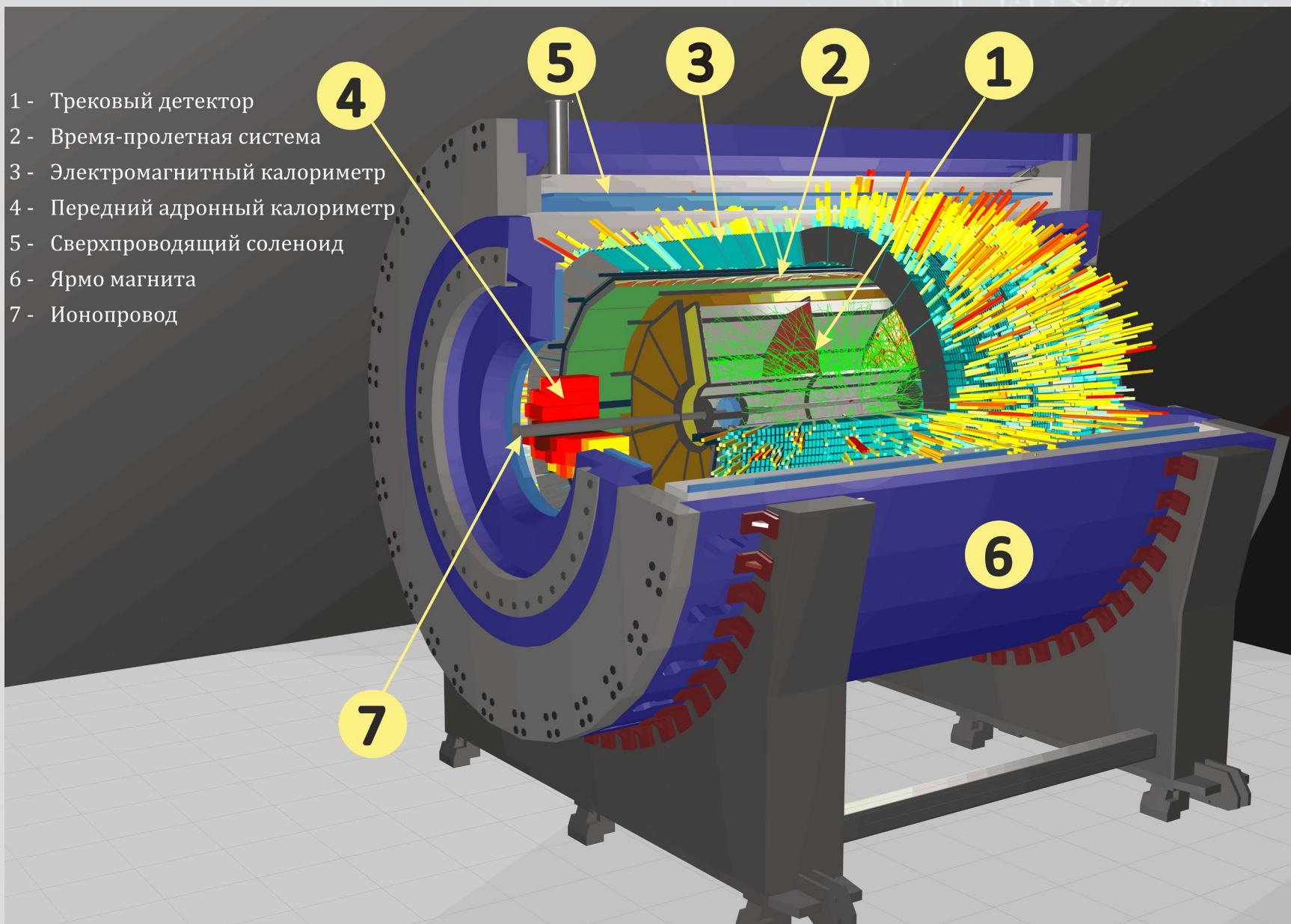
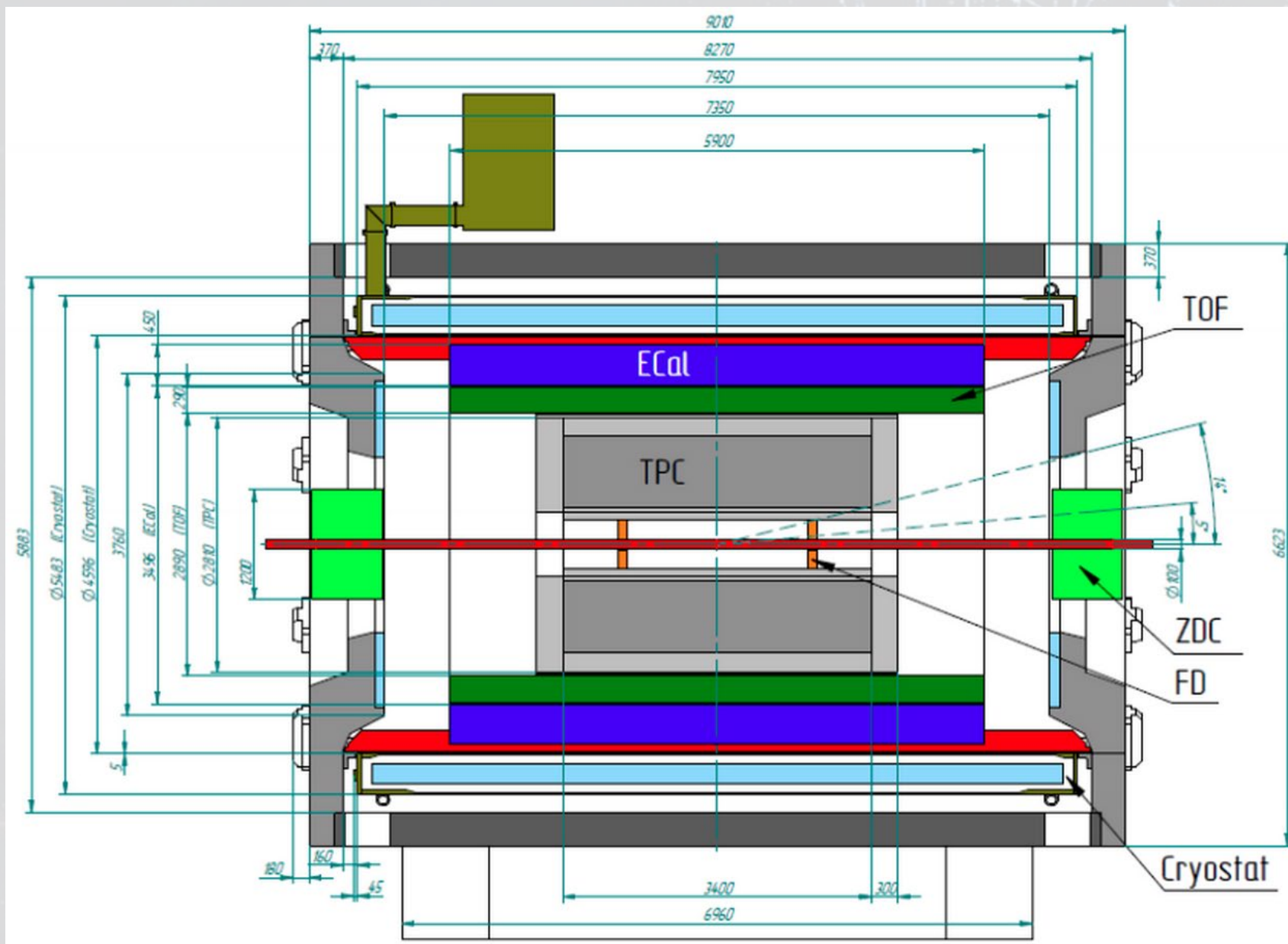


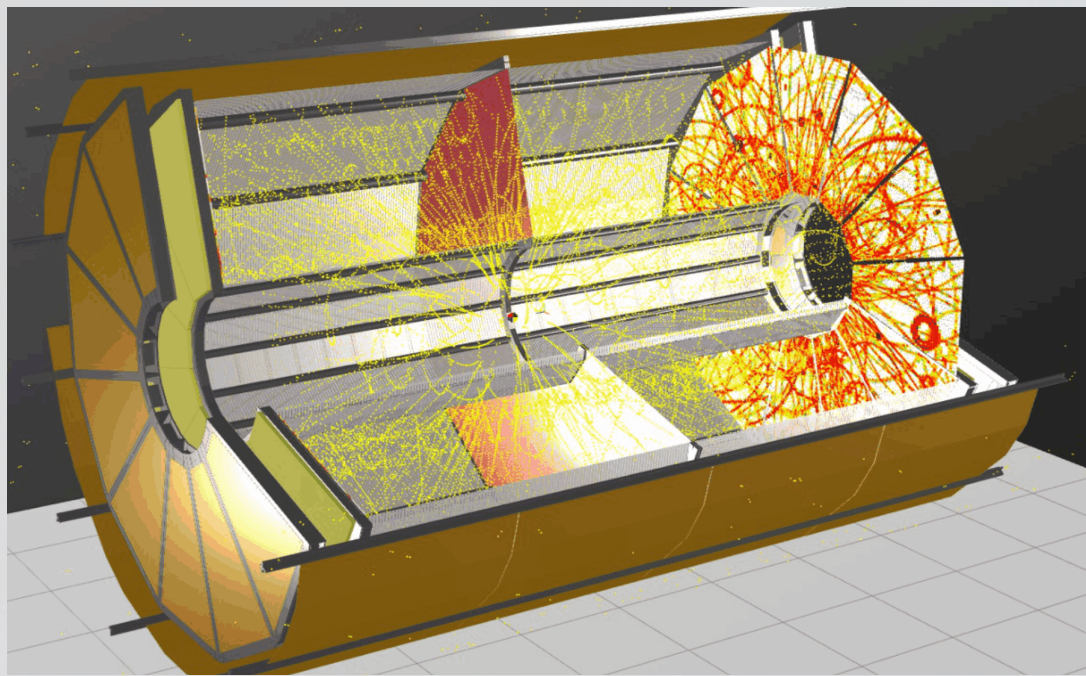
Сравнительный анализ подходов к идентификации частиц в эксперименте MPD





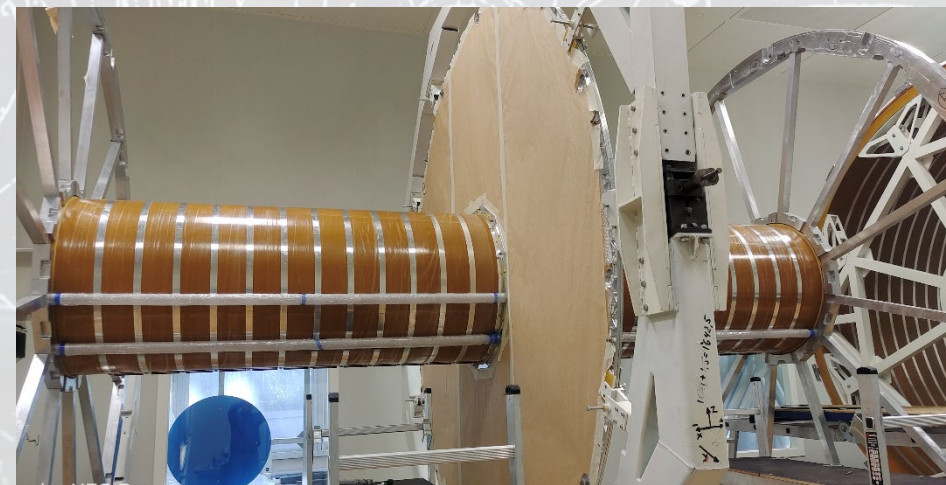
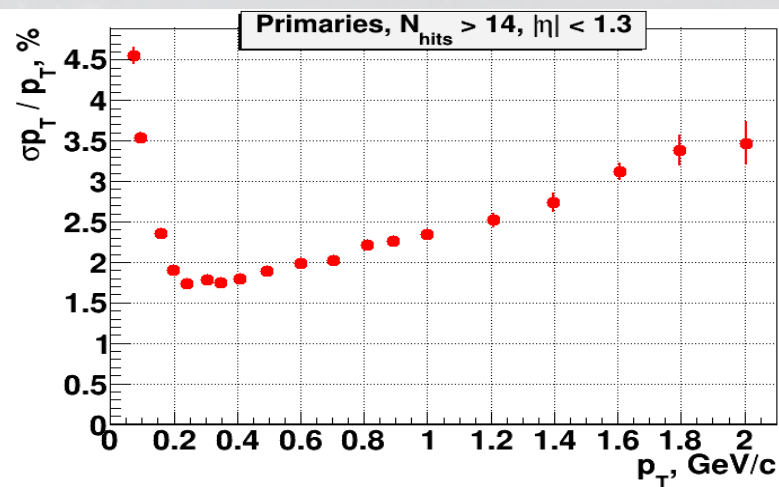


TPC предназначена для трекинга, определения импульса частиц и идентификации по dE/dx

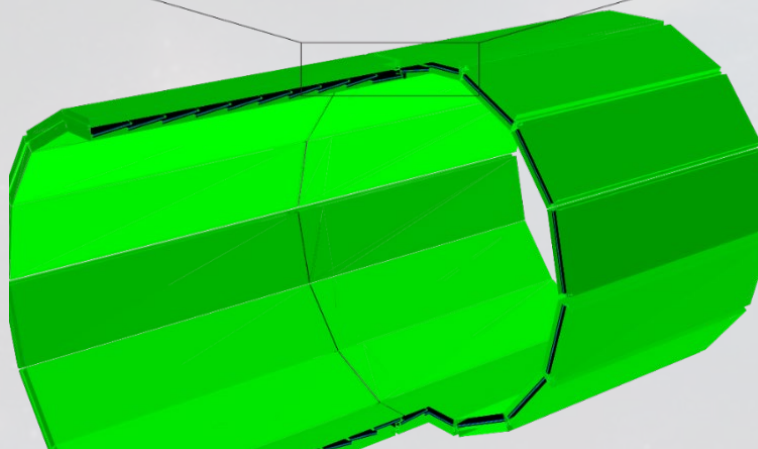
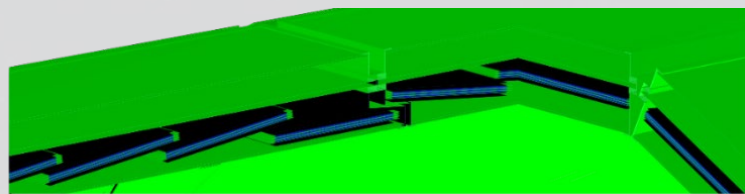


Характеристики

Длина:	340 см
Диаметр:	266 см
Рабочий газ:	Ar+CH ₄ (90/10)
Напряженность поля:	140 В/см
Число считывающих пэдов:	95232
Координатное разрешение:	$\sigma_{r\phi} \sim 300$ мкм, $\sigma_z \sim 2$ мм
Импульсное разрешение:	$dp/p < 3\%$
Разрешение dE/dx :	$< 8\%$
Загрузочная способность:	до 7 kHz

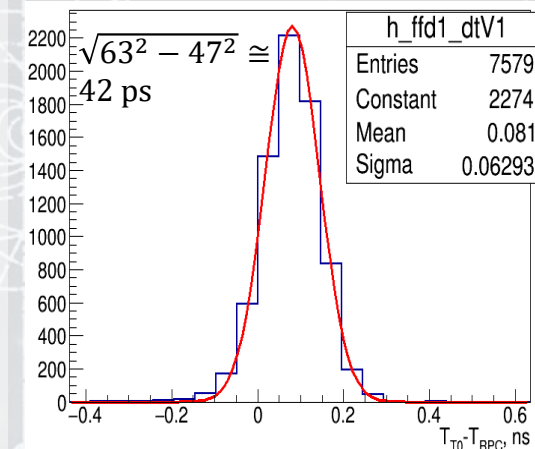


TOF предназначена для идентификации заряженных частиц по их времени пролета

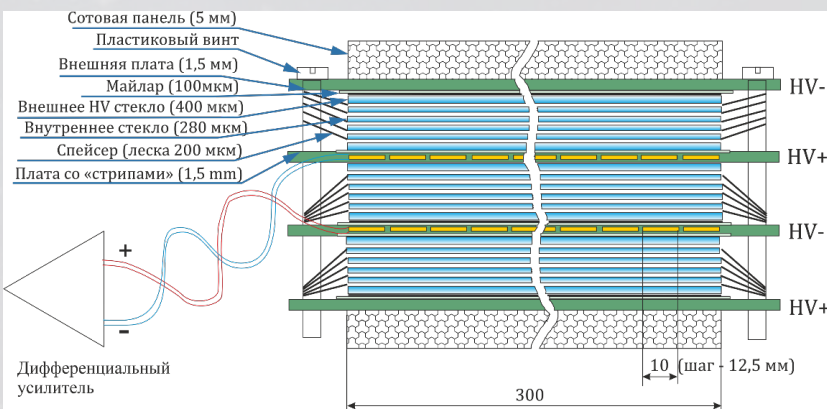


Характеристики

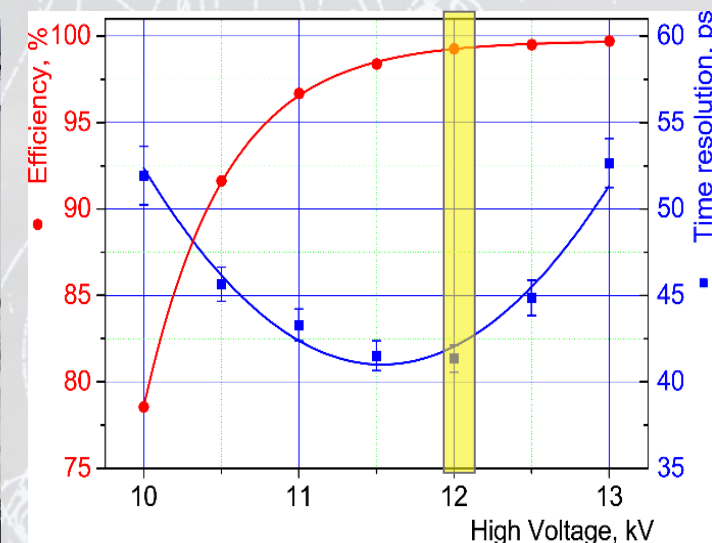
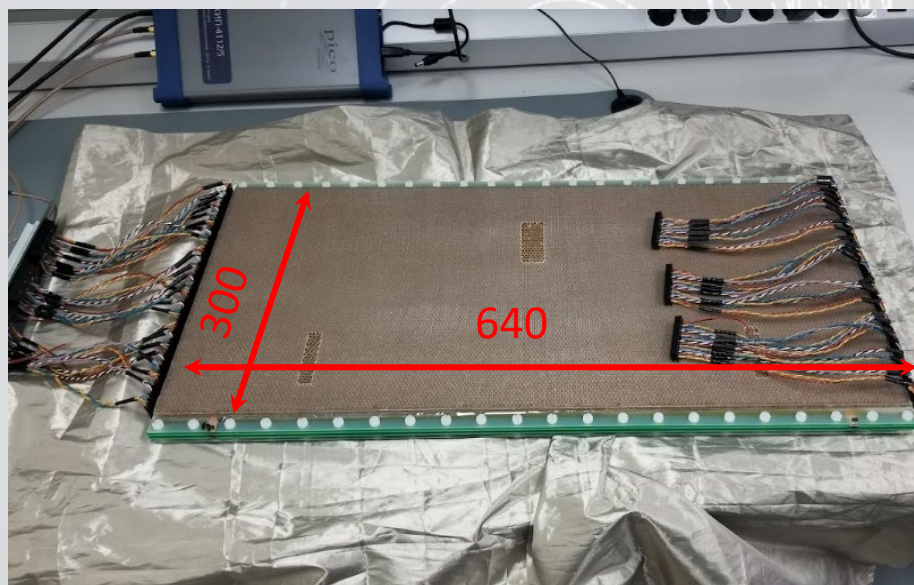
Длина: 590 см
 Диаметр: 300 см
 Число детекторов МРПК: 280
 Число стрипов: 6720 (13440 электроники)
 Рабочий газ: $C_2H_2F_4/iC_4H_{10}/SF_6(90/5/5)$
 Временное разрешение: ~ 50 пс
 Эффективность регистрации: 99%
 Координатное разрешение: $\sigma_{x,y} \sim 5$ мм
 Загрузочная способность: до 3 кГц



Наилучшее временное разрешение



Многоззорная резистивная плоскопараллельная камера



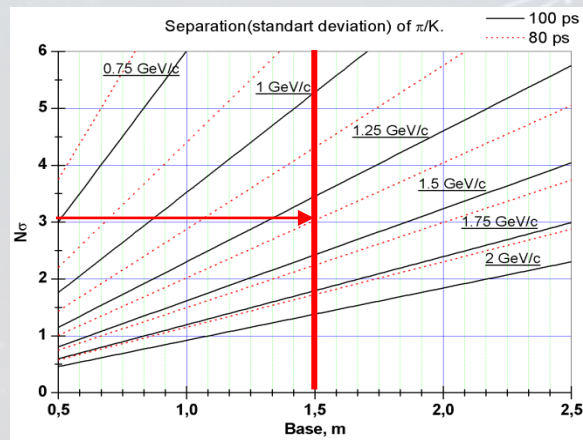
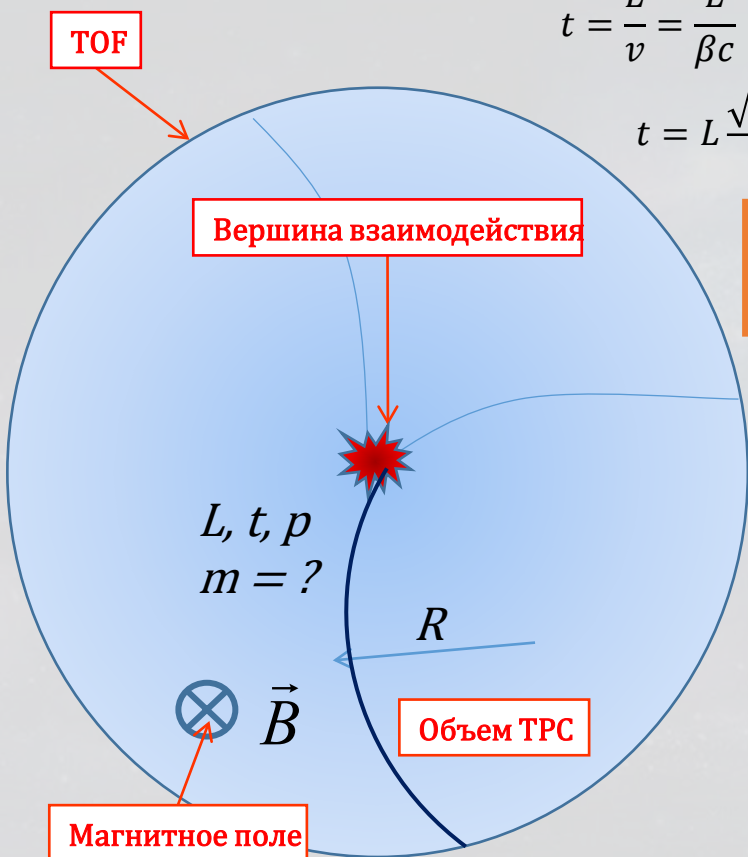
Временное разрешение МРПК от напряжения

Времяпролетная идентификация

$$t = \frac{L}{v} = \frac{L}{\beta c} = \frac{LE}{pc^2}; \quad E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$$

$$t = L \frac{\sqrt{p^2 c^2 + (m_0 c^2)^2}}{pc^2} = \frac{L}{c} \sqrt{1 + \frac{m_0^2 c^2}{p^2}}$$

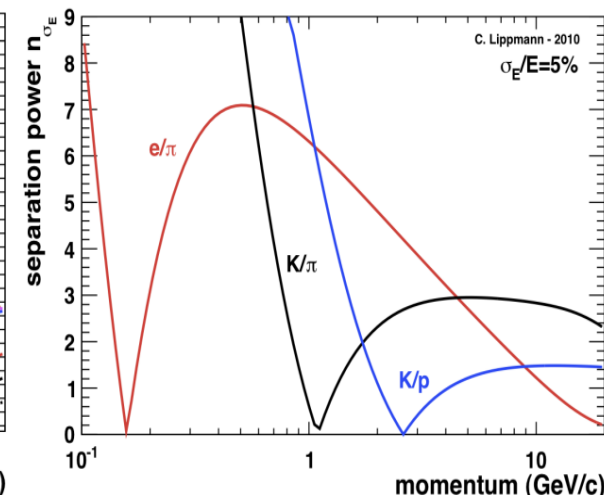
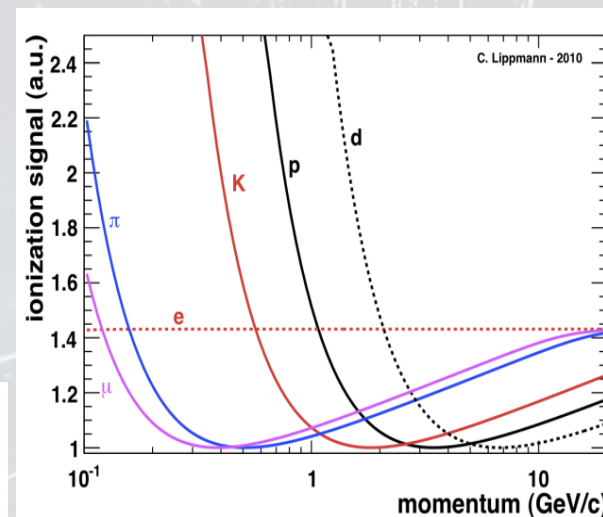
$$m^2 = \frac{p^2}{c^2} \left[\frac{t^2 c^2}{L^2} - 1 \right]$$



Эффективность разделения частиц:

$$N_\sigma = \frac{\Delta t}{\sigma_{TOF}} = \frac{L}{c \sigma_{TOF}} \left(\sqrt{1 + \frac{m_1^2 c^2}{p^2}} - \sqrt{1 + \frac{m_2^2 c^2}{p^2}} \right)$$

Идентификация по потерям энергии dE/dx



Формула Бете-Блоха для ионизационных потерь:

$$\left\langle -\frac{dE}{dx} \right\rangle = K Z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 W_{max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta \gamma)}{2} \right]$$

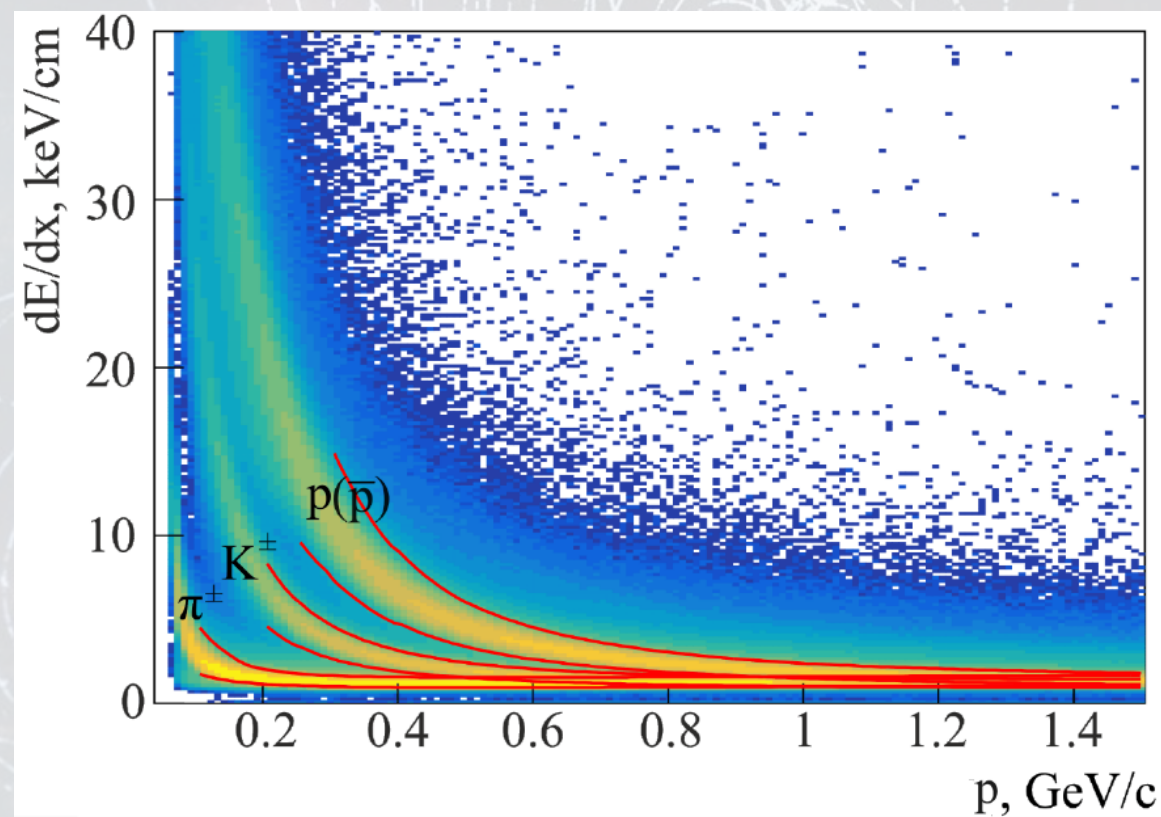
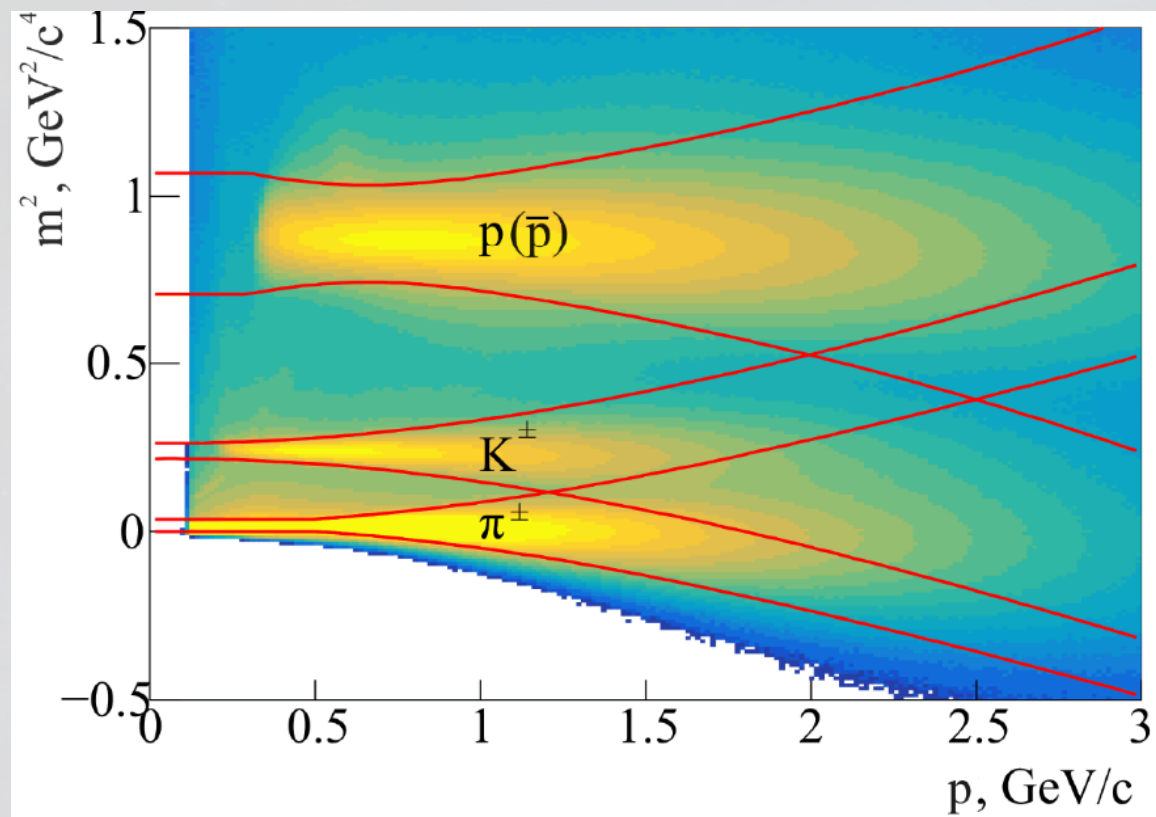
$$K = \frac{2\pi N_A e^4}{mc^2}$$

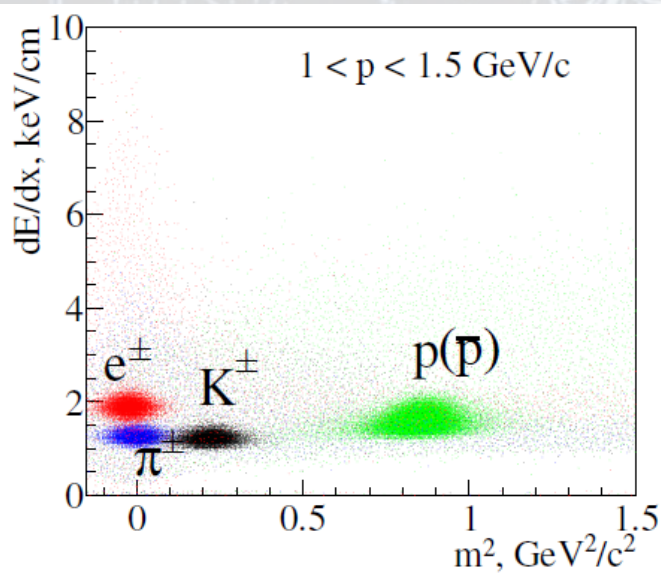
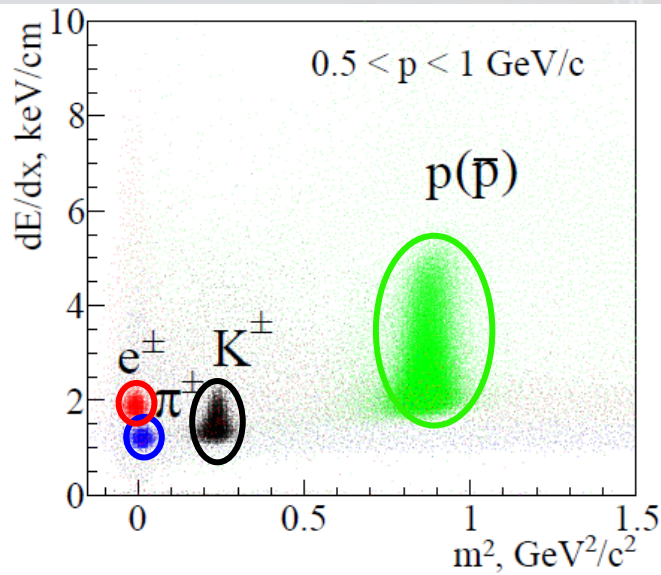
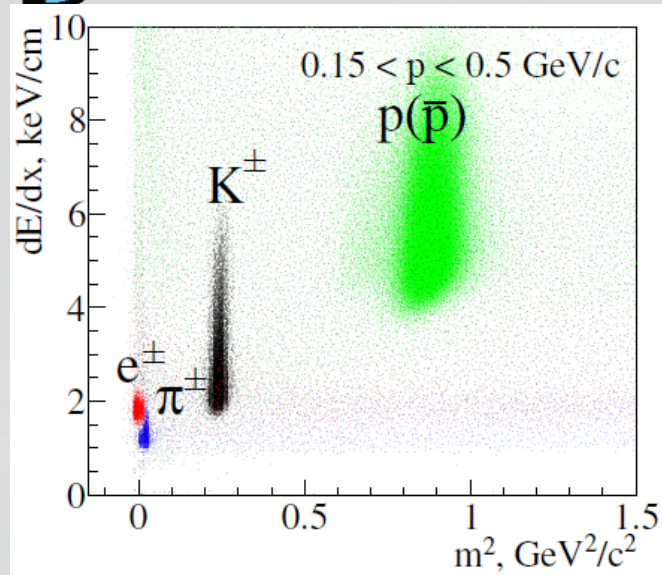
$$\varepsilon_i = \frac{N_{i \text{ identified as } i}}{N_{i \text{ true}}} - \text{эффективность идентификации частицы } i$$

$$c_{ij} = \frac{N_{j \text{ identified as } i}}{N_{i \text{ measured}}}, i \neq j - \text{«засорение» спектра частиц } i \text{ частицами } j.$$

$3 \cdot 10^5$ minimum bias Au-Au событий LAQGSN, $\sqrt{s_{NN}} = 11.5$ ГэВ

На гистограммах красными линиями выделены области 3σ для каждой частицы

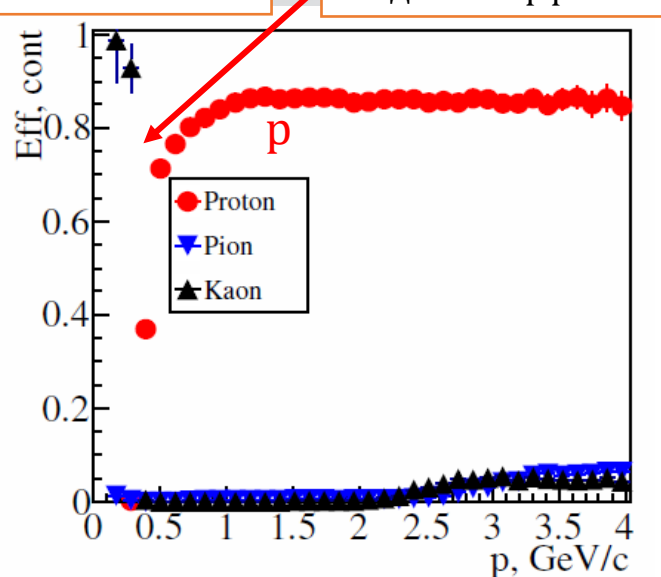
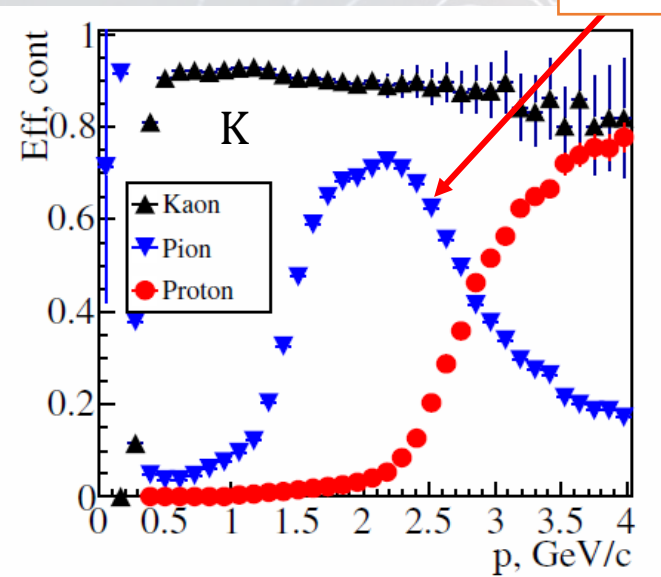
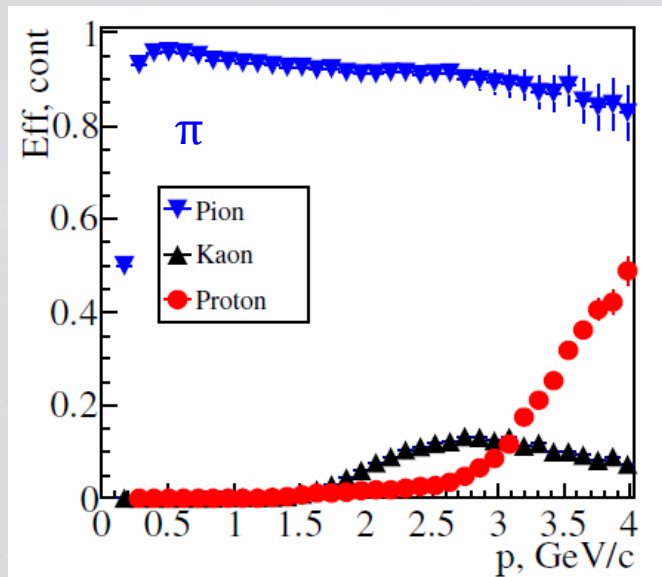


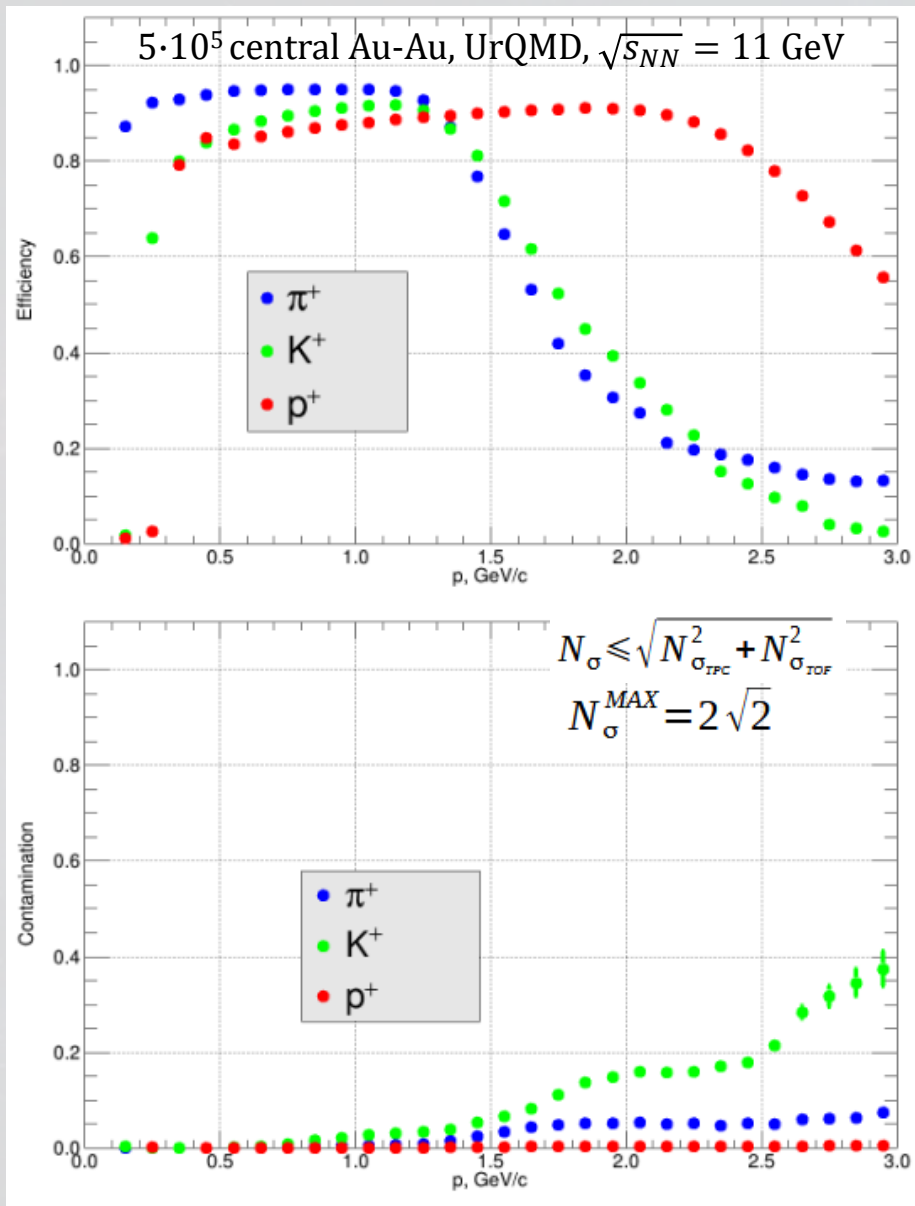


3σ TOF & 3σ TPC

Низкая чистота PID

Падение эффективности





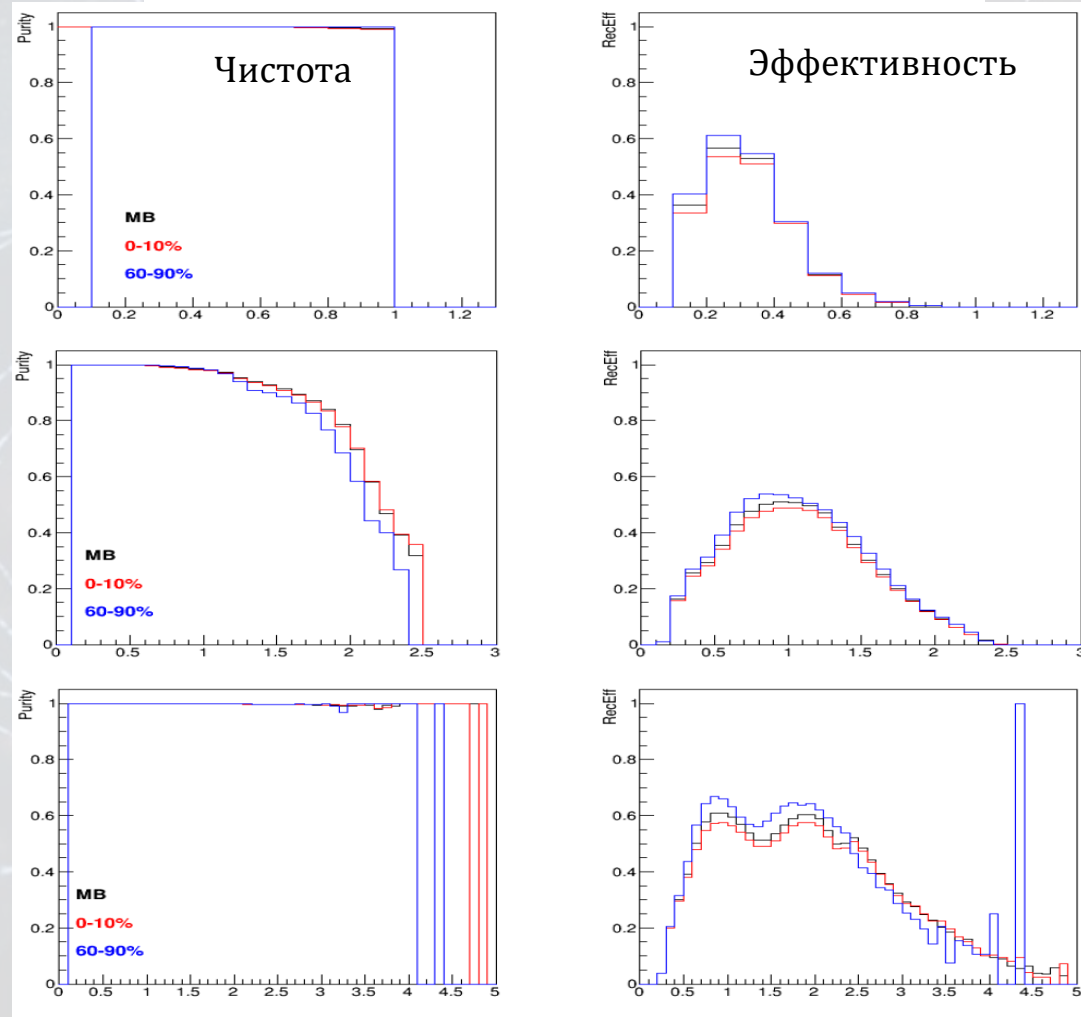
- ✓ TOF 2 σ -PID selection for a given specie ($\pi/K/p$)
- ✓ TPC 2 σ -PID selection for a given specie ($\pi/K/p$)
- ✓ TOF 3 σ -veto-PID for other species (for π - $e/K/p$ veto, for K - $e/\pi/p$ veto, for p - $e/\pi/K$ veto)

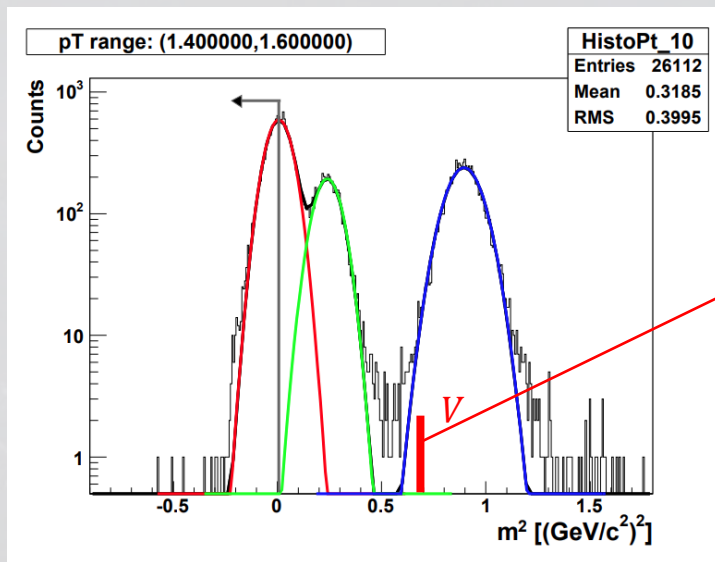
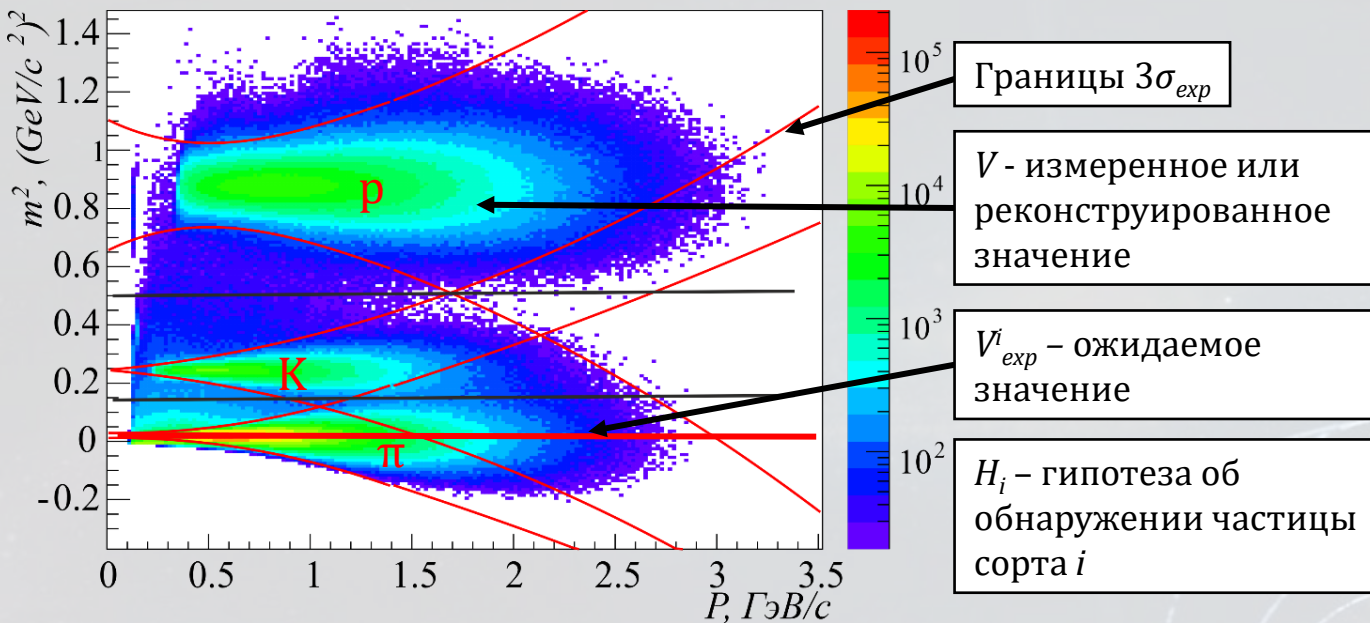
5·10⁶ MB Bi-Bi, UrQMD, $\sqrt{s_{NN}} = 9.2$ GeV

π

K

p





$$n_{\sigma_{ToF}^i} = \frac{V_{ToF} - \widehat{V}_{exp}(H_i)_{ToF}}{\sigma_{ToF}^i}$$

- отклонение в n_σ измеренного значения V_{ToF} от ожидаемого V_{exp} для частицы i

$$P(V|H_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}n_\sigma^2} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(V - \widehat{V}(H_i))^2}{2\sigma^2}}$$

- условная вероятность того, что если через детектор прошла частица i , то при измерении будет получено значение V_{ToF}

«Приор»

$$P(H_i|V) = \frac{P(V|H_i)C(H_i)}{\sum_{k=\pi,K,p,e,\dots} P(V|H_k)C(H_k)}$$

Уравнение Байеса

- условная вероятность того, что если детектором была измерена величина V , то через детектор прошла частица i

$C_1(H_i) = 1$ - для первой итерации все приоры равны 1

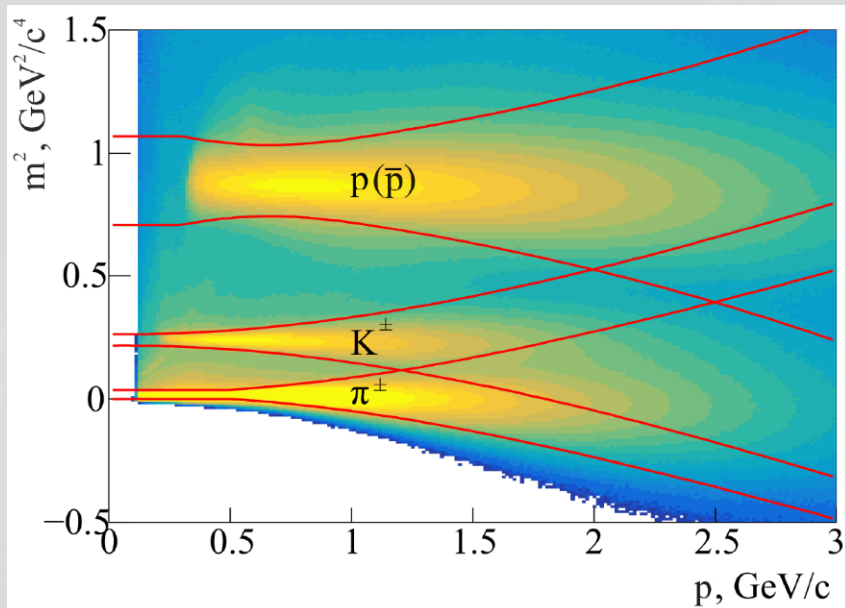
$$Y(H_i, p) = \sum_{V=TOF,TPC,\dots} P_n(H_i|V) = C_{n+1}(H_i)$$

- полученные в первой и последующих итерациях функции (импульсные спектры) выходов для каждой частицы на следующей итерации становятся приорами

Выбирая порог вероятности $P(H_i|V)$, выполняется отбор частиц по сорту.

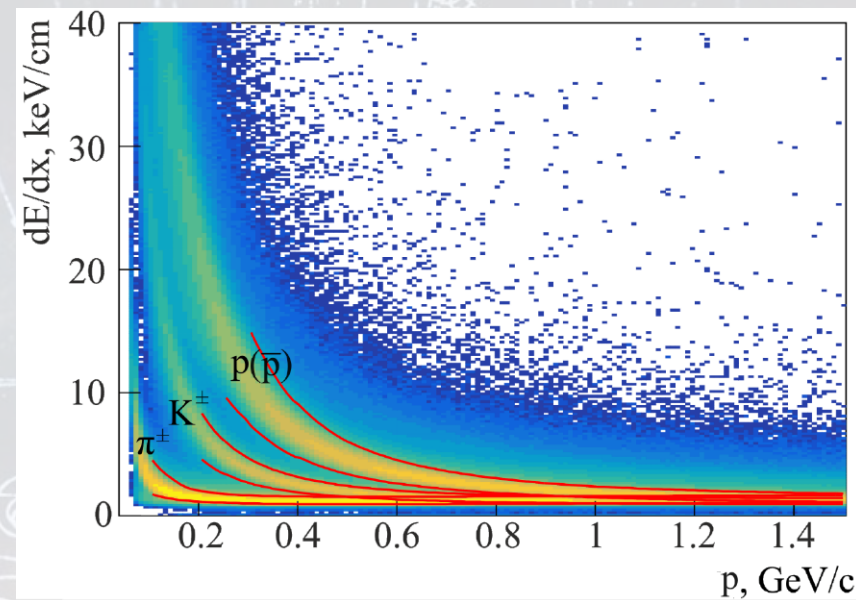
Применение байесовского подхода в MPDRoot

Аналитическая параметризация условной вероятности $P(V|H_i)$ для TOF и TPC



Гаусс

$$P(V_{TOF}|H_i) = A \cdot e^{-\frac{(V - \hat{V}(H_i))^2}{2\sigma^2}}$$

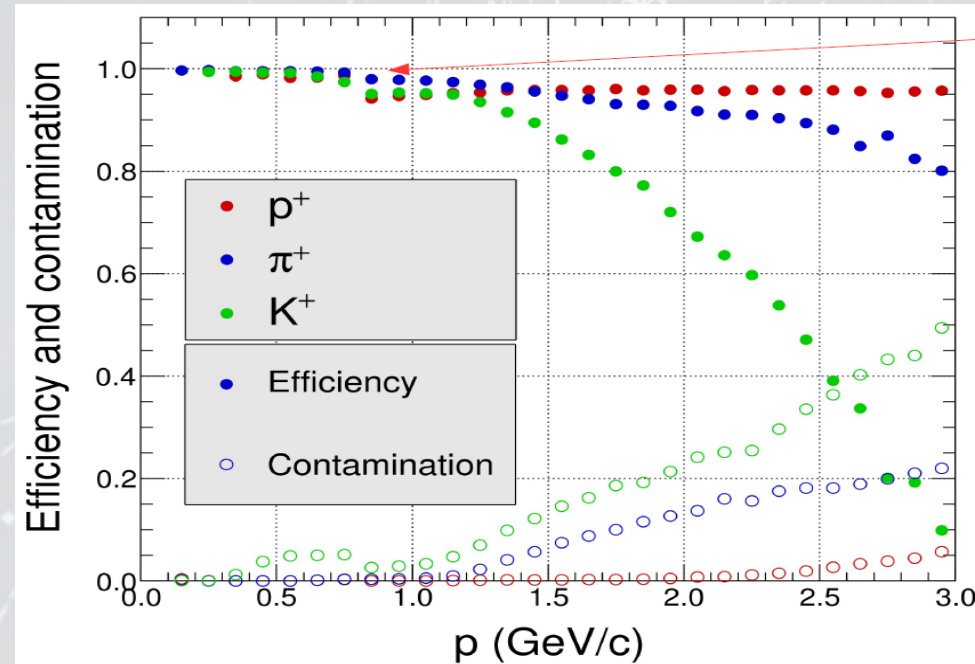
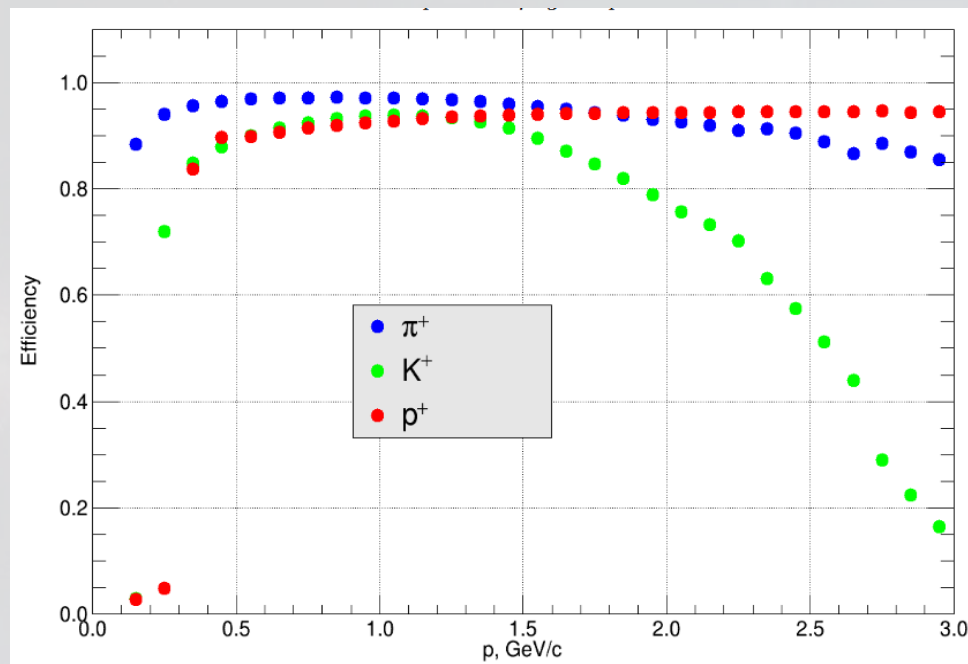


Ассиметричный Гаусс

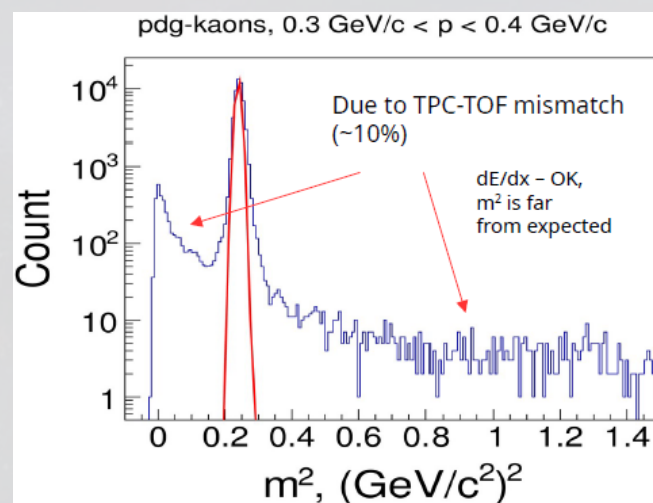
$$P(V_{TPC}|H_i) = A \cdot e^{-\frac{(V - \hat{V}(H_i))^2}{2\sigma^2}} \quad V < \hat{V}(H_i)$$

$$P(V_{TPC}|H_i) = A \cdot e^{-\frac{(V - \hat{V}(H_i))^2}{2(\sigma \cdot (1 + \delta))^2}} \quad V \geq \hat{V}(H_i)$$

$$P(V|H_i) \sim e^{-\frac{(m^2 - \hat{m}^2(H_i))^2}{2\sigma_{TOF}^2}} \cdot e^{-\frac{\left(\frac{dE}{dx} - \frac{\hat{dE}}{dx}(H_i)\right)^2}{2(\sigma_{TPC} \cdot (1 + \delta))^2}}$$



Порог 0.8 GeV/c



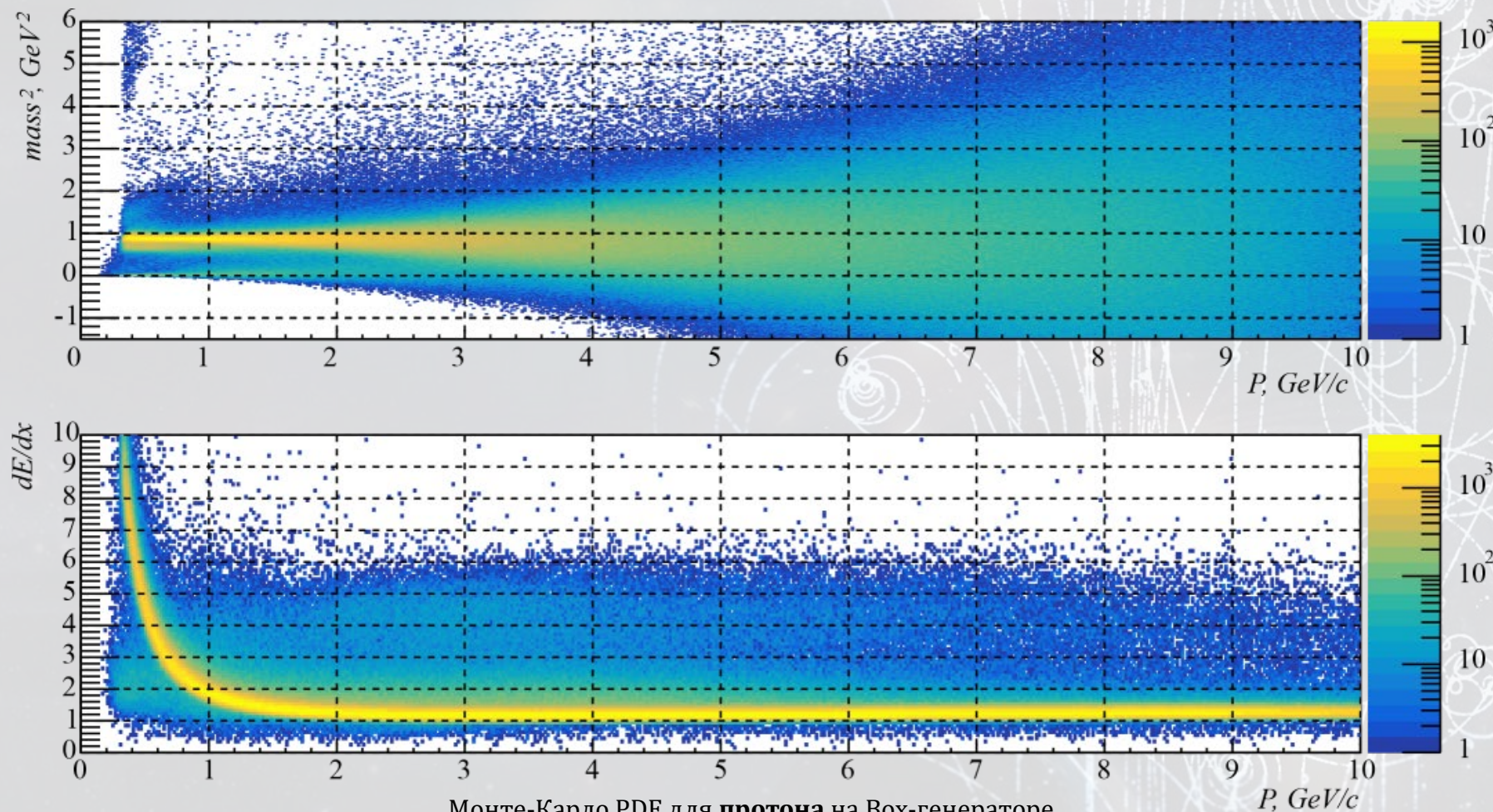
TPC-TOF mismatch:

TPC tracks and TOF hits can be mismatched. This effect is significant in low momenta. Typical example of TPC-TOF mismatch is shown on the left. PDG-kaon m^2 value has been incorrectly reconstructed for ~10% of tracks with $0.3 < p < 0.4$ GeV/c. The fraction of the mismatched tracks decreases to ~2% in high momenta region.

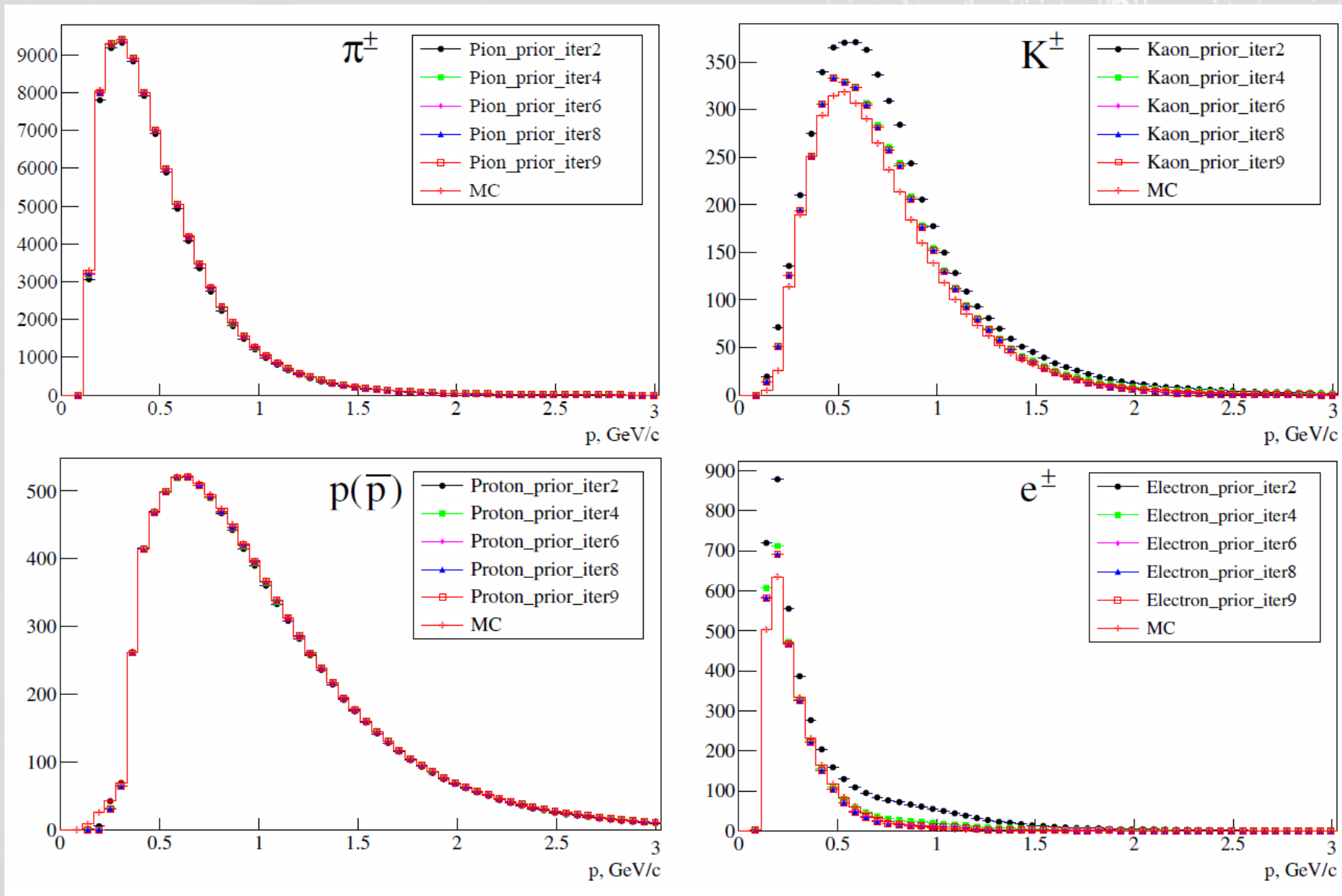
How to deal with mismatches?

The suggestion is to ignore the TOF information and identify them by dE/dx value, but only for low momenta particles ($p < 0.8$ GeV/c).

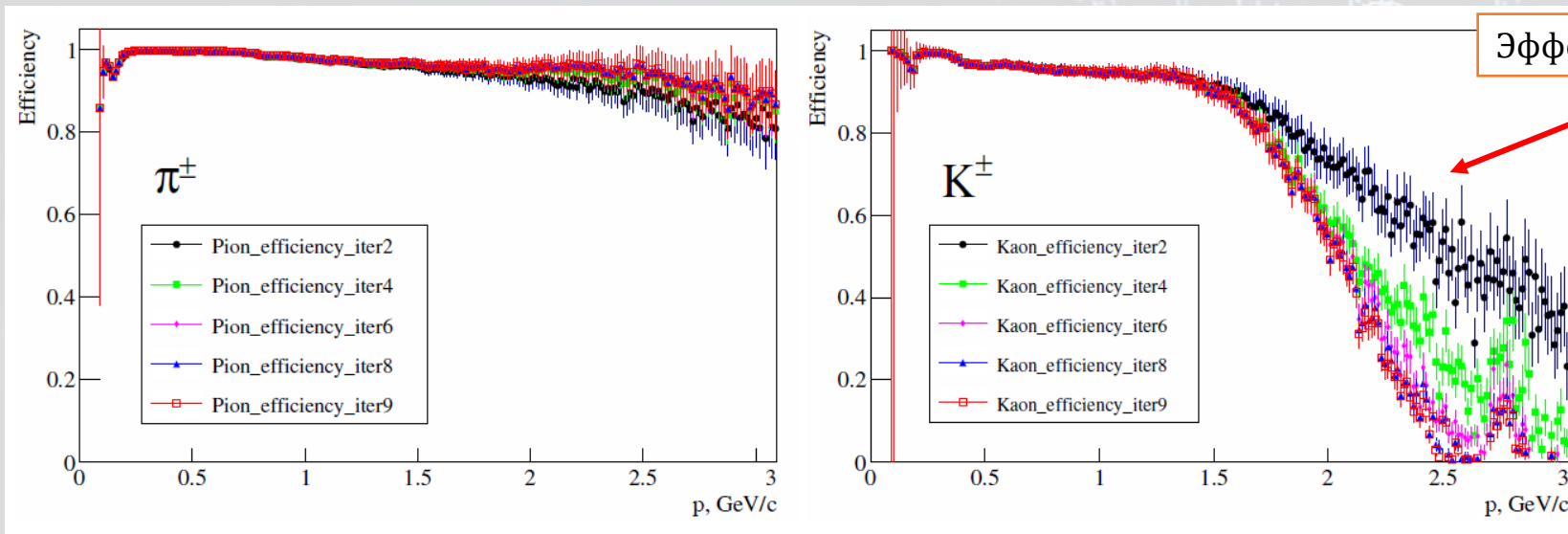
Вместо параметризации условной вероятности $P(V|H_i)$ были сгенерированы на генераторе VOX (равномерное случайное распределение частиц по импульсу и направлению в 4π) 3х-мерные матрицы (заданные посредством класса TH3D) квадрата массы m^2 (ГэВ²/с⁴), импульса P (ГэВ/с) и удельных потерь энергии dE/dx (КэВ/см), которые можно считать функциями плотности вероятности (PDF) для каждой идентифицируемой частицы.



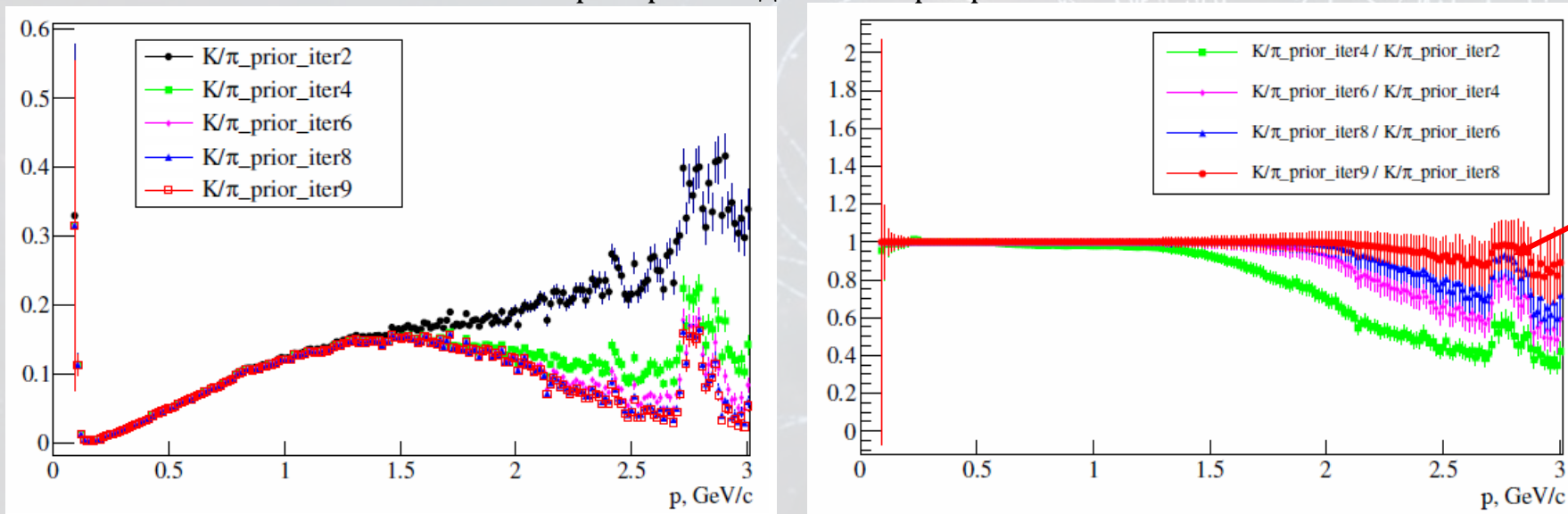
Монте-Карло PDF для **протона** на Vox-генераторе.



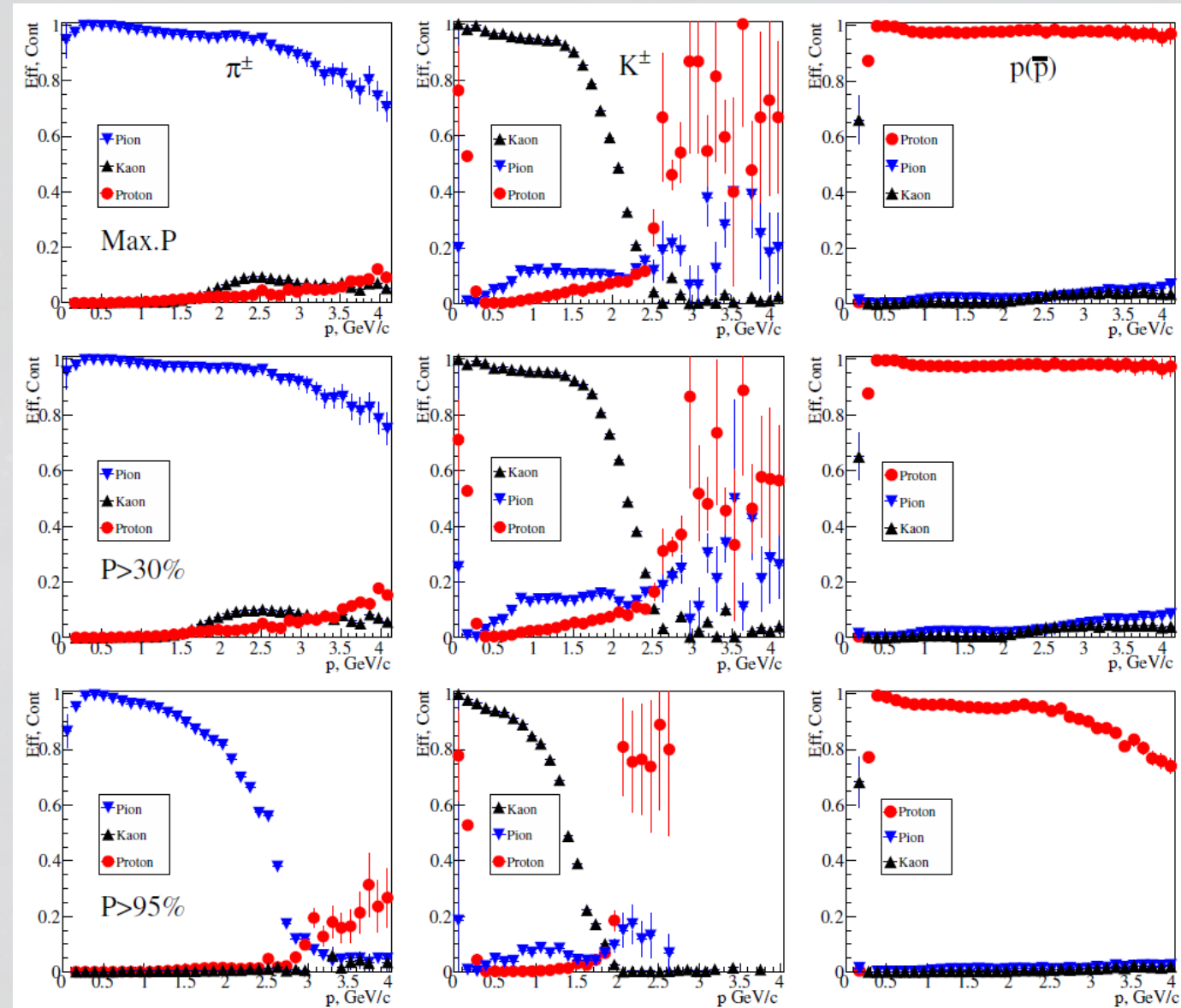
Изменение эффективности идентификации π и K мезонов от итерации к итерации (Max P)



Критерии сходимости priоров



Отношения priоров π и K мезонов от итерации к итерации Сравнение отношений priоров π и K мезонов между итерациями



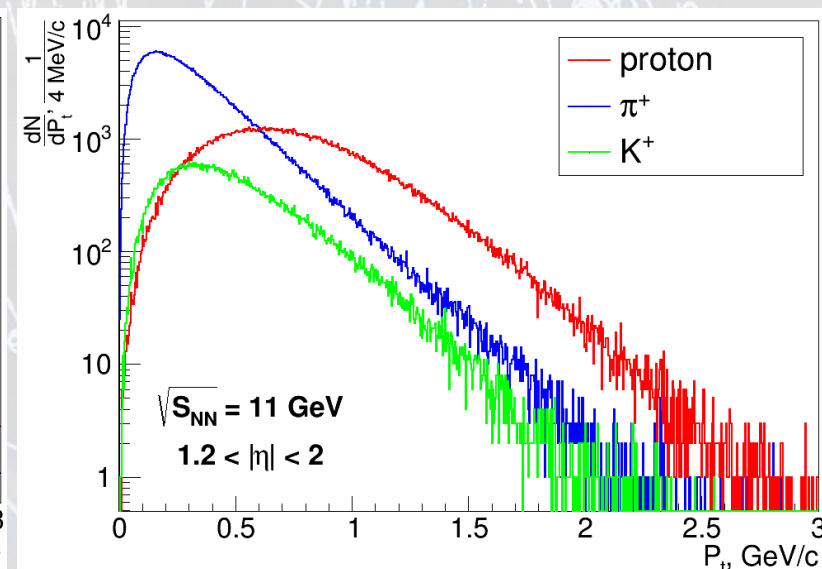
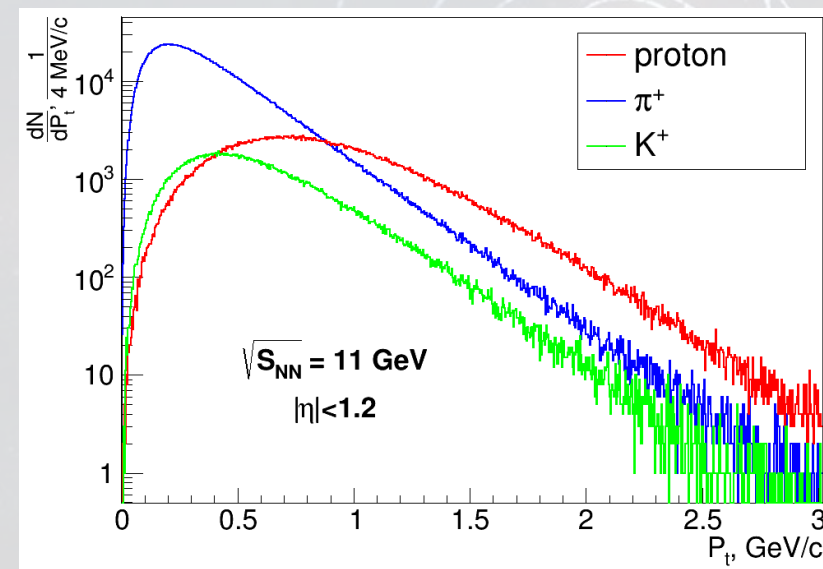
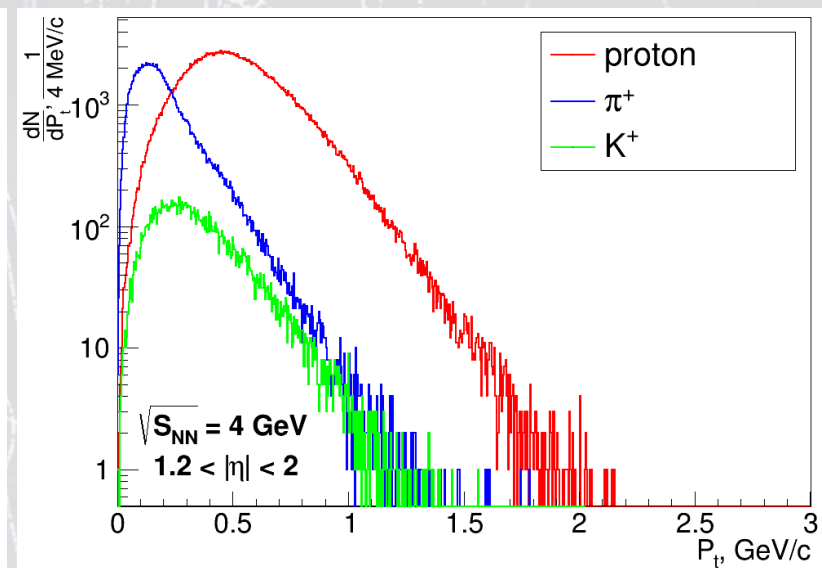
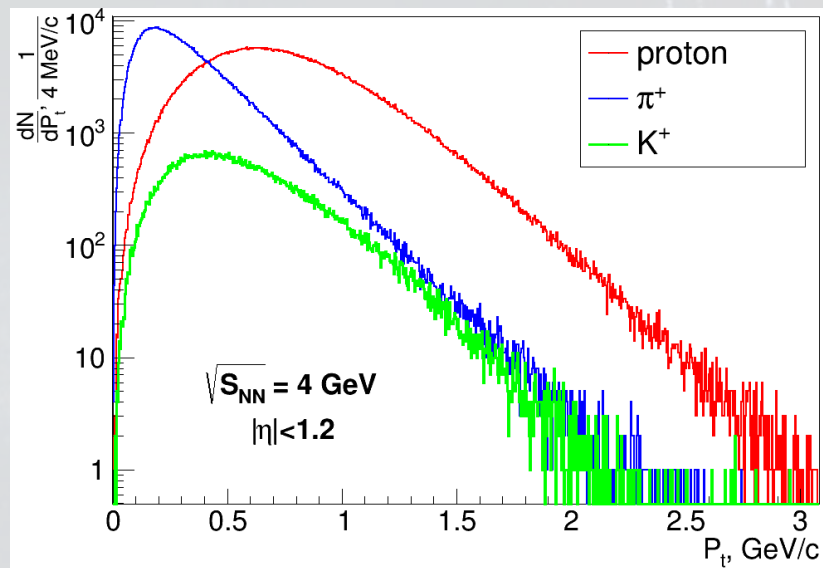
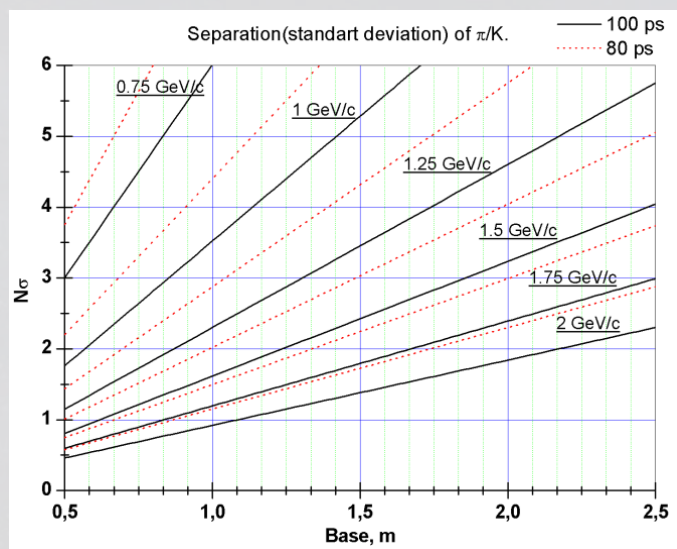
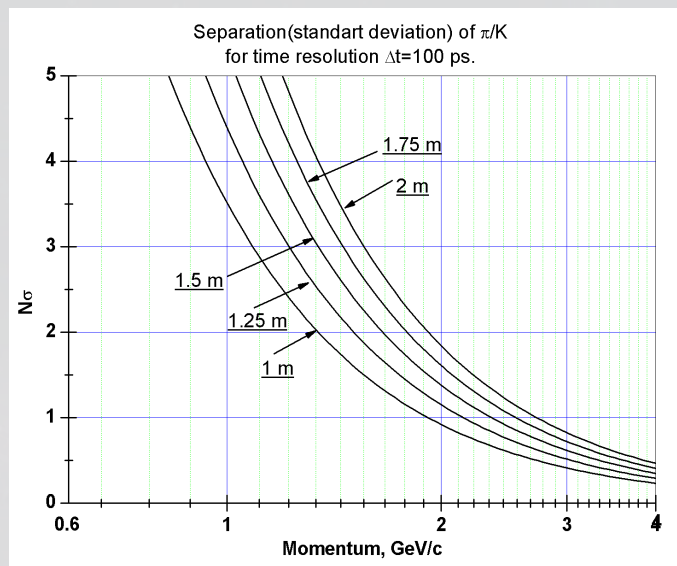
Основные методы выбора порога вероятности:

- 1. Метод максимальной вероятности.** Трек принадлежит типу частиц, для которых вероятность максимальна.
- 2. Метод фиксированного порога.** Трек в данном случае принадлежит типу частицы, для которой вероятность выше выбранного порога. Очевидно, что при более высоком пороге вероятности, эффективность идентификации снижается, но чистота улучшается. Это связано с тем, что на низких порогах возможны случаи, когда один трек может соответствовать двум и более типам частиц.
- 3. Взвешенный метод.** Каждому типу частиц присваивается индивидуальный порог в зависимости от их значимости в зависимости от конкретной задачи. Например, для изучения отдельного канала распада частицы.

При сравнении методов выбора частиц мы видим, что метод максимальной вероятности почти эквивалентен методу с фиксированным порогом 30%. Увеличение порога до 95% ухудшает эффективность идентификации для частиц с большим импульсом, но, с другой стороны, заметно снижает загрязнения.

- На реконструированных данных в MPDRoot были оценены основные подходы к идентификации заряженных адронов - метод $\mathbf{n}_\sigma$ и статистический байесовский метод.
- При определенных условиях метод $\mathbf{n}_\sigma$ позволяет с высокой чистотой измерять спектры адронов, используя нормировки полученные моделированием.
- Байесовский подход несколько сложнее в реализации и требует очень аккуратной параметризации условной вероятности $P(V|H_i)$, но при этом имеет большую «гибкость». Основным преимуществом данного метода является то, что в нем рассматриваются все частицы, независимо от того, попадают ли они в области $\mathbf{n}_\sigma$.
- Если сравнить байесовский подход с методом $\mathbf{n}_\sigma$, видно что высокая чистота идентификации в байесовском подходе достигается при больших эффективностях, чем в методе $\mathbf{n}_\sigma$. Это свойство байесовского подхода очень важно при изучении редких процессов с большим фоном.
- Реальное качество различных подходов к идентификации будет выявлено только тогда, когда будут получены реальные экспериментальные физические данные. Поскольку в модели, заложенной в MPDRoot не могут быть учтены все факторы, влияющие на качество получаемых от детекторов «сигналов».

Дополнительные слайды



Comparison of PID methods

π/K Separation

[Comparison of different PID methods]

