



Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ»

Кафедра физики элементарных частиц №40



Научная исследовательская работа студента на тему:

# Моделирование и анализ $\phi(1020)$ в ультрапериферических столкновениях тяжелых ионов

Научный руководитель:  
Тимошенко С.Л.

Работа  
студента 4-ого курса  
Захарова Арсения  
Михайловича  
ИЯФит

г. Москва 2022

# Поставленные задачи

Выполнено:

Задача 1:

Ознакомление с программным пакетом. Симуляция 10.000 распадов  $\rho_0 \longrightarrow \pi^+ \pi^-$  с построением характерных гистограмм;

Задача 2:

Введение нового канала распада  $\varphi \longrightarrow K_S^0 K_L^0$ , построение распределений;

Текущий этап:

Полное моделирование двухэтапного распада  $\varphi \longrightarrow K_S^0 K_L^0$   
с помощью ATLAS софта; Анализ выходных и  $K_S^0 \longrightarrow \pi^+ \pi^-$   
экспериментальных данных.

# Что такое STARlight?

STARlight - это Монте-Карло генератор, моделирующий двухфотонное и фотон-померонное взаимодействие между релятивистскими ядрами и протонами.

Данная программа была написана специально для образования частиц в ультрапериферических взаимодействиях при энергиях RHIC для эксперимента STAR. Программный пакет учитывает возможность перехода ядра из основного состояния в возбужденное при обмене дополнительным фотоном. В программе также разыгрывается распад частиц по двухчастичному каналу, с учетом мод распада данной частицы.

# HTCondor

HTCondor - это высокопроизводительная вычислительная служба. Его задача - решать, как и когда задания, представленные пользователями, должны выполняться с помощью распределенной вычислительной службы. Он принимает эти решения таким образом, чтобы справедливо разделить доступные ресурсы между всеми пользователями системы. Когда вы отправляете задания в HTCondor из lxplus, он добавляет их в очередь. Как только они попадают в начало очереди, они автоматически отправляются на некоторые рабочие узлы службы распределенных вычислений. Затем задания выполняются на узлах, назначенных HTCondor. По завершении каждого из них пользователю возвращаются все результаты, а также все возникшие ошибки.

Причины: ограниченное экранное время lxplus. Невозможно провести симуляцию и реконструкцию более 100 событий, что является слишком малой статистикой;

Преимущества: возможность выполнить практически любую задачу; Большой выбор временных промежутков в течение которых кондор должен провести свою работу

Недостатки: ограниченный объём памяти на lxplus. Так, файл с данными после реконструкции 50.000 событий весит около 14ГБ, при максимально допустимом объеме памяти на lxplus в 10ГБ.

```
espresso      = 20 minutes
microcentury  = 1 hour
longlunch     = 2 hours
workday       = 8 hours
tomorrow      = 1 day
testmatch     = 3 days
nextweek      = 1 week
```

# ParticleGun

Генератор ParticleGun является более общим преемником давно используемого пакета ParticleGenerator. Все ParticleGun могут генерировать одну или несколько частиц, указанных в виде их PDG ID, исходящих из одной и той же вершины (0,0,0). Каждая частица может быть дополнена своей античастицей (если она существует; в противном случае - другой частицей с тем же идентификатором) с противоположными (px,py,pz).

Цель: еще один способ смоделировать отдельный резонанс; Сравнение выходных файлов PG и StarLight

Достоинства: прост в эксплуатации

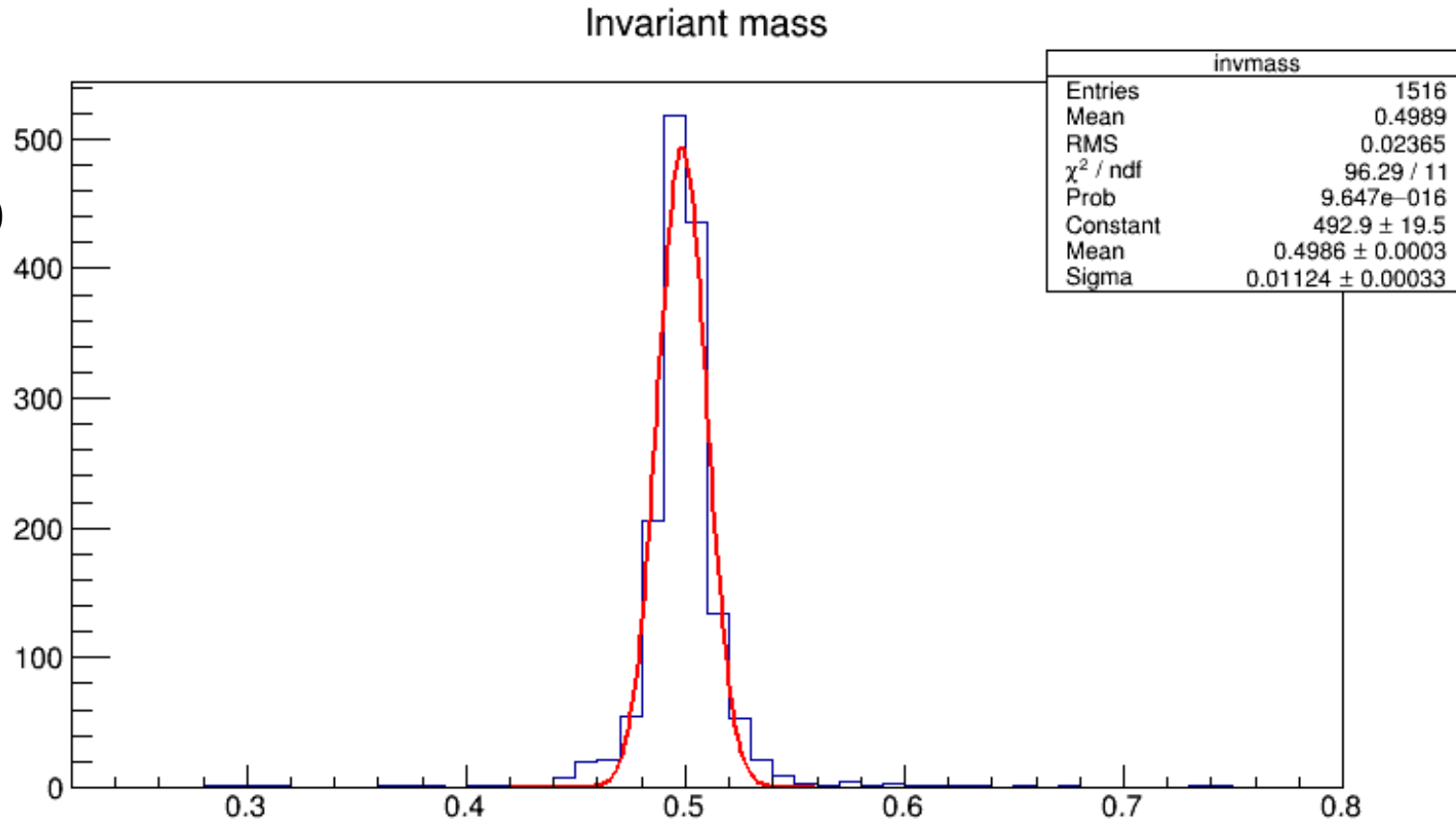
Недостатки: не обнаружены

## Пример скрипта

```
#!/ *- python *-  
# Copyright (C) 2002-2017 CERN for the benefit of the ATLAS collaboration  
  
include("GeneratorUtils/StdEvgenSetup.py")  
theApp.EvtMax = 10000  
import ParticleGun as PG  
pg = PG.ParticleGun()  
pg.randomSeed = 123456  
pg.sampler.pid = {310,130}  
pg.sampler.mom = PG.EEtaMPhiSampler(energy=10000, eta=[-2,2])  
topSeq += pg  
include("GeneratorUtils/postJO.CopyWeights.py")  
include("GeneratorUtils/postJO.PoolOutput.py")  
include("GeneratorUtils/postJO.DumpMC.py")
```

# Полученные распределения (StarLight)

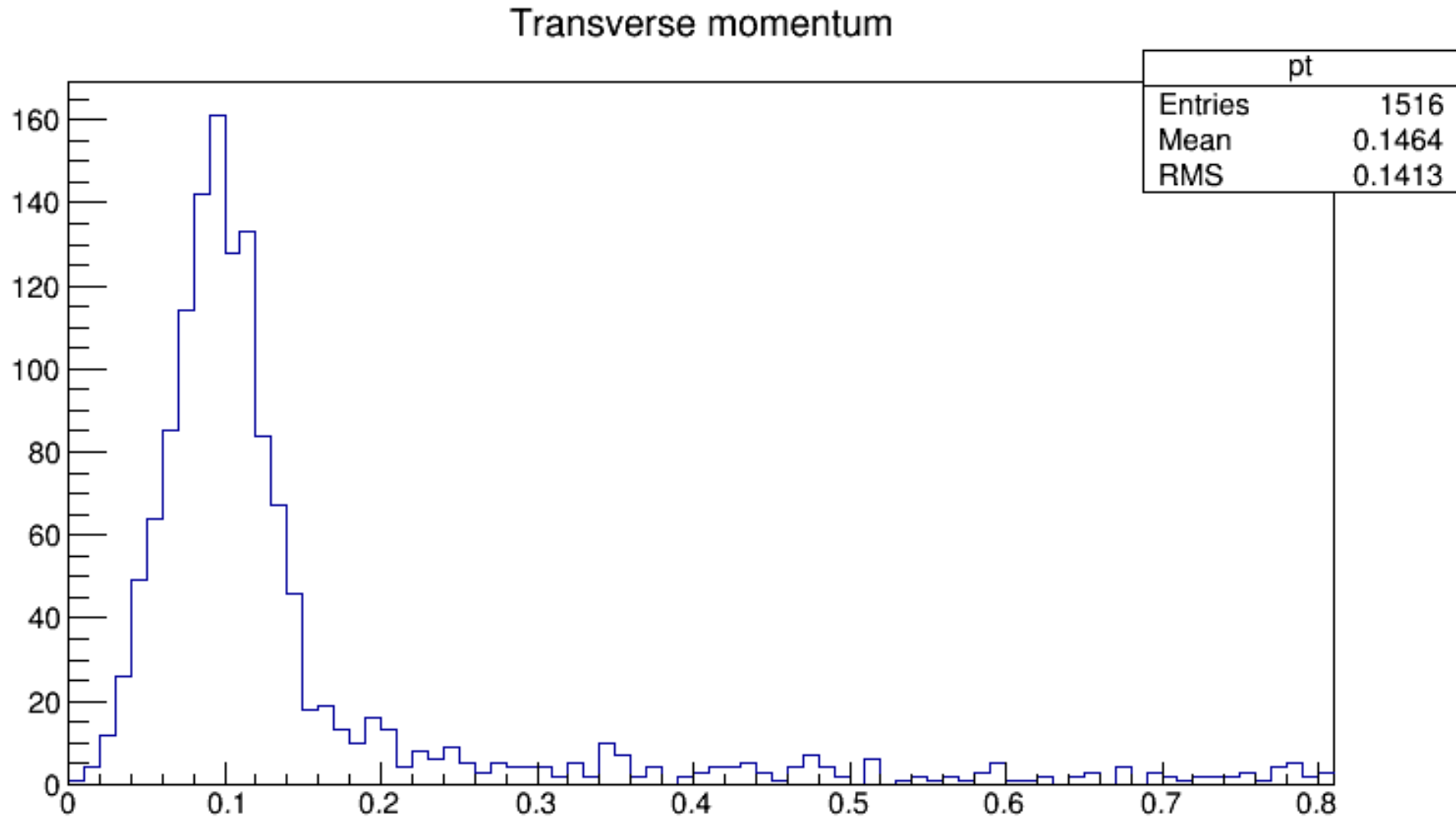
Критерии отбора:  
 $\Sigma Q = 0$  ( $\phi \rightarrow K_L K_S$ )  
 Total\_tracks = 2  
 (2 трека в событии)  
 d01, d02 – «коридор»,  
 См. далее



Распределение по инвариантной массе – характерный пик  $\approx 0.5$  GeV  
 (Mean = 4.98557e-001 ± 3.02586e-004       $\chi^2/\text{ndf} = 96.29/11 \approx 8.7$ )

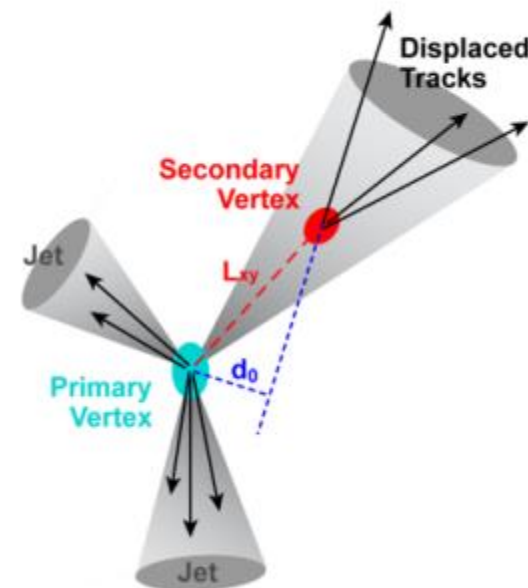
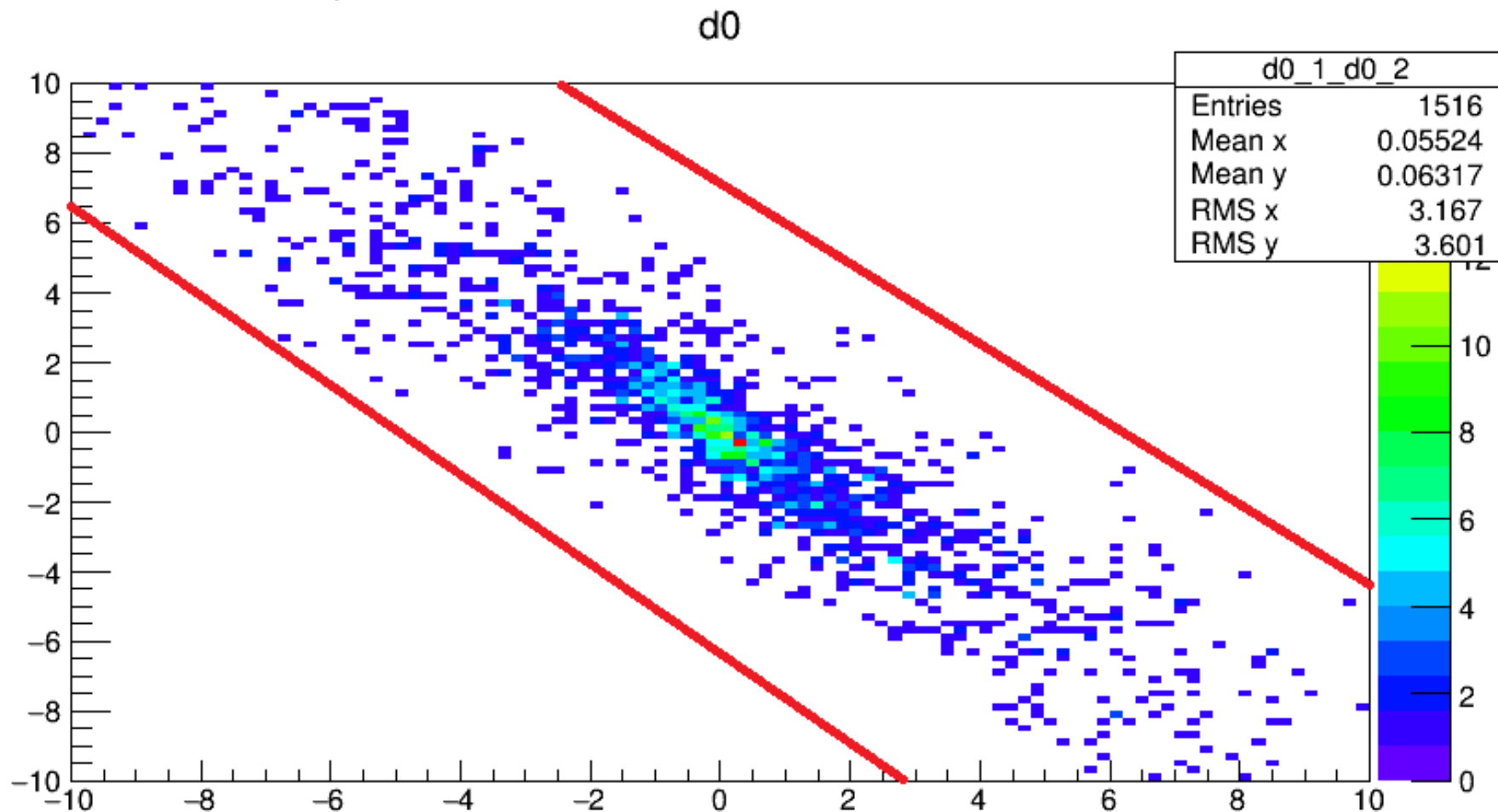
$$K_S^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(d\bar{s} - s\bar{d}), m = 498 \text{ MeV}/c^2, \tau = 0.90 \times 10^{-10} \text{ s}, c\tau = 2.68 \text{ cm}.$$

# Полученные распределения (StarLight)



Распределение по поперечному импульсу  
(суммарное по двум трекам)

# Полученные распределения (StarLight)



Двухмерное распределение  $d0_1/d0_2$

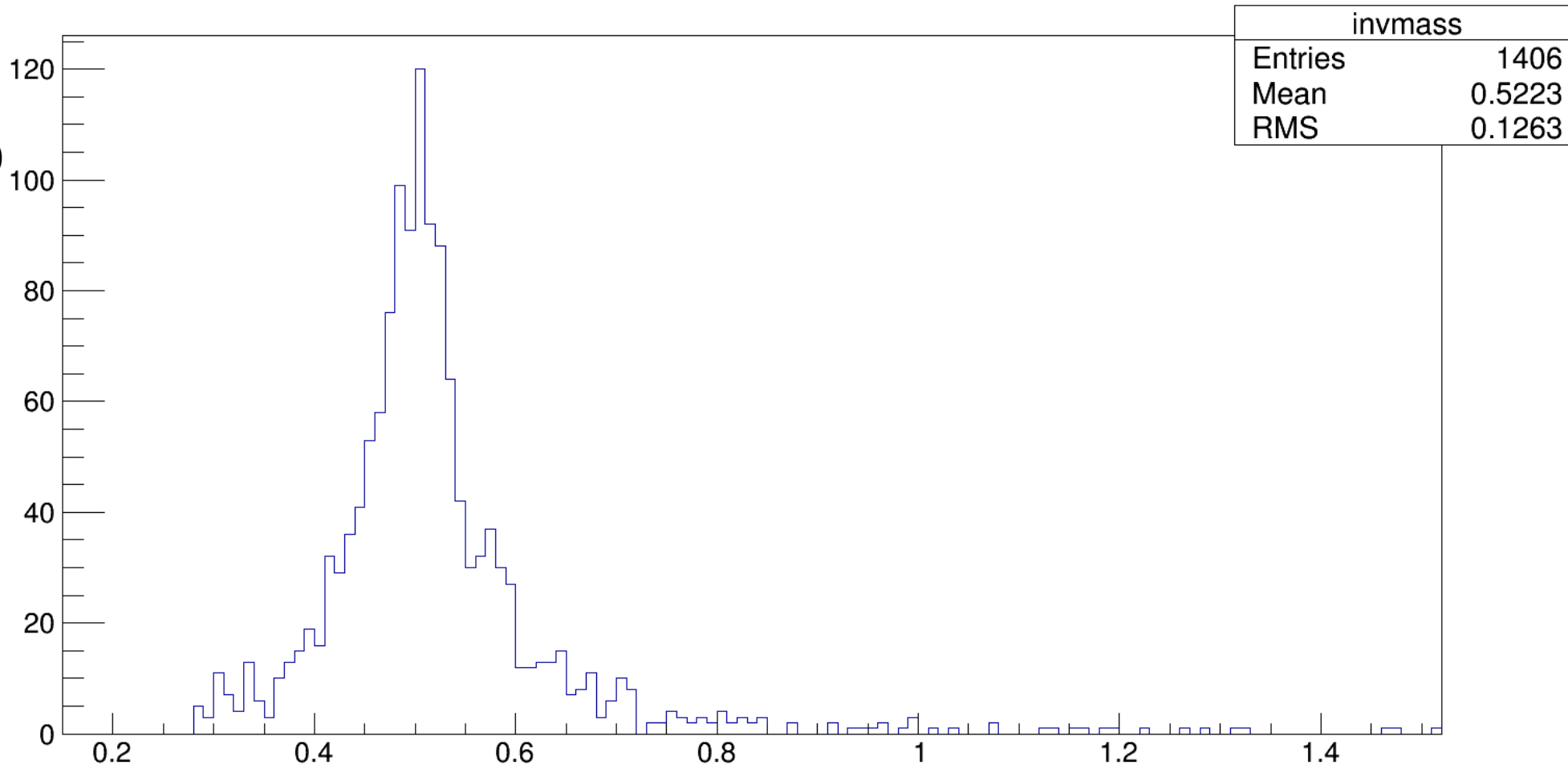
(красным – рамки отбора большинства событий или «коридор»)



# Полученные распределения (ParticleGun)

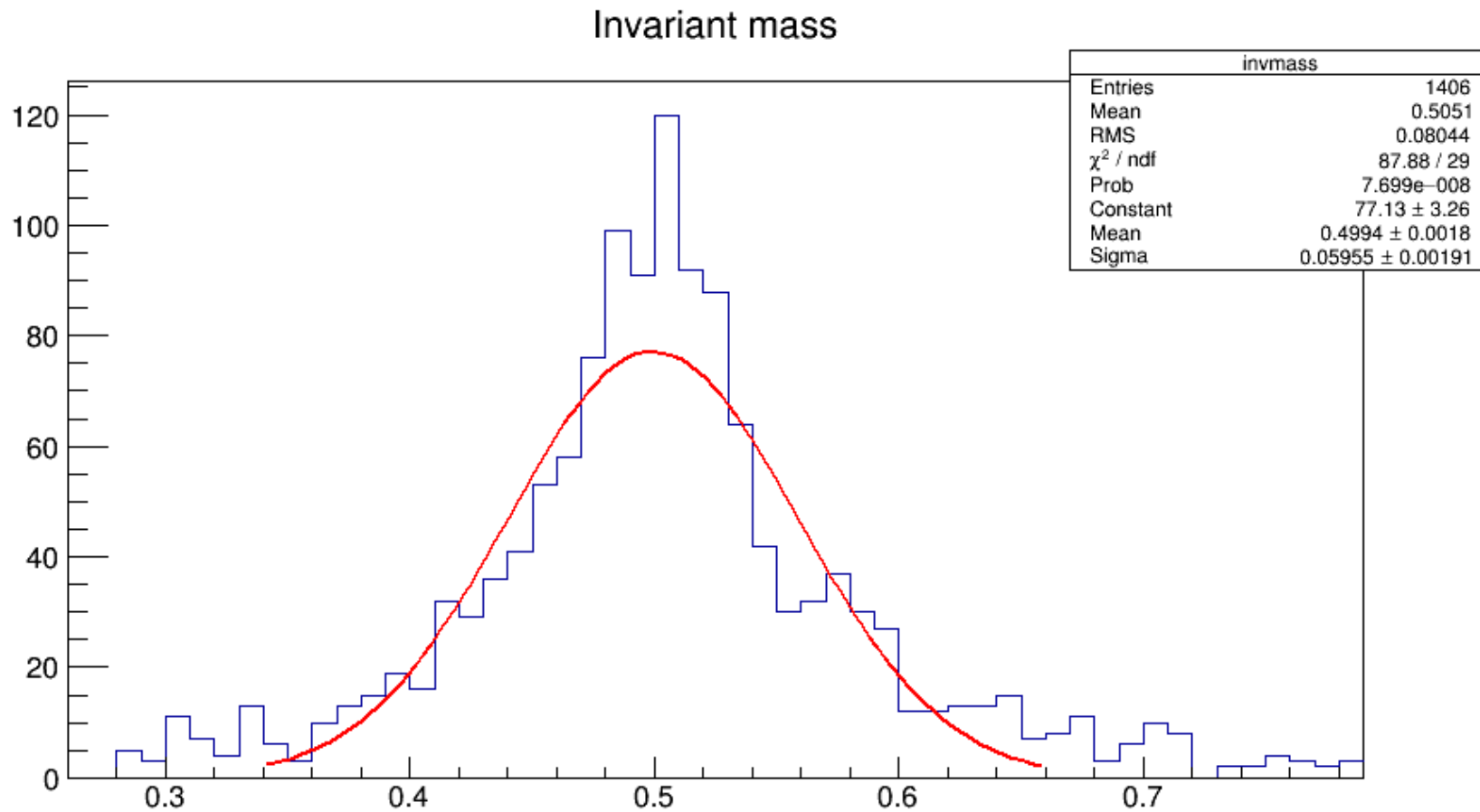
Invariant mass

Критерии отбора:  
 $\Sigma Q = 0$  ( $\varphi \rightarrow K_l K_s$ )  
Total\_tracks = 2  
(2 трека в событии)  
d01, d02 – «коридор»,  
См. далее



Распределение по инвариантной массе

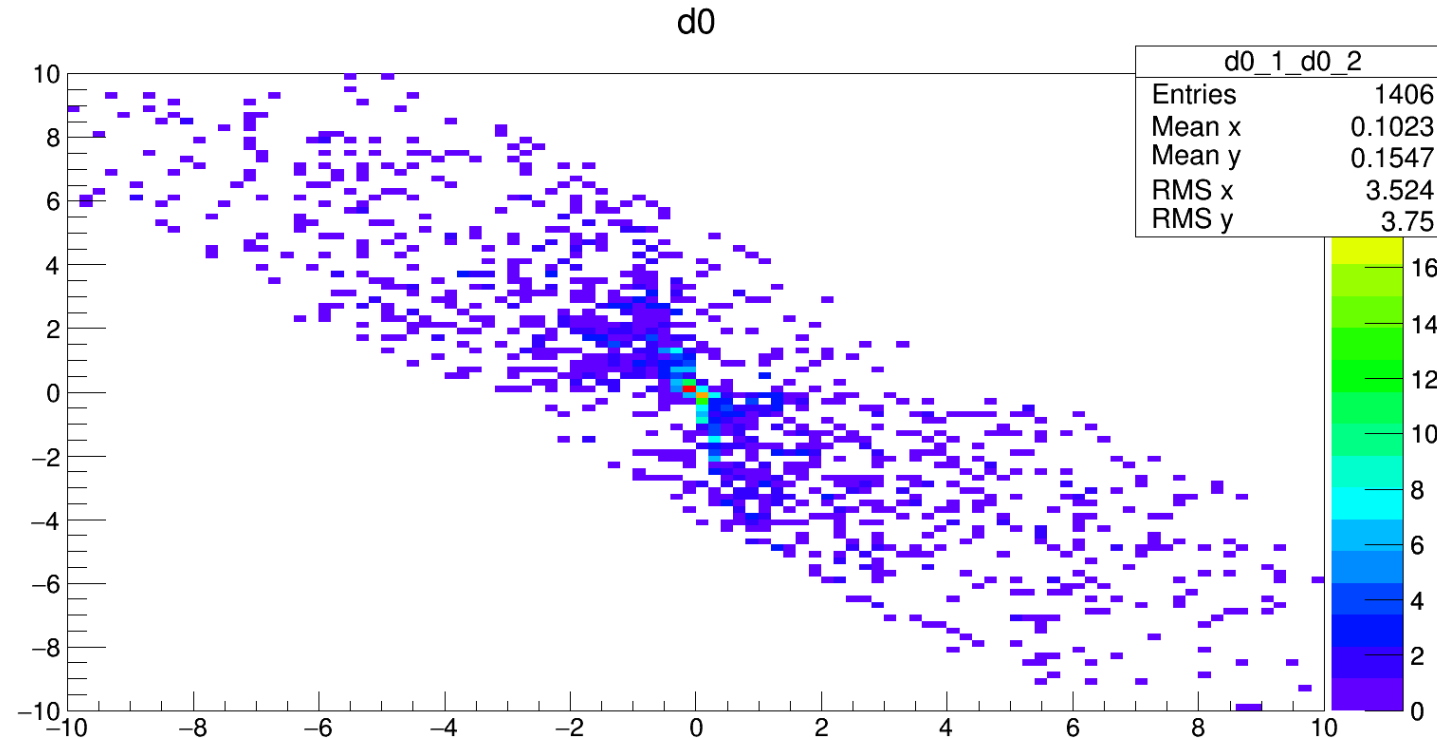
# Полученные распределения (ParticleGun)



Распределение по инвариантной массе (меньший биннинг, фит)  
 (Mean = 0.4994  $\pm$  0.0018       $\chi^2/\text{ndf}$  = 87.88/29  $\approx$  3,03)

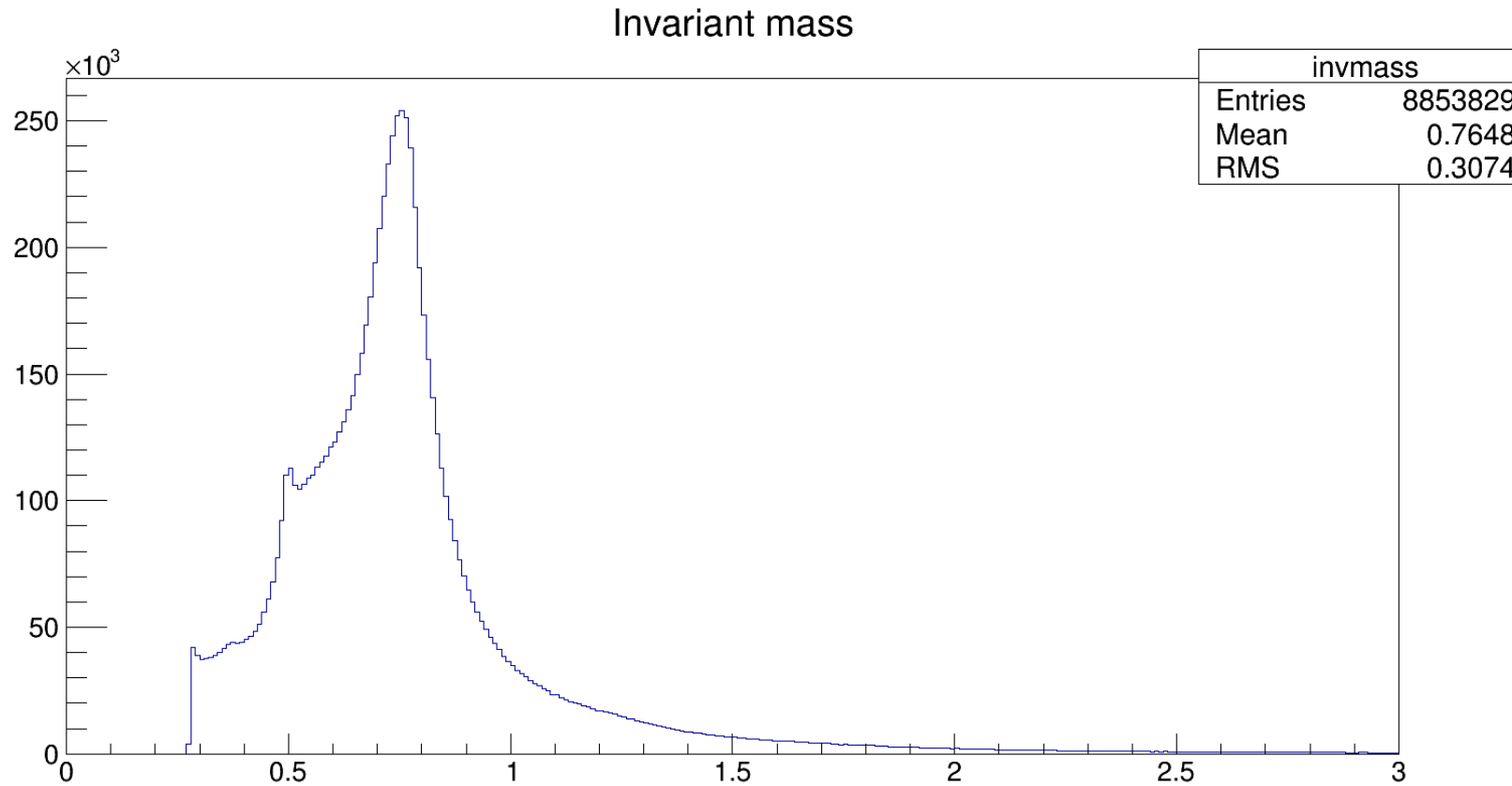
$$K_S^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(d\bar{s} - s\bar{d}), m = 498 \text{ MeV}/c^2, \tau = 0.90 \times 10^{-10} \text{ s}, c\tau = 2.68 \text{ cm}.$$

# Полученные распределения (ParticleGun)



Двухмерное распределение  $d0_1/d0_2$   
(отбор событий – «коридор»)

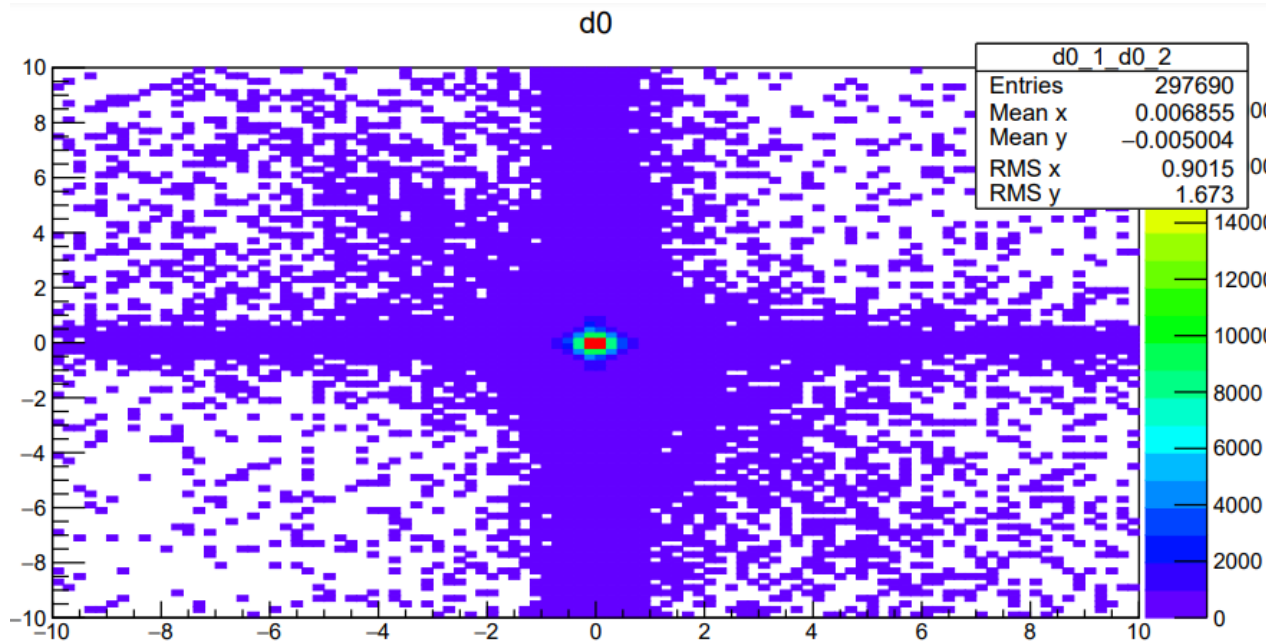
# Полученные распределения (экспериментальные данные)



Распределение по инвариантной массе

Характерные пики 0.77 GeV(ро мезон) и 0.5 GeV (короткоживущий каон)

# Полученные распределения (экспериментальные данные)



Экспериментальное распределение

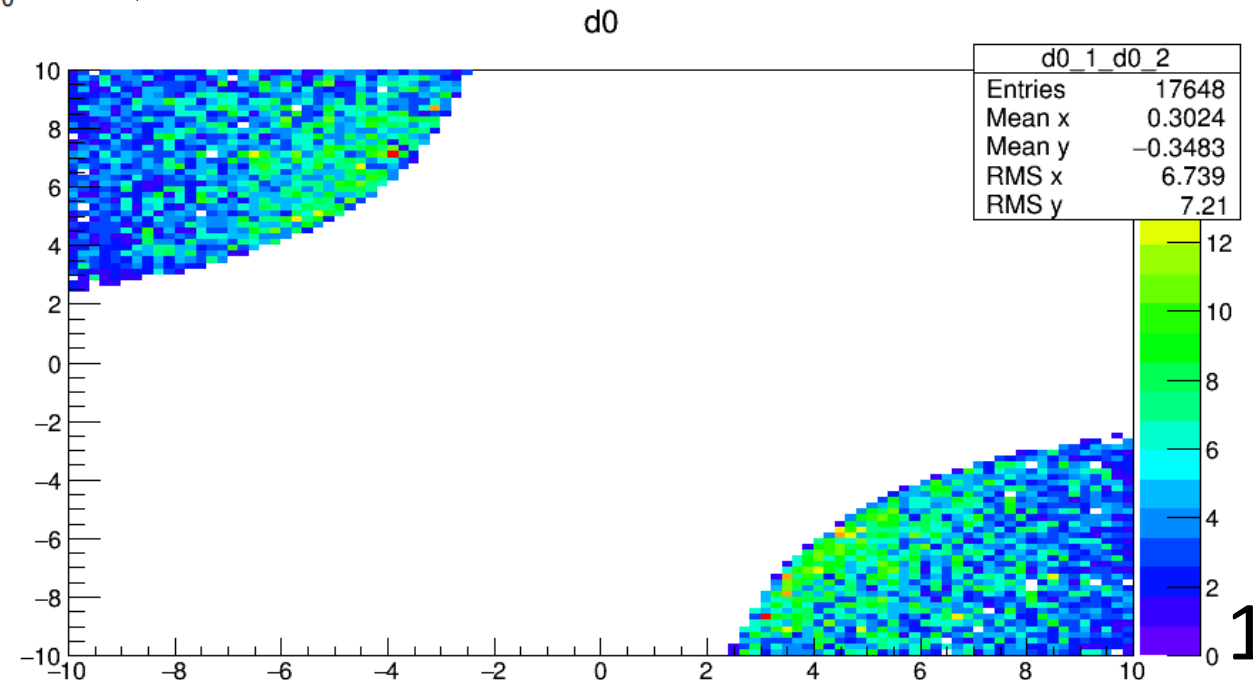
Необходимо выделить «коридор» событий (слайд 8)

Условия отбора (совместе с предыдущими):

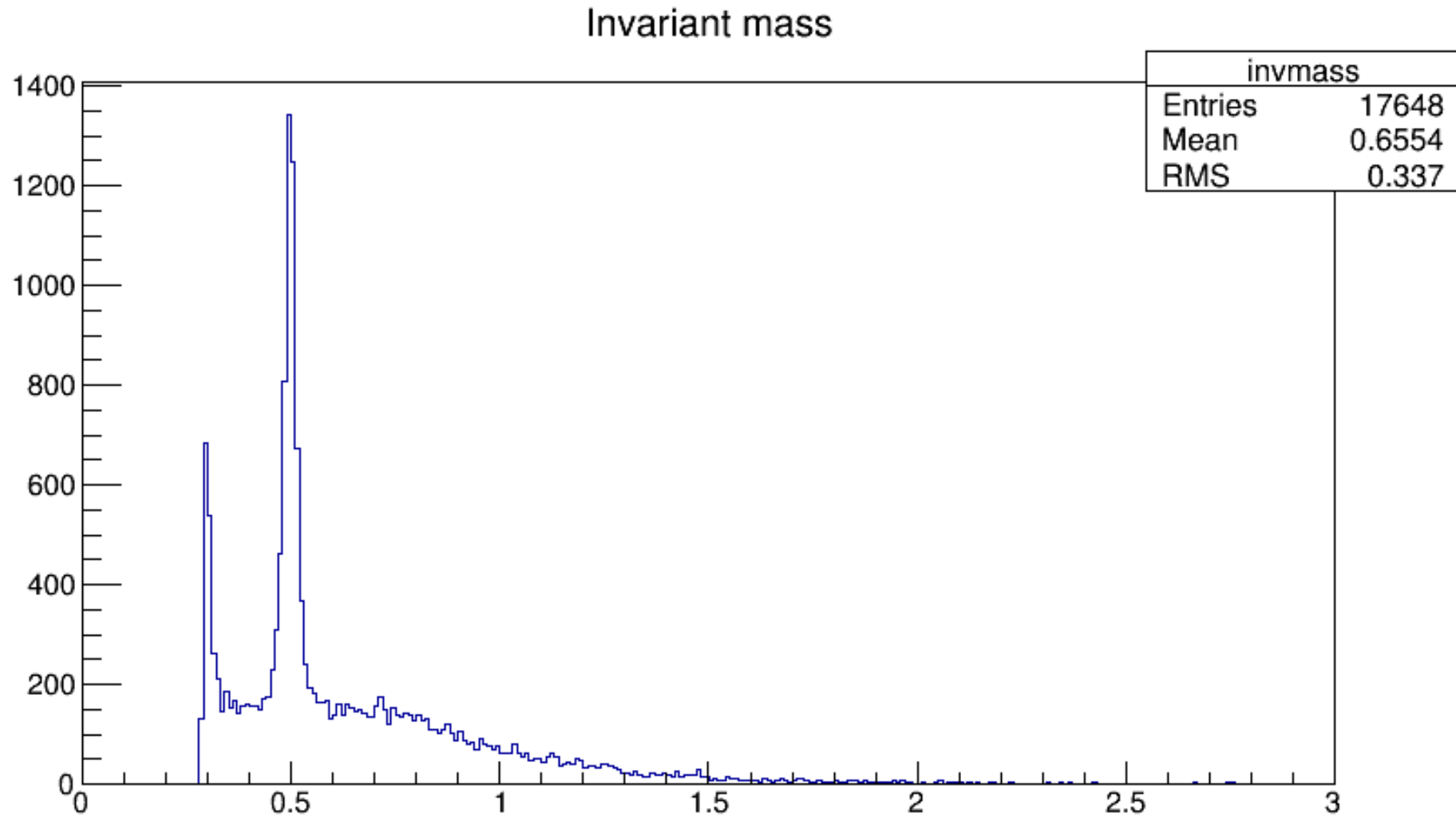
$$d01 * d02 < -25$$

$$\text{razlet\_angle} > 0.2$$

Распределение после отборов  
Отбор из около  $8 \cdot 10^6$  событий  
В будущем планируется расширить условия отбора для улучшения статистики



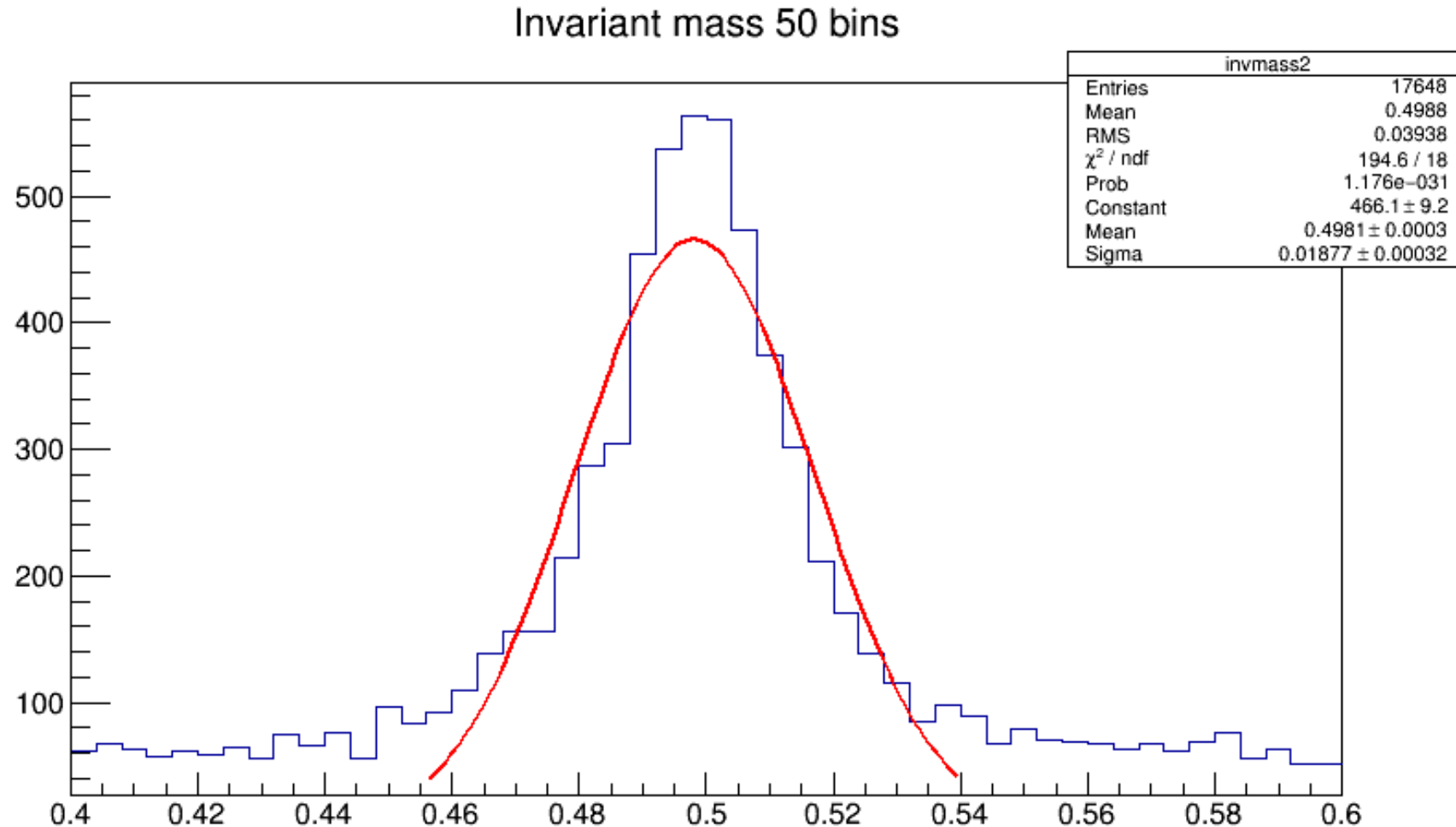
# Полученные распределения (экспериментальные данные)



Распределение по инвариантной массе – характерный пик в 0.5 Gev

Меньший пик – несовершенный отбор событий

# Полученные распределения (экспериментальные данные)



Распределение по инвариантной массе (меньший биннинг, фит)

(Mean = 0.4981  $\pm$  0.0003       $\chi^2/\text{ndf}$  = 194.6/18  $\approx$  10,8)

$$K_S^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(d\bar{s} - s\bar{d}), m = 498 \text{ MeV}/c^2, \tau = 0.90 \times 10^{-10} \text{ s}, c\tau = 2.68 \text{ cm}.$$

# Заключение

Сейчас:

Включен новый канал распада в программный пакет «StarLight», проведено полное моделирование (генерация, симуляция, оцифровка, реконструкция) выходных файлов. Увеличена статистика с помощью вычислительной службы HTCondor;

- Сравнение полученных данных с моделью, построенной с помощью ParticleGun;
- Анализ экспериментальных данных

Планируется:

- Увеличить статистику, поиск путей обхода ограничений;
- Оптимизация критериев отбора для выделения пика короткоживущего каона;
- Расчет эффективности детектирования каона для определения сечения рождения  $\phi$  мезона.



**BACK UP**

# Команды

setupATLAS

1. Генерация: Asetup 21.6.20,AthGeneration

Gen\_tf.py --ecmEnergy=5020 --jobConfig=421120 --maxEvents=10 --outputEVNTFile = test\_starlight\_.EVNT.pool.root

2. Симуляция: asetup Athena,21.0.93,here

Sim\_tf.py --inputEvgenFile 'EVNT.pool.root' --outputHITSFile 'HITS.pool.root' --AMIconfig s3469

3. Оцифровка, Реконструкция: asetup Athena,21.0.97,here

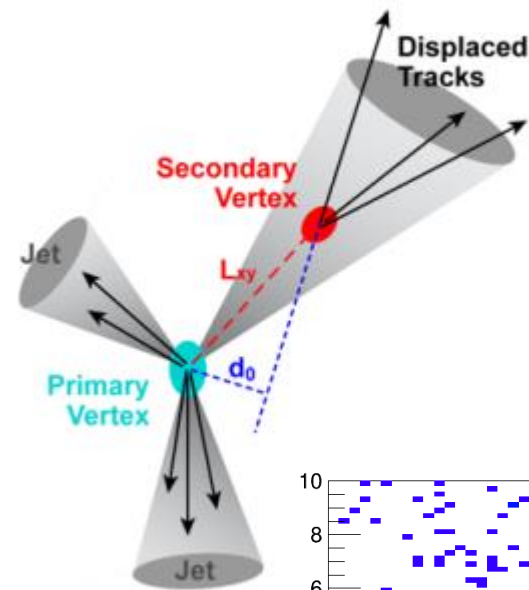
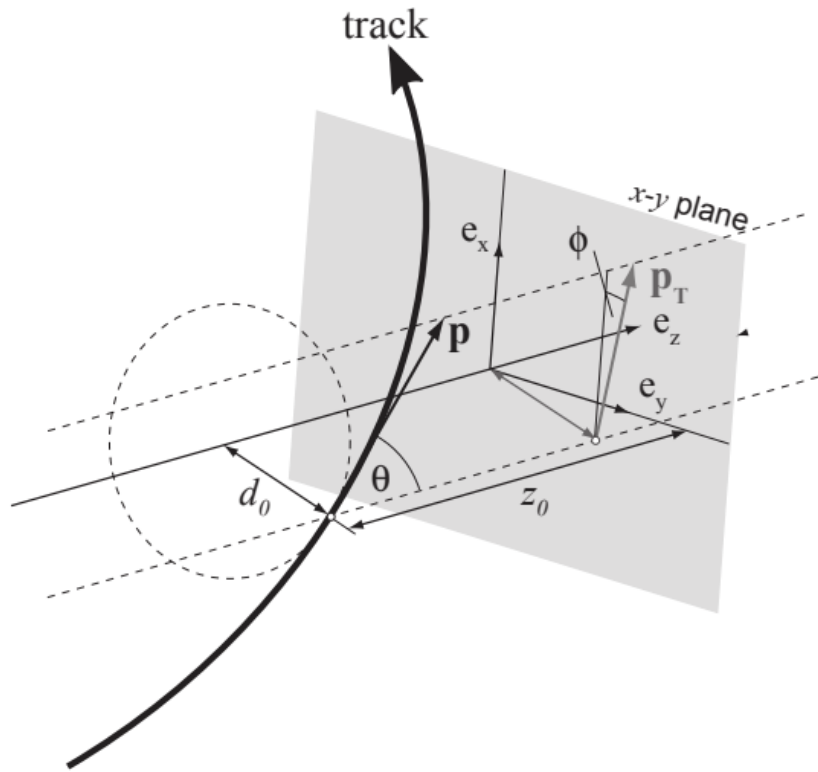
Reco\_tf.py --inputHITSFile 'HITS.pool.root' --outputAODFile=AOD.pool.root --outputESDFile=ESD.pool.root --AMIconfig r11509

```
include("Starlight_t/Starlight_Common.py")

genSeg.Starlight.Initialize = \
["beamIZ 82", "beamIA 208", #Z,A of projectile
 "beamZZ 82", "beamZA 208", #Z,A of target
 # TODO: Calculate this from runArgs.ecmEnergy
 "beam1Gamma 2705", #Gamma of the colliding ion1, for sqrt(nn)=5.02 TeV
 "beam2Gamma 2705", #Gamma of the colliding ion2, for sqrt(nn)=5.02 TeV
 "maxW 4", #Max value of w
 "minW 0.6", #Min value of w
 "nmbWBins 200", #Bins n w
 "maxRapidity 3", #max y
 "nmbRapidityBins 200", #Bins n y
 "accCutPt 0", #Cut in pT? 0 = (no, 1 = yes)
 "minPt 0", #Minimum pT in GeV
 "maxPt 10.0", #Maximum pT in GeV
 "accCutEta 0", #Cut in pseudorapidity? (0 = no, 1 = yes)
 "minEta -2.7", #Minimum pseudorapidity
 "maxEta 2.7", #Maximum pseudorapidity
 "productionMode 2", #(1=2-photon,2=vmeson(narrow),3=vmeson(wide))
 "nmbEventsTot 1", #Number of events
 "prodParticleId 334", #Channel of interest
 "beamBreakupMode 5", #Controls the nuclear breakup
 "interferenceEnabled 0", #Interference (0 = off, 1 = on)
 "interferenceStrength 1.", #% of interference (0.0 - 0.1)
 "coherentProduction 1", #Coherent=1,Incoherent=0
 "incoherentFactor 1.", #percentage of incoherence
 "maxPtInterference 0.24", #Maximum pt considered, when interference is turned on
 "nmbPtBinsInterference 120", #Number of pt bins when interference is turned on
 "xsecMethod 1", #Set to 0 to use old method for calculating gamma-gamma luminosity
 "nThreads 1", #Number of threads used for calculating luminosity (when using the new method)
 "pythFullRec 1" #Write full pythia information to output (vertex, parents, daughter etc)
]
```

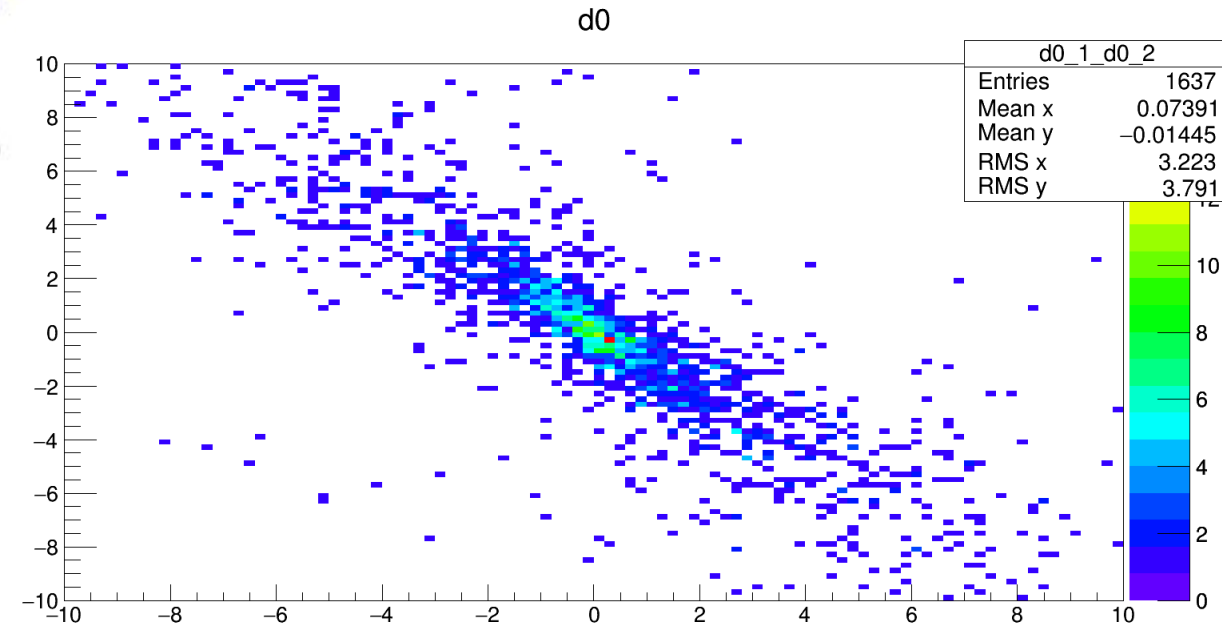
```
SEED=$RANDOM
echo $SEED
nEvent=10000
echo $nEvent
#setupATLAS
export ATLAS_LOCAL_ROOT_BASE=/cvmfs/atlas.cern.ch/repo/ATLASLocalRootBase
source ${ATLAS_LOCAL_ROOT_BASE}/user/atlasLocalSetup.sh
asetup Athena,21.0.97,here
Reco_tf.py --inputHITSFile /afs/cern.ch/user/a/azakhara/public/particalgun/sim/PG_10k.HITS.pool.root --outputAODFile AOD_PG_10k.pool.root --AMIconfig r11509 --maxEvents $nEvent
#cp AOD_5k.pool.root /afs/cern.ch/user/a/azakhara/public/prunTest/condortest/whole_reco
rm -r tmp* ntuple* mem.* runargs.* runwrapper* log.* L1Top* AtDS*
```

# d0



Синее –первичная вершина (фи -> K\_L K\_S), красное –вторичная (K\_S -> pi+ pi-)

Восстановление треков -> экстраполируем трек до плоскости первой вершины (смещение относительно перв. Вершины),



d01/d02 StarLight до отбора «коридор»

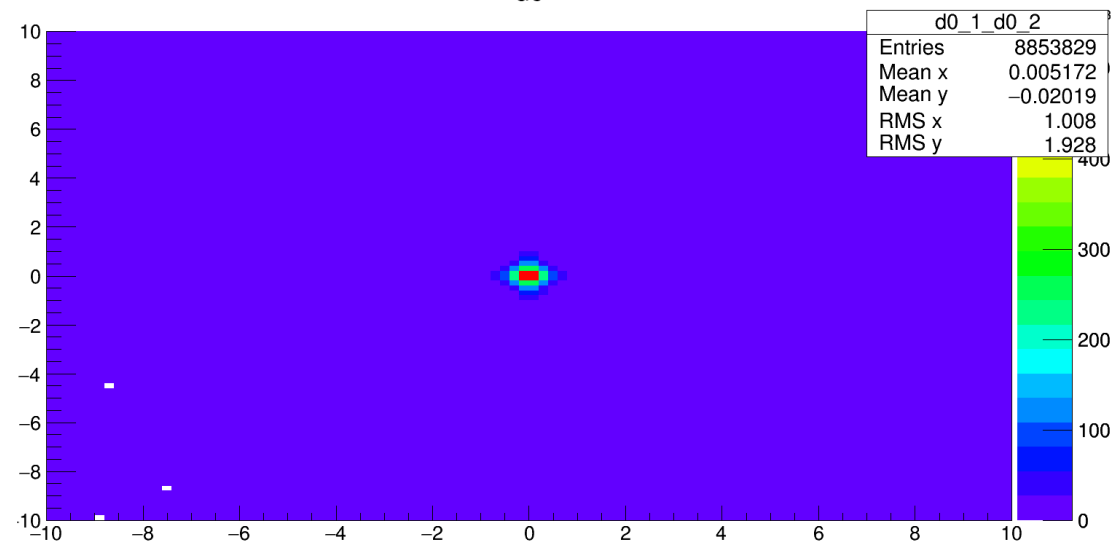
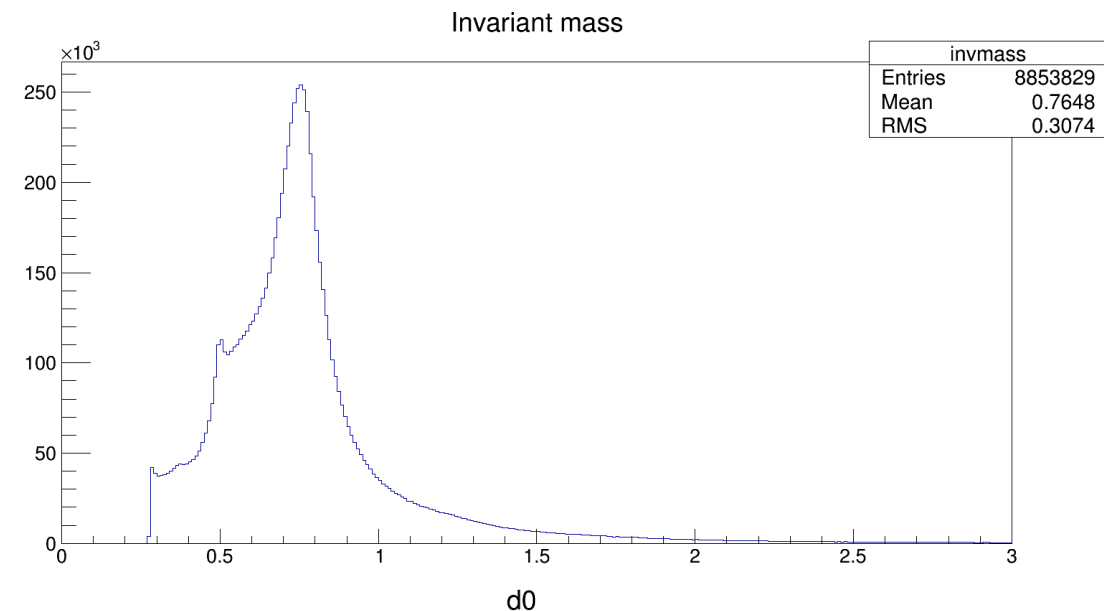
# Decay modes

| $\phi(1020)$ DECAY MODES |                         |                                |                                   |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
|                          | Mode                    | Fraction ( $\Gamma_i/\Gamma$ ) | Scale factor/<br>Confidence level |
| $\Gamma_1$               | $K^+ K^-$               | (49.2 $\pm$ 0.5 ) %            | S=1.3                             |
| $\Gamma_2$               | $K_L^0 K_S^0$           | (34.0 $\pm$ 0.4 ) %            | S=1.3                             |
| $\Gamma_3$               | $\rho\pi^+ \pi^- \pi^0$ | (15.24 $\pm$ 0.33 ) %          | S=1.2                             |
| $\Gamma_4$               | $\rho\pi$               |                                |                                   |
| $\Gamma_5$               | $\pi^+ \pi^- \pi^0$     |                                |                                   |
| $\Gamma_6$               | $\eta\gamma$            | ( 1.303 $\pm$ 0.025) %         | S=1.2                             |

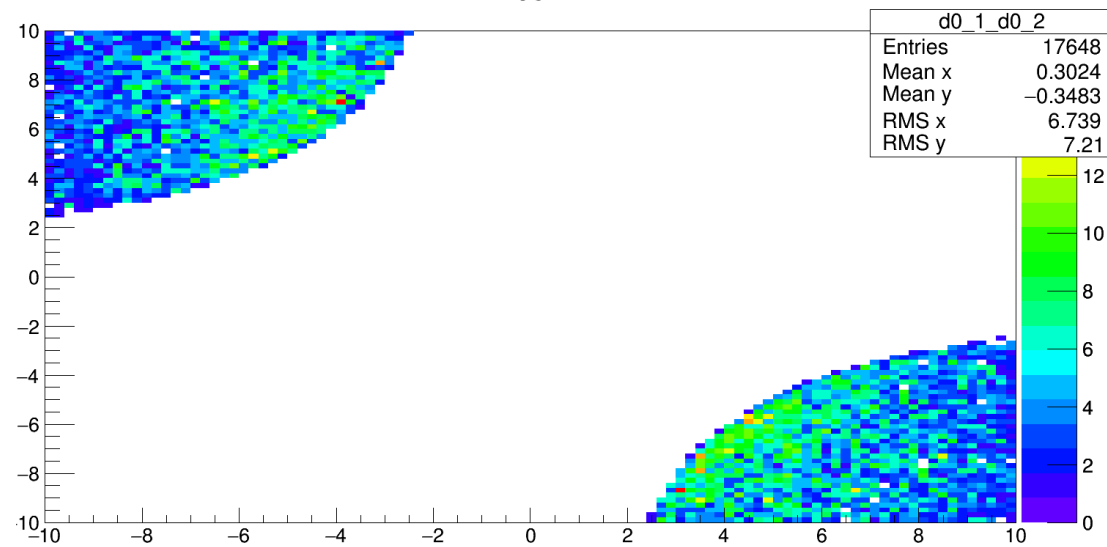
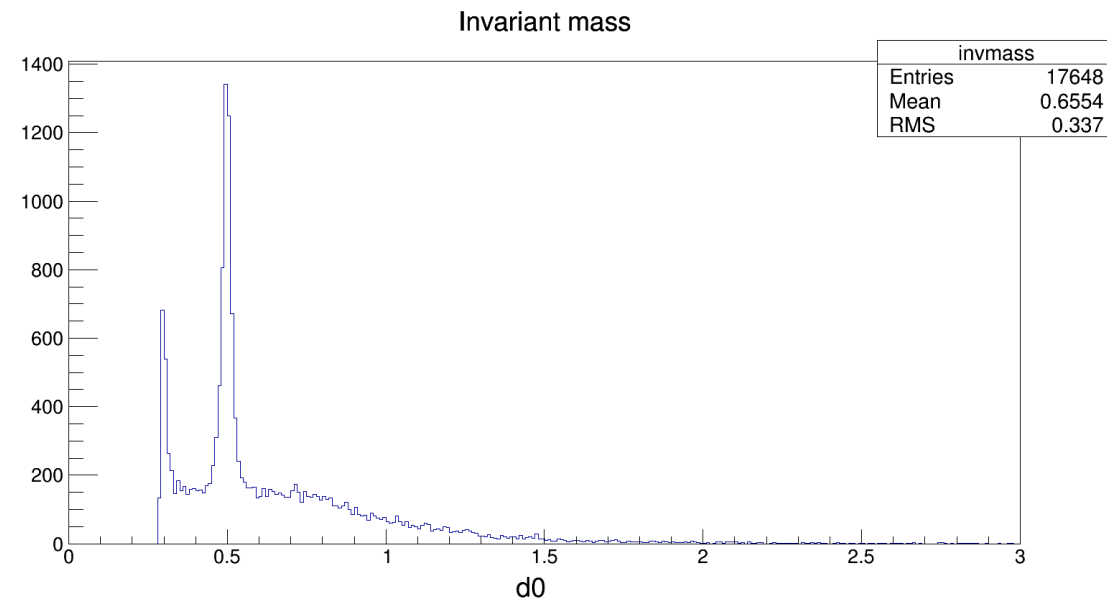
| $K_S^0$ DECAY MODES   | Fraction ( $\Gamma_i/\Gamma$ )               | Confidence level (MeV/c) |
|-----------------------|----------------------------------------------|--------------------------|
| <b>Hadronic modes</b> |                                              |                          |
| $\pi^0 \pi^0$         | (30.69 $\pm$ 0.05) %                         | 209                      |
| $\pi^+ \pi^-$         | (69.20 $\pm$ 0.05) %                         | 206                      |
| $\pi^+ \pi^- \pi^0$   | ( 3.5 $\pm$ 1.1 $\pm$ 0.9 ) $\times 10^{-7}$ | 133                      |

| $K^+$ DECAY MODES                      | Fraction ( $\Gamma_i/\Gamma$ )        | Confidence level (MeV/c) |
|----------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| <b>Leptonic and semileptonic modes</b> |                                       |                          |
| $e^+ \nu_e$                            | ( 1.582 $\pm$ 0.007) $\times 10^{-5}$ | 247                      |
| $\mu^+ \nu_\mu$                        | ( 63.56 $\pm$ 0.11 ) %                | S=1.2 236                |
| $\pi^0 e^+ \nu_e$                      | ( 5.07 $\pm$ 0.04 ) %                 | S=2.1 228                |
| Called $K_{e3}^+$ .                    |                                       |                          |
| $\pi^0 \mu^+ \nu_\mu$                  | ( 3.352 $\pm$ 0.033) %                | S=1.9 215                |
| Called $K_{\mu3}^+$ .                  |                                       |                          |
| $\pi^0 \pi^0 e^+ \nu_e$                | ( 2.55 $\pm$ 0.04 ) $\times 10^{-5}$  | S=1.1 206                |
| $\pi^+ \pi^- e^+ \nu_e$                | ( 4.247 $\pm$ 0.024) $\times 10^{-5}$ | 203                      |
| $\pi^+ \pi^- \mu^+ \nu_\mu$            | ( 1.4 $\pm$ 0.9 ) $\times 10^{-5}$    | 151                      |
| $\pi^0 \pi^0 \pi^0 e^+ \nu_e$          | < 3.5 $\times 10^{-6}$                | CL=90% 135               |
| <b>Hadronic modes</b>                  |                                       |                          |
| $\pi^+ \pi^0$                          | ( 20.67 $\pm$ 0.08 ) %                | S=1.2 205                |
| $\pi^+ \pi^0 \pi^0$                    | ( 1.760 $\pm$ 0.023) %                | S=1.1 133                |
| $\pi^+ \pi^+ \pi^-$                    | ( 5.583 $\pm$ 0.024) %                | 125                      |

# Сравнение эксперимент. Знач.



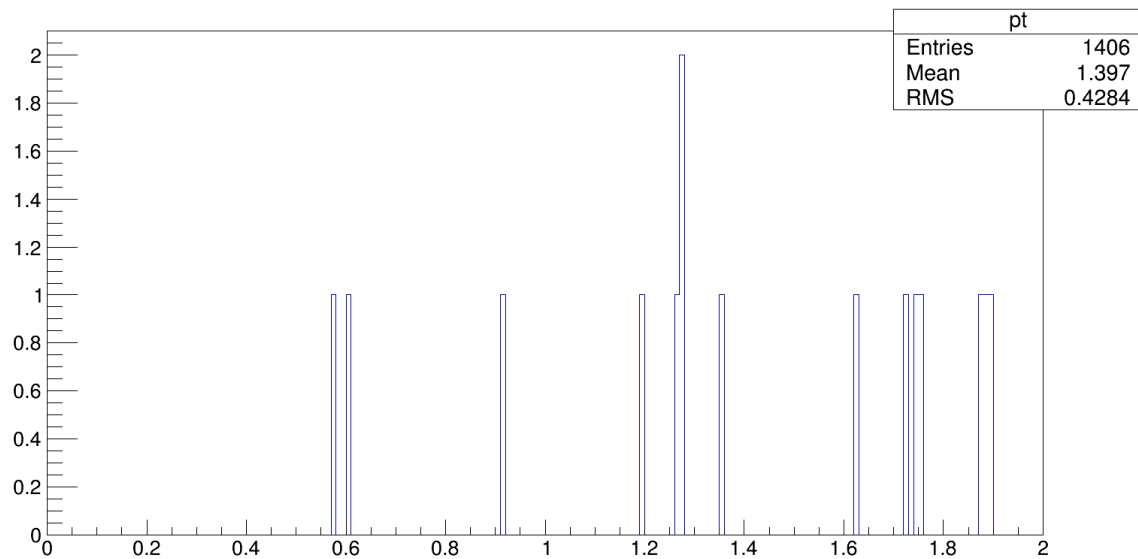
До отбора



После отбора

# pT: PG and exp

Transverse momentum



Transverse momentum

