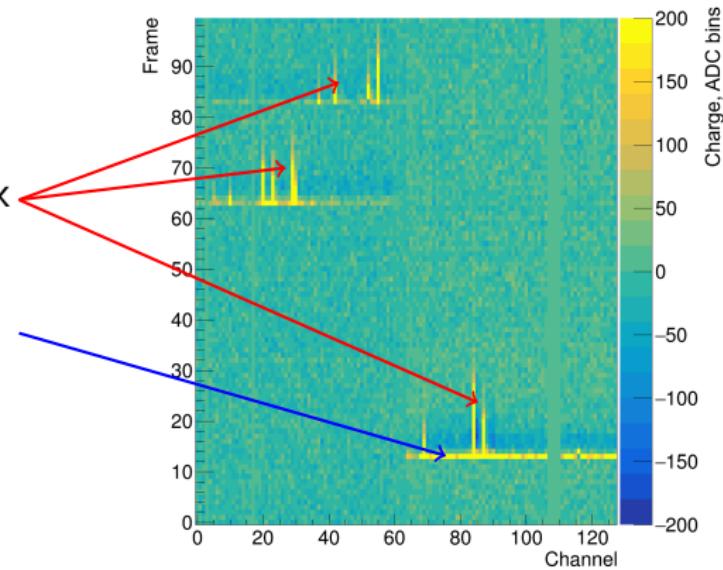


# Backup: Шумовое событие



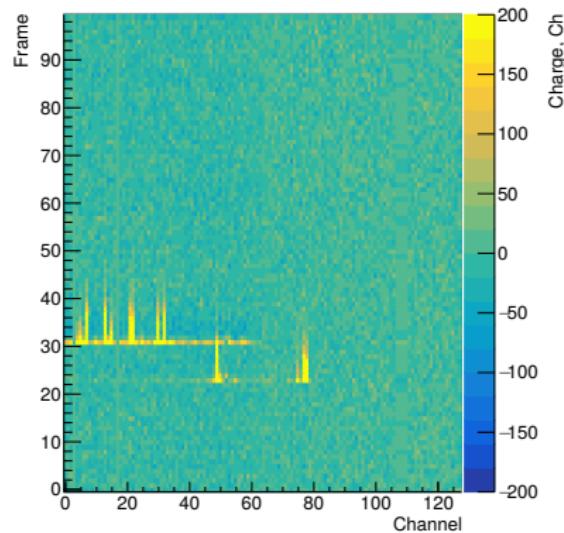
# Сигнальное событие ( $^{90}\text{Sr}$ )

- Сигналы от отдельных частиц
- Кадр со смещенным “нулём”



# Backup: Физический сдвиг нулевого уровня в кадре

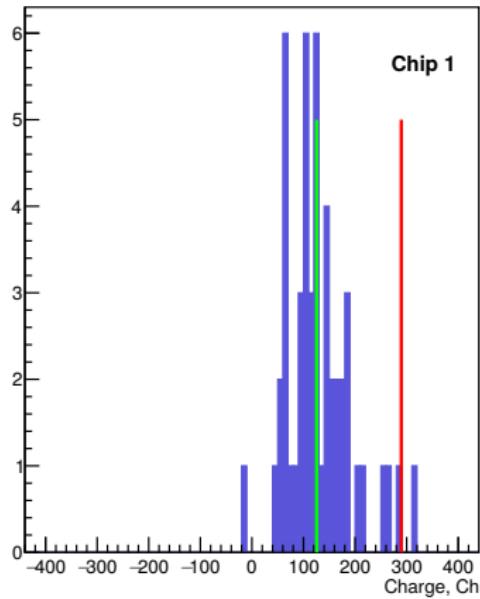
- Есть кадр со смещенным нулевым уровнем
- 1-8 сигнальных каналов/60
- $\langle Q_{noise} \rangle \neq 0$
- **Проблема:** как при вычислении среднего не учитывать сигнальные события?



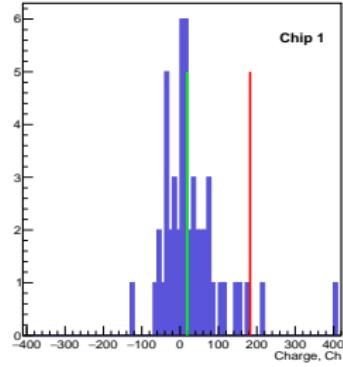
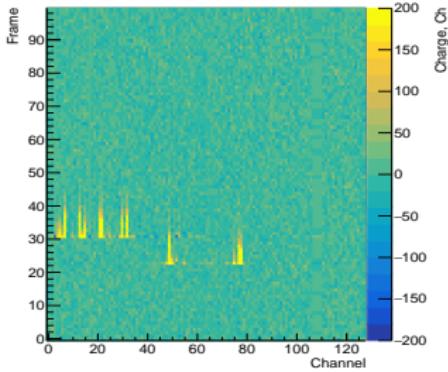
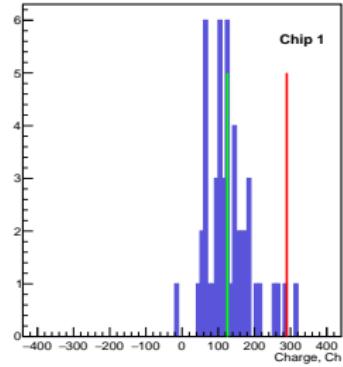
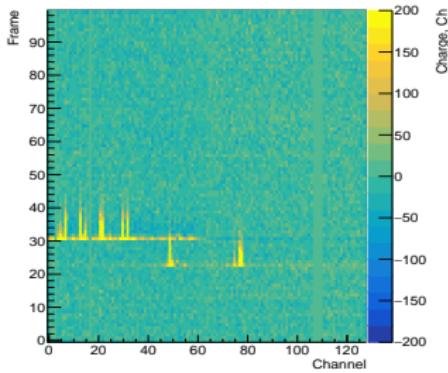
# Backup: Коррекция нулевого уровня в кадре

**Решение:** медианный алгоритм

- Нахождение медианного значения заряда по кадру
- $Q(Ch) = Q_0(Ch) - median$



# Backup: работа алгоритма



# Backup: влияние медианного алгоритма на распределение по заряду кластера

