



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



# Комплексное исследование кремниевых пиксельных детекторов для модернизации Внутренней Трековой Системы эксперимента ALICE

Выполнил:

Исаков Артем, студент гр. 072Б, ТПУ, ФТИ

Руководитель на предприятии:

Кушпиль С.А., канд. физ.-мат. наук, NPI, Ржеж

Научный консультант:

Крижек Филип, руководитель группы ALICE в NPI, Ржеж  
Горюнов А.Г., ТПУ, ФТИ, профессор, зав. Кафедрой ЭАФУ

24 Марта 2017 года

# Цели и задачи

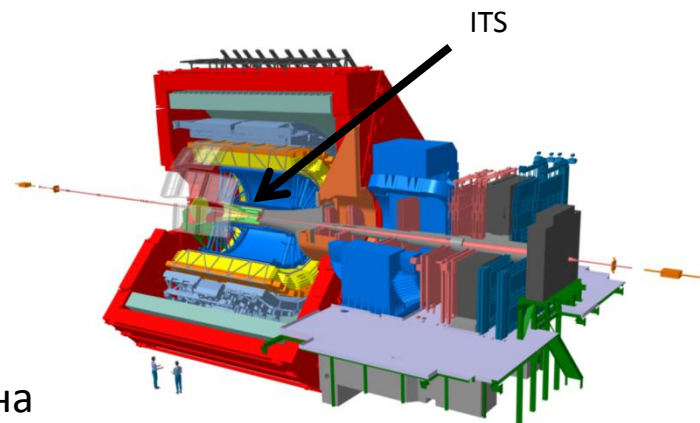
1. Анализ данных детекторов во время тестов на наклонном пучке в ускорительном комплексе протонного синхротрона (PS) CERN
  - I. Сравнение размеров и форм кластеров для пионов с различными энергиями и углами наклона.
  - II. Разработка части программного кода для EUTelescope для изучения зависимости формы кластера от точки столкновения.
  - III. Применение этого кода для базы тестовых данных для rALPIDE v3
2. Изучение характеристик облученного чипа ALPIDE.
  - I. Участие в проведении экспериментов на циклотроне
  - II. Написание программы для анализа результатов тестов
3. Разработка программного обеспечения для установки по проведению эксперимента по облучению на циклотроне U-120M

# Что такое ALICE?

**ALICE** – один из четырех крупных экспериментов, на Большом Андронном коллайдере (БАК) в CERN.

Основная задача ALICE – исследование Кварк-Глюонной Плазмы, при столкновениях типа **Pb-Pb**, **p-p**, **p-Pb** на сверхвысоких энергиях **до 14ТэВ**.

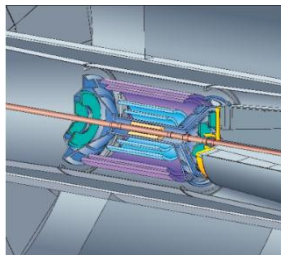
**Внутренняя трековая система (ITS)** – предназначена для построение треков частиц и определения первичной и вторичной вершин столкновения



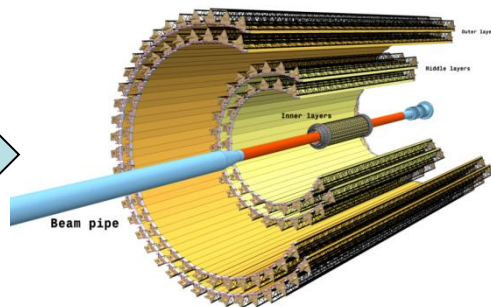
Установка ALICE для исследования КГП

# Модификация ALICE ITS

- Улучшение разрешения треков в 3(5) раз для  $r-\varphi(z)$  и увеличение эффективности трекинга для частиц с низким  $p_T$  (до 50 МэВ/с)
  - Приблизить первый слой детектора ближе к пучку: 39 мм→23 мм
  - 6 слоев→7 слоев
  - Тип каждого слоя – основанный на **MAPS** пиксельный детектор **ALPIDE**
- Ускорить считывание информации с 1кГц до 50 (Pb-Pb) и 100 кГц(p-p)
- Облегчить демонтаж конструкции



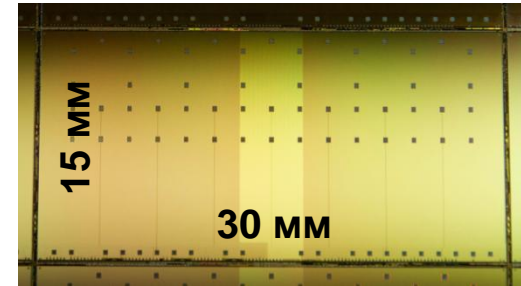
Текущая ITS



Модифицированная ITS

# Спецификация ALPIDE

- Большая площадь чувствительного элемента (15 мм × 30 мм)
- 512 × 1024 пикселей
- Размер пикселей 27×29 мкм
- Цифровое считывание приоритетным декодером



Общий вид детектора ALPIDE

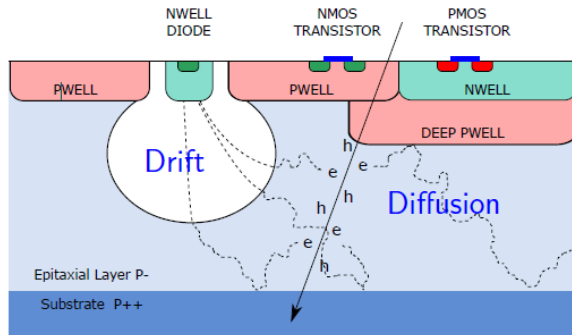


Схема пиксельного сенсора MAPS

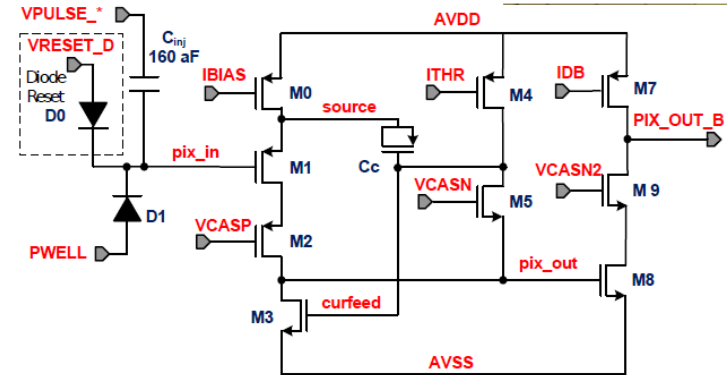


Схема электронной цепи по переднему фронту

# Эволюция семейства ALPIDE



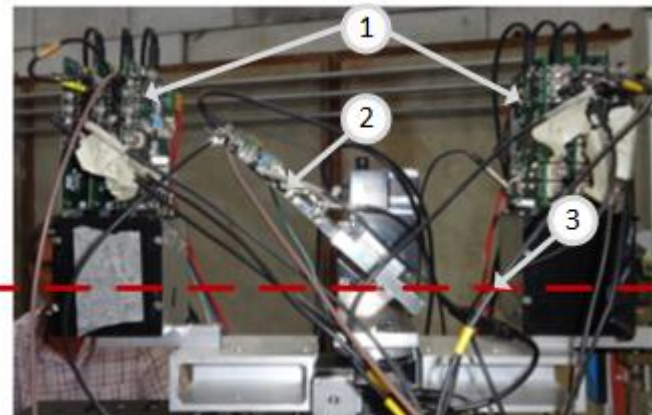
Задачи перед исследователями в данный момент времени:

- Изучение деталей эффектов для pALPIDE v3 (наклонные треки)
- Изучение финального прототипа ALPIDE (радиационная устойчивость)

**Моя работа была связана с данными от этих прототипов**

# 1. Исследование на протонном синхротроне (PS) в CERN

- Проведено исследование по запуску пионов с энергиями 250 МэВ/6 ГэВ и наклонными треками.
- Трекинг – телескоп из семи слоев детекторов pALPIDE (3+Объект исследования+3)
- Данные для анализа предоставлены С. Кушпиль в виде .root и .RAW файлов



Установка- телескоп для изучения pALPIDE

1 – Изученные детекторы (pALPIDE v2)

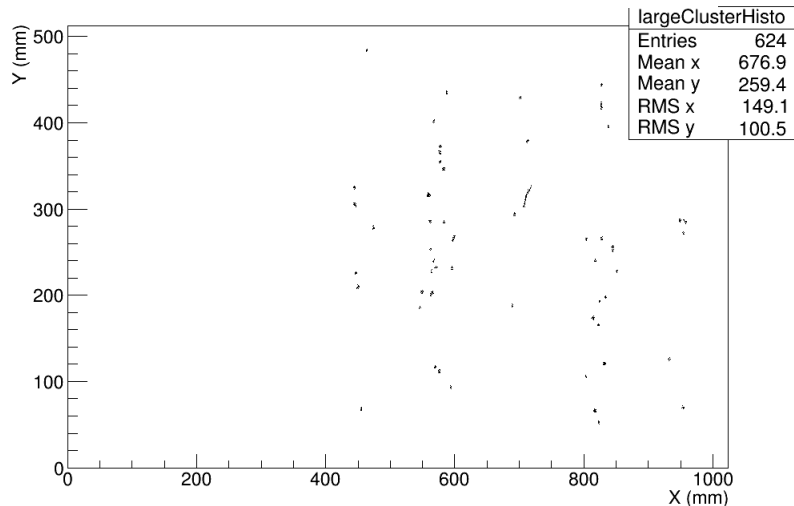
2 – Исследуемое устройство (pALPIDE v3)

3 – Пучок частиц

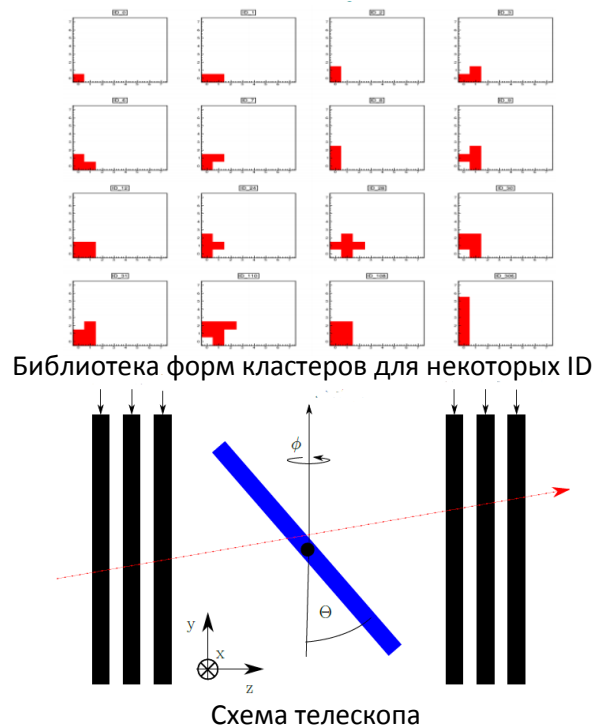


Схема взаимосвязи ПО для проведения исследований на PS CERN

# 1. Исследование размеров и форм кластеров

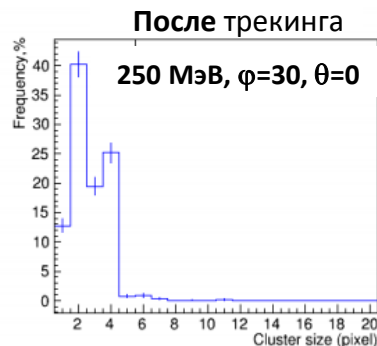
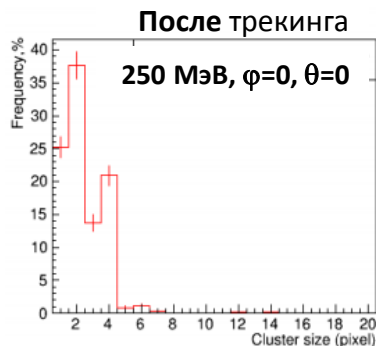
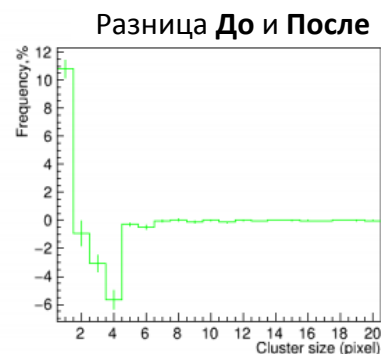
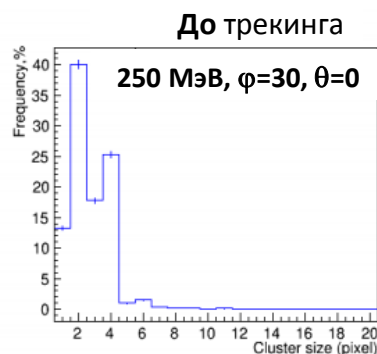
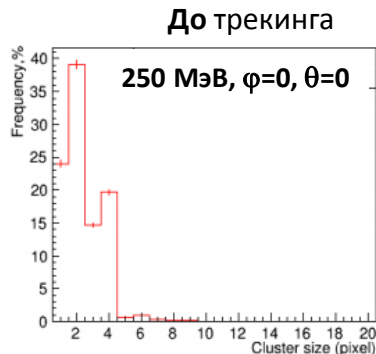


Распределение кластеров с более чем тремя активными пикселями по площади детектора



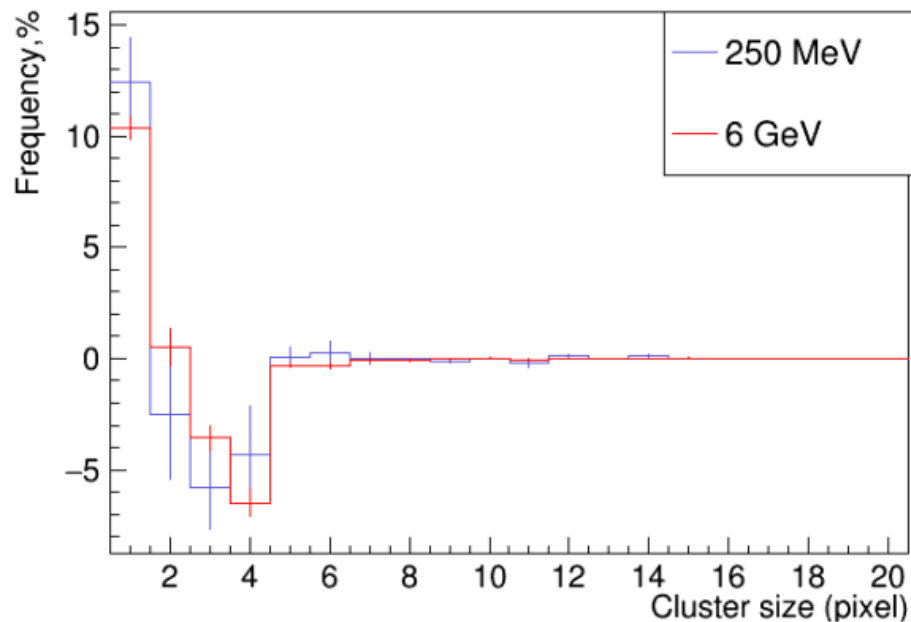


# 1. Сравнение размеров кластеров для различных углов $\varphi=0^\circ$ vs $\varphi=30^\circ$ при 250 МэВ



# 1. Сравнение размеров кластеров для различных энергий

Разница размеров После трекинга между  $\varphi=0^\circ$  vs  $\varphi=30^\circ$



# Результаты исследования на PS CERN

- С помощью фреймворка EUTelescope проанализированы .RAW данные для наклонных пучков. Получены гистограммы зависимости размера кластера от точки столкновения.
- Написаны .ROOT программы для сравнения формы и размера кластеров в зависимости от различной энергии и углов наклона пионов. Результаты работы представлены на докладе в симуляционной группе в CERN.

## Дальнейшие задачи в данном направлении

- Исследование характеристик облученного чипа

## 2. Изучение радиационной устойчивости детектора ALPIDE

- Два прототипа ALPIDE были облучены на циклотроне U-120M для изучения изменений свойств детектора после облучения.
- В процессе облучения/восстановления проводились тесты различных параметров детектора
- Данные для исследования предоставления группой ITS ALICE в виде .ROOT, .txt файлов

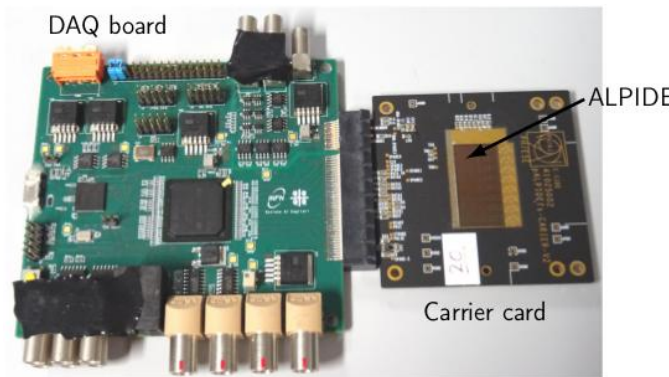
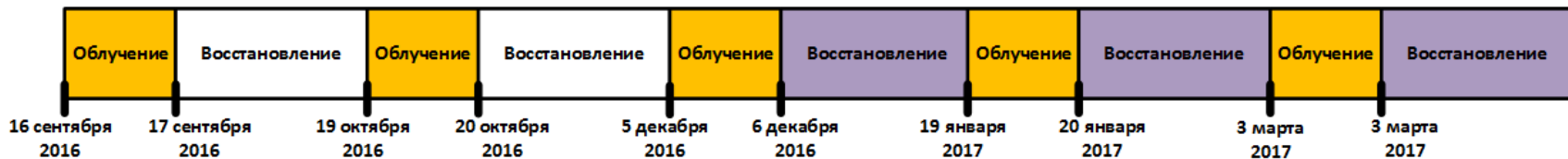


Схема – носитель rALPIDE вместе с платой для считывания

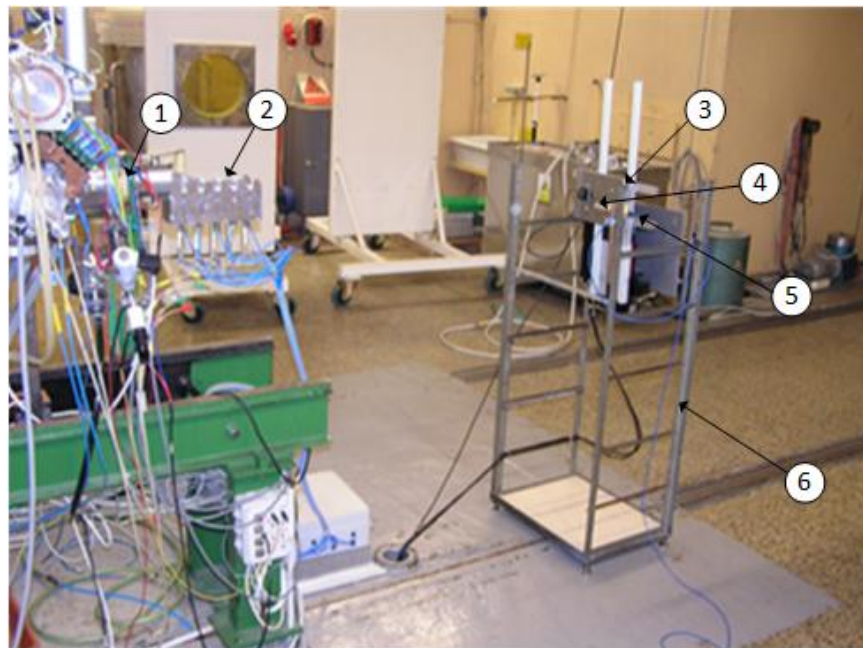


Хронология эксперимента

## 2. Схема эксперимента на циклотроне

Установка состоит:

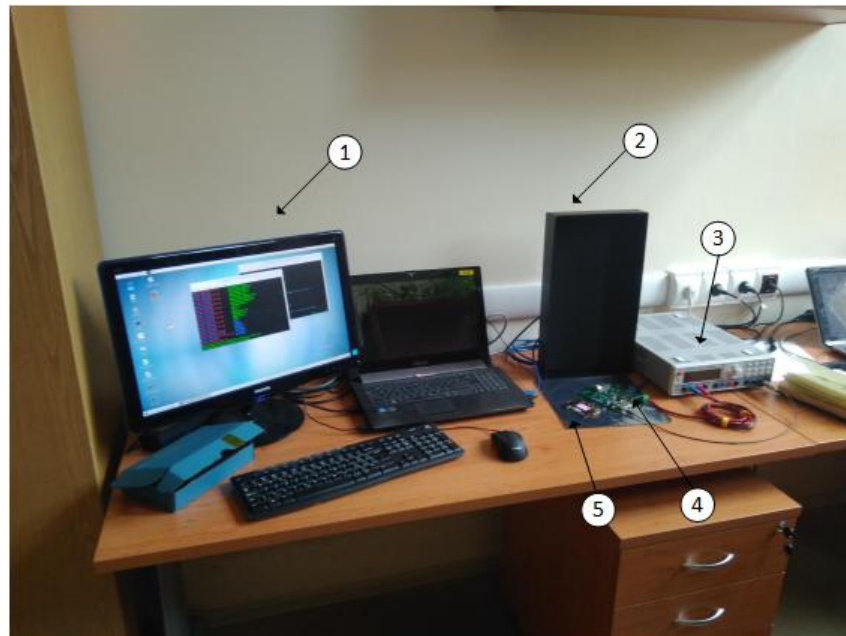
- 1 – Выходное отверстие для пучка частиц
- 2 – Система ослабления энергии пучка
- 3 – Защитная шторка
- 4 – Чувствительный элемент ионизационной камеры
- 5 – Исследуемое устройство (ALPIDE)
- 6 – Стол двухмерного позиционирования



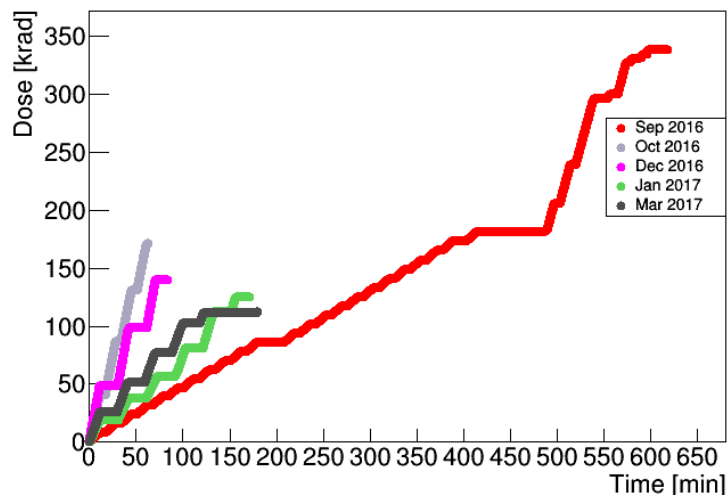
## 2. Схема лабораторного эксперимента

Установка состоит:

- 1 – Консоль оператора
- 2 – Защитный экран
- 3 – Источник питания
- 4 – Исследуемое устройство
- 5 – Антиэлектростатическая подложка

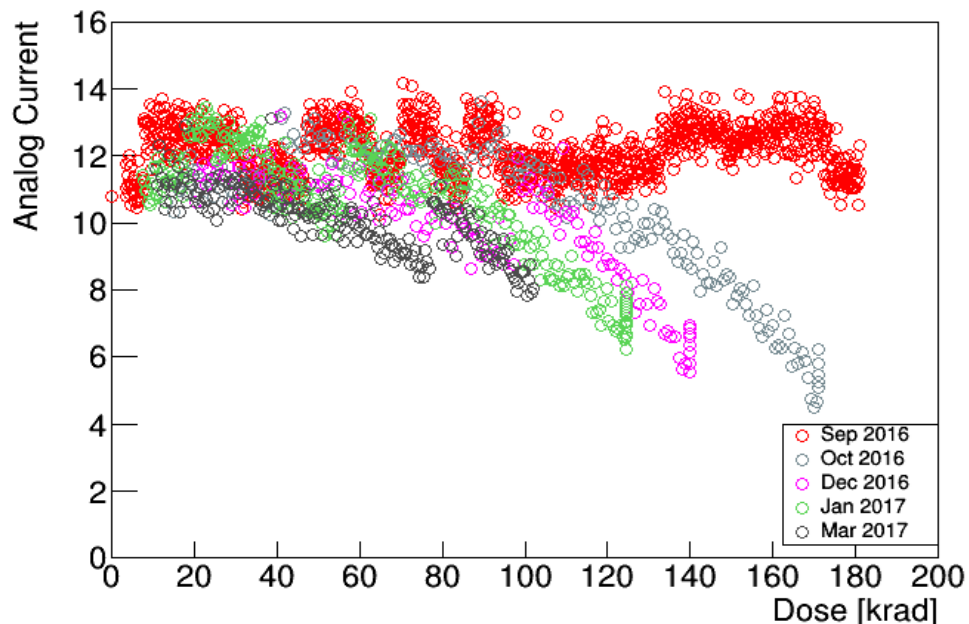


## 2. Исследование поглощенной дозы для чипа A4W7G7R41



Период	Доза, [кРад]	Флюенс [см <sup>-2</sup> · 10 <sup>10</sup> ]	Темп получения дозы [Рад/сек]	Ср. знач. флюкса [см <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> · 10 <sup>8</sup> ]
Сентябрь 2016	338	143.7	9.4	0.761
Октябрь 2016	171	72.6	46.5	2.785
Декабря 2016	139	59.3	32.2	2.958
Январь 2017	124	52.9	12.6	0.764
Март 2017	111	47.3	15.2	1.604

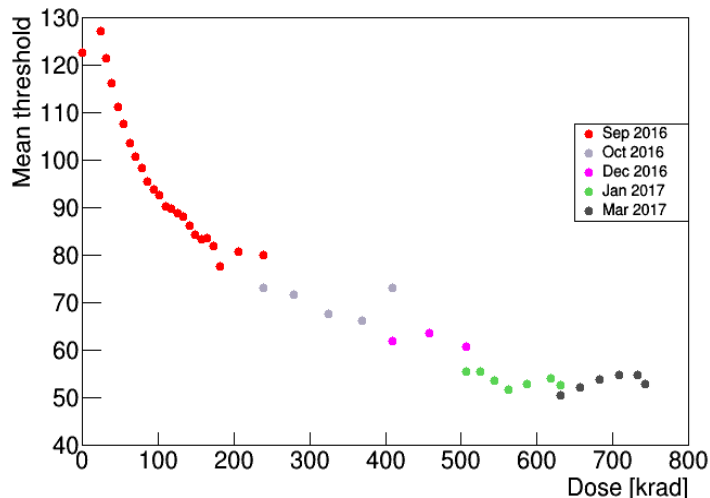
## 2. Исследование аналогового тока во время облучения для чипа A4W7G7R41



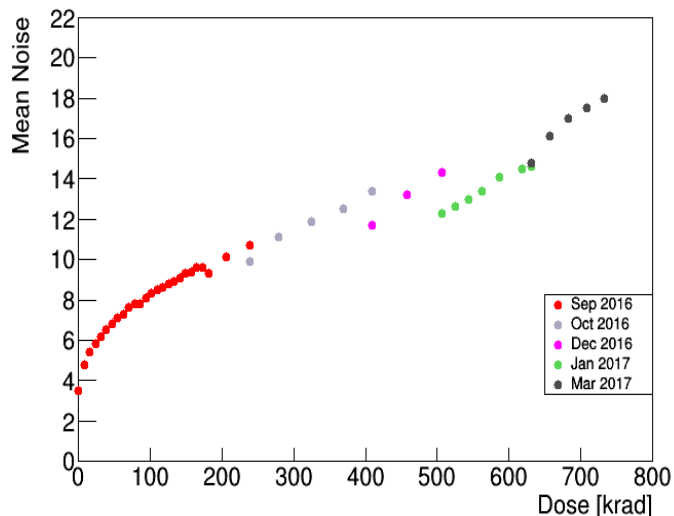


## 2. Исследование активационной функции и внутренних шумов во время облучения

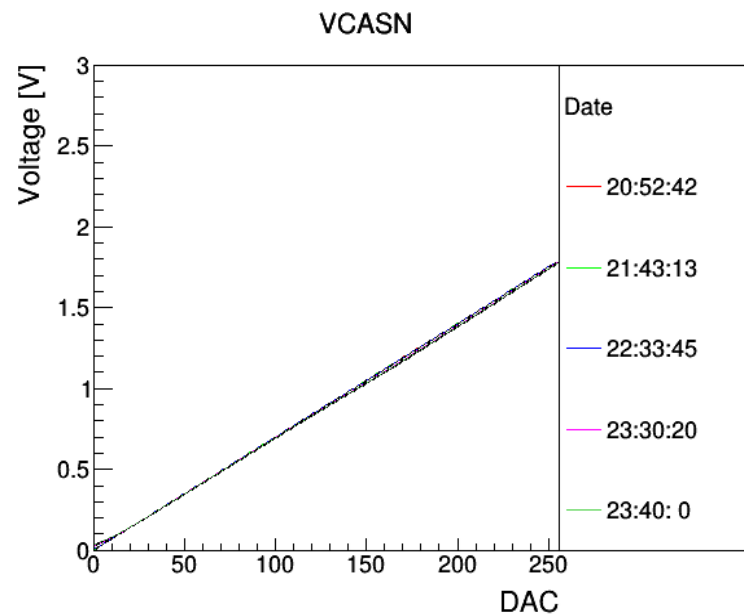
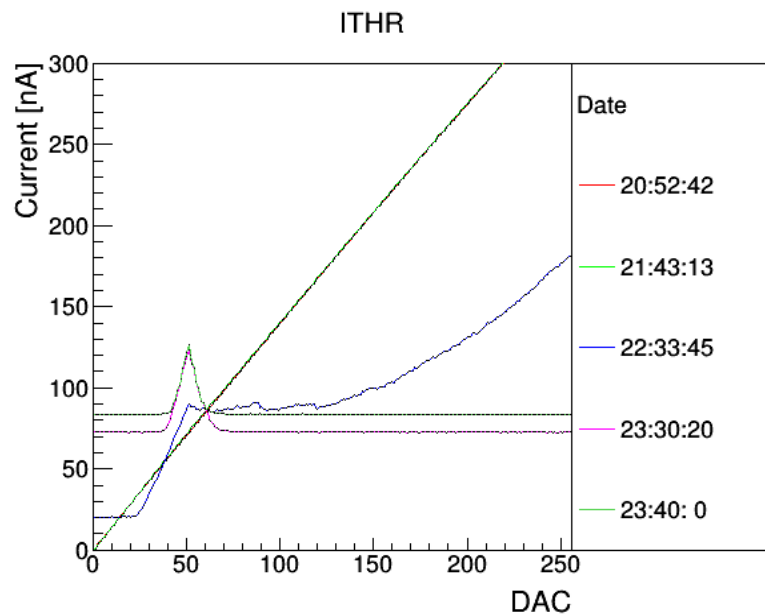
Среднее значение порога активации пикселя для A4W7GR41



Среднее значение внутреннего шума для A4W7GR41

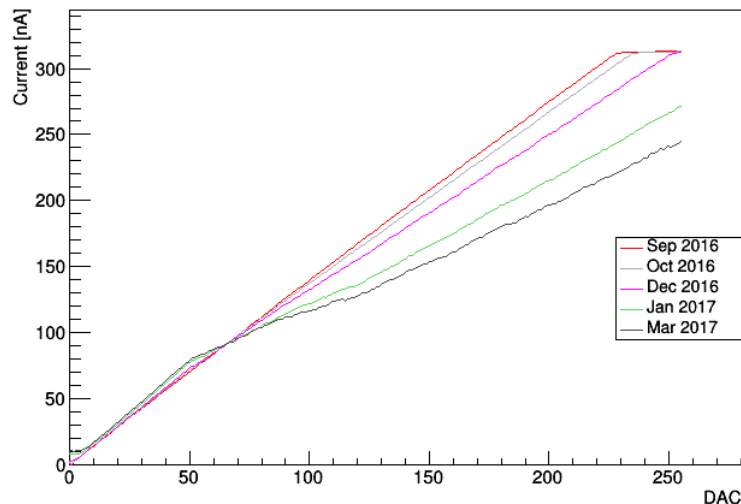


## 2. Исследование функции отклика внутренних ЦАП для A4W7G7R38 во время облучения в Сентябре 2016

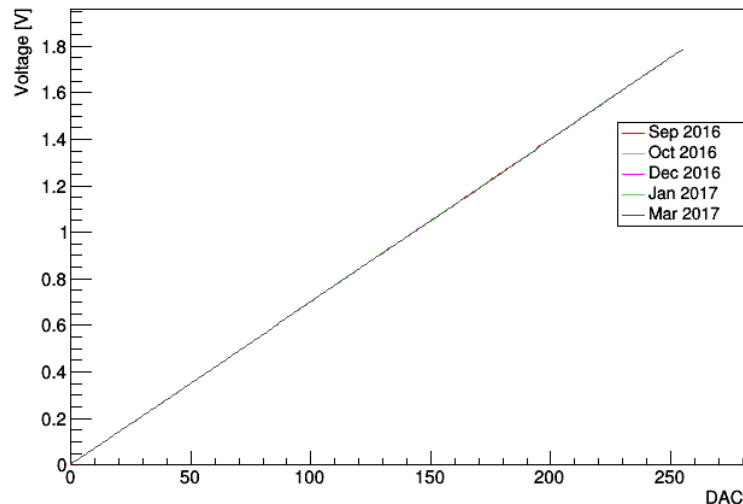


## 2. Исследование функции отклика внутренних ЦАП для A4W7G7R38 чипа после восстановления

ITHR



VCASN



# Результаты исследования радиационной устойчивости рALPIDE

- Принято участие в обоих стадиях эксперимента
- Созданы различные .ROOT программы для анализа результатов следующих тестов:
  - Исследование функции отклика внутрисхемных ЦАП
  - Исследование активационной функции пикселей детектора
  - Исследование аналогового тока, потребляемого схемой
  - Исследование поглощенной радиационной дозы
- Программы были применены на базу экспериментальных данных с сентября 2016 по март 2017 года для двух модификаций рALPIDE (A4W7G7R38 и A4W7G7R41)
- Произведен перекрестный анализ результатов тестов, его результаты представлены в CERN.

### 3. Написание драйвера для установки по проведению тестов на пучке для циклотрона U-120M

- Существующее ПО для проведения эксперимента на пучке не удовлетворяет требованиям.
- Необходимо разработать драйвер, который позволит осуществлять управление установкой с консоли оператора, в том числе:
  - Управление системой двухмерного позиционирования
  - Считывание аналогового тока с ионизационной камеры
  - Управление энергией пучка за счет пневматической системы затворов
  - Управление защитной шторкой

# 3. Интерфейс программы

The screenshot displays a control software interface with four main panels:

- Communication Settings:** Contains two sets of configuration options. The first set includes 'ComPort' (COM1), 'Baudrate' (115200), and 'Drive address' (1). The second set includes 'ComPort 2' (COM1), 'Baudrate 2' (115200), and 'Drive address 2' (1).
- Profile Settings:** Features 'Start Profile' and 'Stop Profile' buttons. It also includes 'Target Speed' (1000), 'Target Position' (400), 'Tarrget Speed 2' (1000), and 'Target Position 2' (400), each with a 'Change' button. Below these are 'X' and 'Y' input fields (both 0) and a horizontal slider for 'Axis X' ranging from -10 to 10.
- Calibration:** Includes 'X0' and 'Y0' input fields, 'Limit switch X' and 'Limit switch Y' indicators (red circles), and a 'Set zero point' button.
- Status:** Shows 'Ready' and 'Ready 2' (green circles), 'Zero-Position reached' and 'Zero-Position reached 2' (green circles), 'Position-Error' and 'Position-Error 2' (red circles), and 'Demand Position' and 'Demand Position 2' input fields.

# Результаты по созданию драйвера установки

В программной среде Lab View был написана первая версия драйвера для управления системы двухмерного позиционирования, который выполняет следующий функции:

- Предоставляет пользовательский интерфейс для настройки координат точки перемещения, параметров соединения и перемещения
- Осуществляет поиск крайних точек на основе граничных переключателей
- Выполняет перемещение устройства в требуемую точку.

## Будущие задачи

- Отладка драйвера на реальной установке
- Введение функций по управлению системой затворов и считывания данных с ионизационной камеры

# Итоговые результаты

В период с 2 Февраля по 24 Марта было выполнено:

- Произведено сравнение размеров и форм кластеров для различных углов отклонения и энергий для необлученного чипа. Результаты представлены на внутренней конференции симуляционной группы ITS ALICE.
- На основе .RAW данных получены первые гистограммы зависимости размера кластера от точки столкновения
- Произведен перекрестный анализ результатов тестов облученного чипа. Результат представлен в CERN.
- Написана первая версия драйвера для управления экспериментальной установки по облучению исследуемых объектов на циклотроне U-120M

## Будущие задачи:

- Дальнейшее изучение фреймворка EUTelescope
- Модификация драйвера для экспериментальной установки
- Исследование размеров и форм кластеров для облученных чипов



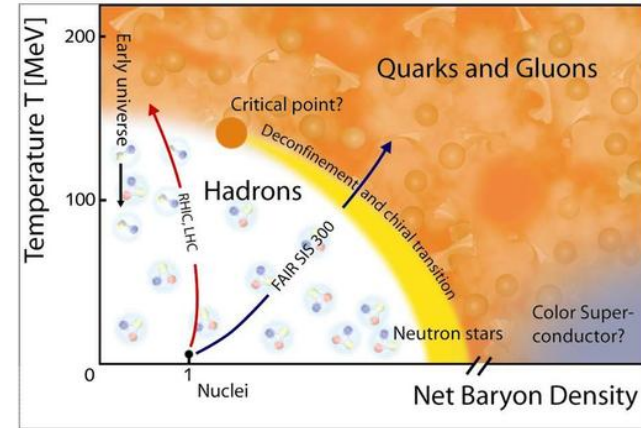
**Спасибо за внимание**

# Дополнительные слайды

# Что такое ALICE?

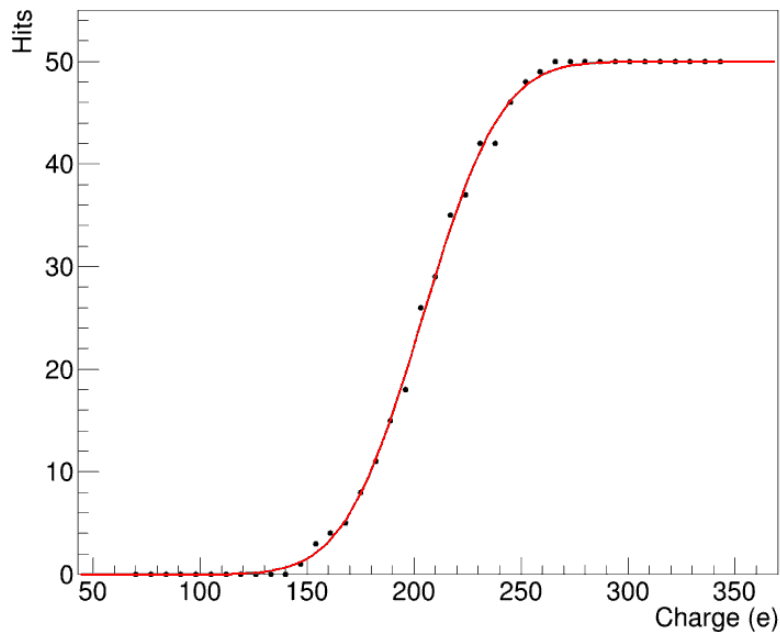
**ALICE** – один из четырех крупных экспериментов, сооруженных на Большом Андронном коллайдере (БАК) в CERN.

Основная задача эксперимента ALICE – исследование Кварк-Глюонной Плазмы (КГП), полученной при **сверхвысоких энергиях** ( до 14ТэВ)

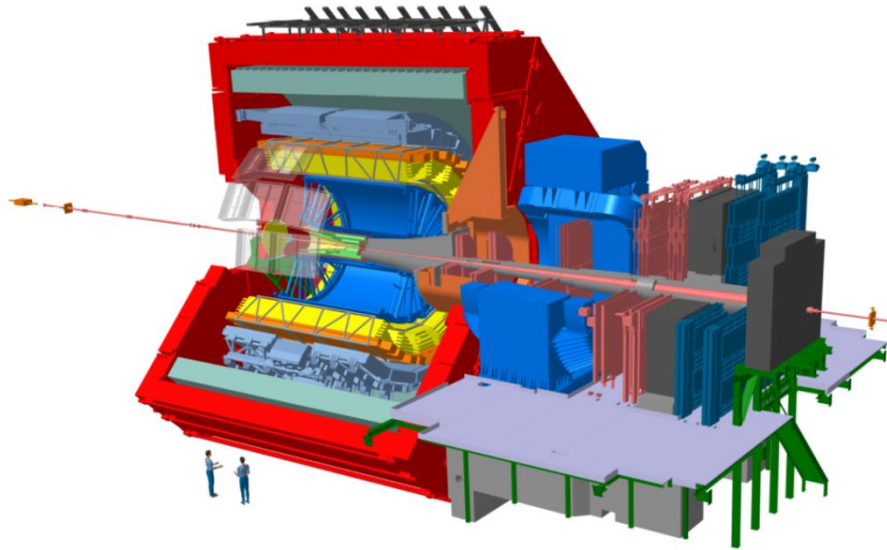


**КГП** - агрегатное состояние вещества в физике элементарных частиц, при котором адронное вещество переходит в состояние, аналогичное состоянию, в котором находятся электроны и ионы в обычной **плазме**

# Пороговая функция [1]



# Установка ALICE



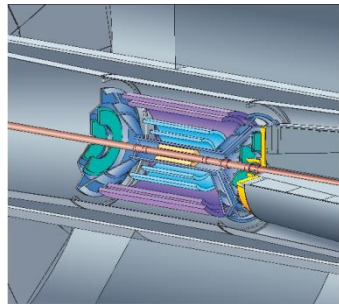
- Осуществляет исследование столкновений типа **Pb-Pb**, **p-p**, **p-Pb** с энергиями до 14 ТэВ
- Физические размеры составляют 26 м в длину и 16 м в высоту
- Внутренняя трековая система (**ITS**) – предназначена для построение треков частиц и определения первичной и вторичной вершин столкновения

# План презентации

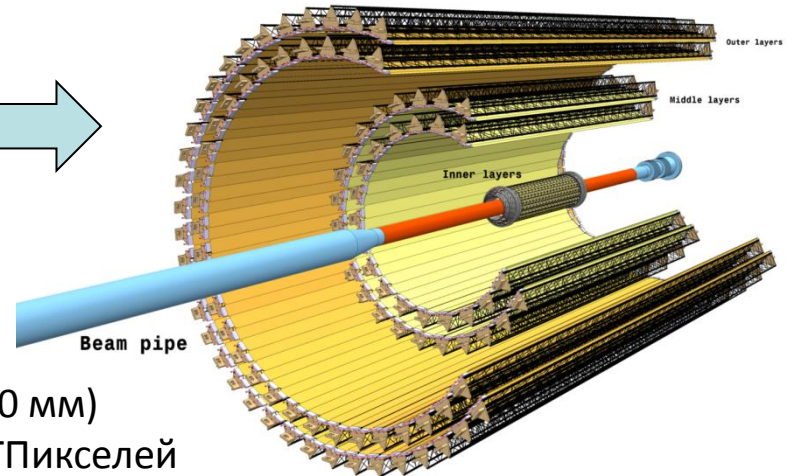
- Задачи на дипломную практику
- Задача эксперимента ALICE
- Мотивация модификации ITS ALICE
- Кремниевый детектор ALPIDE
- Результаты

# Итоговые требования к новой ITS

	Внутренний слой	Средний и внешний слой
TID радиация за 4 года	2700 кРад	100 кРад
NIEL радиация за 4 года	$1.7 \times 10^{13}$ 1MeV n eq/cm <sup>2</sup>	$1 \times 10^{12}$ 1MeV n eq/cm <sup>2</sup>



Текущая ITS



Модифицированная ITS

- 7 слоев пиксельных детекторов ( $r = 23 - 400$  мм)
- Площадь покрытия  $10 \text{ м}^2$  кремнием, 12.5 ГПикселей
- Для треков с  $|\eta| < 1.22$  эффективность до 90%

# Выбор технологии для сенсора

## Монолитный активный пиксельный сенсор (MAPS)

- Использует технологию *TowerJazz 0.18 мкм CMOS*
- Эпитаксиальный слой высокого сопротивления ( $> 1\text{k}\Omega\text{ cm}$ )
- **Deep PWELL** защищает **NWELL PMOS** транзисторов (??)
- Возможно управление за счет напряжения смещения -> Возможен большой объем обедненной зоны

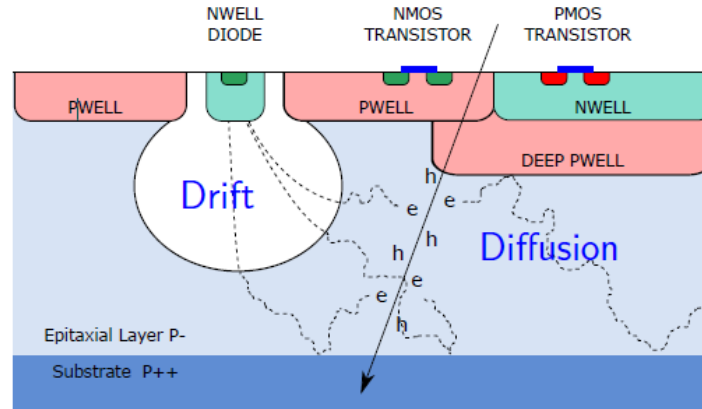
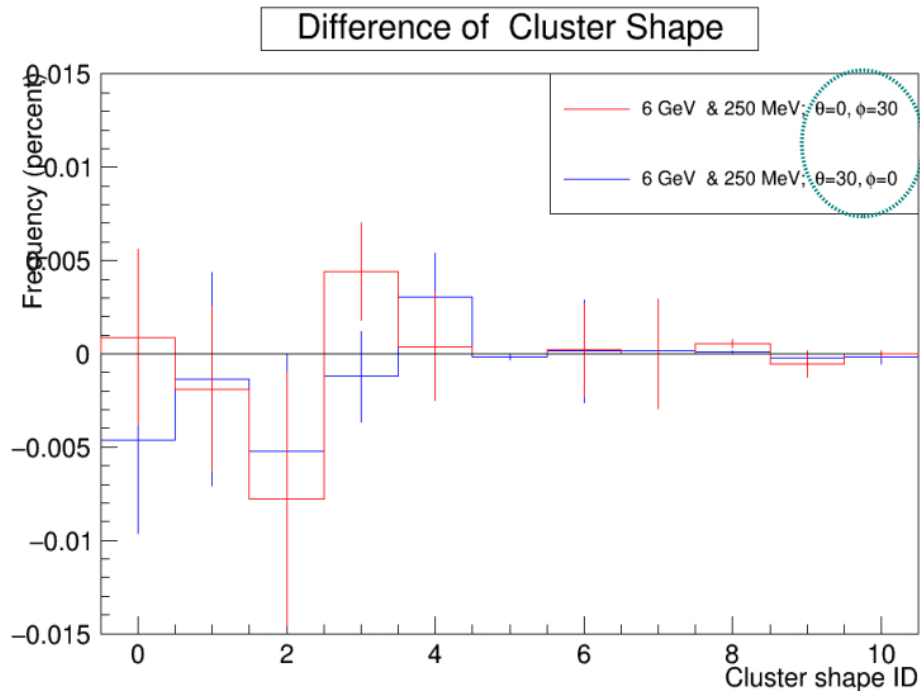


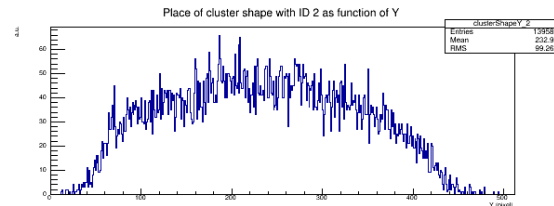
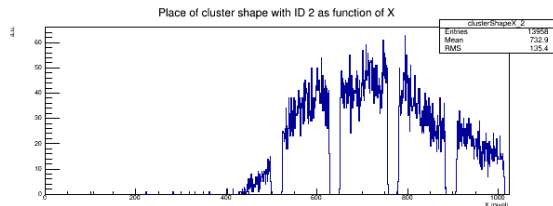
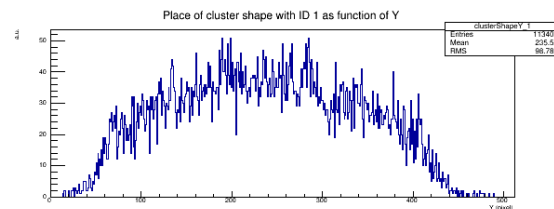
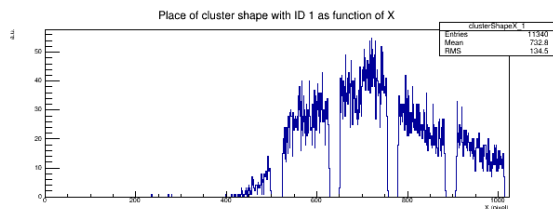
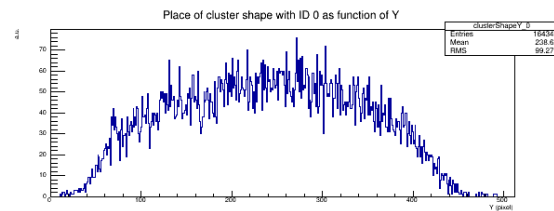
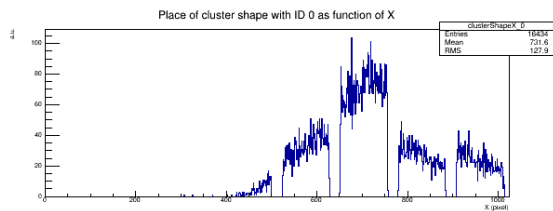
Схема пиксельного сенсора MAPS



# 1. Сравнение размеров кластеров для различных углов $\phi=0$ vs $\phi=30$ и энергий



# 1. Проекция гистограмм зависимости формы кластеров от точки падения (???)

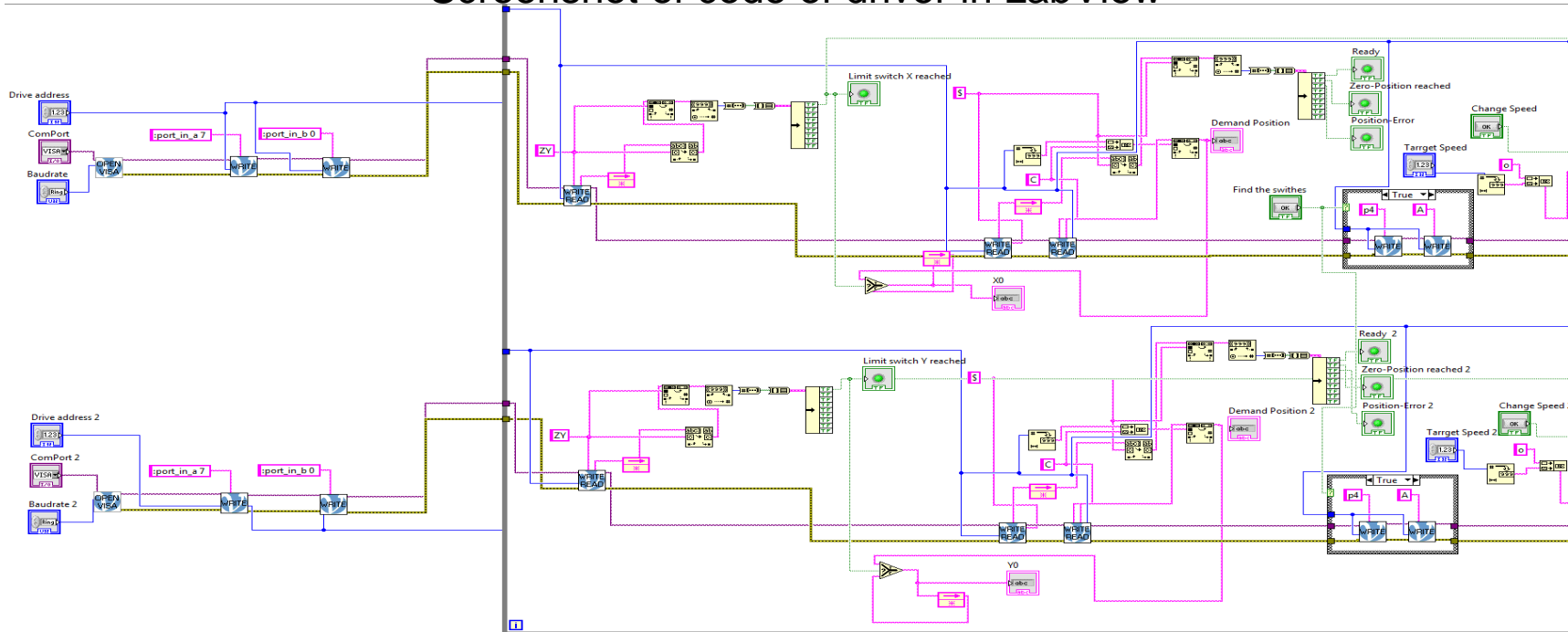




# Results for driver of XY positioning stage



Screenshot of code of driver in LabView

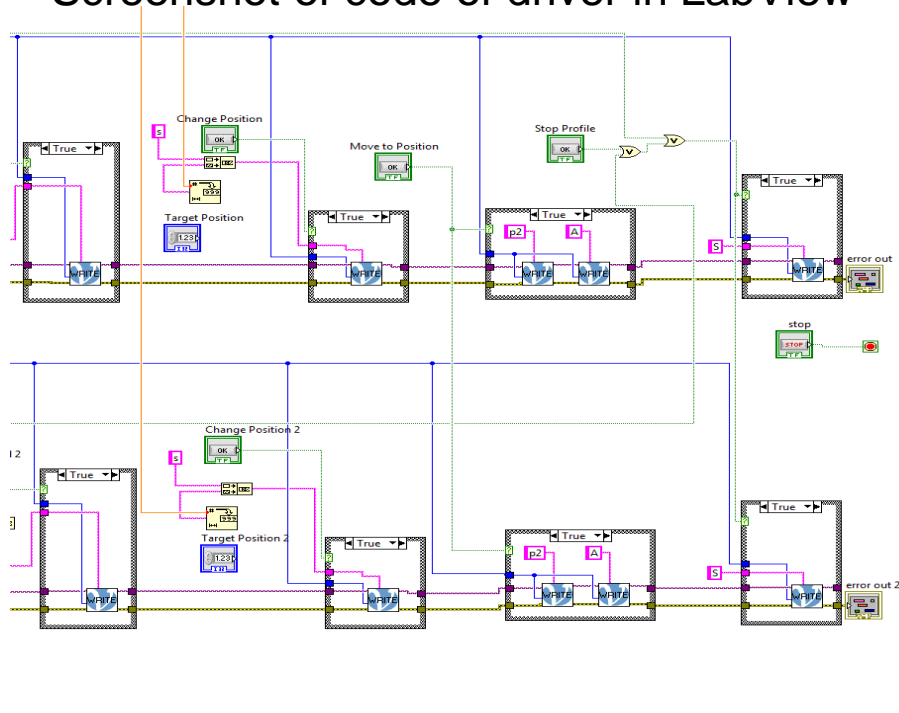




# Results for driver of XY positioning stage



Screenshot of code of driver in LabView



# Список литературы

- [1] IVAN RAVASENGA - DEVELOPMENT OF MONOLITHIC PIXEL SENSORS FOR ALICE EXPERIMENT, *Torino, 14 October 2015*