

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТЕКТОРА ДЛЯ SUPER c - τ ФАБРИКИ

Георгий Разуваев, Виталий Воробьёв

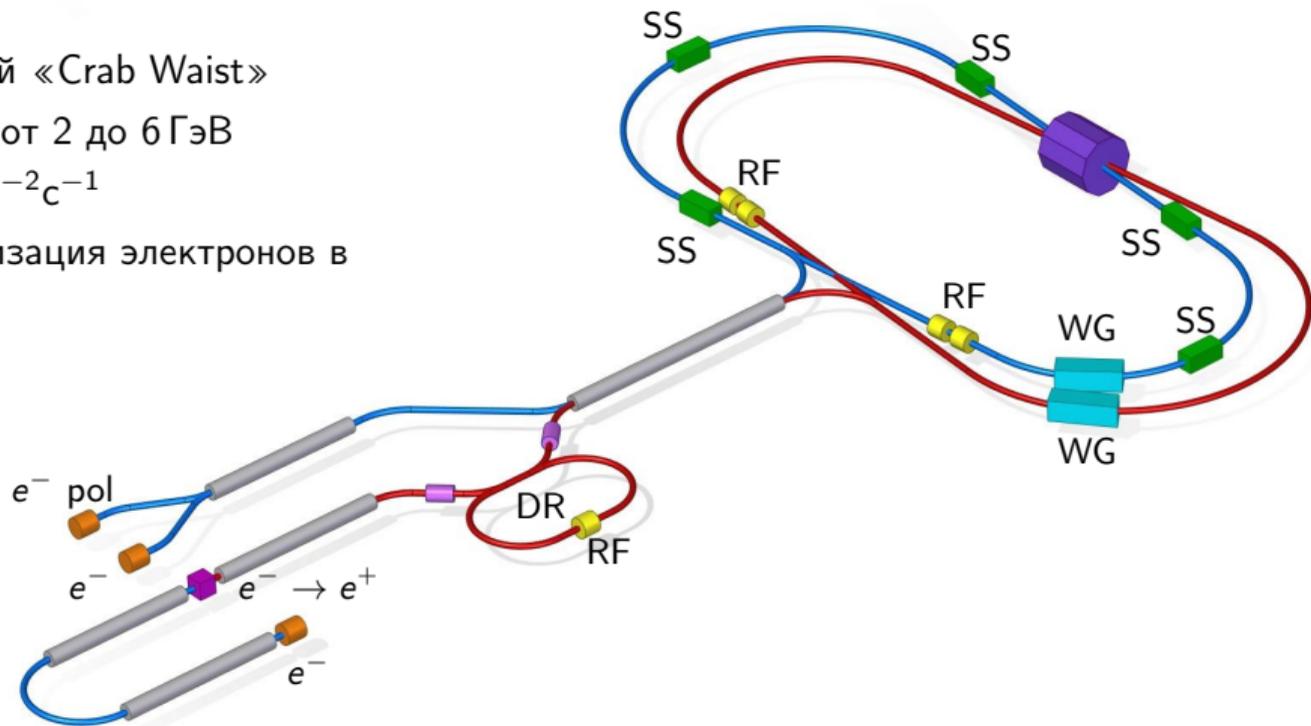


21 июня 2019 г.

- Введение
- Устройство параметрического моделирование
- Подсистемы детектора
- Примеры работы
- Инструменты для анализа
- АгитПроп
- Заключение

Ускорительный комплекс

- Схема столкновений «Crab Waist»
- Диапазон энергий: от 2 до 6 ГэВ
- Светимость $10^{35} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$
- Продольная поляризация электронов в месте встречи



Очаровательная физика

- Измерение сильных фаз в распадах D -мезонов
- Поиск запрещённых или сильно подавленных распадов c -кварка
- Поиск CP -нарушение
- ...

τ -физика

- Измерение параметров τ -лептона с высокой точностью
- Параметры Мишеля. Проверка лептонной универсальности
- Прецизионное измерение адронных распадов τ -лептона
- Поиск CP , T нарушений в распадах τ -лептона
- ...

КХД

- Физика возбуждённого кваркония
- Молекулярные состояния
- Пороговые взаимодействия барионов
- Поиск глюболов в распадах J/ψ и ψ'
- ...

Вопросы, на которые нужны ответы в рамках разработки и расширения физической программы:

- Какие требования выдвигаются к подсистемам детектора?
- Какую точность мы ожидаем достичь в анализе с тем или иным детектором?
- Какие системы идентификации нам нужны?
- Что *sst* может предложить по сравнению с Belle II и LHCb?

Технические вопросы:

- Разработка модели хранения данных.
- Разработка инструментов анализа данных.
- Привлечение людей к анализу на *sst*.
- Налаживание обратной связи.

Развитие во времени:

- PAPAS на C/C++
- PAPAS в составе HEPPY на Python
- **PODIO + FCC-EDM + SctParSim на Python**
- PODIO + FCC-EDM + SctParSim на C/C++

Ссылки:

- https://ctd.inp.nsk.su/wiki/index.php/Parametric_simulation
- <https://git.inp.nsk.su/vvorob/sctparsim>

PAPAS — PArametric PArTicle Simulation

HEPPY — High Energy Physics with PYthon

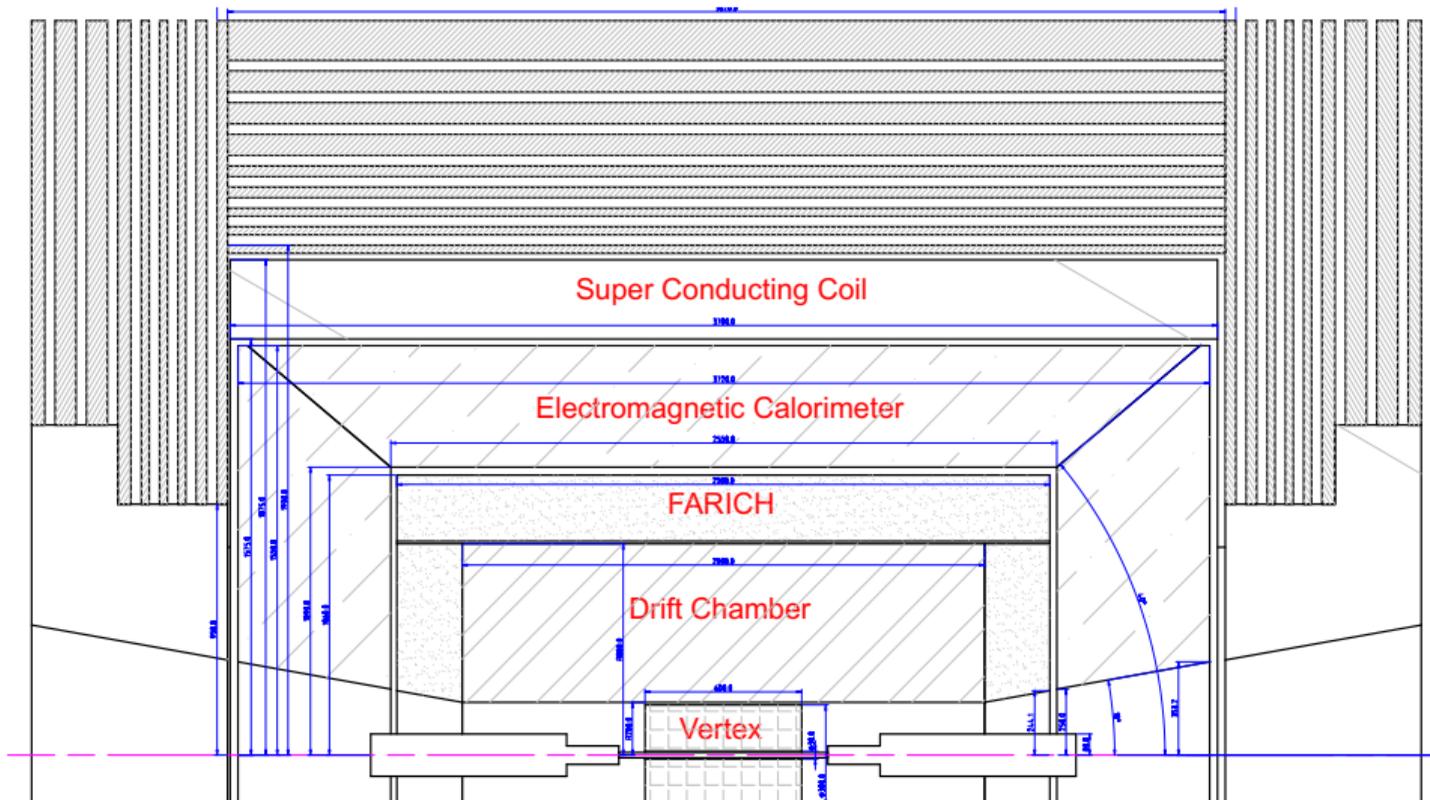
PODIO — Plain Old Data Input/Output

FCC-EDM — Future Circular Collider Event Data Model

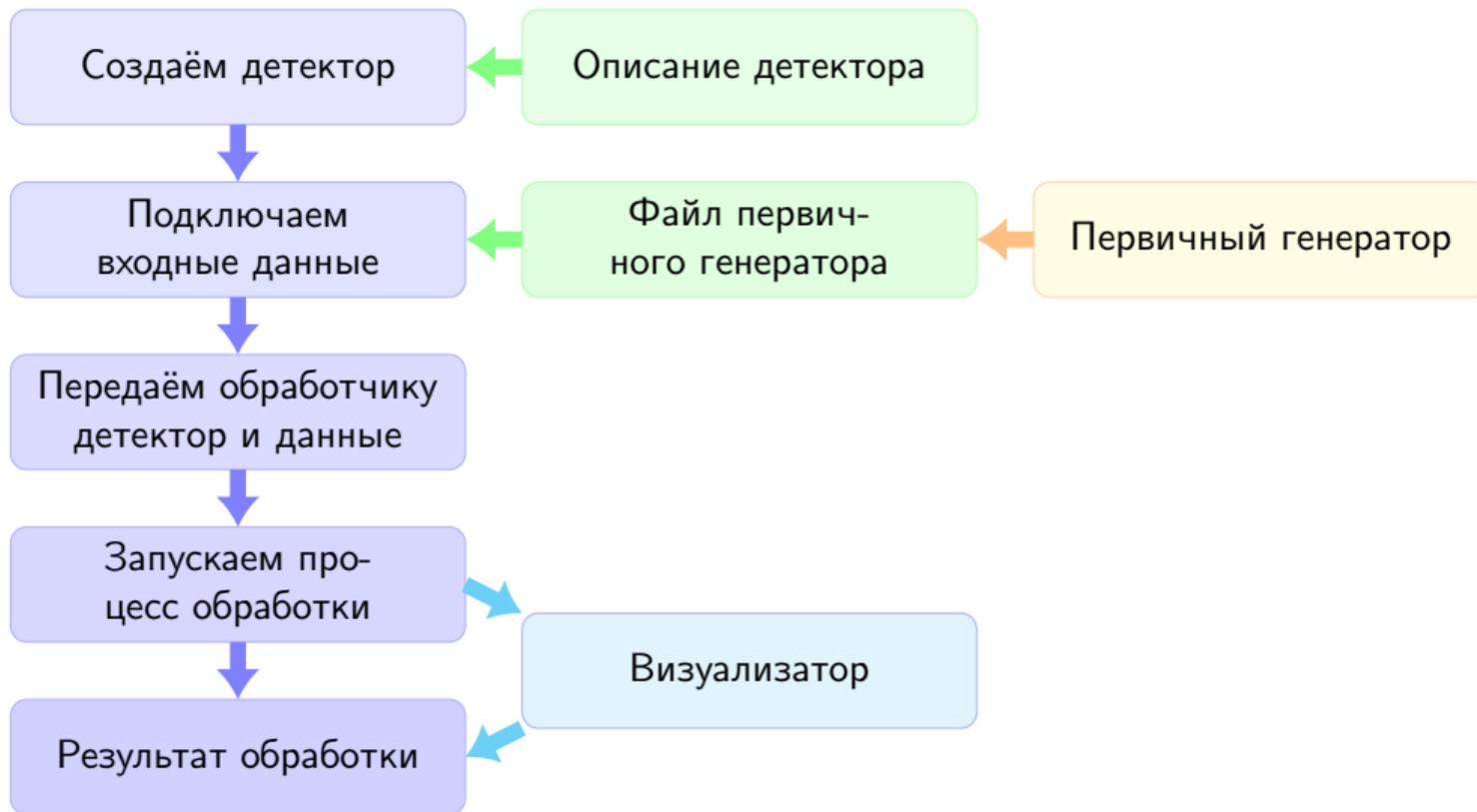
Команда:

- Разработчики:
 - Воробьев В., РГ, Белозёрова М.
- Представители систем:
 - Барняков А., Тодышев К., Углов Т.
- Пользователи:
 - ...

Схема детектора



Рабочая цепочка



Главная последовательность рабочего процесса излагается в одном python-скрипте.

```
detector = SctDetector( './cfg/sctdet_std01.cfg ' )
instore = EventStore( finname )
el = EventLooper( instore , detector , foutname , gunmode=False )
el.run( neve )
```

Описание параметров детектора двояко:

- Есть конфигурационный файл, где могут быть описана геометрия, разрешения, ссылки на вспомогательные файлы.
- Параметры описаны внутри класс соответствующей подсистемы.
- Каждая подсистема детектора представляет собой толстостенный цилиндр.

Пример из *.cfg файла:

```
"ashiph" : {  
    "rIn" : 0.821,  
    "zMin" : 1.02,  
    "rOut" : 0.89,  
    "zMax" : 1.270,  
    "hole_r" : 0.3,  
    "n" : 1.015  
},
```

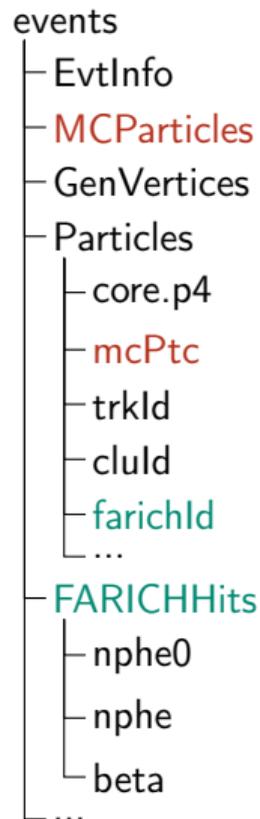
Разрешения, вероятности, отклик можно формировать как с помощью функций, так и чтением табличных данных.

```
class SctToF(CylindricalLayer):  
    def __init__(self, rIn, zMin, rOut, zMax, hole_r):  
    def process(self, gp, field, t0=0.):  
    def measuredTime(self, t):
```

```
class ToFHit(object):  
    idx = 0  
    def __init__(self, time, position):  
        self.time = time  
        ToFHit.idx = ToFHit.idx + 1
```

Выходные данные складываются
ROOT-дерево в формате PODIO.

Внутри сохраняется связь между
генераторными вершинами/частицами,
реконструированными объектами и
откликами подсистем.



Подсистемы детектора

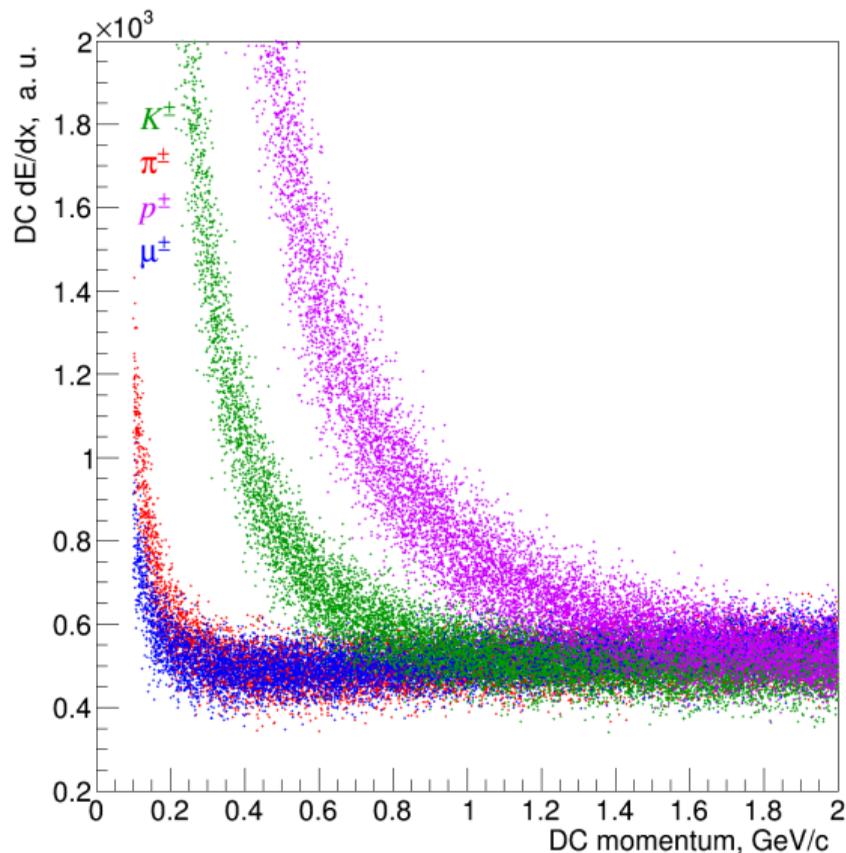
Подсистема	Модель параметризации	PAPAS/HEPPY	SctParSim
Si трекер	нет	нет	нет
TPC	нет	нет	нет
GEM трекер	нет	нет	нет
Дрейфовая камера	есть×2	даВаВа	даВаВа
p-CsI калориметр	да	да	да
LXe калориметр	нет	нет	нет
ToF	да	да	да
ToP	да	да	нет
ASHIPN	да×2	да×2	да×2
FARICH	да	да	да
DIRC	да	нет	нет
Му (пластик)	да	нет	нет

Статус:

- Сейчас параметризация соответствует ДК ВаВар (\vec{p} и dE/dx) (К. Тодышев).
- Есть нереализованная параметризация ДК sct (\vec{p}) (К. Тодышев).
- Внутреннего трекера (пока) нет.

Задачи для внутреннего трекера:

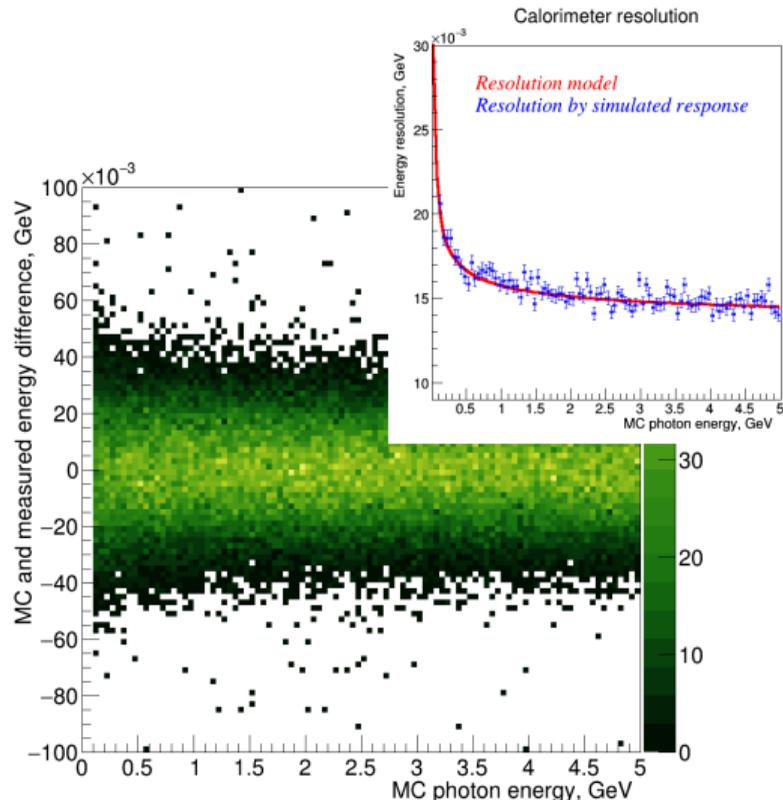
- Эффективная регистрация мягких треков.
- Эффективная регистрация треков под малыми углами.



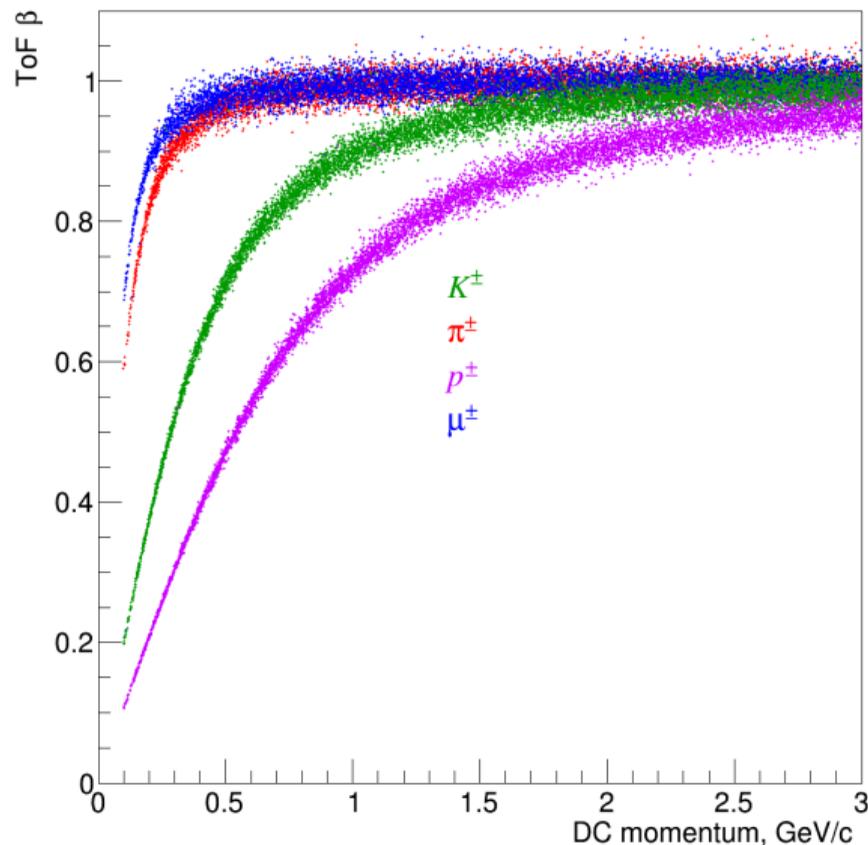
- Размер кластера разный для e^\pm , γ и μ^\pm , π^\pm , K^\pm , p^\pm и т. д.
- Модель разрешения

$$\sigma_E = \sigma_0 \oplus \frac{\sigma_1}{E} \oplus \frac{\sigma_2}{\sqrt{E}} \oplus \frac{\sigma_3}{\sqrt[4]{E}}$$

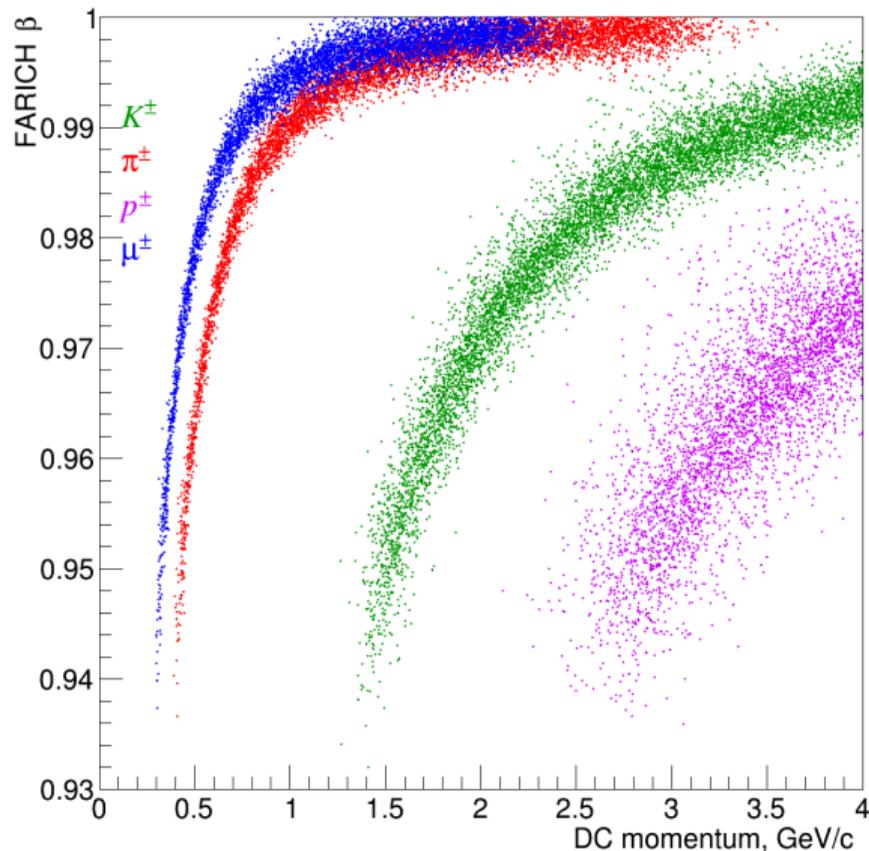
- Числа из презентации Д. Епифанова для чистого CsI калориметра (<https://indico.inp.nsk.su/event/13/session/10/contribution/17/material/slides/0.pdf>)



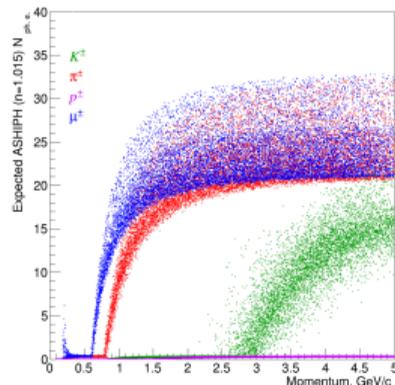
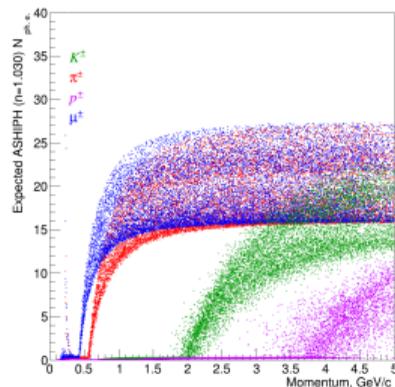
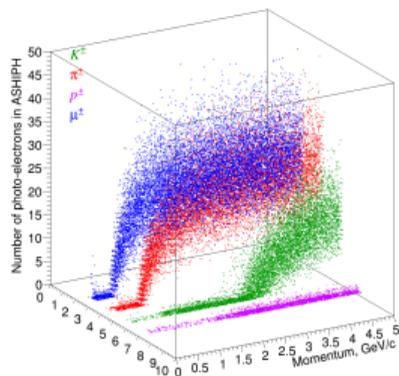
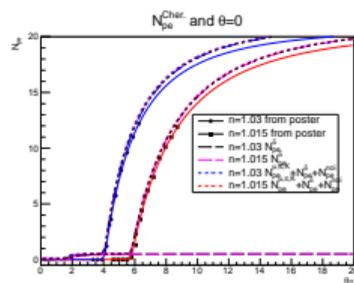
- Вычисляем время долёта частицы до ToF.
- Учитываем временное разрешение (нормальное распределение, сейчас $\sigma = 35$ пс).
- Учёт время события, добавляем ко всем измерениям одинаковую Δt_0 .
- Записываем для частиц номинальную длину трека.



- Определяется ожидаемое число фотоэлектронов N_0 для данной длины трека в радиаторе и $beta$.
- Разыгрывается число зарегистрированных фотоэлектронов согласно распределению Пуассона — N .
- Если $N \geq 4$, то считаем, что эллипс восстановлен.
- Для частиц с реконструированным эллипсом β размывается согласно табличным данным.



- Два разных радиатора:
 - $n = 1.015$, толщина 16 см;
 - $n = 1.030$, толщина 8 см.
- Учёт черенковского света от самой частицы и δ -электронов.
- Учёт вклада шумов КФЭУ.



Пример запуска

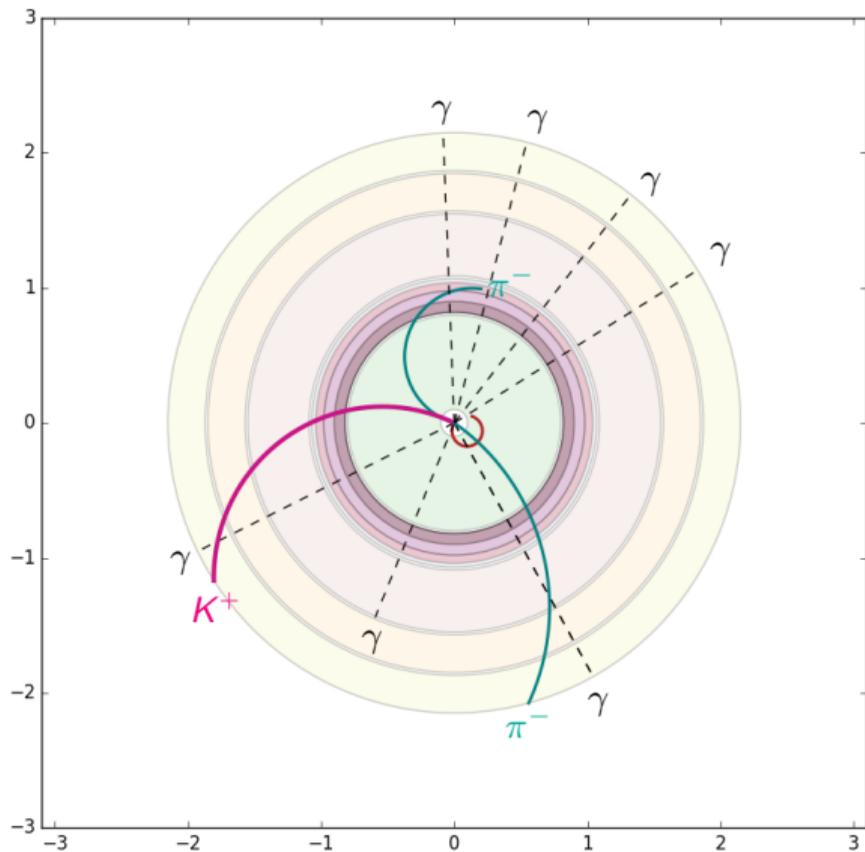
Запуск обработки файлов первичного генератора.

```
$ ./runparsim.py -i input/file.root -o output/file.root -n 1234 -b
```

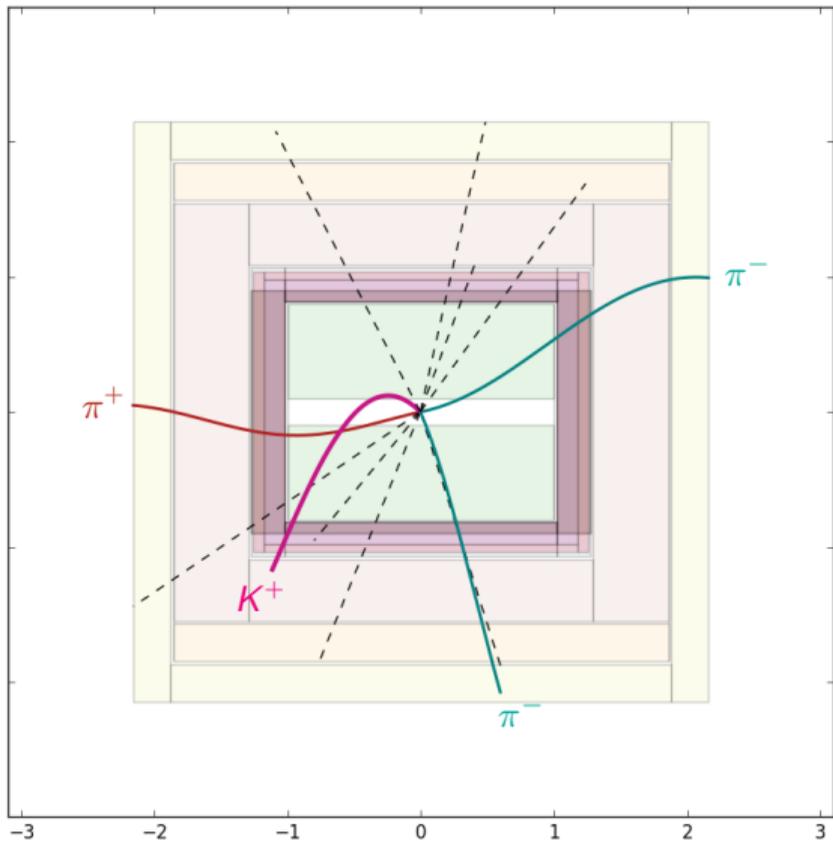
Запуск с тестовыми частицами.

```
$ ./runparsim.py gun -o output/file.root -n 1234 -b  
$ ./runparsim.py gun -i gun gun/conf/file.cfg -o out.root -n 666 -b
```

Визуализатор (событие с $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0$)



ГР, ВВ (ИЯФ)

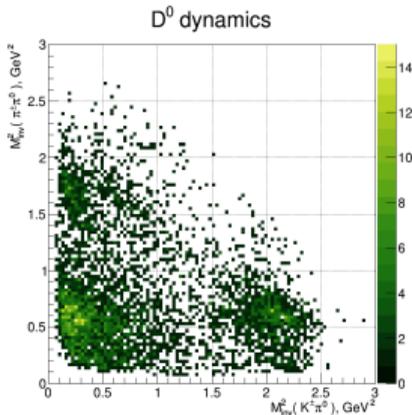
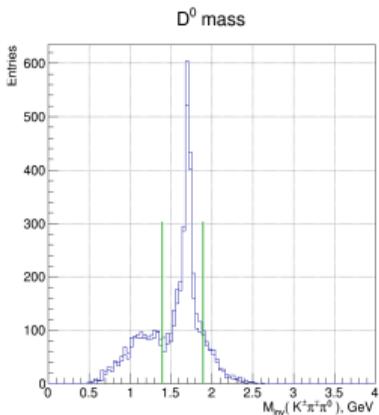
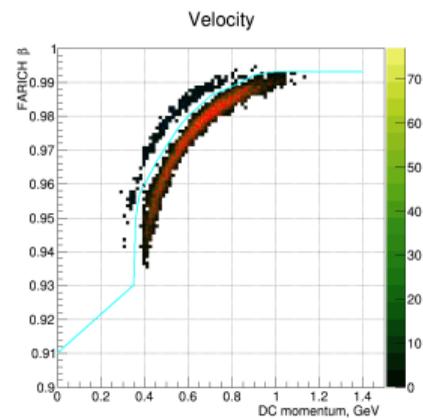
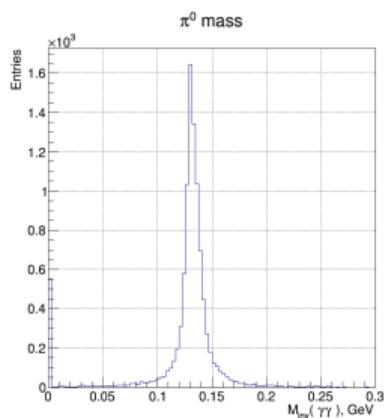
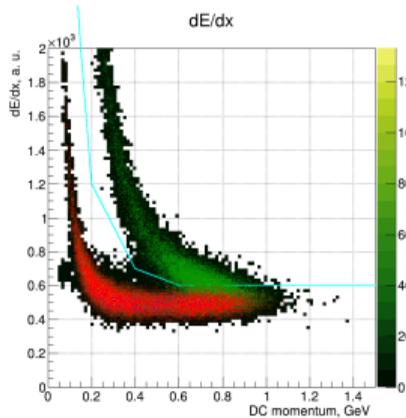


Параметрическое моделирование sctau

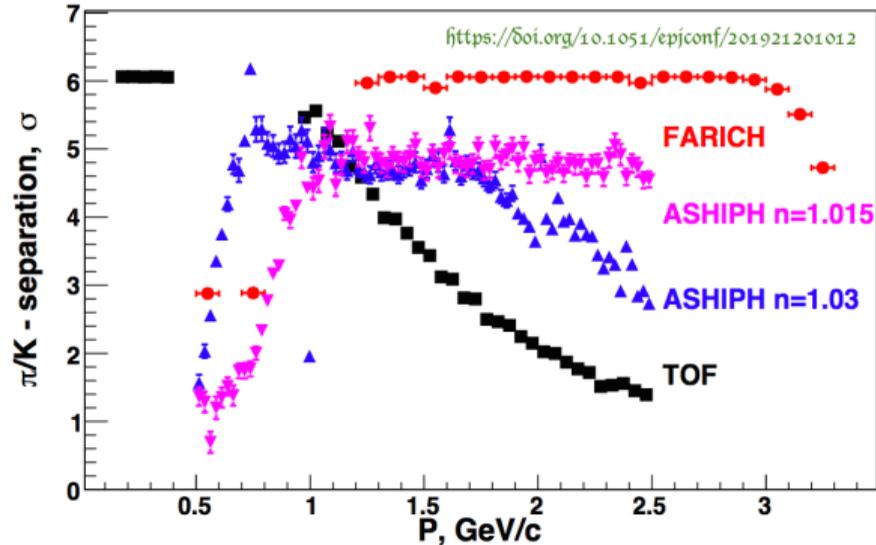
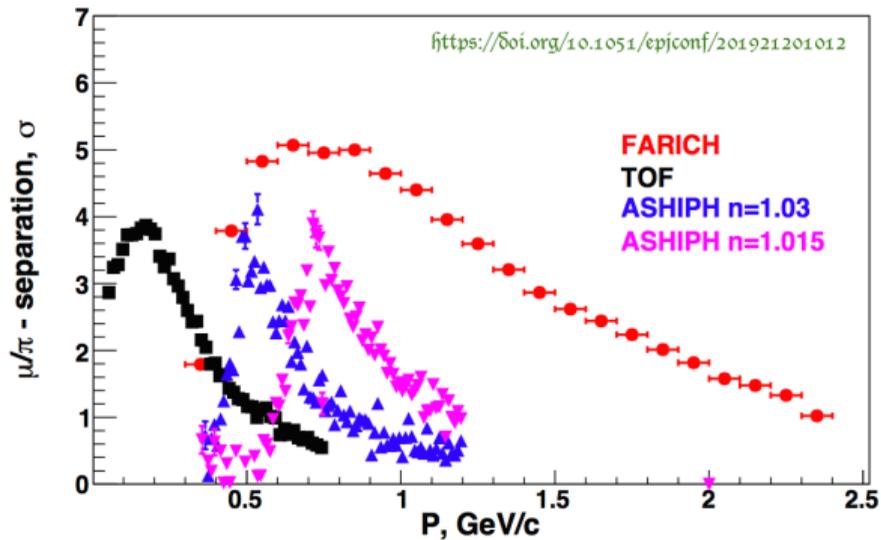
21 июня 2019 г.

20 / 27

Набросок анализа $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0$



Первые результаты...

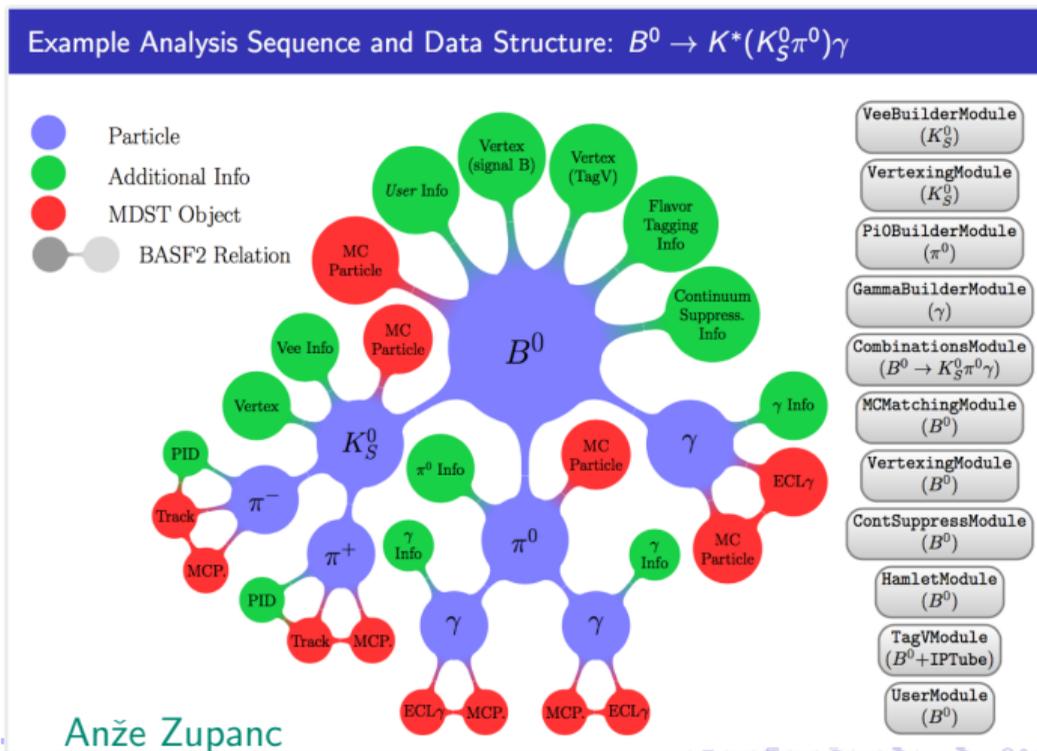


A. Yu. Barnyakov, The Super $c\text{-}\tau$ Factory particle identification system options, PhiPsi 2019,
<https://doi.org/10.1051/epjconf/201921201012>

Инструменты для физического анализа

Взяты исходники Belle II —
высокоуровневого инструмента отбора
событий.

В течение года планируем сделать
первую рабочую версию.



Top-10 topics for feasibility studies

- Soft tracks detection
 - $D^{*\pm} \rightarrow D^0 \pi^\pm$
 - $\Lambda \rightarrow pX$
- Weak J/ψ decays via the $c \rightarrow sW$ transition
 - $J/\psi \rightarrow D_s^{(*)+} l \nu$ with expected $\mathcal{B} = 3 \times 10^{-9}$
 - $J/\psi \rightarrow D_s^+ \rho^-$ and $J/\psi \rightarrow D_s^{*+} \pi^-$ with $\mathcal{B} = 3 \times 10^{-9}$
 - $J/\psi \rightarrow D^0 \rho^0$ with expected $\mathcal{B} = 2 \times 10^{-11}$
 - $J/\psi \rightarrow D^0 \pi^0$ with expected $\mathcal{B} = 0.6 \times 10^{-11}$
- Rare charmonium transitions
 - Electric dipole transitions $\eta_c(2S) \rightarrow h_c \gamma$ (2.5×10^{-3}) and $\eta_c(2S) \rightarrow \chi_{c2} \gamma$ (2×10^{-3})
 - Magnetic dipole transitions $\eta_c(2S) \rightarrow J/\psi \gamma$ (3×10^{-5}) and $h_c \rightarrow \chi_{c0} \gamma$ ($\sim 10^{-6}$)
- Measurements of absolute branching fractions
 - $Br(D^0 \rightarrow K^- \pi^+)$ with double tag technique
 - $Br(D^+ \rightarrow K^- 2\pi^+)$ with double tag technique
 - $Br(\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+)$ with double tag technique
- Decays with K_L^0 meson ($D^0 \rightarrow K_L^0 \pi^+ \pi^-$)
- Search for $\tau \rightarrow \mu \gamma$ decay
- Hadronic τ decays (CP asymmetry, strong coupling constant, CKM matrix element, strange quark mass measurements)
 - $\tau \rightarrow \pi^+ \nu$
 - $\tau \rightarrow K_S^0 \pi^+ \nu$
 - $\tau \rightarrow K^+ \nu$
 - $\tau \rightarrow K^+ \pi^0 \nu$
- (Semi-)leptonic $D_{(s)}$ decays
 - $D^+ \rightarrow l^+ \bar{\nu}$
 - $D^0 \rightarrow X l^+ \bar{\nu}$
 - $D_s^+ \rightarrow l^+ \bar{\nu}$
- Measurements of strong phases with quantum correlations in $\psi(3770) \rightarrow D^0 \bar{D}^0$
 - $\delta_{K\pi}$ for $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$
 - $\delta_{K\pi\pi}$ and coherence factor for $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0$
 - Binned Dalitz plot parameters for $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$
- Measurements utilizing polarized beams
 - Michael parameters measurement and lepton flavor universality test with $\tau^- \rightarrow l^- \nu_\tau \bar{\nu}_l$
 - Weinberg angle via the $\sigma(e^+ e^- \rightarrow J/\psi)$ asymmetry
 - Beam polarization, $\Lambda^0 \rightarrow p \pi^-$ decay parameter and CP asymmetry measurements in $J/\psi \rightarrow [\Lambda^0 \rightarrow p \pi^-][\bar{\Lambda}^0 \rightarrow \bar{p} \pi^+]$

https://ctd.inp.nsk.su/wiki/index.php/Top-10_topics_for_feasibility_studies

Готовые файлы моделирования

Mother particle	Ecms, GeV	Root particle
J/ψ	3.096	J/ψ
$\psi(2S)$	3.686	$\psi(2S)$
$\psi(3770)$	3.773	$\psi(3770)$
$\psi(4040)$	4.04	$\psi(4040)$
$q\bar{q}, q \in \{u, d, s\}$	3.773	γ^*
$\tau^+\tau^-$	3.55364	γ^*
$\Lambda_c^+\Lambda_c^-$	4.58	γ^*
$\Xi_c^0\Xi_c^0$ $\Xi_c^- \Xi_c^+$	4.95	γ^*

Decay channel	Ecms, GeV	Root particle
$D^+ \rightarrow \tau^+\nu$	3.77	$\psi(3770)$
$D^+ \rightarrow \mu^+\nu$	3.77	$\psi(3770)$
$D^+ \rightarrow e^+\nu$	3.77	$\psi(3770)$
$D^+ \rightarrow K^-\pi^+$	3.77	$\psi(3770)$
$D^+ \rightarrow K^-\pi^+\pi^0$	3.77	$\psi(3770)$
$D^+ \rightarrow K^-3\pi^+$	3.77	$\psi(3770)$
$D^+ \rightarrow K_S^0\pi^+\pi^-$	3.77	$\psi(3770)$
$\tau \rightarrow \mu\gamma$	3.6	γ^*
$\tau \rightarrow \mu\pi^0$	3.6	γ^*

https://ctd.inp.nsk.su/wiki/index.php/MC_Data_Sets

Статус

- Готов каркас системы параметрического моделирования.
- Реализован ряд подсистем детектора.
- Первые результаты по исследованию систем идентификации.

Планы

- Продолжить внедрение различных подсистем детектора.
- Уточнение параметризации подсистем.
 - Ложные срабатывания.
- Реалистичная модель физической реконструкции.
 - Наложение хитов.
- Разработка инструментов для анализа.
 - Кинематическая реконструкция.

Приглашаем к сотрудничеству.



Fin

Часто задаваемые вопросы

Учёт dE/dx и рассеяния на малые углы?

Нет.

Подмешивание шумовых срабатываний, ложные треки, фоновые фотоны?

Нет.

Учёт наложения кластеров в калориметре?

Пока нет.

Возможно ли геометрическое перекрытие подсистем?

Да.