

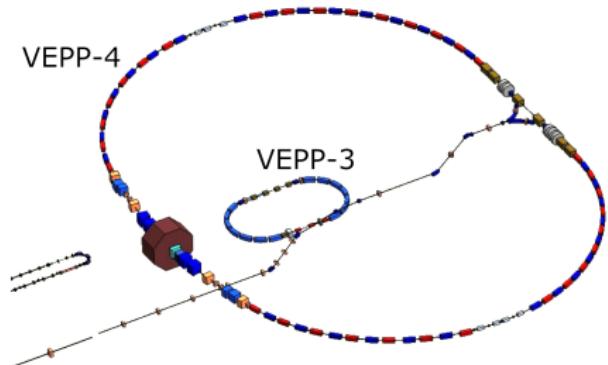
Исследование физических характеристик прототипа GEM детектора для системы измерения энергии коллайдера ВЭПП-4М

Докладчик: Степан Алексеевич Захаров

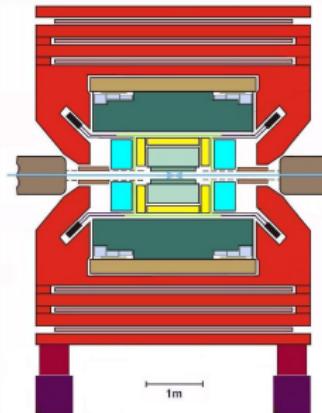
Научные руководители: к.ф.-м.н. Иван Борисович Николаев,
д.ф.-м.н. Лев Исаевич Шехтман

18.04.2019

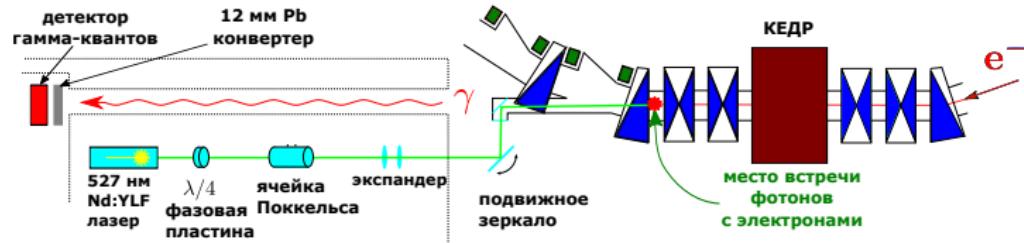
Комплекс ВЭПП-4М – КЕДР



Коллайдер ВЭПП-4М



Детектор КЕДР



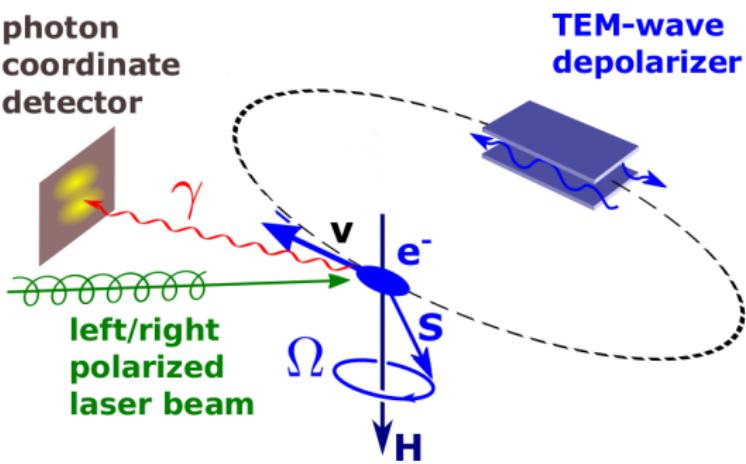
Лазерный поляриметр

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 Υ – 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

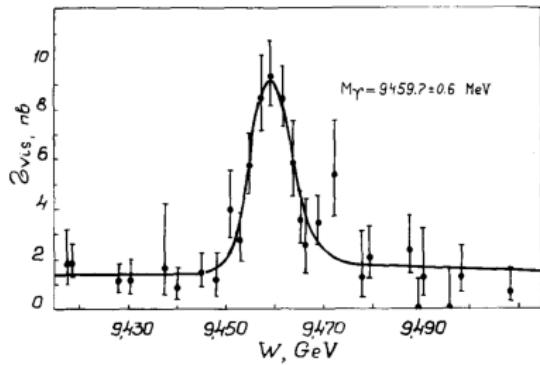


Рисунок из статьи: A.S. Artamonov et al., High Precision Measurement of the Υ Meson Mass, 1982

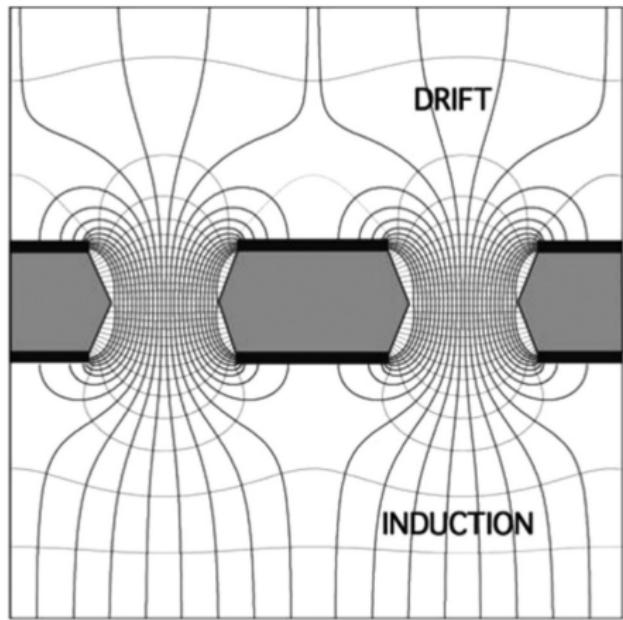
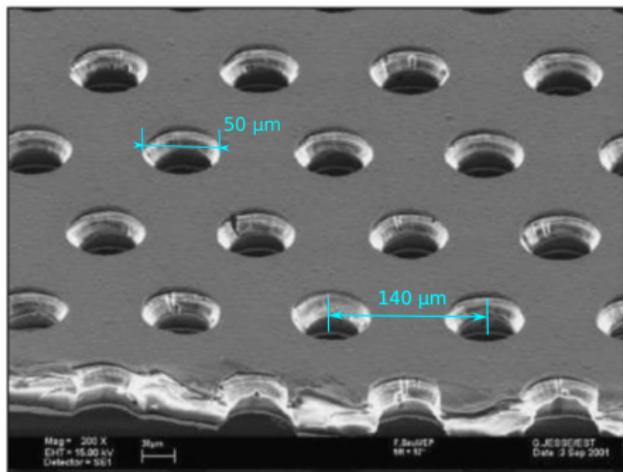
Цель

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

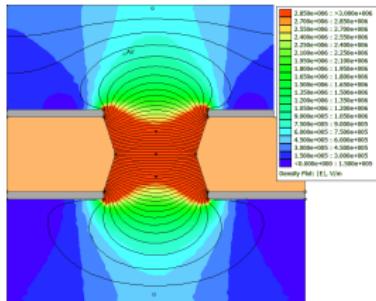
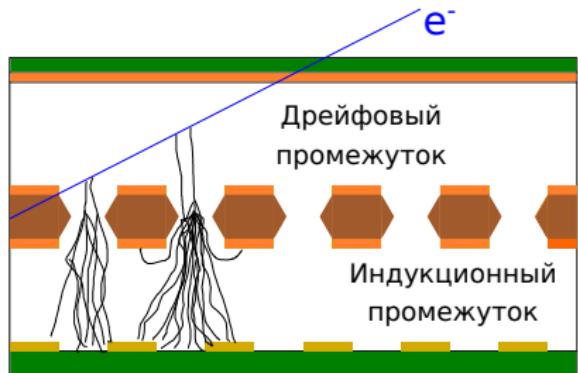
Газовые электронные умножители (GEM)



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



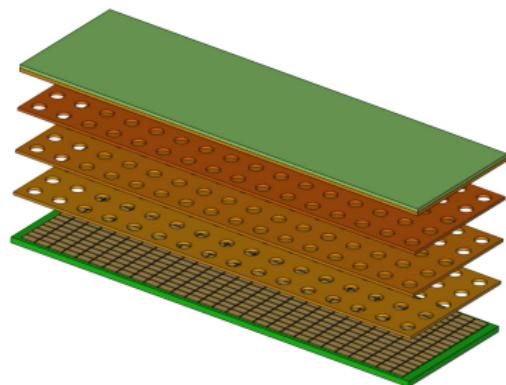
Ключевые параметры детектора для лазерного поляриметра

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

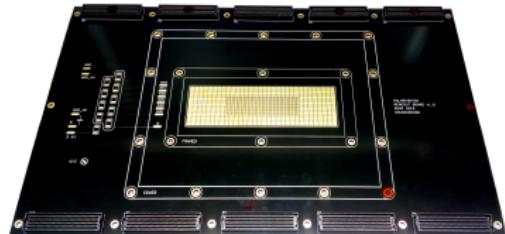
Прототип детектора

Технические особенности:

- двумерная считающая структура \Rightarrow однозначное определение координаты трека
- 10 вычитывающих плат по 100-120 каналов в каждой \Rightarrow одновременное вычитывание события
- $N_{exp} \sim 10 \gamma/\text{flash}$

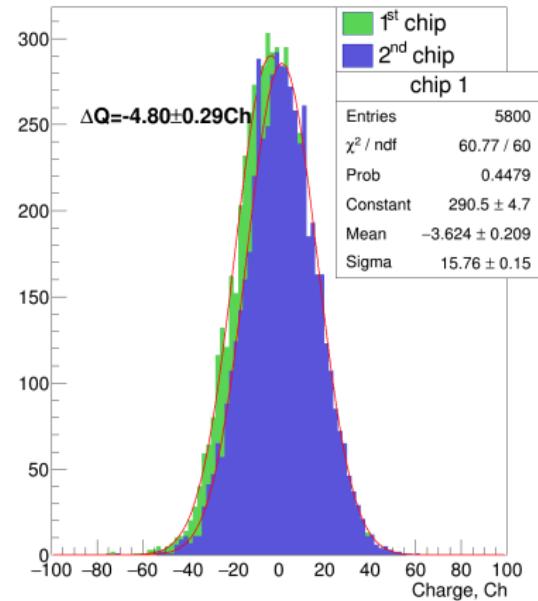
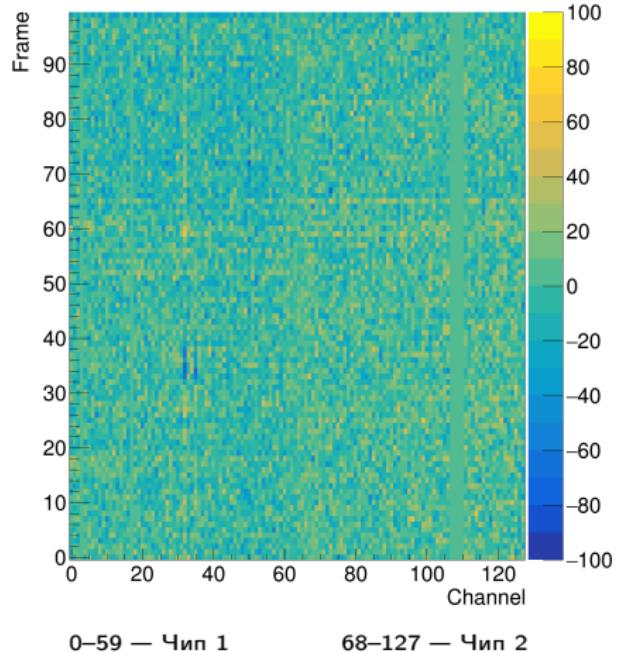


Принципиальная схема расположения основных элементов детектора



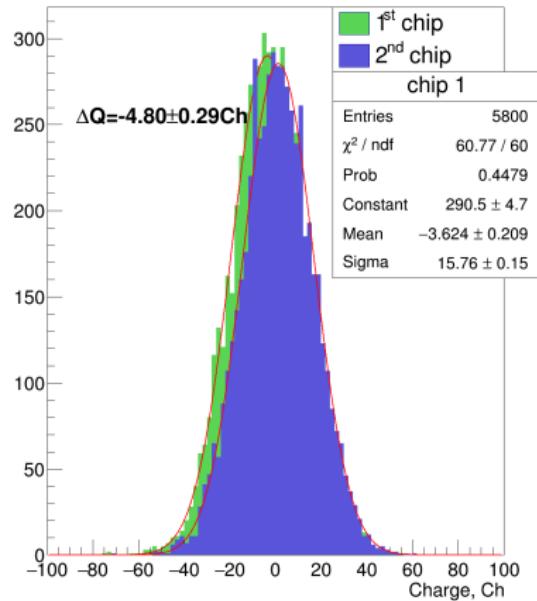
Плата со считающей структурой

Определение уровня шумов детектора

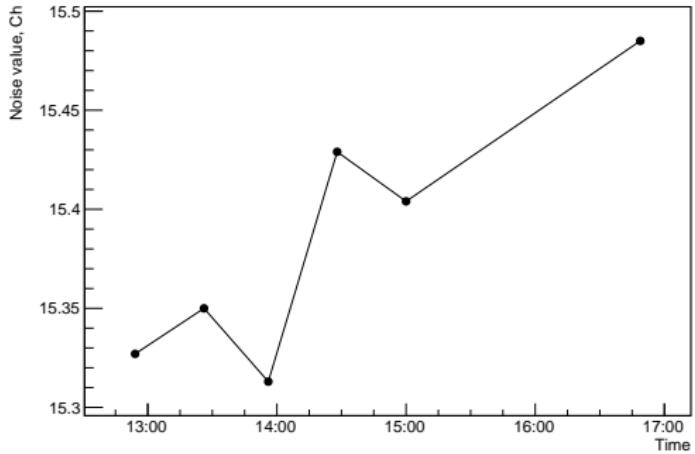
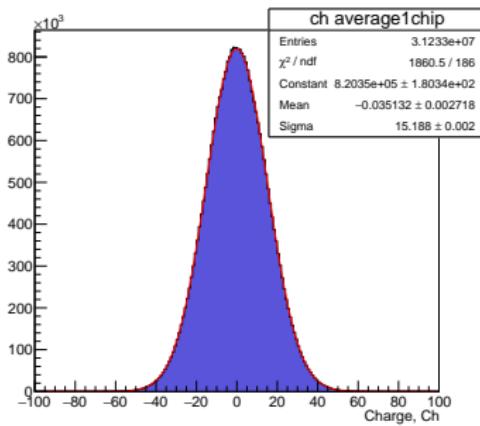


Первичные наблюдения

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

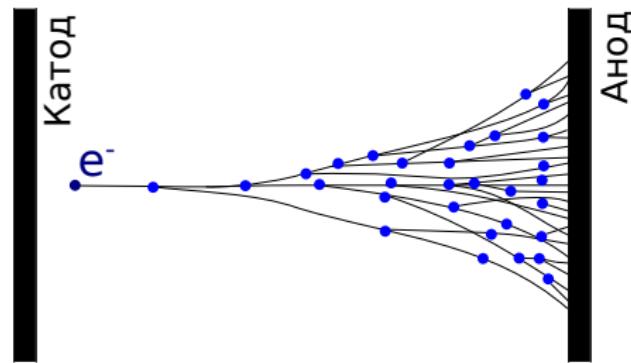
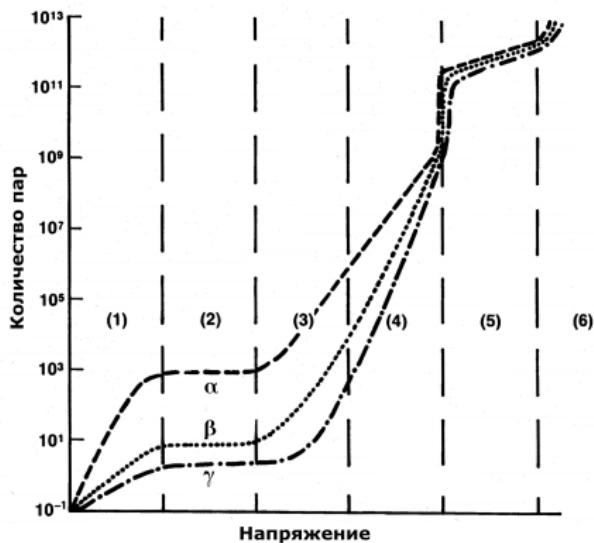


Измерение уровня шумов



$$\sigma_n \approx 15.3 \text{Ch} = 5660 e^-$$

Механизм газового усиления



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

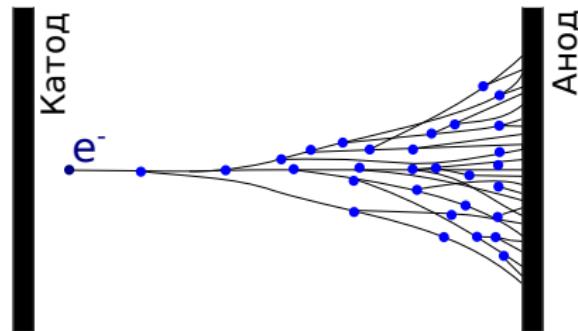
Коэффициент газового усиления

Для всех типов детекторов:

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

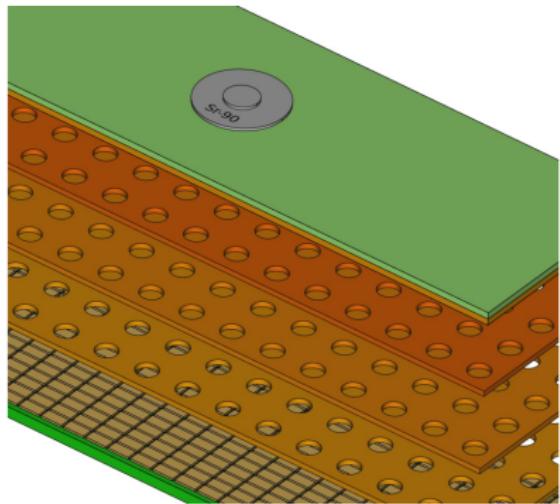
Для GEM прозрачность выражается как:

$$\epsilon = \frac{\pi d^2}{2\sqrt{3}p^2} \frac{E_{ext}}{E_{hole}}$$



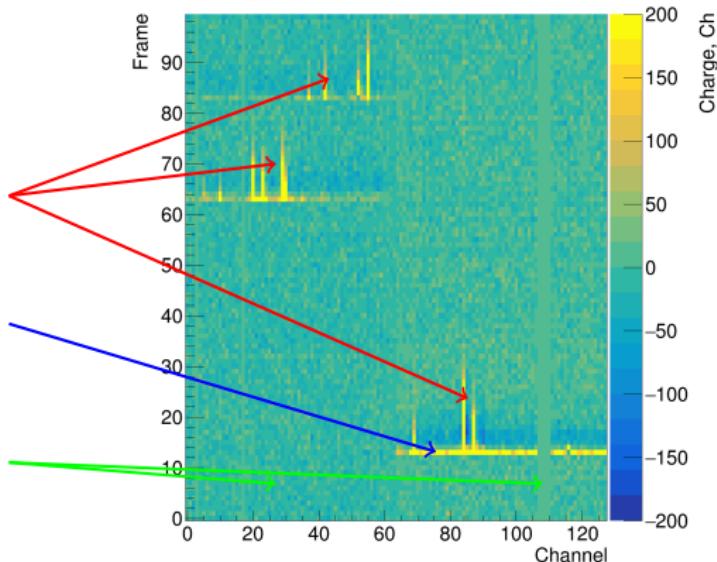
Измерение коэффициента усиления GEM

- $Sr - 90$ 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



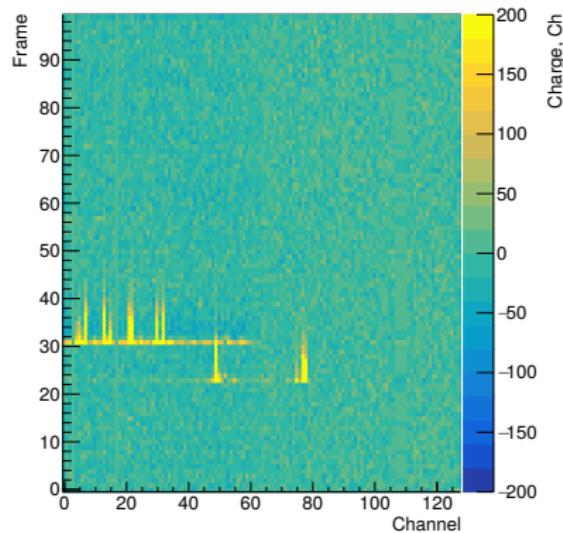
Сигнальное событие

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



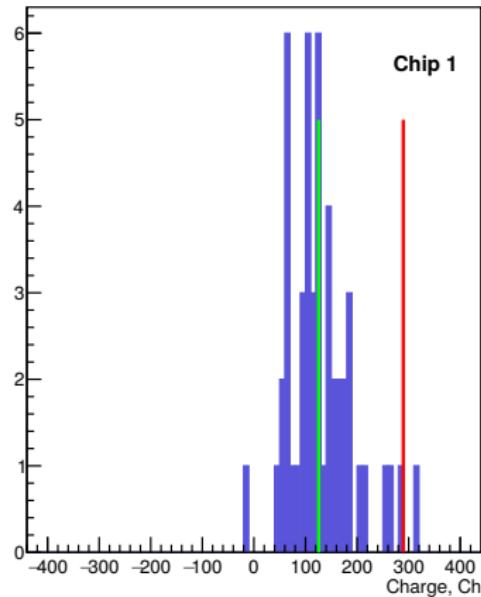
Физический сдвиг нулевого уровня в кадре

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

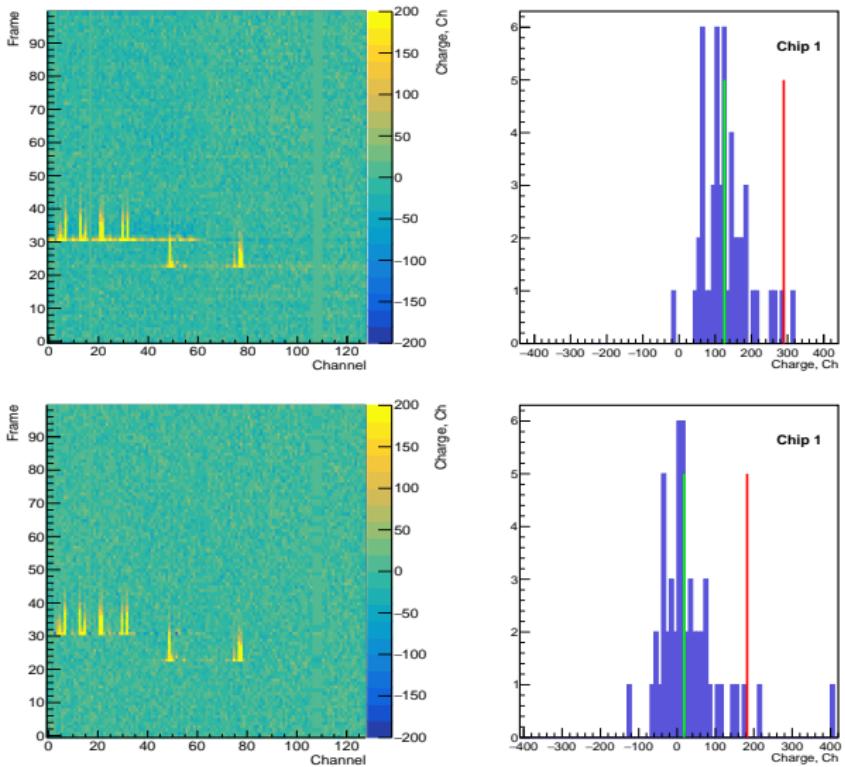


Идея медианного алгоритма для коррекции нулевого уровня

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

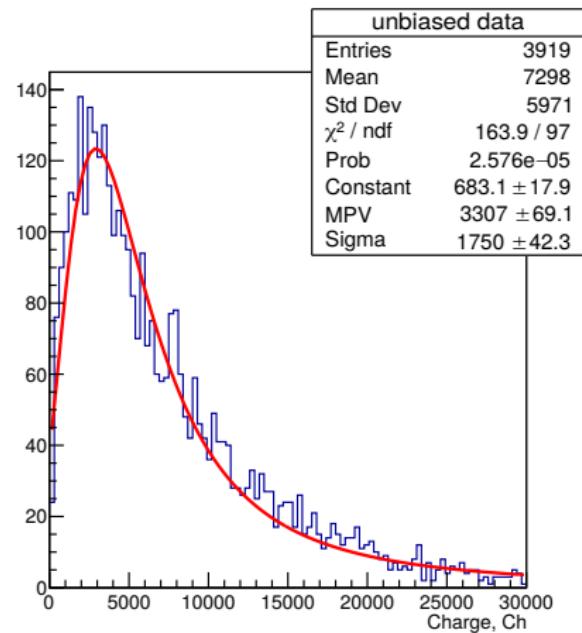


Результат применения алгоритма

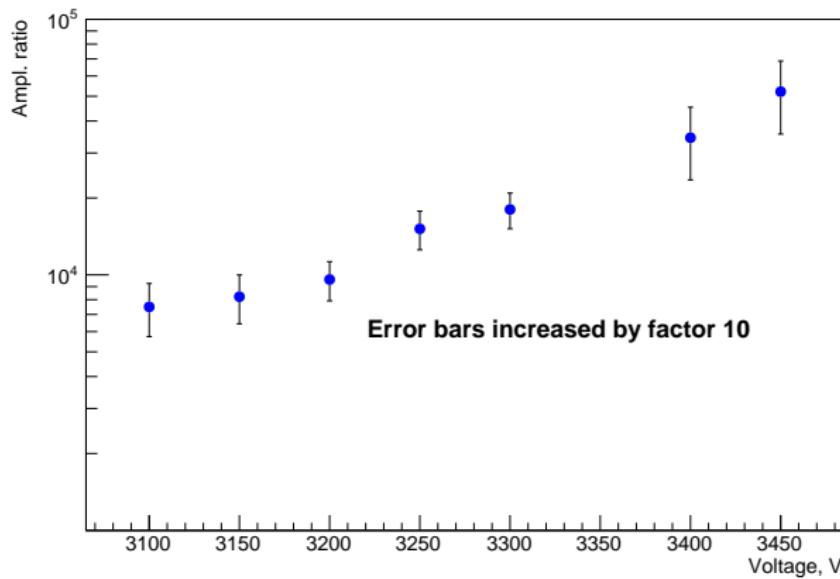


Измерение коэффициента усиления (обработка данных)

- Сигналы с соседних каналов → кластер
- $\sum Q_{sig}$ для кластера
- Распределение по Q_{sig}
- MPV → $\langle Q_{sig} \rangle$
- $K = \frac{\langle Q_{sig} \rangle}{Q_0}$



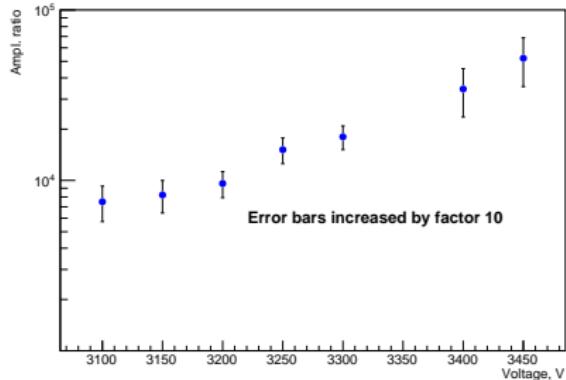
Зависимость коэффициента усиления от напряжения



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

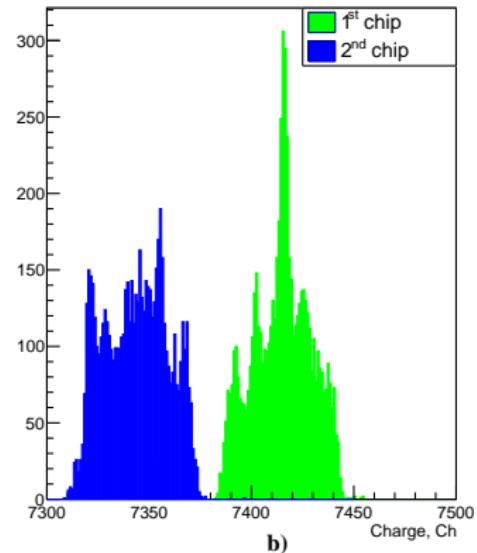
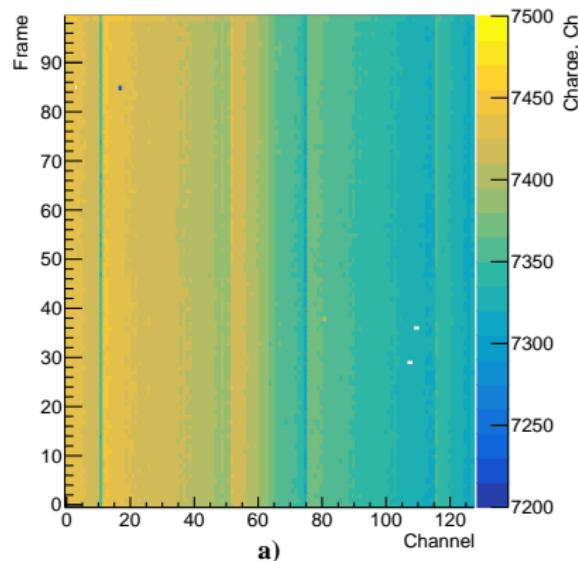


Заключение

- Разрабатывается прототип детектора для установки «Лазерный поляриметр»
- Уже получены данные об уровне шумов:
 $\sigma_n \approx 15.3 \text{ Ch}$
- и коэффициенте усиления GEM: $K_{max} \approx 52000$
- Необходимо исследование пространственного и временного разрешения на выведенном пучке

Спасибо за внимание!

Backup: пьедесталы АЦП



Backup: план выполнения работ

Примерный план выполнения задач



Степан Захаров | Исследование физических характеристик прототипа GEM-детектора для системы измерения
энергии коллайдера ВЭПП-4М | 17 октября 2018

Page 4

Backup: Влияние медианного алгоритма

