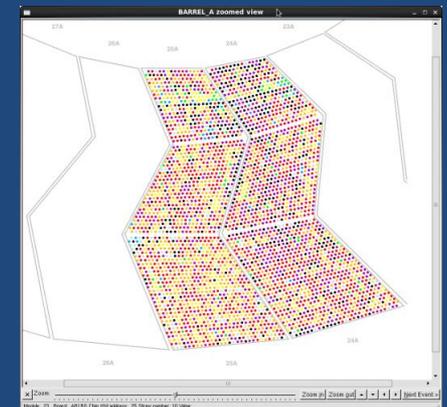
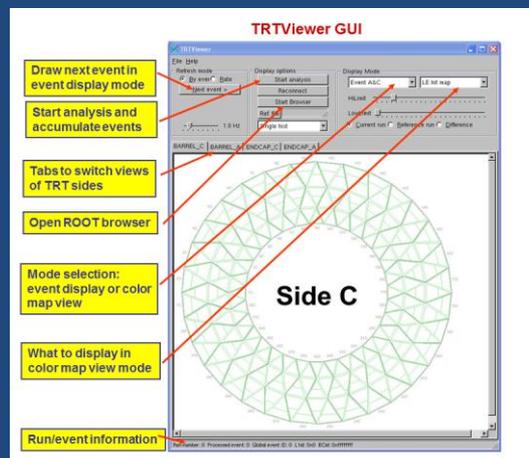
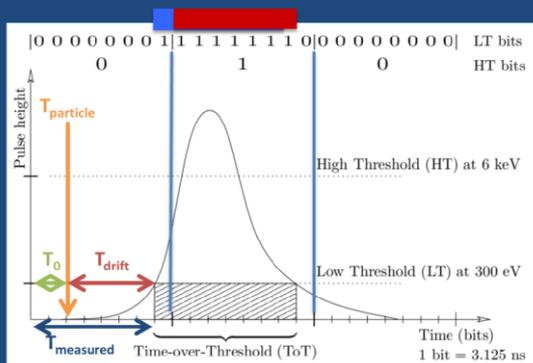
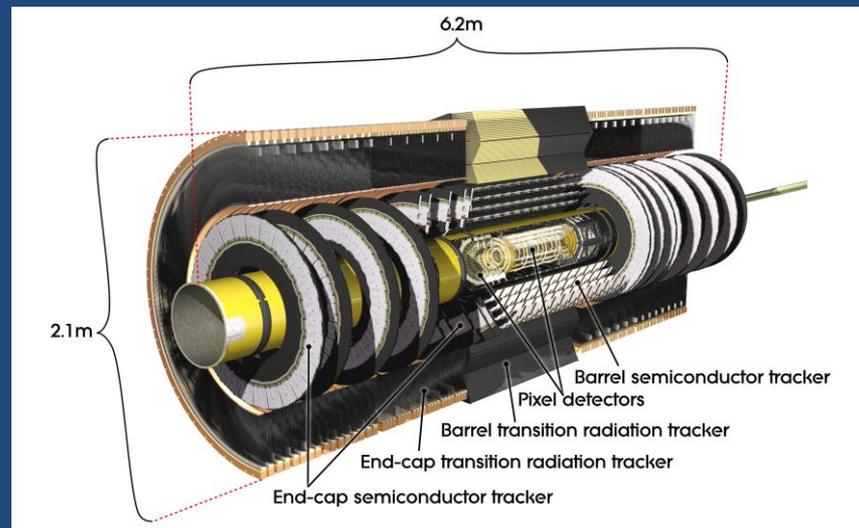


Лабораторная работа

Детектор TRT и современные средства мониторинга и диагностики работы детектора (TRTViewer)



Цель и содержание работы

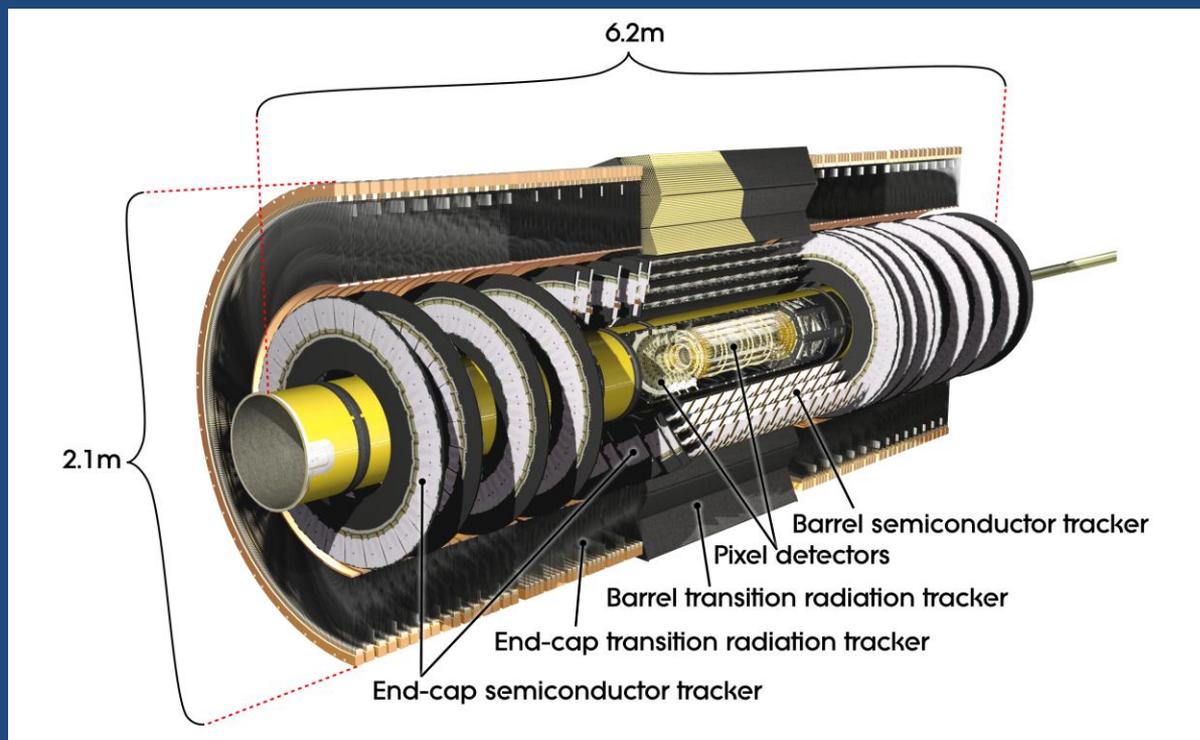
Цель лабораторной работы – изучение методов диагностики и мониторинга современных детекторов элементарных частиц на примере детектора TRT эксперимента ATLAS и программного пакета TRTViewer.

Содержание работы:

- Детектор TRT и его устройство.
- Программный пакет TRTViewer, способы отображения и анализа данных (Event Display, Color Maps, histograms).
- Побитовая информация с дрейфовой трубки, и как она отображена в TRTViewer.
- Скан по порогам (шумы) выбор порогов, способы уменьшения шумов (validity gate).
- Работа с космическими частицами (виртуальная) и триггером Fast-OR.
- Восстановление треков частиц, временная калибровка (t_0 , R-t зависимость), пространственная точность, эффективность.
- Принципы идентификации электронов, зависимость от порога и высокого напряжения.
- Анализ результатов тестов и характеристика проблем (шумы, проблемы электроники, проблемы высокого напряжения).
- Выполнение заданий и ответы на вопросы.

Детектор TRT и его устройство

Трековый детектор переходного излучения (Transition Radiation Tracker – TRT) является частью Внутреннего Детектора эксперимента ATLAS. Назначение TRT – идентификация частиц и измерение координат треков. TRT позволяет получить в среднем 36 точек на треке с пространственным разрешением около 140 мкм. Фактор подавления пионов, при эффективности регистрации электронов в 90%, близок к 10^2 . Временное разрешение TRT соответствует частоте 40 МГц работы LHC.



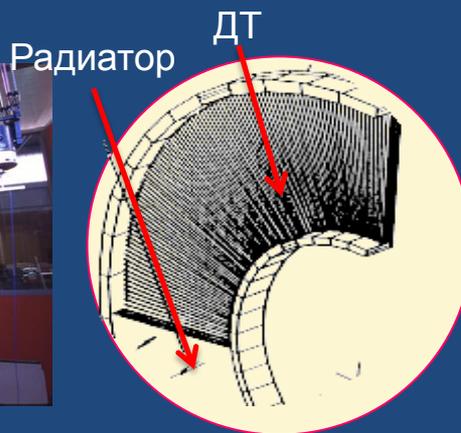
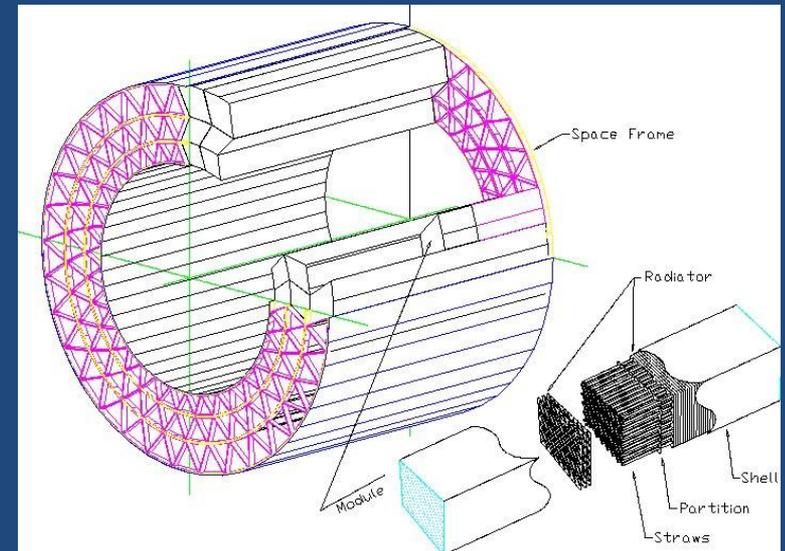
Внутренний Детектор эксперимента ATLAS

Детектор TRT и его устройство

- Основной элемент TRT – straw – тонкостенная пропорциональная дрейфовая трубка (ДТ) диаметром 4 мм. ДТ заполнены газовой смесью на основе Хе. Вдоль оси трубки – анодная проволока, вблизи которой происходит газовое усиление и с которой снимается сигнал.
- Конструктивно TRT состоит из трех частей: цилиндрической баррельной и двух одинаковых торцевых (EndCap).

TRT Barrel:

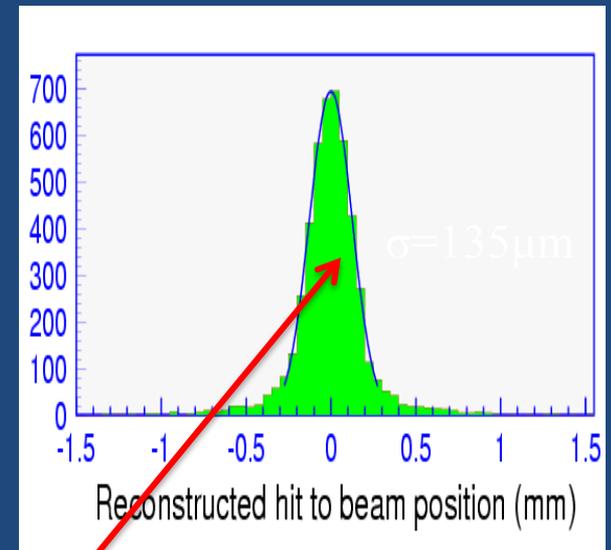
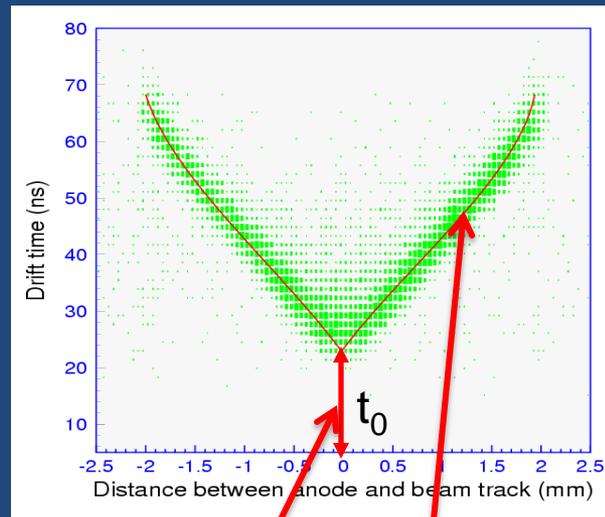
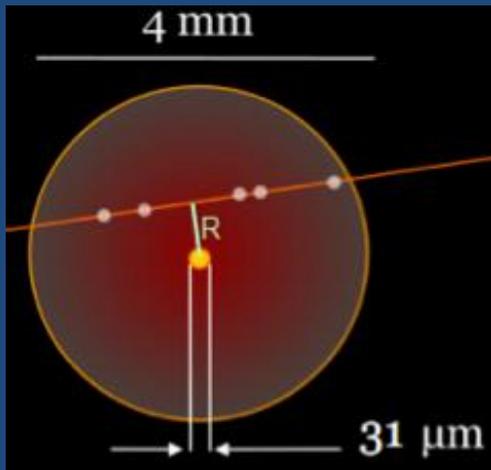
- 3 модуля по радиусу × 32 группы по углу φ
- Дрейфовые трубки длиной 1.44 м, параллельные оси пучка ускорителя
- В середине анодная нить электрически разделена – считывание происходит с двух сторон
- Всего 52 544 ДТ, 105 088 каналов считывания
- Радиатор переходного излучения – полипропиленовая пена



2 × TRT EndCap, в каждом:

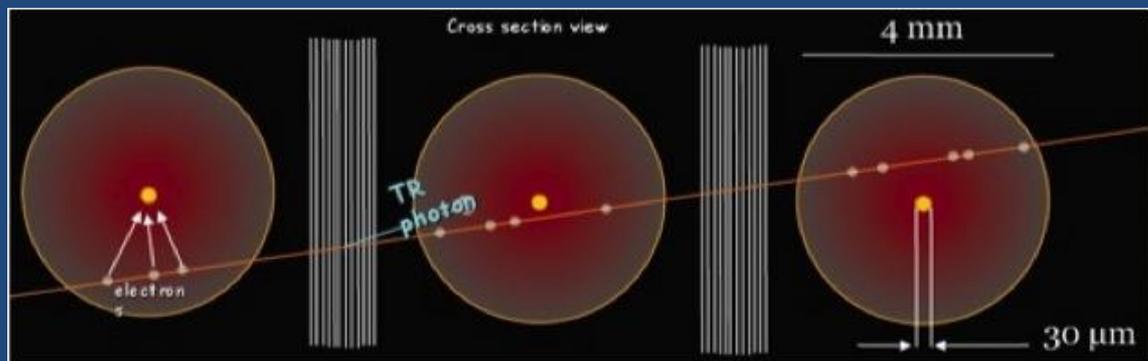
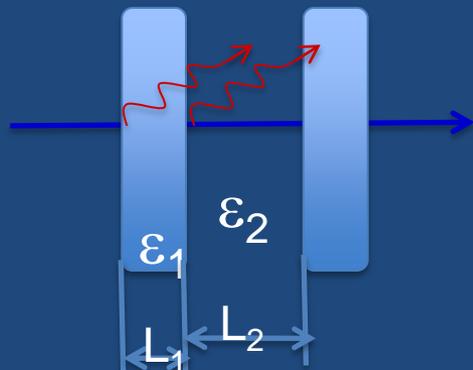
- 20 колёс двух типов по 8 слоёв из 768 радиально ориентированных ДТ длиной 39 см и 55 см
- 120 880 ДТ и каналов считывания
- Радиатор – стопка полипропиленовых пленок

Принцип измерения координат

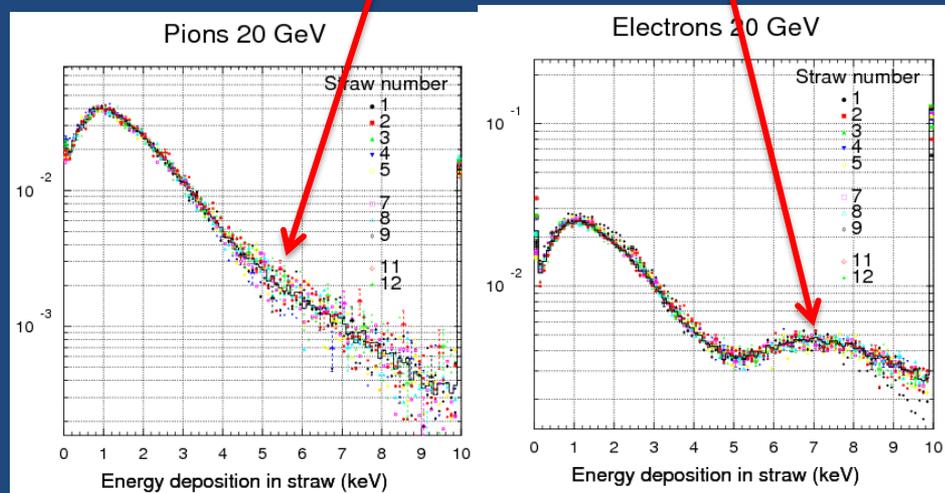


- В каждом событии при прохождении заряженной частицы через ДТ измеряется время дрейфа кластеров ионизации в газе ДТ к аноду. Время появления сигнала примерно пропорционально ближайшему расстоянию от трека до анода.
- Для максимально точного определения координаты необходимо знать точную зависимость измеряемого времени от расстояния до анода (Rt -зависимость), а также определяемое параметрами электрических цепей время задержки t_0 .
- Rt -зависимость и t_0 определяются с помощью специальной процедуры, называемой калибровкой. Поскольку эти параметры могут меняться со временем – в зависимости от загрузки детектора, текущих настроек электроники и даже внешних условий – процедуру калибровки необходимо периодически повторять.
- После реконструкции трека строится распределение отклонений определенных в ДТ координат от трека (residual distribution). Ширина этого распределения характеризует пространственную точность ДТ.

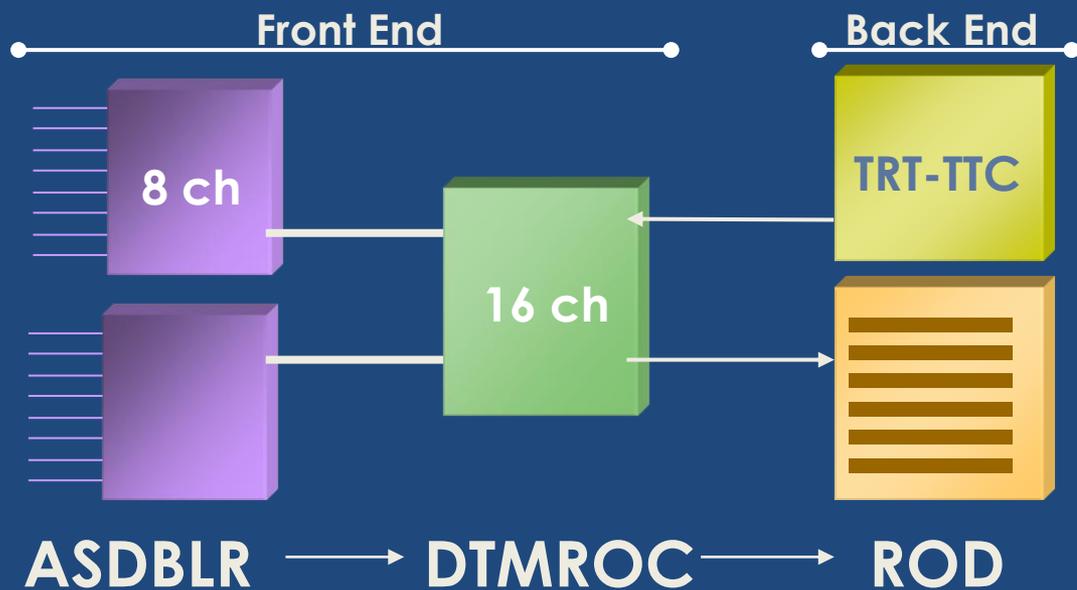
Принцип идентификации частиц по переходному излучению



- При прохождении заряженной релятивистской частицей границы раздела двух сред с разной диэлектрической проницаемостью ϵ она может испустить γ квант – в этом суть явления переходного излучения (ПИ).
- Квант ПИ может быть зарегистрирован в детекторе, расположенном за местом его испускания, как правило – вместе с ионизационным сигналом от заряженной частицы, поскольку летит под очень малым углом к треку.
- Вероятность испускания квантов ПИ зависит от Лоренц-фактора частицы (отношения энергии к массе). Отсюда – способ идентификации: легкие частицы с большим Лоренц-фактором рожают кванты ПИ, которые дают дополнительное энерговыделение при поглощении в детекторе, более тяжелые дают только ионизационный сигнал.



Электроника детектора TRT

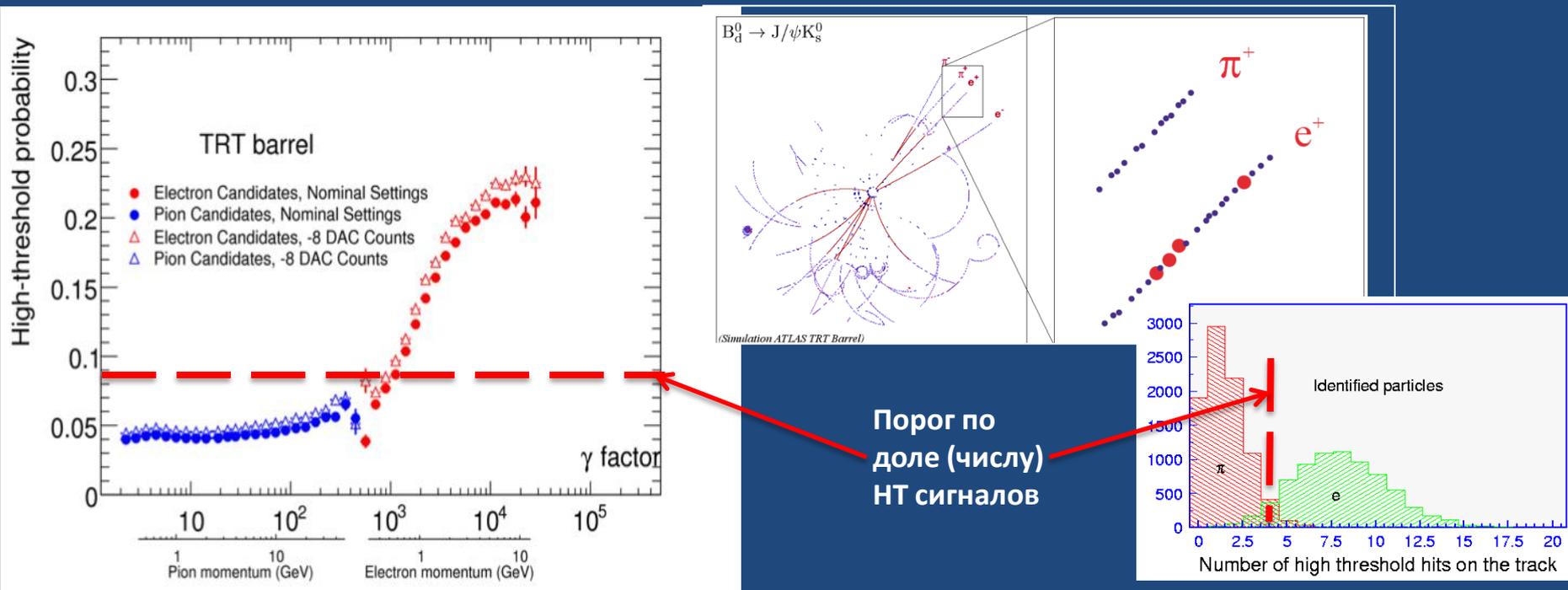


- Back End часть электроники расположена в крейтах стандарта VME, находящихся в шахте ATLAS, но на удалении от детектора.
- Контроль DTMROC чипов осуществляется модулями системы TTC (Timing, Trigger and Control) каждый из которых управляет до 480 DTMROC.
- Считывание информации из DTMROC чипов выполняется с помощью считывающих драйверов ROD (Read Out Drivers) TRT.

- Аналоговый сигнал с ДТ поступает на вход 8-канальных микросхем ASDBLR (Amplification, Shaping, Discrimination, and Base-Line Restoration) микросхем, которые осуществляют его усиление, формирование, дискриминацию и восстановление нулевой линии.
- Далее сигнал поступает на вход 16-канальных микросхем DTMROC (Drift Time Measuring Read Out Chip), выполняющих измерение времени дрейфа и оцифровку сигнала.
- Схемы ASDBLR и DTMROC относятся к Front End (FE) электронике, расположенной непосредственно на элементах детектора TRT.

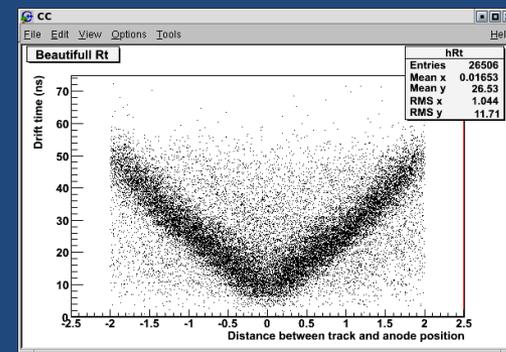
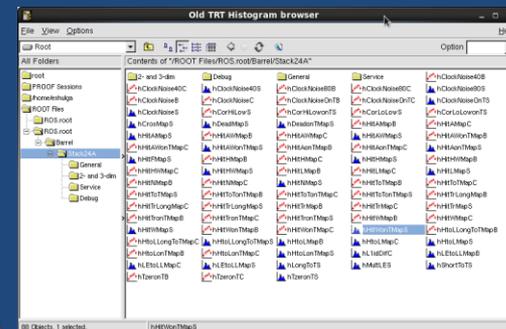
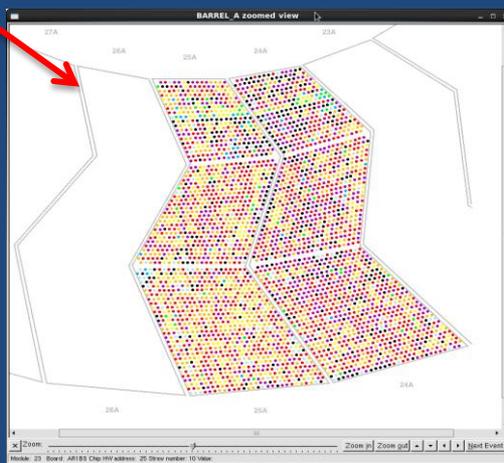
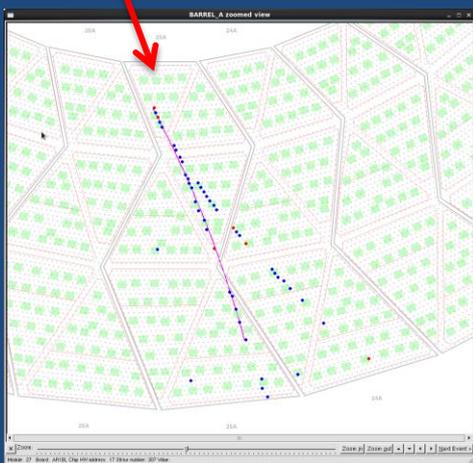
Идентификация частиц в TRT

- Основа идентификации частиц в детекторе TRT – это подсчет числа (точнее – доли) ДТ на треке частиц, в которых зарегистрирован сигнал с высоким порогом (НТ) по сравнению с общим числом ДТ на треке с сигналом ЛТ.
- Затем выбирается порог по числу (доле) сигналов с НТ. Частицы с числом (долей) НТ выше этого порога считаются электронами, ниже – адронами (в большинстве – π -мезоны). Порог выбирается так, чтобы 90% электронов удовлетворяли этому отбору, т.е. превышали порог.
- Эффективность идентификации характеризуется коэффициентом режекции $k_{rej}=1/F_{\pi}$, где F_{π} – доля ошибочно идентифицированных пионов, которым тоже удалось превысить данный порог.
- Подбор порогов для оптимальной идентификации частиц – отдельная сложная задача. Важно также точно поддерживать эти пороги, для чего постоянно проводятся соответствующие калибровки.
- В ATLAS TRT высокий порог НТ установлен ~ 6 кЭВ. Коэффициент режекции $k_{rej} \sim 100$.



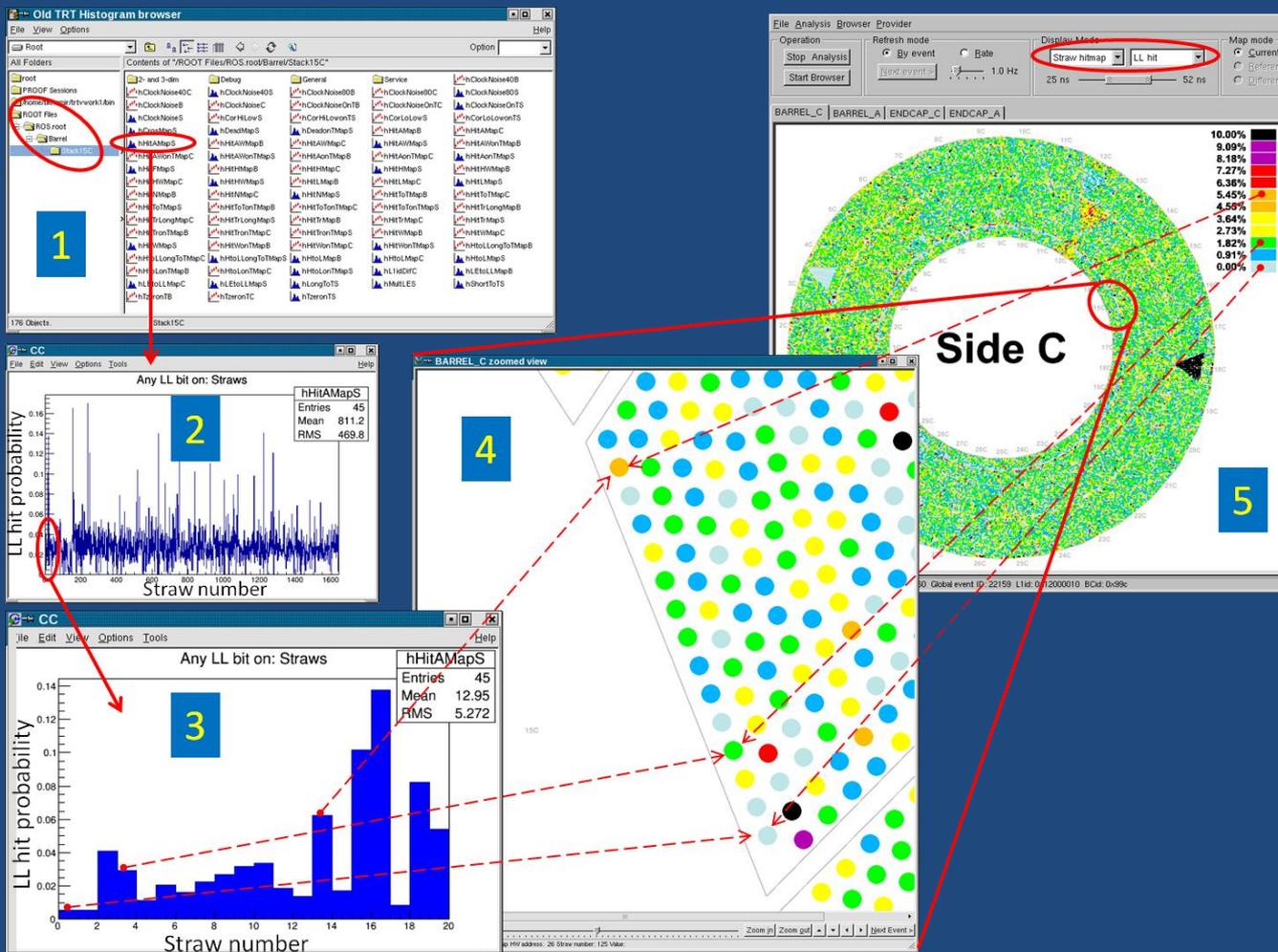
TRTViewer

- TRTViewer – специализированное ПО, предназначенное для анализа состояния каналов электроники TRT на уровне отдельных каналов/чипов/плат. Позволяет оперативно выявлять проблемные области в детекторе TRT: шумящие или «мертвые» каналы электроники, серьезные проблемы с высоковольтным питанием. TRTViewer используется также для проверки однородности калибровок по порогам.
- Код TRTViewer написан на C++ с использованием программной среды ROOT.
- Источником данных для TRTViewer могут служить:
 - «Сырые» данные, поступающие в режиме on-line с системы сбора данных DAQ (data acquisition)
 - «Сырые» данные, сохраненные в дисковом файле
 - Обработанные данные, сохраненные в виде ROOT гистограмм
- Обрабатываемая с помощью TRTViewer информация может быть представлена в виде:
 - Event Display: отображение отдельного события в TRT
 - “цветовой карты”: каждый элемент цветом отображает среднее значение накопленной за много событий величины (например – доля событий с шумами в данном канале)
 - накопленных гистограмм о различных величинах и их корреляциях;



TRTViewer

При обработке «сырых» данных TRTViewer анализирует события, реконструирует треки проходящих частиц, вычисляет различные характеристики (вероятность LL и HL сигналов, эффективность ДТ и т.п.). Вычисленные характеристики в процессе обработки хранятся в виде ROOT гистограмм, в которых ось X представляет номер ДТ, а ось Y – величину характеристики. Эти величины затем могут быть показаны в виде цветовой карты.



1. ROOT файл, папки Barrel, Stack15C.
2. Гистограмма hHitAmapS: по оси X отложен номер ДТ в секторе Stack15C, по Y – вероятность для данной ДТ дать LL сигнал.
3. Первые 20 каналов (ДТ) в гистограмме hHitAmapS.
4. Увеличенный фрагмент сектора Stack15C с изображением первых по нумерации ДТ. Цвет прорисовки ДТ представляет собой вероятность, взятую из соответствующего канала гистограммы и выраженную в соответствии с цветовой шкалой. Координаты кружочка соответствуют географическим координатам ДТ в TRT.
5. Полное отображение в режиме цветовой карты вероятности LL сигнала (характеристики “LL hit”) стороны С баррельной части TRT. Вверху справа – цветная шкала. Овалом обведена область, которая в увеличенном масштабе представлена на фрагменте 4.

TRTViewer: основные элементы управления GUI

Просмотр следующего события в режиме Event Display

Цветовая шкала и слайдеры для изменения масштаба

Запуск/остановка режима потоковой обработки данных

Открыть ROOT browser

Переключение отображаемых сторон TRT

Выбор режима отображения

Выбор отображаемых величин

Главное окно

Информация о событии

File Analysis Browser Provider Help

Operation: Stop Analysis Start Browser

Refresh mode: By event Rate

Display Mode: Board hitmap LE hit map

Map mode: Current Reference Difference

Gamut scale: HiLimit LowLimit

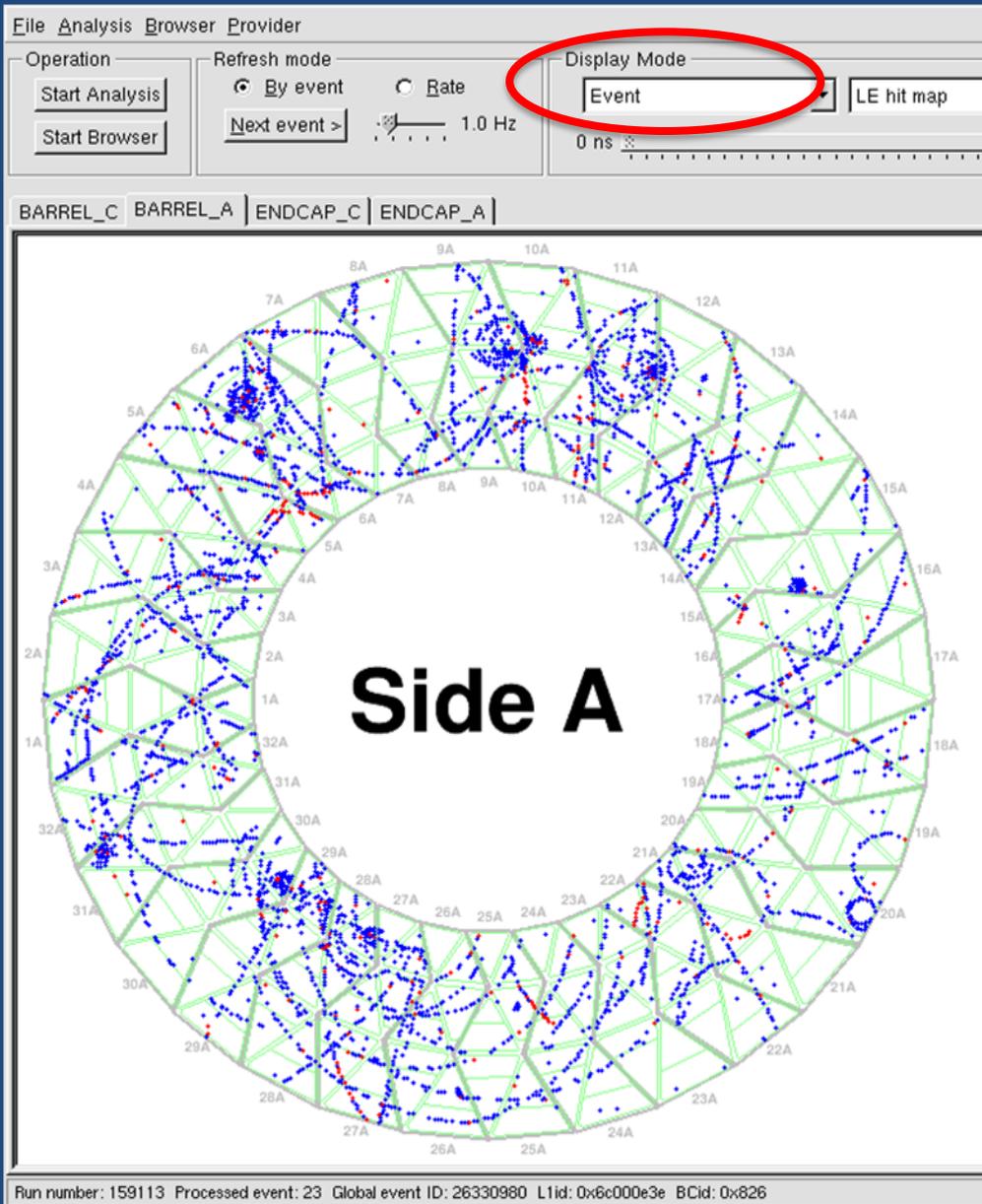
BARREL_C BARREL_A ENDCAP_C ENDCAP_A

7.85%
7.13%
6.42%
5.71%
4.99%
4.28%
3.57%
2.85%
2.14%
1.43%
0.71%
0.00%

Side A

Run number: 159113 Processed event: 380 Global event ID: 26341772 L1Id: 0x6d002764 BCid: 0x7c2

TRTViewer в режиме Event Display



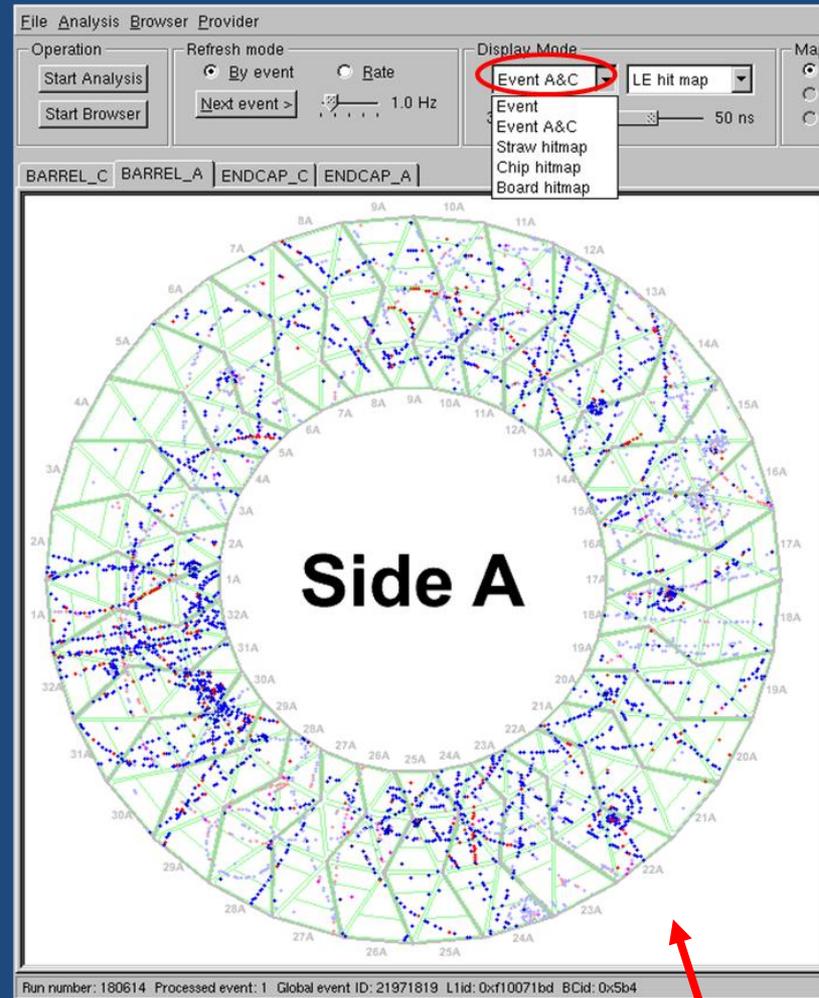
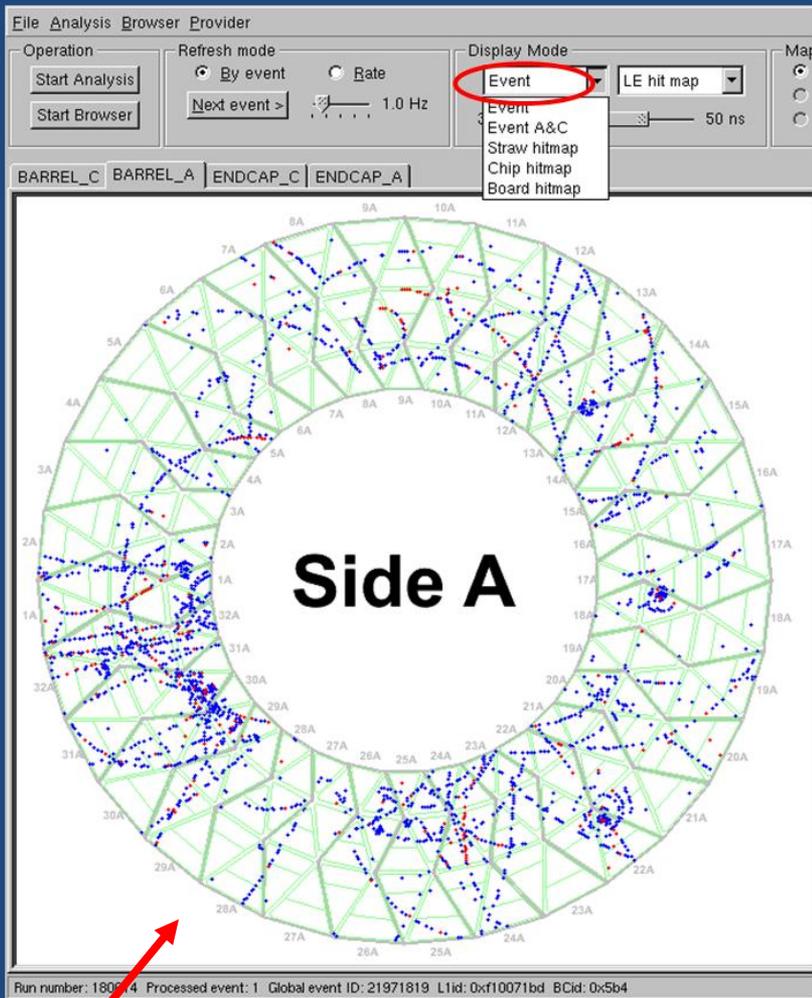
- Режим просмотра Event Display возможен, если источник данных является событийным: либо on-line поток непосредственно с системы сбора данных DAQ , либо файл с «сырыми данными».

- В режиме Event Display каждая нарисованная точка представляет камеру TRT, в которой сигнал превысил низкий (синие точки) или высокий (красная точка) порог. Пурпурным цветом рисуются реконструированные программой треки частиц, если такие есть.

- Нажатие на кнопку «Next event» рисует очередное событие.

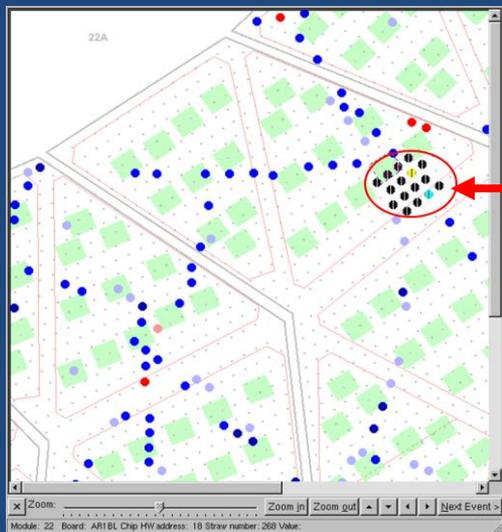
- При просмотре событий в режиме Event Display они одновременно и анализируются.

TRTViewer в режиме Event Display

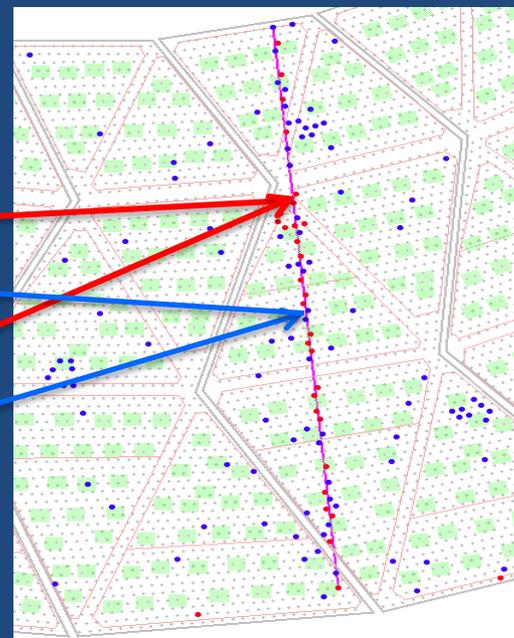
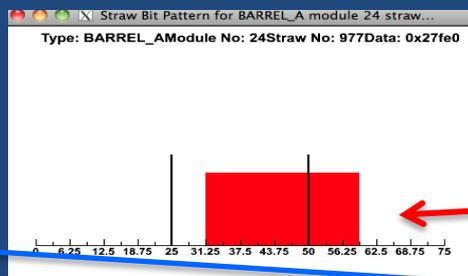
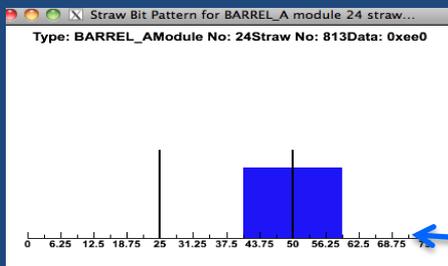


При просмотре события в баррельной части TRT возможно переключение между двумя режимами. «Event» означает, что рисуются сработавшие камеры только с одной стороны барреля, а «Event A&C» – с обеих сторон. Сработавшие ДТ с противоположной стороны рисуются светло-синим или светло-красным цветом.

TRTViewer в режиме Event Display



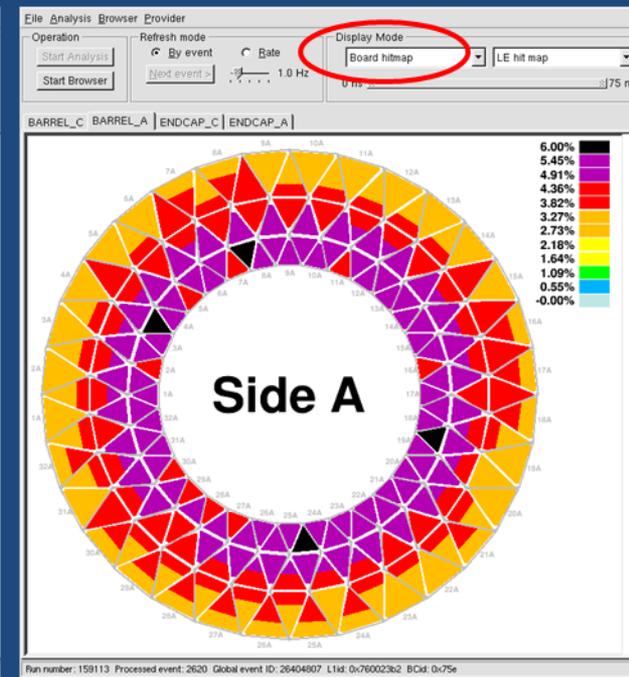
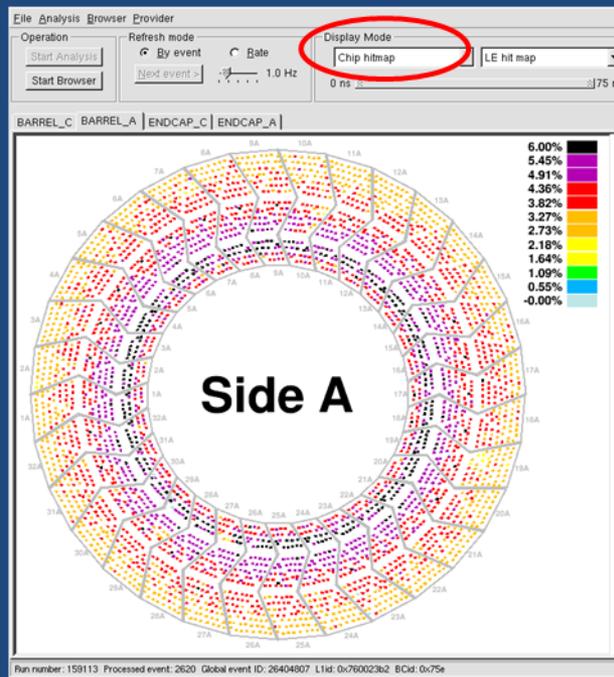
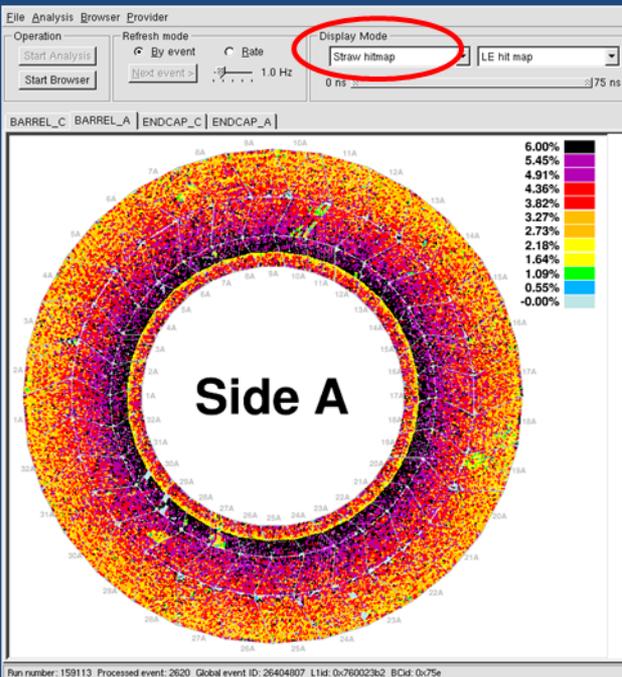
- Двойной щелчок мышью на изображении TRT в режиме Event Display открывает новое окно с увеличенным изображением (zoom view).
- Одинарный щелчок на ДТ в Zoom окне показывает группу ДТ, принадлежащих одной DTMROC микросхеме.
- Двойной щелчок на ДТ в Zoom окне представляет побитовую временную информацию о сигнале.



В режиме Event Display двойной щелчок на ДТ в ZOOM окне открывает распределение с побитовой временной информацией о сигнале в данном событии

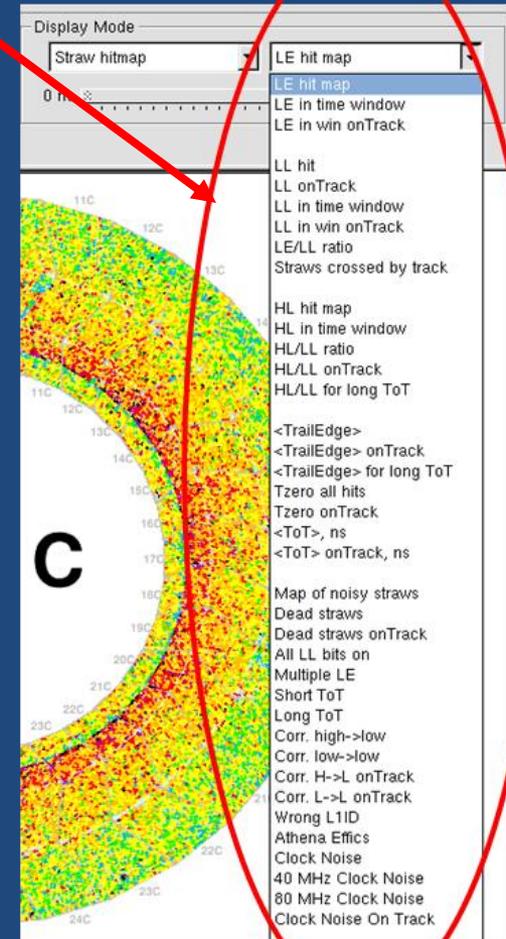
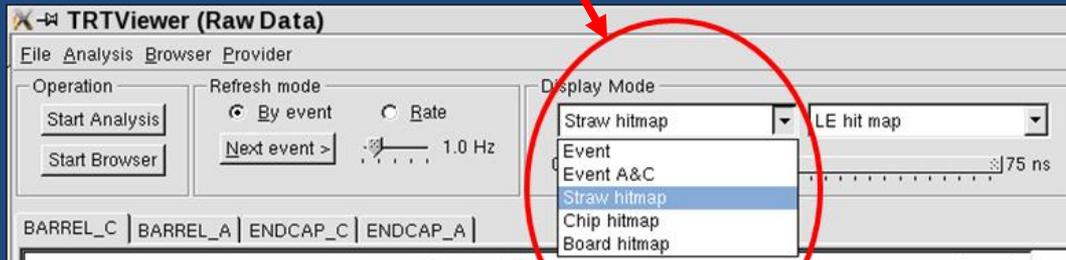
TRTViewer в режиме Color Map

- Нажатие на кнопку «Start Analysis» переводит TRTViewer в режим потоковой обработки событий. Результатом обработки становятся ROOT гистограммы со значениями ряда интегральных характеристик (загрузка, эффективность и т.п.) отдельных ДТ (straw), микросхем (chip) и плат (board). Эти величины могут быть представлены в виде цветовой карты (Color Map), где положение нарисованного элемента соответствует его координате в TRT, а цвет – величину характеристики в соответствии с настраиваемой палитрой.
- Такое же представление возможно и в случае, когда источником данных для TRTViewer являются ROOT файлы соответствующей структуры, созданные либо самой TRTViewer, либо другими программами по окончании обработки «сырых» данных.



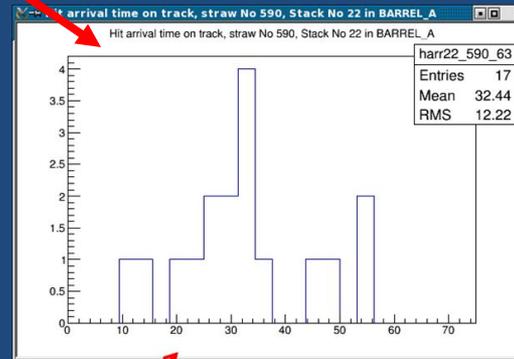
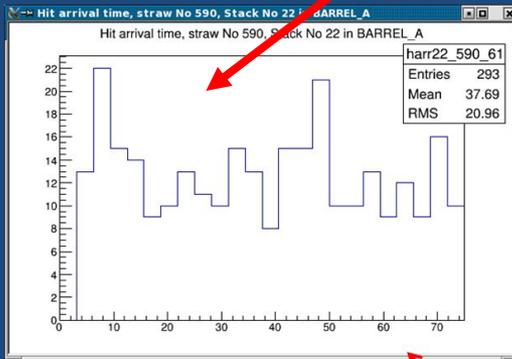
TRTViewer в режиме Color Map

Элемент представления (straw/chip/board) и сама характеристика выбираются через соответствующие меню.

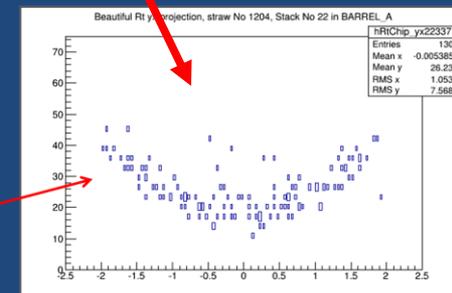
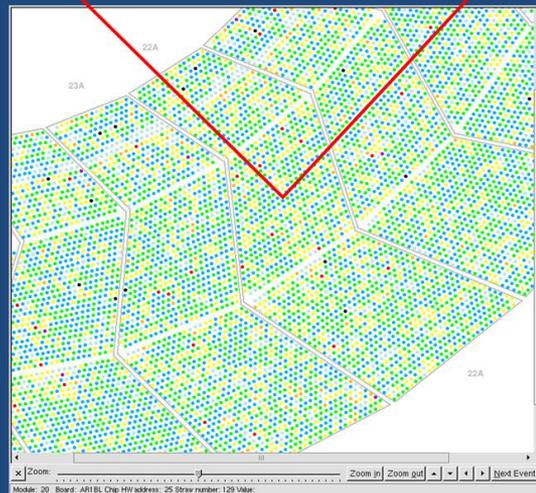


TRTViewer в режиме Color Map

- Двойной левый щелчок на TRT в режиме Color Maps также открывает новое окно с увеличенным изображением (zoom view).
- В zoom view двойной левый щелчок на straw показывает распределение времени прихода всех сигналов, а двойной правый – только тех сигналов, когда данная ДТ пересекалась проходящей через нее частицей.

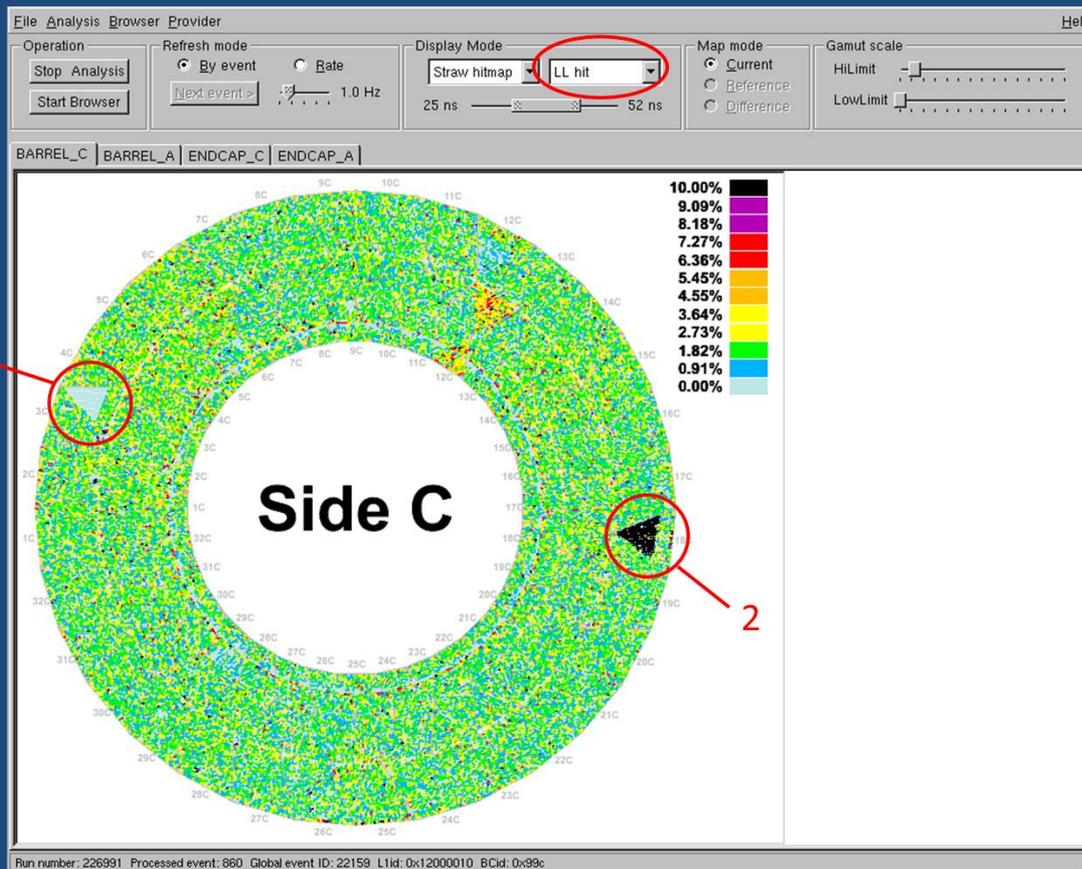


Двойной левый щелчок на chip в zoom окне показывает Rt зависимость всех ДТ, принадлежащих данной микросхеме.



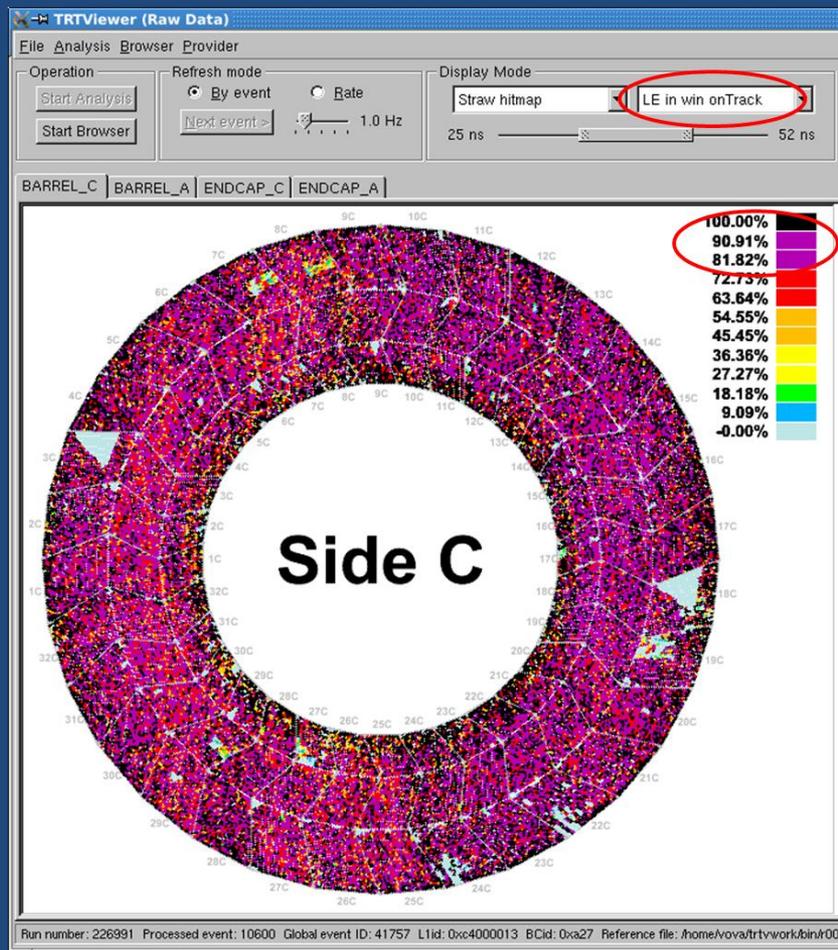
Выявление проблем с помощью TRTViewer в режиме Color Map

Наиболее важные характеристики, просматриваемые в режиме Color Map:



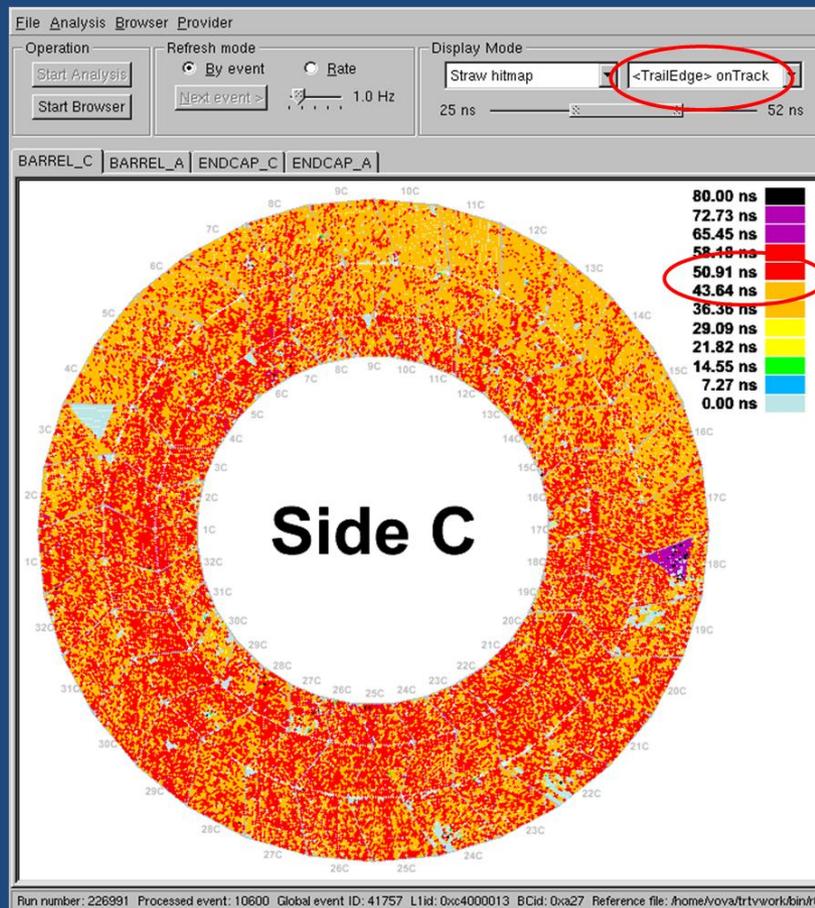
LL hit – вероятность для ДТ дать сигнал, превысивший низкий (Low Level) порог. Вычисляется как M/N , где N – число обработанных событий, M – число событий, в которых в данной ДТ был LL сигнал. В значительной доле это – шумы электроники. Слишком низкая вероятность может говорить о неправильно установленном пороге или проблеме с высоким напряжением, нулевая (1) – о проблеме с электроникой, а слишком высокая (2) – либо с порогом, либо с электроникой.

Выявление проблем с помощью TRTViewer в режиме Color Map



LE in win onTrack – вероятность дать Leading Edge, лежащий в определенном временном интервале (окне), если ДТ пересекается траекторией реконструированного программой трека. По сути, это – эффективность ДТ и в идеале должна быть величиной, близкой к 1. Временное окно задается в специальном конфигурационном файле программы TRTViewer и призвано выделять сигналы, отличные от шумов (см. далее).

Выявление проблем с помощью TRTViewer в режиме Color Map

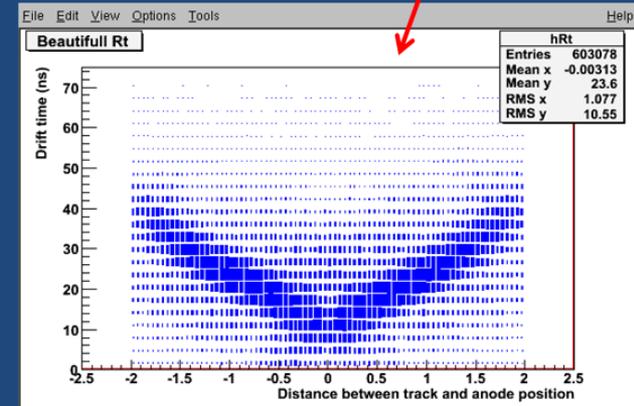
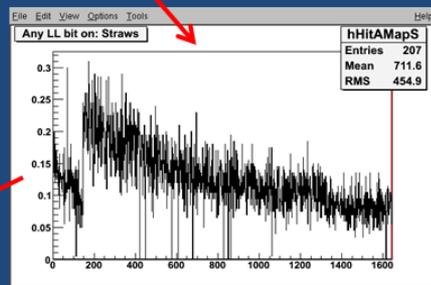
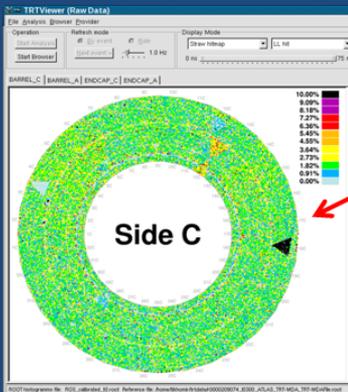
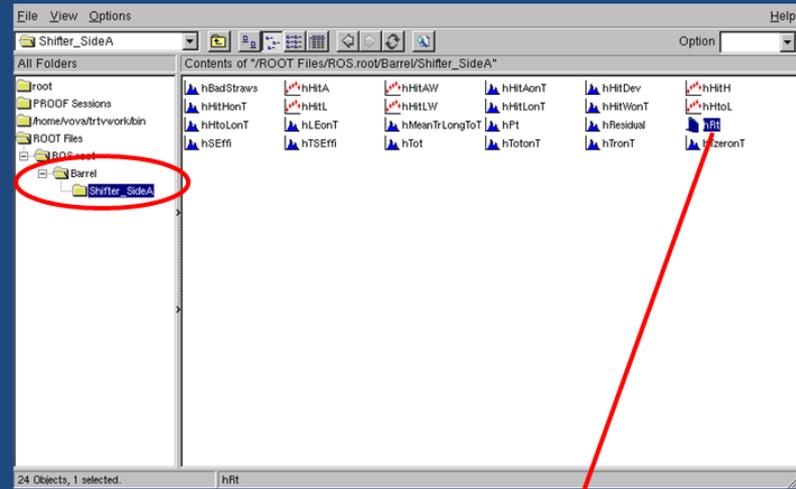
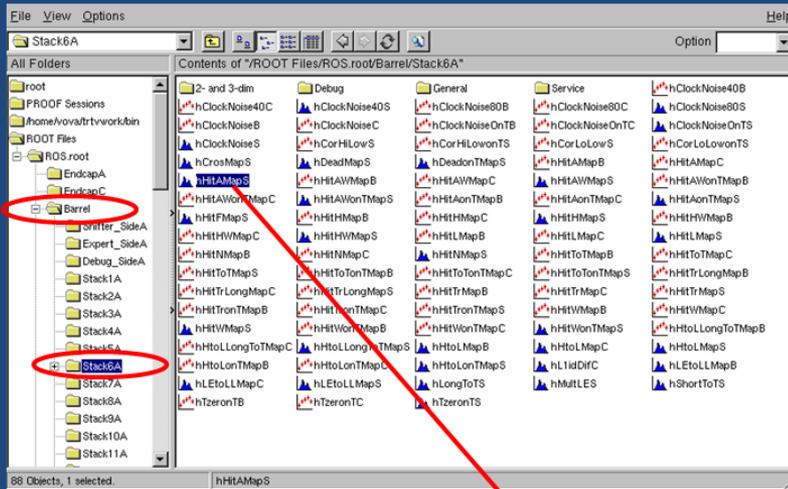


Заметим, что наряду с характеристиками, в именах которых присутствует «... onTrack», встречаются аналогичные по смыслу с именами «... for long ToT'». Это величины, вычисленные для тех сигналов, когда ToT имеет длительность, не меньше некоторой заданной в конфигурационном файле величины. Предполагается, что такие сигналы вызываются проходящими через ДТ частицами, в отличие от шумовых сигналов, имеющих короткое ToT. Преимущество использования таких характеристик в том, что для них не требуется собственно процедура реконструкции треков. Кроме этого, здесь обычно гораздо больше статистика, поскольку дает свой вклад множество «мягких» (низкоэнергичных) частиц, треки которых обычно не реконструируются.

<TrailEdge> onTrack – среднее время прихода Trailing Edge (TE) в событиях, когда ДТ пересекается траекторией реконструированного программой трека. В отличие от LE, время прихода которого зависит от расстояния от трека до анода ДТ, TE определяется самыми дальними от анода кластерами ионизации, расположенными вблизи стенок ДТ, и поэтому практически не зависит от места прохождения частицы. Однородность данной величины по всем каналам TRT детектора характеризует правильный учет временных задержек (t_0).

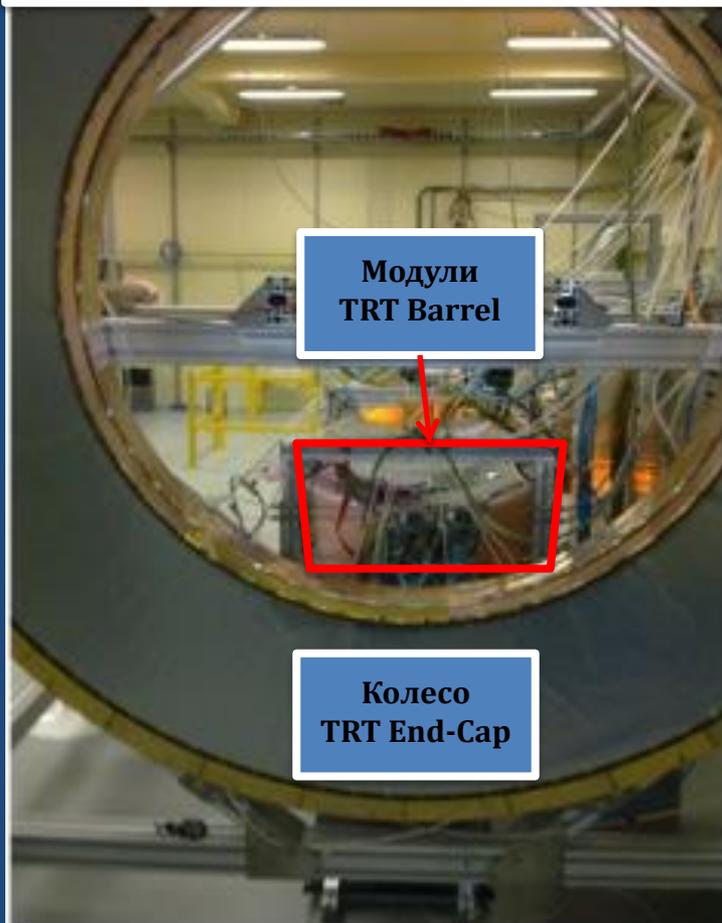
Просмотр гистограмм в браузере ROOT

Как упоминалось, каждый нарисованный элемент в режиме Color Map является закодированной в цвете величиной в соответствующем канале определенной ROOT гистограммы. Нажав на кнопку «Start Browser» в GUI, можно открыть стандартный браузер ROOT и с его помощью подробно рассмотреть гистограммы – как те, которые отображаются в Color Map, так и другие, чье представление в виде цветовой карты ненужно или невозможно.

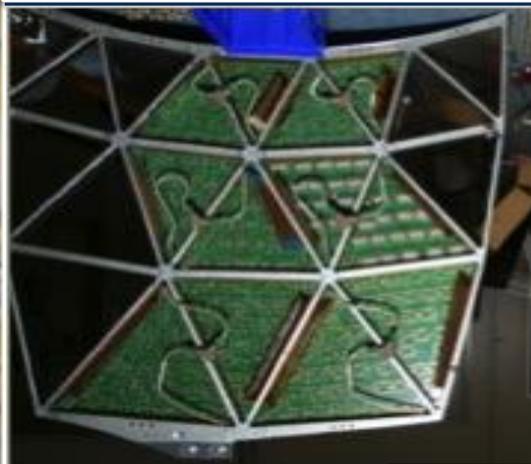


Инженерный прототип TRT

Установка для контроля/исследования TRT



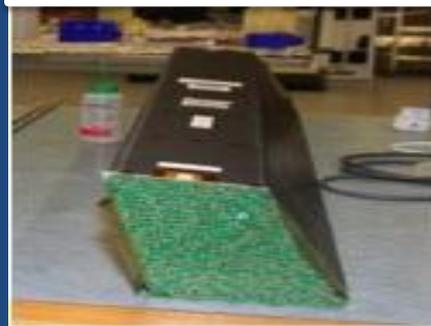
Модули TRT Barrel установка в каркас



Модули TRT Barrel подсоединены для считывания информации



Модуль TRT Barrel



В одной из наземных лабораторий ЦЕРН установлен т.н. инженерный прототип детектора TRT. Прототип состоит из двух баррельных секторов и одного торцевого колеса, полностью аутентичных элементам TRT в установке ATLAS. Прототип предназначен для проведения различных тестов с газовой и высоковольтной системами, изучения режимов работы электроники, а также для учебно-тренировочных целей.

Инженерный прототип TRT

Наружная
вентиляция TRT



Стойка HV системы

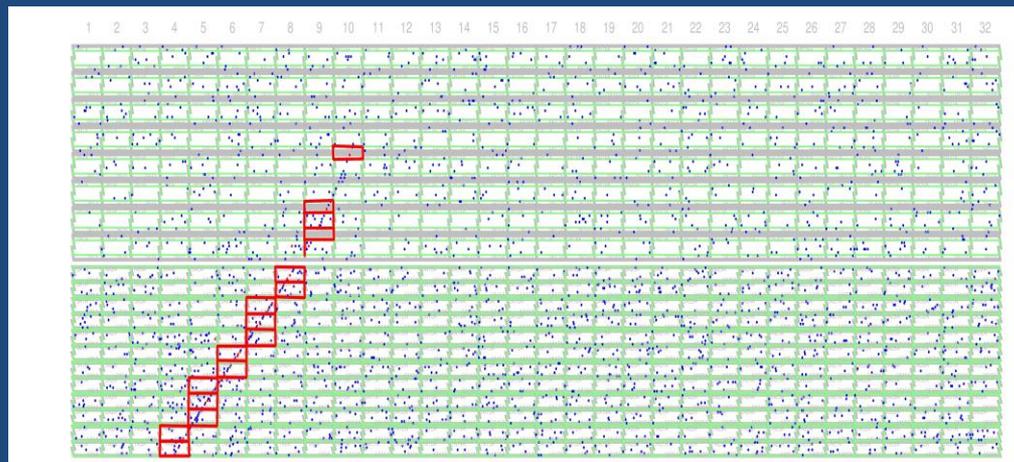
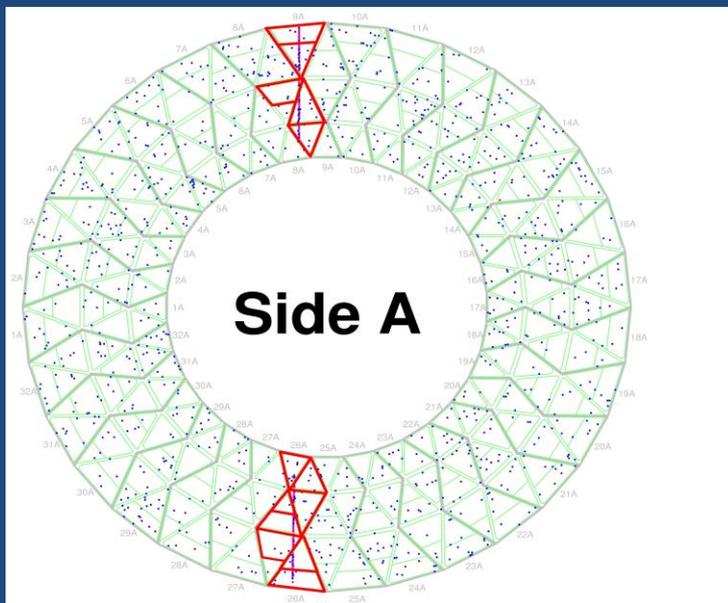
Стойка
активного газа

Стойка охлаждения
передней электроники

- К прототипу подключены газовая и высоковольтная системы, а также считывающая электроника (только для баррельных модулей). Это позволяет изучать работу TRT в условиях, приближенных к реальным.
- Используемая газовая смесь в инженерном прототипе – 70% Ar + 30% CO₂ (в ATLAS TRT – смесь на основе Xe); рабочее напряжение на анодах ДТ – 1480 В.
- В этой лабораторной работе используются данные, полученные на инженерном прототипе TRT – как «шумовые», так и с прохождением через детектор космических частиц.

Fast-OR триггер

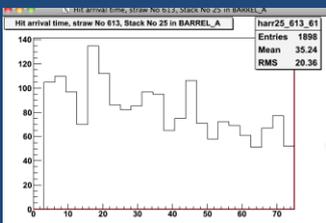
- Для регистрации события с частицами в TRT необходим триггерный сигнал, который в обычных условиях во время работы ATLAS TRT на коллайдере выдается специальной триггерной системой всей установки ATLAS.
- Когда это невозможно – во время простоя ATLAS TRT в перерывах между сеансами работы ускорителя, а также для инженерного прототипа TRT – триггер на проходящую частицу (как правило это – космический мюон) вырабатывается специальным образом электроникой самого TRT – FastOR триггер.
- Логика FastOR триггера основана на разбиении TRT на некоторые геометрические области (информация с которых считывается одной платой электроники), лежащие приблизительно на одной прямой. Одновременный сигнал с таких плат говорит о высокой вероятности прохождения частицы через TRT и служит триггером для считывания информации с детектора.
- В лабораторной работе используются данные о прохождении космических мюонов через баррельные модули инженерного прототипа, полученные с помощью Fast-OR триггера.



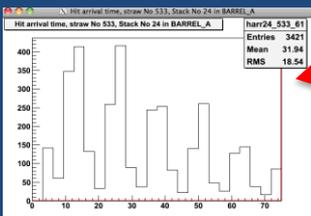
Анализ данных с шумами

В режиме цветовой карты двойной щелчок на ДТ в ZOOM окне открывает гистограмму времени прихода сигнала

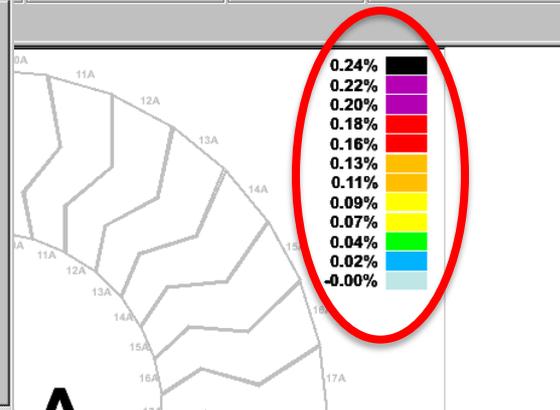
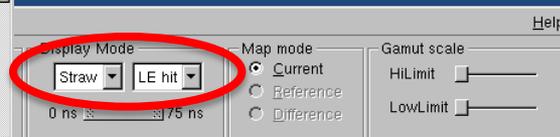
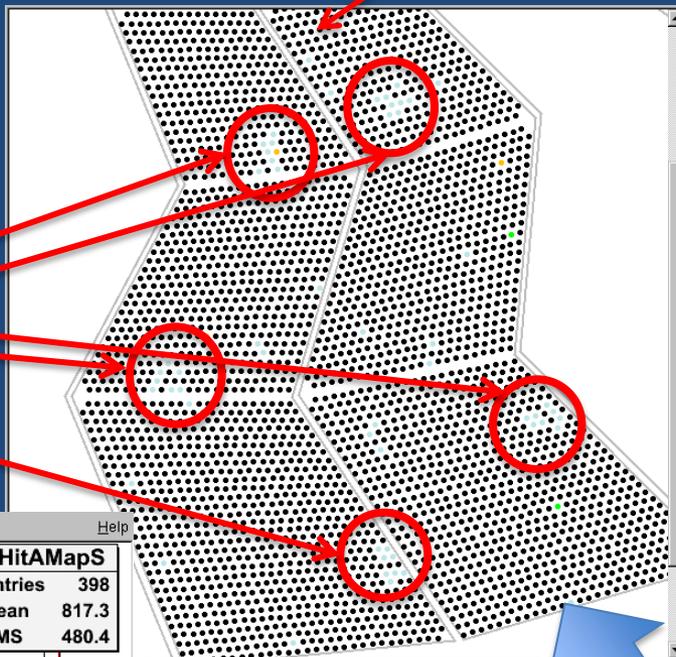
Случайные по времени шумы



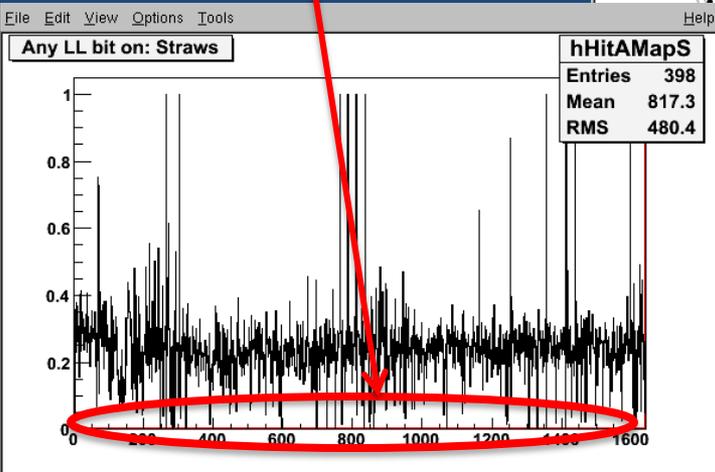
Шумы, коррелированные во времени



«Мертвые» каналы – проблемы с электроникой или высоким напряжением ?

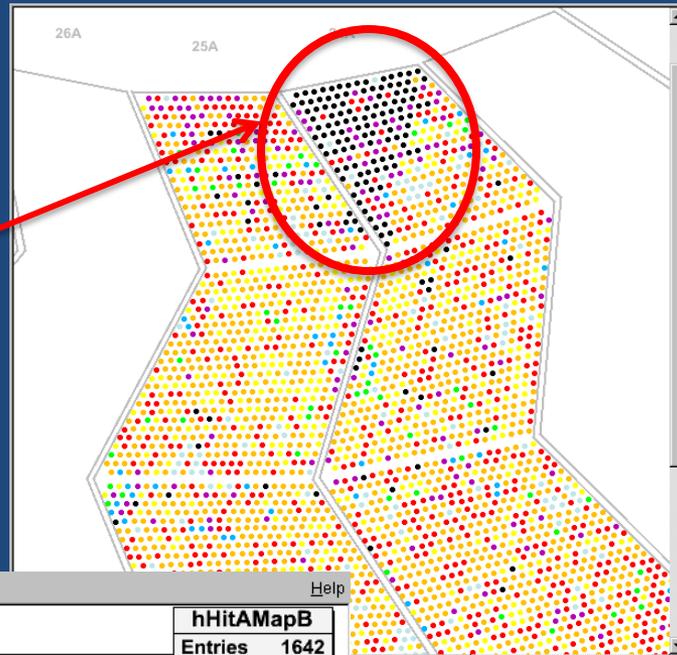


Двойной щелчок мышью в основном окне открывает ZOOM вид

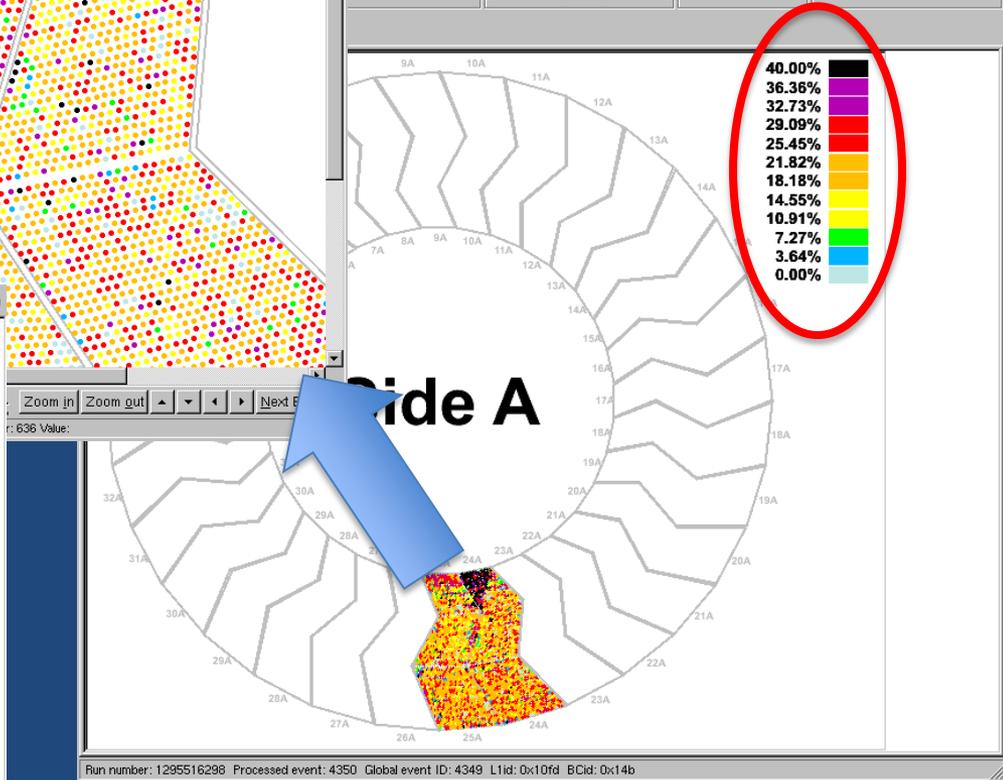
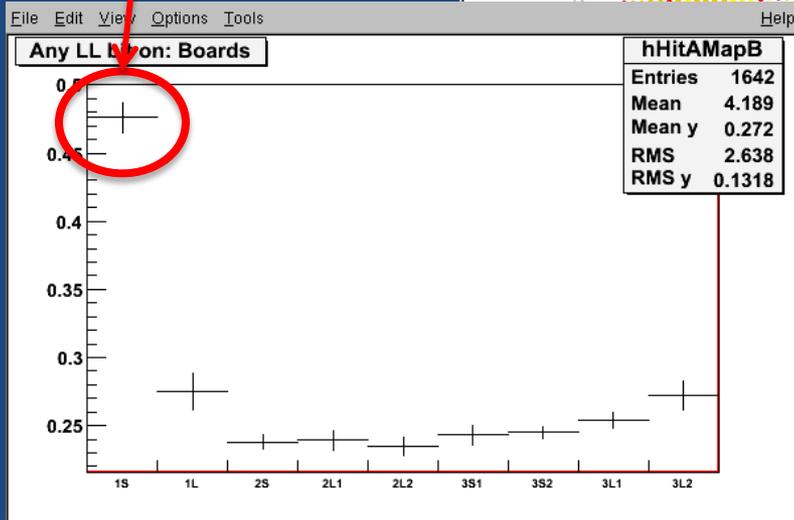
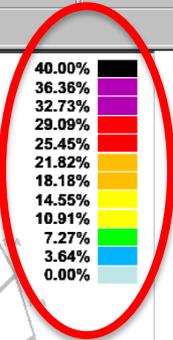


Анализ данных с шумами

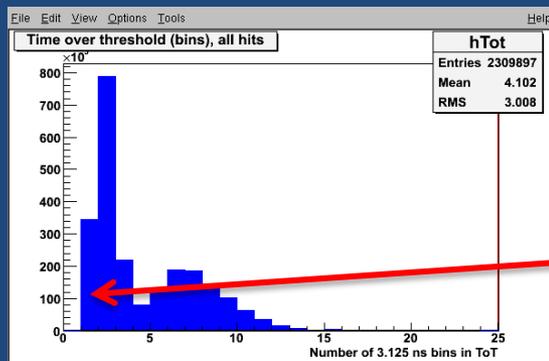
Повышенный уровень шумов на плате – проблемы с порогом ?



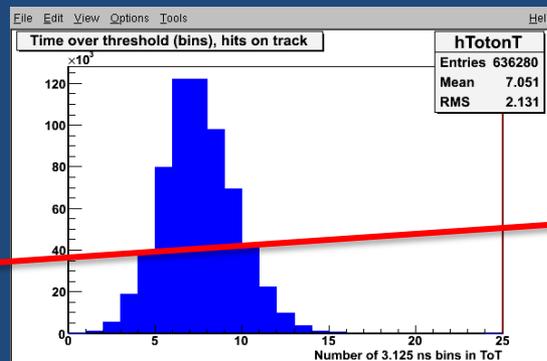
Control panel for TRTViewer showing 'Display mode' set to 'Straw' and 'LE hit', and 'Map mode' set to 'Current'.



Анализ данных с частицами

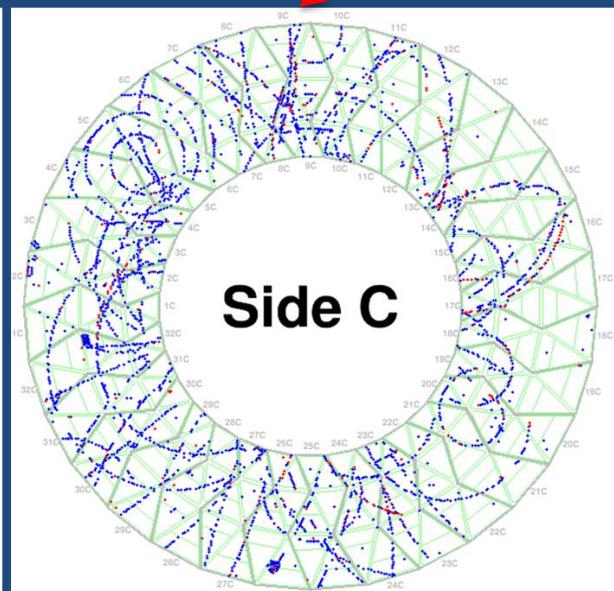
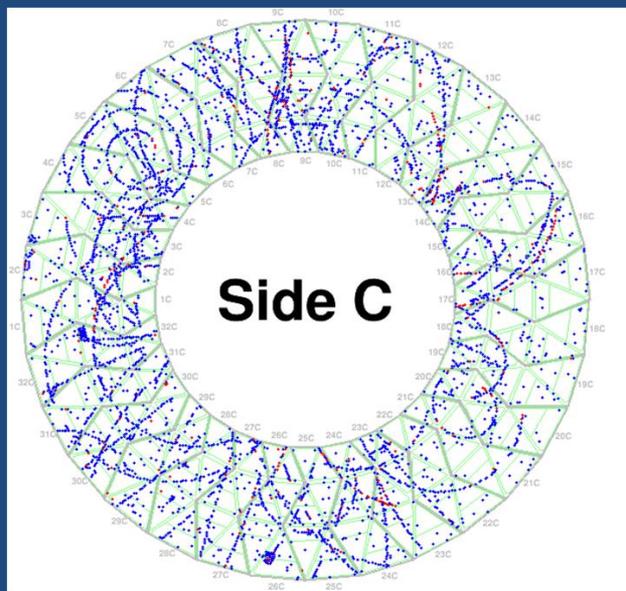


ТоТ всех сигналов



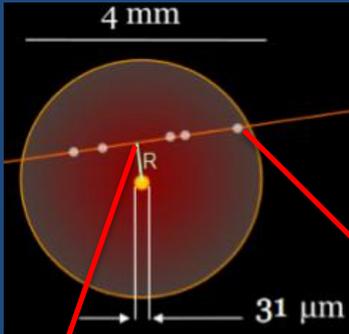
ТоТ сигналов на треке

Существенное различие по длительности (ToT) шумового сигнала с ДТ и сигнала с трека частицы: шумы обычно очень коротки (1-2 бина). Это дает один из способов подавления шумов.



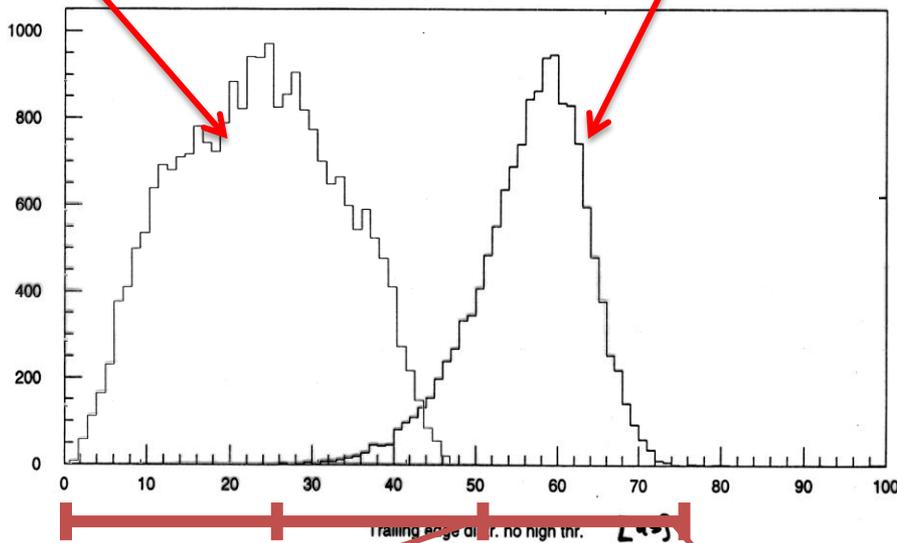
Одно и то же событие в баррельной части TRT: слева нарисованы все сработавшие ДТ, справа – только те, у которых длительность сигнала (ToT) превысило 2 бина по 3.125 нс.

Анализ данных с частицами



Другое различие шумового и трекового сигналов: времена LE и TE привязаны к моменту (а LE – еще и к месту) прохождения частицы, шумовые сигналы приходят в случайное время. В TRTViewer можно задавать validity gate – временной интервал прихода LE от частицы, отсекая таким образом часть шумов.

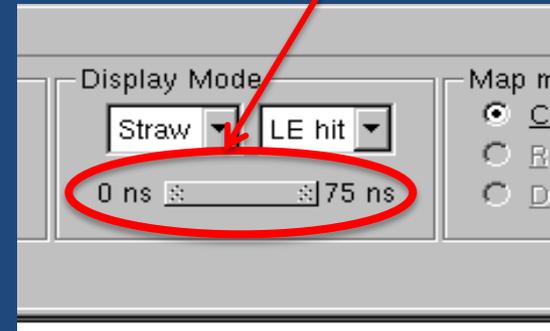
Leading edge (LE) distribution Trailing edge (TE) distribution



25 ns 25 ns 25 ns



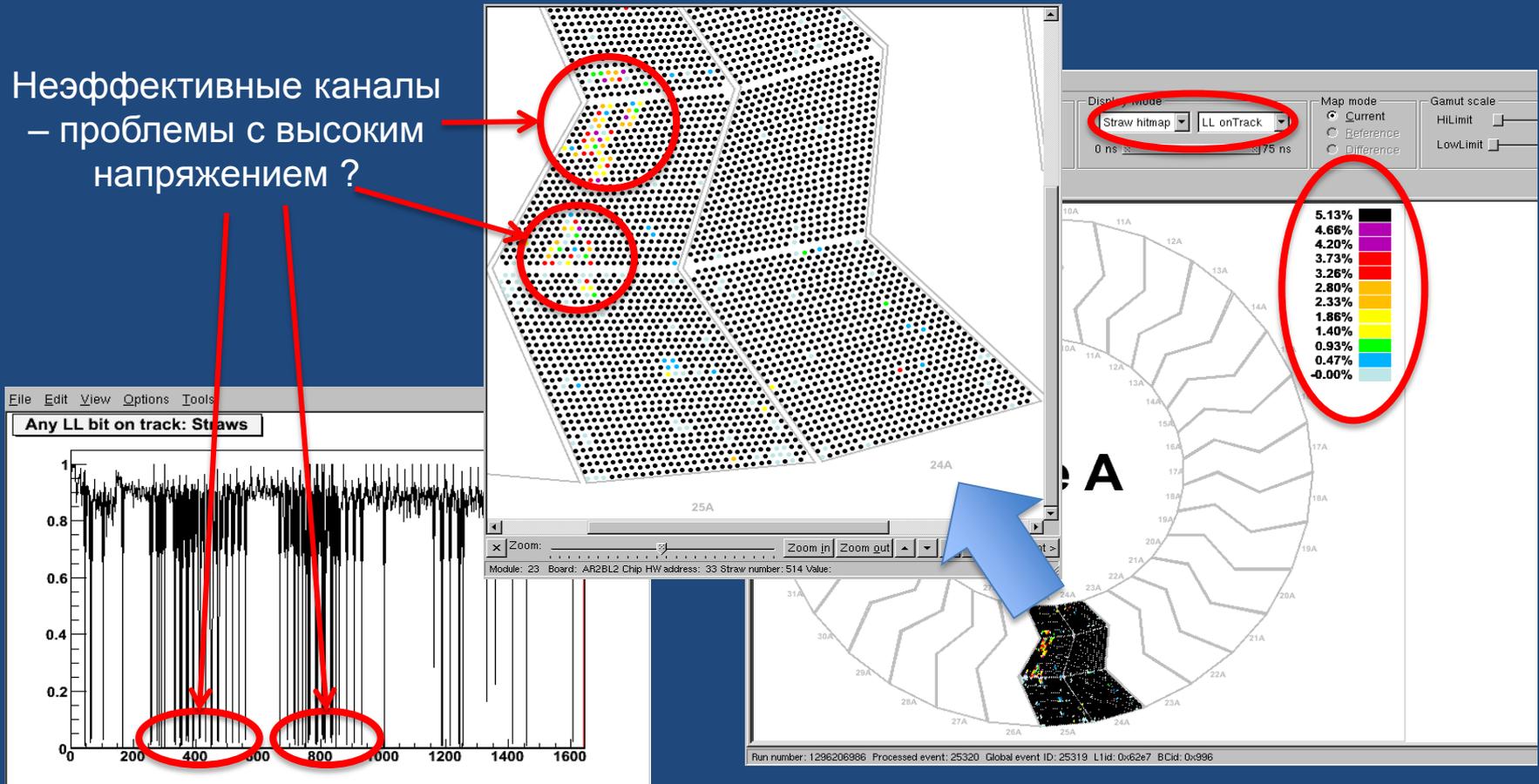
Эти же ворота можно использовать для отбраковки сигналов от соседних по времени ВХ (столкновений сгустков частиц в коллайдере)



Анализ данных с частицами

Проходящая через ДТ частица, как правило, должна давать сигнал. Если для каждой ДТ отобразить N событий, когда через нее прошла частица, и среди них было M событий с сигналом, то $\epsilon = M/N$ дает эффективность канала. Если сам по себе канал не «мертвый» (т.е. имеет ненулевую вероятность шумов), то сильное отличие от ϵ от 1 может говорить о проблемах с высоким напряжением. Нулевая эффективность (опять же, если сам канал не «мертвый») может свидетельствовать о проблеме с мэппингом каналов (т.е. соответствием нумерации каналов и их географическими координатами).

Неэффективные каналы
– проблемы с высоким
напряжением ?



Выполнение лабораторной работы

- Для закрепления приведенного материала необходимо выполнить ряд заданий и ответить на вопросы.
- Лабораторная работа выполняется на компьютерах под управлением ОС Linux, на которых установлены TRViewer и другие необходимые программы. Здесь же содержатся файлы с экспериментальными данными, предназначенные для обработки.
- Во время выполнения работы слушатель запускает TRTViewer и на практике изучает функциональность программы. В работе используются данные по шумам, а также данные с треками космических частиц с инженерного прототипа TRT.
- Полное описание процедуры выполнения работы, задания и контрольные вопросы к ней собраны в отдельном документе – методических указаниях по выполнению работы.