

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

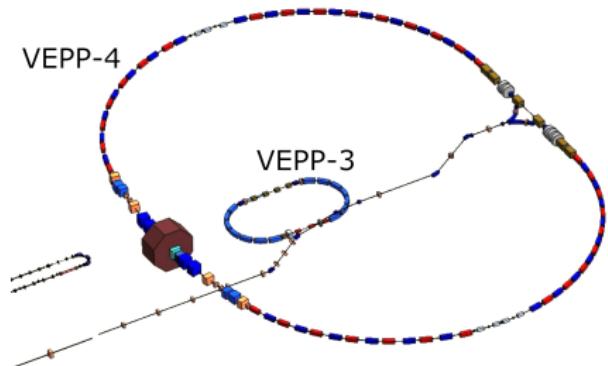
*Докладчик:* Степан Алексеевич Захаров

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

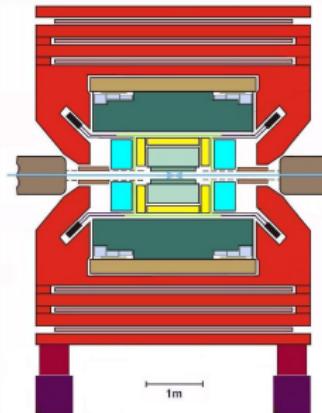
*Научный консультант:* д.ф.-м.н. Лев Исаевич Шехтман

26.04.2019

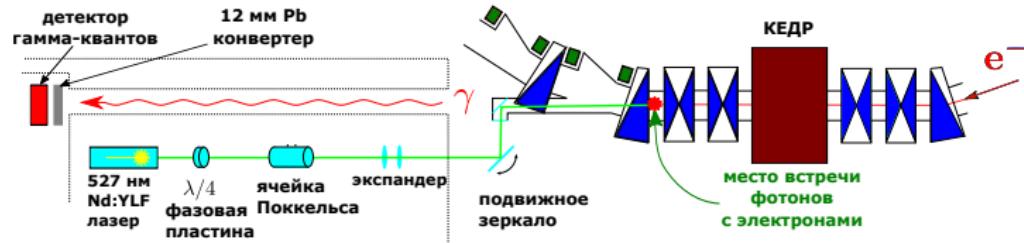
# Комплекс ВЭПП-4М – КЕДР



Коллайдер ВЭПП-4М



Детектор КЕДР

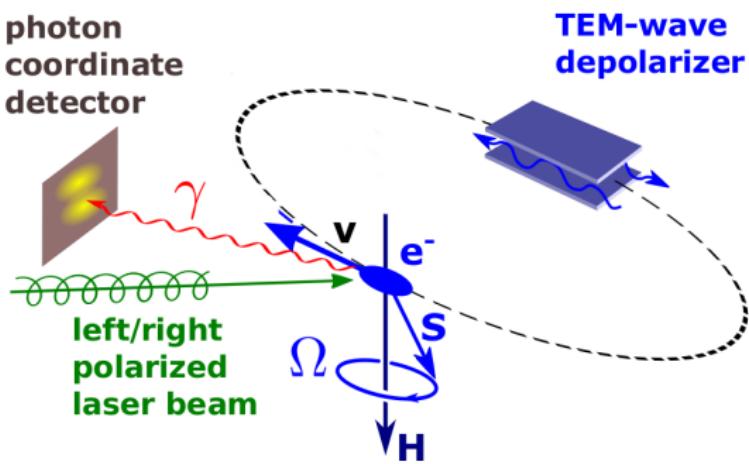


Лазерный поляриметр

# Метод резонансной деполяризации

Впервые реализован в ИЯФ СО РАН в 1974 г.

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

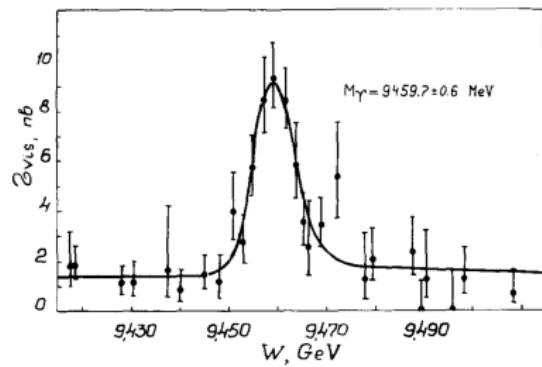


Рисунок из статьи: A.S. Artamonov et al., High Precision Measurement of the  $\Upsilon$  Meson Mass, 1982

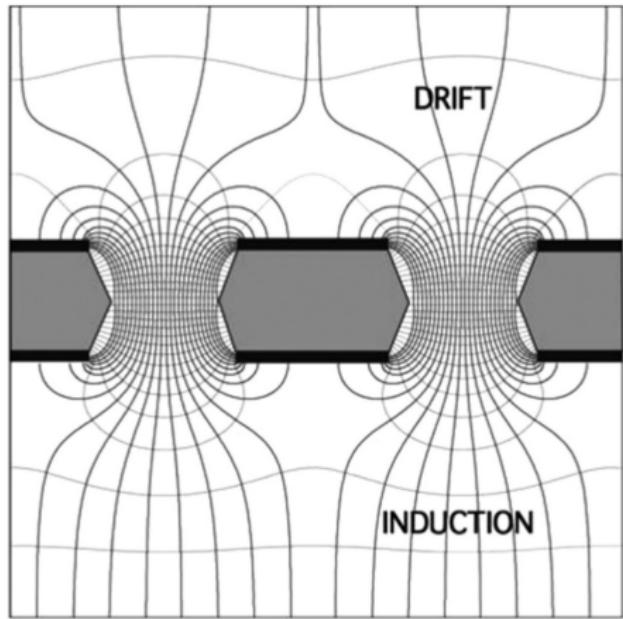
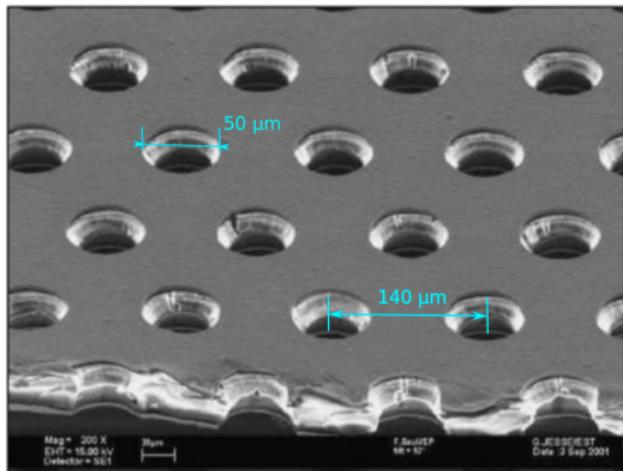
# Цель

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

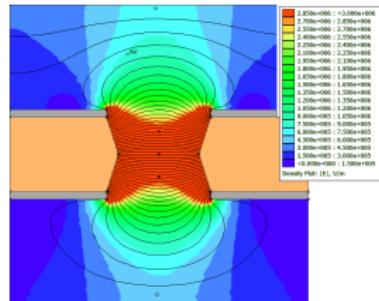
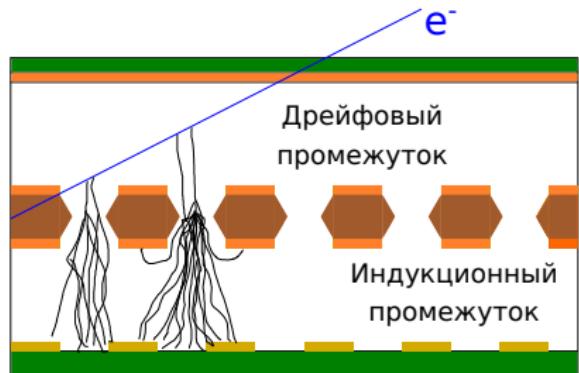
# Газовые электронные умножители (GEM)



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

# Принцип работы GEM детектора

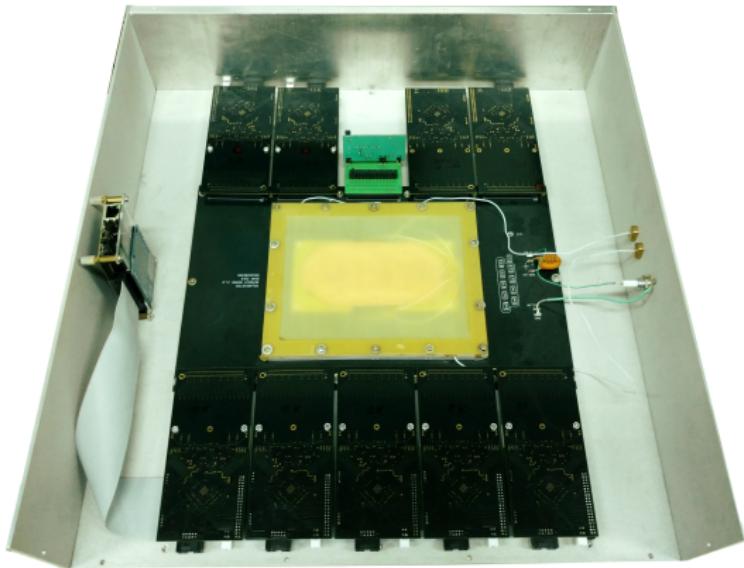
- Первичная частица  $\Rightarrow e^-$  ионизации
- Дрейф  $e^-$  в область с высоким полем
- Возникновение электронных лавин в отверстиях GEM
- Проникновение  $e^-$  в индукционный промежуток
- Регистрация заряда считывающей структурой



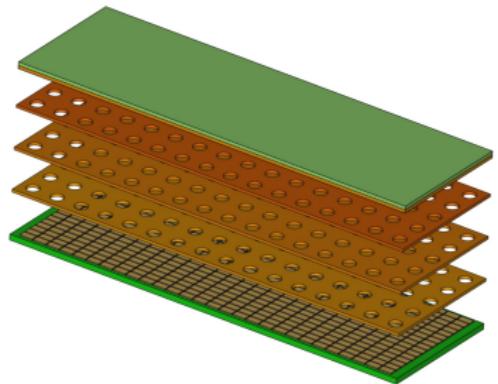
# Ключевые параметры детектора для лазерного поляриметра

- Уровень шумов: шумы АЦП, кросс-токи, сторонние наводки
- Коэффициент усиления: напряжение на ГЕМ, геометрия усиливающей структуры
- Пространственное разрешение: геометрия считывающей структуры

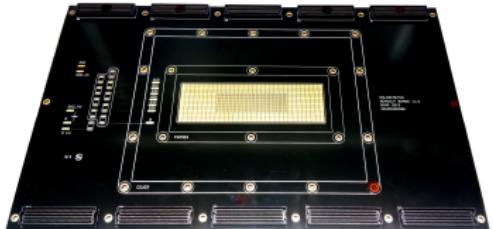
# Прототип детектора



Детектор в сборе

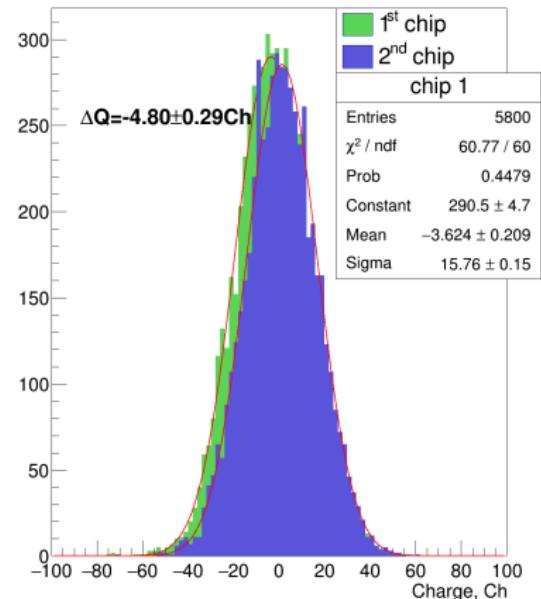
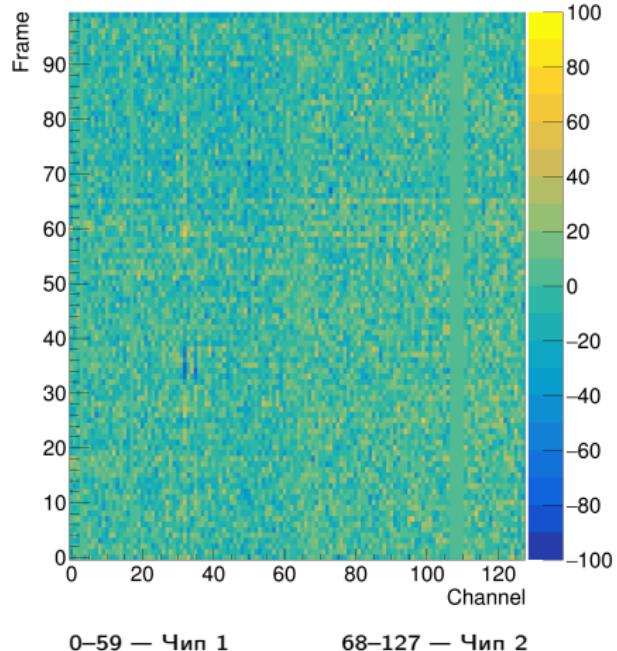


Расположение электродов и  
считывающей структуры



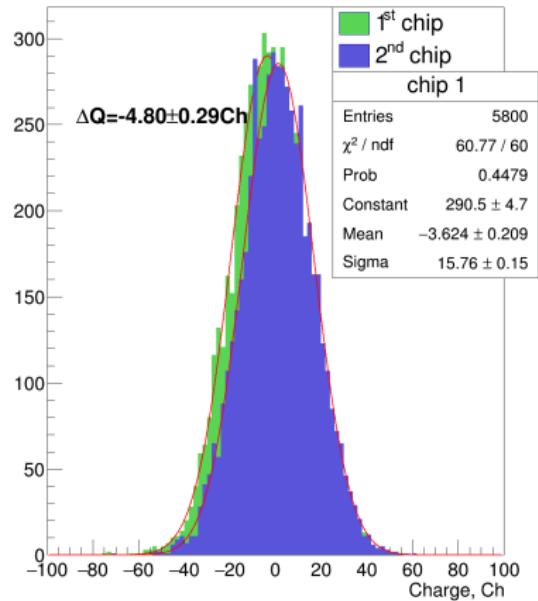
Главная плата

# Определение уровня шумов детектора

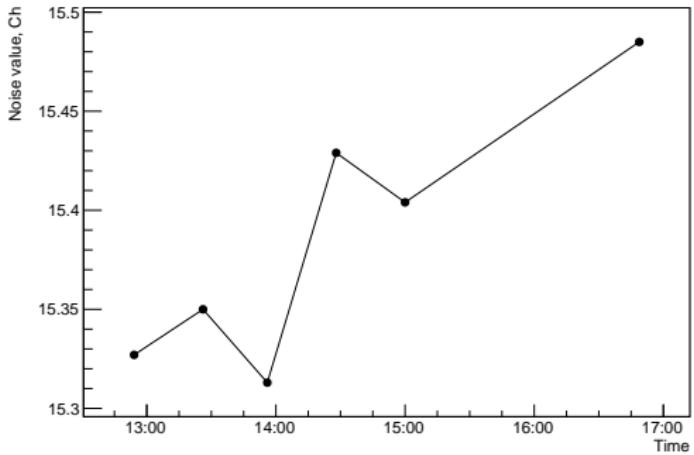
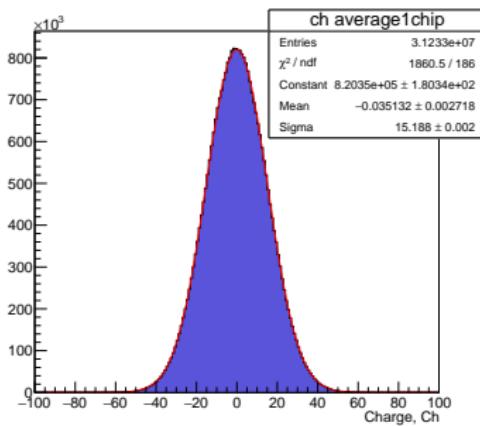


# Первичные наблюдения

- Наличие шумящих каналов
- Сдвиг нулевого уровня у АЦП
- Имеют место флюктуации среднего по кадру
- Уровень шумов:  
 $\sigma_n \approx 16 \text{ Ch}$

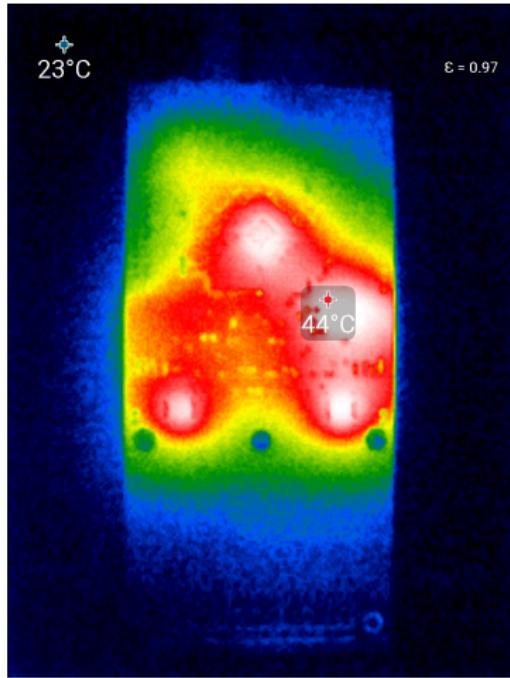


# Измерение уровня шумов



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

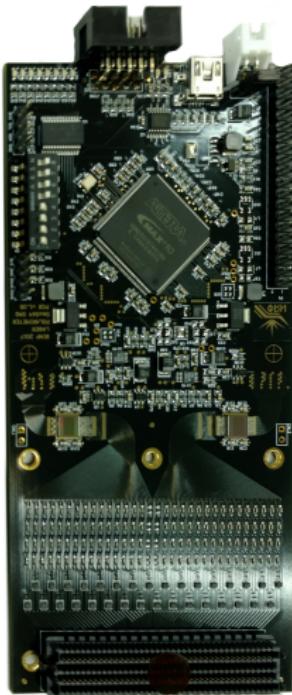
# Возможное объяснение: температурный дрейф



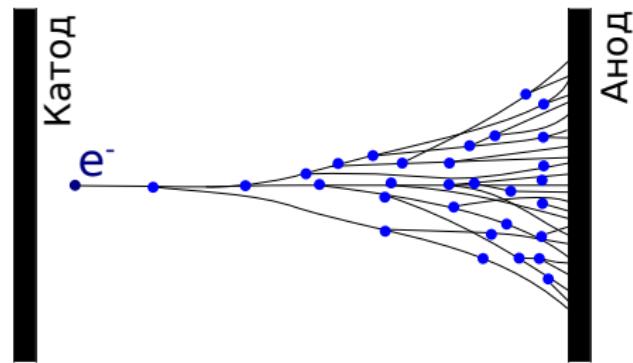
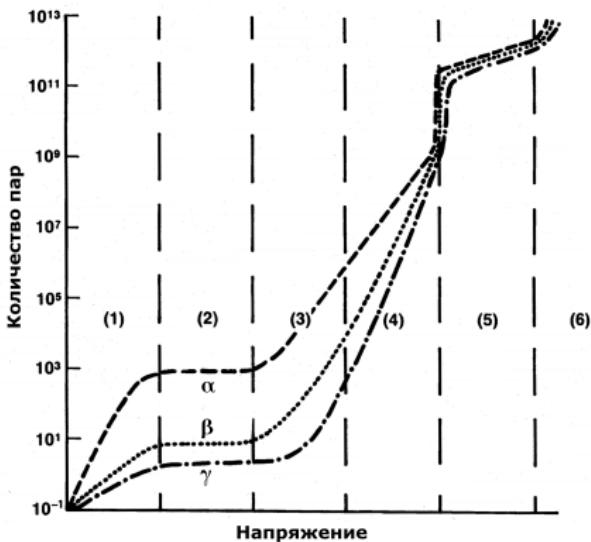
Автор фото: Василий Кудрявцев

Степан Захаров

Новосибирск, 2019



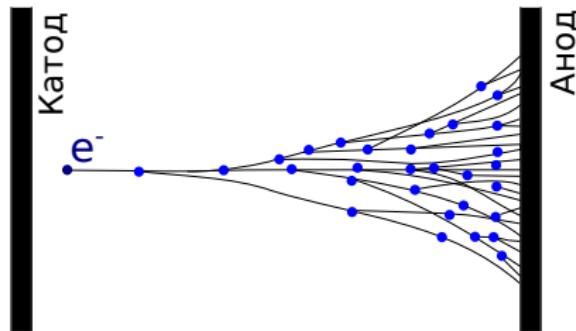
# Механизм газового усиления



Условие возникновения:  $E_e \gtrsim W_I$   
(Не путать  $W_I$  с  $I$ )

# Коэффициент газового усиления

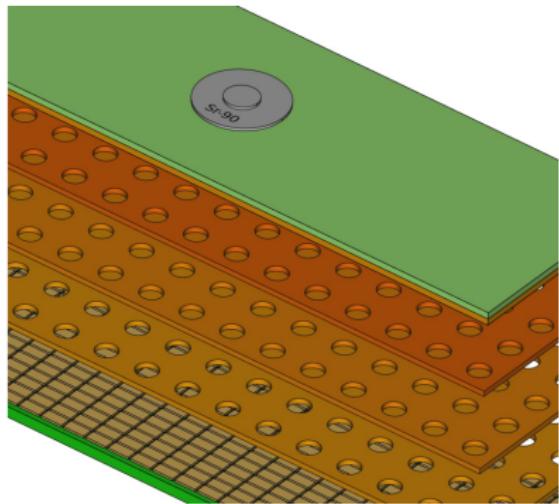
- Количество первичной ионизации:  $n_0 = \frac{\Delta E}{W_I}$
- $n_{tot} = n_0 e^{\alpha x}$
- $n_{tr} = n_{tot} \epsilon = n_0 K$



Для GEM прозрачность можно определить как:  $\epsilon = \frac{\pi d^2}{2\sqrt{3}p^2} \frac{E_{ext}}{E_{hole}}$

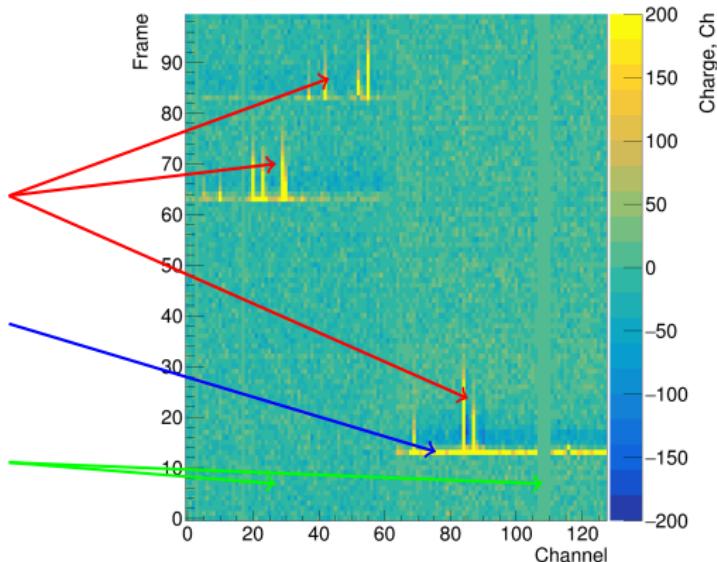
# Измерение коэффициента усиления GEM

- $Sr - 90$  в качестве источника первичной ионизации
- Регистрировались кластеры в центральной области под источником
- Знаем  $N_{e^-}$  первичной ионизации  $\Rightarrow Q_0$
- Измерив  $\langle Q \rangle$  кластера, можем найти  $K$



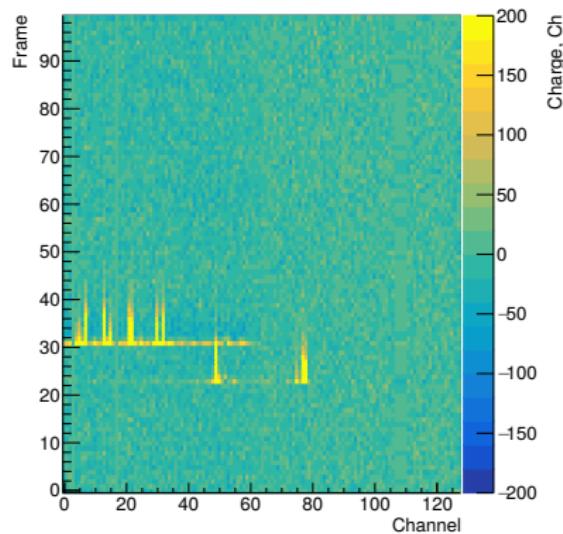
# Сигнальное событие

- Сигналы отдельных частиц(кластеры)
- Кадр со смещенным “нулём”
- Различный средний уровень каждого чипа



# Физический сдвиг нулевого уровня в кадре

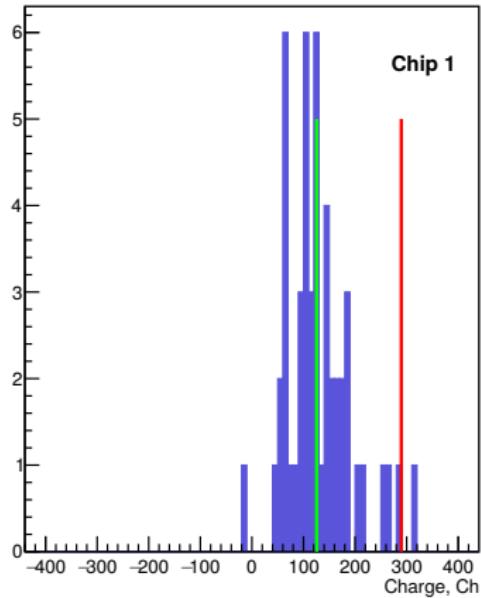
- Есть кадр со смещенным нулевым уровнем
- 1-8 сигнальных каналов / 60
- $\langle Q_{noise} \rangle \neq 0$
- **Проблема:** как при вычислении среднего не учитывать сигнальные события?



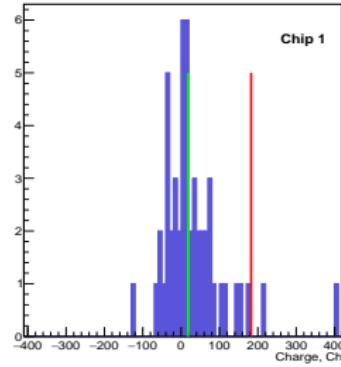
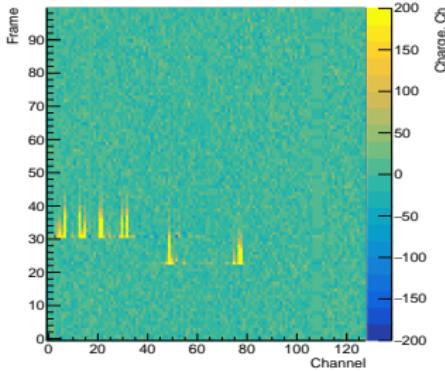
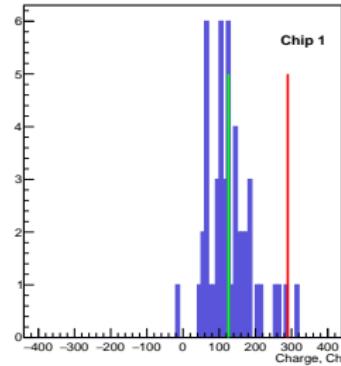
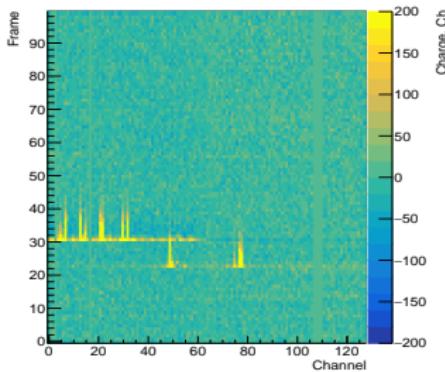
# Коррекция нулевого уровня в кадре

**Решение:** медианный алгоритм

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

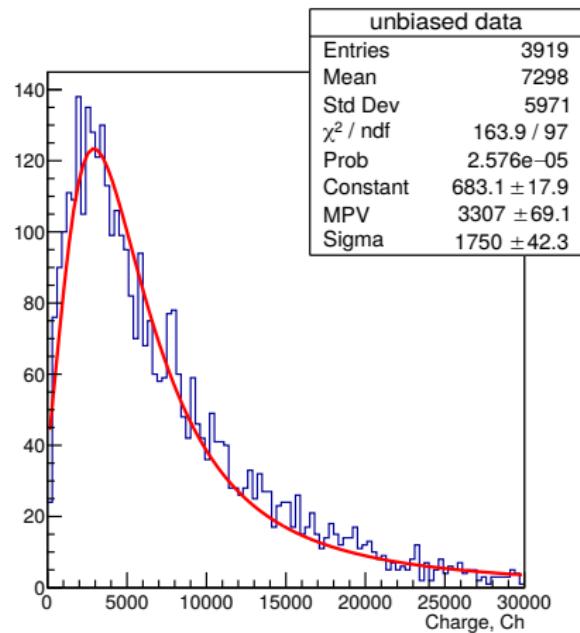


# Результат применения алгоритма

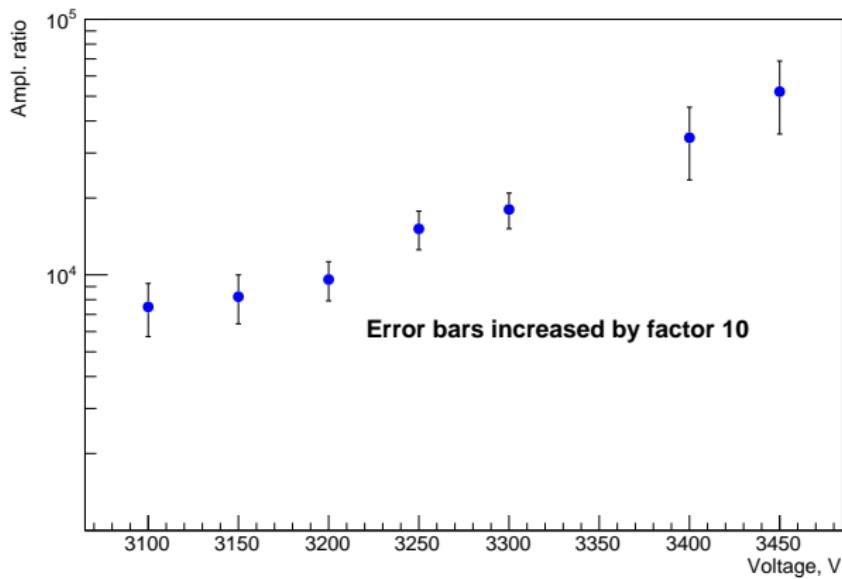


# Измерение коэффициента усиления (обработка данных)

- Сигналы с соседних каналов → кластер
- $\sum Q_{sig}$  для кластера
- Распределение по  $Q_{sig}$
- MPV →  $\langle Q_{sig} \rangle$
- $K = \frac{\langle Q_{sig} \rangle}{n_0 e^-}$



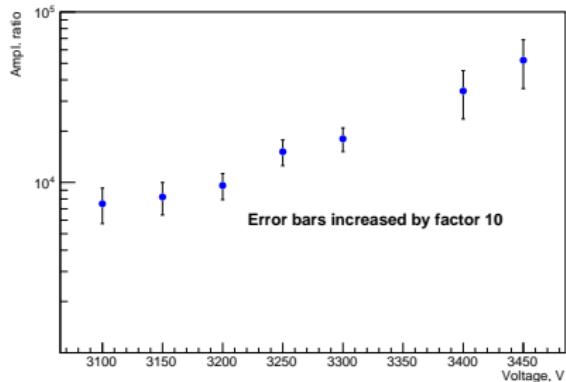
# Зависимость коэффициента усиления от напряжения



# Анализ полученных результатов

- Максимальный  $K \approx 52000$
- При  $K < 10000$  сигнал под шумами
- Экспоненциальный рост К с увеличением напряжения питания

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

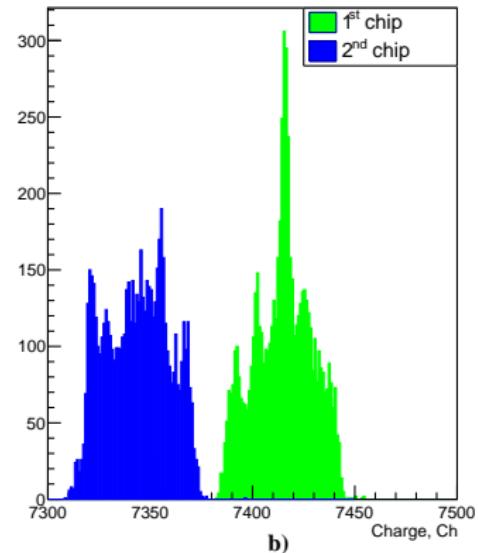
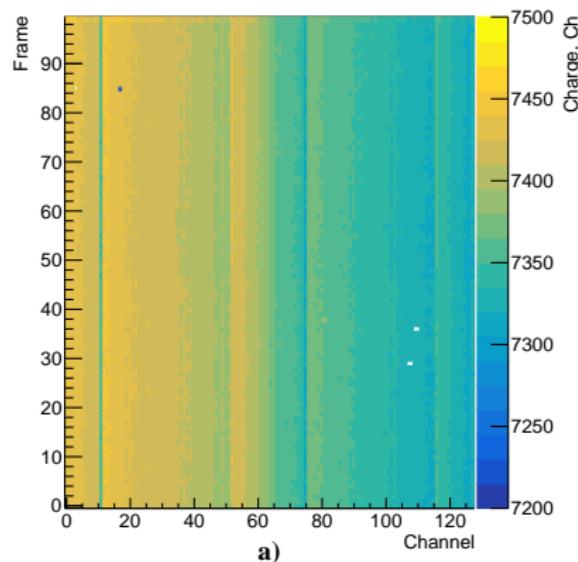


# Заключение

- Разрабатывается прототип детектора для установки «Лазерный поляриметр»
- Уже получены данные об уровне шумов:  
 $\sigma_n \approx 5700 e^-$
- и коэффициенте усиления GEM:  $K_{max} \approx 52000$
- Необходимо исследование пространственного разрешения и эффективности регистрации на выведенном пучке

Спасибо за внимание!

# Backup: пьедесталы АЦП



# Backup: Потери 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.

$X_0(\text{Ar}) = 117 \text{ м},$

$$\frac{dE}{dx} = \frac{2\pi N_0 e^4 Z \rho}{m_e c^2 \beta^2 A} \left[ \ln \frac{m_e c^2 E}{I^2} \frac{\beta^2}{2(1 - \beta^2)} + f_{corr}(\beta) \right]$$

# Backup: Влияние медианного алгоритма

