

粒子物理前沿卓越创新中心考评  
(2016-2017年度)

王亮亮

中国科学院高能物理研究所

2017-12-02

# 提纲

- 简介
- 本年度工作进展
  - ◆ CGEM-IT 离线软件研究与开发
  - ◆  $D_{s_0}(2317)$  绝对分支比的测量
  - ◆ 修正 CLEO 观测结果获得  $ee \rightarrow$  粲介子波恩截面
  - ◆ 其他
- 总结与计划

# 简介

王亮亮

➤ 中国科学院高能物理研究所实验物理中心

➤ 主要研究领域:

对撞机实验离线软件的研究与开发

新强子实验寻找与研究

强子化真空极化的贡献 (ee强子截面精确测量)

➤ 目前主要涉及实验: BESIII

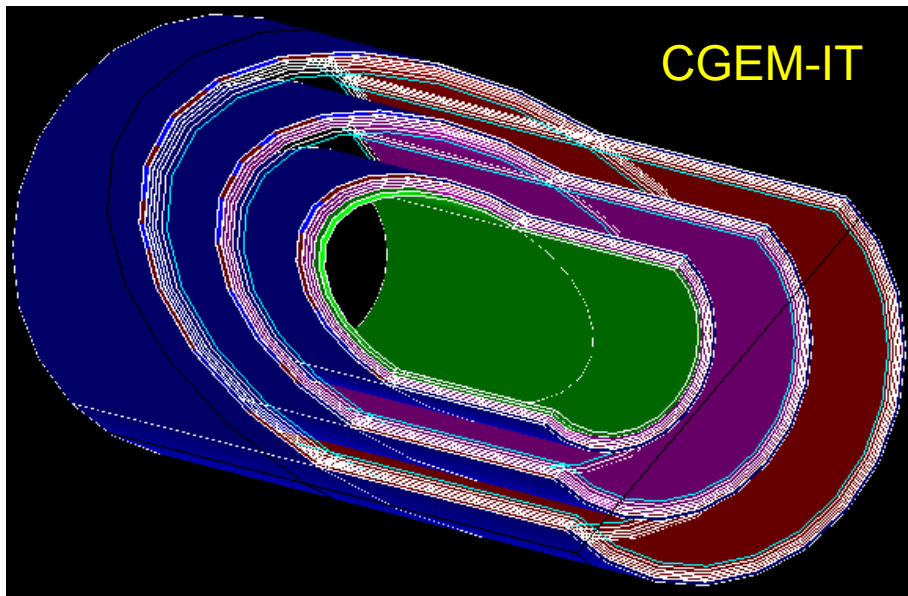
(报告内容, 若无特殊说明, 本人角色为具体工作的  
主要完成人(之一))

# CGEM-IT 离线软件研发

## (BESIII 内径迹室升级研究子项目)

- BESIII 主漂移室内室老化、噪声污染
- CGEM 是内室升级的备选方案 (3层探测器、2维读出)：  
抗辐照、高分辨 (尤其z向)、升级费用不高、成熟度较高的新技术方案
- CGEM 离线软件研究开发：  
包括模拟、数字化、重建、刻度，是探测器实际运行必不可少的重要子系统
- 本人角色：主要开发者之一  
CGEM 离线软件工作组协调人

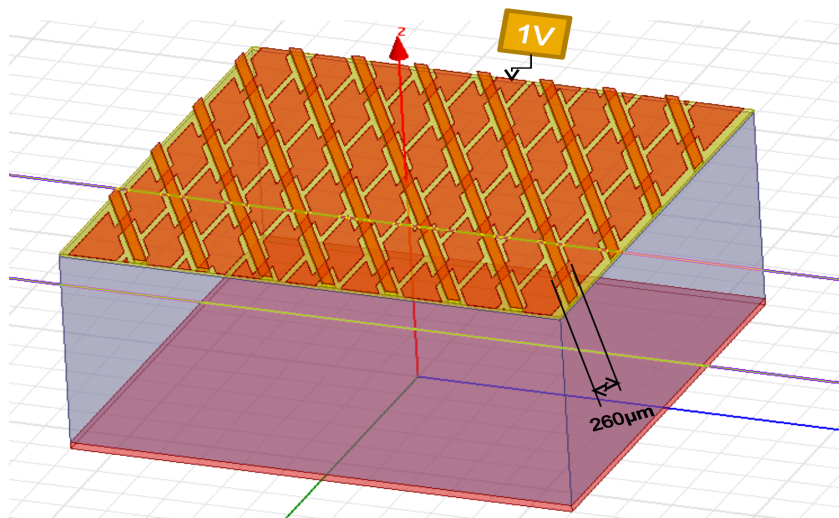
# CGEM探测器的物质与几何



- 探测器本身的Geant4模型  
(参与、指导)

2014 – 2015年开发了第一个版本，  
2016年：几何参数更新，开发几何物质服务模块

- ✓ 2017年：支撑结构、附属结构的简化模型

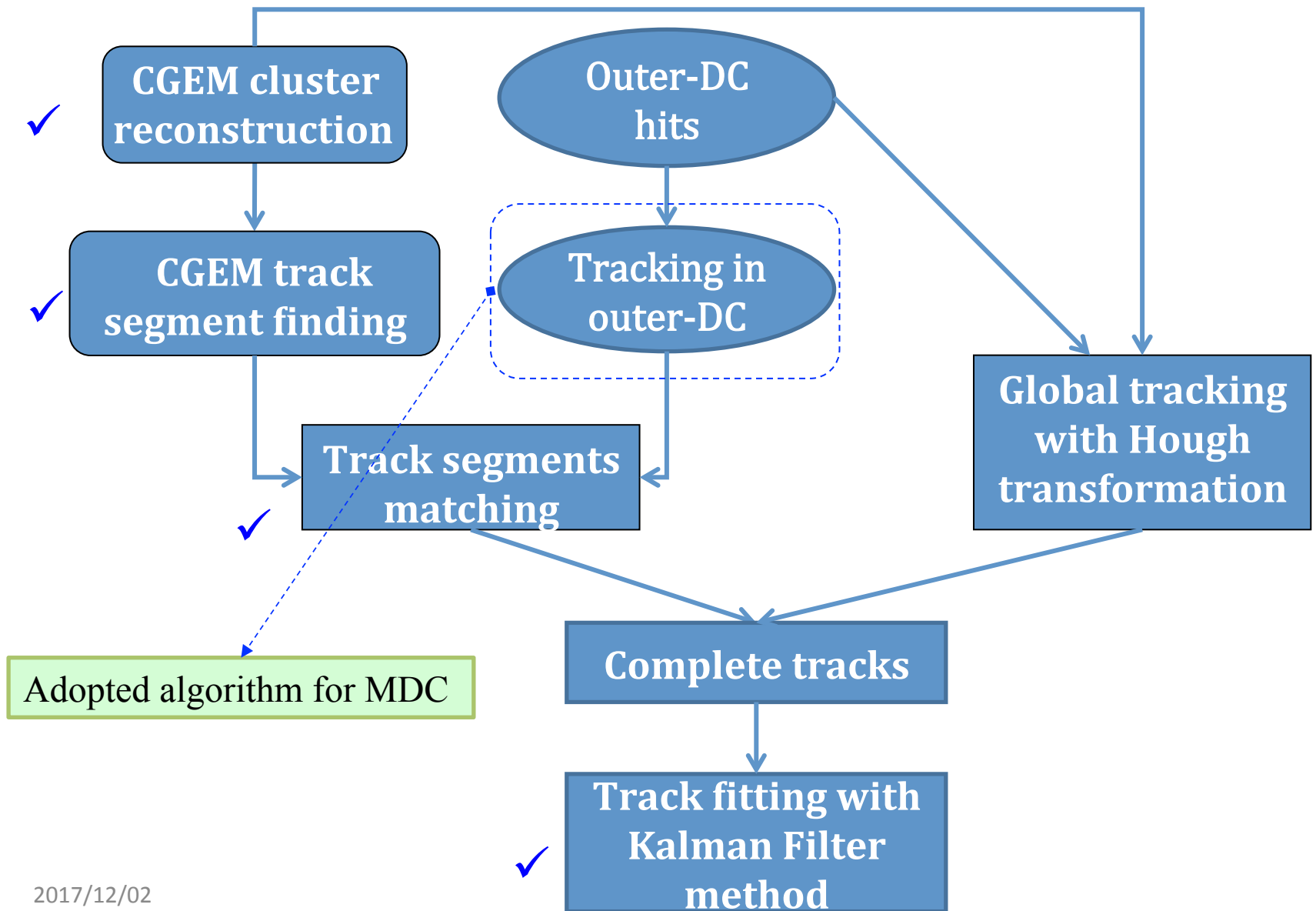


- 信号读出层几何的模型  
(主要完成人，2017)

✓ 包含基本几何参数，各种位置与XV读出条相互转换计算函数

- ✓ 应用于Geant4模型的构建、数字化模型、重建、刻度

# 利用 CGEM-IT + ODC 进行径迹重建

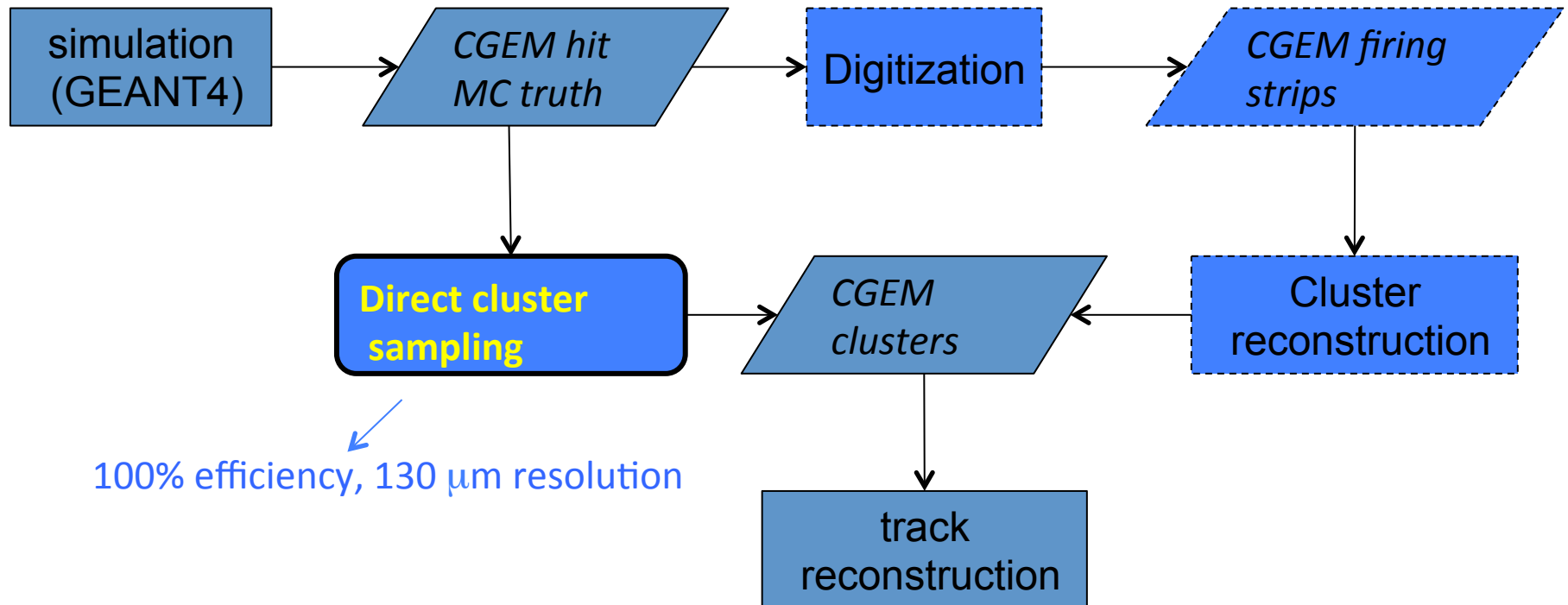


# CGEM簇射重建位置的快速模拟

(主要完成人, 2017)

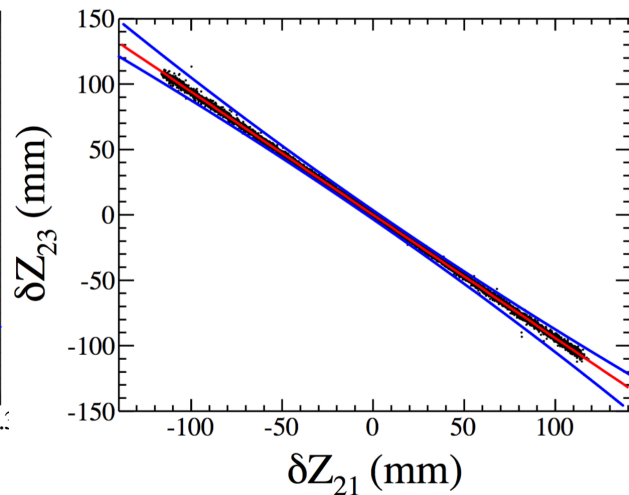
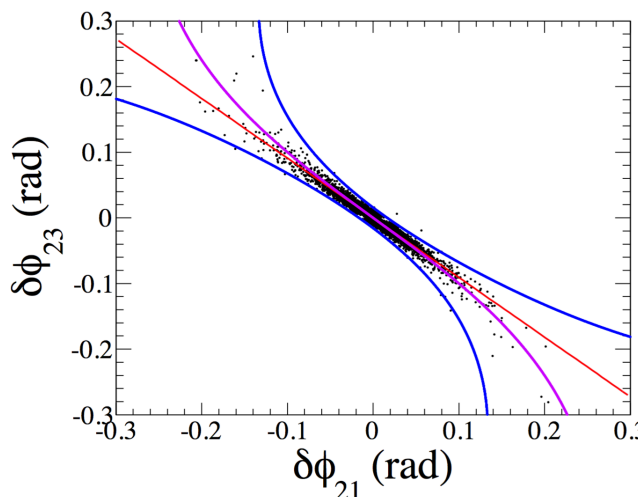
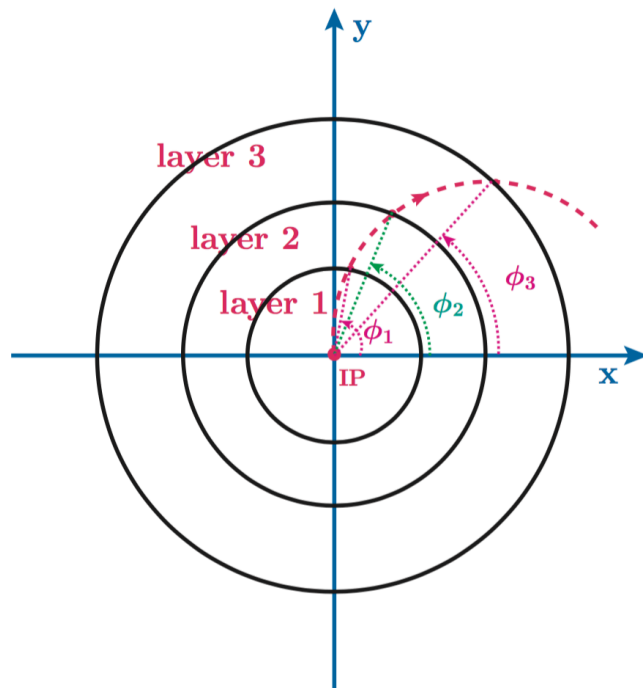
## CGEM簇射重建位置的快速抽样

- 能直接控制探测器模拟的分辨、效率
- 准备开展使用CGEM内室情况下物理反应道的模拟、分析研究



# CGEM径迹段寻找算法的研究开发

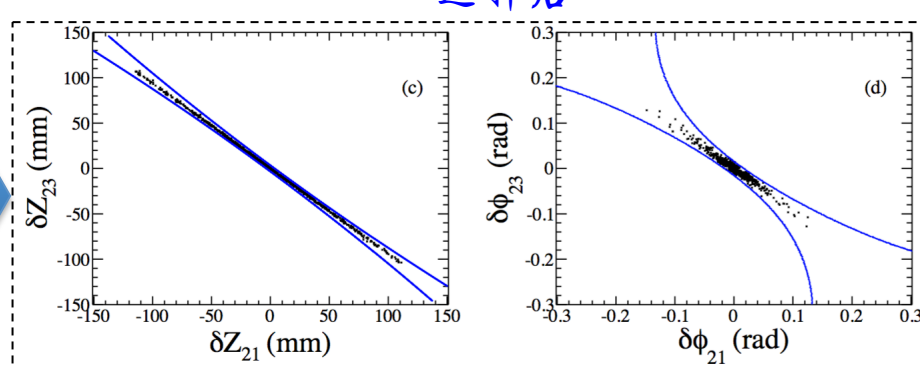
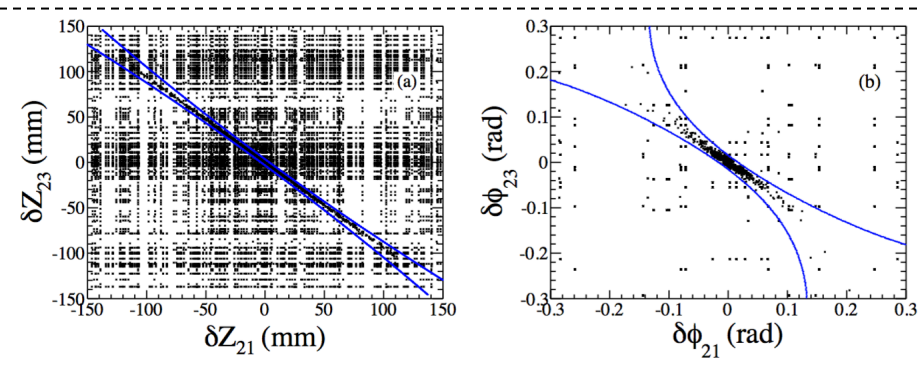
(参与、指导, 2016)



- 寻找径迹段模式
- 参数化 => 定义径迹段选择条件

选择前

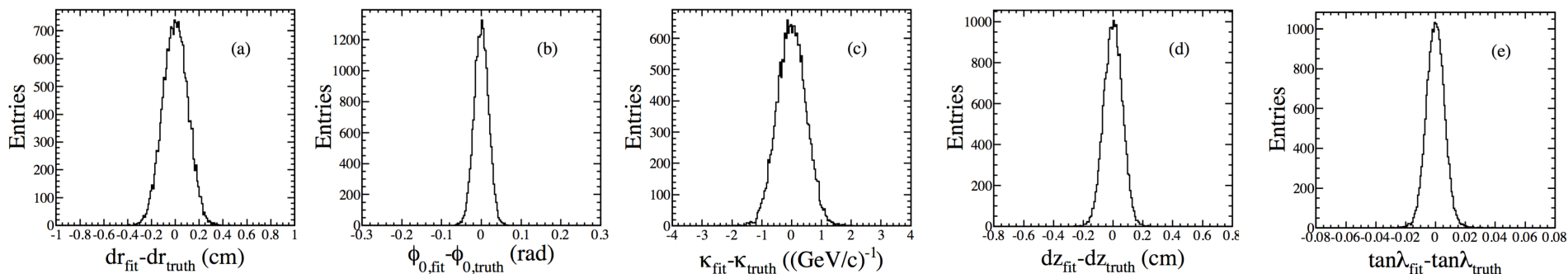
选择后



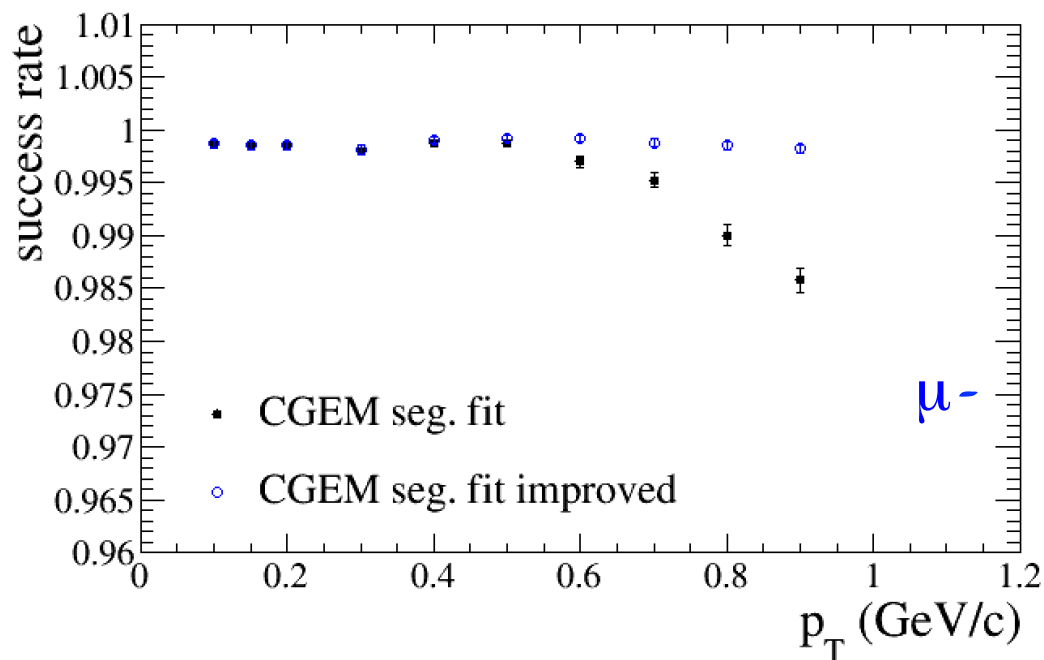


# CGEM径迹段的拟合

- 利用最小二次法对CGEM径迹段作理想螺旋线拟合  
(MINUIT版本或者数值最小化版本)



通过初值优化提高大  
动量径迹段的拟合成  
功率 => 全动量段接近  
100% (2017)



# CGEM径迹段的拟合

- 利用最小二次法对CGEM径迹段作理想螺旋线拟合  
(解析版本: 更快速、可控。主要完成人, 2017)

依据最小二乘解的标准表达式:  $H=H_0+(A^T V^{-1} A)^{-1} A^T V^{-1} (m-H_0)$

H: vector of helix parameters,  $H_0$ : initial helix parameters (5维)

A: derivative of the measurement w.r.t. helix parameters @  $H_0$

(2x5维可比行列式解析表达式的推导)

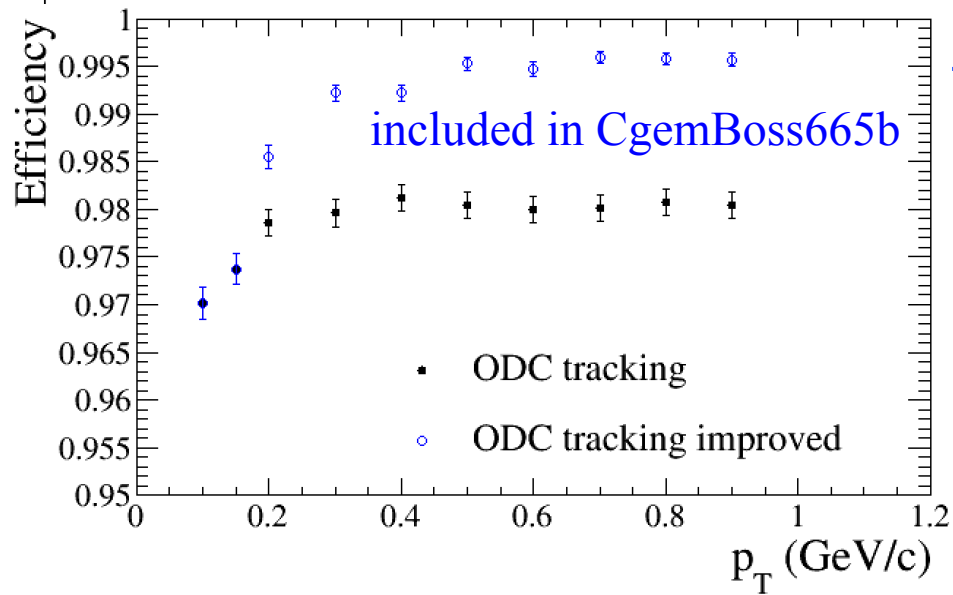
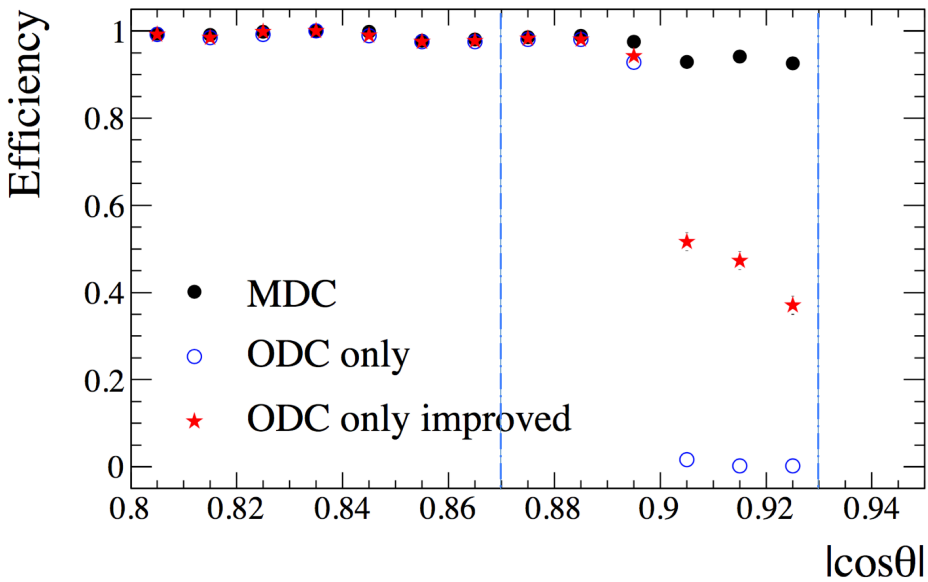
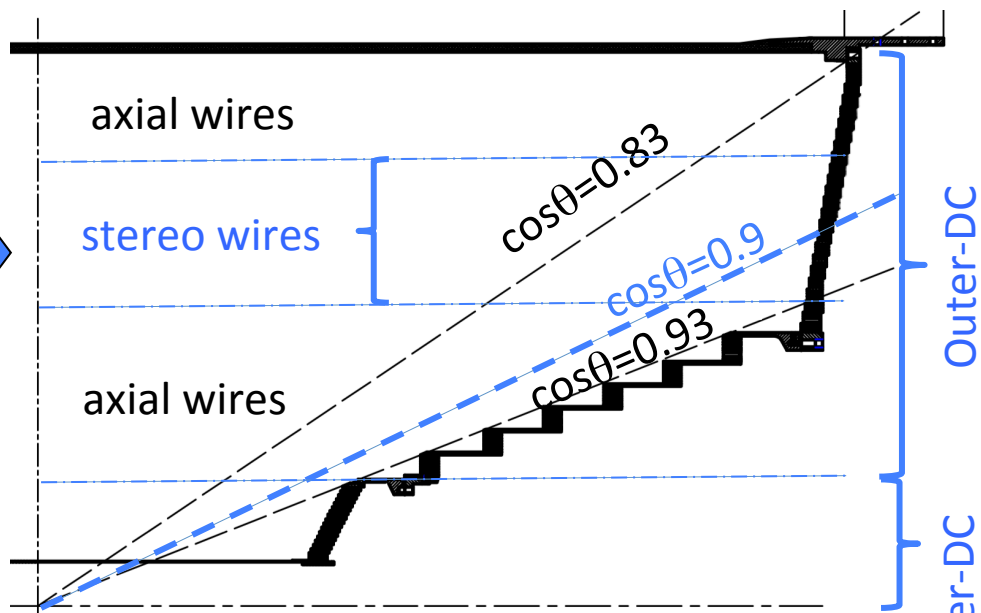
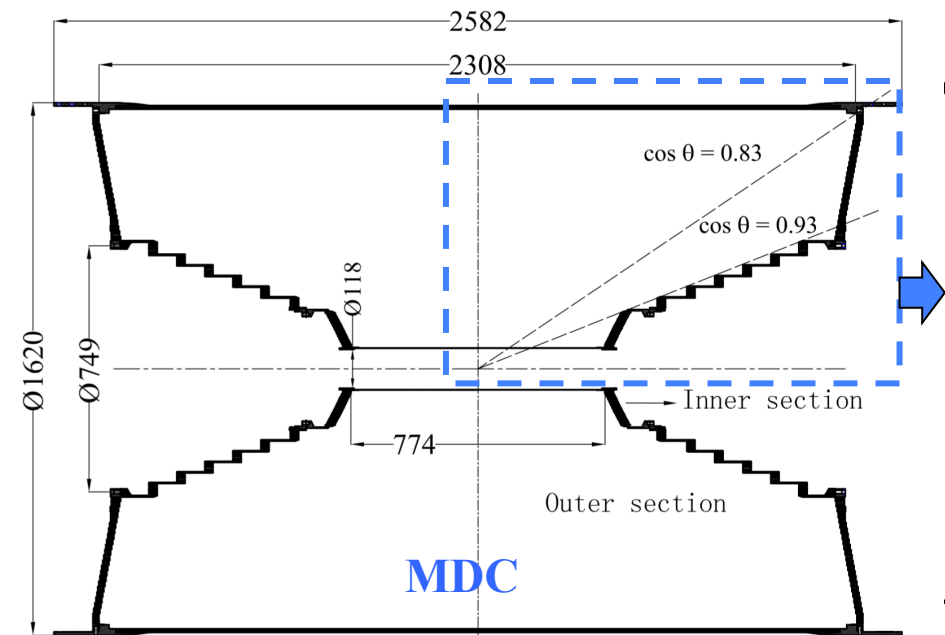
V: covariant error matrix of the measurements, (2x2)

m: vector of measurements (2维)

- ✓ 算法已经完成
- ✓ 结果与MINUIT版一致
- ✓ 代码还可以应用于最小二乘法整体径迹拟合 (CGEM+ODC)

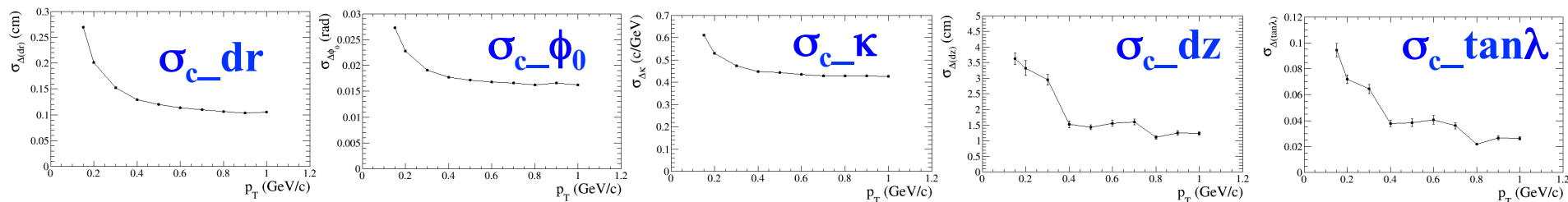
# 外室 (ODC) 径迹段重建效率的改进

(张瑶、苗楠楠, 2017)



# CGEM径迹段与外室径迹段的匹配

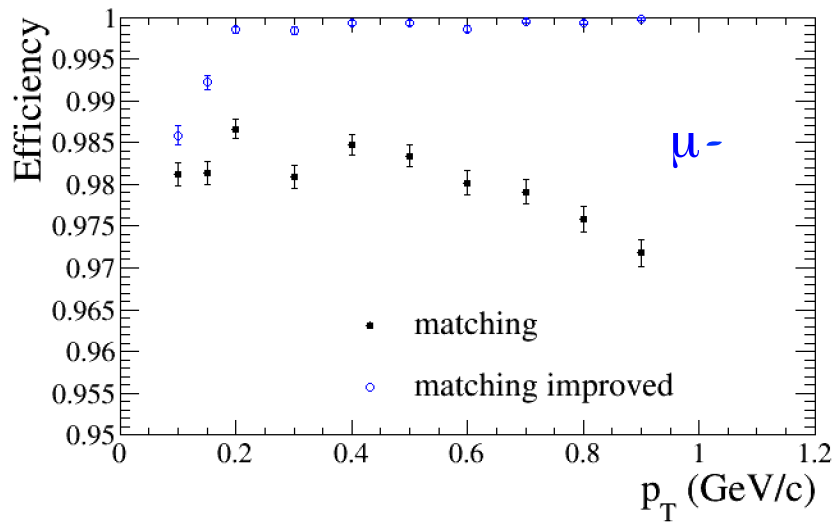
- 计算CGEM径迹段与外漂移室径迹参数的残差 $\chi^2$   
选择合适的匹配条件
- 改进 (主要完成人 2017)
  - ◇ 刻度残差分布的标准差



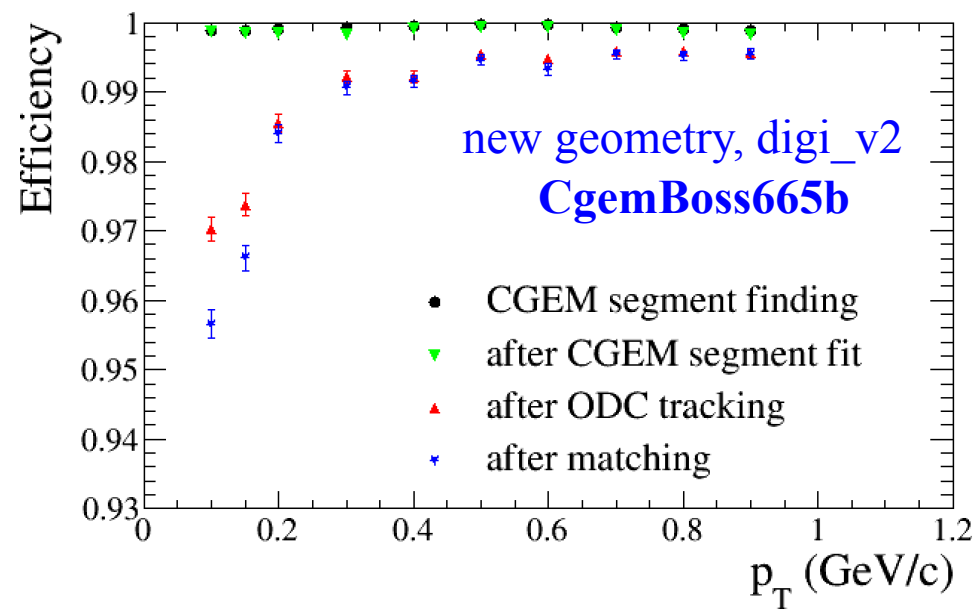
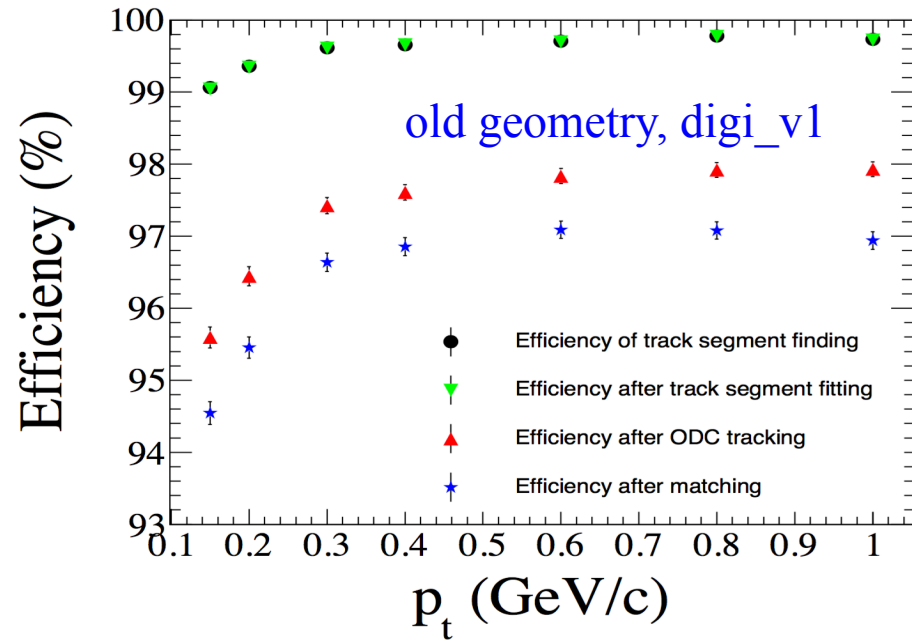
◇ 匹配条件更容易选择,  
含义更准确

$$\chi^2 = (H_{CGEM} - H_{ODC})^2 / \sigma_c^2 < 30 \sim 100$$

◇ 匹配效率提高



# CGEM径迹段寻找及匹配算法的效率



- CGEM寻迹效率 99%-100%  $\Rightarrow$  99.9%
- CGEM径迹段拟合效率  $\sim$  100%
- ODC径迹段效率提高了1~2%
- CGEM与外漂移室匹配效率  $\sim$  99%  $\Rightarrow$  99.9% (高动量段)

# 基于Kalman滤波法的径迹拟合

- Kalman滤波(linear quadratic estimation): 利用时间序列的测量信息估计含连续随机干扰的动态系统的信息
- 主漂移室Kalman滤波径迹拟合算法的扩展
  - ✓ Geometry and material description of CGEM
  - ✓ Calculation of the CGEM cluster predictions (to match CGEM clusters as well in this study)
  - ✓ Update of the track parameter with CGEM clusters
- 更新 (黄震、王亮亮 2017)
  - ✓ 完善逻辑流程和数据输入输出
  - ✓ 根据探测器最新的几何物质设置, 产生gdml文件
  - ✓ 通过读取gdml文件, 更新Kalman滤波法径迹拟合中的探测器描述

# CgemBoss665b的发布

- 2017年4月底发布第一个可工作的高线软件系统CgemBoss665b
- 可以实现物理道的模拟、重建、分析
- 整合、调试了如下软件模块

## ◆ Simulation

- ✓ Geant4 model for CGEM detector (according to the final design)
- ✓ Digitization
  - model 1: a simple projection model (for software development)
  - model 2: a direct CGEM cluster sampling (default in CgemBoss665b)  
(100% hit efficiency, 130  $\mu\text{m}$  spatial resolution,  
for the first round of performance check)

## ◆ Reconstruction

- ✓ CGEM cluster reconstruction (charge centroid position)
- ✓ CGEM track segment reconstruction (pattern parameterization, fit)
- ✓ Improvement of track segment finding with ODC
- ✓ Matching of CGEM and ODC track segments
- ✓ Recursive track fitting with Kalman Filter method

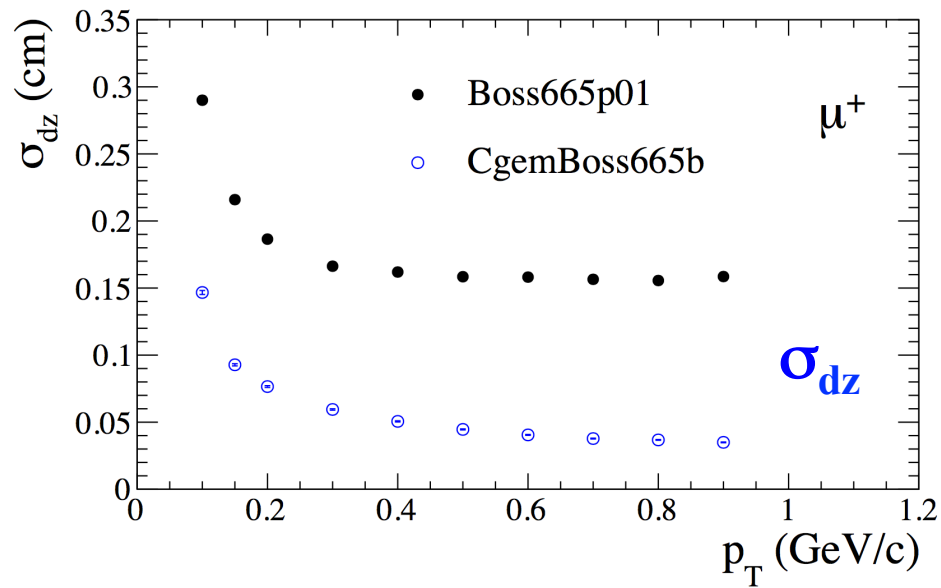
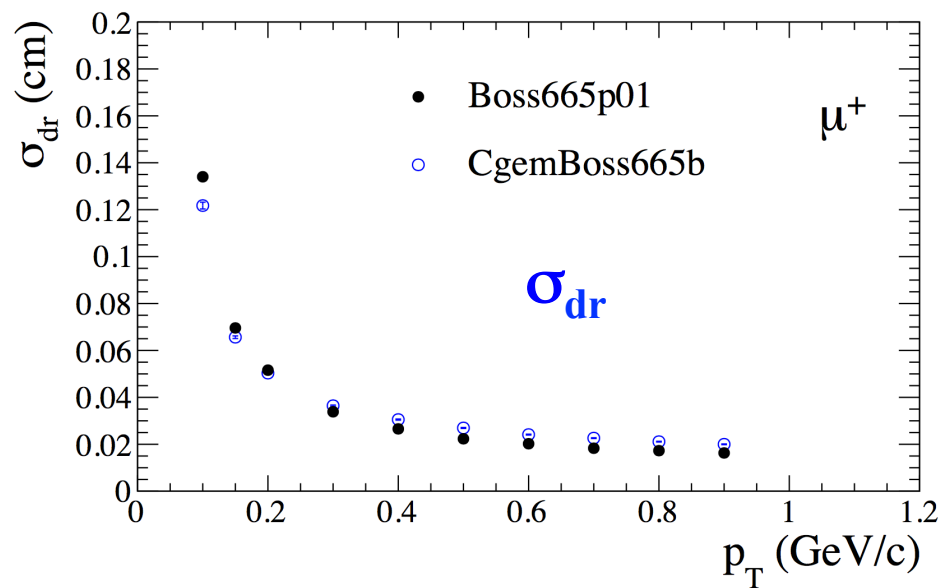
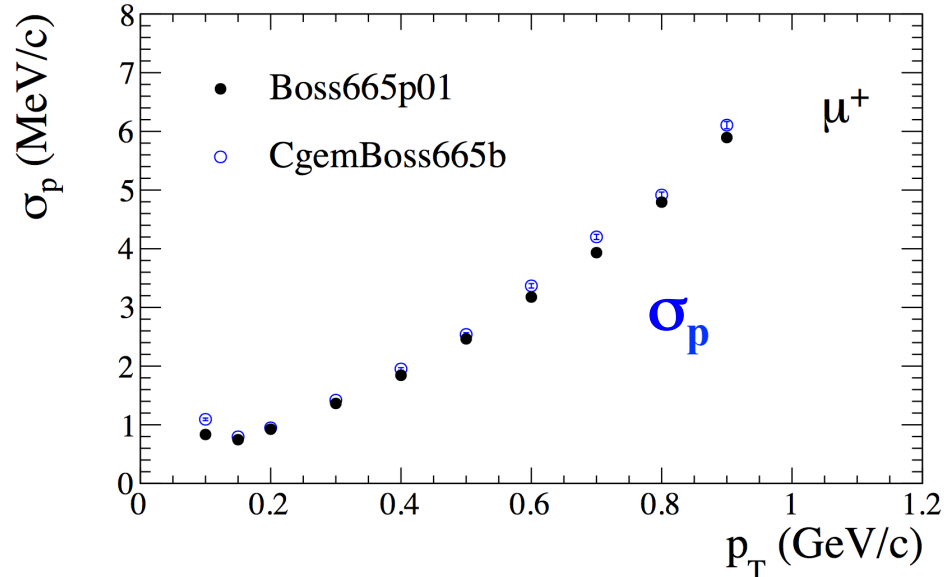
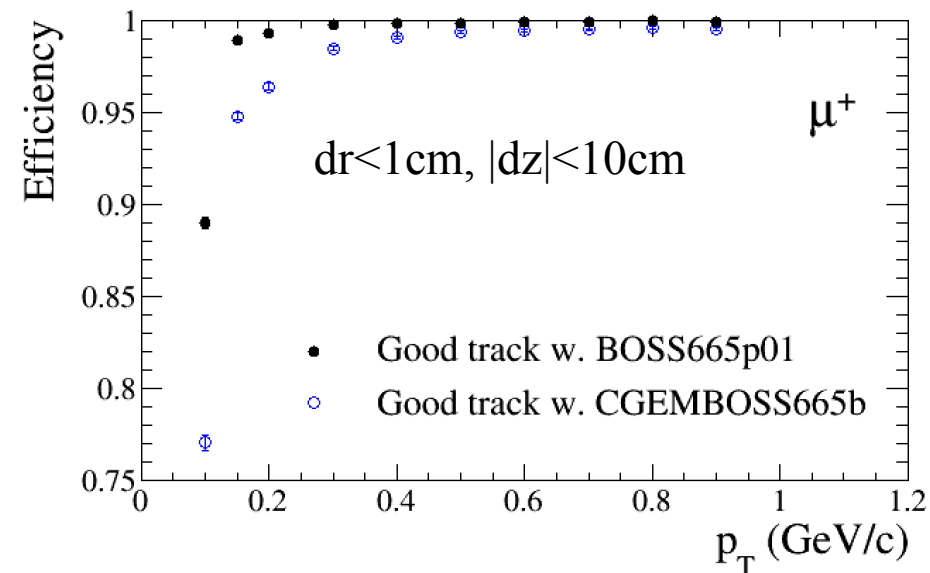
# 基于CgemBoss665b的物理道测试

- Single tracks (e, m, p, K, p) (黄震、王亮亮)
- $\psi(3686) \rightarrow \pi^+\pi^- J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^- e^+e^-$  (黄震、王亮亮)
- $ee \rightarrow ppbar$  @ 1.95, 2.64 GeV (Cristina Morales)
- $ee \rightarrow \mu\mu\gamma$  @ 3.773 GeV (Martin Ripka)
- $ee \rightarrow \pi^+D^0D^{*-} \rightarrow \pi^+(K^-\pi^-2\pi^+)(K^+\pi^+2\pi^-\pi^-)$  @ 4.42 GeV (Andreas Pitka)
- $D^0 \rightarrow K_s K^+K^-$  in  $ee \rightarrow D^0D^0$  @ 3.776 GeV (Peter Weidenkaff)
- $ee \rightarrow \Lambda\Lambdabar \rightarrow p\pi^-pbar\pi^+$  @ 2.396, 2.9 GeV (Cui Li)

在上述较大规模的模拟数据产生、处理、分析中，  
CgemBoss665b运行非常稳定，未发生任何异常。



# 单径迹结果 (CgemBoss665b)

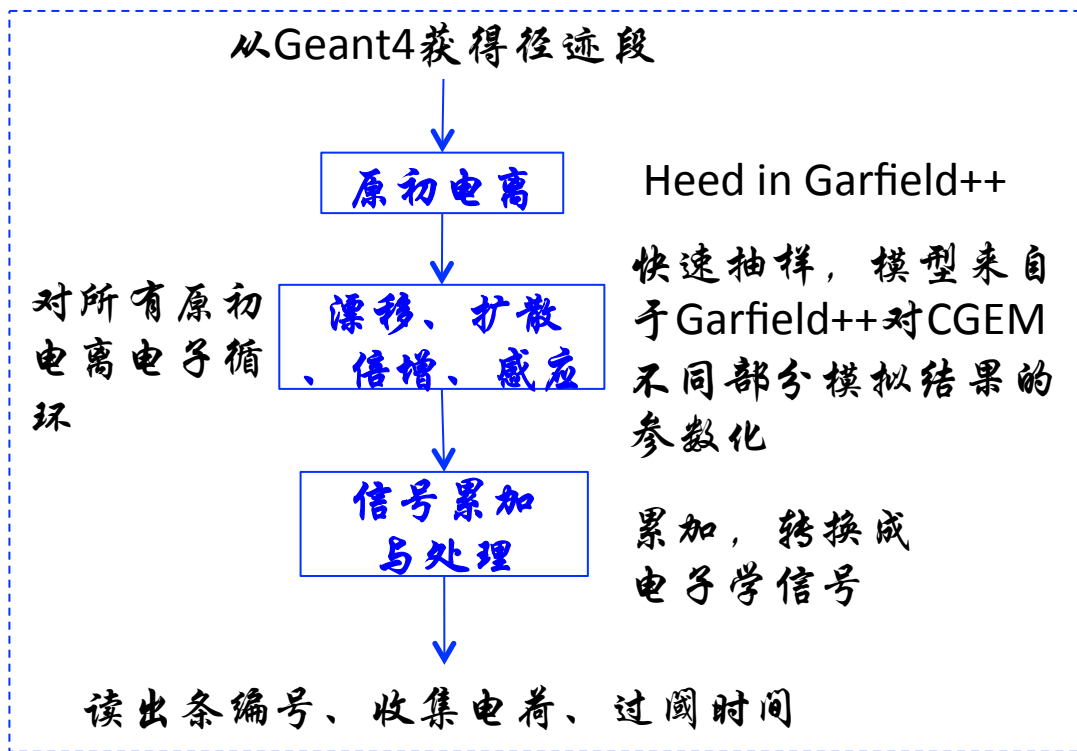
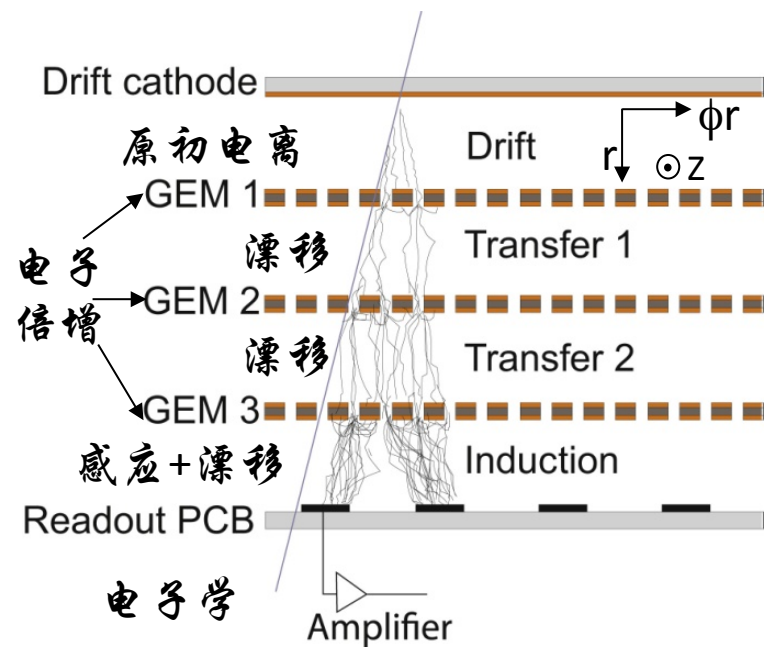


# 基于CgemBoss665b的结论

- CGEM+ODC径迹效率：在 $P_t > 300 \text{ MeV}/c$ 时，与MDC相当，在 $P_t > 300 \text{ MeV}/c$ 时，由于联合寻迹算法尚未包含，效率相比MDC要低
- 如果CGEM cluster效率100%，空间分辨 $130 \mu\text{m}$ 
  - ✓ CGEM+ODC径迹重建性能在以下方面与MDC相当：  
动量分辨、横向空间分辨（事例级别：不变质量分辨，事例顶点横向分辨）
  - ✓ CGEM+ODC径迹的z向空间分辨相比于MDC显著提高

# CGEM数字化模型

- 2016, 简化的数字化模型: 径迹段到读出面的几何投影
  - ◇ 快速简单, 并能正确反映探测器的分辨水平
  - ◇ 为后继软件的研发提供简单的基础
- 2017, 完整数字化模型 (伍灵慧、苗楠楠、王亮亮)



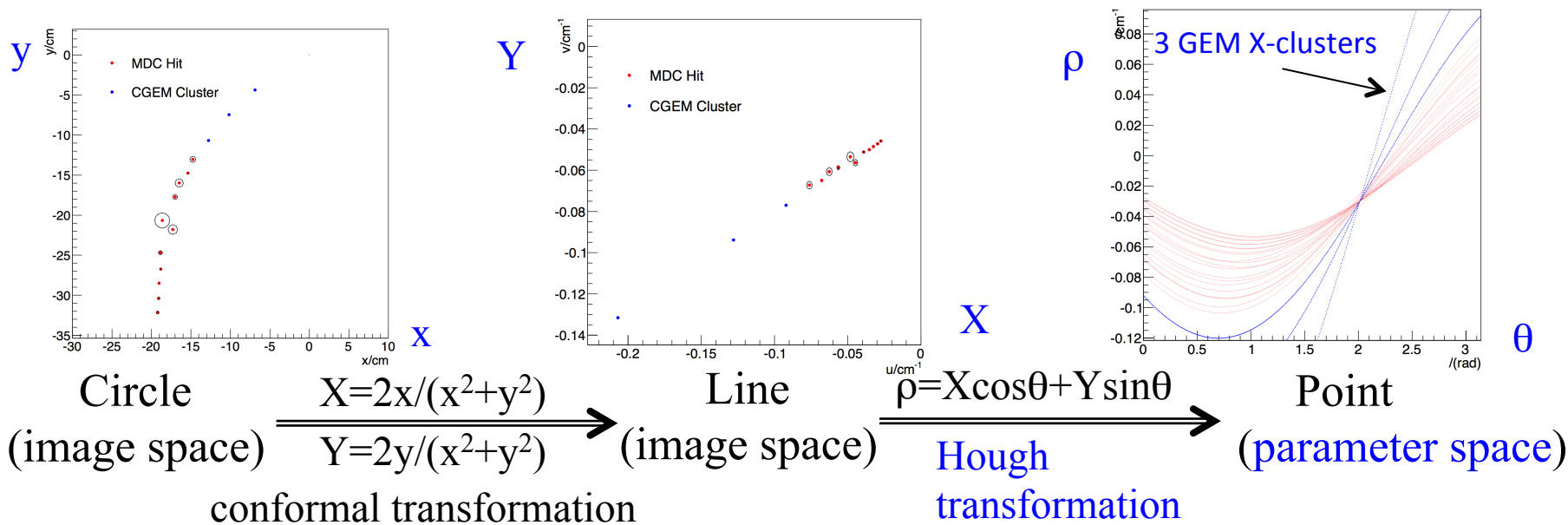
软件基本可以工作

(本人在方法设计上有主要贡献, 参与部分代码工作和学生指导工作)

# 基于Hough变换的CGEM+ODC联合寻迹

(2017, 黄震、张瑶、王亮亮)

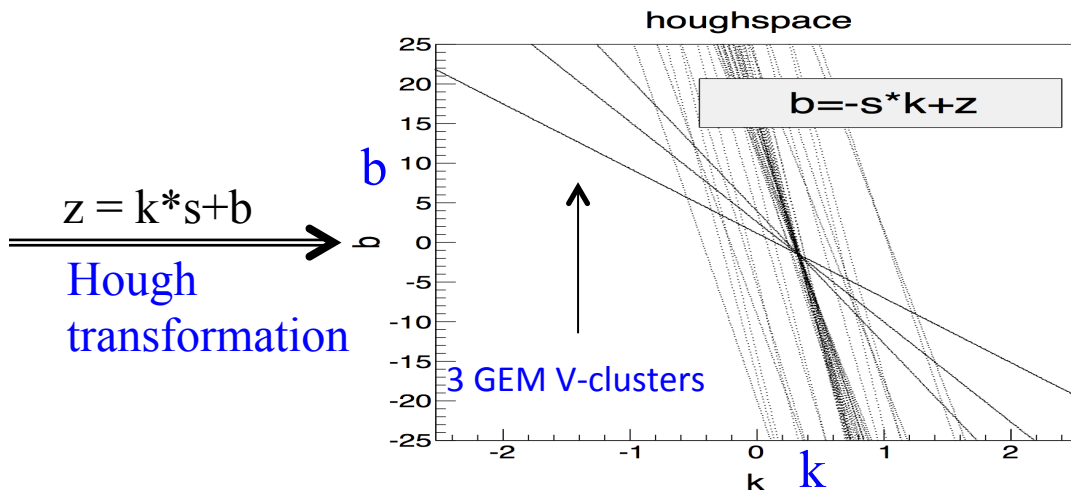
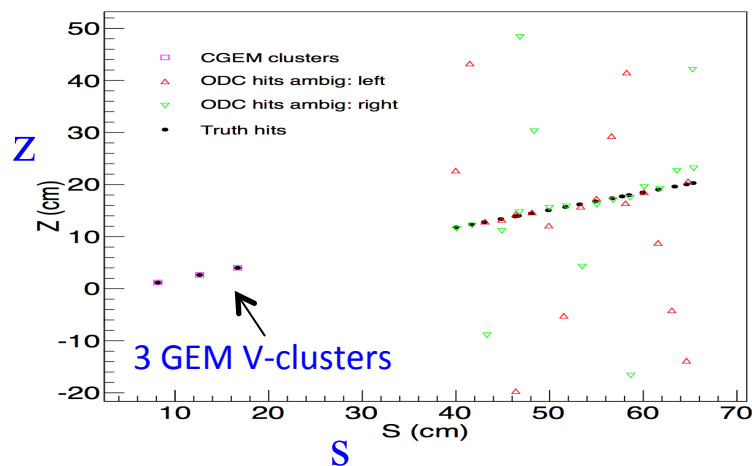
- 直接联合CGEM簇射和ODC击中整体寻迹，主要为了提高低动量径迹的寻迹效率
- 第1步：横向平面圆径迹寻找



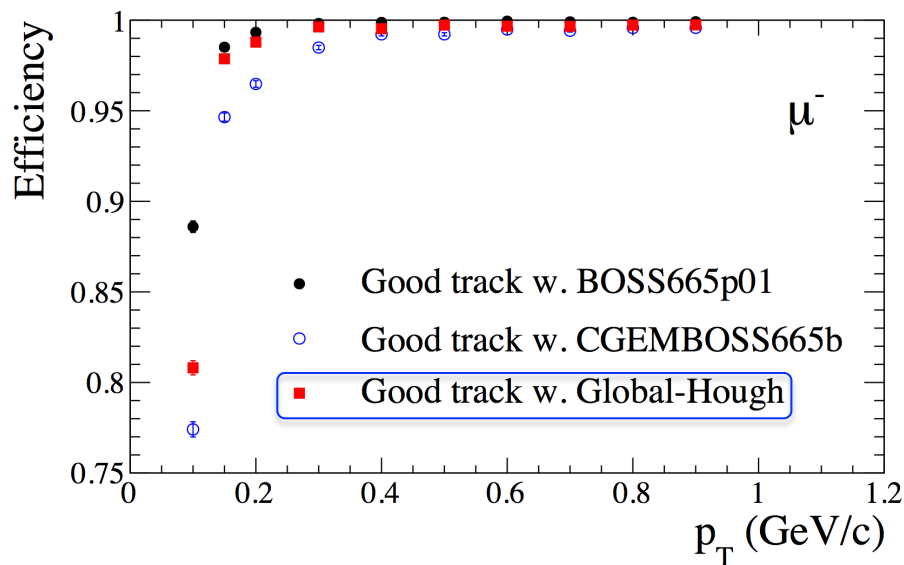
# 基于Hough变换的CGEM+ODC联合寻迹

(2017, 黄震、张瑶、王亮亮等)

## ● 第2步: SZ平面直线寻找



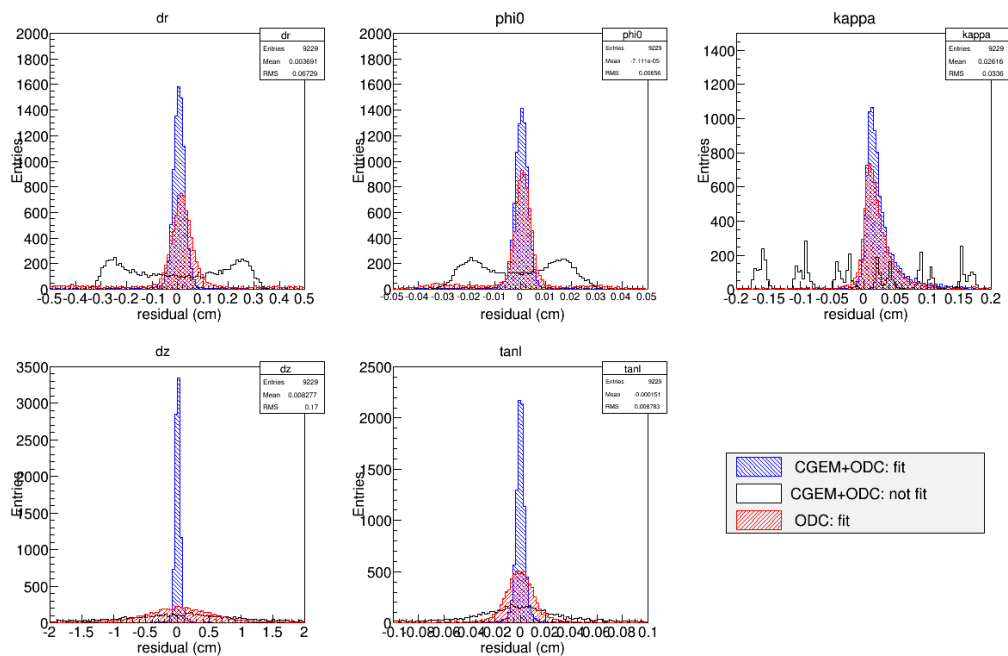
- 已完成初步开发
- 初步结果显示低动量径迹寻找效率确有显著提高, 还需进一步优化



# 基于最小二乘法的联合径迹拟合

(2017 黄震、张瑶、王亮亮)

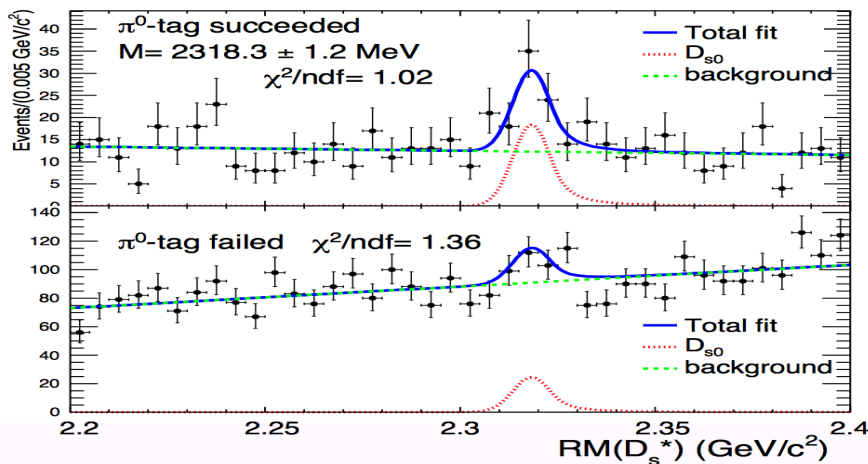
- 主要应用于击中筛选、Kalman滤波法径迹拟合的初值、数据分析中好径迹的挑选
- 遵循最小二乘标准参数估计表达式  
扩展MDC径迹拟合算法TrkHelixFitter  
CGEM径迹段拟合算法并入
- 已经扩展合并完成，形成独立联合径迹拟合程序包
- 已获得初步结果



# $D_{s0}(2317) \rightarrow \pi^0 D_s$ 绝对分支比的测量

(李科、王亮亮、苑长征)

- 质量低于理论预期 (势模型、LQCD), 宽度很小
- 奇特态? (csbar、四夸克态、DK分子态或者它们的混合)
- 绝对分支比的测量与理论模型的对比有助于理解 $D_{s0}(2317)$ 的本质
- 利用 $ee \rightarrow D_s^* D_{s0}(2317)$ 过程, 标记 $D_s^*$ 拟合反冲 $D_{s0}(2317)$ 信号, 标记 $D_{s0}(2317) \rightarrow \pi^0 D_s$ 中的 $\pi^0$ 信号再拟合 $D_{s0}(2317)$ 信号, 从而可以测量其绝对分支比



信号显著性  $5.8\sigma$

$M = (2318.3 \pm 1.2 \pm 1.2) \text{ MeV}/c^2$

$\text{Br}(D_{s0}(2317) \rightarrow \pi^0 D_s) = 1.0_{-0.14}^{+0.14}$

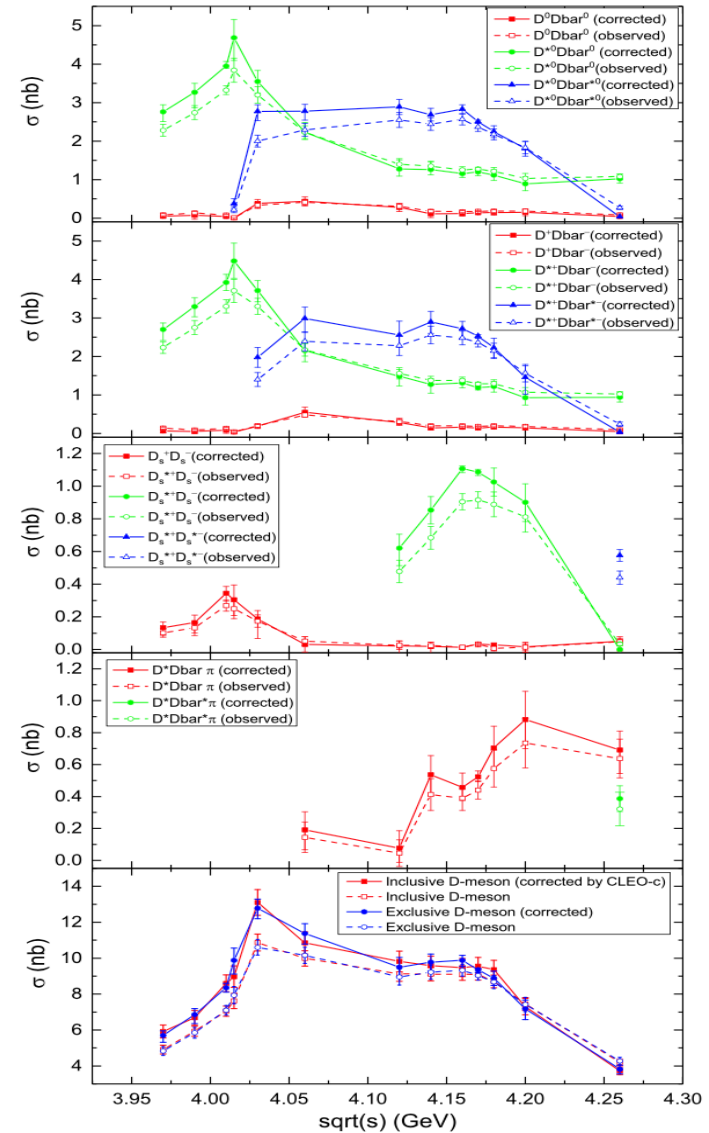
➤ 已投PRL

2017/12/02

# ee → 粲介子波恩截面 (CLEO观测结果的修正)

2017 董相坤、王亮亮、范长征

- CLEO测量了 $ee \rightarrow$ exclusive 粲介子的观测截面
- 我们把观测截面谱放入辐射修正贡献的计算，通过多次迭代获得对收敛的辐射修正。再扣除真空极化的贡献，即可获得 $ee \rightarrow$ exclusive 粲介子的波恩截面
- 通过toy MC抽样的方法，合理估计了波恩截面的统计误差
- 除原测量的系统误差外，通过不同的数据点连接方式，估计了获得波恩截面过程的系统误差
- 应用于矢量类粲偶素（奇特态）的物理图像的理解，强子化真空极化贡献、muon g-2的计算
- arXiv:1711.07311 [hep-ex]
- 已投《中国物理C》





# 其他工作

## ➤ 国内外学术活动

- BESIII CGEM workshop, Collaboration meeting, Physics and Software workshop  
报告: “Status of CGEM offline software”
- 担任 Tau2016 proceedings的部分编辑工作
- CGEM离线软件系统协调人

## ➤ 研究生培养

- 黄震 (硕士, 协助培养) CGEM重建软件研发与整合

## ➤ 公共服务

BESIII合作组物理分析内部review:

1. (chair) review of “BAM-00249, Search for  $e^+e^- \rightarrow \gamma \chi_cJ$  by SHEN Peixun et al.” (draft)
2. review of “Measurement of BF of  $L_c \rightarrow \Sigma^+ h^+ h^- (\pi^0)$  by Yixiong Zhou et al”

# 总结与计划

- ✓ CGEM-IT 离线软件研究与开发状态良好，发布了稳定版本 CgemBoss665b，获得合理的性能估计。在完整数字化、整体寻迹拟合方面取得显著进展。
- ✓  $D_{s_0}(2317)$  绝对分支比的测量（已投 PRL）
- ✓ 修正 CLEO 观测结果获得  $ee \rightarrow \rho$  介子波恩截面（已投 CPC）
- 计划：完成全数字化模型、整体寻迹、微时间投影模式重建等，发布新的 CgemBoss 版本