

# Изучение возможности идентификации частиц с двойным зарядом с помощью детектора TRT в эксперименте ATLAS

К. Белоцкий, О. Булеков, А. Романюк, Ю. Смирнов, М. Хлопов

*НИЯУ МИФИ*

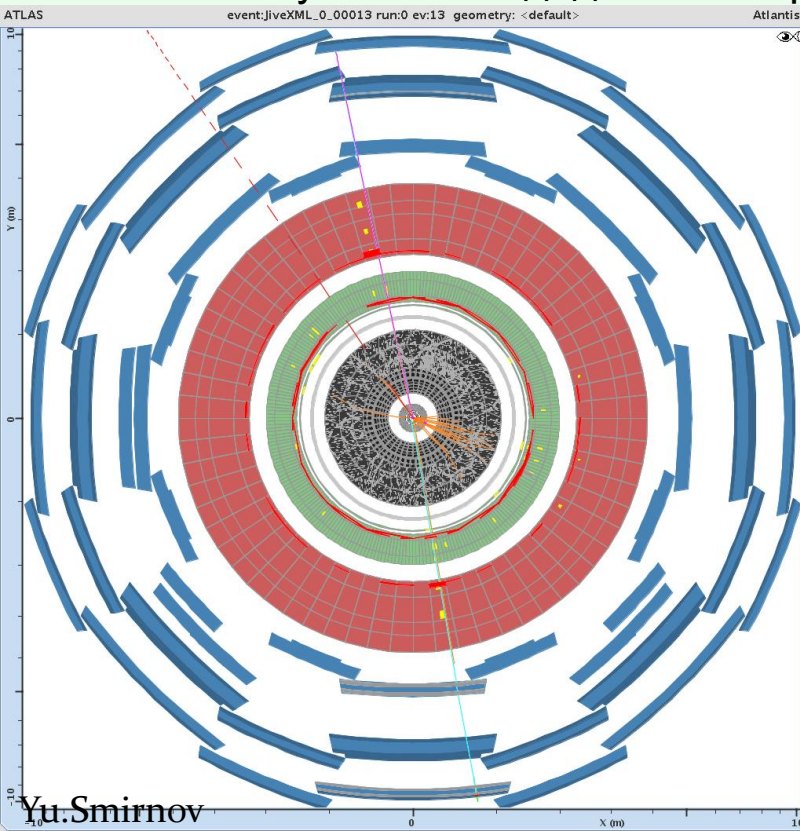
1. AC-лептоны
2. Информация от TRT
3. Монте-Карло моделирование мюонов и дважды заряженных частиц
4. Анализ экспериментальных данных
5. Заключение и дальнейшая работа

# Дважды заряженные частицы: АС-лептоны

По определению, тёмная материя, в отличие от заряженных частиц, не взаимодействует с «обычной» с помощью электромагнитного взаимодействия. Поэтому нейтральные слабо взаимодействующие элементарные частицы часто рассматриваются в качестве кандидатов на роль частиц тёмной материи.

**Однако частицы тёмной материи не обязаны быть нейтральными:**

Если заряженные частицы тяжёлые, стабильные и заключены внутри «атомных» состояний, они также могут быть кандидатами на роль частиц составной скрытой массы.

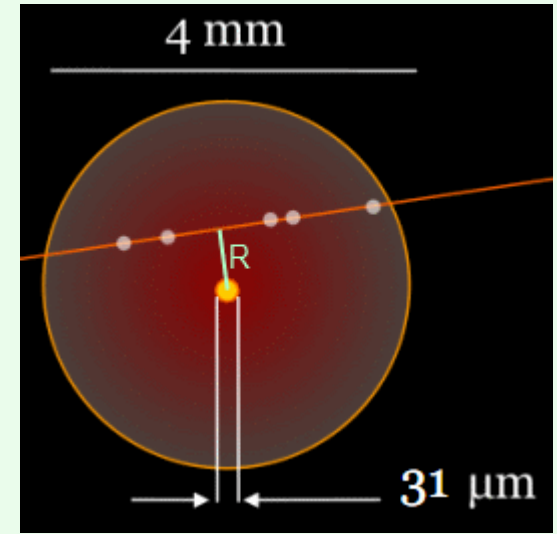
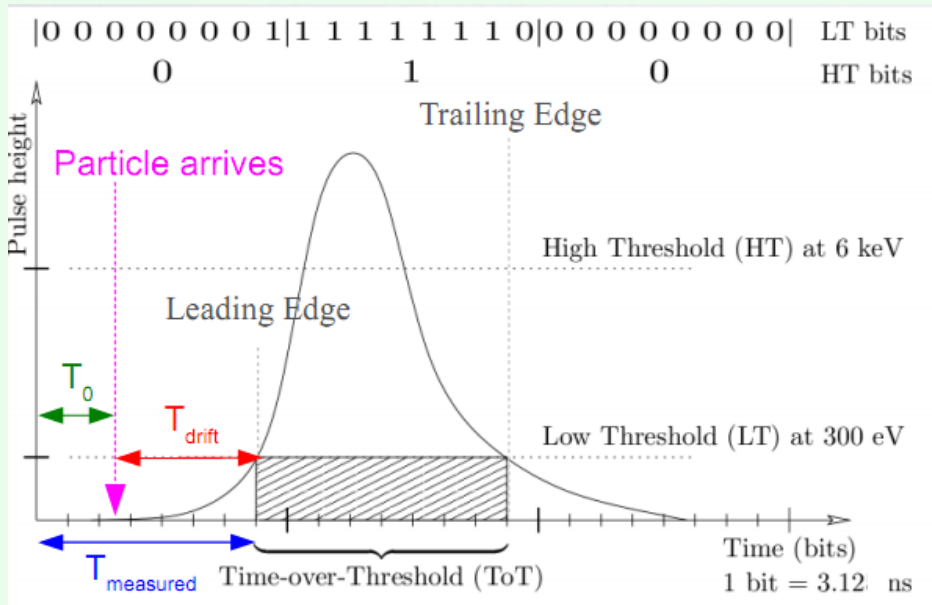


При температуре  $T_{\text{Вселенной}} < I_0 = 1.6 \text{ МэВ}$  эти частицы образуют связанное состояние с He и практически перестают взаимодействовать с веществом.

**Такие частицы – предмет поиска на LHC.  
Их реакция рождения:  $pp \rightarrow A^{--} C^{++} + X$**

Двойной заряд АС-лептонов даёт специфические сигнатуры почти во всех подсистемах ATLAS: Pixel detector, **TRT**, Calorimeters, Muons system

# Идентификация частиц



## Используемая трековая информация:

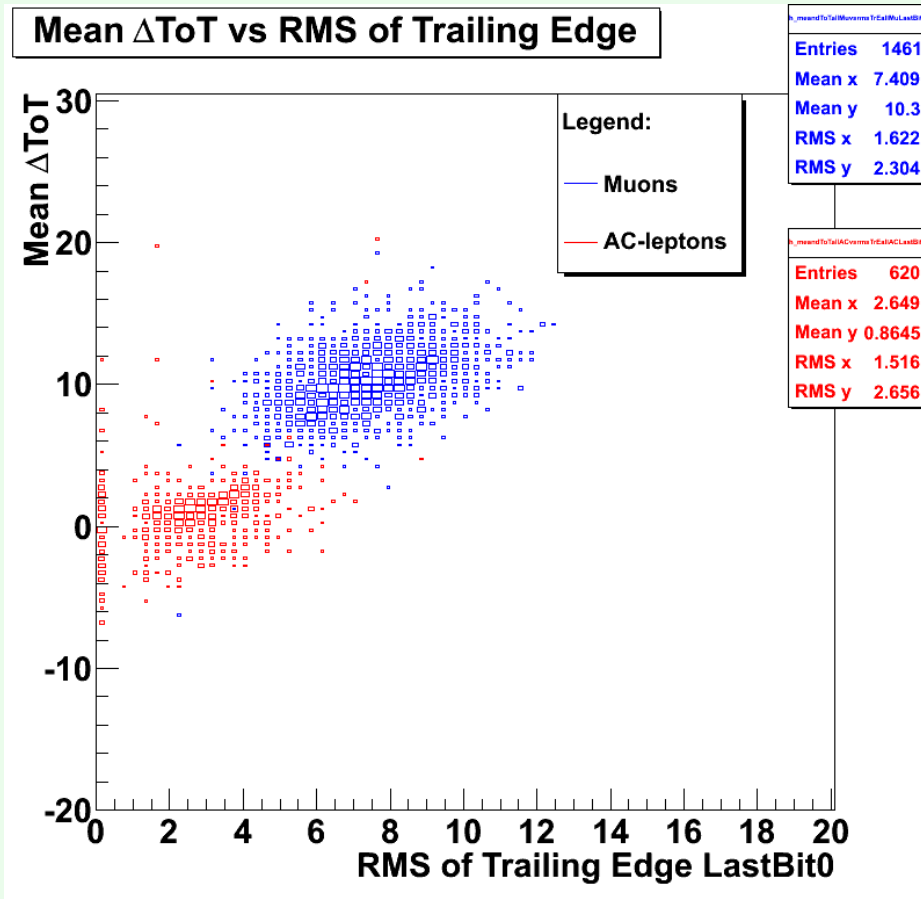
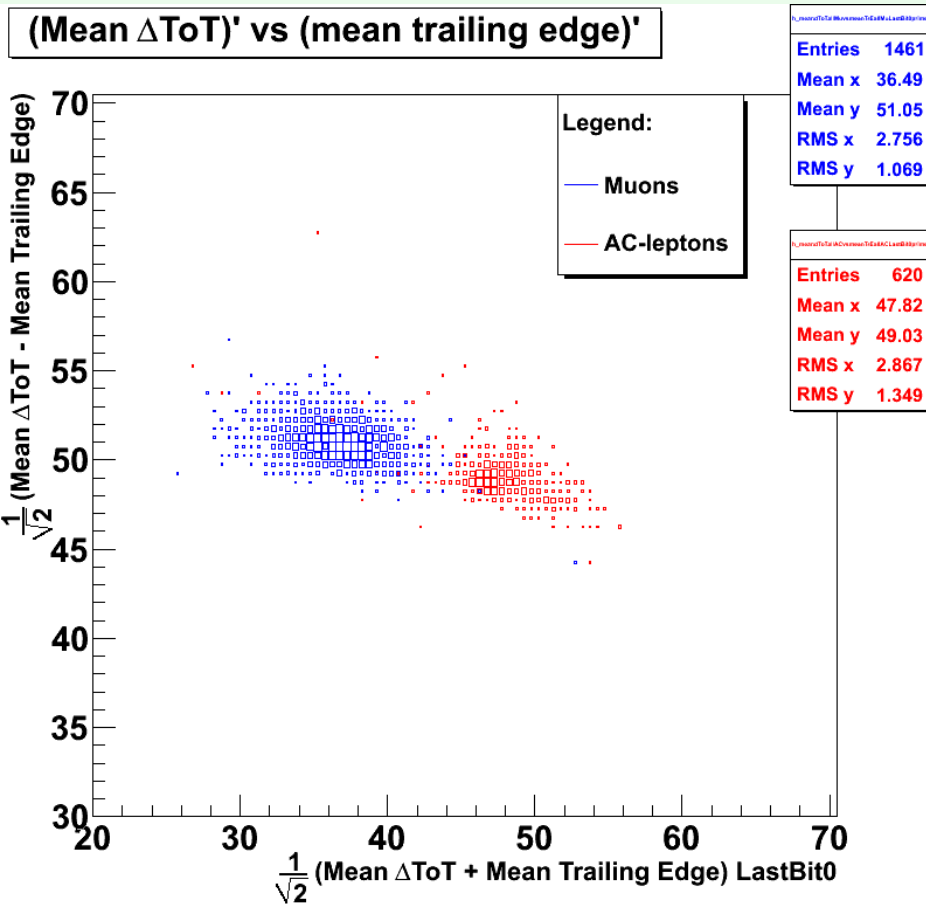
- $\langle \Delta \text{ToT} \rangle = \langle \text{ToT}_{\text{fit}} - \text{ToT} \rangle$  - усреднённая по хитам на треке разность значения фита ToT (от AC-лептонов в MC, от высоко ионизирующих частиц в данных) и ToT; ToT – длительность части сигнала, превышающей нижний порог по амплитуде со straw;
- $\langle \text{TrE} \rangle$  - усреднённое значение времени прихода заднего фронта сигнала;
- $\langle \Delta \text{TrE} \rangle = \langle \text{TrE}_{\text{fit}} - \text{TrE} \rangle$  - средняя разность фита TrE и значения TrE;
- RMS от  $\Delta \text{ToT}$  или TrE или  $\Delta \text{TrE}$  - среднее квадратическое соответствующих величин

## Критерии отбора хитов:

1. Последний бит в TRT LT bit pattern должен быть нулевым;
2. Расстояние между анодом и треком R должно быть меньше 1.8 мм;
3. Исключаются хиты с минимальными  $\Delta \text{ToT}$  и  $\Delta \text{TrE}$  на треке;
4. Коррекции для устранения зависимостей  $\Delta \text{ToT}$ , TrE и  $\Delta \text{TrE}$  от R и  $\eta$

# Monte-Carlo: Разделение мюонов и AC-лептонов

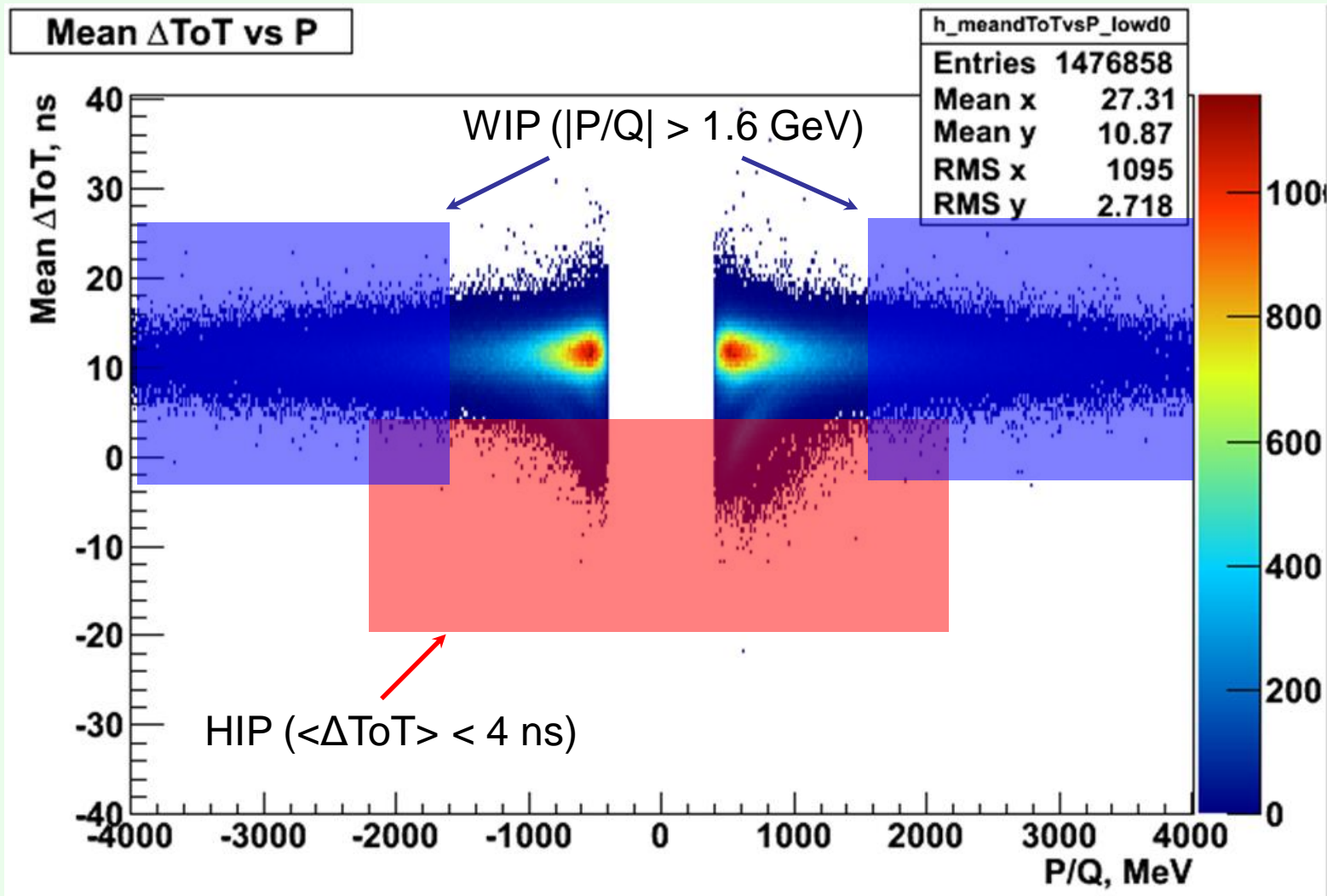
Мы моделируем рождение  $A^{--}$ - и  $C^{++}$ -лептонов в процессе Дрелла-Яна  $q\bar{q} \rightarrow \tau'^{--} \tau'^{++}$  со следующими квантовыми числами:  $L=2$ ,  $M=500$  GeV,  $Y=2$ ,  $T=0$ ,  $Q=2$  и **МЮОНОВ** от распадов  $Z'(M_{Z'} = 600 \text{ GeV}) \rightarrow \mu^+ \mu^-$



Основная на данном этапе моделирования задача – составить комбинацию из базовых характеристик сигнала, максимально отделяющую AC-лептоны от основного для них в pp-столкновениях фона - мюонов.

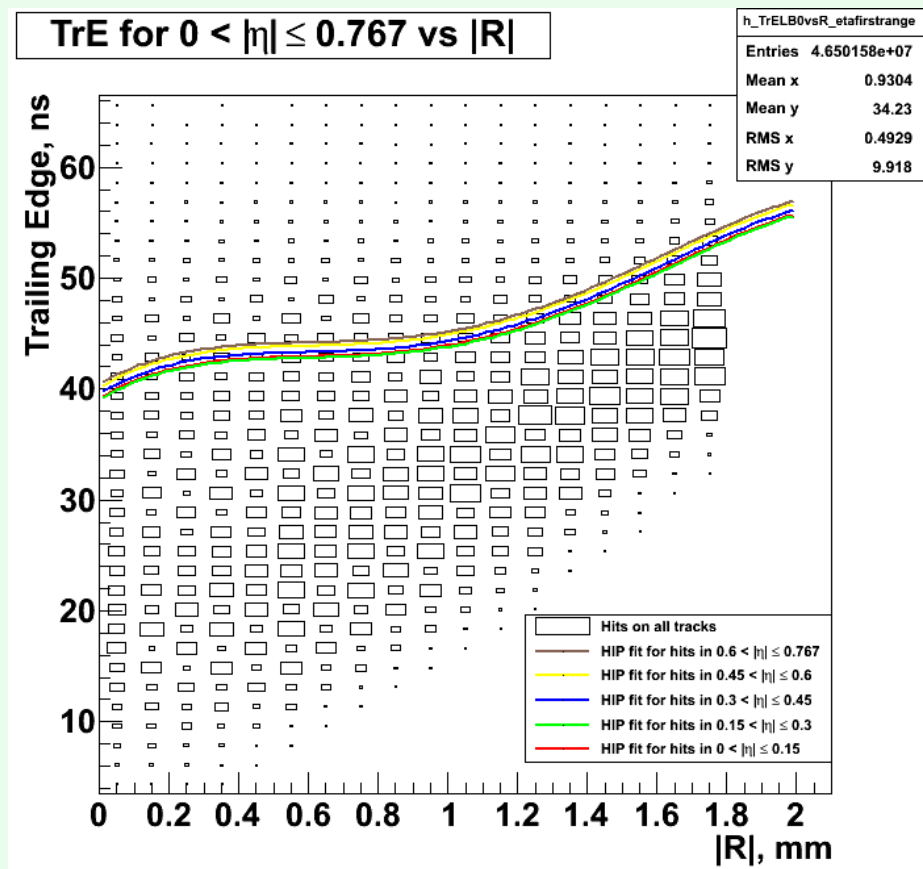
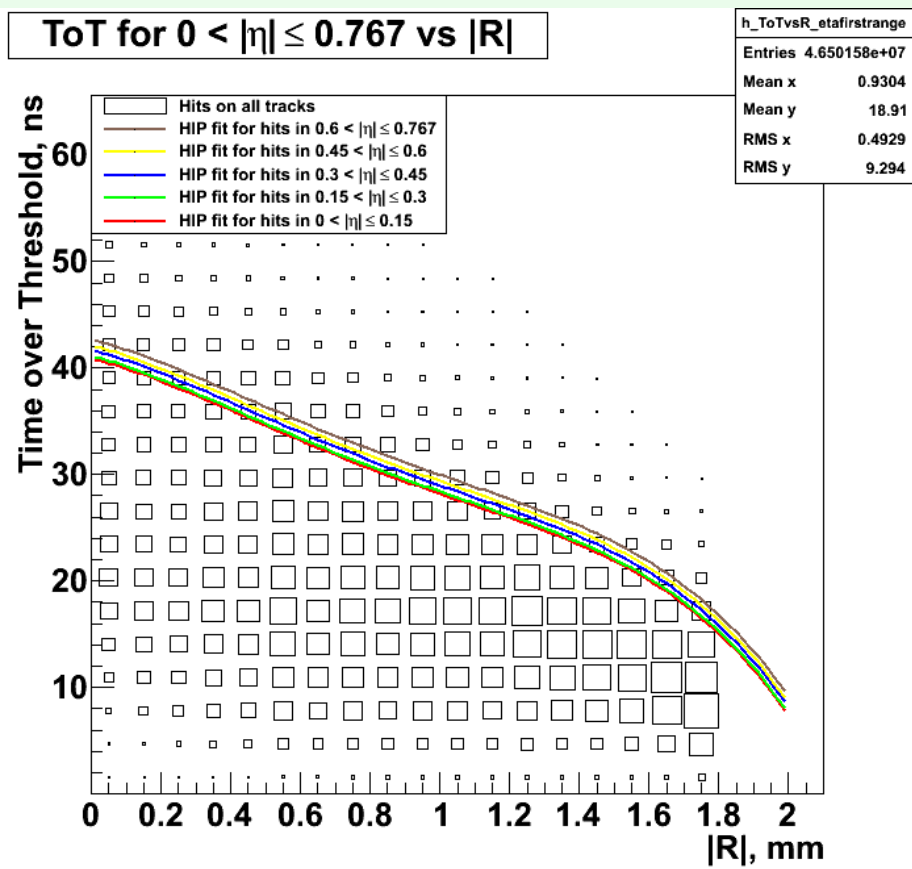
# Анализ экспериментальных данных: HIPs & WIPs

Была применена предварительная методика устранения зависимостей  $\text{ToT}$ ,  $\text{TrE}$  от  $R$  и  $\langle \Delta \text{ToT} \rangle$ ,  $\langle \text{TrE} \rangle$ ,  $\langle \Delta \text{TrE} \rangle$  от  $\eta$ , и построена зависимость  $\langle \Delta \text{ToT} \rangle$  vs  $P$ , с помощью которой разделены сильно и слабо ионизирующие частицы:



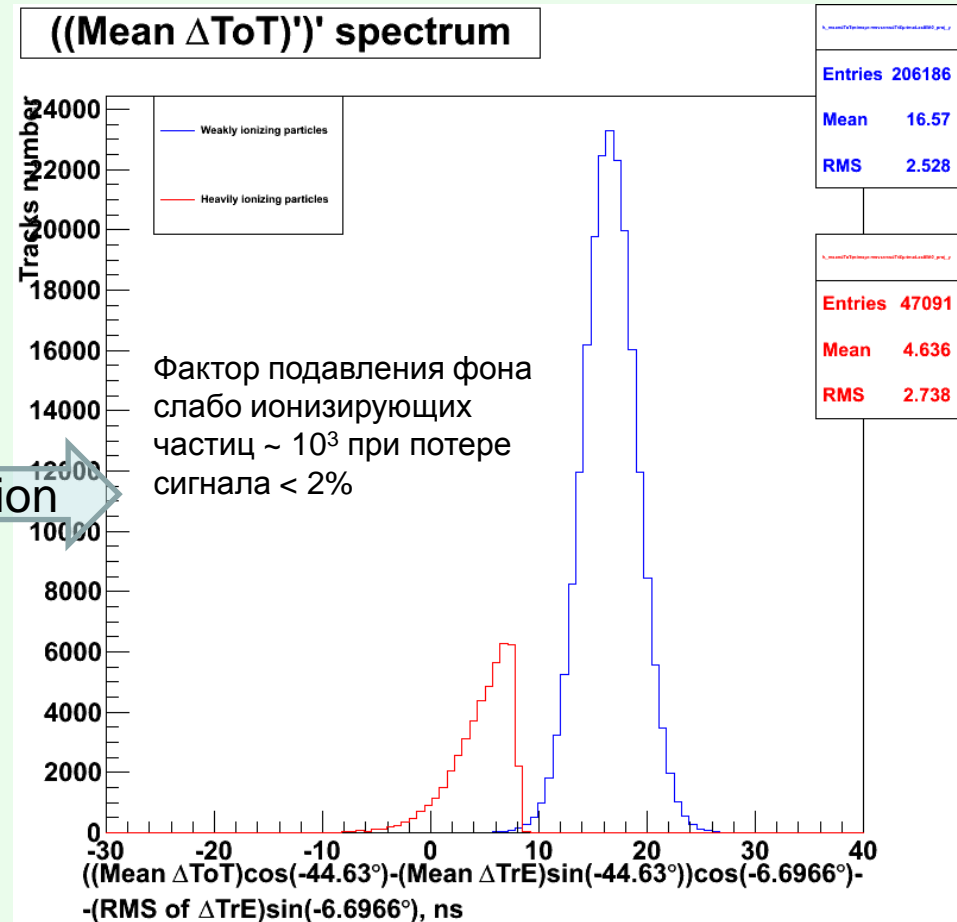
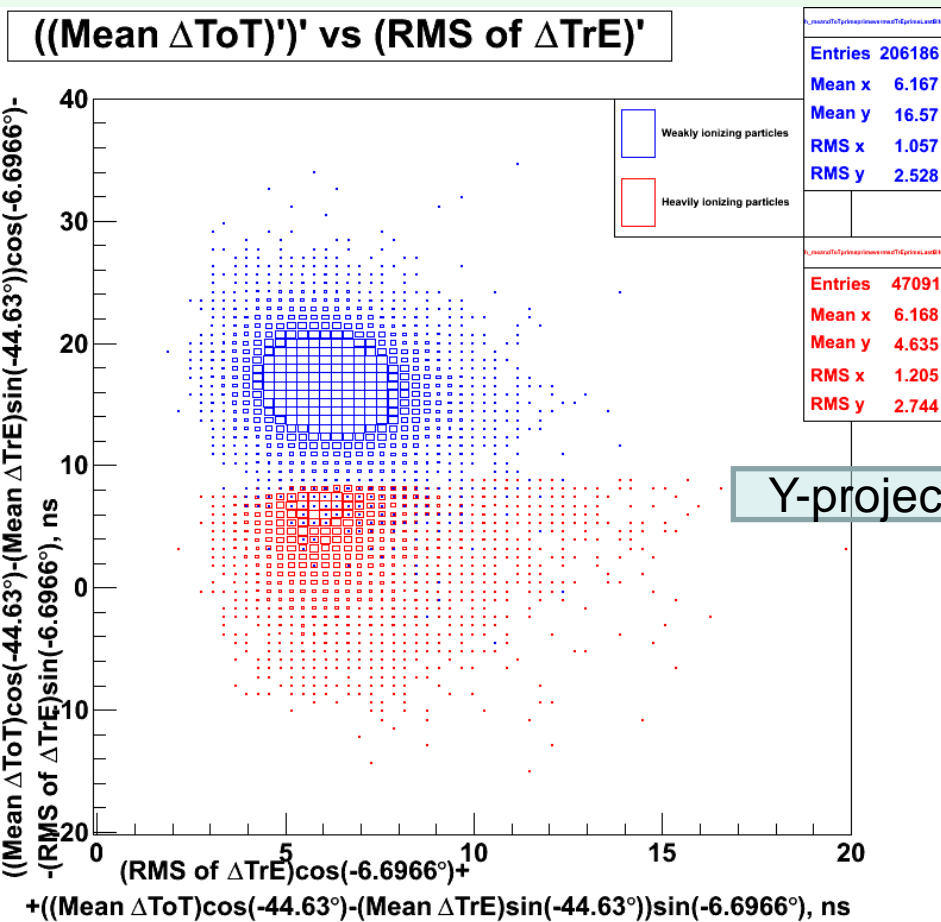
# Анализ экспериментальных данных: детальная коррекция ToT, TrE (R)

Проведена детальная коррекция ToT, TrE (R) на основании фитов соответствующих значений хитов сильно ионизирующих частиц для разных диапазонов  $\eta$  в барреле. Боксами показаны соответствующие значения хитов на всех треках, фиты – от подобных распределений для хитов сильно ионизирующих частиц.



# Анализ экспериментальных данных: разделение слабо и сильно ионизирующих частиц

На основании комбинаций характеристик трека, полученных с помощью моделирования, был выбран и доработан функционал, позволяющий оптимально отделять слабо и сильно ионизирующие частицы:

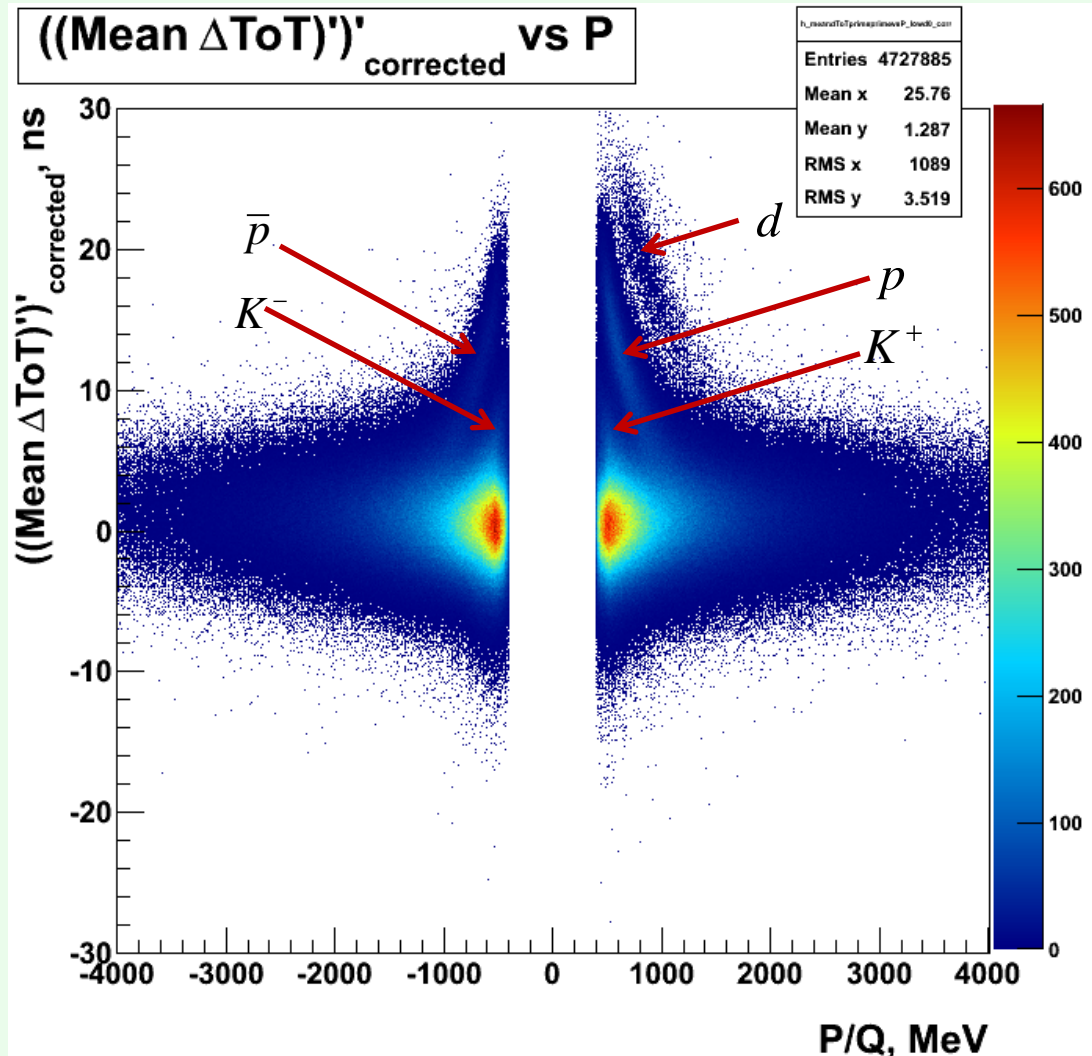


# Анализ экспериментальных данных: dE/dx

Выбранный таким образом функционал

$$(-1) * ((\langle \Delta ToT \rangle * \cos(-44.6^\circ) - \langle \Delta TrE \rangle * \sin(-44.6^\circ)) \cos(-6.7^\circ) - RMS \Delta TrE * \sin(-6.7^\circ) - 17.505)$$

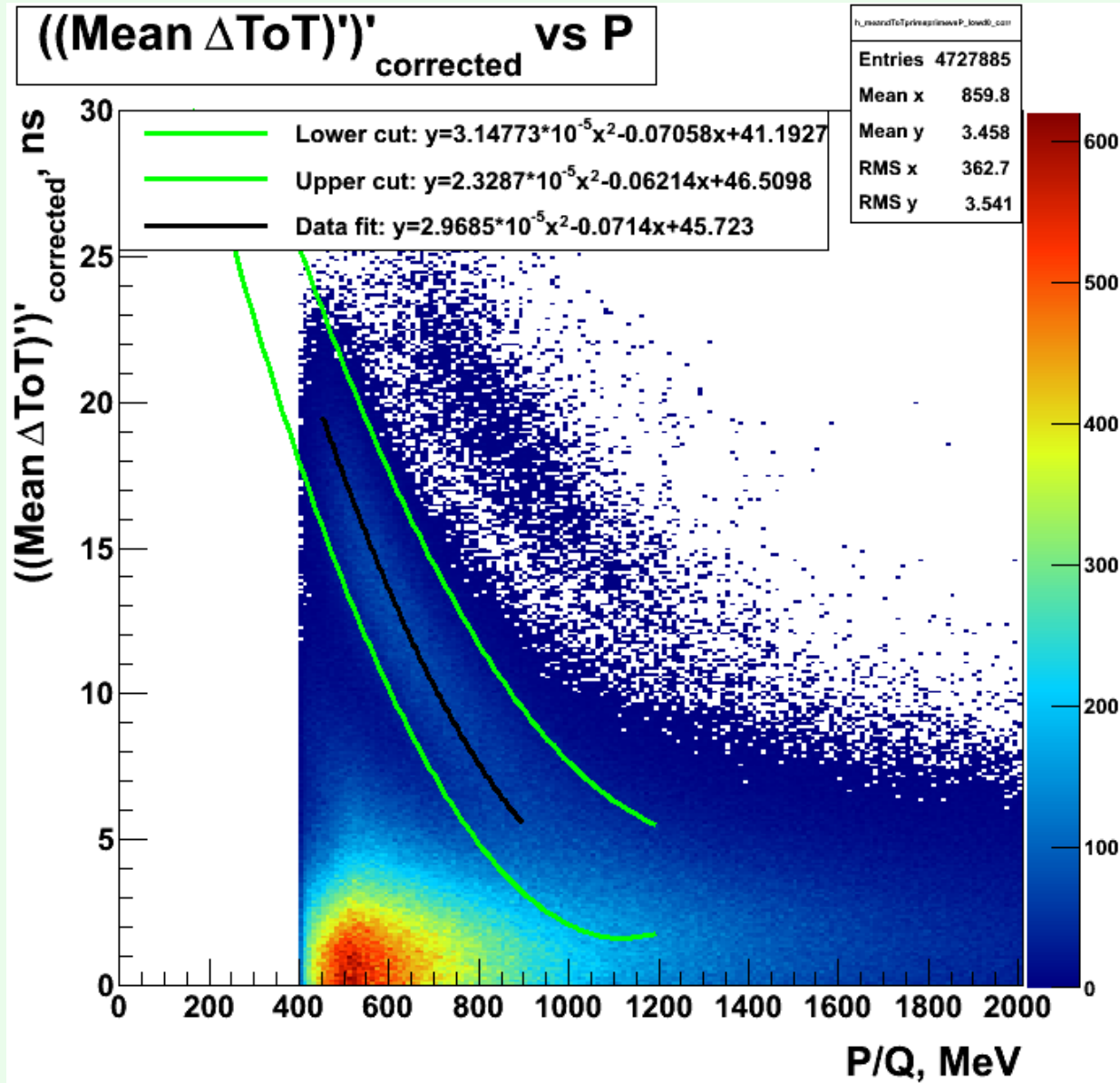
отражает ионизационные потери частиц в веществе детектора:



TRT удаётся достичь значительного разделения различных сортов частиц с импульсами меньше 1 ГэВ/с по их ионизационным потерям.

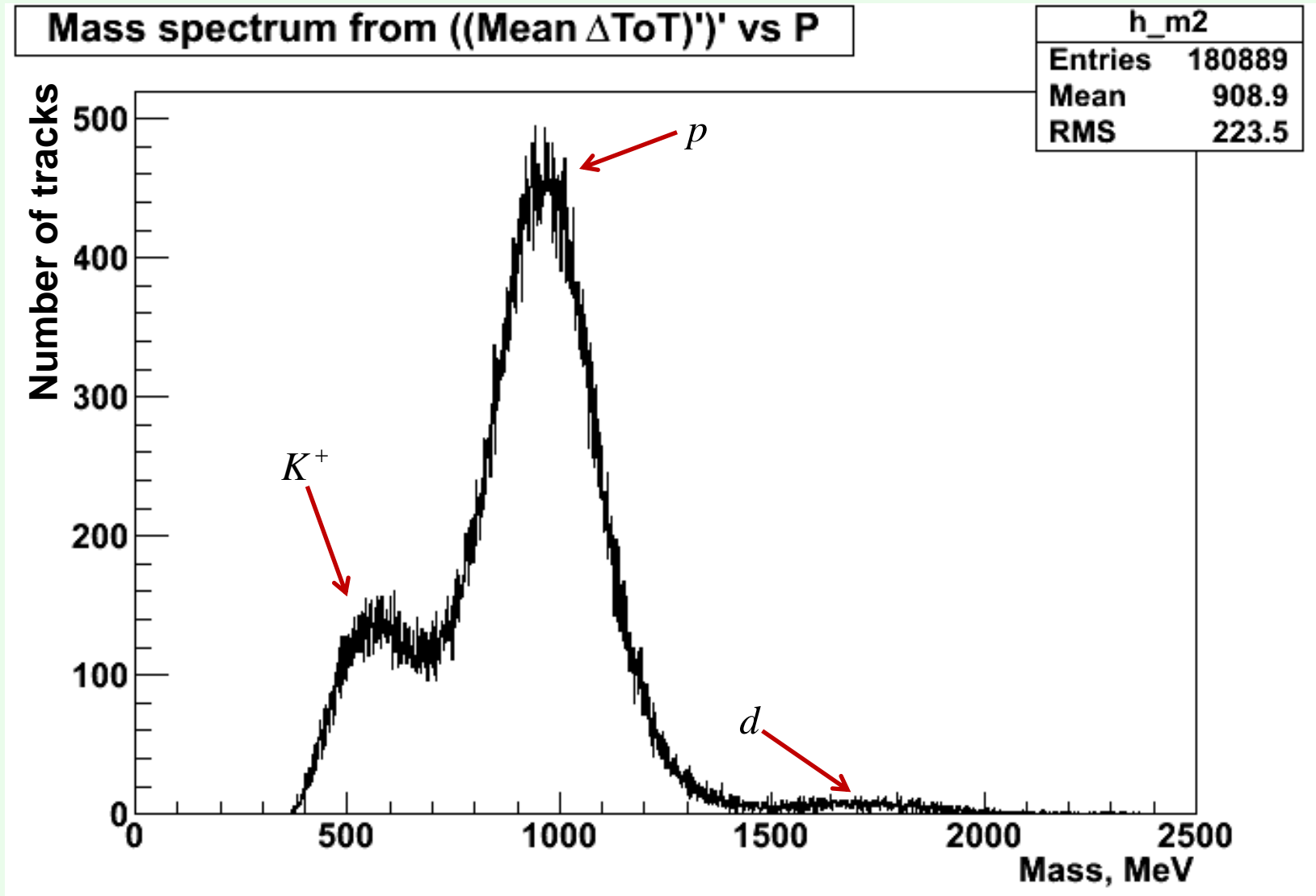


# Анализ экспериментальных данных: калибровка dE/dx-функционала по протонному пику



# Анализ экспериментальных данных: спектр масс

После калибровки был получен массовый спектр частиц:

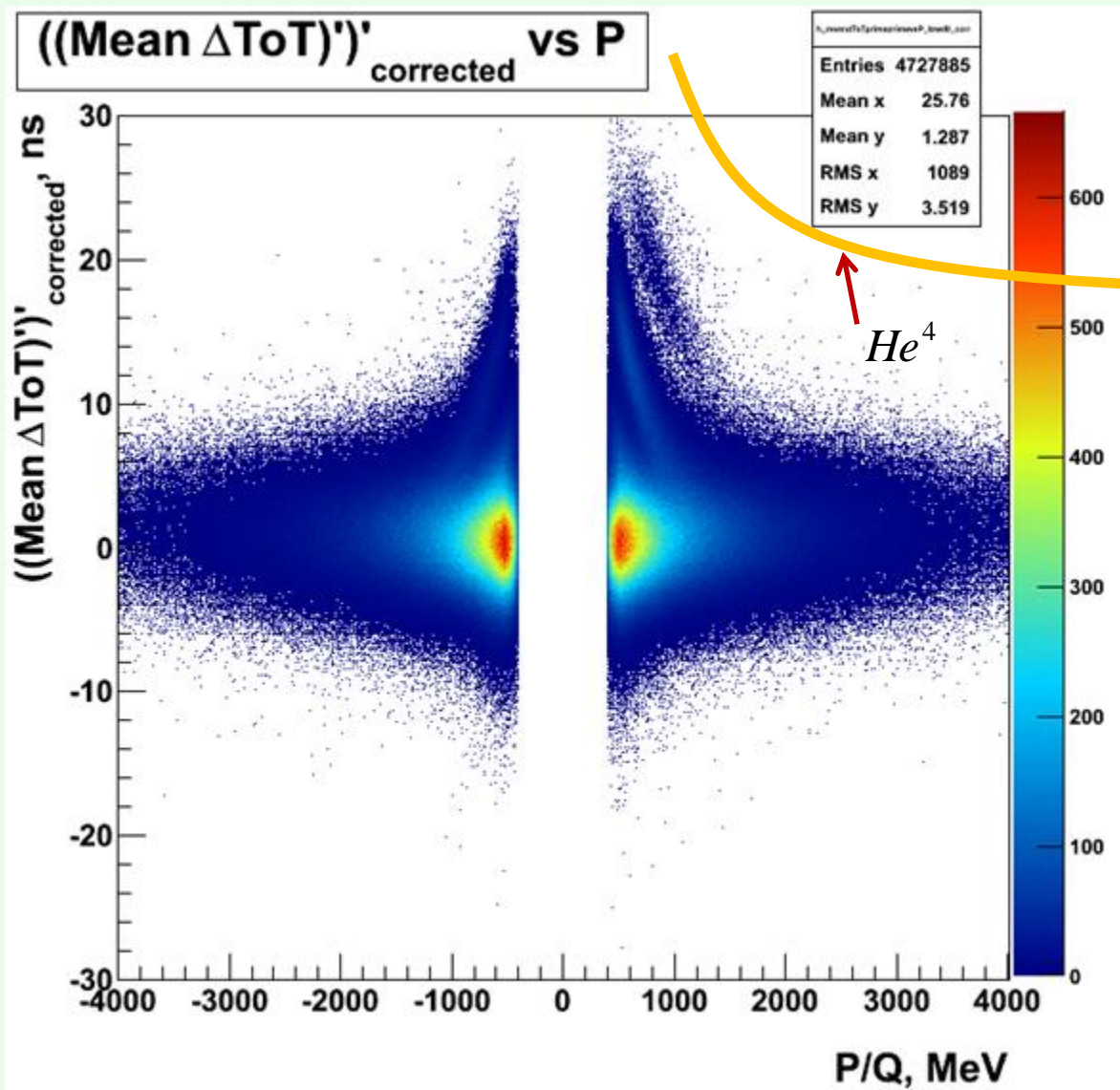


# Заключение

- 1) Монте-Карло моделирование показало, что, используя такие характеристики трека в TRT, как среднее и среднее квадратическое от  $\Delta ToT$ ,  $TrE$  и  $\Delta TrE$ , можно получить функцию, служащую мерой ионизации.
- 2) Проведена работа по вычислению поправок и удалению зависимостей временных величин от геометрических параметров детектора  $R$  и  $\eta$ .
- 3) Определён функционал, наиболее точно отражающий ионизацию частицами среды детектора, с помощью которого построен массовый спектр частиц, рождающихся в pp-столкновениях на LHC.
- 4) Можно заключить, что данный метод позволяет разделять частицы с зарядом  $|Q| = 1$  в области импульсов  $400 \text{ МэВ} < P < 1500 \text{ МэВ}$ , определяет их массу и позволит надёжно выделять дважды заряженные частицы.

## Дальнейшая работа:

- Оптимизация алгоритма построения массового спектра;
- Использование информации о вершинах взаимодействий позволит улучшить разделение частиц;
- Анализ хитов и треков в эндкапах;
- Сравнение разработанного алгоритма с созданными другими группами;
- Разработка подобных методов анализа для других подсистем ATLAS и их синхронизация;
- Поиск ядер He в сеансах измерений со столкновениями тяжёлых ядер.



*Спасибо!*

## References \*

*S. L. Glashow, arxiv:hep-ph/0504287;*

*D. Fargion, M. Khlopov, arXiv:hep-ph/0507087;*

*M. Yu. Khlopov, JETP Lett. 83 (2006) 1;*

*D. Fargion, M. Khlopov, C. Stephan, Class. Quantum Grav. 23 (2006) 7305;*

*M. Y. Khlopov and C. Kouvaris, Phys. Rev. D 77 (2008) 065002;*

*M. Y. Khlopov and C. Kouvaris, Phys. Rev. D 78 (2008) 065040;*

*M. Yu. Khlopov, A. G. Mayorov, E. Yu. Soldatov, Bled Workshops in Physics 10 (2009)79;*

*M. Yu. Khlopov, A. G. Mayorov, E. Yu. Soldatov (2010), arXiv:1003.1144*

# AC model – a minimal physics beyond the Standard Model

*It follows from the unification of the General Relativity and the gauge symmetries on the basis of almost commutative (AC) geometry\*.*

It predicts two new particles, A and C with the following properties:

C.Stephan, J.Phys. A39 (2006) 9657:

- *Opposite electric double charges*
- *Sterile to  $W^\pm$  and strong interactions*
- *Sterile to the Higgs boson (masses have their origin in the internal geometry and not in the Higgs mechanism)*
- *May possess a new gauge  $U(1)$  charge (similar to ordinary electromagnetic source of new “invisible photons” and Coulomb-like long range interaction)*
- *Strict mathematical axioms which lead to formulation of Standard model and to a prediction of Higgs boson mass  $M_H = 170 \pm 10 \text{ GeV}$  \**
- *Physics beyond the Standard model is strongly restricted. No SUSY or GUT extensions are possible.*

## References

\* A. Connes *Noncommutative Geometry* (Academic Press, London and San Diego, 1994)

\*\* T. Schucker. *arXiv:0708.3344*

# Composite dark matter cannot be based on single charge components!

- Let's suppose that composite dark matter particles are « atoms », binding positive P and negative E charges of new elementary particles.
- Then at early stage of a development of the Universe as soon as helium is created all the free primordial negative charges E should be bound with He.
- If  $E = -1$  it would form an ion of “anomalous hydrogen”  $[E \text{ He}]^+$
- This process depletes content of free E particles and prevents effective binding of positively charged particles (P with E). These positively charged particles (P), bound with electrons, become atoms of anomalous isotopes.

This is an unrecoverable trouble of model of teraparticles \*.

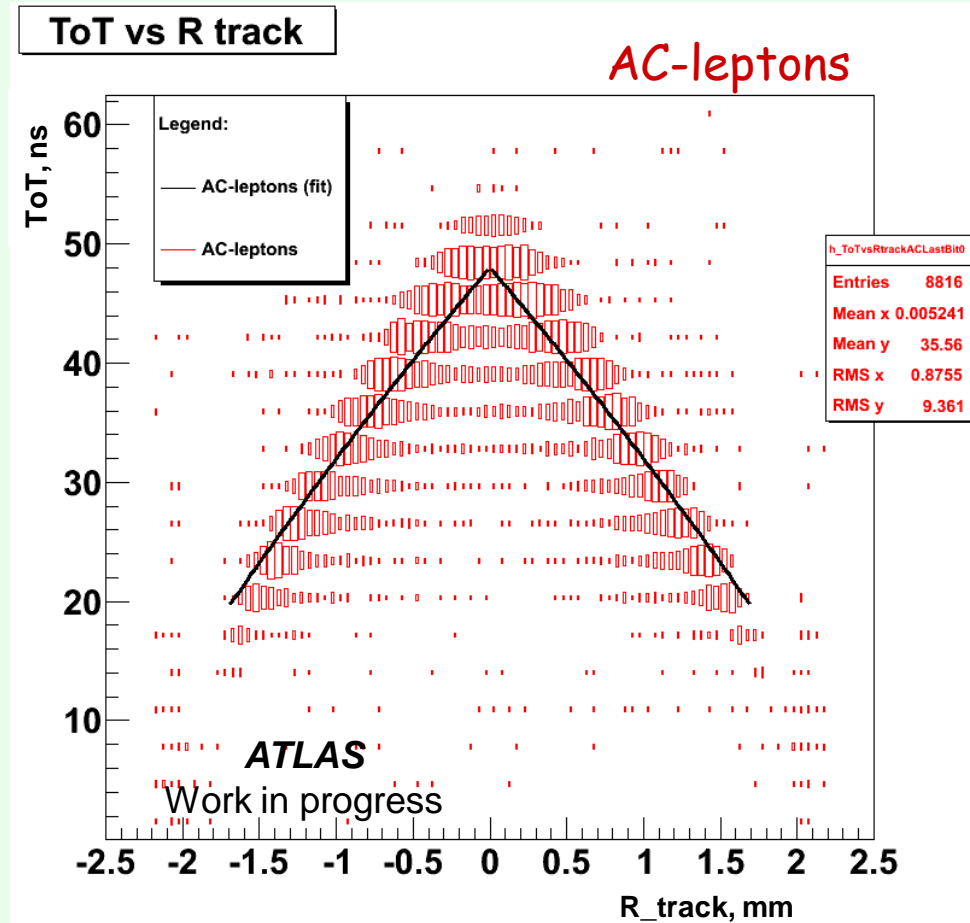
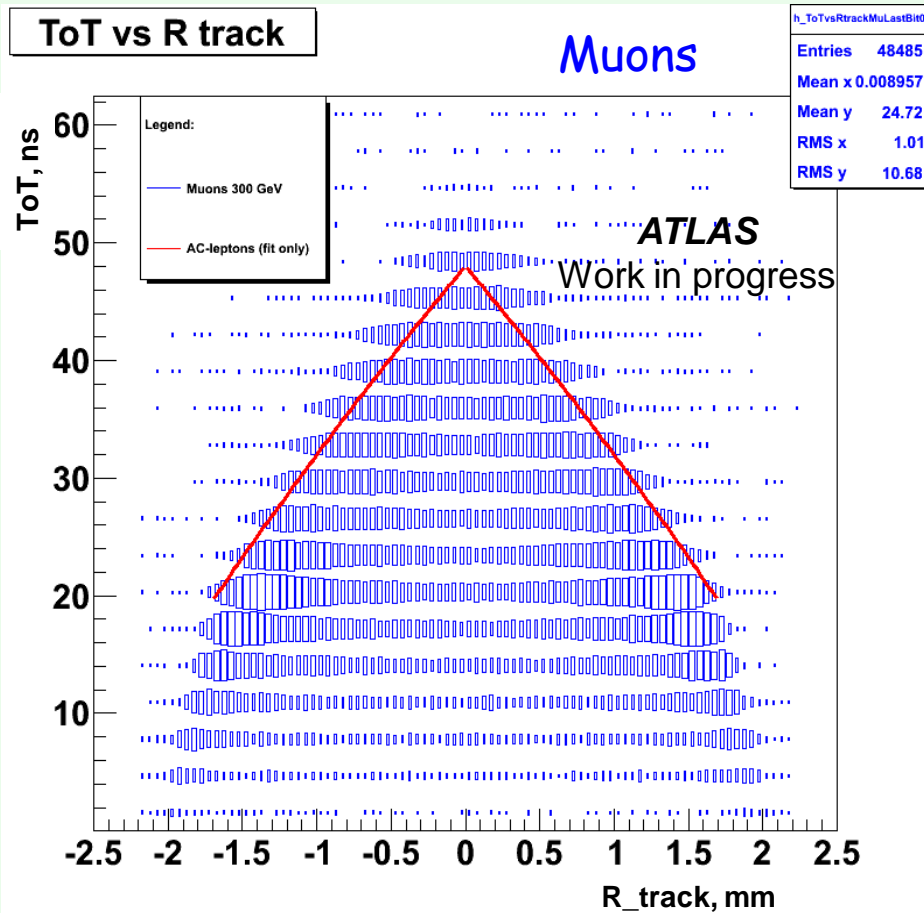
\*

1. L. Glashow, *arxiv:hep-ph/0504287*;
2. D. Fargion, M. Khlopov, *arXiv:hep-ph/0507087*



# Monte-Carlo: Коррекция ToT(R)

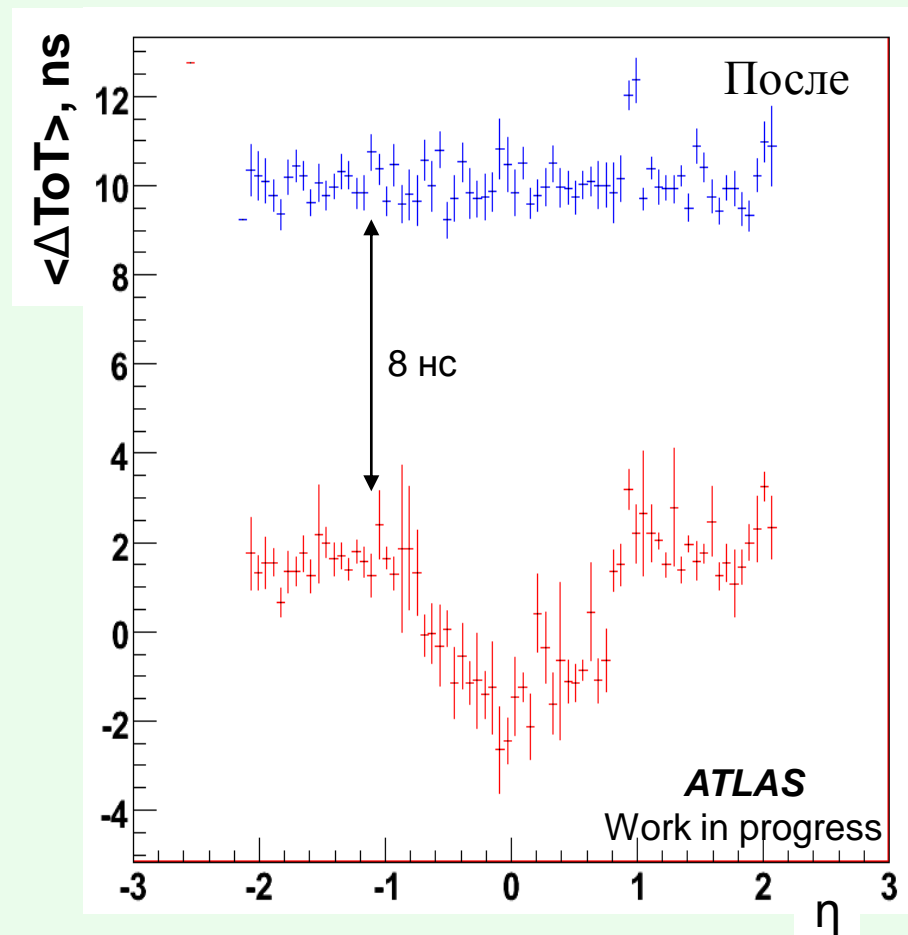
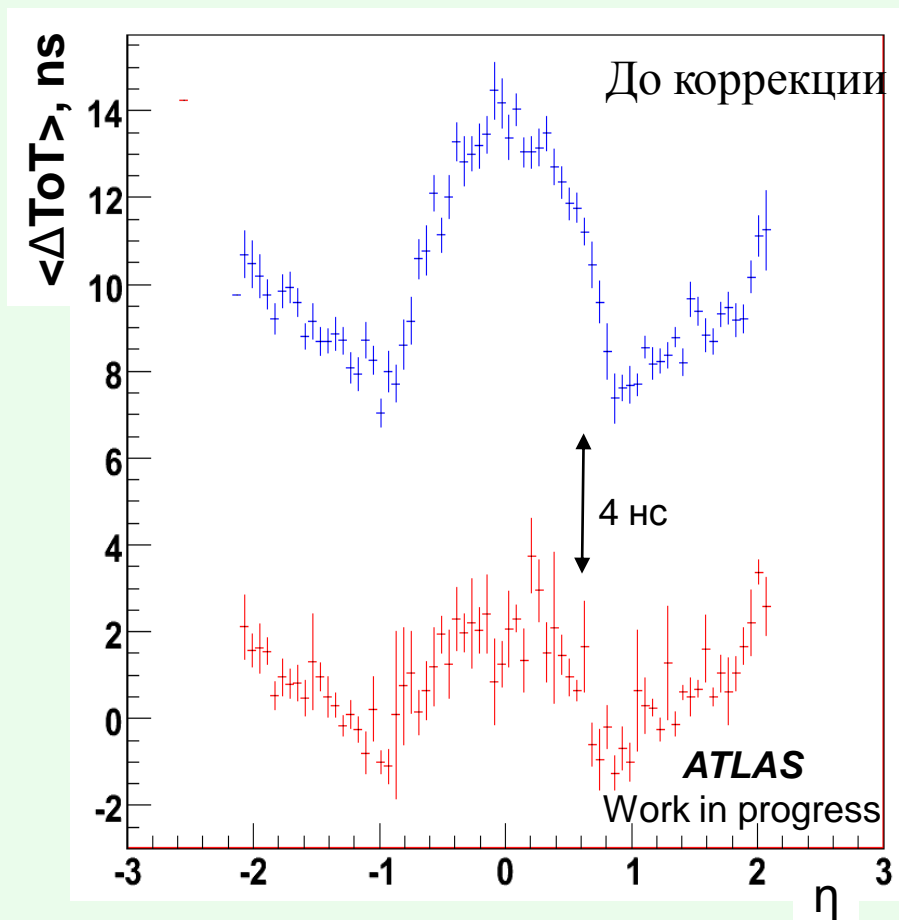
Мы моделируем рождение  $A^{--}$ - и  $C^{++}$ -лептонов в процессе Дрелла-Яна  $q\bar{q} \rightarrow \tau'^{--} \tau'^{++}$  со следующими квантовыми числами:  $L=2$ ,  $M=500$  GeV,  $Y=2$ ,  $T=0$ ,  $Q=2$  и **МЮОНОВ** от распадов  $Z'(M_{Z'} = 600 \text{ GeV}) \rightarrow \mu^+ \mu^-$



Распределение  $ToT$  vs  $R_{track}$  фитируется для AC-лептонов. Среднее по треку значение  $\langle \Delta ToT \rangle = \langle ToT_{fit} - ToT \rangle$  используется в дальнейшем для разделения мюонов и AC-лептонов. На левом рисунке (для мюонов) для сравнения показан фит от AC-лептонов.

# Monte-Carlo: Коррекция $\langle \Delta ToT \rangle(\eta)$

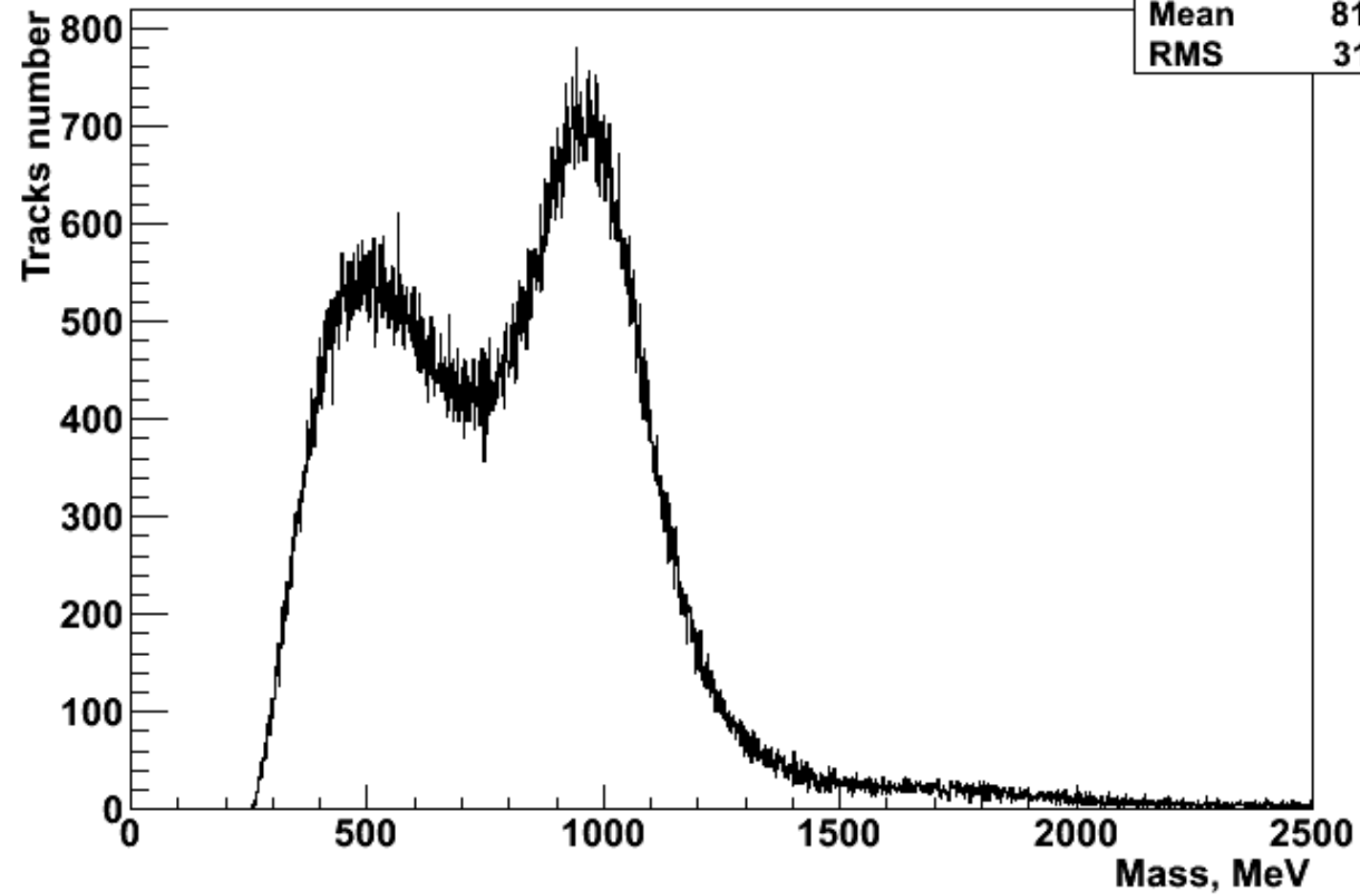
1. Минимальное значение  $\Delta ToT$  на треке исключается при вычислении среднего;
2. К каждому значению  $\langle \Delta ToT \rangle$  на треке прибавляется разность между  $\langle \Delta ToT \rangle = 10$  ns и  $\langle \Delta ToT \rangle$  в данном бине по  $\eta$



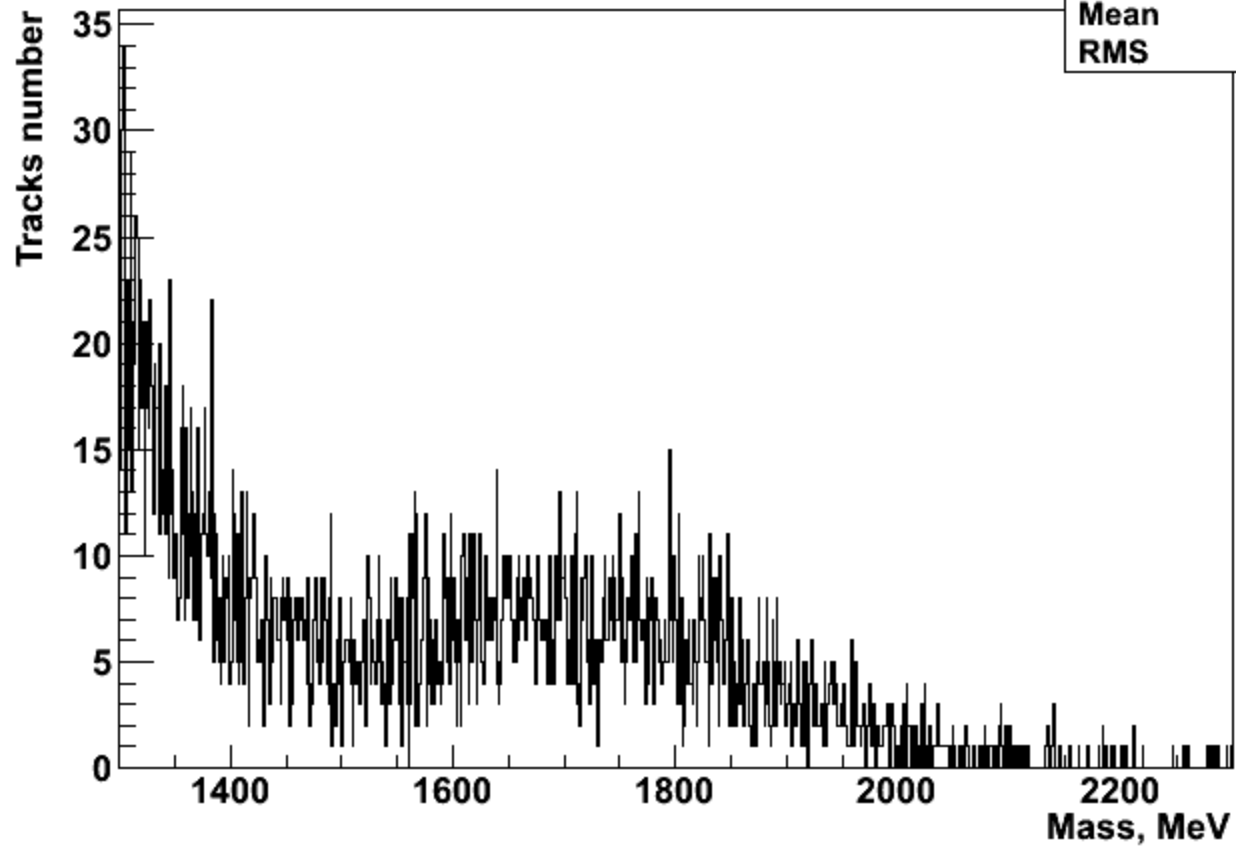
$\langle \Delta ToT \rangle(\eta)$ -коррекция применяется для минимизации распределения мюонов, что уменьшает вероятность их неправильной идентификации как AC-лептонов.

Mass spectrum from ((Mean  $\Delta ToT$ ))' vs P

h_m2	
Entries	462910
Mean	810.6
RMS	311.6



Mass spectrum from ((Mean  $\Delta T$ ))' vs P



h_m2	
Entries	251960
Mean	1585
RMS	214.6