

BESIII Detector and Software

伍灵慧

wulh@ihep.ac.cn

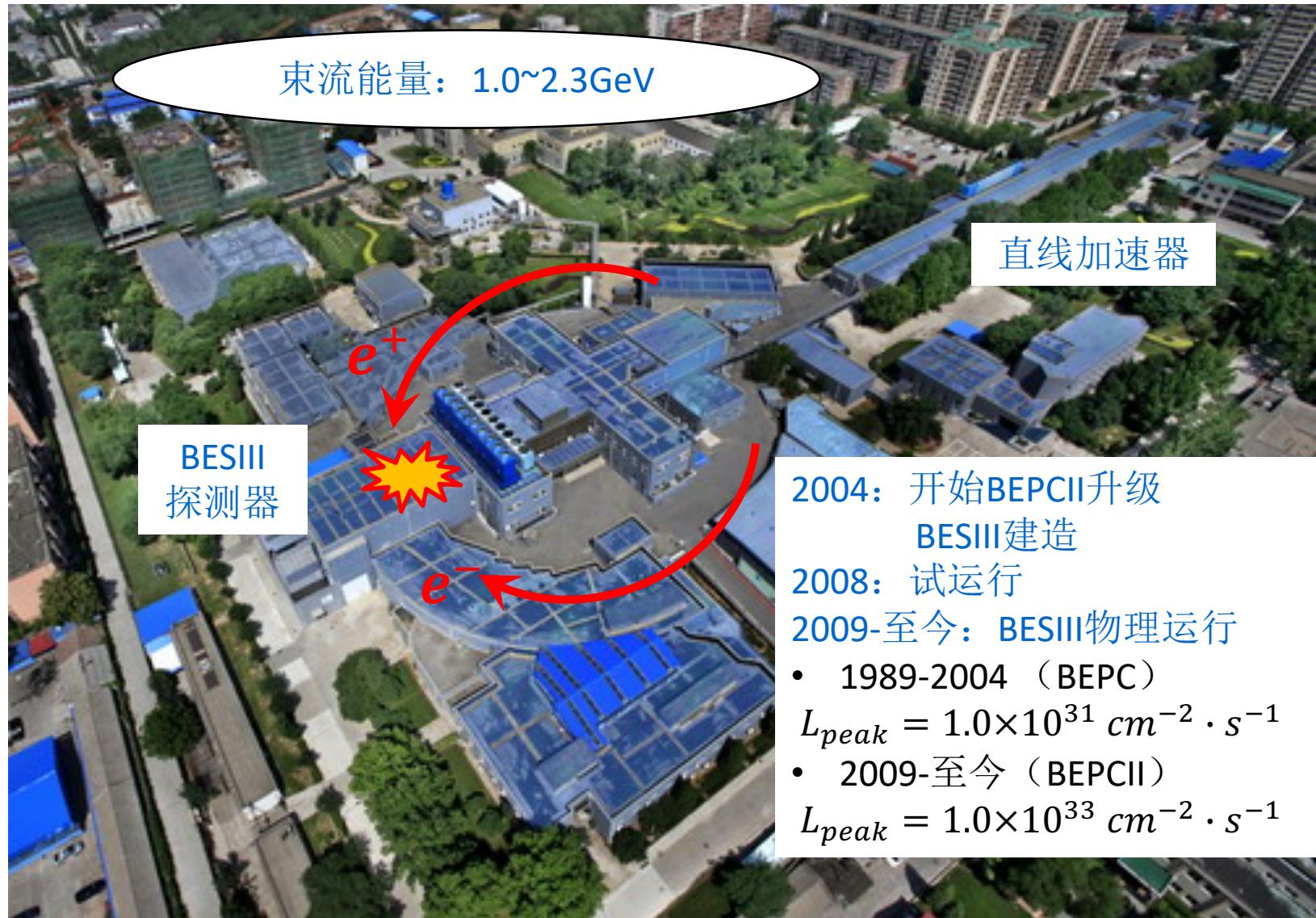
BESIII Winter School, Jan 17- 19, 2020, Jilin University

Outline

- BESIII Detector
- Offline software
- Detector performance

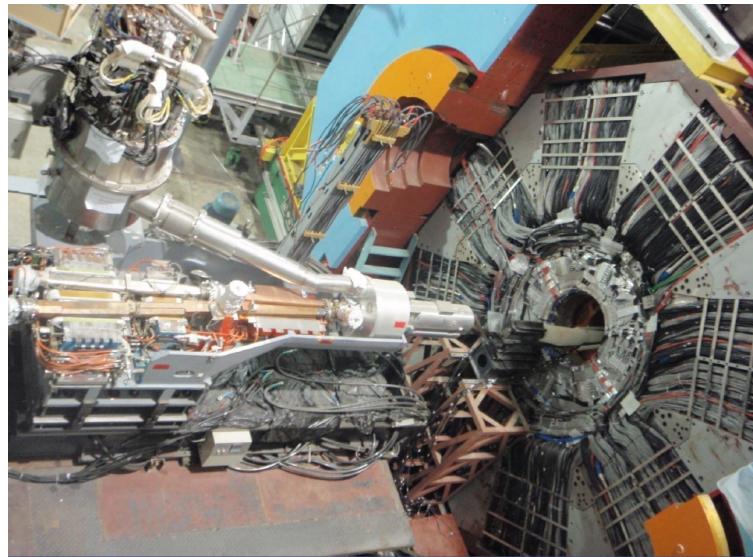
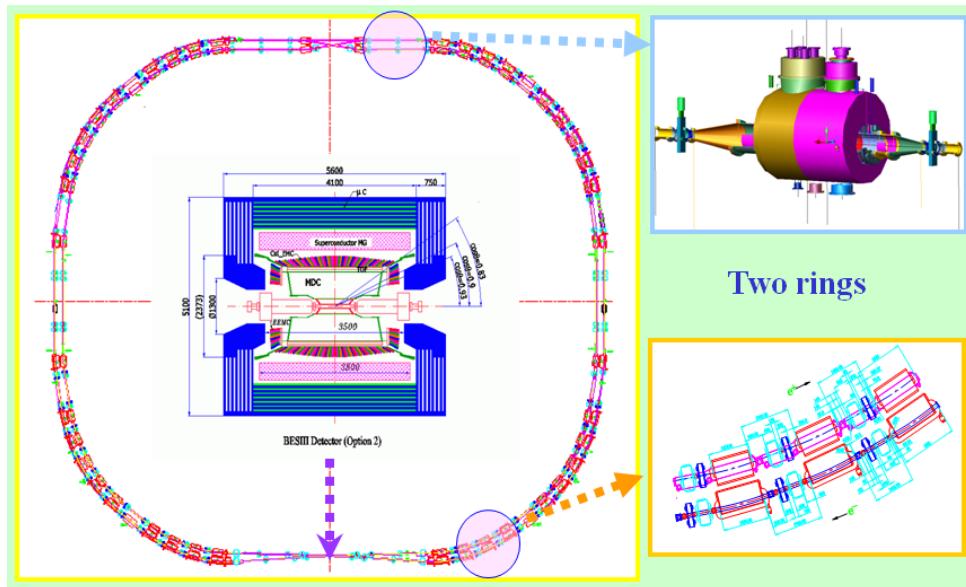
BESIII Detector

BEPCII & BESIII



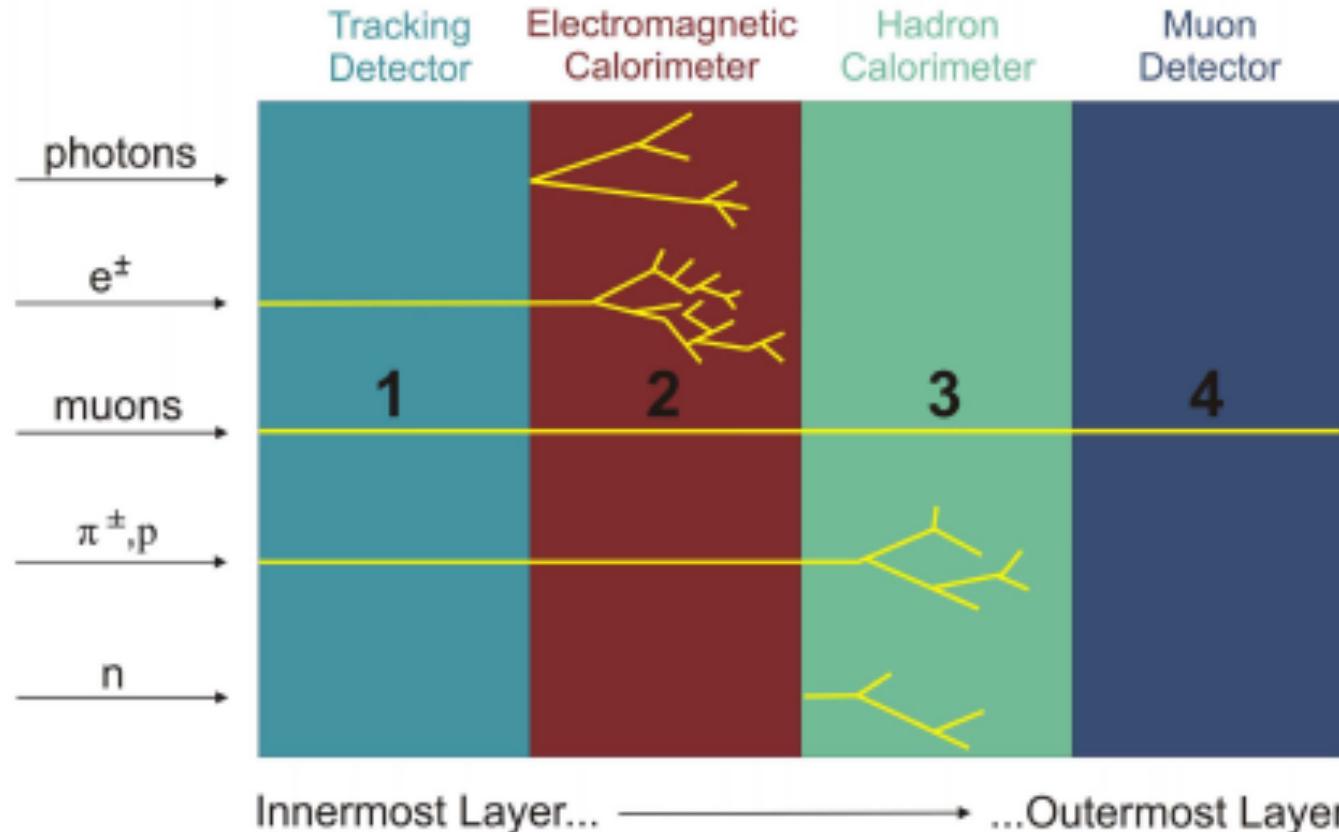
北京正负电子对撞机 (BEPCII)

- BEPCII是一个高亮度、多束团的双环对撞机， $2\sim 5\text{GeV}$
- BEPCII 包括直线部分和储存环部分。LINAC(200米)，用于产生高能正负电子，储存环(周长为240.4米)，用于高能正负电子存储、对撞



末态粒子在探测器中的测量

- 在对撞产生的数百种粒子中，绝大多数寿命极短，只有少数几种寿命大于 10^{-8} 秒，它们在探测器尺度（米）范围内被视为稳定粒子，称为末态粒子
- 谱仪中产生的粒子（初态粒子）可由末态粒子重建出来，因此在谱仪中，对末态粒子的分辨至关重要



BESIII探测器设计要求

- 物理目标: τ -粲能区高精度的物理研究
- 探测器设计要求:
 - 在10MeV至2.5GeV的能量范围内, 能精确测量光子的能量, 有非常好的能量分辨率、位置分辨率和光子识别能力
 - 在50MeV至2.5GeV的动量范围内, 能精确测量带电粒子的动量与方向, 即非常好的动量分辨率、顶点位置分辨率、出射位置分辨率等
 - 在50MeV至2.5GeV的动量范围内能很好地鉴别区分各种粒子, 如光子、电子、 μ 子、质子、 π 介子、 K 介子等
 - 电子学和数据获取系统应适应多束团模式和高计数率

BESIII探测器

Muon Counter

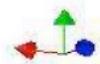
SC magnet

TOF

Be beam pipe

Drift Chamber

CsI(Tl) calorimeter

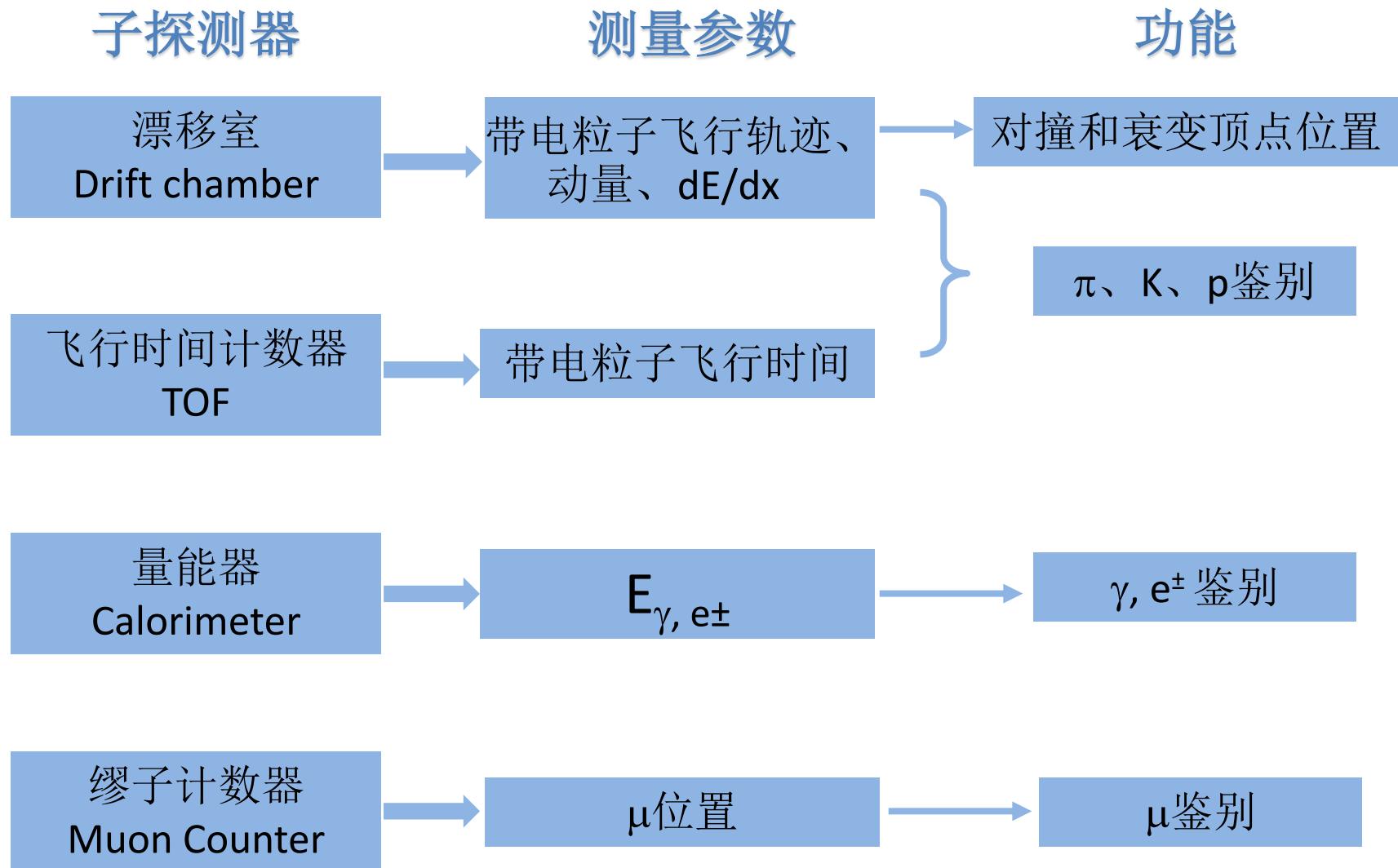


根据科学目标

优化整体方案

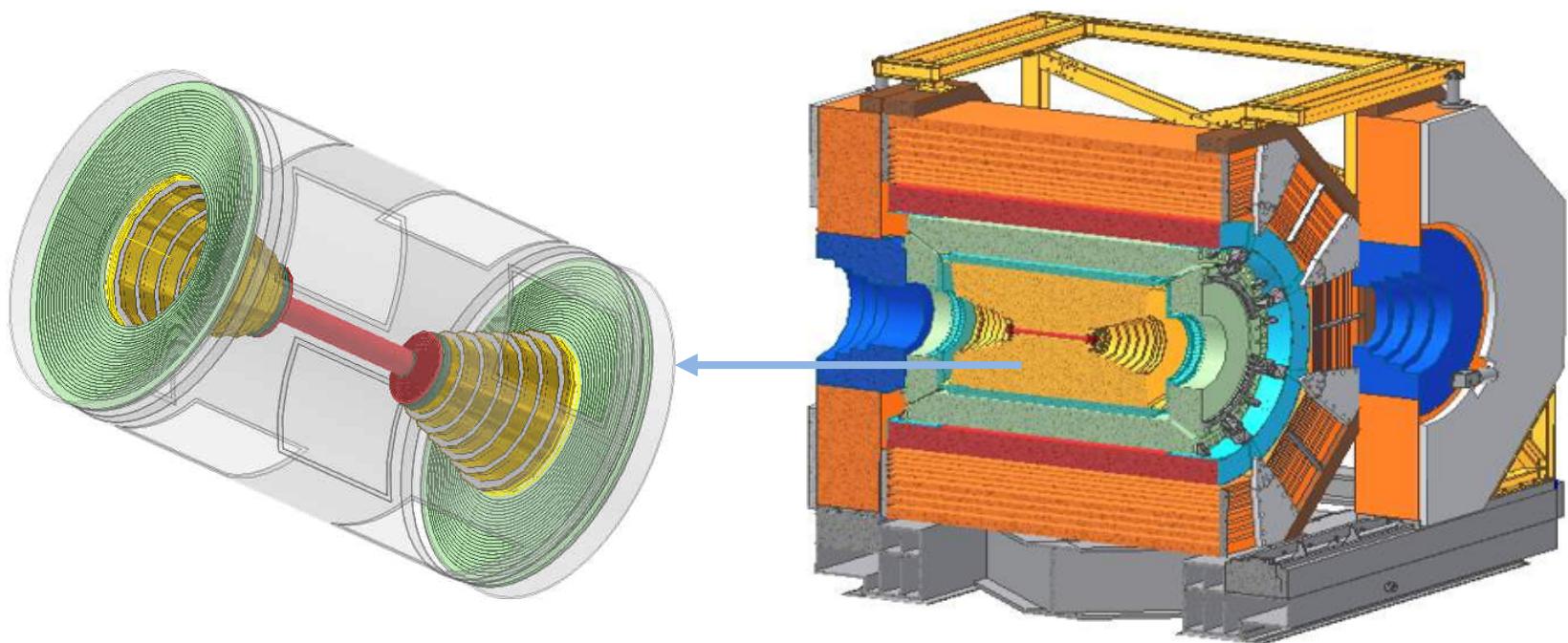
- 适应 BEPCII 高计率
 - $> 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 - 对撞间隔 6 or 8ns
 - 事例率高达 40kHz.
- 减少系统误差，与高统计性相适应
 - 提高动量能量分辨率
 - 提高 PID...
- 增加几何接收度
 - ✓ 总重量： 730吨
 - ✓ 读出道数： ~3万道
 - ✓ 数据率： ~50Mb/s

BESIII子探测器

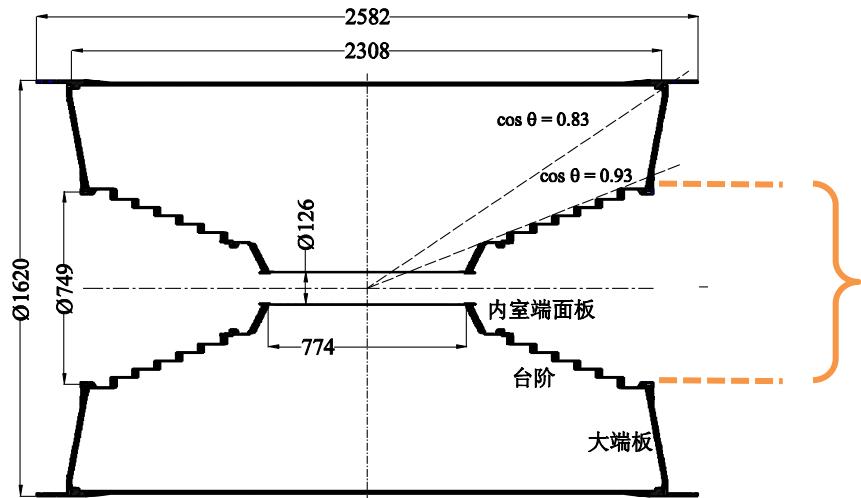


漂移室 (MDC)

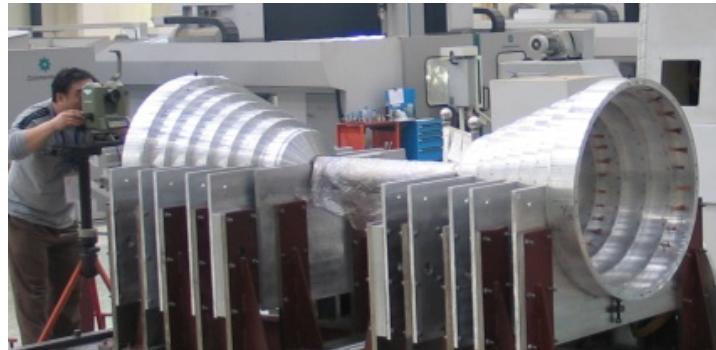
- BESIII采用漂移室(Multi-layer Drift Chamber)作为中心径迹探测器，对末态带电粒子的飞行轨迹、动量及能量损失进行测量
- 总体结构
 - 圆柱形漂移室，内外半径分别为59mm和810mm，内外桶均使用炭纤维材料
 - 端面板采用特殊的阶梯形结构，并将室体分为内、外室两部分，外室又分为台阶和大端板两部分，台阶部分由6个独立的圆环板组装而成
 - 使用铝场丝，还能大幅度降低丝张力，减小端面板和内外桶的受力，从而可以减小端面板和内外桶的厚度，进一步降低室体的物质量



主体结构



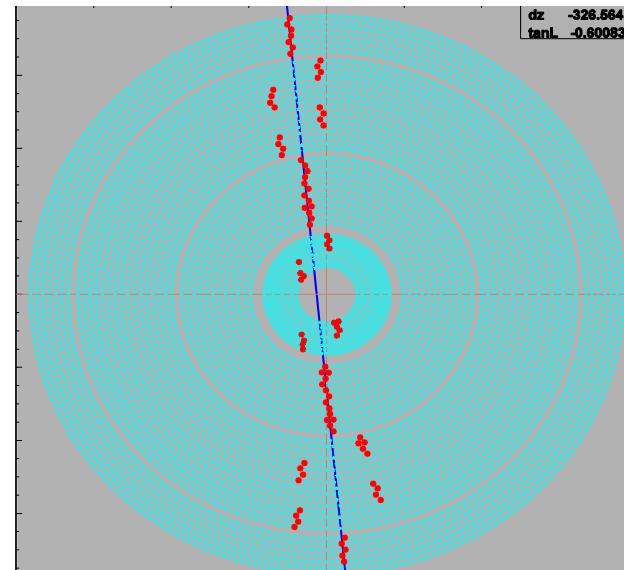
内室和台阶



碳纤维外桶

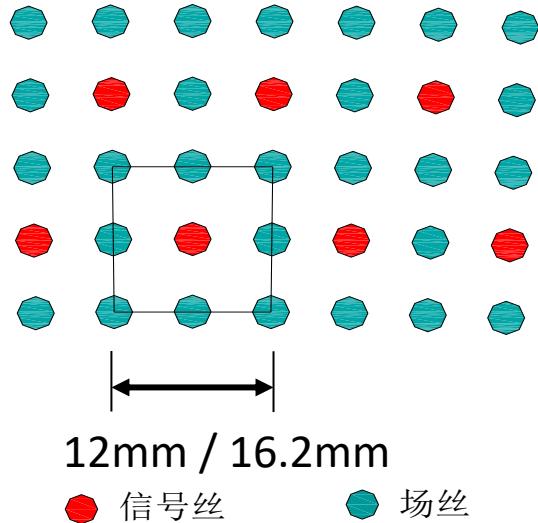


大端面板

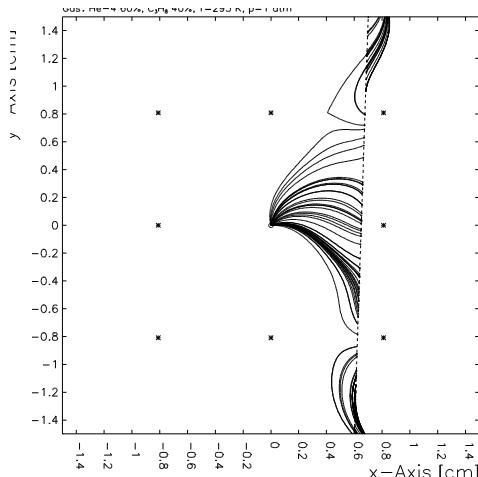


x-y 平面

单元结构

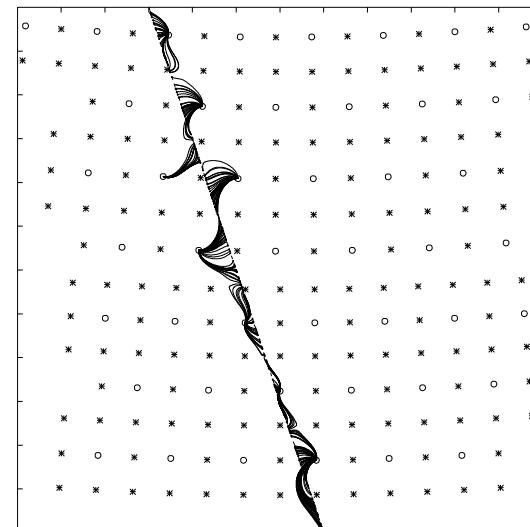


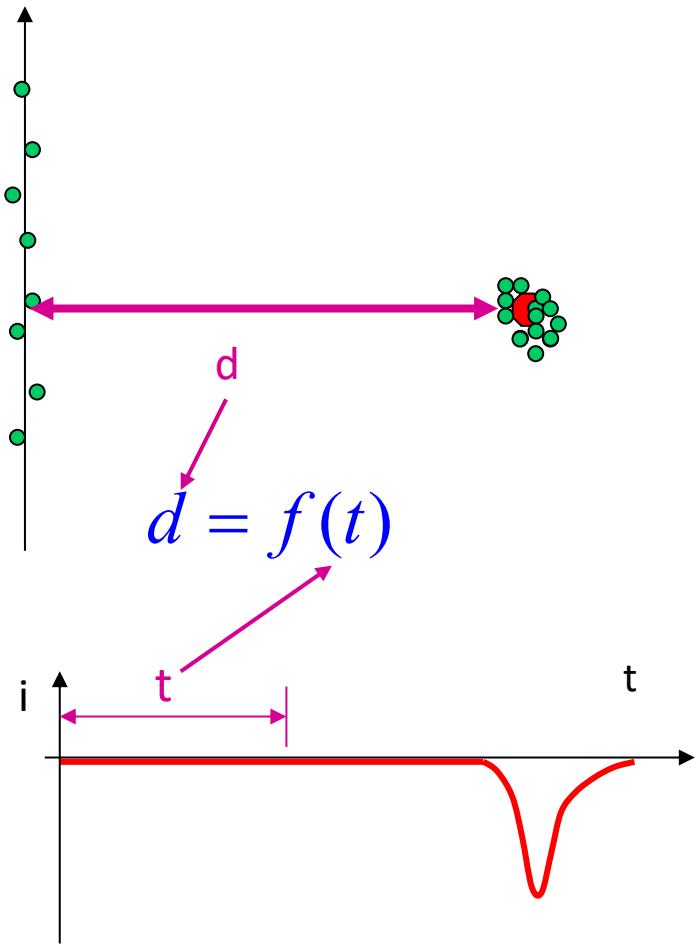
带电粒子穿过后单
元内的漂移线



- 类正方形小单元结构
 - 内室单元平均半宽6mm
 - 外室单元平均半宽8.1mm
- 相邻丝层相错半个单元，解决左右分辨
- 信号丝： $\phi 25\mu\text{m}$ 镀金钨丝，6796根
- 场丝： $\phi 110\mu\text{m}$ 镀金铝丝，21884根

带电粒子穿过后，相应的单元“着火”



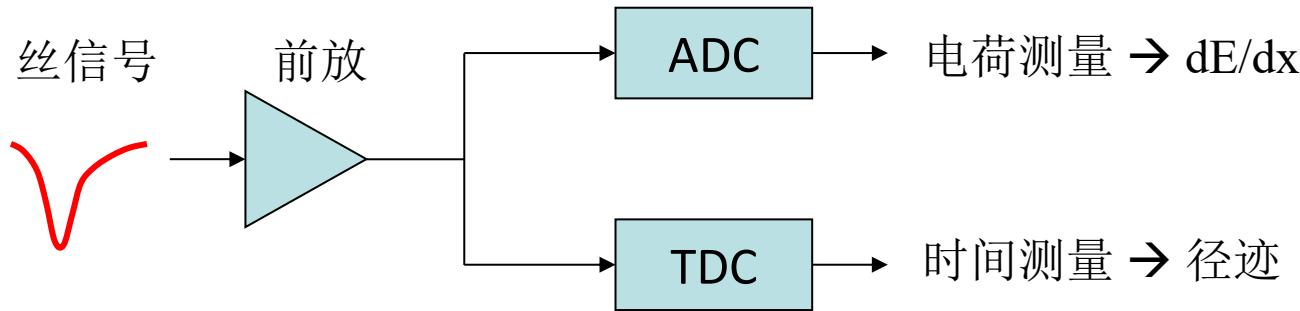


带电粒子穿过漂移室，
电离产生电离电子和离
子

电离电子在电场作用下
向信号丝漂移，在信号
丝附近发生雪崩放大，
信号丝上产生信号

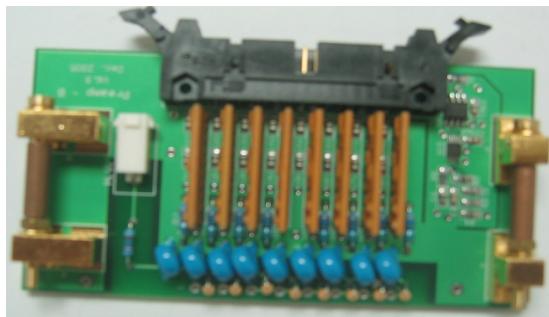
测量到的漂移时间通过
时间-距离关系转换为
漂移距离，这个函数关
系通过离线刻度得到

电子学测量



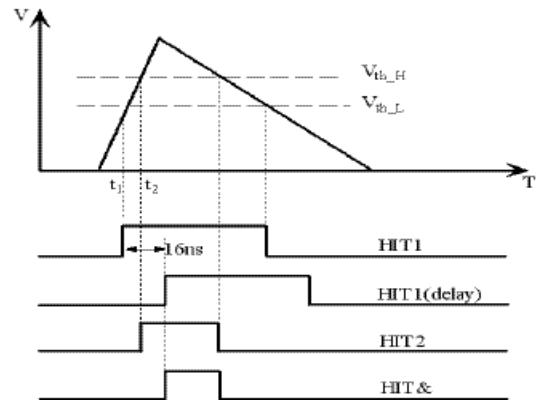
前置放大器

粒子穿过漂移室时，信号丝上产生的信号十分微弱（ μA 量级），必须先进性适当的预放大，才能满足后续电路处理的需要



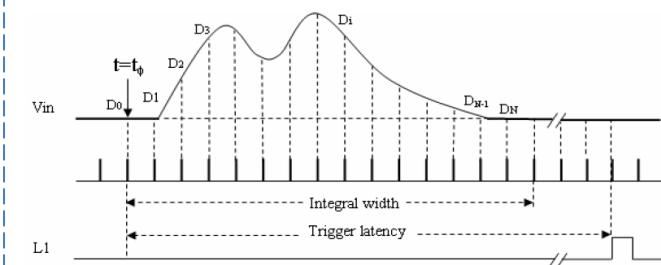
时间测量

高阈甄别：有利于排除噪声
低阈定时：减少幅度效应引起的时间游动



电荷测量

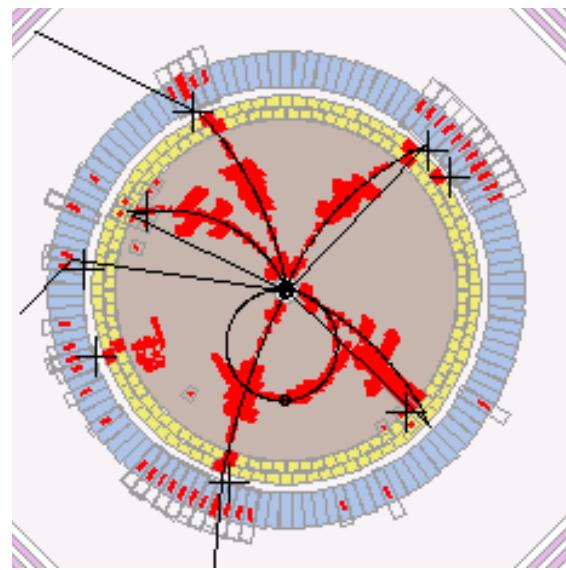
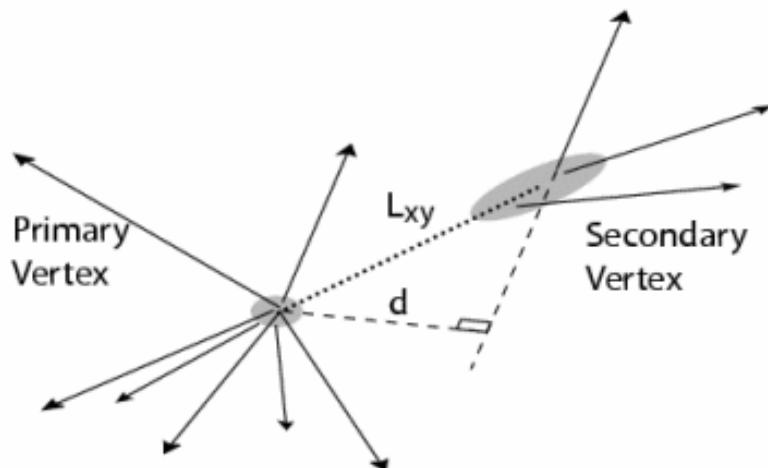
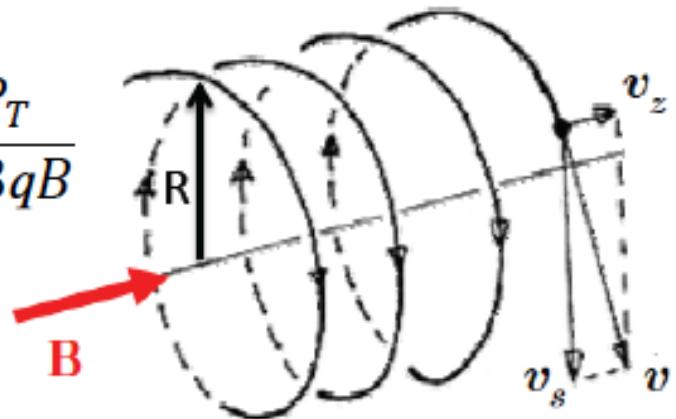
基于FADC数值积分方法(40MHz)



径迹测量

- 目的
 - 顶点测量
 - 动量测量
 - 径迹外推与匹配

$$R = \frac{P_T}{0.3qB}$$



动量分辨

- 两部分贡献

- 径迹的位置测量精度

- 与探测器空间分辨有关

$$\left(\frac{\sigma(P)}{P}\right)^2 = \left(\frac{\sigma(P)}{P}\right)_{meas}^2 + \left(\frac{\sigma(P)}{P}\right)_{MS}^2$$

- 多次散射

- 带电粒子受到介质原子核电场的作用，轨迹发生偏转
 - 对动量测量误差的贡献

$$\left|\frac{\sigma(P)}{P_T}\right|_{MS} \sim \frac{1}{B\sqrt{LX_0}} \quad (\sigma_\theta)_{MS} \sim \frac{1}{P} \sqrt{\frac{L}{X_0}}$$

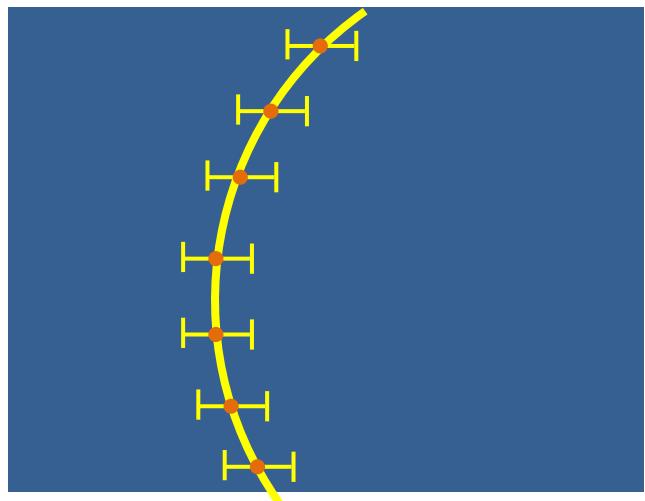
位置测量对动量测量的影响

考虑N个等距测量点，如果N≥10，有

$$\frac{\delta P_T}{P_T} = \frac{\delta y P_T}{0.3qBL^2} \sqrt{\frac{720}{N + 4}}$$

P_T 的测量误差

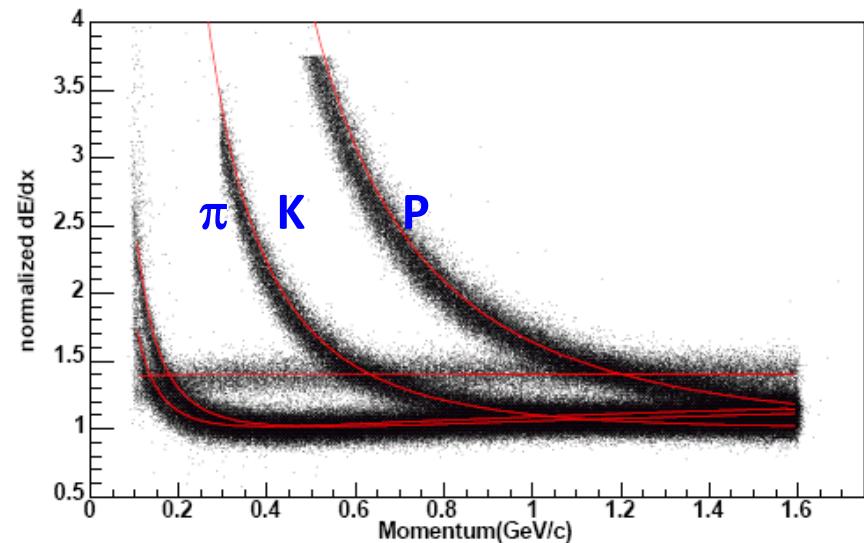
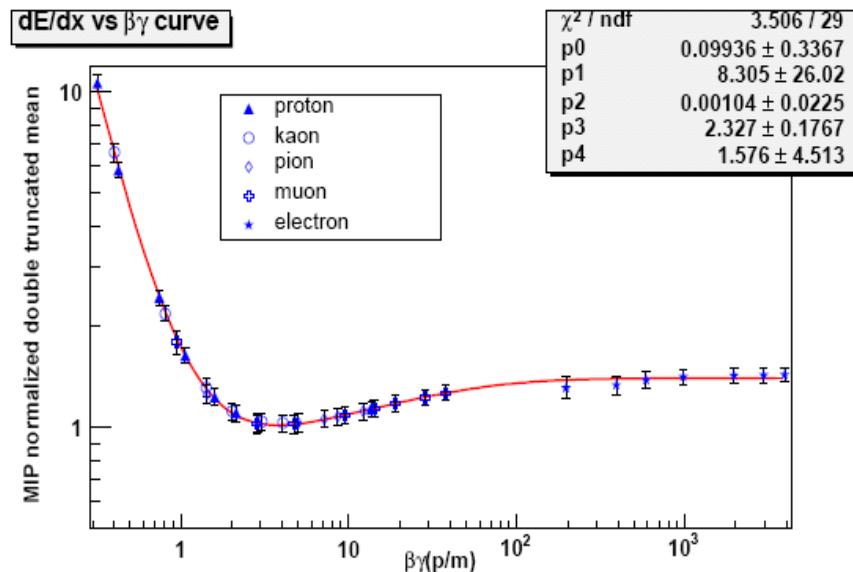
- 正比于 P
- 与 B 成反比
- 与 L^2 成反比
- 正比于空间分辨
- 随 N 的增大而减小



能量损失(dE/dx)测量

- 目的：鉴别粒子种类

$$P = m \cdot \beta\gamma$$

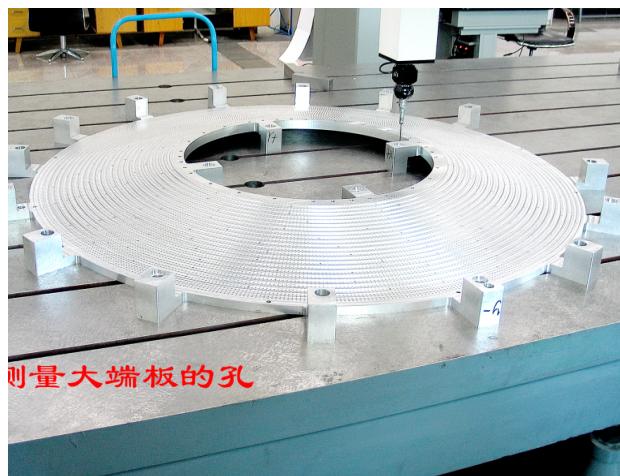


$$\chi = \frac{dE/dx(\text{测量}) - dE/dx(\text{期望})}{\sigma(dE/dx)}$$

不同粒子假设得到不同的期望值，与测量值比较可以得出被测粒子是某种粒子的几率

漂移室的建造 (1)

大端板打孔



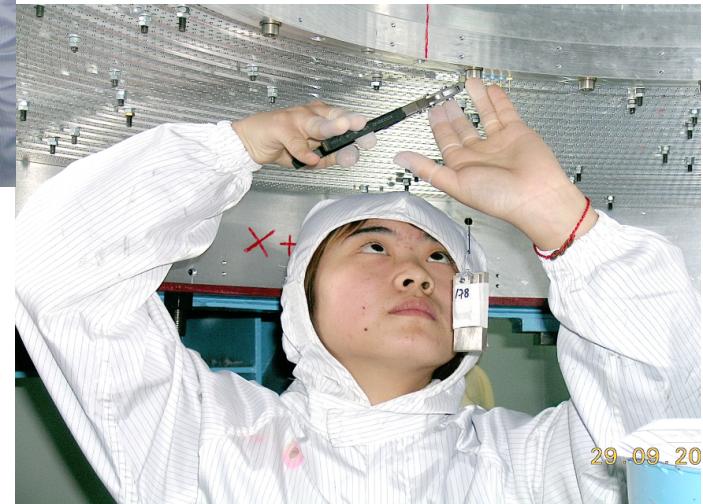
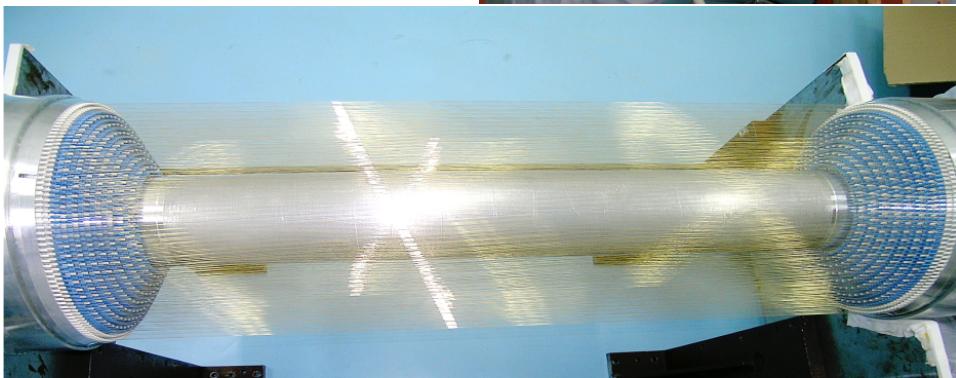
内室拉丝



外室拉丝

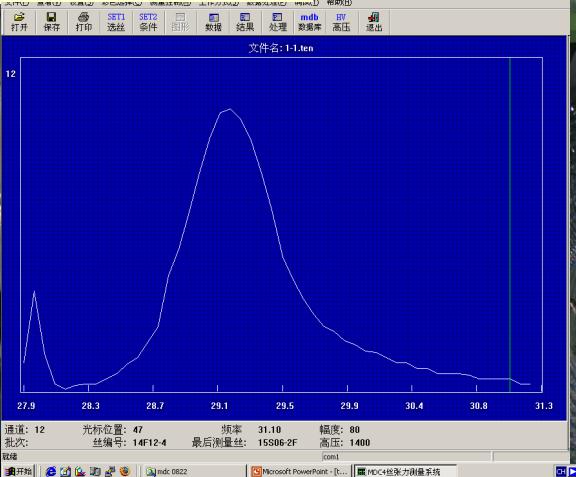
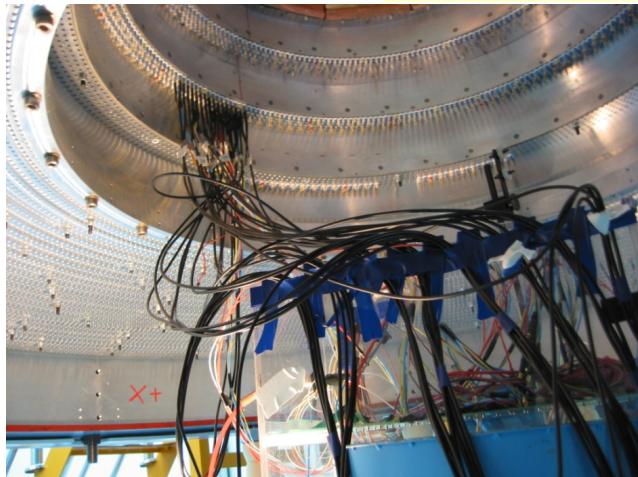


内室

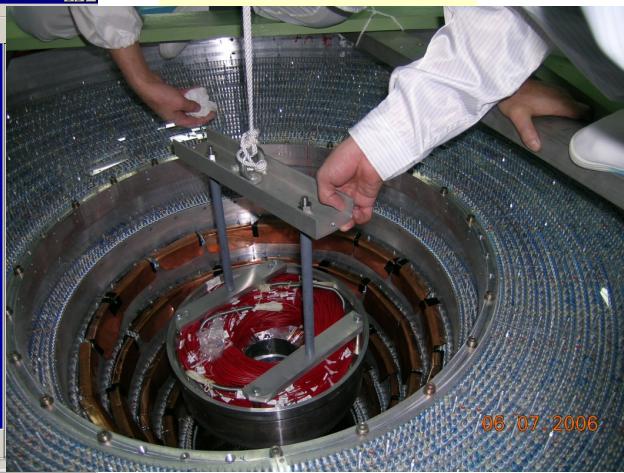


漂移室的建造 (2)

静电共振法测量丝张力



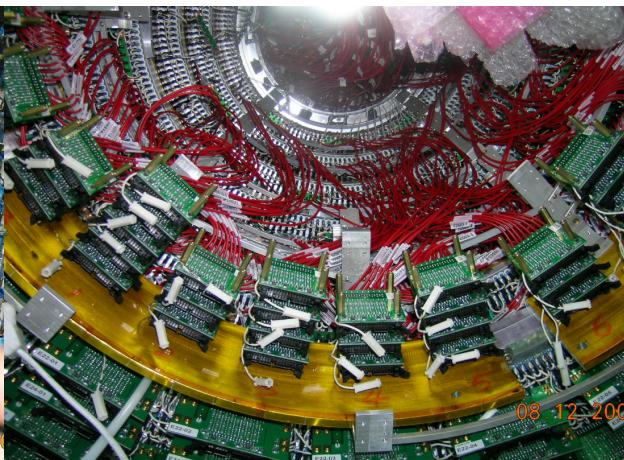
内室安装



密封涂胶



安装前放

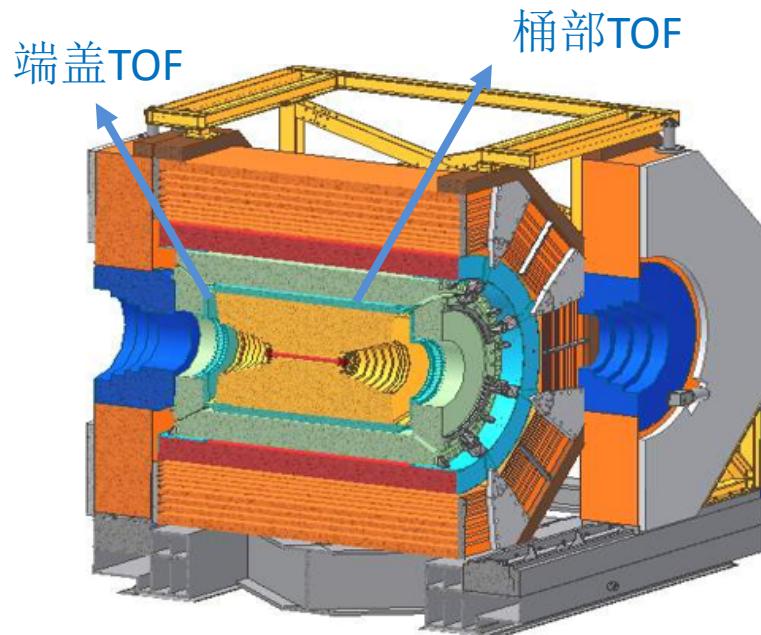
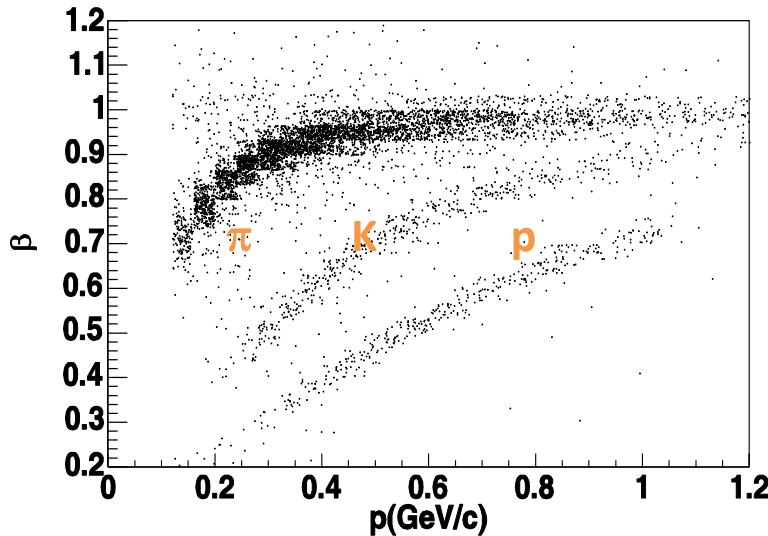


安装到BESIII



TOF 探测器

- 用于粒子鉴别，位于主漂移室外，塑料闪烁+光电倍增管（双端）带电粒子在闪烁体中激发产生荧光，通过光电转化输出信号，给出击中时间信息
- 测量带电粒子在漂移室内的飞行时间，结合漂移室测得的粒子动量和径迹，来辨别粒子的种类。同时也参与第一级触发判选，且可通过不同探测器输出信号之间的时间关系来排除宇宙线本底

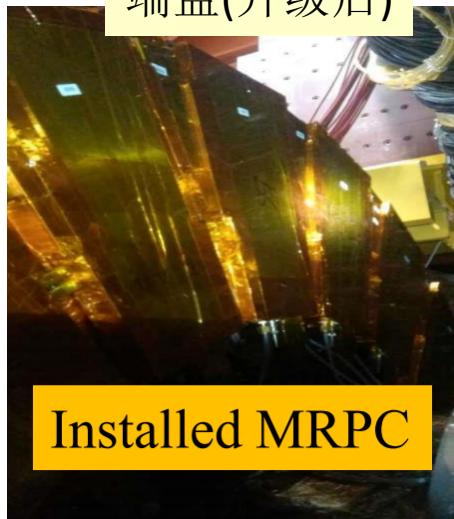


TOF

端盖(升级前)



端盖(升级后)

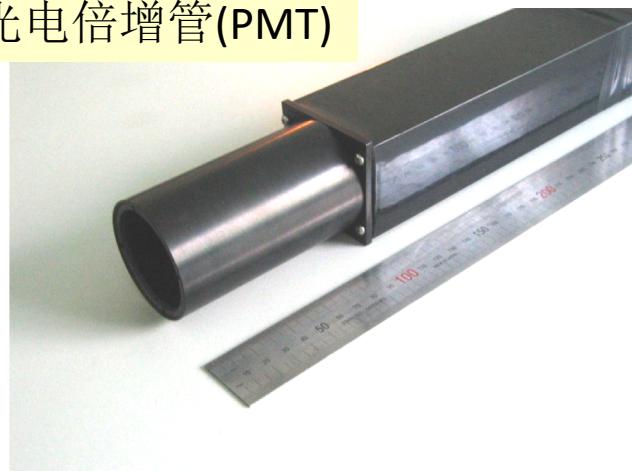


桶部



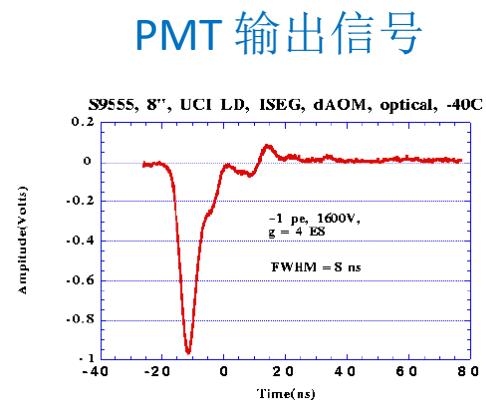
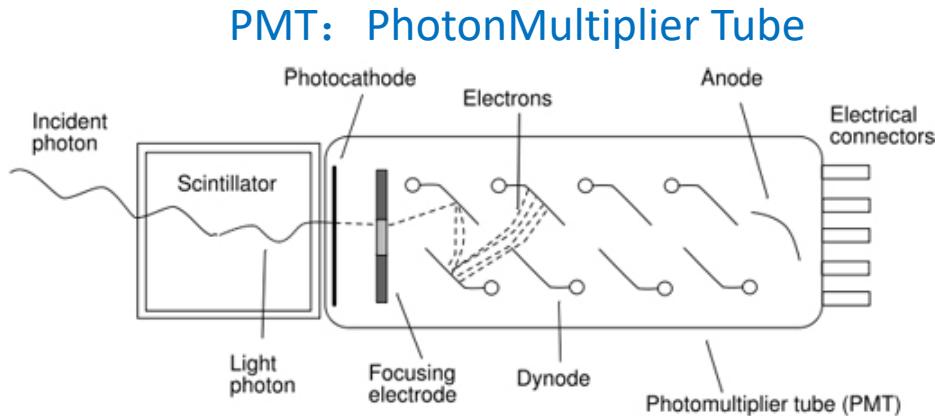
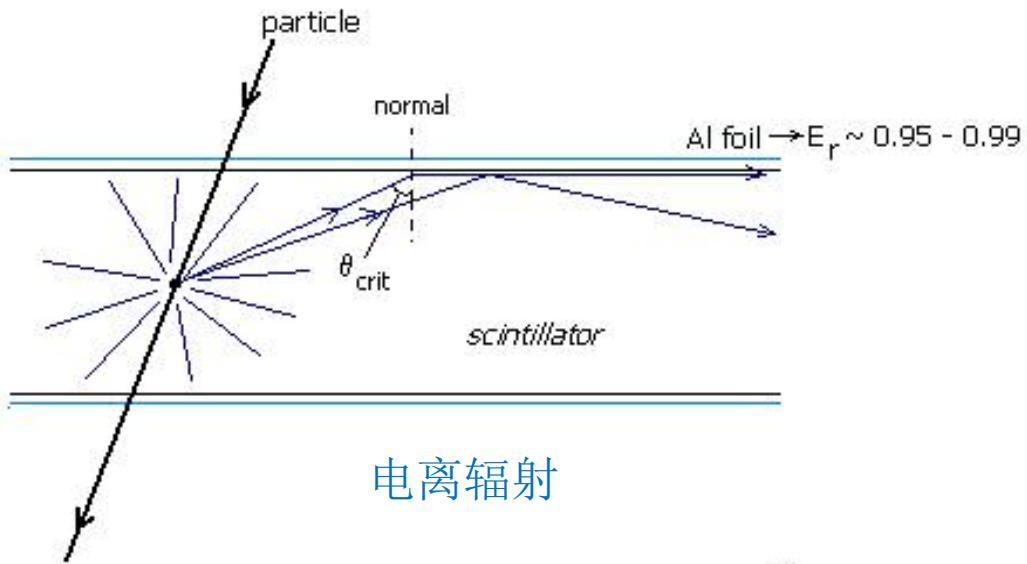
- 塑料闪烁体+光电倍增管
- 桶部双层：BC408
- 旧端盖单层：扇形BC404
- 新端盖：多气隙电阻性板室（MRPC）

光电倍增管(PMT)



闪烁体与光电倍增管

- Scintillator & PMT
- 光电倍增管输出信号，测量量：
 - 时间 (TDC)
 - 脉冲幅度 (QTC)
正比于产生的光子数目



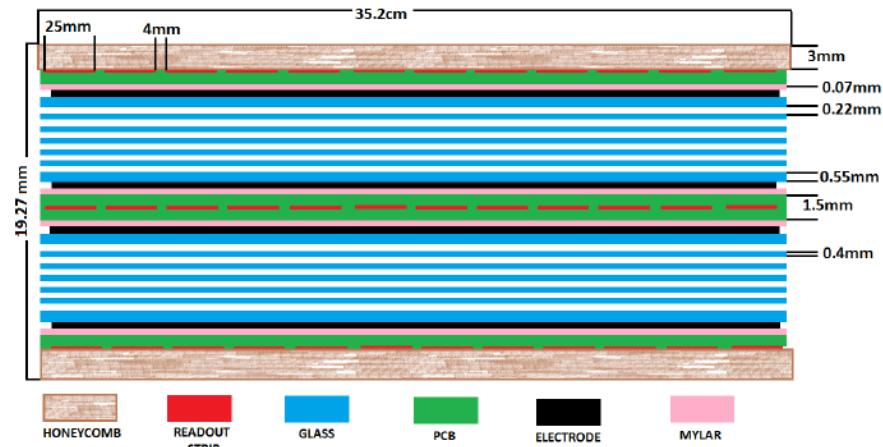
升级后的端盖TOF --MRPC

	Old	New
Detector	Scintillator	MRPC
Modules	96	72
Electronics Channel	96	1728
Time resolution (ps)	138	65

2015年夏季安装

2015年底正式运行取数

气隙MRPC与双端读出方案



探测器读出：

Small Pad 且双端读出：
去除位置不确定的影响
经费增加

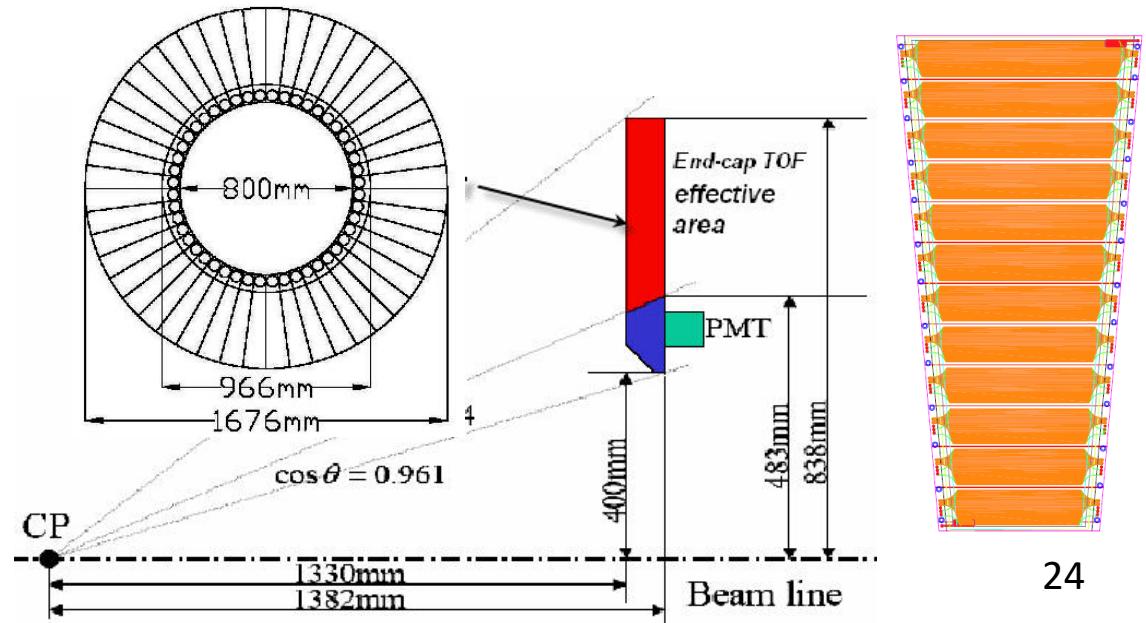
前端电子学：Nino

包含数字化
幅度测量使用TOT

14ps

后端电子学：HPTDC

10~20ps



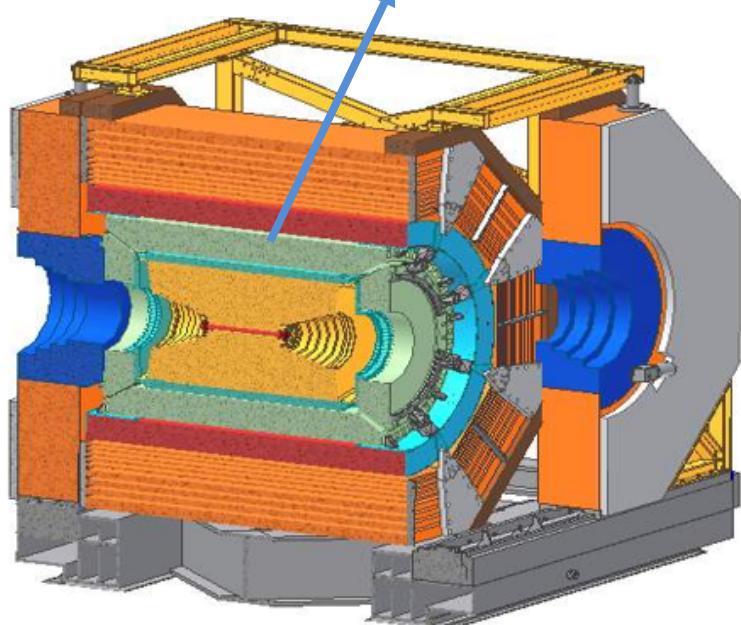
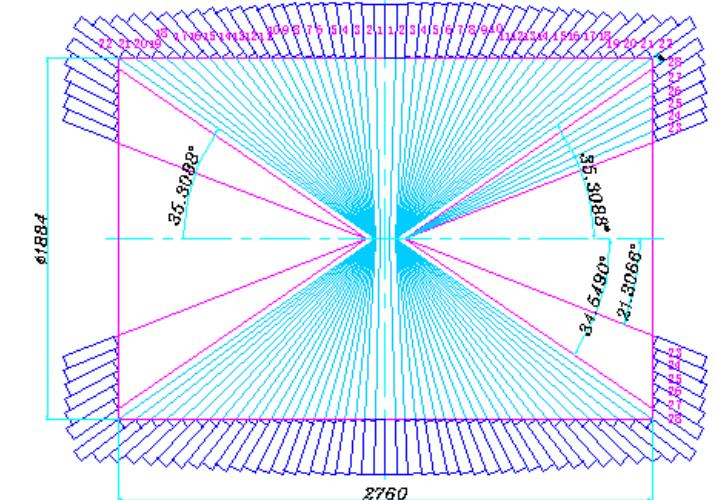
电磁量能器 (EMC)

- 物理要求

- 精确测量 γ 和电子的能量和位置
- 测量能区范围: $20\text{MeV} \sim 2\text{GeV}$, 重点能区 $< 500\text{MeV}$ 的低能区
- 能分辨高能 π^0 衰变产生的夹角很小(约 10°) 的双光子

- 设计目标

- 能量分辨率: $\leq 2.5\% @ 1\text{GeV}$
- 位置分辨 $\sigma_x, y \leq 6\text{ mm} @ 1\text{GeV}$
- 提供中性 (γ) 能量触发
- 在能量大于 200 MeV 的区域具有良好的 e/π 分辨
- 每块晶体读出电子学的等效噪声能量 $< 220\text{keV}$



工作原理

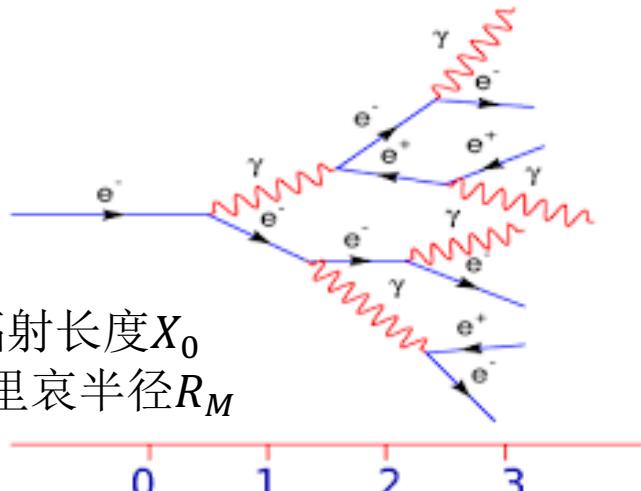
高能电子和光子在灵敏介质中电磁簇射 → 闪烁光/电信号 → 信号输出 → 能量、位置测量

主要指标：能量和位置分辨率

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{a}{\sqrt{E}} \oplus \frac{b}{E} \oplus c$$

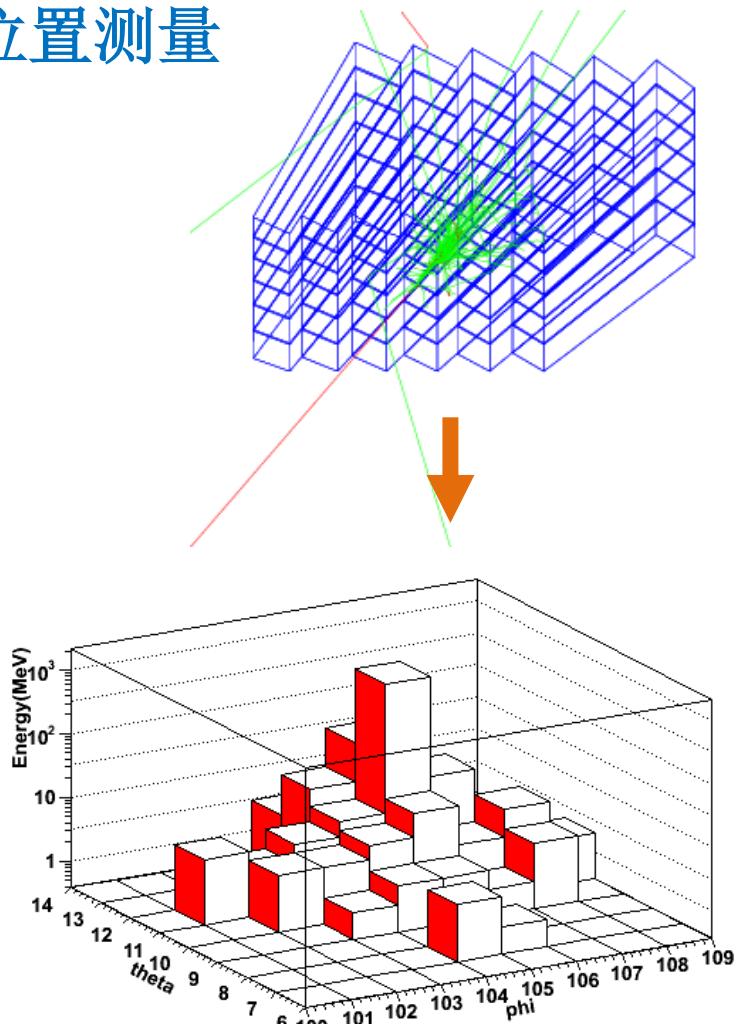
$$\sigma_{\theta, \phi} = \frac{a}{\sqrt{E}} \oplus c$$

a: 取样
b: 噪声
c: 常数



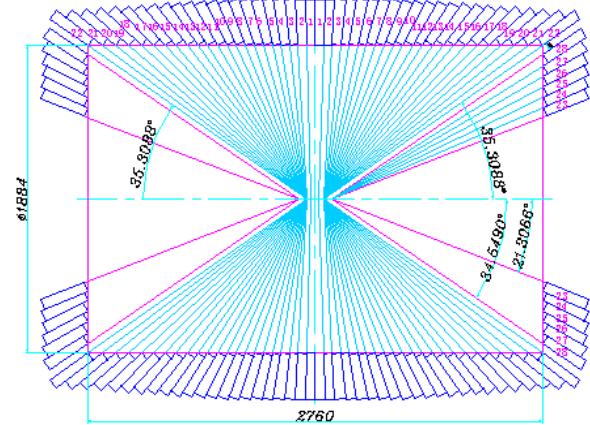
辐射长度 X_0
莫里哀半径 R_M

电磁簇射过程的简单图像

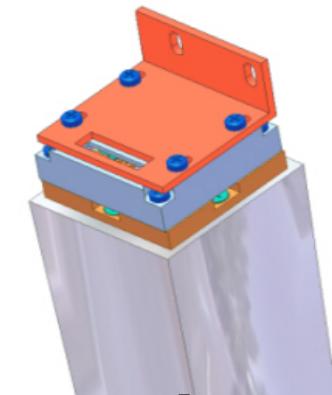


设计特点及结构

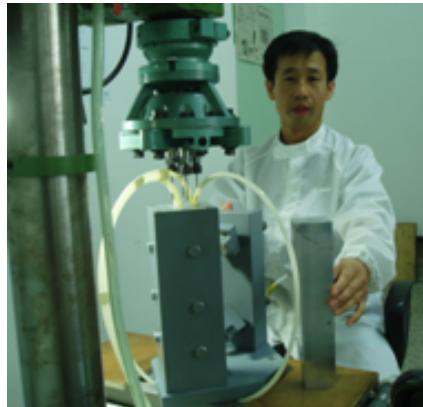
- CsI(Tl)晶体作为探测灵敏材料的全吸收型电磁量能器
- 为了减小晶体间的死物质层，提高能量分辨率，采用晶体吊挂的安装方式，而不使用国际上常用的晶体间网格状的支撑结构
- 量能器分为桶部和两个端盖，覆盖总立体角为： $93\% / 4\pi$
- 桶部 $120 \times 44 = 5280$ ，端盖 $2 \times (96, 96, 80, 80, 64, 64) = 960$



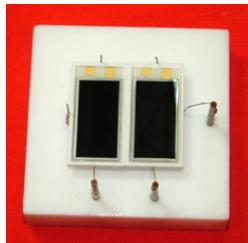
- 晶体探测单元由CsI(Tl)晶体、PD（2个）和前放（2个）→（1个主放）
- 硅光二极管：S2744-08 ($1\text{cm} \times 2\text{cm}$)，两片PD总噪声正比于 $1.4S_{\text{PD}}$
- 低噪声电荷灵敏前放：增益 $1\text{mV}/\text{fc}$
- 采用双通道读出有利于降低噪声，并且增加系统的安全性



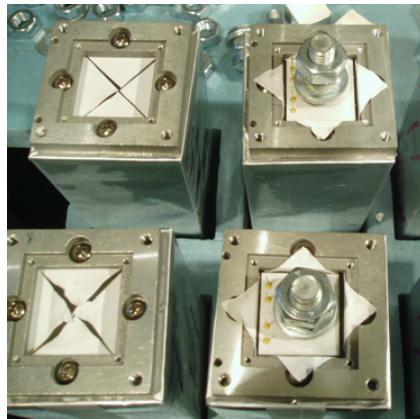
CsI(Tl)晶体探测器单元制作



晶体打孔



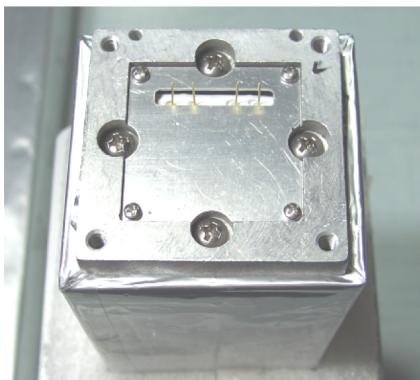
PD光导粘接



PD与晶体粘接



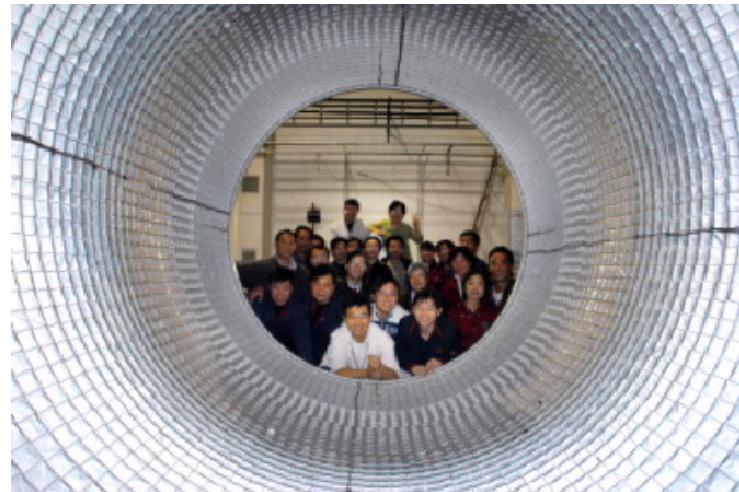
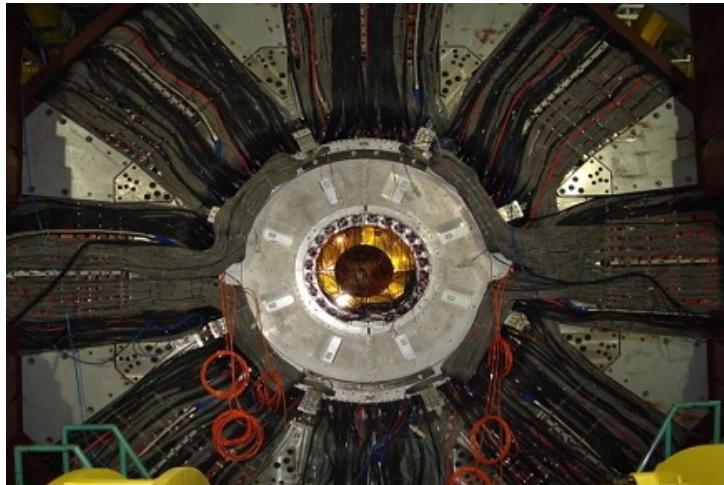
底板安装



前放安装



量能器的安装

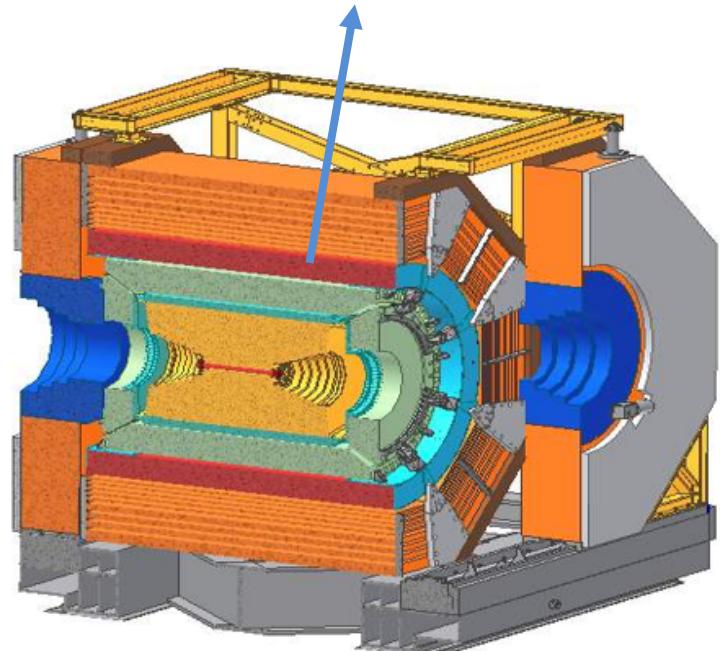
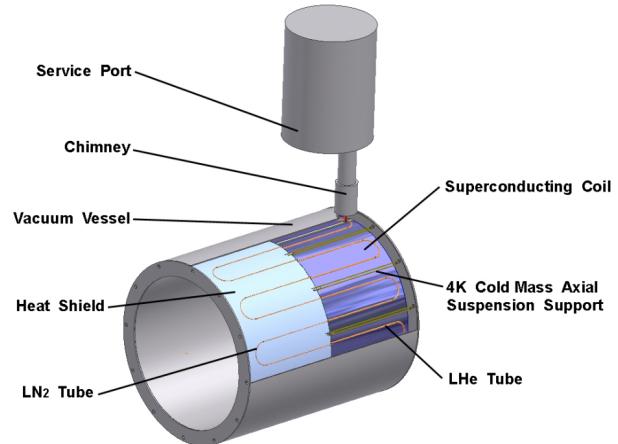
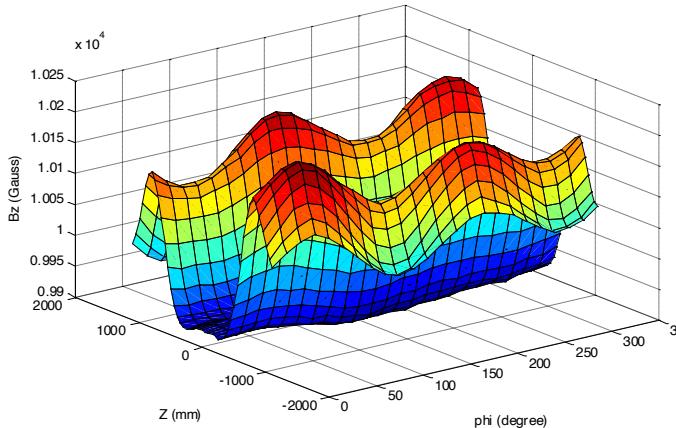


超导磁铁

国内最大的单体超导磁铁

Central Field	1.0 T
Length	3.9 m
O.D.	3.4 m
Operation current	3369 A

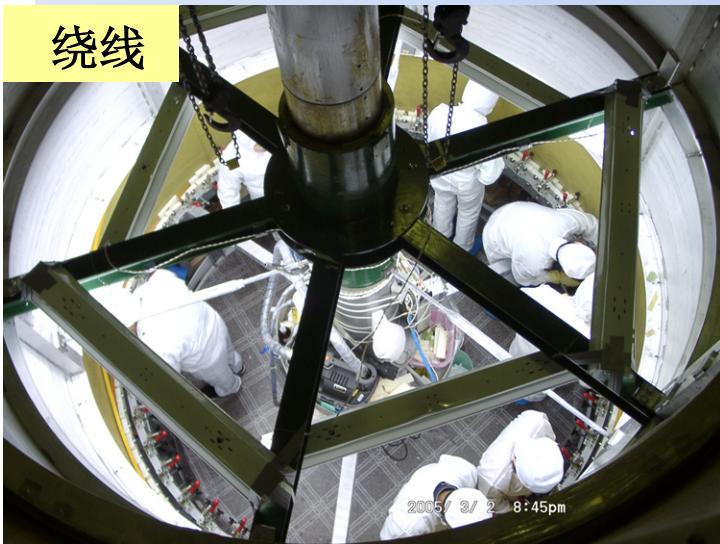
2006年9月励磁测试时达到10029.8高斯



攻克了北京正负电子对撞机重大改造工程的难关之一，
研制成功标志着我国超导技术取得的又一巨大进步

超导磁铁研制、运输和安装

绕线



包绝热膜



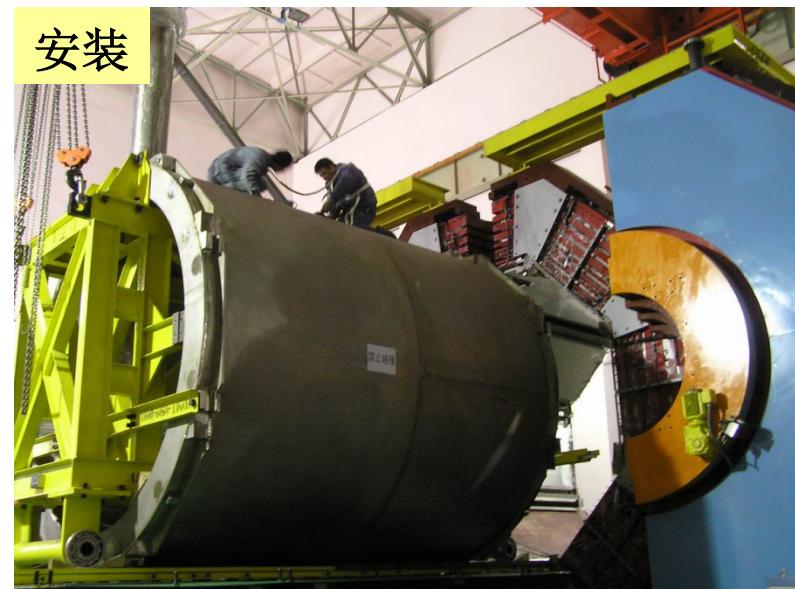
组装



运输



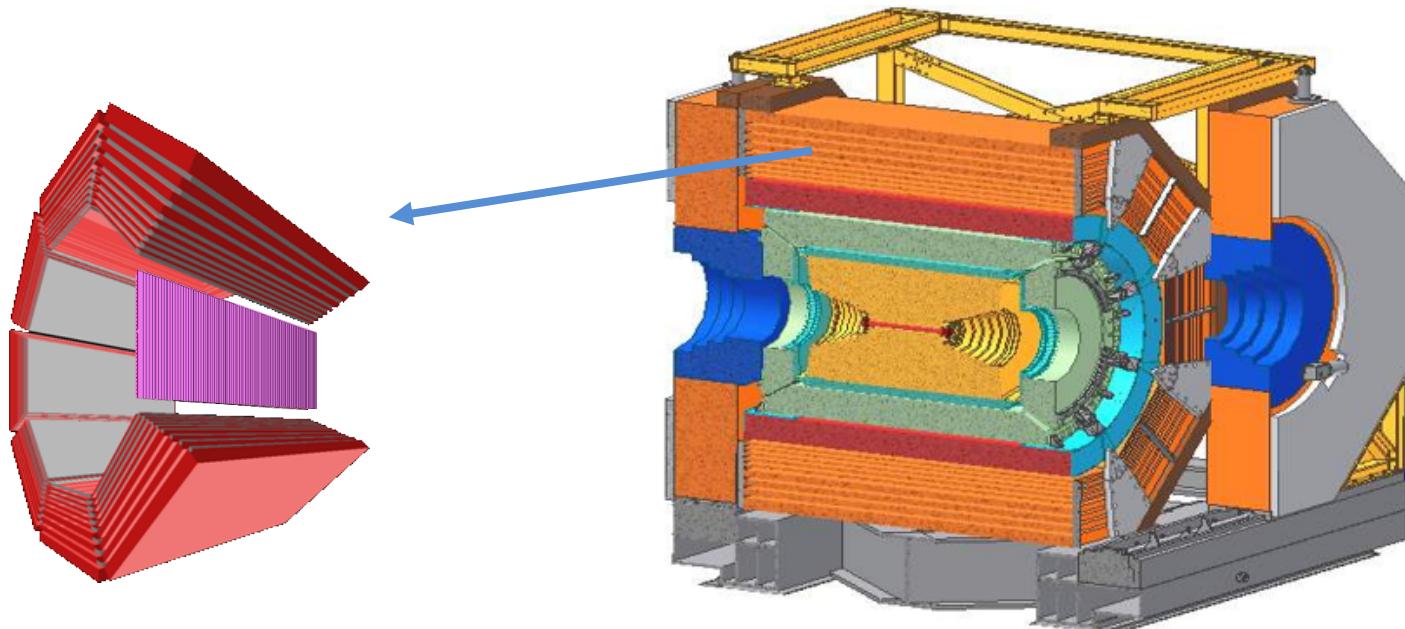
安装



Muon探测器

- 物理要求

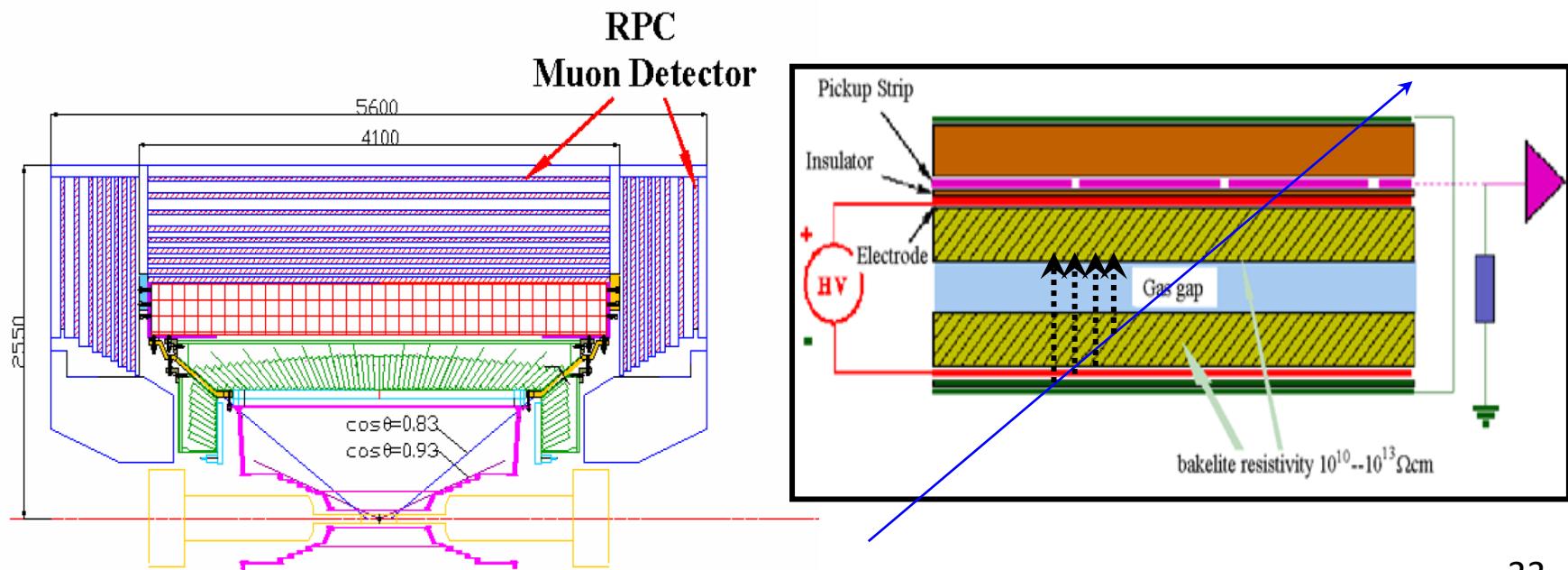
- 测量反应末态中的 μ 的位置和大致飞行轨迹。与内层探测器的粒子径迹相连接，精确测量 μ 子的动量并与其他带电粒子（尤其是 π ）区分开来。
- 在一些重要的物理上，尤其是在一些稀有衰变道的测量上， μ 、 π 分辨的好坏，对物理结果的影响很大。



Muon探测器结构

- μ 探测器位于BESIII探测器的最外层，它主要包括 μ 探测器和强子吸收体
- 采用阻性板计数器（Resistive Plate Counter）
- 包括桶部和端盖，桶部：9层，端盖：8层

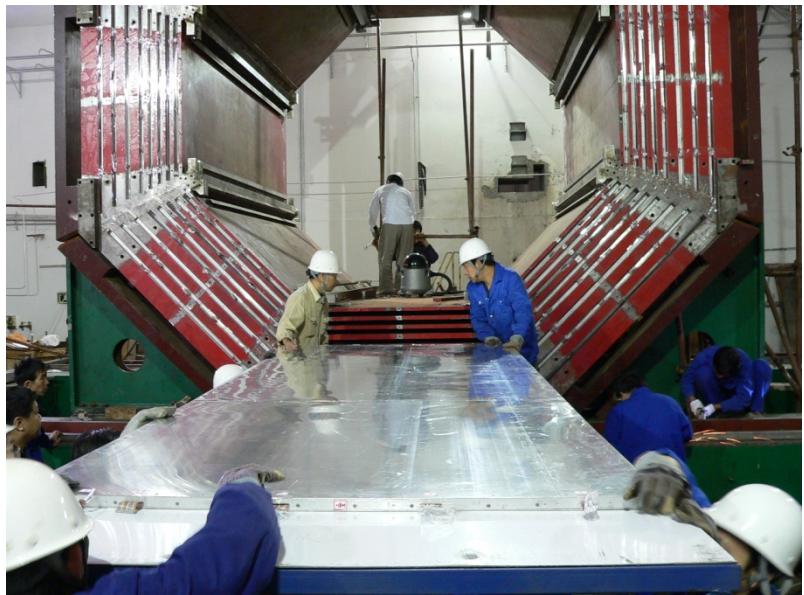
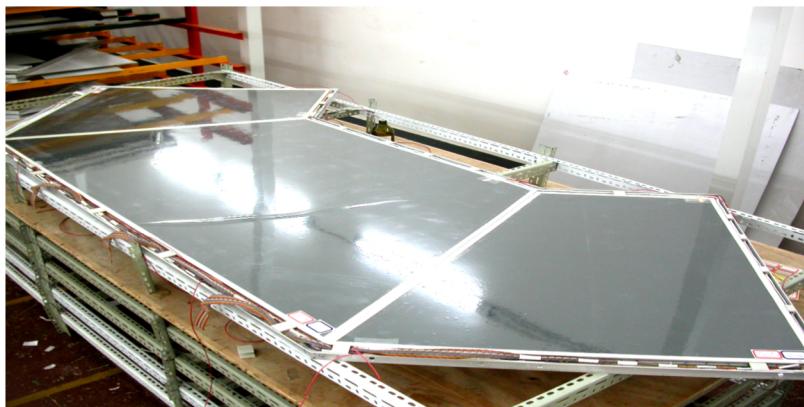
2000 m² RPC
4cm strips,
~9000 channels



RPC 模块生产、测试



Muon探测器的安装



触发和DAQ

What the Trigger & DAQ Does

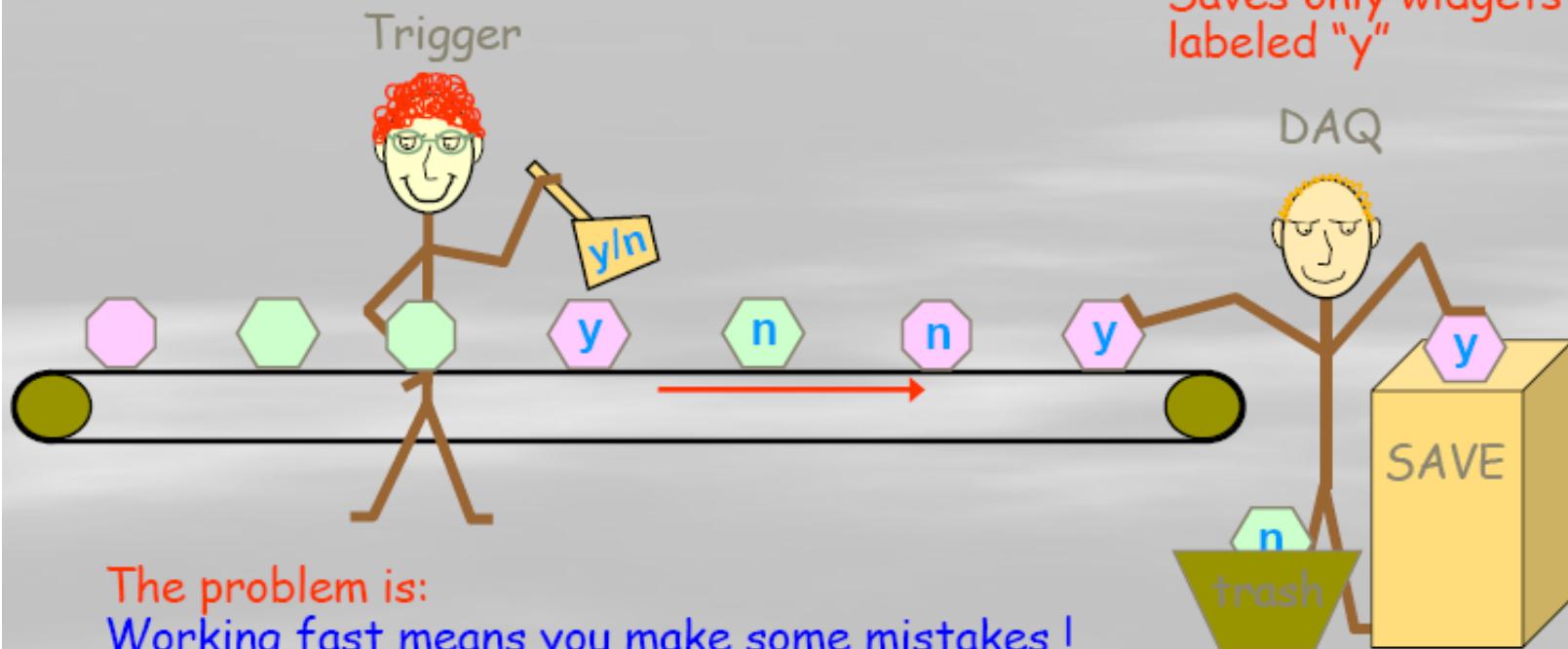
To keep only pink hexagonal widgets moving down a conveyor belt.

Trigger:

Stamp "y" on the pink hexagonal widgets
Stamp "n" on the others

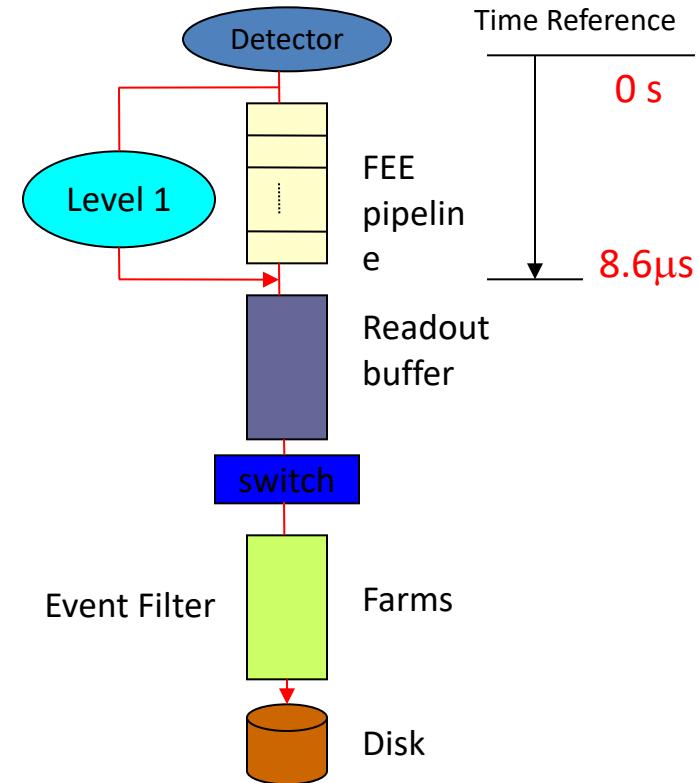
DAQ:

Saves only widgets labeled "y"



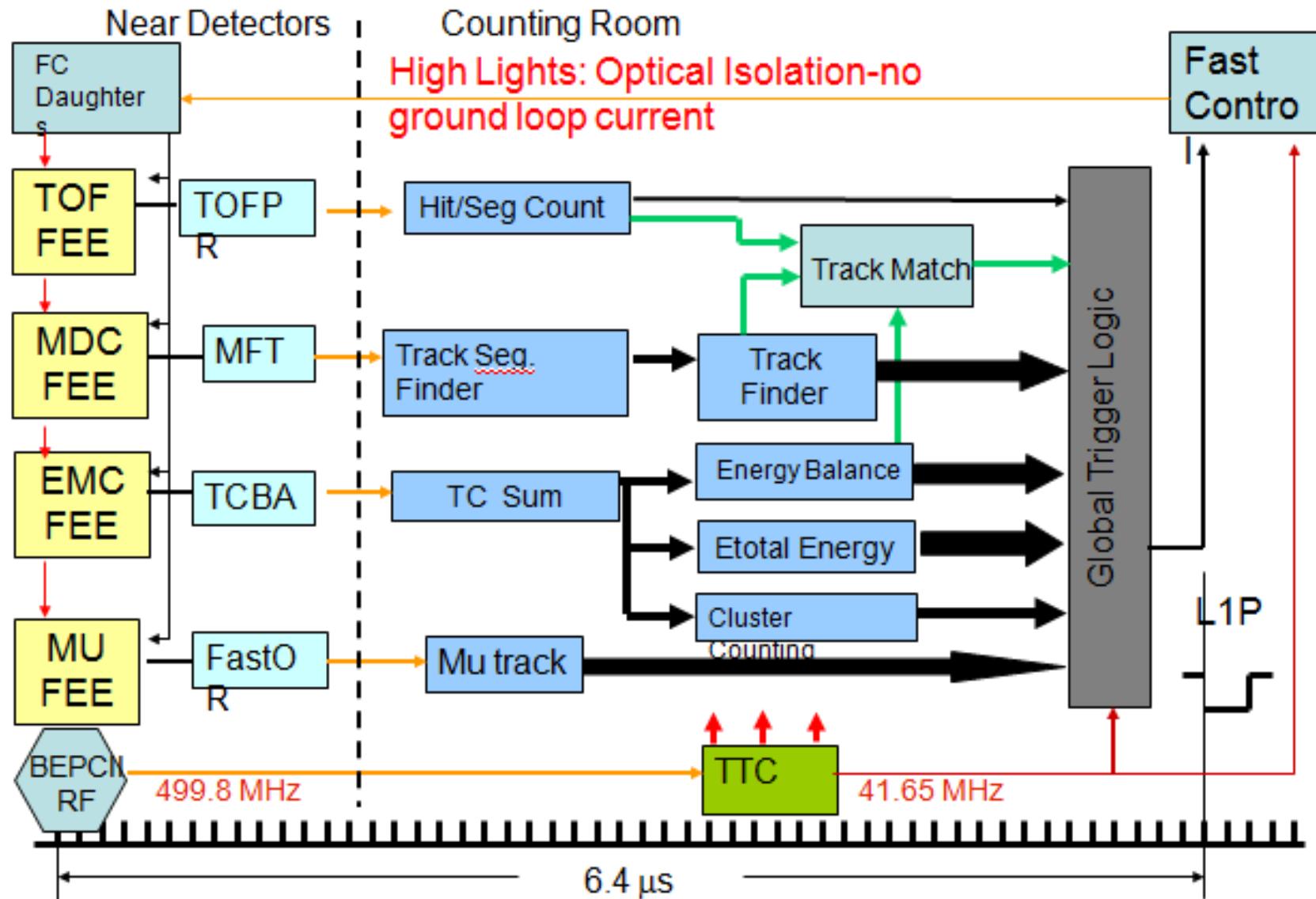
BESIII触发判选系统

- 触发系统是快速实时事例选择和控制系统
- 事例率的估算
 - 好事例率: $\sim 2000\text{Hz}$
 - Bhabha: $\sim 800\text{Hz}$
 - 宇宙线: $< 200\text{Hz}$
排除比例 $> 10:1$
 - 束流本底: $< 2000\text{Hz}$
排除比例 $> 10000:1$
 - 总事例率: 4000Hz
- 触发判选系统采用流水线方式
- L1延时: $8.6\mu\text{s}$ (ETOF)
- L1死时间: $3\mu\text{s}$



BESIII FEE pipeline and Data flow

BESIII触发判选系统



触发条件

Detector	Trigger Condition	Numbering in GTL(00 – 47)	Comments
TOF 6	ETOF BB	16	Endcap TOF Back to Back
	BTOF BB	17	Barrel TOF Back to Back
	NETOF.GE.2	18	Endcap TOF hits number ≥ 2
	NETOF.GE.1	19	Endcap TOF hits number ≥ 1
	NBTOF.GE.2	20	Barrel TOF hits number ≥ 2
	NBTOF.GE.1	21	Barrel TOF hits number ≥ 1
	NTOF.GE.1	22	TOF hits number ≥ 1
MDC 10	STrk BB	38	Short Track Back to Back
	NStrk.GE.N	39	Short Tracks number $\geq N$
	NStrk.GE.2	40	Short Tracks number ≥ 2
	NStrk.GE.1	41	Short Tracks number ≥ 1
	LTrk BB	42	Long Track Back to Back
	NLtrk.GE.N	43	Long Tracks number $\geq N$
	NLtrk.GE.2	44	Long Tracks number ≥ 2
	NLtrk.GE.1	45	Long Tracks number ≥ 1
	NItrk.GE.2	46	Inner Tracks number ≥ 2
	NItrk.GE.1	47	Inner Tracks number ≥ 1
EMC 16	NClus.GE.1	00	Number of Clusters ≥ 1
	NClus.GE.2	01	Number of Clusters ≥ 2
	BClus BB	02	Barrel Cluster Back to Back
	EClus BB	03	Endcap Cluster Back to Back
	Clus_Z	04	Cluster Balance in Z direction
	BClus_Phi	05	Barrel Cluster Balance in Phi direction
	EClus_Phi	06	Endcap Cluster Balance in Phi direction
	BEtot_H	07	Barrel total Energy Higher threshold
	EEtot_H	08	Endcap total Energy Higher threshold
	Etot_L	09	Total Energy Lower threshold
	Etot_M	10	Total Energy Middle threshold
	BL_EngZ	11	Energy Balance in "Z" direction
	NBClus.GE.1	12	Barrel Energy Difference Balance
	NEClus.GE.1	13	Endcap Energy Difference Balance
	BL_BBLK	14	Energy Block Balance
	BL_EBLK	15	Endcap Energy Balance

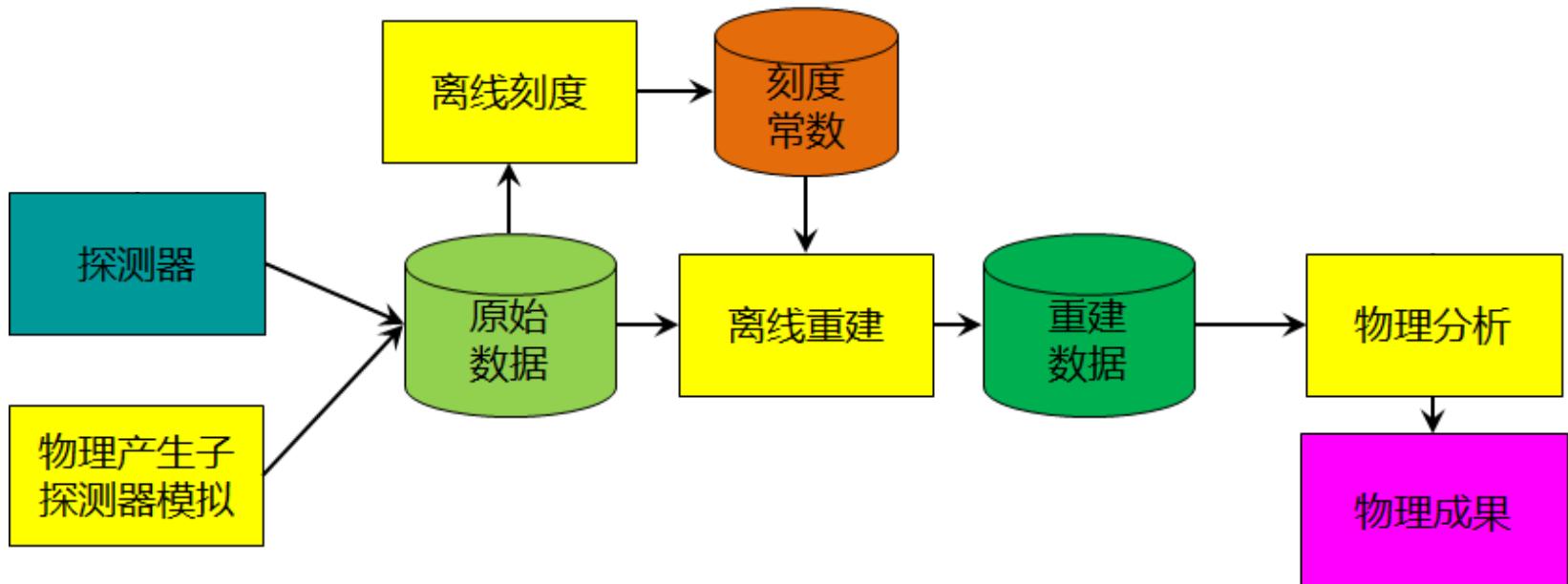
- TOF
 - 击中数 / 击中位置
 - 径迹匹配
- MDC
 - 径迹段寻找
 - 径迹寻找
- EMC
 - 能量平衡
 - 总能量
 - 簇团计数，位置匹配
- 径迹匹配减少本底
- 48个触发条件

物理取数的触发表

			CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	CH13	CH14	CH15	CH16
			Y	Y	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	N	Y	N	N	N	N
EMC	Etot_L	09					Y								Y			
	NBClus.GE.1	12		Y				Y										
	NEClus.GE.1	13	Y															
	ECLUS_BB	3																Y
TOF	BTOF_BB	17					Y									Y		
	NETOF.GE.2	18																
	NETOF.GE.1	19	Y															
	NBTOF.GE.2	20		Y	Y								Y					
	NBTOF.GE.1	21					Y	Y										
	NTOF.GE.1	22													Y			
MDC	LTrk_BB	42					Y						Y					
	STrk_BB	38	Y															
	NLtrk.GE.N	43																
	NLtrk.GE.2	44		Y	Y			Y										
	NLtrk.GE.1	45					Y											
EMC	NClus.GE.1	48									Y						Y	
	NClus.GE.2	49												Y				
	BEtot_H	55									Y							
	EEtot_H	56																
	Etot_M	58												Y				

Offline Software

BESIII数据处理和物理分析流程



- **原始数据**: 探测器电子学信号的时间和幅度信息
- **重建数据**: 粒子的动量、能量和运动方向等物理量

刻度: 消除实验的各种外部条件（如温度、气压）和探测器本身条件（如漂移室高压）对电子学信号与物理测量量之间转换关系的影响。

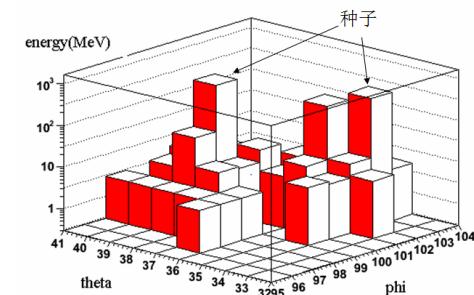
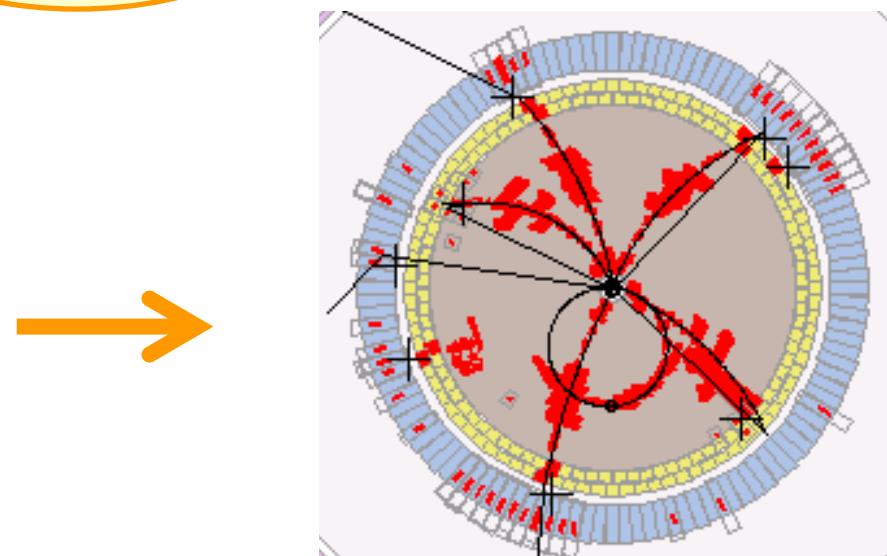
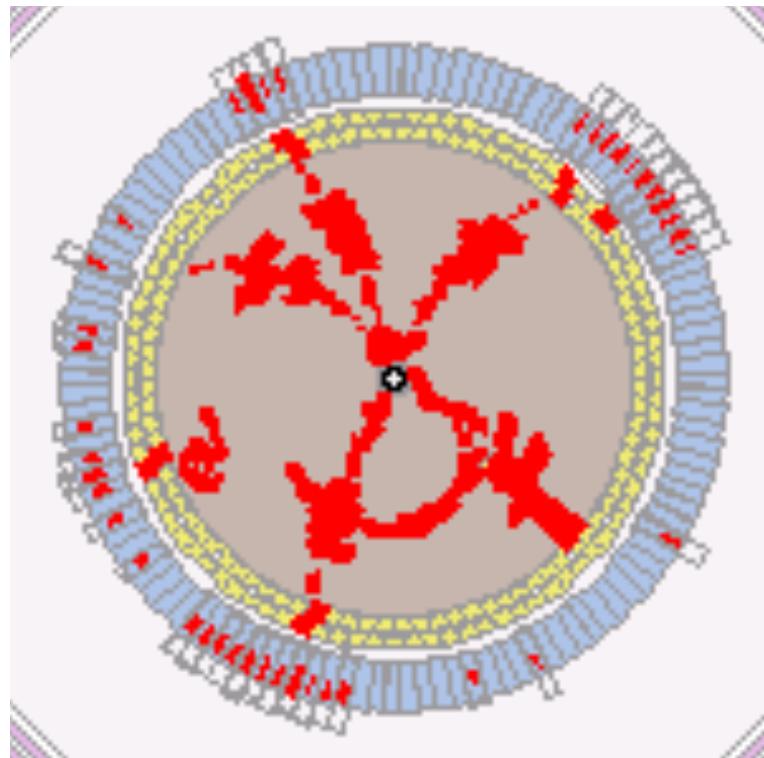
重建: 探测器记录的原始数据转化为粒子的动量、能量和运动方向等物理量。

事例重建

实验获取的原始数据
单元编号, ADC, TDC

事例重建

物理分析使用的数据
径迹动量, shower能量



离线刻度

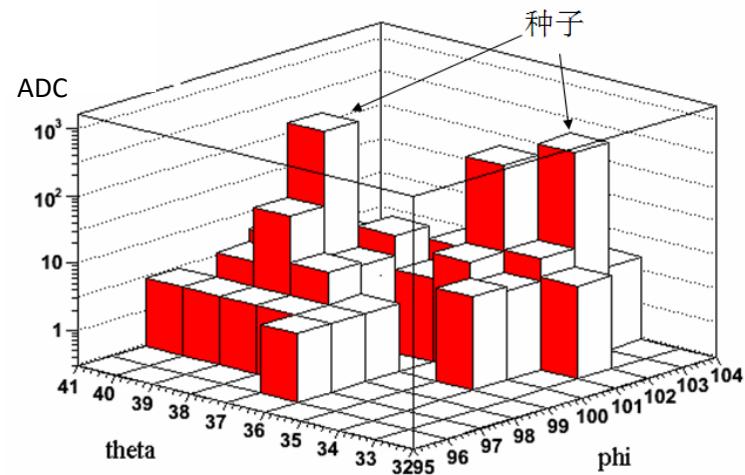
MDC中的径迹



漂移时间→漂移距离

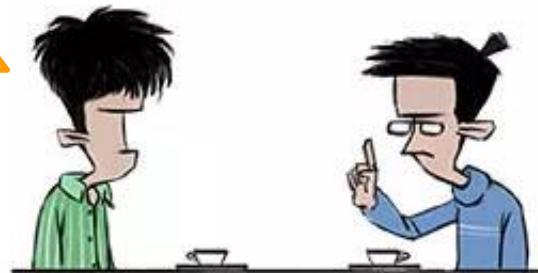
1ns = ? mm
1ADC= ?GeV

EMC中的簇团

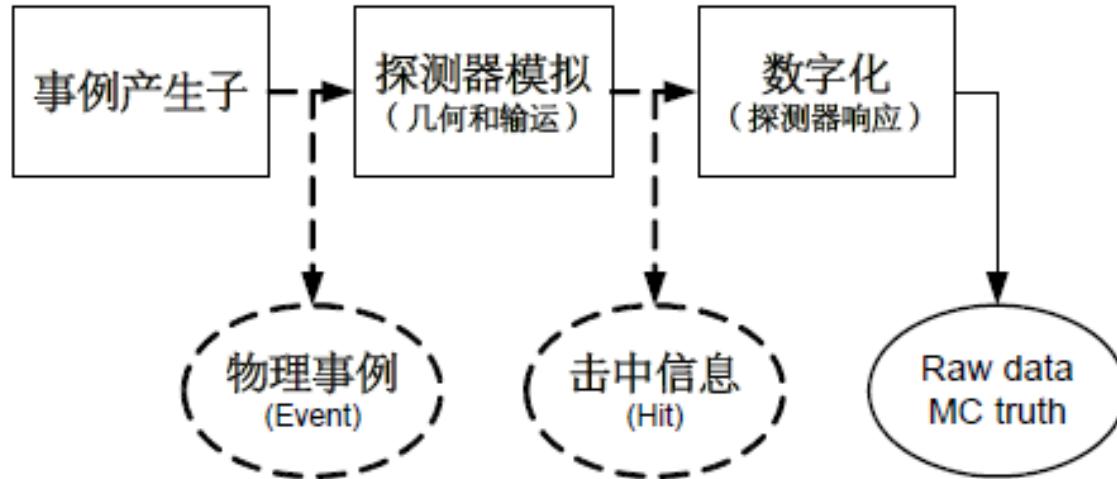


信号幅度→能量沉积

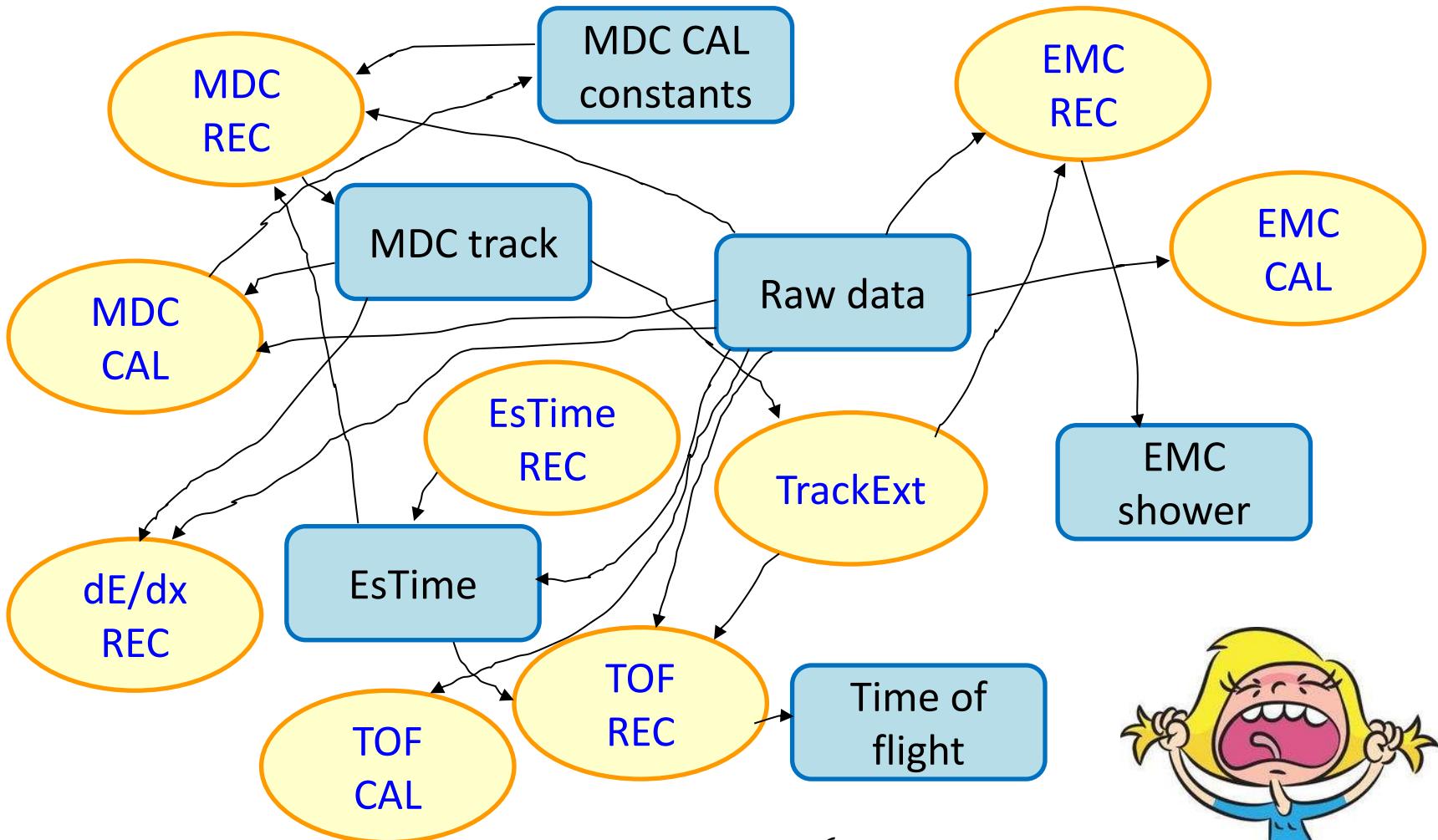
必须依赖
离线刻度



Monte Carlo模拟



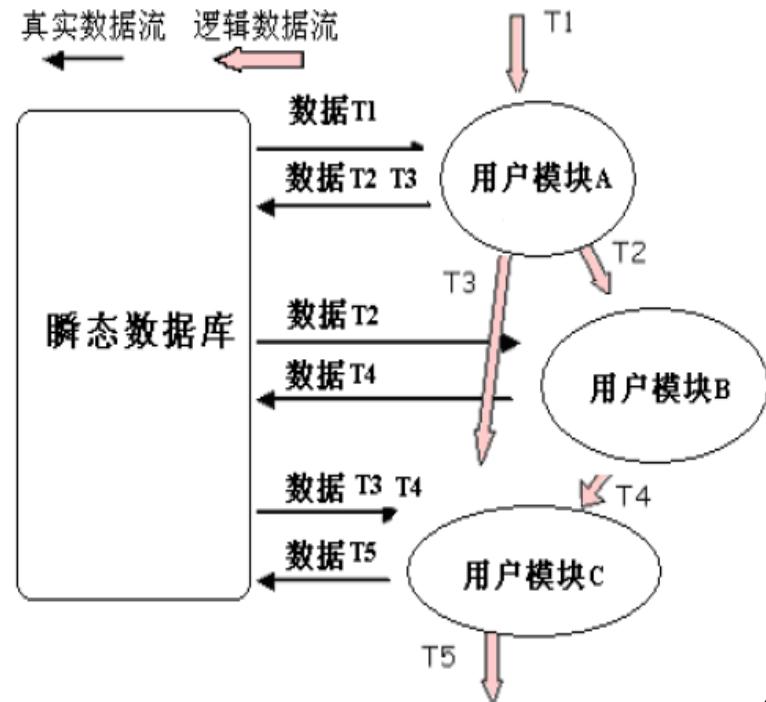
大量软件包和数据类型



You need a framework!

软件框架

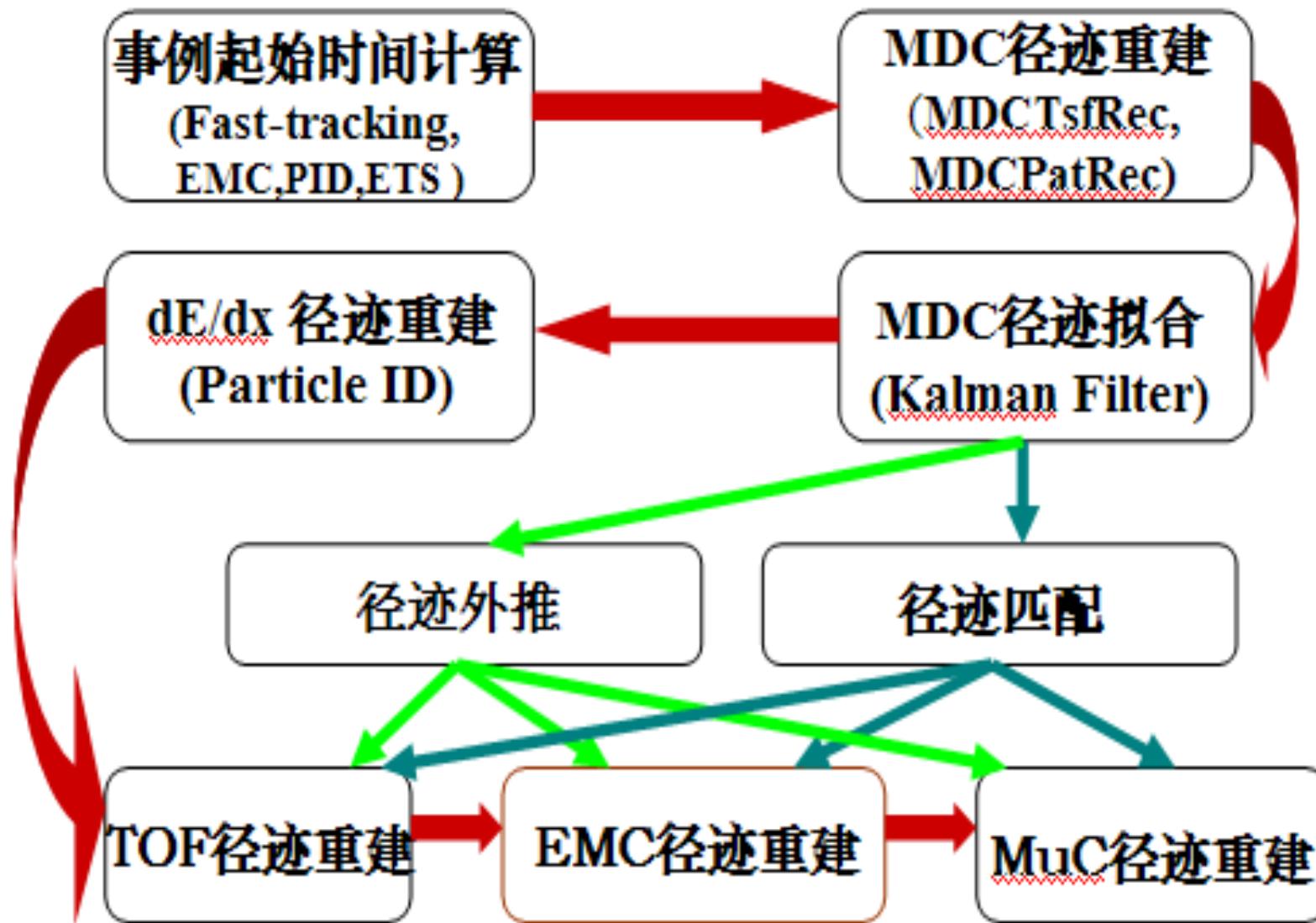
- 软件框架作用
 - 定义数据模型，提供有效的数据管理工具
 - 定义软件模块间的相互关系及接口标准
 - 实现动态库的链接机制
- 高能物理实验软件框架
 - Gaudi: ATLAS, LHCb, BESIII
 - CMSSW: CMSSW



BESIII事例重建软件

子探测器	软件包	功能
MDC	MdcFastTrkAlg MdcTsfRec MdcPatRec KalFitAlg MdcDedxAlg	MDC快重建算法 基于共形变换方法的 MDC寻迹软件包 基于模板匹配的 MDC寻迹软件包 基于 Kalman 滤波方法进行径迹拟合 dE/dx重建
TOF	TofRec	TOF重建
EMC	EmcRec	EMC重建
MUC	MucRec	MUC重建
其它	EsTimeAlg TrkExtAlg PrimaryVertexAlg VeeVertexAlg	确定事例起始时间的算法 径迹外推 事例初级顶点重建 次级顶点重建

BESIII事例重建流程



```
//input data
#include "$RAWDATACNVROOT/share/ReadRawDatajobOptions.txt"
#include "$TRIGMAKERALGROOT/share/jobOptions_TrigMakerAlg.txt"
#include "$OFFLINEEVENTLOOPMGRROOT/share/OfflineEventLoopMgr_Option.txt"
#include "$CALIBSVCROOT/share/job-CalibData.txt"
#include "$MAGNETICFIELDROOT/share/MagneticField.txt"
#include "$ESTIMEALGROOT/share/job_EsTimeAlg.txt" → 事例起始时间重建

// PAT+TSF+HOUGH method for MDC reconstruction
#include "$MDCHOUGHFINDERROOT/share/jobOptions_MdcPatTsfHoughRec.txt"

#include "$KALFITALGROOT/share/job_kalfit_numf_data.txt"
#include "$MDCDEDXALGROOT/share/job_dedx_all.txt"
#include "$TRKEXTALGROOT/share/TrkExtAlgOption.txt"
#include "$TOFRECROOT/share/jobOptions_TofRec_Data.txt"
#include "$TOFENERGYRECROOT/share/TofEnergyRecOptions_Data.txt"
#include "$EMCRECROOT/share/EmcRecOptions.txt"
#include "$EMCTIMERECCROOT/share/EmcTimeRecOptions.txt"

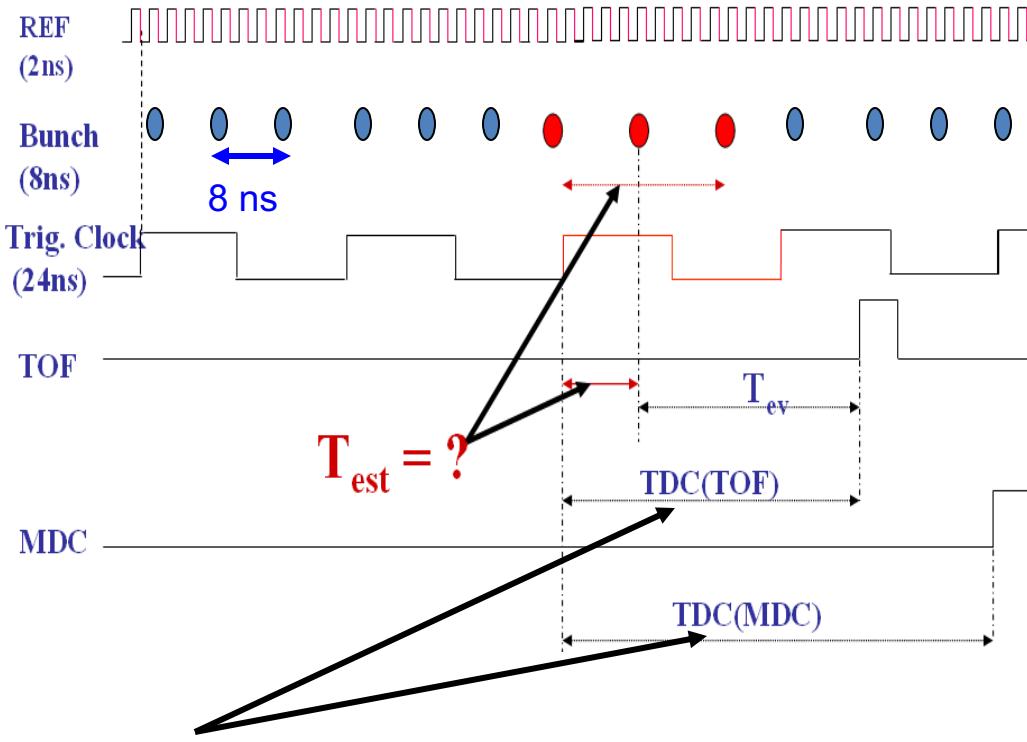
#include "$MUCRECALGROOT/share/jobOptions_MucRec.txt"

#include "$HLTMAKERALGROOT/share/jobOptions_HltMakerAlg.txt"
```

事例起始时间 (Event Start Time T_{est})

RF 499.8MHz
2ns

Trigger/DAQ
Clock 24ns



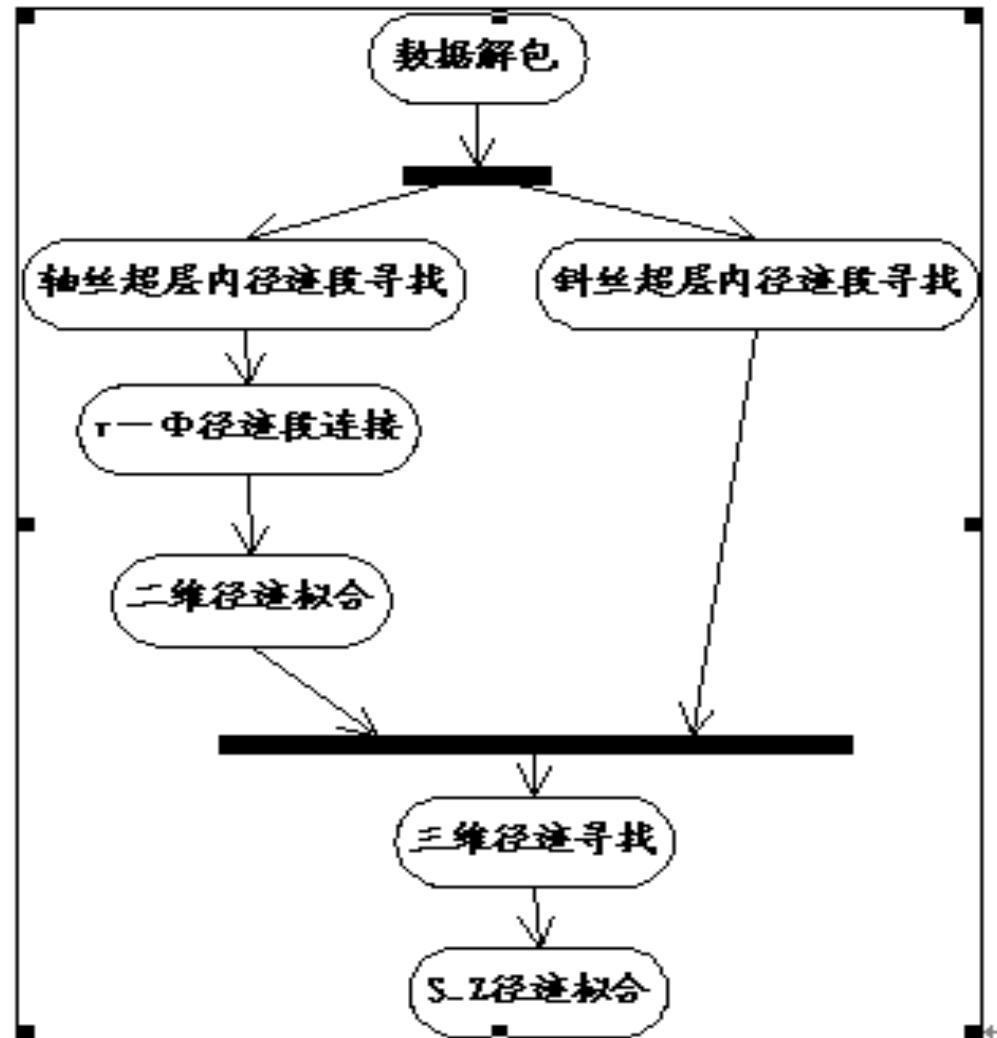
$$TDC = T_{ev} + T_{est}$$

$$T_{est} = ?$$

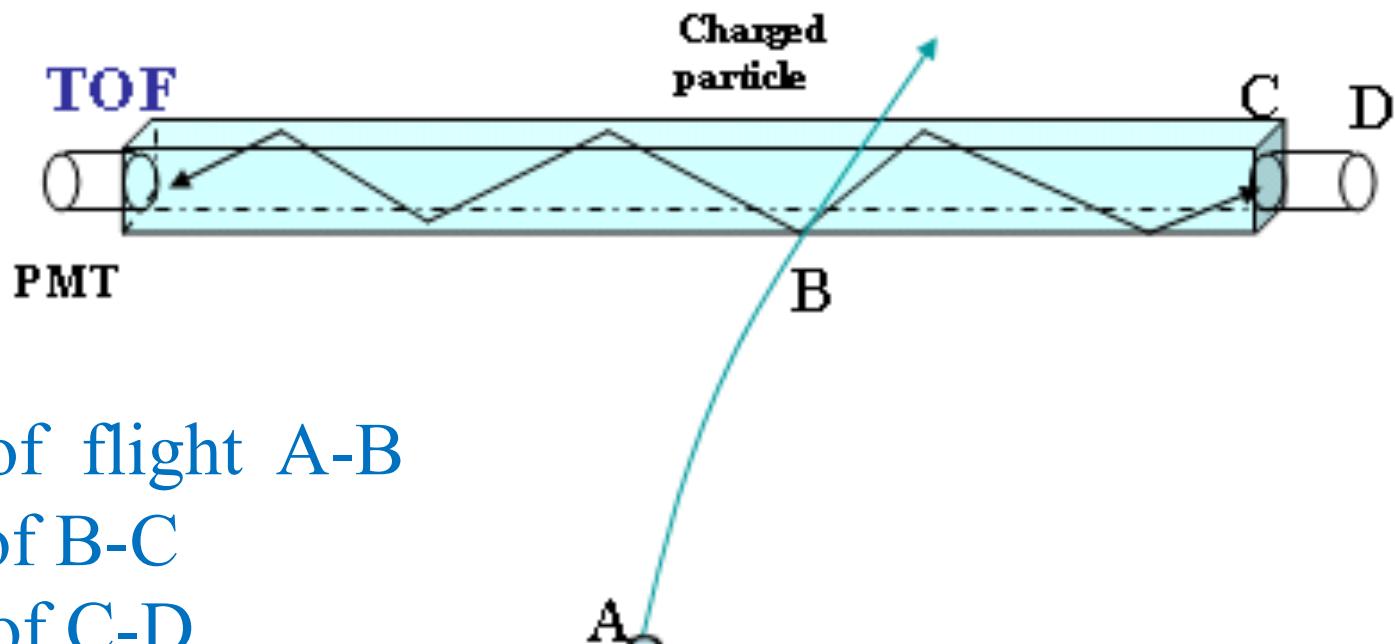
determined from
offline data

漂移室的快重建

任务：尽可能快速地重建出粒子的径迹，供事例起始时间算法使用



利用TOF计算 T_{est}



T_{tof} : Time of flight A-B

T_{pro} : Time of B-C

T_{pmt} : Time of C-D

T_{elc} : delay time at electronic

$$T_{est} = TDC - T_{ev}$$

$$T_{ev} = T_{tof} + T_{pro} + T_{pmt} + T_{elc}$$

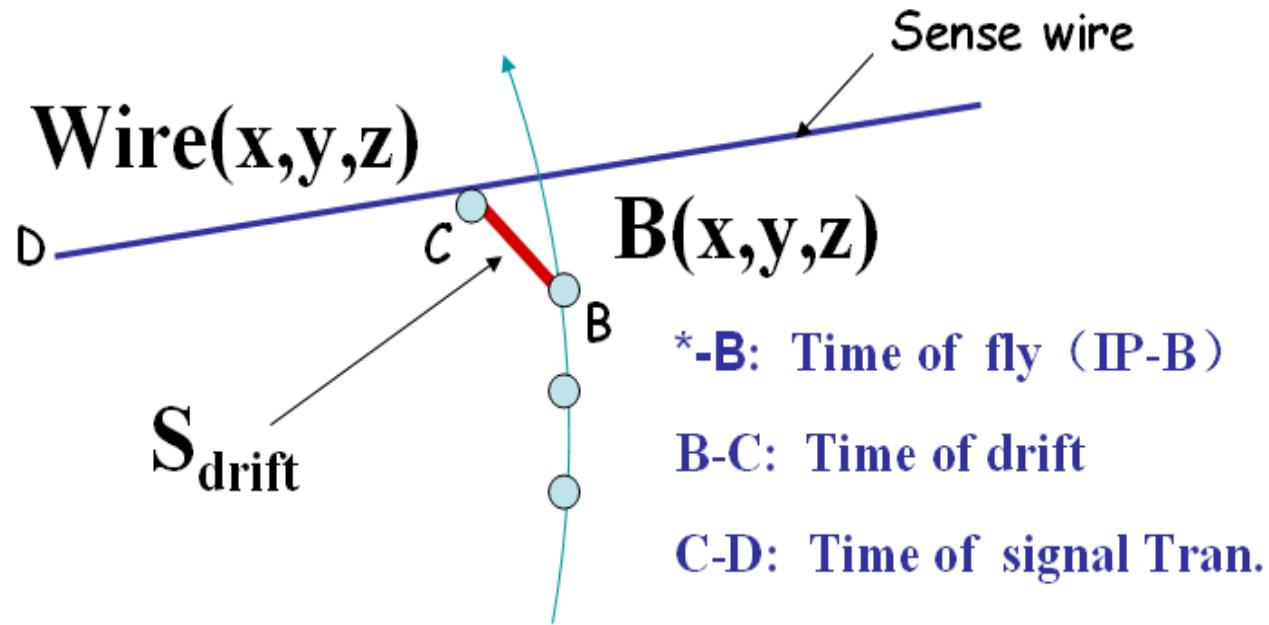
利用MDC计算 T_{est}

T_f : Time of flight A-B

T_{drift} : Time of B-C

T_{wp} : Time of C-D

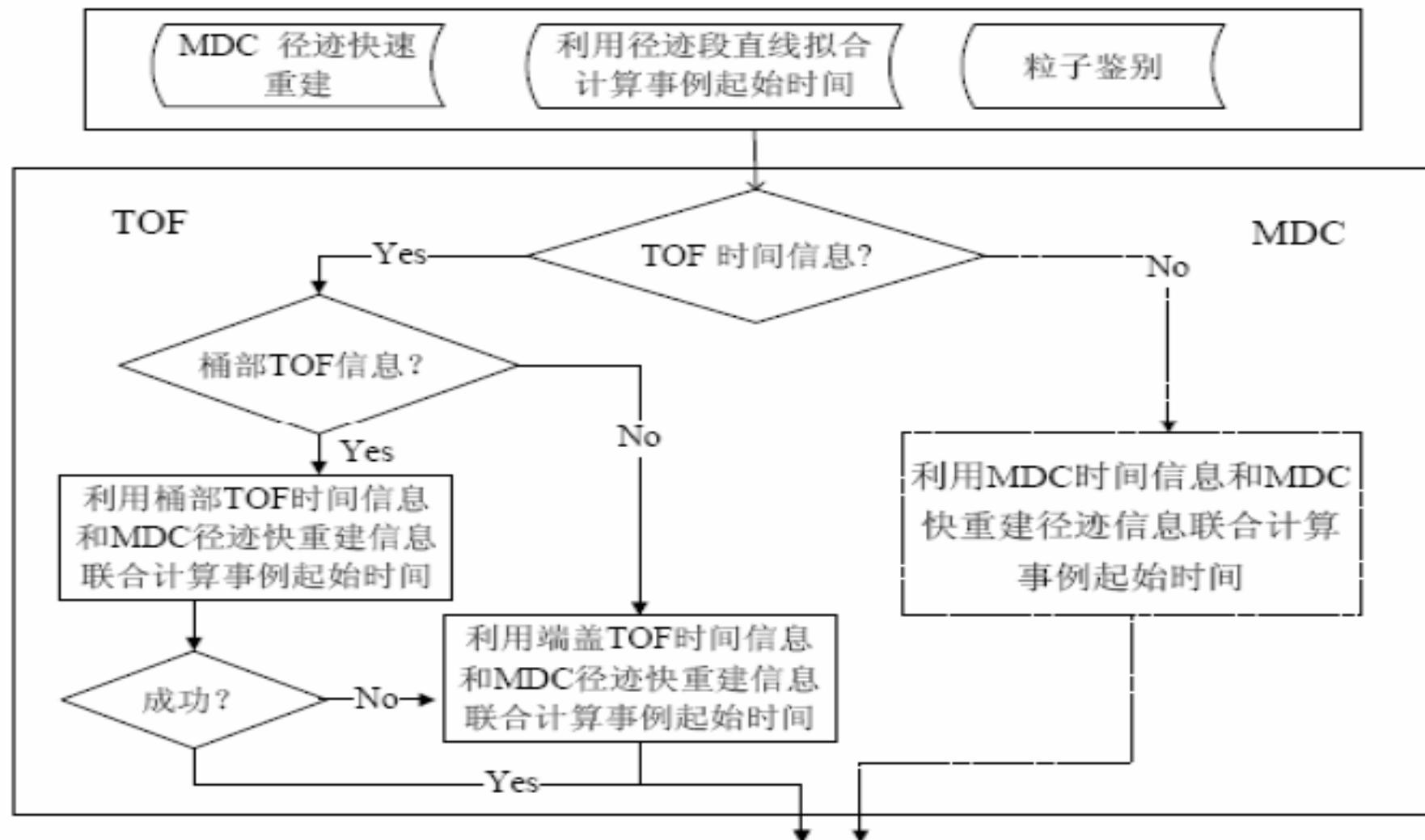
T_{elc} : delay time at
electronic



$$T_{est} = TDC - T_{ev}$$

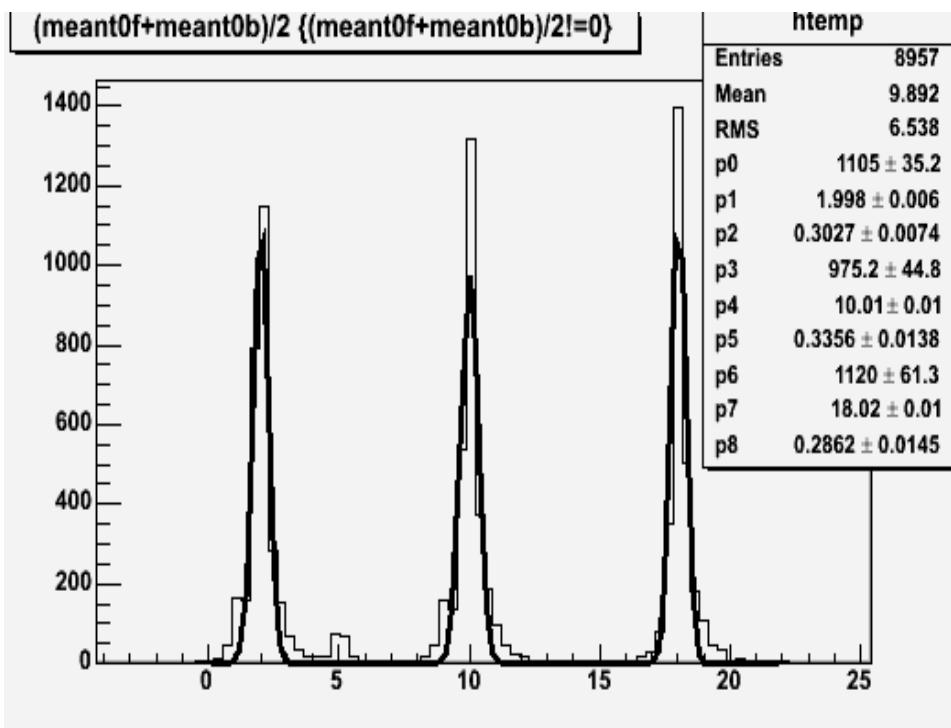
$$T_{ev} = T_f + T_{drift} + T_{wp} + T_{elc}$$

事例起始时间算法流程图



T_{est} 的确定

“hadrons”, 10000, set T_{est} to “2”, “10”, “18”

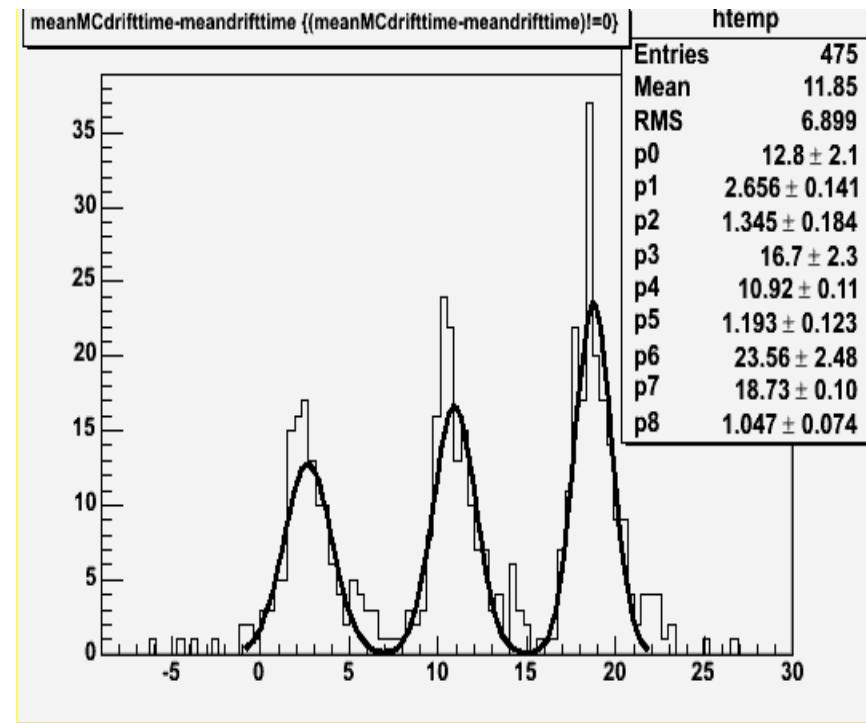


By TOF

T_{est} : 1.998 ns σ : 0.30ns

T_{est} : 10.01 ns σ : 0.33ns

T_{est} : 18.02 ns σ : 0.29ns



By MDC

T_{est} : 2.6ns, σ : 1.4ns

T_{est} : 10.9ns, σ : 1.3ns

T_{est} : 18.7ns, σ : 1.1ns

```
//input data
#include "$RAWDATACNVROOT/share/ReadRawDatajobOptions.txt"
#include "$TRIGMAKERALGROOT/share/jobOptions_TrigMakerAlg.txt"
#include "$OFFLINEEVENTLOOPMGRROOT/share/OfflineEventLoopMgr_Option.txt"
#include "$CALIBSVCROOT/share/job-CalibData.txt"
#include "$MAGNETICFIELDROOT/share/MagneticField.txt"
#include "$ESTIMEALGROOT/share/job_EsTimeAlg.txt"

// PAT+TSF+HOUGH method for MDC reconstruction
#include "$MDCHOUGHFINDERROOT/share/jobOptions_MdcPatTsfHoughRec.txt" MDC径迹重建

#include "$KALFITALGROOT/share/job_kalfit_numf_data.txt"
#include "$MDCDEDXALGROOT/share/job_dedx_all.txt"
#include "$TRKEXTALGROOT/share/TrkExtAlgOption.txt"
#include "$TOFRECROOT/share/jobOptions_TofRec_Data.txt"
#include "$TOFENERGYRECROOT/share/TofEnergyRecOptions_Data.txt"
#include "$EMCRECROOT/share/EmcRecOptions.txt"
#include "$EMCTIMERECCROOT/share/EmcTimeRecOptions.txt"

#include "$MUCRECALGROOT/share/jobOptions_MucRec.txt"

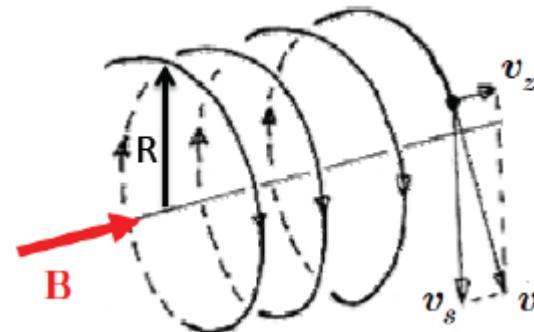
#include "$HLTMAKERALGROOT/share/jobOptions_HltMakerAlg.txt"
```

MDC径迹重建

- MDC结构以及径迹参数定义
- MDC快重建
- 径迹寻找
 - PAT算法
 - TSF算法
 - CurlFinder
 - Hough 变换
- 径迹拟合
 - Runge-Kutta
 - Kalman filter

动量测量

入射带电粒子在均匀磁场**B**下，其飞行轨迹为螺旋线



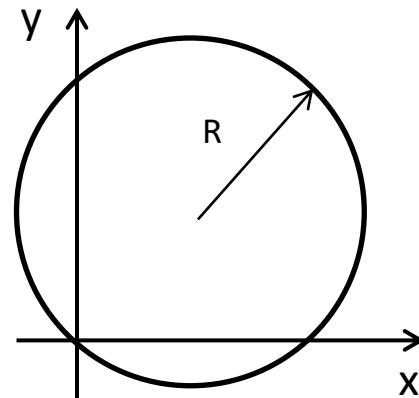
在x-y(或r-φ)平面上测量粒子的横动量(P_T)

$$R = \frac{P_T}{0.3qB}$$

R: m
 P_T : GeV/c

B: T

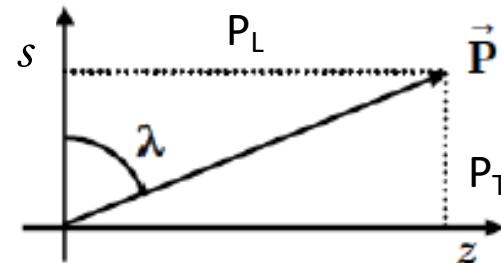
q: 粒子电荷，以电子的电荷为单位



在s-z平面上测量dip angle (λ)

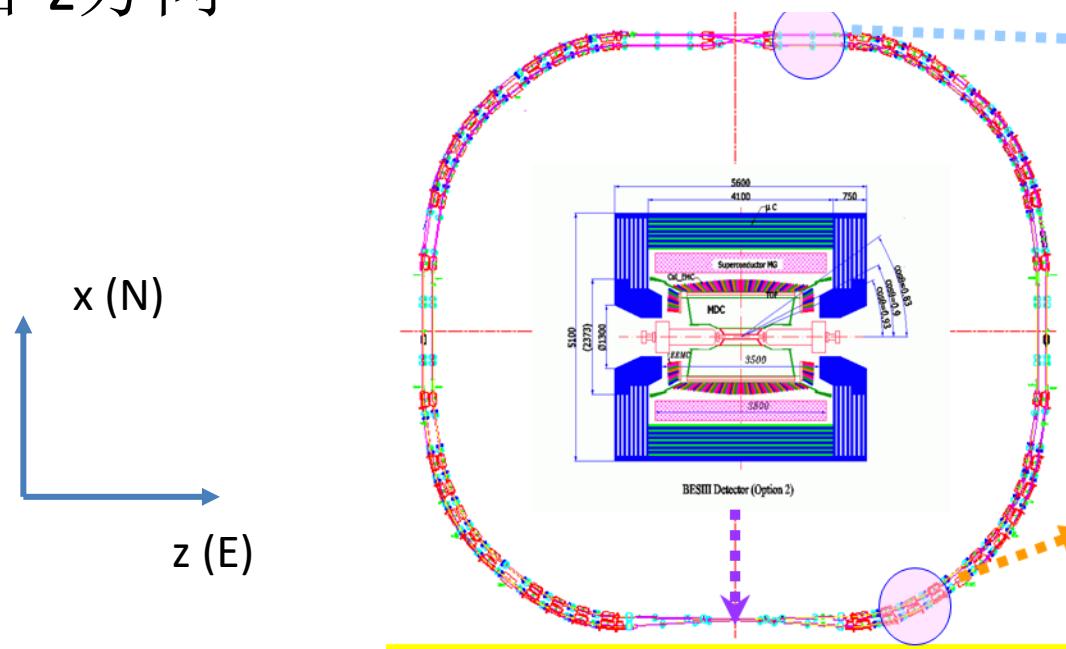
s为粒子飞行长度

$$P = P_T / \cos \lambda$$



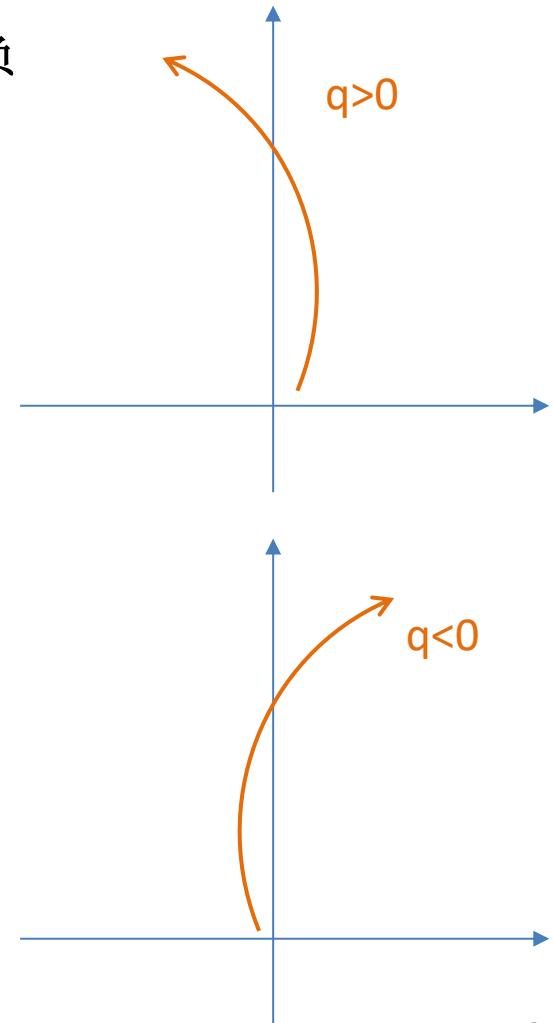
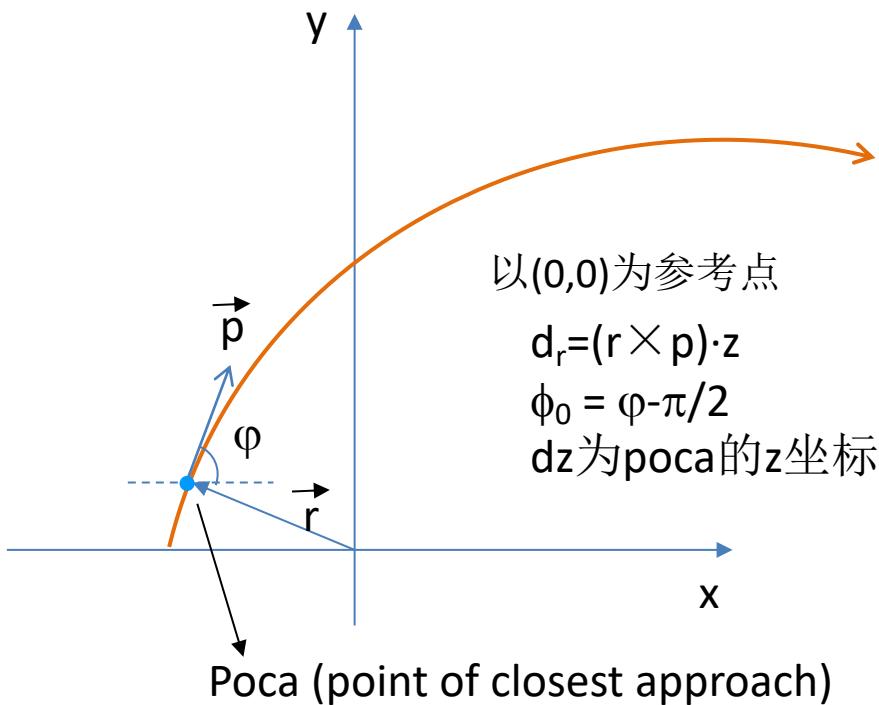
BESIII坐标系和磁场

- BESIII坐标系
 - $+y$: 竖直向上
 - $+x$: 水平向北
 - $+z$: 沿正电子束流方向, 即水平向东
- 磁场: 1T, 沿-z方向



径迹参数定义

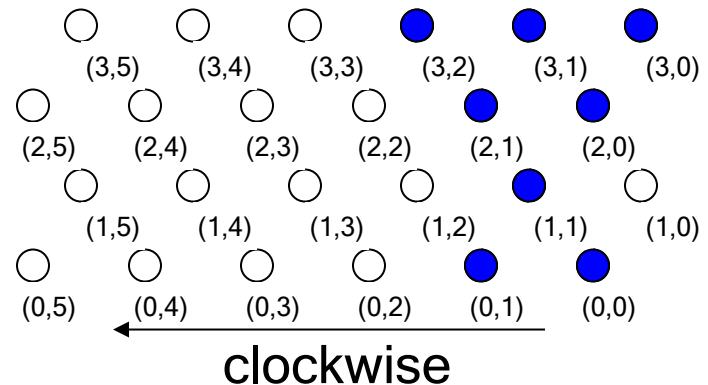
- d_r : 螺旋线在x-y平面上的投影与参考点的距离
- ϕ_0 : 参考点与螺旋线中心连线的方位角
- κ : 横动量的倒数 ($1/Pt$), 其符号反映粒子电荷的正负
- d_z : z方向上螺旋线离参考点的距离
- $\tan\lambda$: λ 为螺旋线与x-y平面的夹角



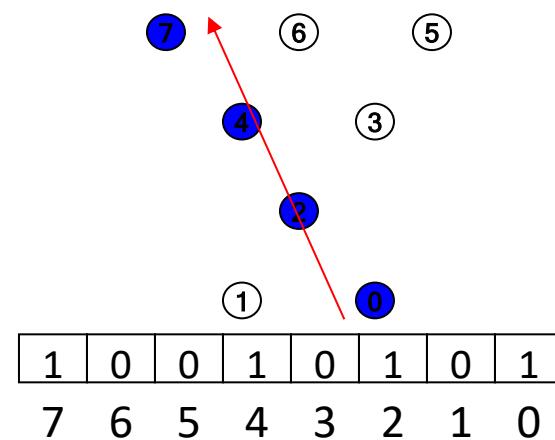
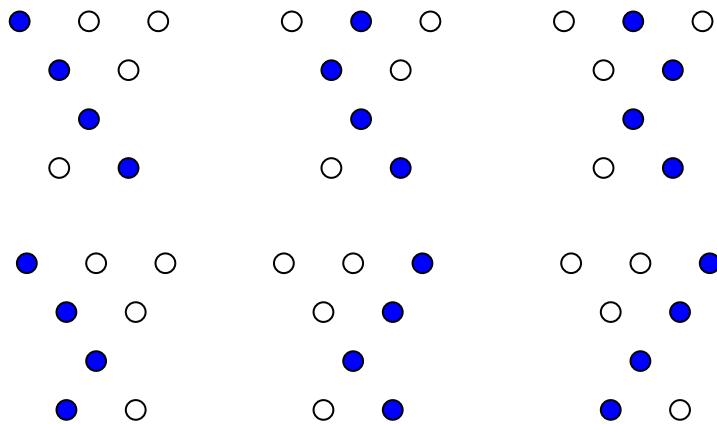
径迹寻找 -- PAT

- 使用超层内模式匹配的方法寻找径迹段
- 通过径迹段连接得到径迹
- 使用最小二乘拟合给出径迹参数

超层中构成模板的8根相邻信号丝



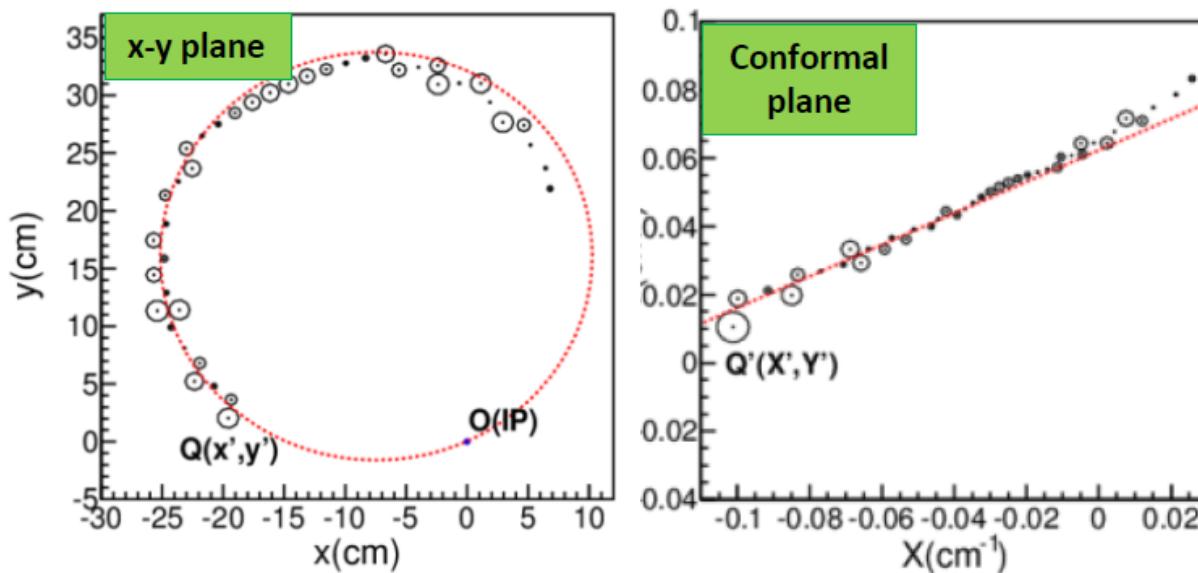
4-hit pattern dictionary



径迹寻找 --TSF

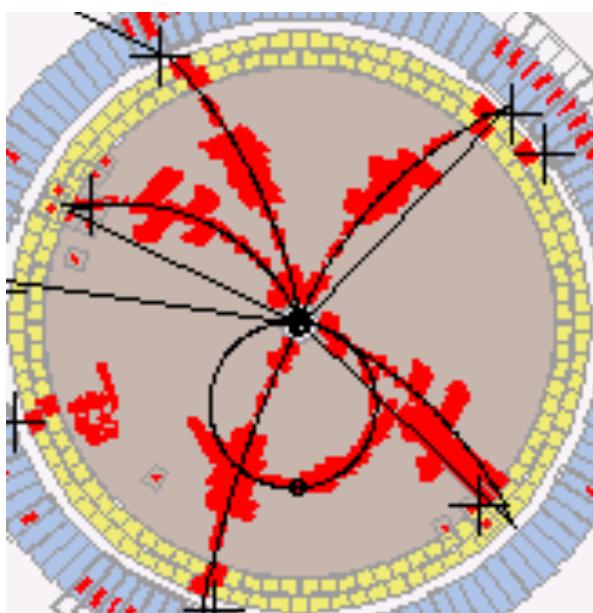
- 采用共形变换方法进行径迹寻找
 - 在 $r-\phi$ 平面上，经过共形变换后，属于同一条径迹的径迹段在共形面上位于同一条直线上
 - 在 $s-z$ 平面上利用斜丝击中进行重建
 - 根据径迹所对应的直线($s-z$ 平面)和圆($r-f$ 平面)的参数，以及对应的轴丝、斜丝，能方便的用螺旋线拟合找到理想情况下的三维径迹

共形变换(Conformal transform)



径迹寻找 -- CurlFinder

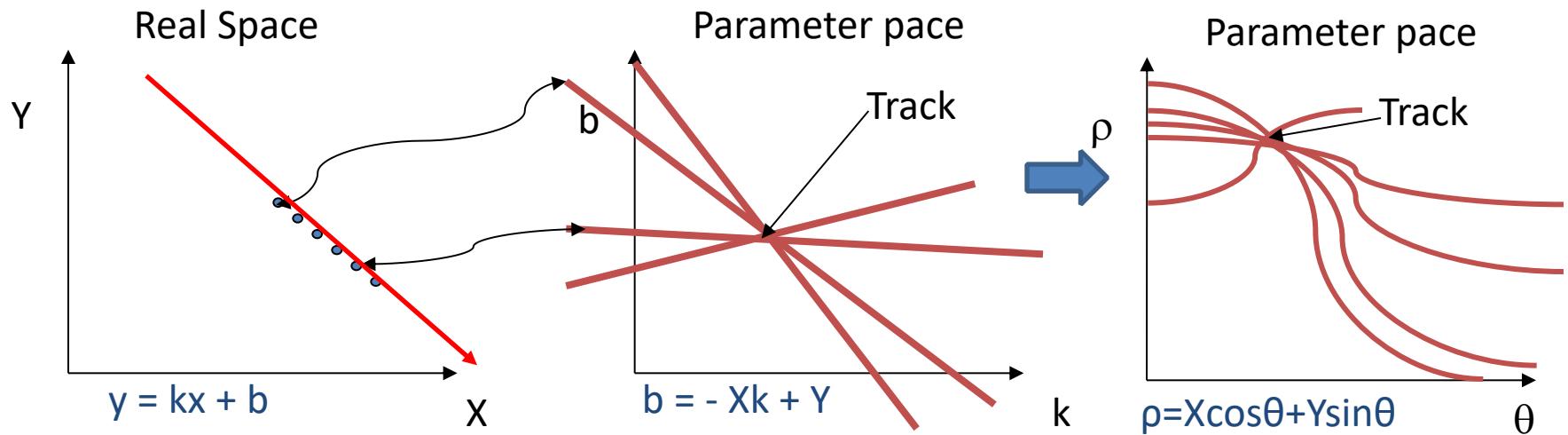
- 再使用CurlFinder算法寻找低动量径迹
 - 磁场下，动量较低的带电粒子不能穿越漂移室而难以被有效地重建，为此专门开发了CurlFinder算法



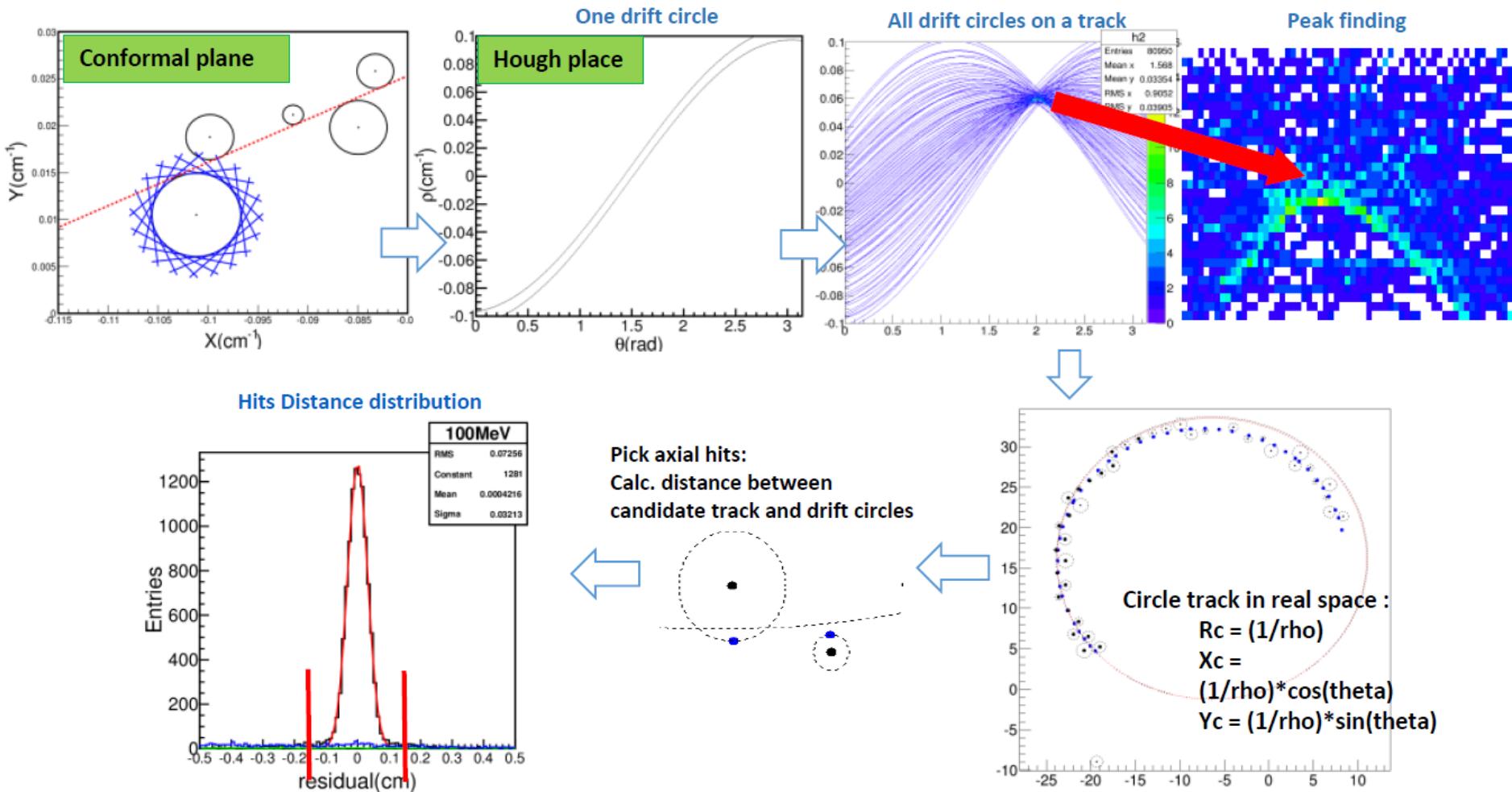
Super layer	Stereo/ axial	Radius (cm)	p_T (MeV/c)
1	stereo	11.5	17
2	stereo	16.2	24
3	axial	24.6	37
4	axial	31.0	47
5	axial	37.5	56
6	stereo	44.8	67
7	stereo	51.4	77
8	stereo	57.9	87
9	stereo	64.2	96
10	axial	71.6	107
11	axial	77.1	116
Outer tube	--	81.0	122

径迹寻找 -- Hough变换

- 基本思想：
 - 实际平面中的一个点 对应于 参数平面中的一条线
 - 所有线的交点即为待定的径迹参数
- 从Boss7.0.3开始，基于Hough变换的寻迹算法正式应用于BESIII径迹重建，作为其它寻迹算法的补充



Hough transform



```
//input data
#include "$RAWDATACNVROOT/share/ReadRawDatajobOptions.txt"
#include "$TRIGMAKERALGROOT/share/jobOptions_TrigMakerAlg.txt"
#include "$OFFLINEEVENTLOOPMGRROOT/share/OfflineEventLoopMgr_Option.txt"
#include "$CALIBSVCROOT/share/job-CalibData.txt"
#include "$MAGNETICFIELDROOT/share/MagneticField.txt"
#include "$ESTIMEALGROOT/share/job_EsTimeAlg.txt"

// PAT+TSF+HOUGH method for MDC reconstruction
#include "$MDCHOUGHFINDERROOT/share/jobOptions_MdcPatTsfHoughRec.txt"

#include "$KALFITALGROOT/share/job_kalfit_numf_data.txt" // Kalman径迹拟合
#include "$MDCDEDXALGROOT/share/job_dedx_all.txt"
#include "$TRKEKXTALGROOT/share/TrkExtAlgOption.txt"
#include "$TOFRECROOT/share/jobOptions_TofRec_Data.txt"
#include "$TOFENERGYRECROOT/share/TofEnergyRecOptions_Data.txt"
#include "$EMCRECROOT/share/EmcRecOptions.txt"
#include "$EMCTIMERECCROOT/share/EmcTimeRecOptions.txt"

#include "$MUCRECALGROOT/share/jobOptions_MucRec.txt"

#include "$HLTMAKERALGROOT/share/jobOptions_HltMakerAlg.txt"
```

Kalman径迹拟合

径迹拟合

- 全局最小二乘径迹拟合
 - 在径迹寻找算法中使用
 - 将整个径迹看作一条理想螺旋线，无法考虑磁场不均匀、 dE/dx 、多次散射等效应，拟合精度有限

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N_{hit}} \frac{(\mathbf{d}_{meas}^{(i)} - \mathbf{d}_{track}^{(i)})^2}{\sigma_i^2}$$

\mathbf{d}_{meas} : 径迹与信号丝间的测量距离

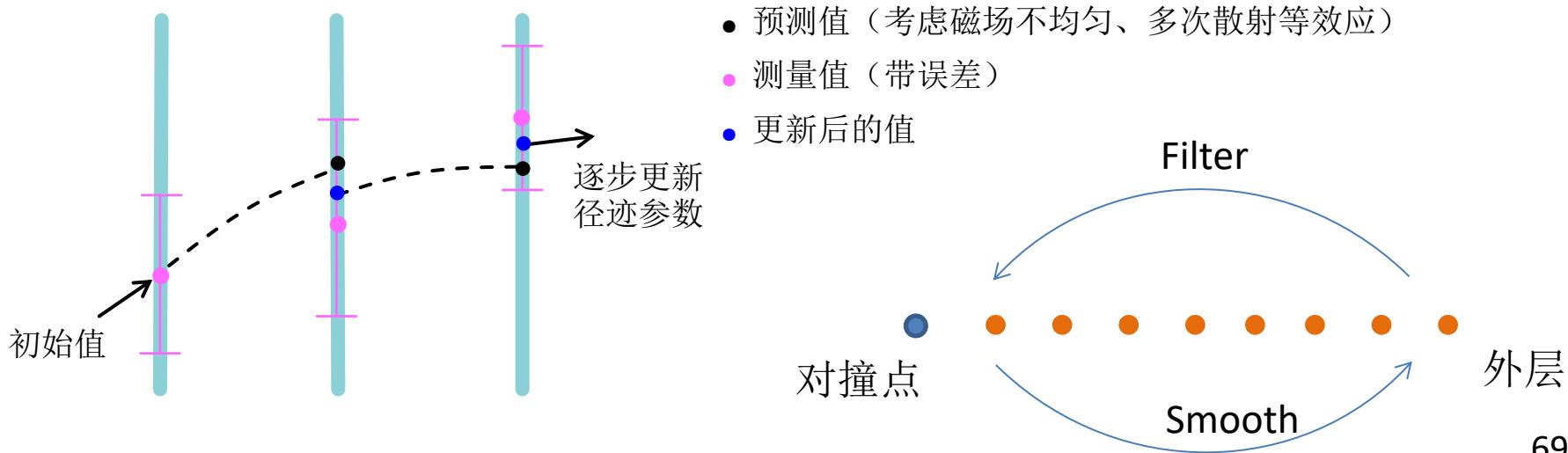
\mathbf{d}_{track} : 拟合径迹与信号丝的距离

σ_i : 该测量点的误差（空间分辨）

- 分段径迹拟合
 - Kalman filter径迹拟合所采用
 - 基于最小二乘拟合，把径迹看作分段螺旋线
 - 便于考虑磁场不均匀、 dE/dx 、多次散射等效应，给出精确的径迹拟合结果

Kalman filter径迹拟合

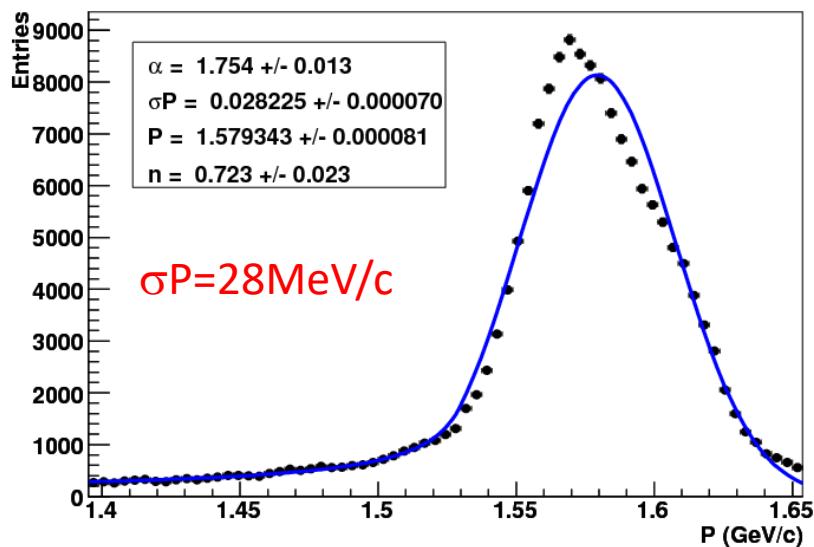
- 递归的最小二乘拟合
 - 预测 \rightarrow 加入测量点 \rightarrow 更新拟合参数和误差矩阵
 - 优点：可以考虑磁场不均匀、能量损失、多次散射等效应
能量损失、飞行时间等问题与粒子种类相关，因此在拟合的时候，对于寻迹算法给出的径迹进行5种粒子假设(e, μ, π, K, p)的拟合，分别给出各种假设下的径迹参数和误差矩阵
 - 从外向里Filter：给出对撞点附近的拟合结果
再从里向外smooth：给出MDC最外层的拟合结果，用于径迹外推
 - Runge-Kutta拟合结果作为Kalman拟合的初值，Kalman拟合失败的情况下，径迹参数及误差矩阵用Runge-Kutta结果



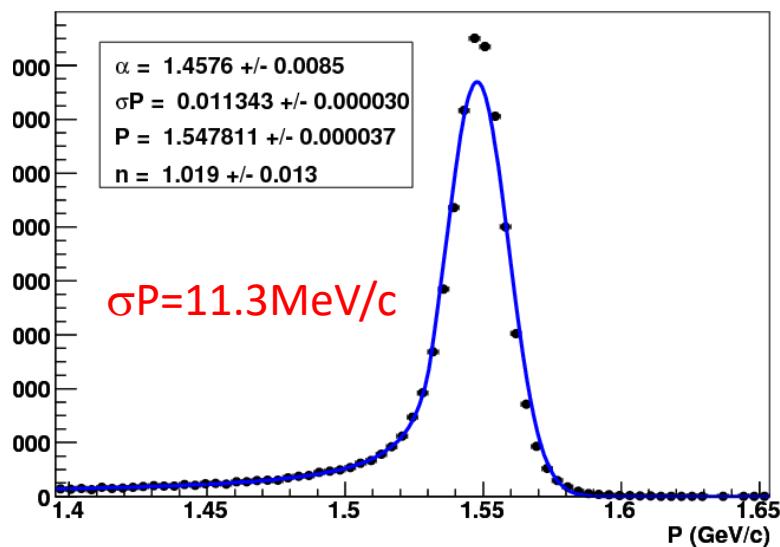
寻迹算法与KalFitAlg重建结果的对比

Bhabha事例动量分布

TSF重建结果

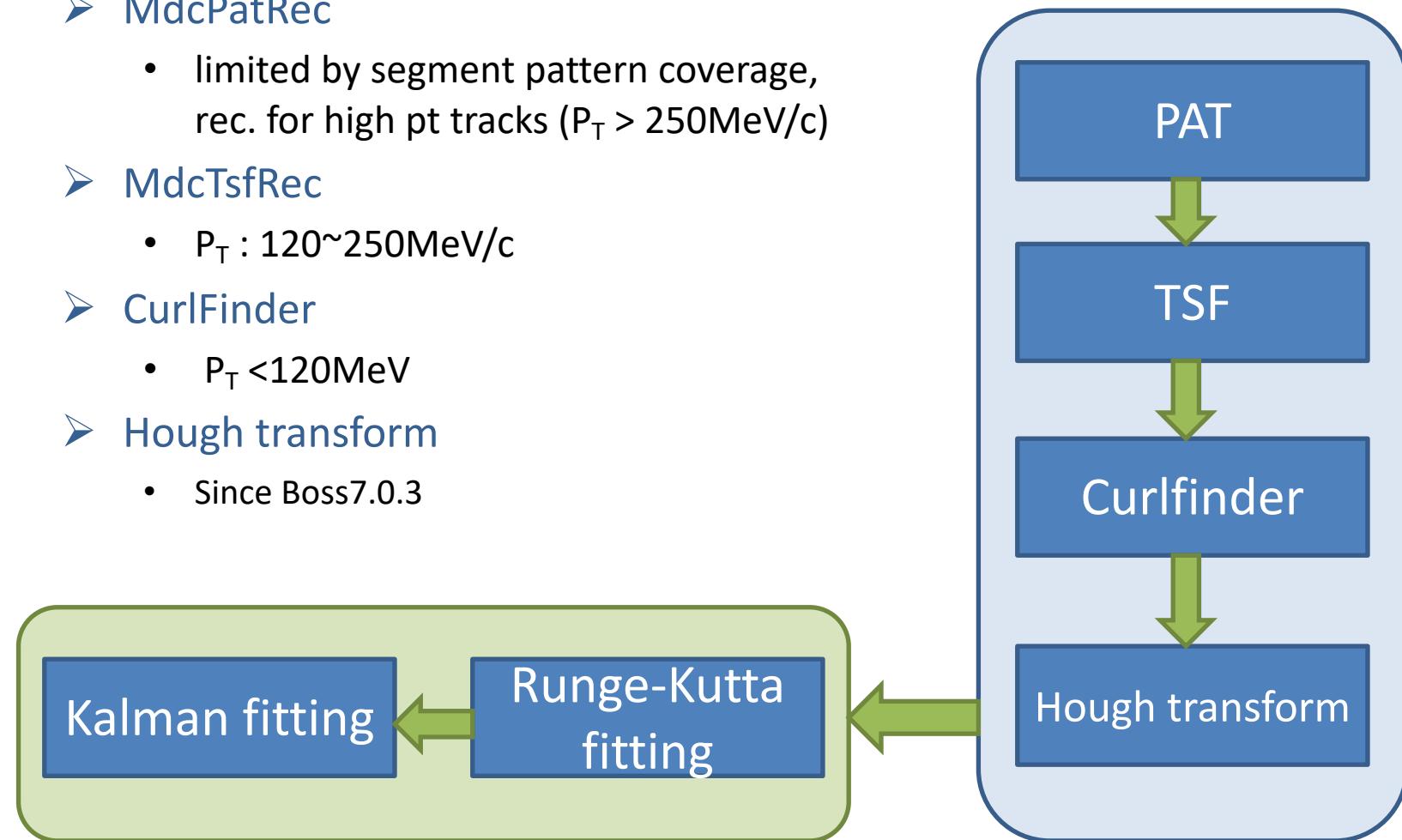


Kalman filter径迹拟合结果



漂移室径迹重建流程

- MdcPatRec
 - limited by segment pattern coverage,
rec. for high pt tracks ($P_T > 250\text{MeV}/c$)
- MdcTsfRec
 - $P_T : 120\sim 250\text{MeV}/c$
- CurlFinder
 - $P_T < 120\text{MeV}$
- Hough transform
 - Since Boss7.0.3



```
//input data
#include "$RAWDATACNVROOT/share/ReadRawDatajobOptions.txt"
#include "$TRIGMAKERALGROOT/share/jobOptions_TrigMakerAlg.txt"
#include "$OFFLINEEVENTLOOPMGRROOT/share/OfflineEventLoopMgr_Option.txt"
#include "$CALIBSVCROOT/share/job-CalibData.txt"
#include "$MAGNETICFIELDROOT/share/MagneticField.txt"
#include "$ESTIMEALGROOT/share/job_EsTimeAlg.txt"

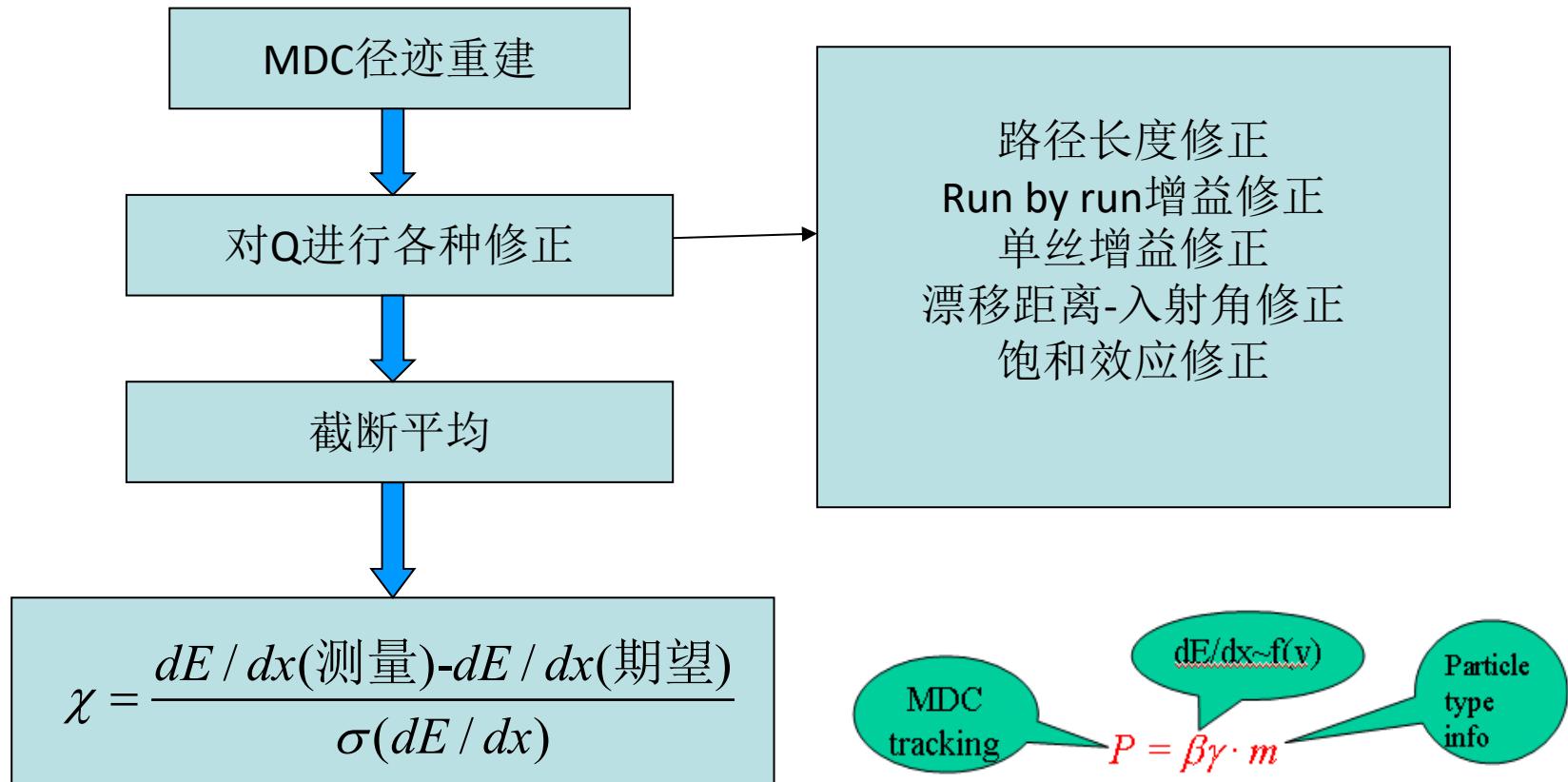
// PAT+TSF+HOUGH method for MDC reconstruction
#include "$MDCHOUGHFINDERROOT/share/jobOptions_MdcPatTsfHoughRec.txt"

#include "$KALFITALGROOT/share/job_kalfit_numf_data.txt"
#include "$MDCDEDXALGROOT/share/job_dedx_all.txt" → dE/dx重建
#include "$TRKEXTALGROOT/share/TrkExtAlgOption.txt"
#include "$TOFRECROOT/share/jobOptions_TofRec_Data.txt"
#include "$TOFENERGYRECROOT/share/TofEnergyRecOptions_Data.txt"
#include "$EMCRECROOT/share/EmcRecOptions.txt"
#include "$EMCTIMERECCROOT/share/EmcTimeRecOptions.txt"

#include "$MUCRECALGROOT/share/jobOptions_MucRec.txt"

#include "$HLTMAKERALGROOT/share/jobOptions_HltMakerAlg.txt"
```

dE/dx 重建

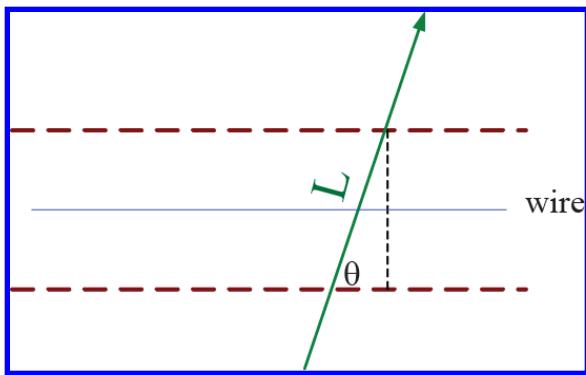


- 根据不同粒子的假设得到不同的 χ 值，比较 χ 值大小，可以得到该粒子属于某种粒子的几率，从而实现粒子鉴别

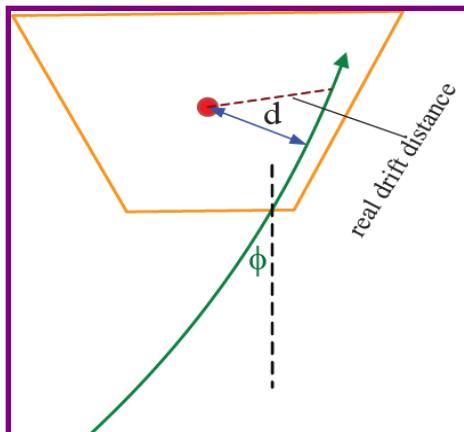
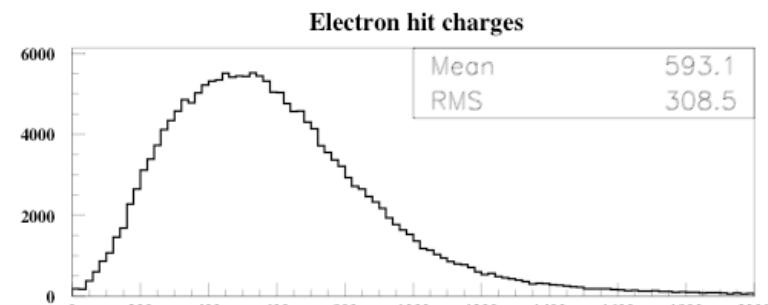
击中电荷量的径迹长度修正

r-z 与 r- ϕ
分别修正

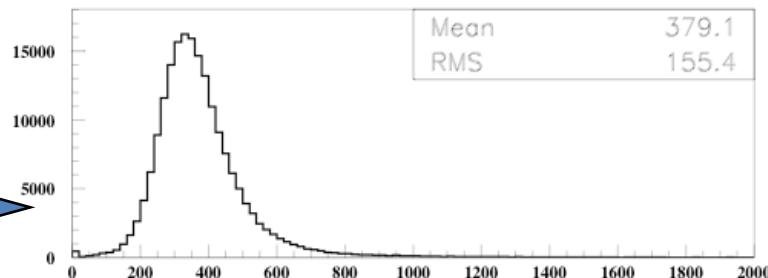
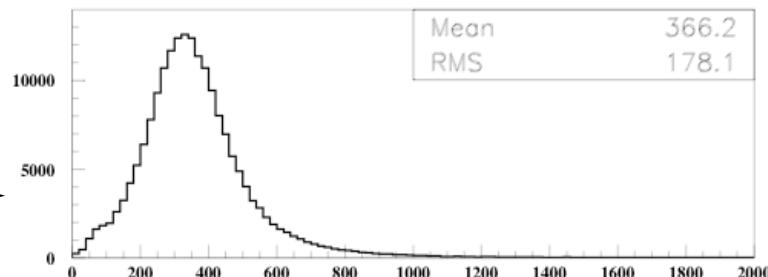
Raw charges



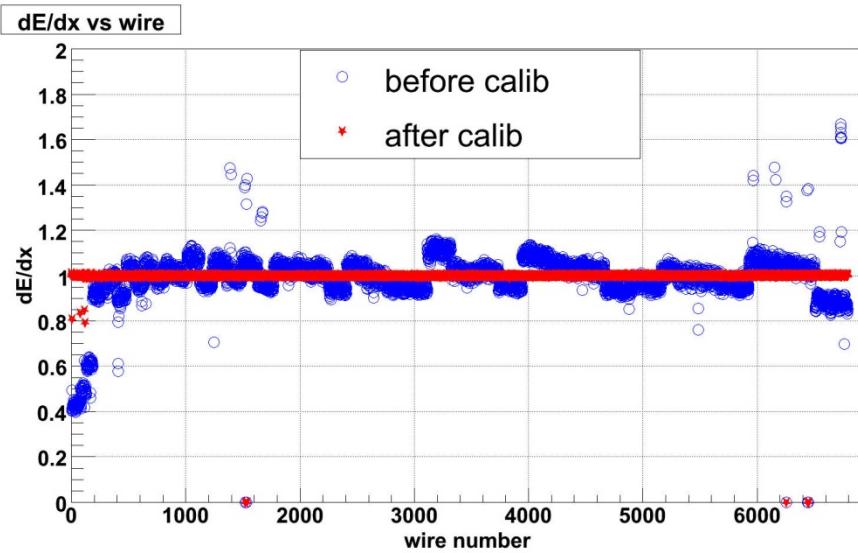
r-z 修正



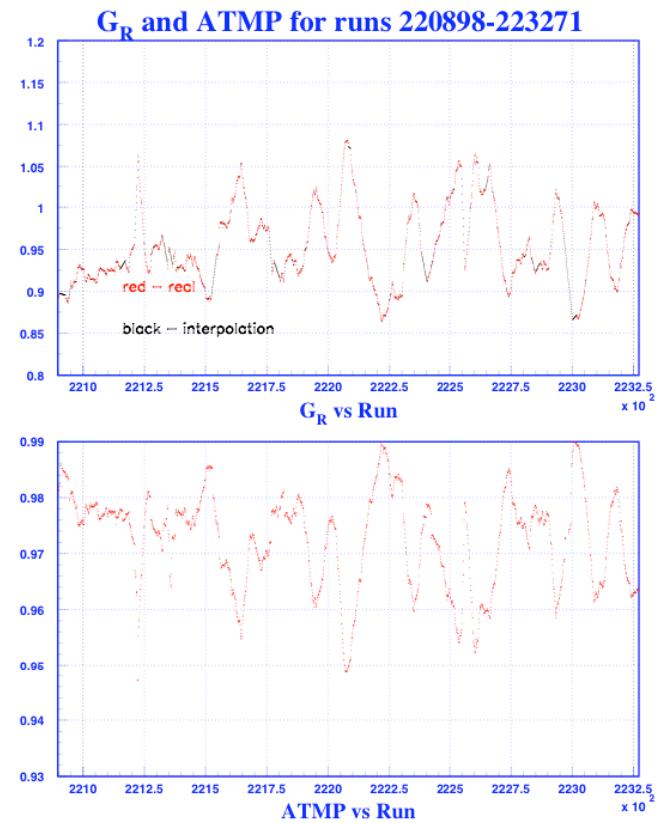
r- ϕ 修正



丝增益和run号增益



Wire gains:
see super-layer structure
in hits and gain

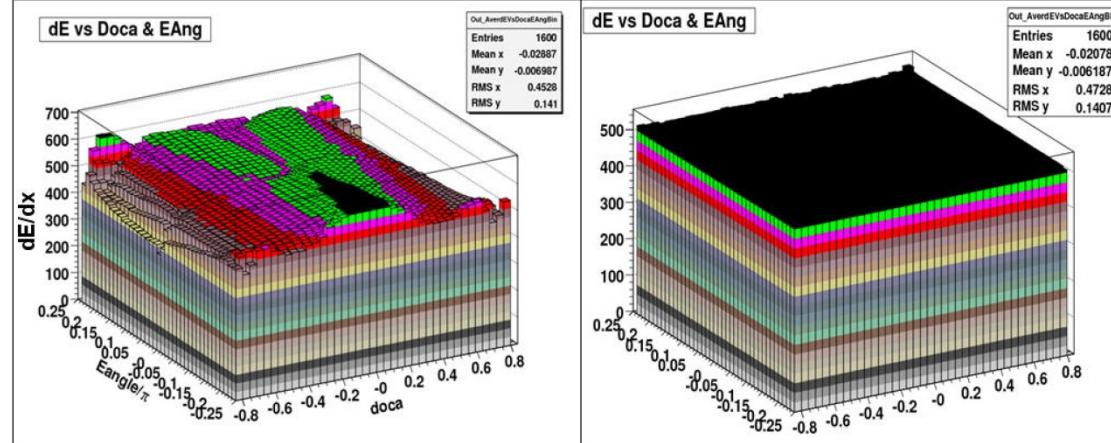
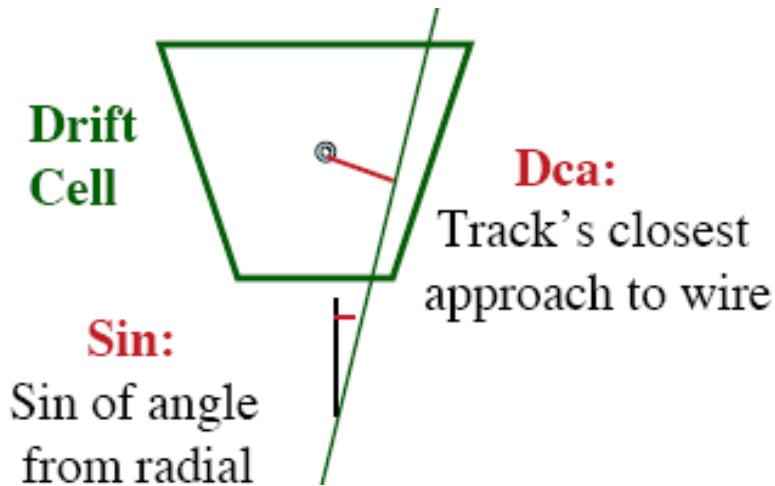


Run gains:
see anti-correlation
with atmospheric pressure

Calibration constants → database

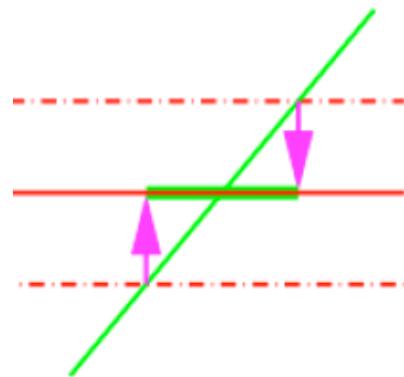
Doca和入射角度联合修正

- 漂移室探测单元内电荷收集的非均一性
- 径迹与信号丝在空间最近的距离 (**Distance of Closest Approach Doca**) 和入射角度的"Sin" (**DocaSin**)

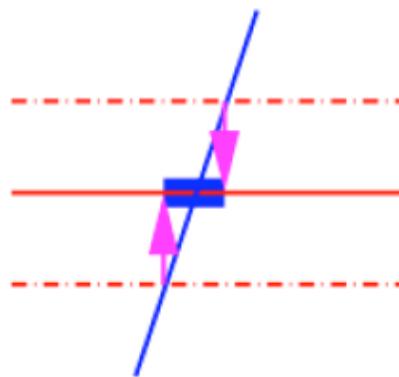


气体增益饱和（空间电荷效应）修正

- “离子鞘”产生的电场抵消了局部外加电场，限制了雪崩倍增过程的发展——空间电荷效应



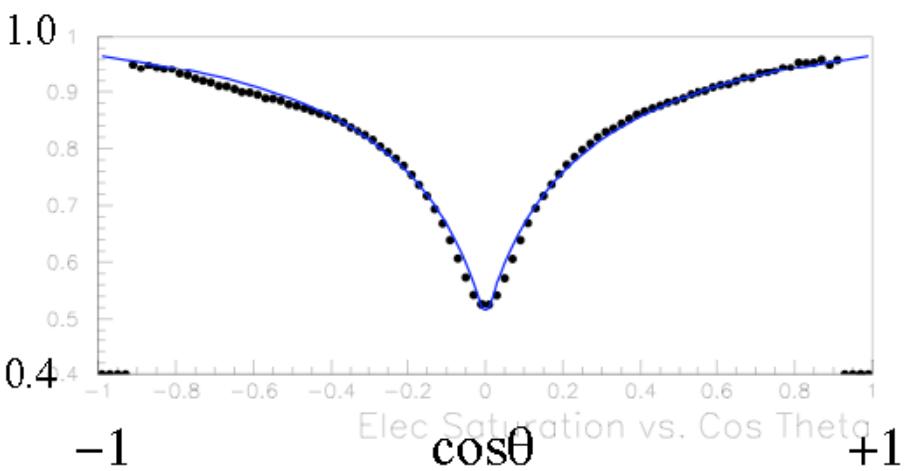
*Larger cosθ:
less dense*



*Smaller cosθ:
more dense*

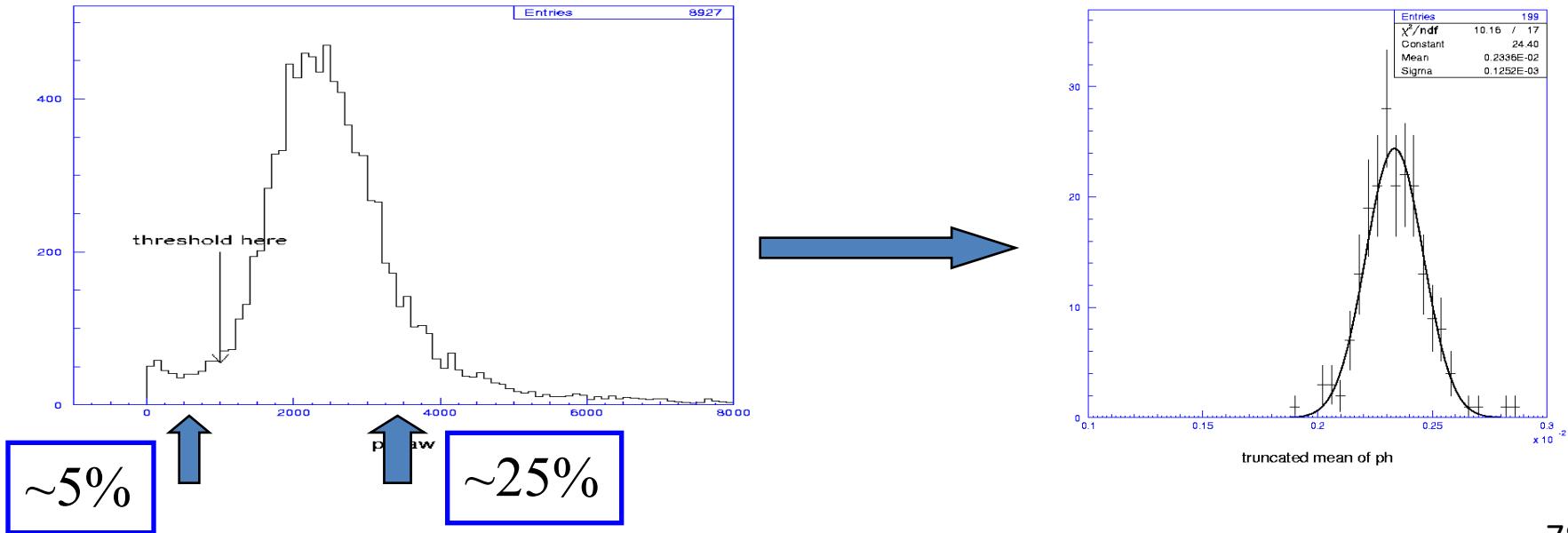
pulse height as a
function of $\cos\theta$
(empirical $\delta \approx 0.1$)

$$\frac{D}{|\cos\theta| + \delta}$$

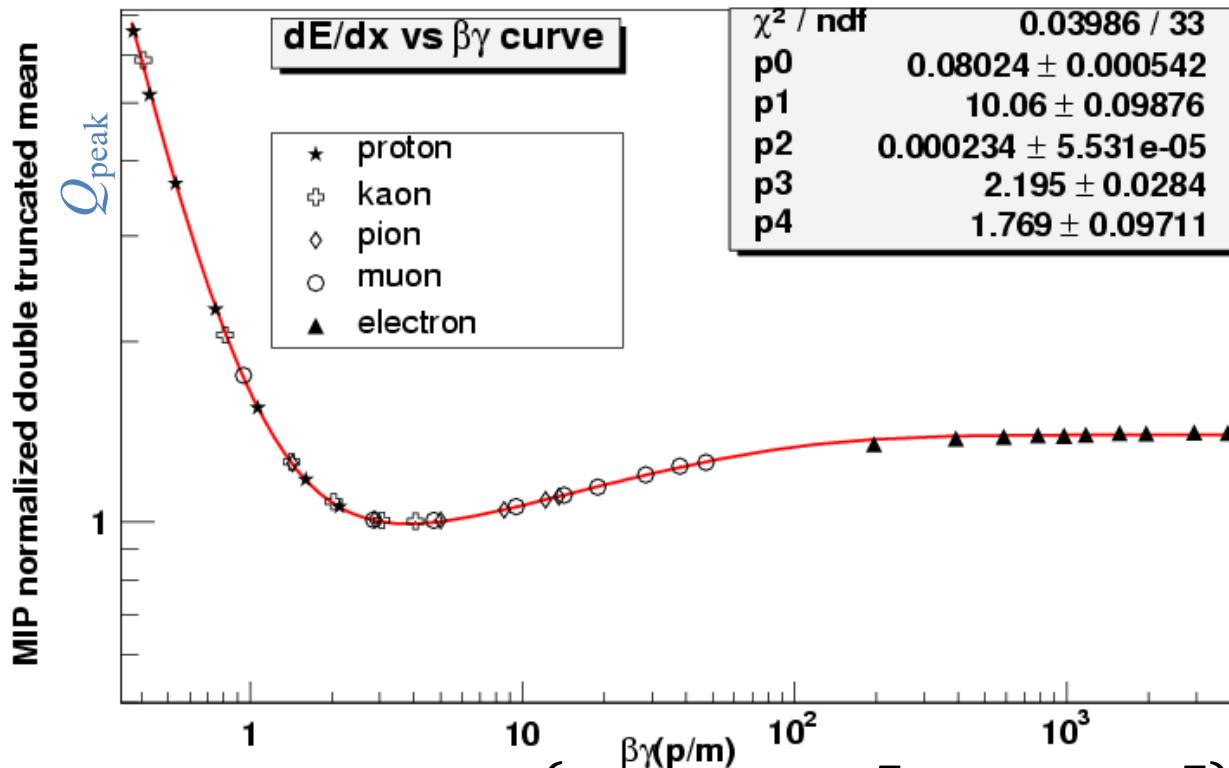


截断平均 (Truncation)

- 单个击中的不对称的Landau形状→高斯形状的径迹平均
- 低端5%的截断: 去除噪声和本底
- 高端25%的截断: 去除Landau尾巴→高斯形状的 dE/dx 分布



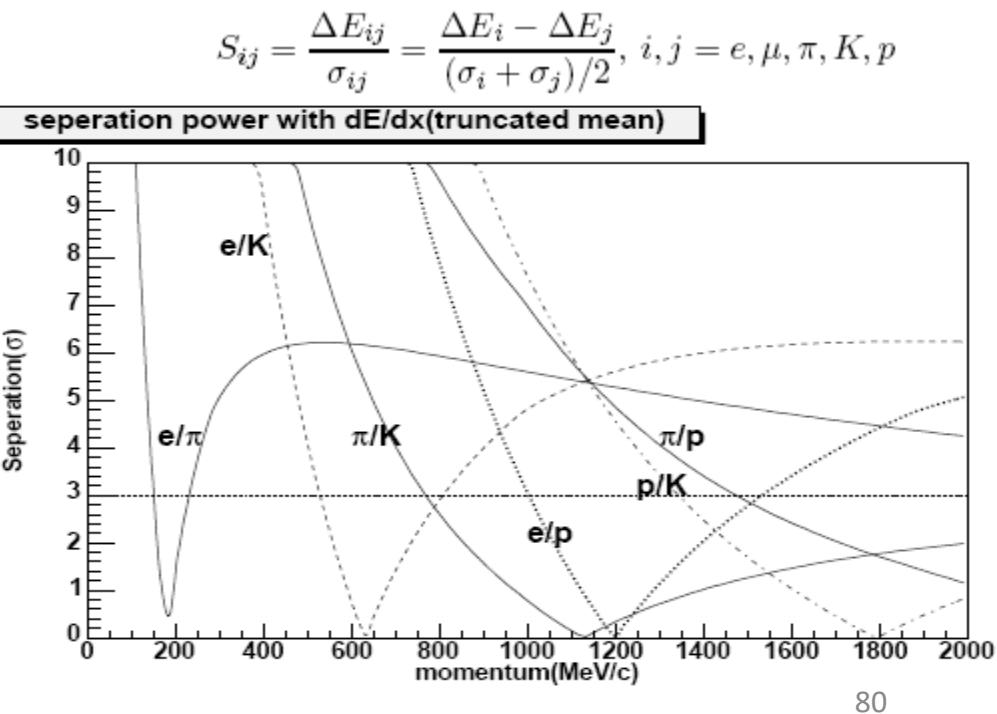
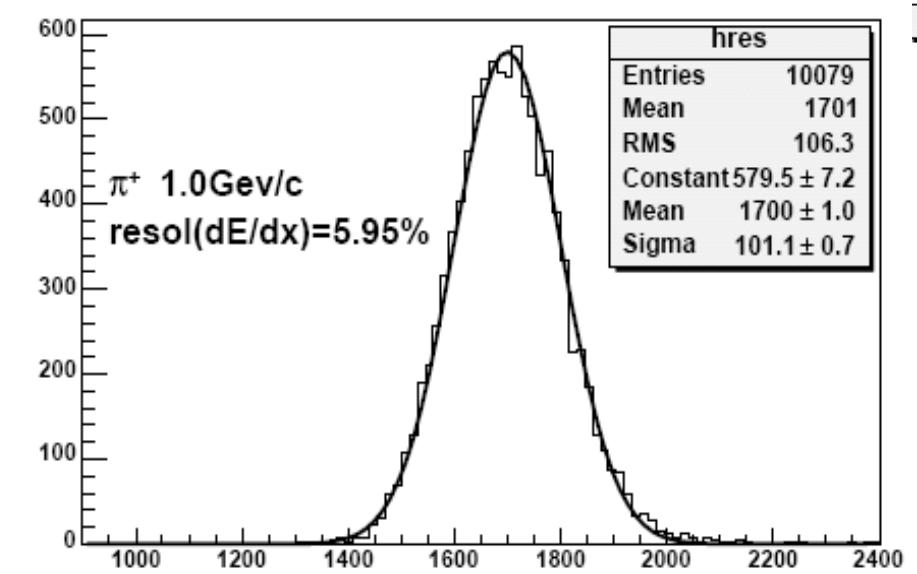
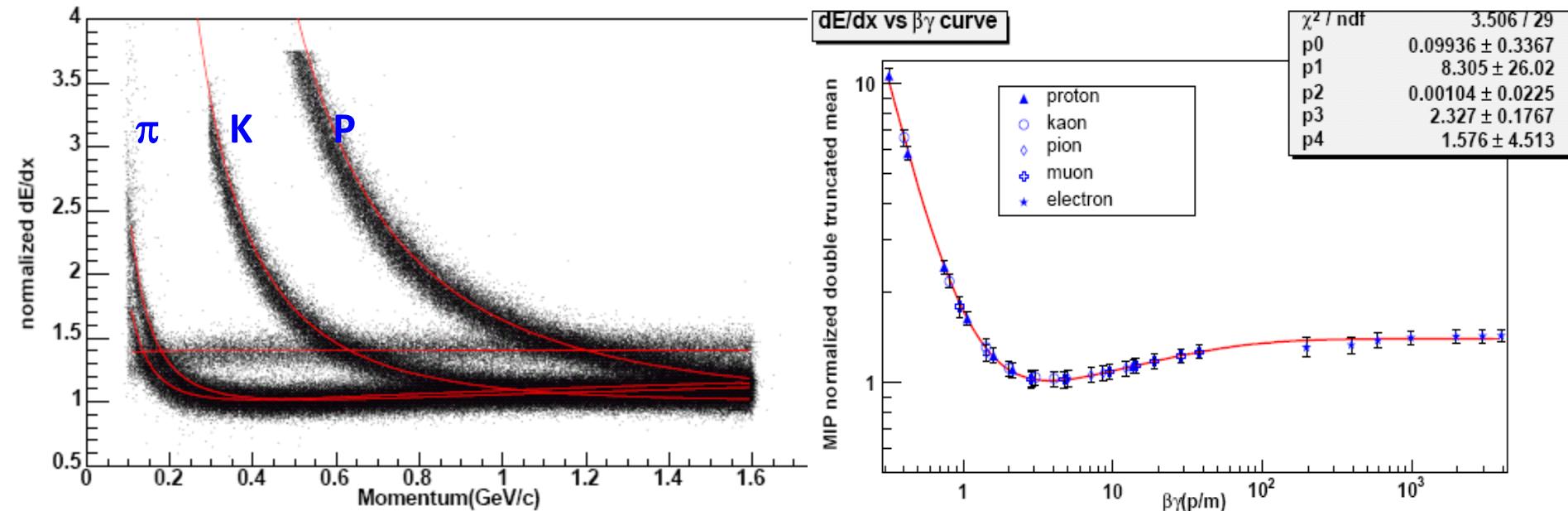
Bethe-Bloch 曲线



经验公式：

$$Q_{peak} = \frac{P_1}{\beta^{P_4}} \left\{ P_2 - \beta^{P_4} - \log \left[P_3 + \left(\frac{1}{\beta\gamma} \right)^{P_5} \right] \right\}$$

结合动量与Bethe-Bloch曲线，得到dE/dx期望值



```
//input data
#include "$RAWDATACNVROOT/share/ReadRawDatajobOptions.txt"
#include "$TRIGMAKERALGROOT/share/jobOptions_TrigMakerAlg.txt"
#include "$OFFLINEEVENTLOOPMGRROOT/share/OfflineEventLoopMgr_Option.txt"
#include "$CALIBSVCROOT/share/job-CalibData.txt"
#include "$MAGNETICFIELDROOT/share/MagneticField.txt"
#include "$ESTIMEALGROOT/share/job_EsTimeAlg.txt"

// PAT+TSF+HOUGH method for MDC reconstruction
#include "$MDCHOUGHFINDERROOT/share/jobOptions_MdcPatTsfHoughRec.txt"

#include "$KALFITALGROOT/share/job_kalfit_numf_data.txt"
#include "$MDCDEDXALGROOT/share/job_dedx_all.txt"
#include "$TRKEXTALGROOT/share/TrkExtAlgOption.txt" —————→ 径迹外推
#include "$TOFRECROOT/share/jobOptions_TofRec_Data.txt"
#include "$TOFENERGYRECROOT/share/TofEnergyRecOptions_Data.txt"
#include "$EMCRECROOT/share/EmcRecOptions.txt"
#include "$EMCTIMERECCROOT/share/EmcTimeRecOptions.txt"

#include "$MUCRECALGROOT/share/jobOptions_MucRec.txt"

#include "$HLTMAKERALGROOT/share/jobOptions_HltMakerAlg.txt"
```

径迹外推

- 任务：根据漂移室重建出的径迹参数及误差矩阵，计算该径迹在MDC以外的各子探测器里击中的预期位置、对应的瞬时动量及相应的6维(位置、动量)协方差矩阵
- 外推的结果将用于TOF、EMC和 μ 子探测器的事例重建
- 外推程序包，基于GEANT4的部分代码，实现了较高精度的径迹外推

```
//input data
#include "$RAWDATACNVROOT/share/ReadRawDatajobOptions.txt"
#include "$TRIGMAKERALGROOT/share/jobOptions_TrigMakerAlg.txt"
#include "$OFFLINEEVENTLOOPMGRROOT/share/OfflineEventLoopMgr_Option.txt"
#include "$CALIBSVCROOT/share/job-CalibData.txt"
#include "$MAGNETICFIELDROOT/share/MagneticField.txt"
#include "$ESTIMEALGROOT/share/job_EsTimeAlg.txt"

// PAT+TSF+HOUGH method for MDC reconstruction
#include "$MDCHOUGHFINDERROOT/share/jobOptions_MdcPatTsfHoughRec.txt"

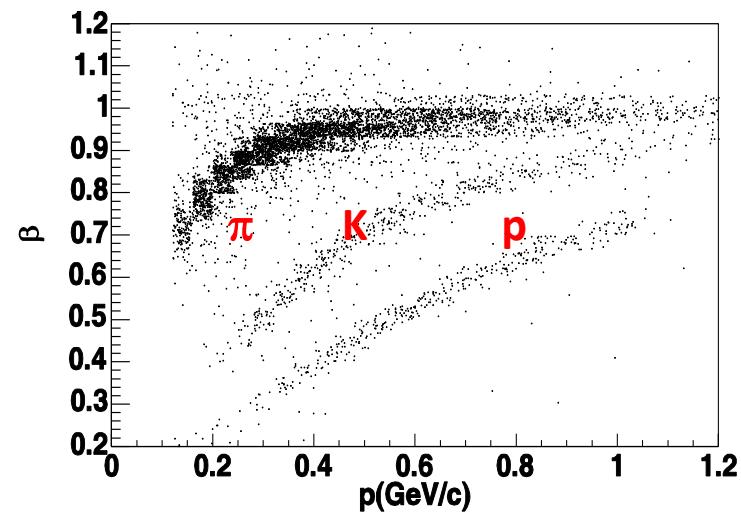
#include "$KALFITALGROOT/share/job_kalfit_numf_data.txt"
#include "$MDCDEDXALGROOT/share/job_dedx_all.txt"
#include "$TRKEXTALGROOT/share/TrkExtAlgOption.txt"
#include "$TOFRECROOT/share/jobOptions_TofRec_Data.txt" —————→ TOF重建
#include "$TOFENERGYRECROOT/share/TofEnergyRecOptions_Data.txt"
#include "$EMCRECROOT/share/EmcRecOptions.txt"
#include "$EMCTIMERECCROOT/share/EmcTimeRecOptions.txt"

#include "$MUCRECALGROOT/share/jobOptions_MucRec.txt"

#include "$HLTMAKERALGROOT/share/jobOptions_HltMakerAlg.txt"
```

TOF重建

- 利用粒子击中TOF的信息计算粒子的飞行时间等物理量，供粒子鉴别使用
- 步骤
 - 利用电子学记录的脉冲幅度的粗时钟的信息进行T-Q匹配
 - 对于桶部TOF再进行闪烁体两端光电倍增管读出信息的匹配
 - 利用带电径迹的外推击中信息与TOF测量的信号进行匹配
 - 进行各项修正，最后得到粒子的飞行时间等信息



TOF 粒子鉴别的原理

- 利用径迹探测器得到的粒子的动量 p , 飞行距离 L , 和假设的粒子质量→预期时间

$$t_{predict}^{\textcolor{red}{i}} = \frac{L}{c \cdot \beta_{\textcolor{red}{i}}}, \quad \beta_{\textcolor{red}{i}} = \frac{|\vec{p}|c}{E_{\textcolor{red}{i}}}, \quad E_{\textcolor{red}{i}} = \sqrt{m_{\textcolor{red}{i}}^2 + p^2}$$

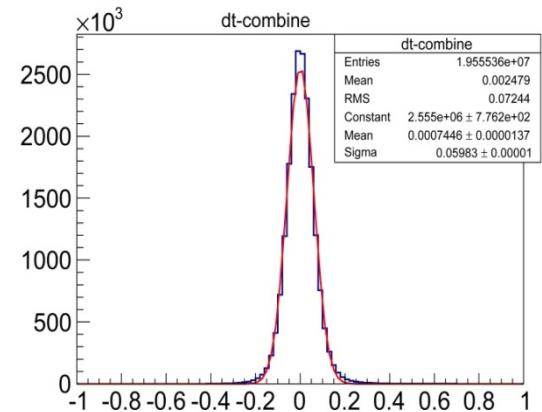
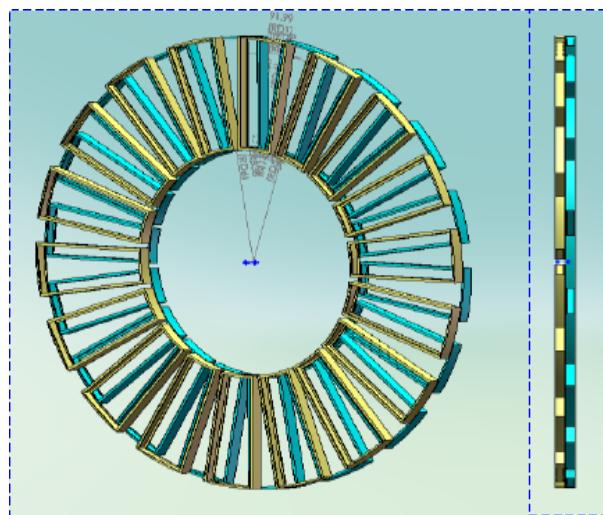
- 比较测量时间与预期时间差, 实现粒子鉴别

$$\chi^2 = \frac{(t_{measure} - t_{predict}^{\textcolor{red}{i}})^2}{\sigma^2} \rightarrow \text{正态分布}$$

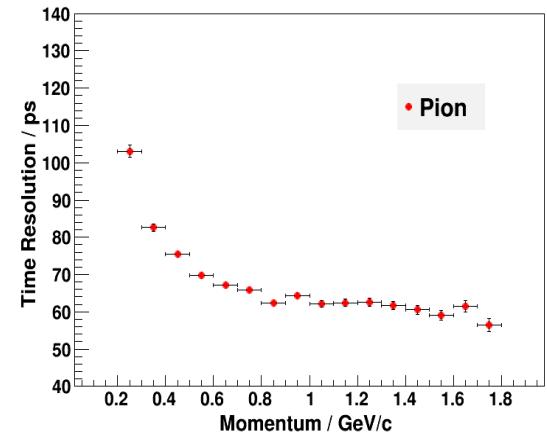
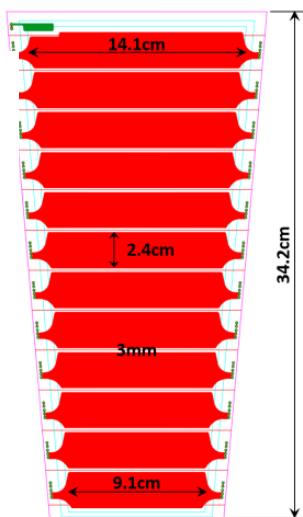
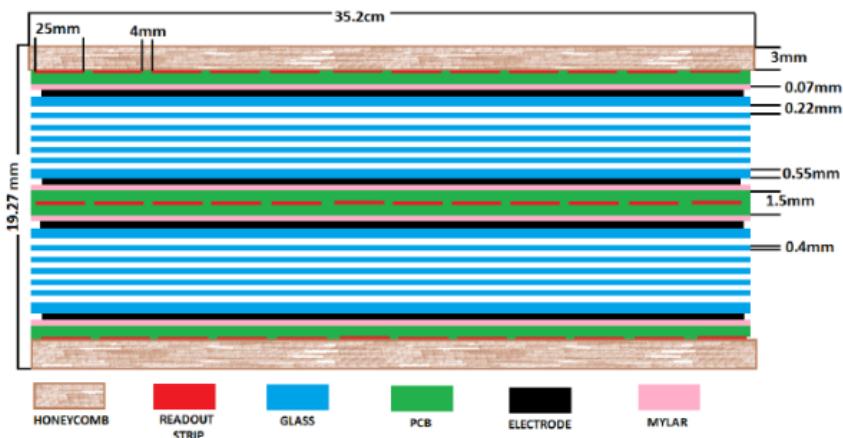
- 在粒子动量, 磁场大小和探测器几何确定的情况下, 粒子鉴别能力由时间分辨决定。

MRPC Endcap Time-of-Flight system at BESIII

- 从2015年底，MRPC 安装测试完毕正式用于 BESIII取数 (round09)
- 从Boss7.0.0开始，加入了MRPC的数据处理软件包



Time resolution 60ps



65ps for pions@0.8GeV

```
//input data
#include "$RAWDATACNVROOT/share/ReadRawDatajobOptions.txt"
#include "$TRIGMAKERALGROOT/share/jobOptions_TrigMakerAlg.txt"
#include "$OFFLINEEVENTLOOPMGRROOT/share/OfflineEventLoopMgr_Option.txt"
#include "$CALIBSVCROOT/share/job-CalibData.txt"
#include "$MAGNETICFIELDROOT/share/MagneticField.txt"
#include "$ESTIMEALGROOT/share/job_EsTimeAlg.txt"

// PAT+TSF+HOUGH method for MDC reconstruction
#include "$MDCHOUGHFINDERROOT/share/jobOptions_MdcPatTsfHoughRec.txt"

#include "$KALFITALGROOT/share/job_kalfit_numf_data.txt"
#include "$MDCDEDXALGROOT/share/job_dedx_all.txt"
#include "$TRKEXTALGROOT/share/TrkExtAlgOption.txt"
#include "$TOFRECROOT/share/jobOptions_TofRec_Data.txt"
#include "$TOFENERGYRECROOT/share/TofEnergyRecOptions_Data.txt"
#include "$EMCRECROOT/share/EmcRecOptions.txt"
#include "$EMCTIMERECCROOT/share/EmcTimeRecOptions.txt" } 量能器重建

#include "$MUCRECALGROOT/share/jobOptions_MucRec.txt"

#include "$HLTMAKERALGROOT/share/jobOptions_HltMakerAlg.txt"
```

量能器重建

一个高能电子或光子进入量能器后，将与晶体发生相互作用。光子通过电子对转换变为一对正负电子，电子又可以通过韧致辐射释放出光子，这两种作用交替进行，形成电磁簇射。电磁簇射在晶体中横向和纵向发展，把能量损失在一系列相邻的晶体中。量能器的重建算法，就是要寻找这些相邻的晶体，进而计算入射粒子的总能量和击中位置。

重建方法：

- **能量簇团寻找**：一系列能量沉积大于某个阈值的相邻晶体的集合。
- **簇团劈裂**：
 - ✓ 寻找种子：沉积能量的极大值
 - ✓ 按种子个数劈裂成一个或多个簇射，一个簇射对应一个入射粒子

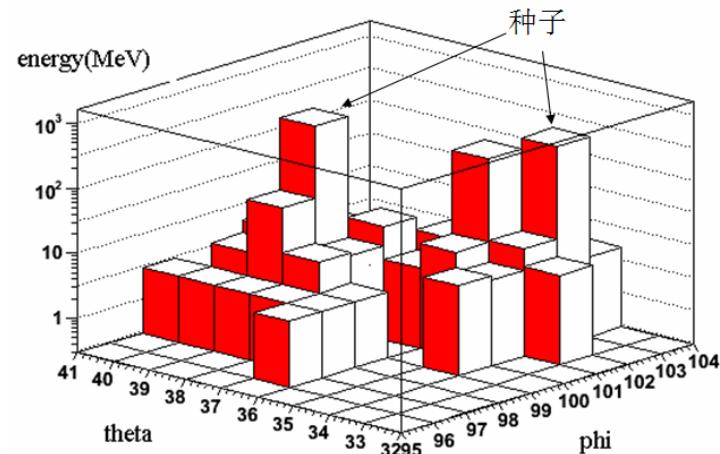
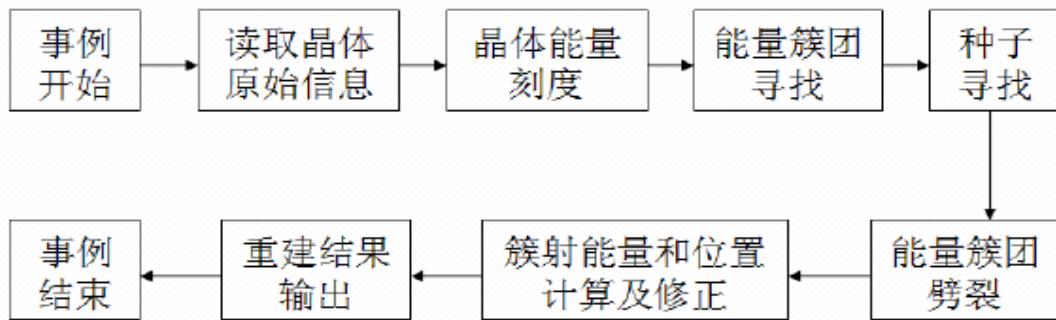
X	X	X
X	○	X
X	X	X

桶部相邻晶体定义

X	X	X	
X	○	X	
X	X		

端盖相邻晶体定义

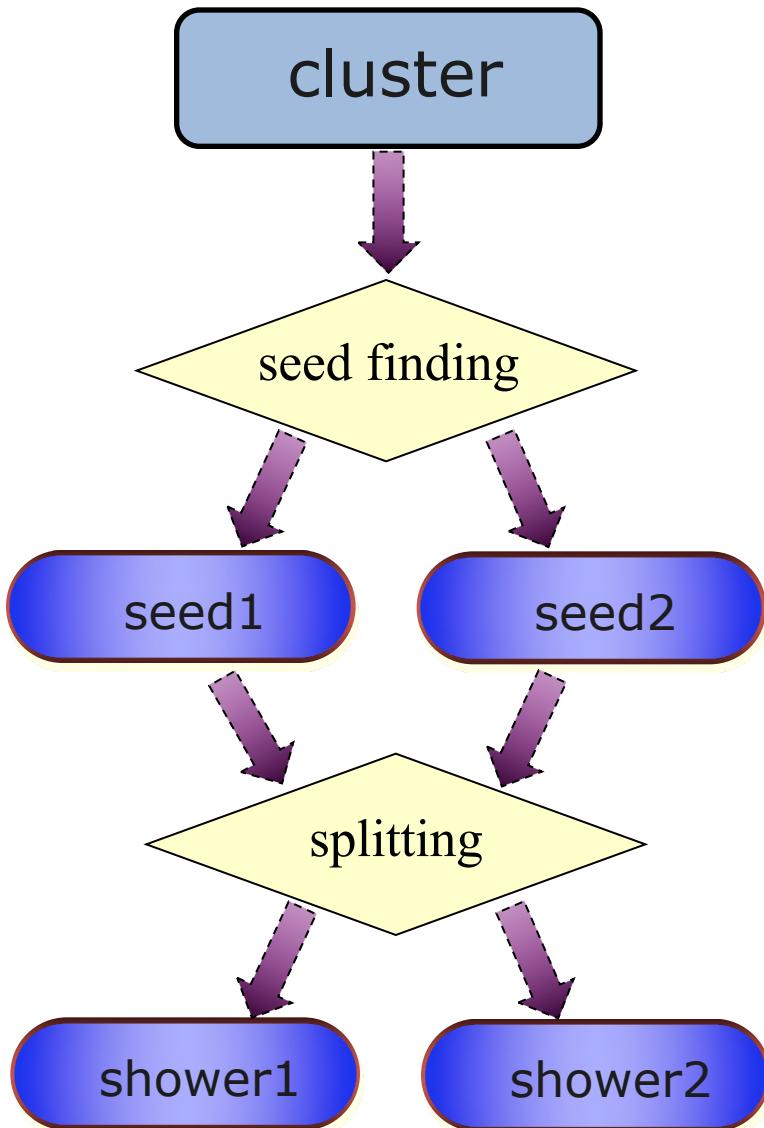
重建流程



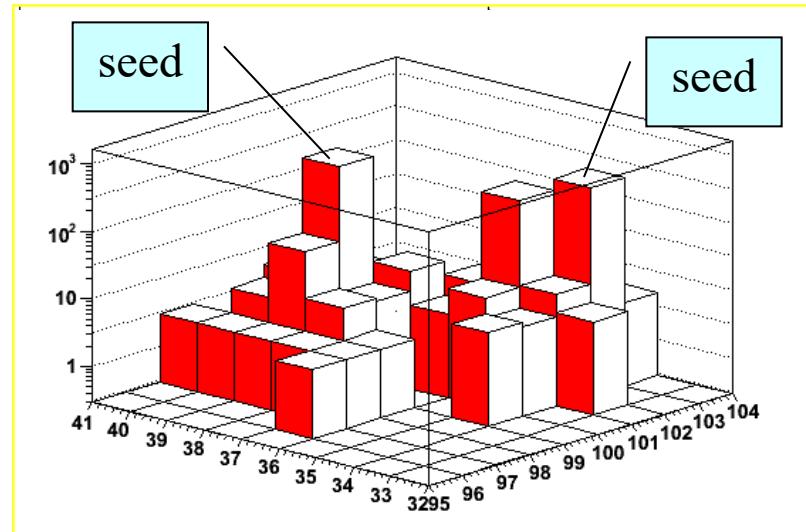
簇射能量计算

- 对簇射中所有晶体能量求和就得到了簇射的能量。不过参与求和的晶体数越多，簇射所包含的噪声也越多，这样会降低能量分辨。由于电磁簇射能量沉积比较集中，通常表示为种子周围9块晶体能量求和，称为e3×3；或25块晶体能量求和，称为e5×5。根据BESIII实际的噪声水平，目前默认采用e5×5作为簇射的能量。

簇射团的劈裂



- 种子：局域最大
- 如果只有一个种子，只有一个簇射
- 如果存在多个种子，存在多个簇射，每个晶体对多个簇射都有贡献。



簇射位置修正

- 加权平均
- 线性权重
- 对数权重
- 位置修正

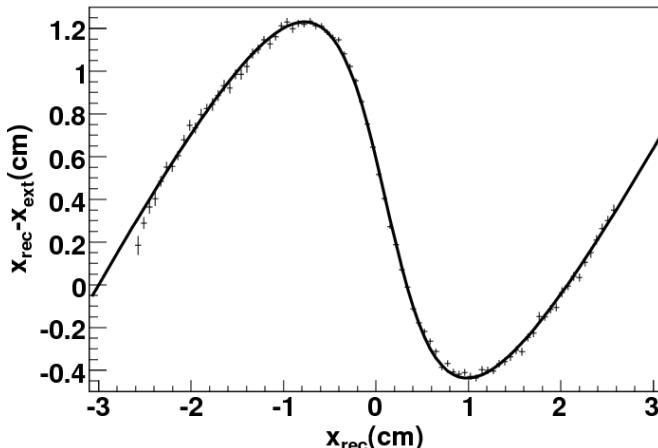
$$x_c = \sum_j^N w_j(E_j) x_j \Bigg/ \sum_j^N w_j(E_j)$$

$$w_j^{(linear)}(E_j) = E_j$$

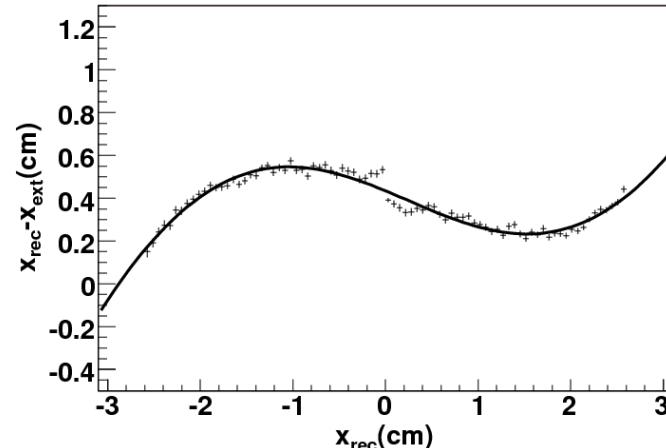
$$w_j^{(log)}(E_j) = \text{Max} \left\{ 0, a_0 + \ln(E_j) - \ln(E_{tot}) \right\}$$

- 修正粒子打到晶体表面不同位置带来的偏差
- 用bhabha事例，根据漂移室的径迹外推信息进行修正
- 修正公式： $\Delta x = p_0 \times \arctan(p_1 \times x + p_3) + p_2 \times x + p_4$

线性权重函数



对数权重函数

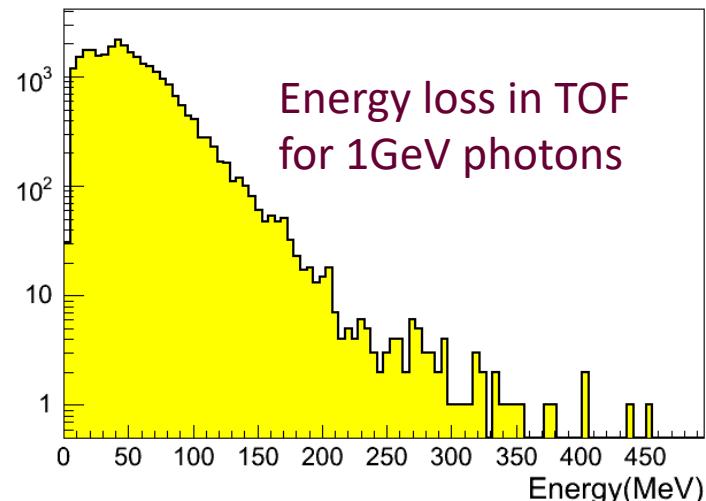


电磁量能器前物质对其性能的影响

Table 1: Material in front of EMC

Component	Material	Radiation Length
Beam Pipe	0.13cm Beryllium	0.4%
DC	1.1cm carbon fiber	5.0%
TOF	10cm scintillator	23.5%

- EMC前有30% 辐射长度的物质，其中TOF占的比重最大
- TOF上的能损延伸到几百个MeV，这将使能量分辨和探测效率变差，
- 对TOF能量重建后，能量分辨和探测效率都得到提高



```
//input data
#include "$RAWDATACNVROOT/share/ReadRawDatajobOptions.txt"
#include "$TRIGMAKERALGROOT/share/jobOptions_TrigMakerAlg.txt"
#include "$OFFLINEEVENTLOOPMGRROOT/share/OfflineEventLoopMgr_Option.txt"
#include "$CALIBSVCROOT/share/job-CalibData.txt"
#include "$MAGNETICFIELDROOT/share/MagneticField.txt"
#include "$ESTIMEALGROOT/share/job_EsTimeAlg.txt"

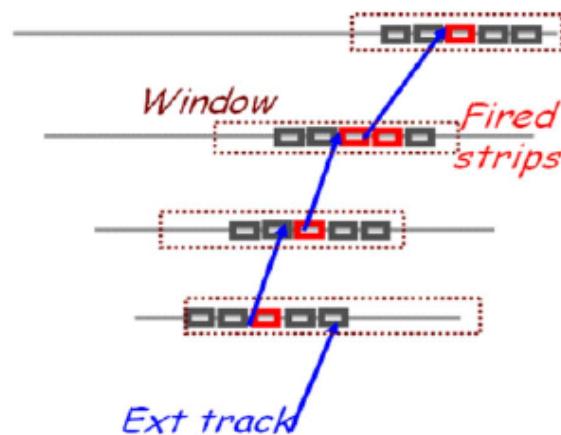
// PAT+TSF+HOUGH method for MDC reconstruction
#include "$MDCHOUGHFINDERROOT/share/jobOptions_MdcPatTsfHoughRec.txt"

#include "$KALFITALGROOT/share/job_kalfit_numf_data.txt"
#include "$MDCDEDXALGROOT/share/job_dedx_all.txt"
#include "$TRKEXTALGROOT/share/TrkExtAlgOption.txt"
#include "$TOFRECROOT/share/jobOptions_TofRec_Data.txt"
#include "$TOFENERGYRECROOT/share/TofEnergyRecOptions_Data.txt"
#include "$EMCRECROOT/share/EmcRecOptions.txt"
#include "$EMCTIMERECCROOT/share/EmcTimeRecOptions.txt"

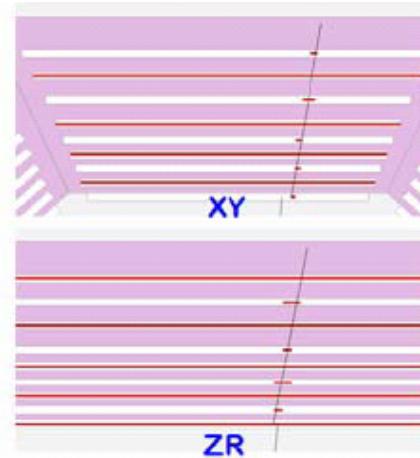
#include "$MUCRECALGROOT/share/jobOptions_MucRec.txt" —————> 量能器重建
#include "$HLTMAKERALGROOT/share/jobOptions_HltMakerAlg.txt"
```

MUC 重建

- 主要任务：将击中信息构建成径迹，提供径迹的方向、位置、穿透深度等信息，供 μ 鉴别使用
- 重建步骤：几何构建、径迹寻找、径迹拟合、径迹参量计算
- 三种径迹寻找算法
 - 漂移室径迹外推算法：主要用于带电粒子重建
 - 自重建算法：适用于各种粒子，但对穿透层数有要求
 - EMC击中或MUC击中联合对撞点外推算法：主要用于中性粒子重建



MDC径迹外推



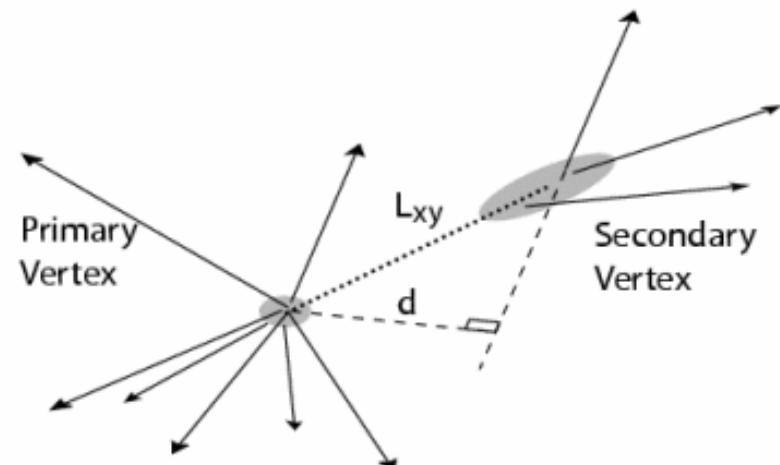
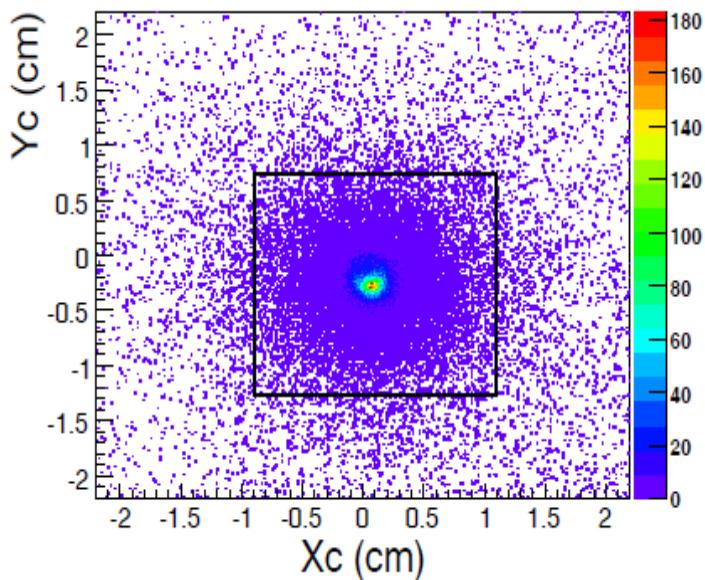
自重建

事例顶点重建

- 在高亮度条件下，高精度的物理分析要求能够在大量的末态带电粒子径迹中精确区分它们来自于事例的初级顶点还是次级顶点
- 初级顶点：位于对撞点，其分布依赖于对撞束团的形状
- 次级顶点：主要是 K_s 和 $\Lambda \bar{\Lambda}$ 的衰变点，其相对于事例对撞点有一定的飞行距离

```
#include "$PRIMARYVERTEXALGROOT/share/jobOptions_kalman.txt"  
#include "$VEEVERTEXALGROOT/share/jobOptions_veeVertex.txt"
```

事例初级顶点在 X-Y 平面的分布



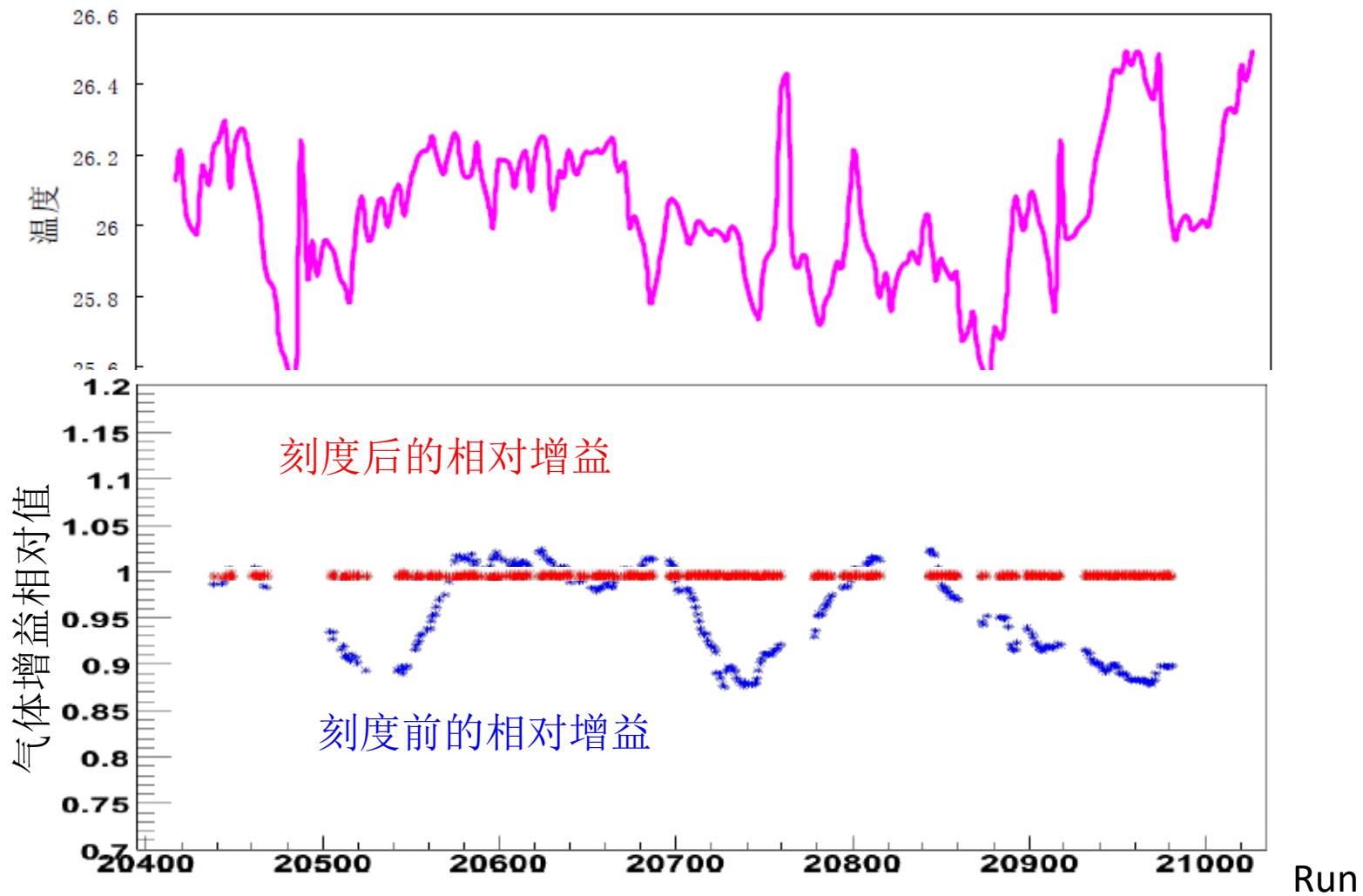
离线刻度

- 目的
- MDC刻度
 - MDC时间道刻度
 - MDC几何位置校准
 - dE/dx 刻度（电荷道刻度）
- TOF刻度
- EMC刻度
- MUC刻度
- 刻度常数的管理

目的

- 提供事例重建所需要的函数关系
 - 如MDC的时间-距离的转换关系
 - 如EMC的ADC与能量沉积的转换
- 探测器不同部位的响应存在差别，需要通过刻度消除这些差别
 - 如电子学T0刻度消除不同电子学通道间的差异
 - 受温度、湿度等外部环境的影响，探测器的相应会随着时间发生变化 [动画演示](#)
 - 如 dE/dx run by run增益刻度
 - 探测器的实际几何位置与理想位置之间存在差别，需要进行位置刻度 [动画演示](#)
 - 如MDC几何位置校准

- 受外部环境的影响，探测器的响应会随着时间发生变化，例如温度、气压的变化会导致漂移室气体增益的变化。因此，需要通过离线刻度消除这些差异

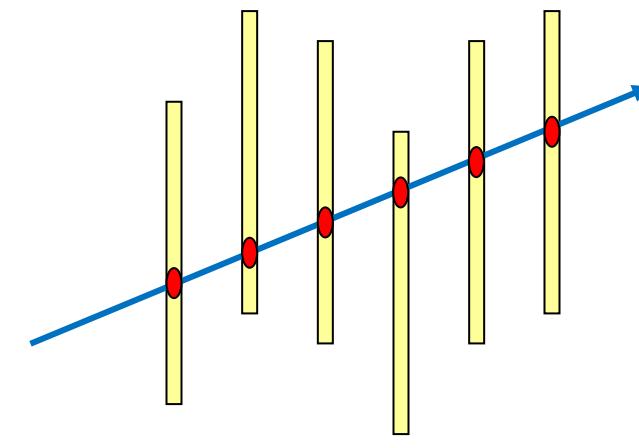


[返回](#)

- 探测器的实际几何位置与理想位置之间存在差别，需要进行几何位置刻度，即校准

实际的几何位置

径迹穿过探测器



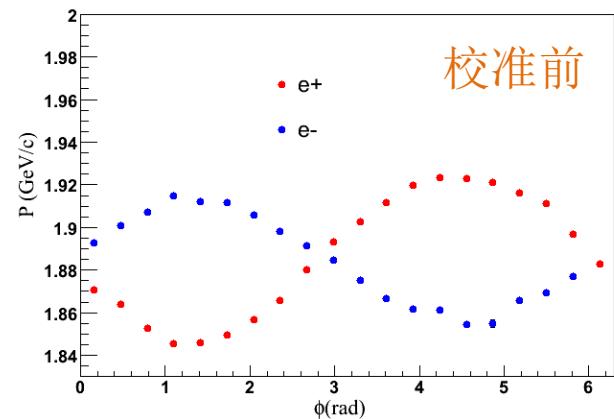
理想的几何位置

用理想位置进行拟合

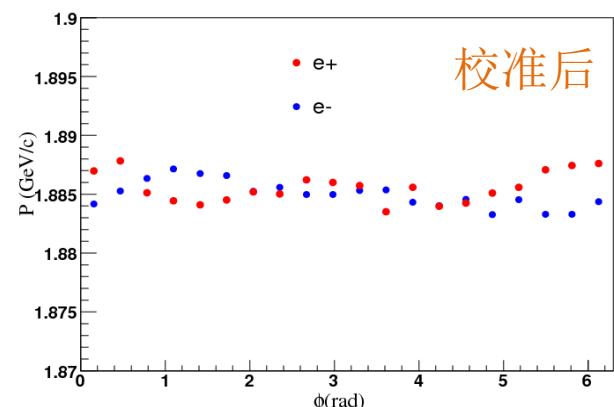
拟合结果偏离真实值

需要对探测器几何位置进行校准

P vs ϕ (质心系)



校准后



离线刻度软件包

软件包	功能
MdcCalibAlg	MDC刻度
MdcAlignAlg	MDC几何位置校准
DedxCalibAlg	dE/dx刻度
TofCalibAlg	TOF刻度
EmcCalib	EMC刻度
MucCalibAlg	MUC刻度

MDC刻度内容和方法

- 径迹重建中采用最小二乘法进行径迹拟合

- d_{meas} : 径迹与信号丝间的测量距离 → X-T关系, TO, 时幅修正
- d_{track} : 拟合径迹与信号丝的距离（以下简称拟合距离）→ 信号丝位置
- σ_i : 该测量点的权重（空间分辨）→ 空间分辨与漂移距离的关系

- 径迹残差 $r = d_{\text{meas}} - d_{\text{track}}$

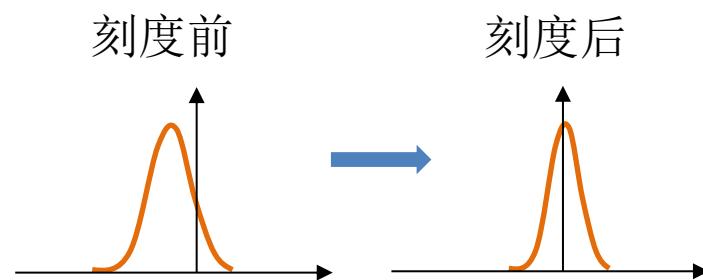
- 通常用残差分布的标准差来表征漂移室的空间分辨

- 刻度方法: 殮差分析

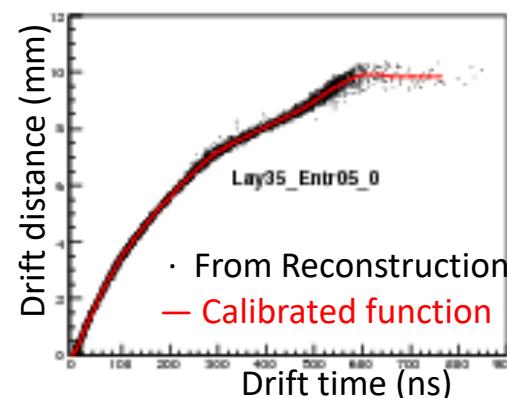
(通过残差偏移量获得刻度常数的修正量)

- 时间-距离关系刻度: 殮差 vs 时间
- Q-T关系刻度: 殯差 vs Q
- 电子学TO刻度: 单元左右残差偏移
- 校准: 殯差 vs φ/θ

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N_{\text{hit}}} \frac{(d_{\text{meas}}^{(i)} - d_{\text{track}}^{(i)})^2}{\sigma_i^2}$$

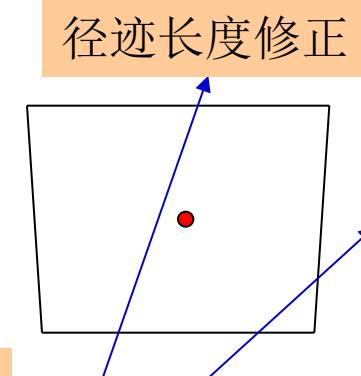


Drift distance vs drift time

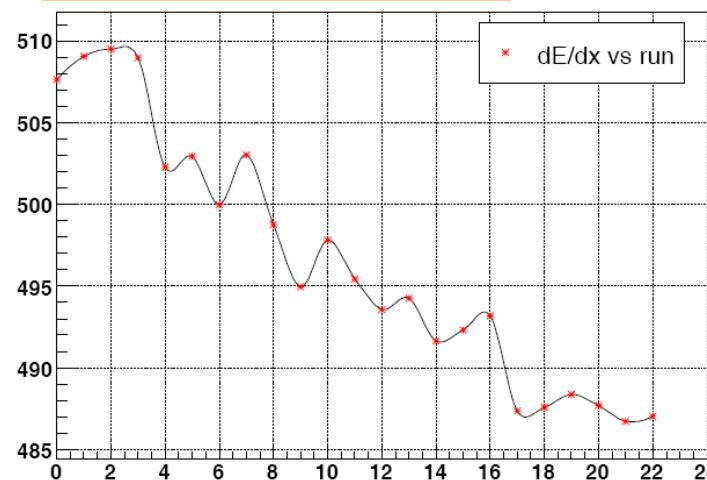


dE/dx 刻度

- dE/dx 测量值受环境、漂移室几何结构、电场磁场不均匀等因素影响，需要通过刻度消除这些因素带来的差异
- 分为hit级别刻度和track级别刻度
- Hit级别刻度
 - 径迹长度修正
 - run by run增益刻度
 - 单丝增益刻度
 - 漂移距离-入射角联合修正

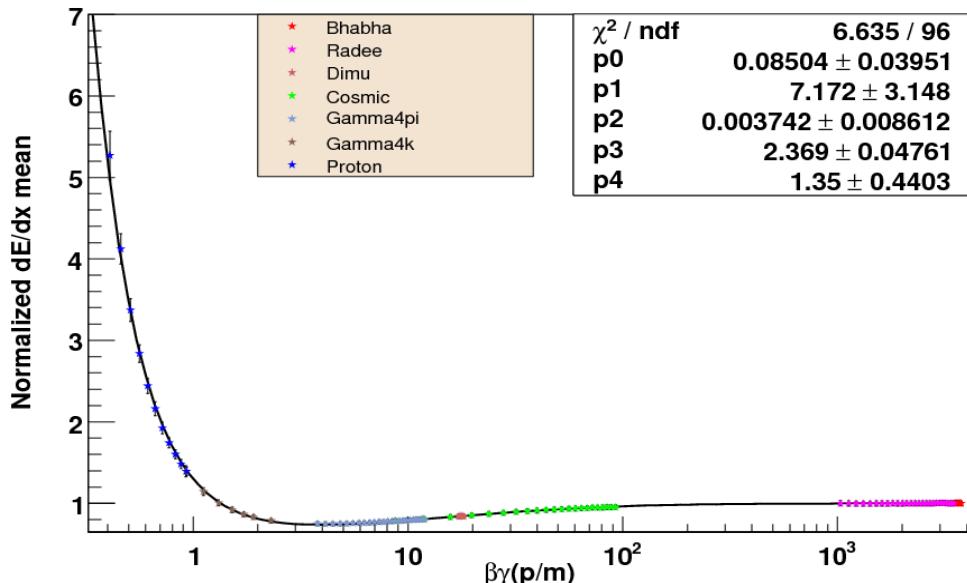


增益随run的变化



能损曲线

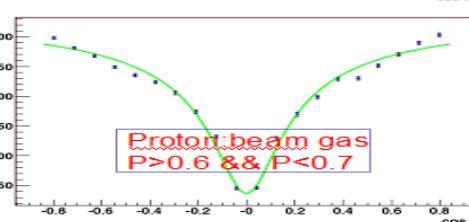
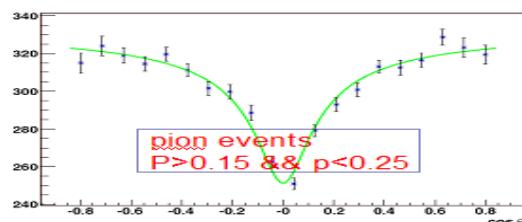
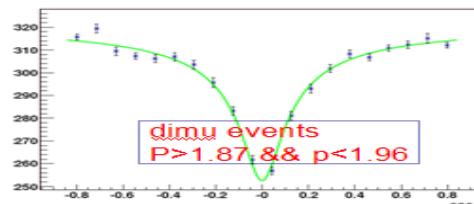
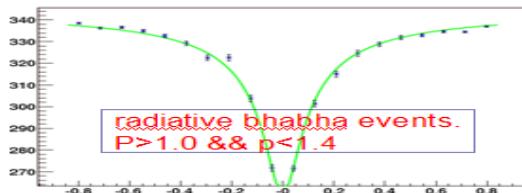
dE/dx vs $\beta\gamma$ curve



• 径迹级别刻度

- * 空间电荷效应的修正
- * 标定dE/dx能损曲线
- * $\sigma_{dE/dx}$ 的刻度

强子的饱和效应



飞行时间计数器(TOF)刻度

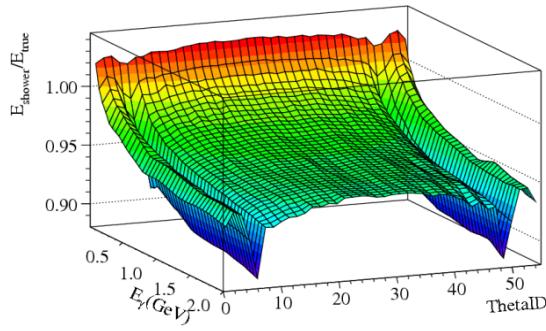
- 通过刻度消除脉冲幅度、击中位置等因素带来的时间测量差异，消除因闪烁体和电子学通道的不同而带来的差异
- 时间刻度修正函数
 - 桶部 $t_{cor} = P_0 + \frac{P_1 + P_2 \cdot z}{\sqrt{Q}} + \frac{P_3}{Q} + P_4 \cdot z + P_5 \cdot z^2 + P_6 \cdot z^3$
 - 端盖 $t_{cor} = P_0 + \frac{P_1}{\sqrt{Q}} + \frac{P_2}{Q} + P_3 \cdot r + P_4 \cdot r^2$

EMC刻度

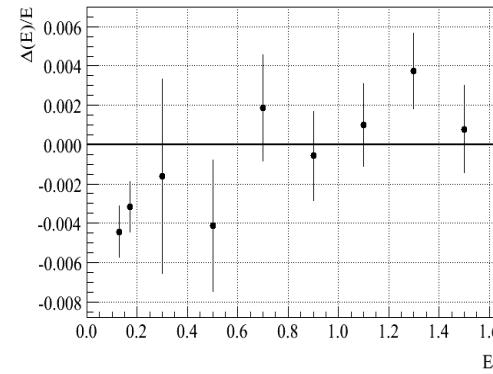
- **重要性和必要性:**
 - * 电子学ADC道数→粒子能量的系数.
 - * 每道电子学、每块CsI晶体的不一致性
- **刻度内容**
 - * **晶体单元绝对能量刻度**
 - 将电子学ADC道数转换成沉积能量: $E_i = ADC_i \times C_i$, ADC_i电子学提供, C_i : i晶体绝对能量刻度常数, 由宇宙线数据刻度提供
 - 用Bhabha事例用矩阵方法精确刻度
 - * **簇射绝对能量刻度**
 - 量能器前端物质的吸收、晶体后端及侧面的泄漏, 重建得到的簇射能量小于入射光子的实际能量, 因此需要将簇射能量的峰位修正到它的期待值, 称为簇射绝对能量刻度
 - * **簇射位置刻度**
 - 量能器的几何比较复杂, 晶体本身不对称, 晶体指向偏离对撞点, 粒子击中晶体表面不同位置的效果也不一样, 所以重建得到簇射位置存在偏差, 也需要进行修正, 称为簇射位置刻度

簇射绝对能量刻度

- 蒙特卡洛单光子刻度
 - 通过模拟单能光子在探测器中的响应，得到不同能量下光子分别击中量能器不同位置时的沉积能量分布
- 物理事例刻度
 - 高能下利用 $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ ，能量较低的区域则利用 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ ，光子的能量刻度因子靠调节重建出的 π^0 的不变质量到它的期待值来计算



单光子能量刻度系数二维分布图



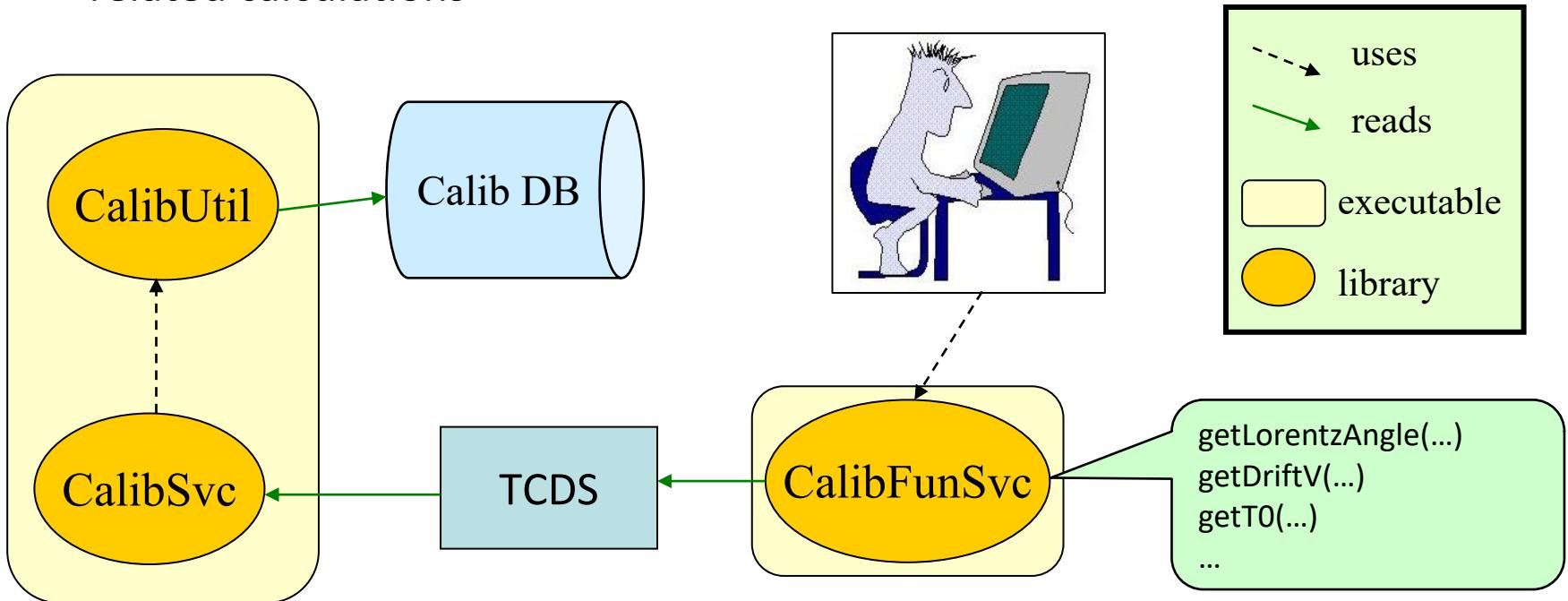
修正后的能量峰位值偏差

MUC刻度

- BESIII的 μ 探测器采用流光模式的阻性板室(RPC)。RPC信号大，效率和噪声对阻性板体电阻率分布、工作高压和电子学阈值，以及环境温湿度都比较敏感。
- μ 探测器刻度的主要任务是准确给出各探测单元的实际效率和噪声水平，以及反映各种因素对RPC性能的影响。
- 刻度的方法是基于在给定的效率窗口下，探测器击中与重建径迹预期位置的匹配情况进行的统计分析。根据匹配的不同情况确定击中的种类：有效击中、者噪声或者没有击中，并计算各个单元的效率、噪声水平及其误差。

刻度框架

- **CalibUtil**: Search calibration data from data base
- **CalibSvc**: Data conversion service from DB to **TCDS** (**T**ransient **C**alibration **D**ata **S**tore)
- **CalibFunSvc**: Interfaces to access TCDS and functions for calibration related calculations

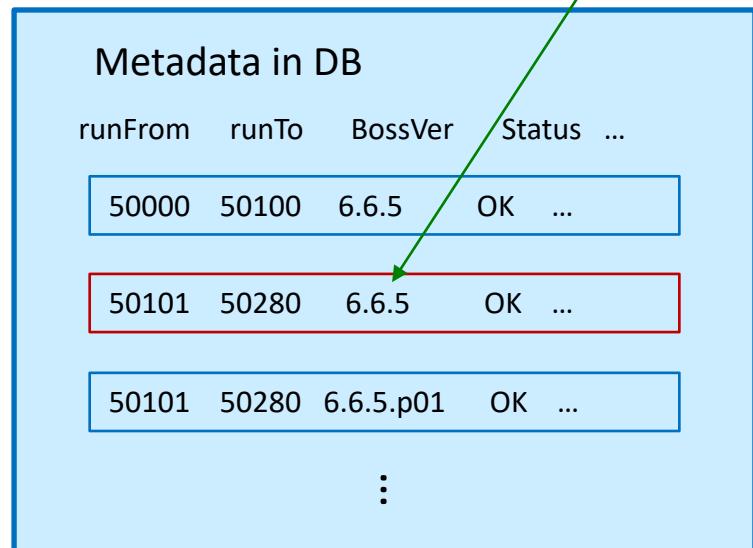
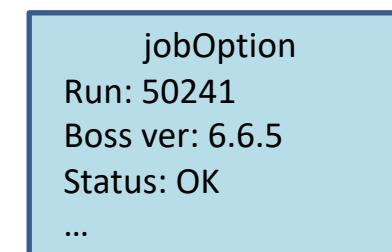


刻度数据库

共找到2,183条。

[首页/上一页] 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 [下一页/尾页]

编号	起始运行号	结束运行号	文件名称	状态	BOSS版本	刻度参数版本	事例类型	创建时间	文件是否保存	操作
2203	43810	43833	TofCalConst43810.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-15	true	<input type="checkbox"/>
2204	43834	43885	TofCalConst43834-43885.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-15	true	<input type="checkbox"/>
2205	43978	44011	TofCalConst43978-44011.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-15	true	<input type="checkbox"/>
2212	44012	44035	TofCalConst43886-43947.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-16	true	<input type="checkbox"/>
2213	44036	44101	TofCalConst44036-44082.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-16	true	<input type="checkbox"/>
2214	44102	44151	TofCalConst44102-44151.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-16	true	<input type="checkbox"/>
2218	44152	44191	TofCalConst44152-44191.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-16	true	<input type="checkbox"/>
2219	44192	44262	TofCalConst44210-44245.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-16	true	<input type="checkbox"/>
2220	44263	44325	TofCalConst44263-44298.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-16	true	<input type="checkbox"/>
2221	44326	44351	TofCalConst44335-44351.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-16	true	<input type="checkbox"/>
2222	44352	44388	TofCalConst44368-44388.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-16	true	<input type="checkbox"/>
2223	44389	44462	TofCalConst44389-44421.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-16	true	<input type="checkbox"/>
2224	44463	44540	TofCalConst44463-44511.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-16	true	<input type="checkbox"/>
2225	44541	44633	TofCalConst44541-44590.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-16	true	<input type="checkbox"/>
2226	44634	44643	TofCalConst44634-44643.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-16	true	<input type="checkbox"/>
2227	44644	44676	TofCalConst44644-44672.root	OK	7.0.1	12	Bhabha	2016-08-16	true	<input type="checkbox"/>



jobOption中刻度设置

```
//input data
#include "$RAWDATACNVROOT/share/ReadRawDatajobOptions.txt"
#include "$TRIGMAKERALGROOT/share/jobOptions_TrigMakerAlg.txt"
#include "$OFFLINEEVENTLOOPMGRROOT/share/OfflineEventLoopMgr_Option.txt"
#include "$CALIBSVCROOT/share/job-CalibData.txt" ——————> 刻度框架设置
#include "$MAGNETICFIELDROOT/share/MagneticField.txt"
#include "$ESTIMEALGROOT/share/job_EsTimeAlg.txt"
```

```
//output ROOT DST data
#include "$ROOTIORTROOT/share/jobOptions_Dst2Root_data.txt"
```

```
//configure for calibration constants
#include "$CALIBSVCROOT/share/calibConfig_rec_data.txt" ——————> 刻度常数及版本设置
```

```
//Set output level threshold (2=DEBUG, 3=INFO, 4=WARNING, 5=ERROR, 6=FATAL )
MessageSvc.OutputLevel = 5;
```

用于模拟作业

重建模拟事例 (rtraw)

重建data (raw)

```
#include "$CALIBSVCROOT/share/calibConfig_sim.txt"
```

```
#include "$CALIBSVCROOT/share/calibConfig_rec_mc.txt"
```

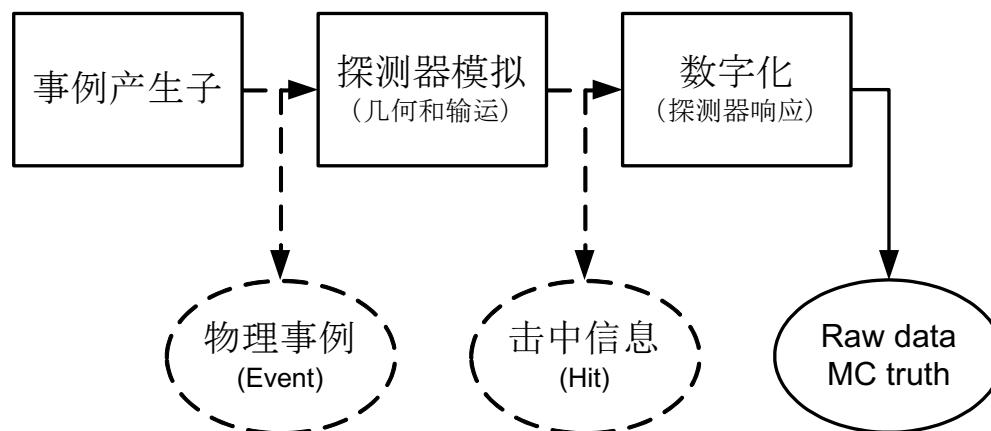
```
#include "$CALIBSVCROOT/share/calibConfig_rec_data.txt"
```

探测器模拟

- BOOST(BESIII Object-Oriented Simulation Tool) 是一套基于Geant4开发的BESIII蒙特卡罗模拟软件
 - 蒙特卡罗模拟的基本思想
 - 产生符合特定概率分布的随机变量
 - 用统计方法把模型的数字特征估计出来，从而得到实际问题的数值解
 - Geant4
 - 基于C++语言和面向对象思想开发的模拟工具包，广泛应用于高能物理、核医学、辐射物理等涉及粒子与物质发生相互作用的领域

探测器模拟的过程

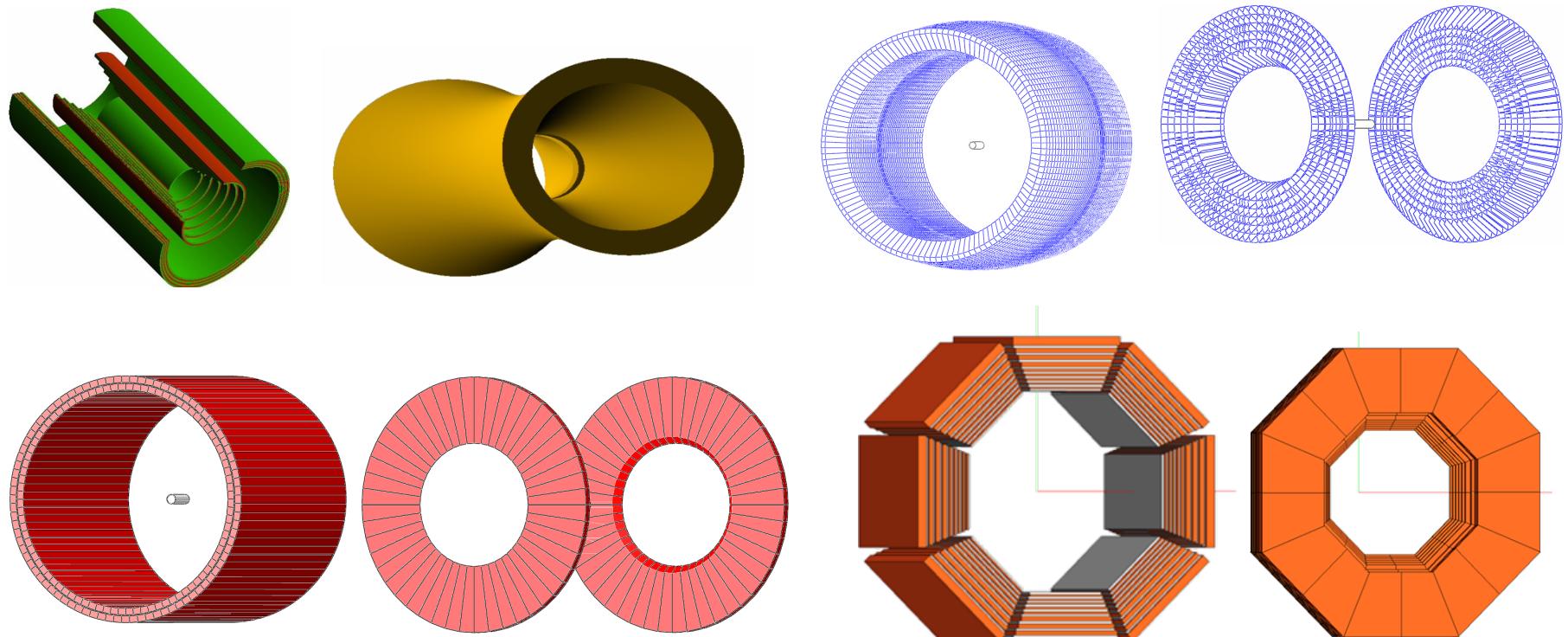
- 事例产生子产生物理事例，作为输入提供给探测器模拟程序
- 探测器模拟程序构造出探测器的几何结构，并模拟粒子在探测器中的输运及相互作用，同时记录下粒子在各个灵敏探测器中的击中信息
- 探测器响应程序利用击中信息，经过数字化过程以后得到的原始数据跟探测器在线取数时得到的真实数据具有相同的数据格式



探测器描述

- 探测器描述是进行探测器模拟的基础
- 完整的探测器描述包括探测器中每个几何单元的几何形状、尺寸、材料属性、图形显示属性、空间位置、几何单元之间的逻辑关系以及磁场分布等等

BESIII探测器描述



物理相互作用

- 物理相互作用用于描述粒子与探测器物质的相互作用过程，是探测器模拟程序对粒子进行输运和跟踪的必要条件
- 物理相互作用的定义包括粒子和相互作用两部分
 - Geant4提供了各种基本粒子的定义，每个粒子的定义包含了该粒子的名称、质量、电荷、自旋等属性
 - 创建的每个粒子指定可能发生的相互作用类型
 - 输运、电磁作用、强相互作用、衰变、光学作用(Optical Photon)、以及用于快速模拟的参数化相互作用

击中信息和数字化

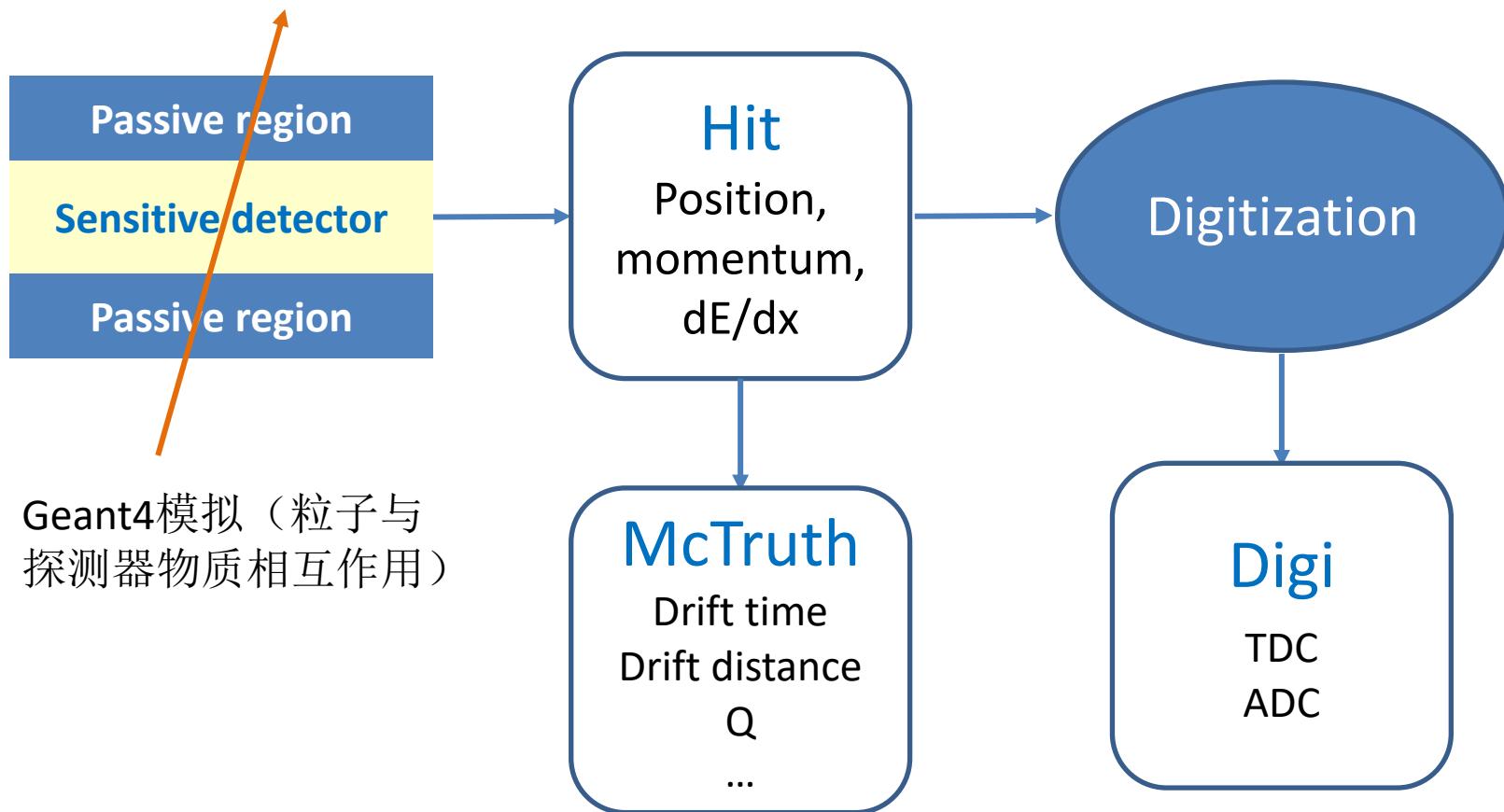
- 在探测器模拟过程中记录粒子在探测器中的击中信息 (Hit)，然后在击中信息基础上结合探测器的实际性能进行数字化，最终得到可以跟实验数据对比的原始数据
- **击中信息**
 - 以MDC为例，把每个漂移单元定义为灵敏探测器，Hit信息主要包括层号、丝号、沉积能量、飞行时间、漂移时间、漂移距离、左右、角度和位置等
- **数字化**
 - 以MDC为例，为了模拟空间分辨，用双高斯分布对Hit信息中的漂移距离进行弥散。测量时间由漂移距离经过 $X-T$ 关系转换得到的漂移时间加上粒子飞行时间得到
- **MC tuning:** 根据数据调试数字化模型参数

蒙特卡罗真实信息

- 在探测器模拟过程中，除了要记录各个子探测器的数字化信息外，另一个重要任务就是记录模拟过程中所产生的粒子的真实状态以及它们与探测器击中信息之间的联系，这些信息被称为蒙特卡罗真实信息（MCtruth），可分为两部分：
 - 初级粒子：描述初级粒子的各种物理参数，以及起始点和终止点的信息
 - 初级粒子在探测器中的真实响应：记录初级粒子在灵敏探测器中的真实响应信息，并在粒子以及响应信息之间建立起对应关系

探测器模拟流程

以MDC为例



jobOption_sim

```
#include "$OFFLINEVENTLOOPMGRROOT/share/OfflineEventLoopMgr_Option.txt"

//*****job options for generator (KKMC)*****
#include "$KKMCROOT/share/jobOptions_KKMC.txt"
KKMC.CMSEnergy = 3.097;
KKMC.BeamEnergySpread=0.0008;
KKMC.NumberOfEventPrinted=1;
KKMC.GenerateJPsi=true;

//*****job options for EvtGen*****
#include "$BESEVTGENROOT/share/BesEvtGen.txt"
EvtDecay.userDecayTableName = "rhopi.dec"; → Decay card

//*****job options for random number*****
BesRndmGenSvc.RndmSeed = 100; → 随机数种子

//*****job options for detector simulation*****
#include "$BESSIMROOT/share/G4Svc_BesSim.txt" → 见下页

//configure for calibration constants
#include "$CALIBSVCROOT/share/calibConfig_sim.txt" → 刻度常数设置

// run ID
RealizationSvc.RunIdList = {-9989}; → Run号

#include "$ROOTIOROOT/share/jobOptions_Digi2Root.txt"
RootCnvSvc.digiRootOutputFile = "rhopi.rtraw"; → 输出文件

// OUTPUT PRINTOUT LEVEL
// Set output level threshold (2=DEBUG, 3=INFO, 4=WARNING, 5=ERROR, 6=FATAL )
MessageSvc.OutputLevel = 5;

// Number of events to be processed (default is 10)
ApplicationMgr.EvtMax = 50;
```

G4Svc_BesSim.txt

```
ApplicationMgr.DLLs += {"BesServices"};  
  
#include "$REALIZATIONSVCROOT/share/jobOptions_Realization.txt"  
#include "$BESSIMROOT/share/Bes_Gen.txt"  
#include "$DETVERSVCROOT/share/joboptions_DetVerSvc.txt"  
  
ApplicationMgr.DLLs += { "BesSim" };      -----> 探测器模拟  
ApplicationMgr.TopAlg += {"BesSim"};
```

```
//realization  
RealizationSvc.IfUseTrg = false; -----> 真实化开关
```

```
G4Svc.BoostLab = true;  
  
// beam bunch position, unit (mm)  
G4Svc.BeamPosX=0;  
G4Svc.BeamPosY=0;  
G4Svc.BeamPosZ=0;
```

对撞点位置设置

```
// beam bunch size , unit (mm)  
G4Svc.BeamSizeX=0.38;  
G4Svc.BeamSizeY=0.0057;  
G4Svc.BeamSizeZ=15;
```

束团尺寸设置

```
// beam start time , unit (ns)  
G4Svc.NBunch=3;  
G4Svc.BeamStartTime=648;  
G4Svc.BeamDeltaTime=8;
```

束团时间设置

Detector performance

Data taking

- 2009年开始物理取数，截至目前采集了
 - 10.0 fb^{-1} $\psi(1020)$
 - 0.45 fb^{-1} $\psi(2S)$
 - 2.9 fb^{-1} $\psi(3770)$
 - 3.2 fb^{-1} $\psi(4180)$
 - Lots of $E_{CM} > 4.0 \text{ GeV}$

BESIII data list

```
round runFrom runTo resonance dateFrom dateTo
round02 8093 9025 psip 090307 090414
round02 9613 9779 con3650 090526 090603
round02 9947 10878 jpsi 090612 090728

round03 11414 13988 psipp 100118 100601
round03 13994 14383 psippscan 100602 100616
round03 14395 14604 psipp 100617 100625

round04 20448 23454 psipp 101212 110503
round04 23463 24141 psi4040 110504 110602

round05
round05 24897 25337 tauscan 111221 111231
round05 25338 27090 psip 120101 120331
round05 27147 27233 3.08GeV
round05 27255 28236 jpsi 120410 120522
round05 28240 28266 3.08GeV
round05 28267-28277 28295-28513 phasejpsiscan 120525 120607
round05 28543 28648 rscan 120608 120616
```

https://docbes3.ihep.ac.cn/~offlinesoftware/index.php/Raw_Data

MDC Performance (from Bhabha in J/psi data taking)

Year	Spatial resolution (μm)	Momentum resolution (MeV/c@1.548GeV/c)	Calibration	High voltage	Magnetic field (T)
2009	137	10.4	First round	Not optimized	1
	128	9.5	Improved		
2012	129	10.5	Improved	Optimized	0.9
2019	127	9.8	Improved	Optimized	1

- For data in 2009, MDC performance is improved significantly with the improvement of calibration on alignment and time-to-distance relationship
- MDC performance is almost stable for past 10 years

MDC运行取数

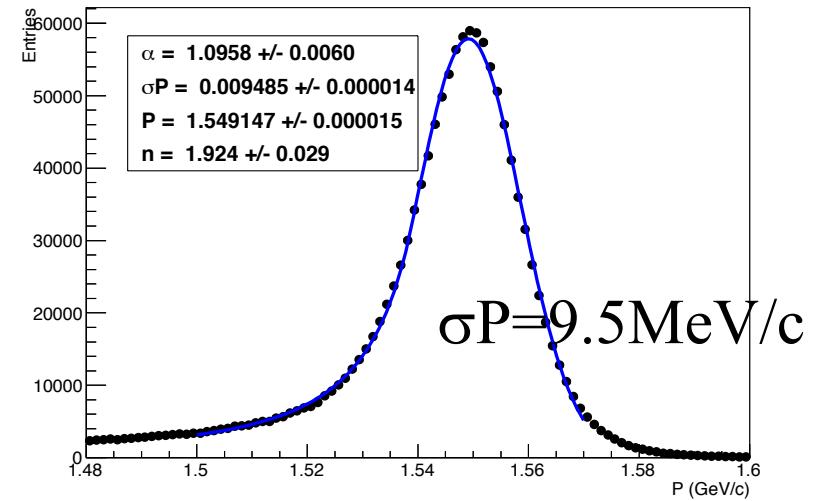
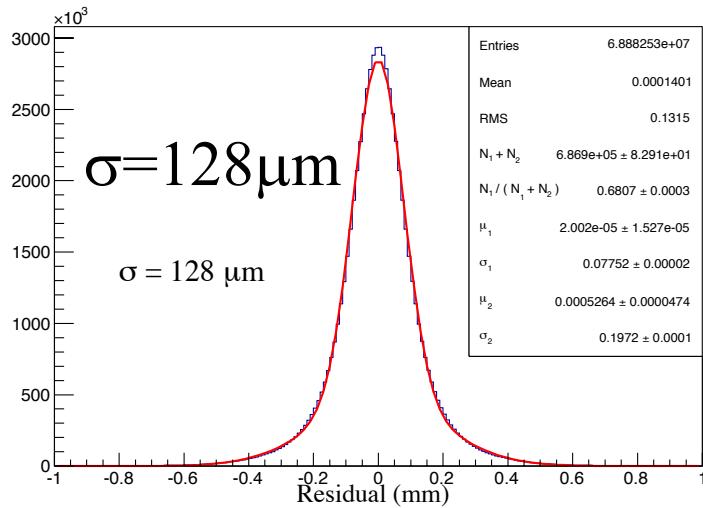
- 2008年开始调试取数， 2009年3月开始物理取数
- 工作参数调整
 - Same electronics thresholds in all data
 - Gas mixture
 - Same from 2009 to Jan 2012 (He+C₃H₈)
 - Same from Apr 2012 to now (with water vapor)
 - Data in Mar 2012 (with CO₂)
 - High voltage
 - Same in 2009 and 2010
 - 2011: HV of inner 4 layers is increased 1%
 - Same in 2012, 2013 and 2014: optimized HV
 - Magnetic field
 - 0.9 T from Apr to June, 2012
 - 1.0 T for the others

4轮J/psi取数的MDC运行参数

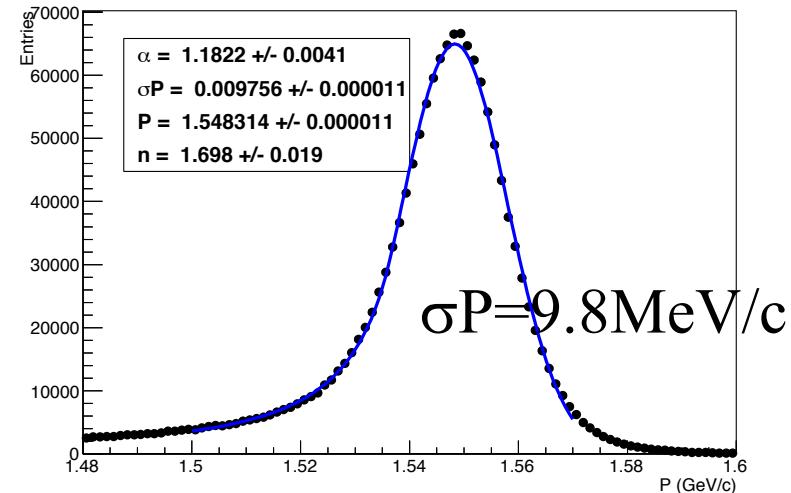
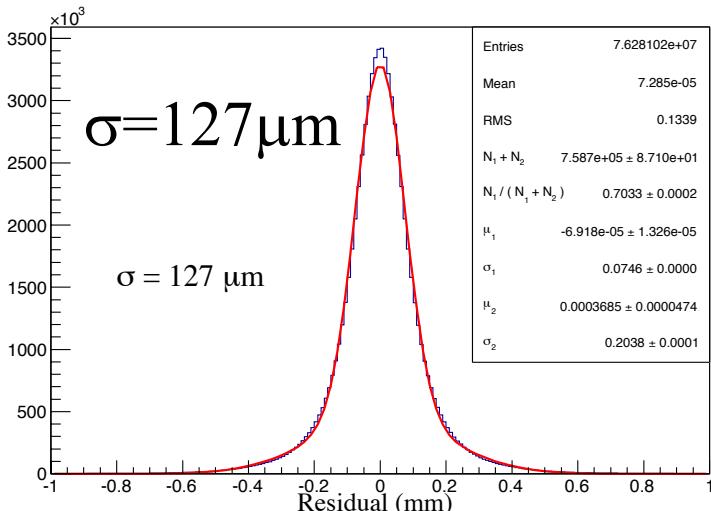
时间	高压	磁场
2009	未优化	1.0 T
2012	优化	0.9 T
2018 2019	优化	1.0 T

Spatial resolution and momentum resolution (Bhabha in J/psi data tacking in 2009, 2019)

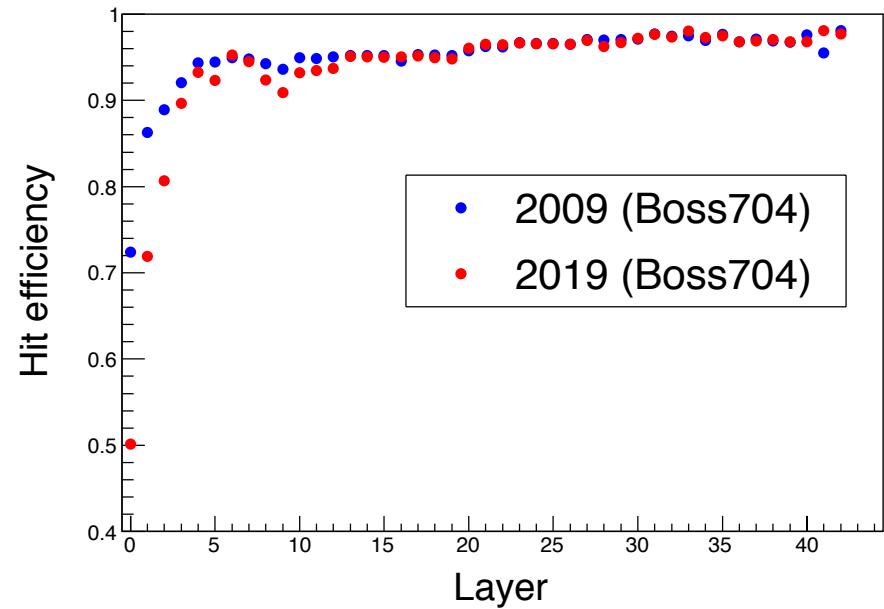
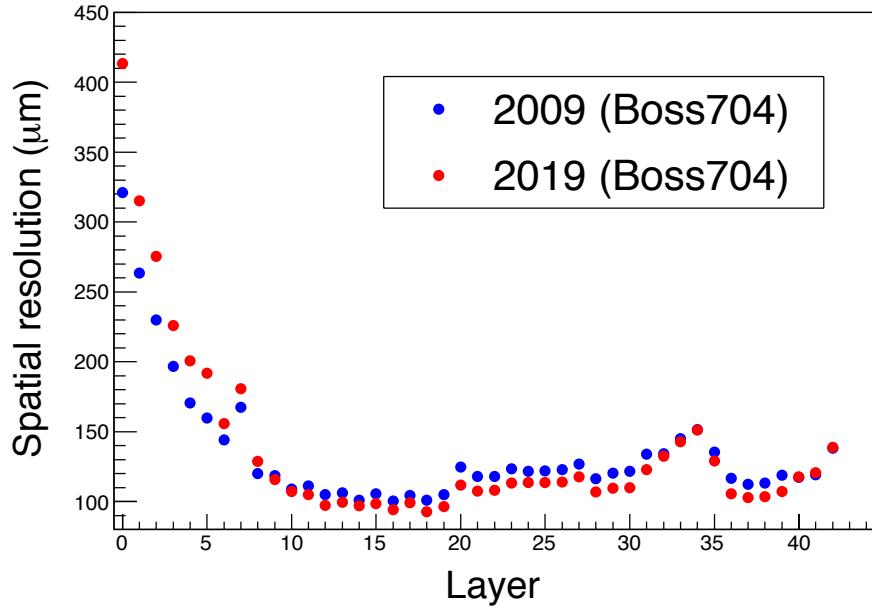
2009



2019

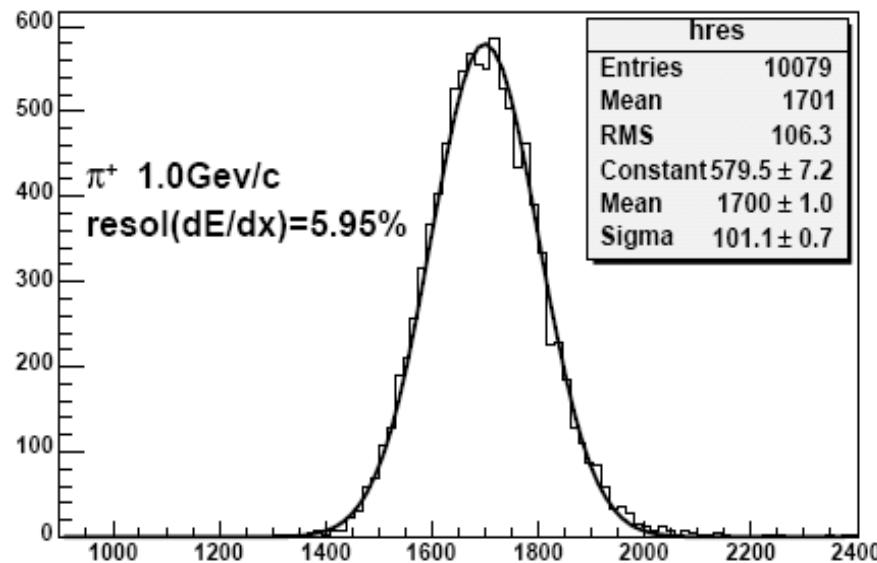


Comparison between 2009 and 2019 MDC data



- Inner layers: HV did not change much, because the aging, the mom. resolutions of 2019 are worsen compared with 2009.
- Layers 9-40: HV increased by 50V, space resolutions of 2019 are better.
- Layers 41-43: HV not changed, no change in space resolution.
- For wire efficiency, aging only affects the 1st 3 layers.

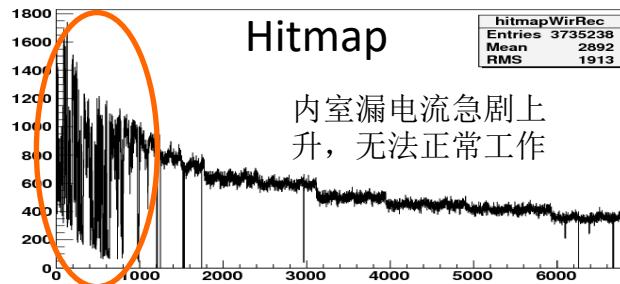
dE/dx 分辨



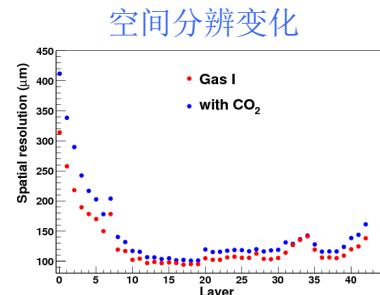
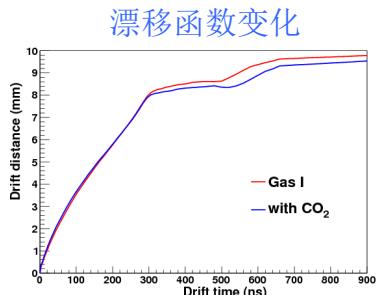
MDC老化

Malter效应

2012年psi'取数期间内室遭遇严重的Malter效应

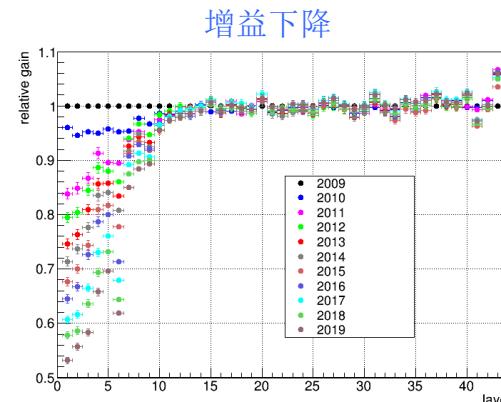


加入含氧气体，治愈Malter效应
(先后加入 CO_2 和 H_2O 蒸汽)

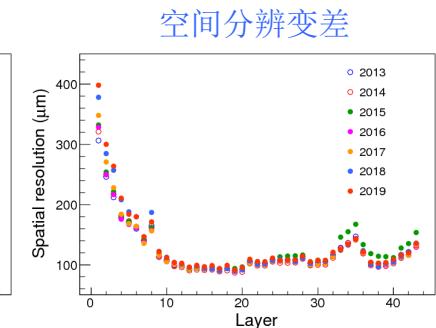
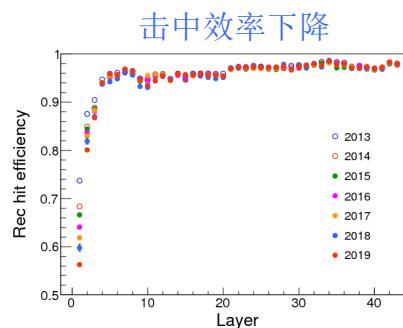


内室阳极老化

高本底→增益降低→分辨、效率下降

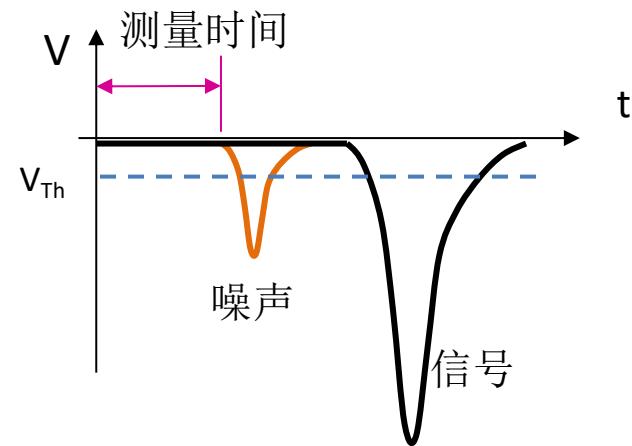


老化率~0.3%



MDC噪声和本底

- 主要来源:
 - 束流相关本底(离束流越近越严重)
 - 电子学噪声
- 对时间测量的影响
 - 在信号之前产生,造成错误定时
- 对寻迹造成影响

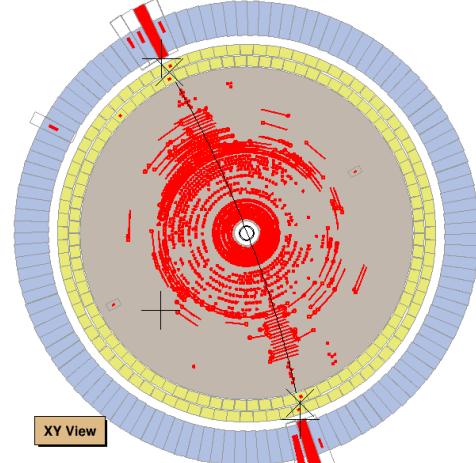
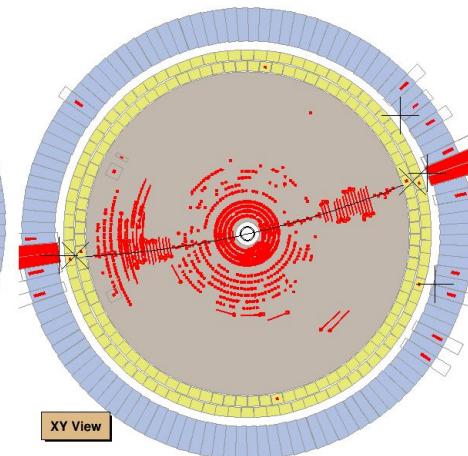
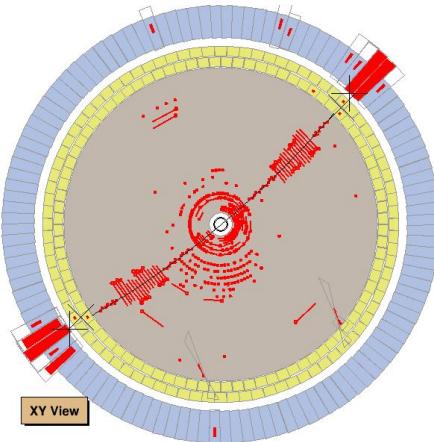
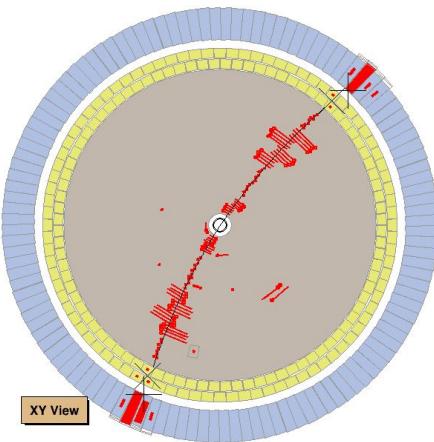


整体噪声率<1%

内室噪声率~20%

内室噪声率~60%

外室噪声率~15%

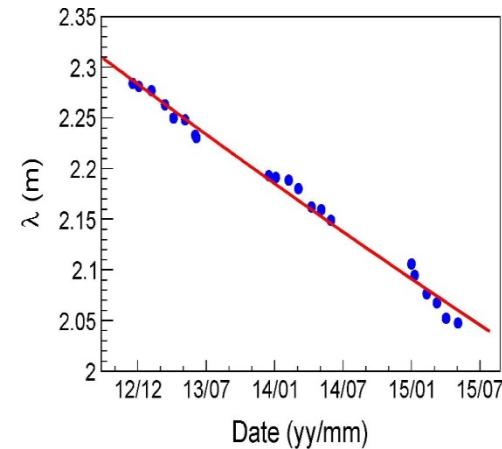


TOF Performance

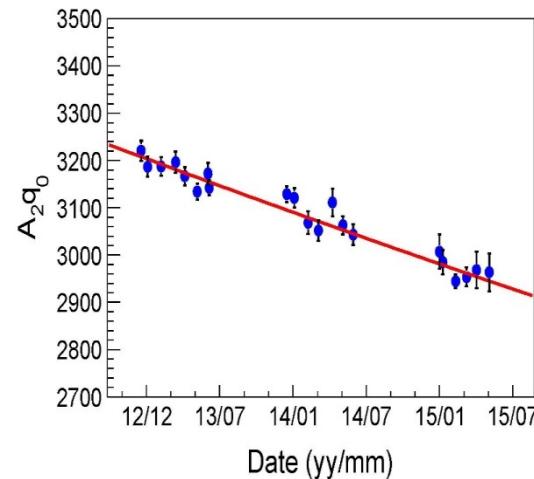
Time	Project/Method	Time resolution of single layer TOF	Time resolution of Double layer TOF
	Designed Target	100~110	80~90
2009. Apr.	Acceptance	109	88
Jul.	Electronics curve / High voltage / bunch length	100	80
Dec.	Using Kalman calculate expected time	98	78
2010. Oct.	Offset dependence on hit position	93	74
2012. Jun.	Time difference between 3/4 collisions in one trigger cycle	80/90ps	67ps

TOF Performance (Aging Effect)

Year	Resolution ps	Efficiency %	Status
2009	67	~97	HV of PMTs is same
2010	70	~96	
2011	70	~94	
2012	67	~97	HV adjusted in 2012
2013	68	~96	
2014	70	~94	
2015	67	~92	
2016	72	~94	HV adjusted in 2016
2017	72	~93	
2018	70	~92	
2019	70	~92	



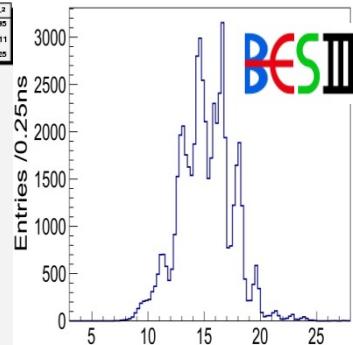
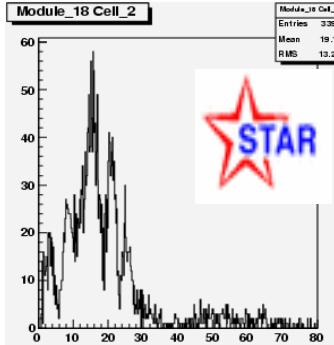
Attenuation length vs time



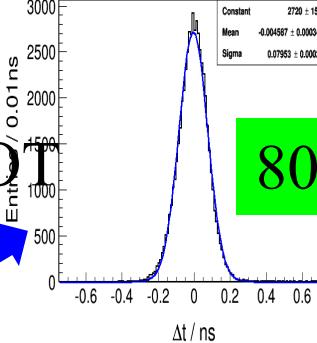
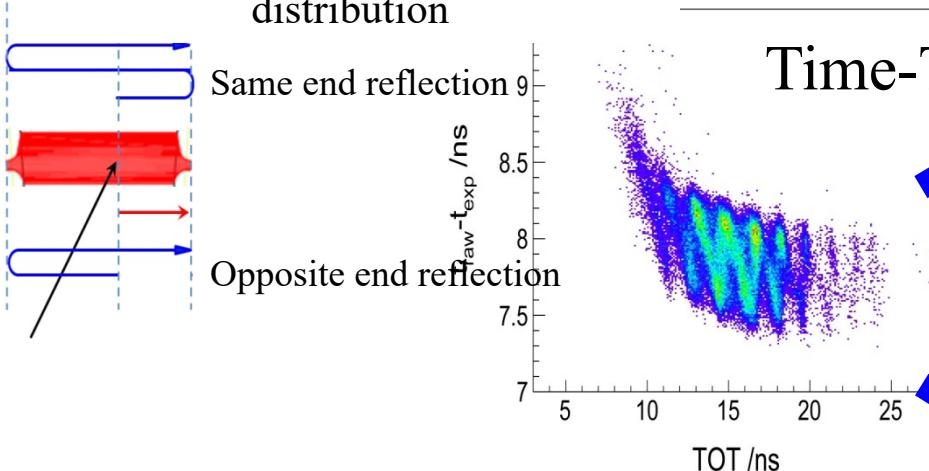
Relative gain vs time

- double layers of **barrel TOF** are shown
- Aging effect cause efficiency lost
- HV is raised twice to improve the efficiency

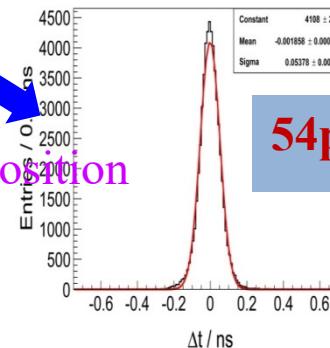
MRPC Endcap TOF Calibration



Similar multi-peak structure in TOT distribution

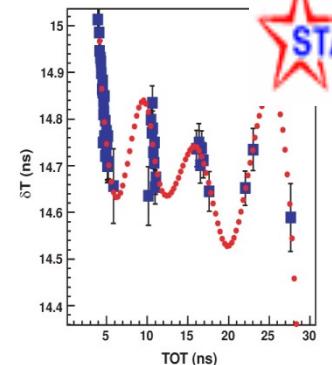


BESIII Calibration formula

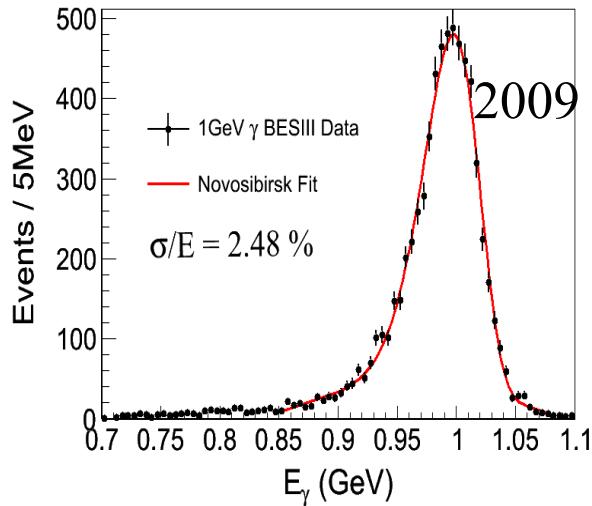


- Mechanism of multi-peak in TOT
- Correlation of TOT, hit position and time

TOT-hit position

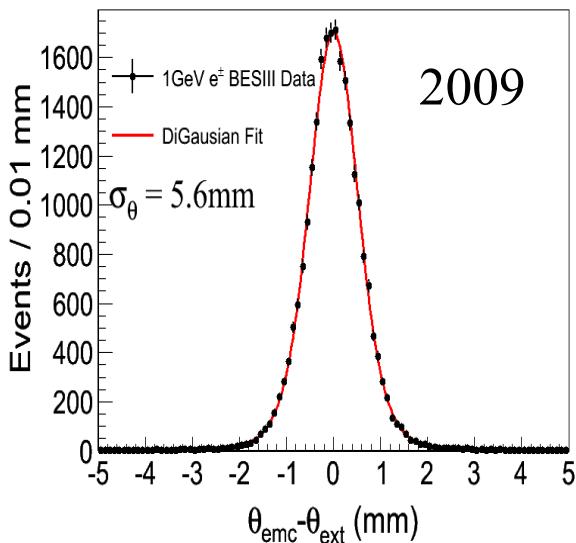
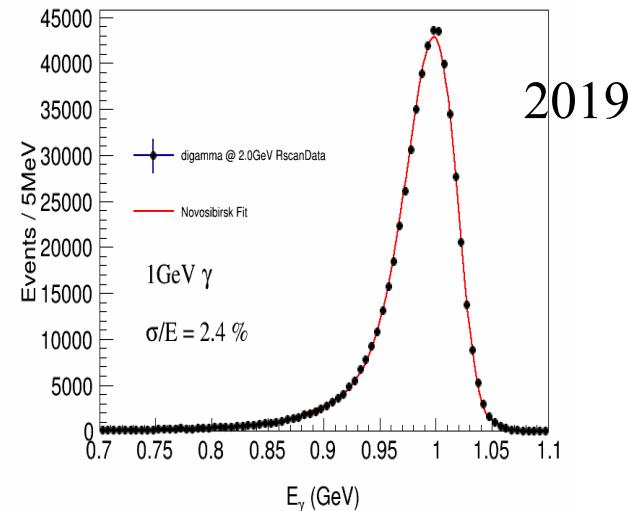


BESIII EMC resolution(Barrel)



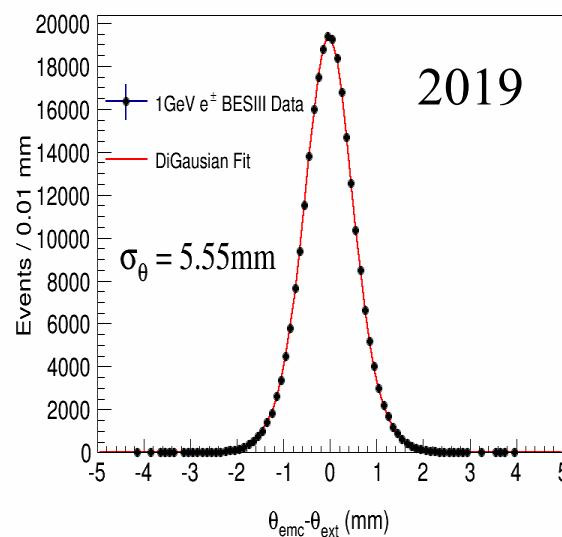
Energy
Resol.

2.48%
→
2.4%



Angular
Resol.

5.6mm
→
5.55 mm



探测器升级

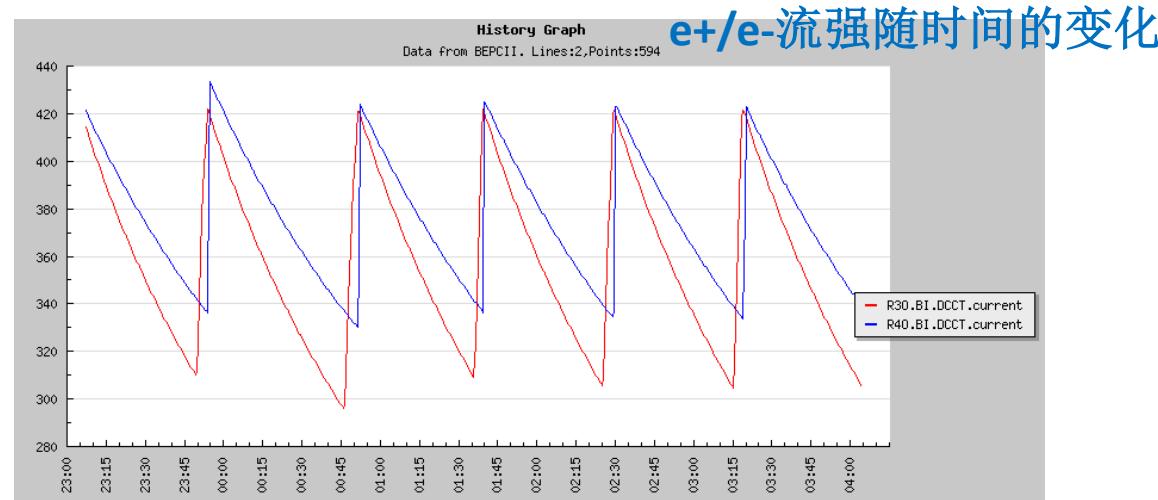
- 端盖TOF升级
 - 2015年进行了端盖TOF升级，用MPRPC取代原有的闪烁体，pion时间分辨提高至65ps
 - 离线软件也进行了相应更新，从Boss7.0.0开始
- MDC内室升级
 - 3层Cylindrical-GEM (CGEM)探测器
 - 探测器已部分建好，1-2层正在进行宇宙线测试
 - 模拟、重建软件开发已基本完成

加速器亮度升级— top-up运行

- 2019年BEPCII进行了几轮top-up实验，目前BEPC/BESIII已正式进入top-up模式运行

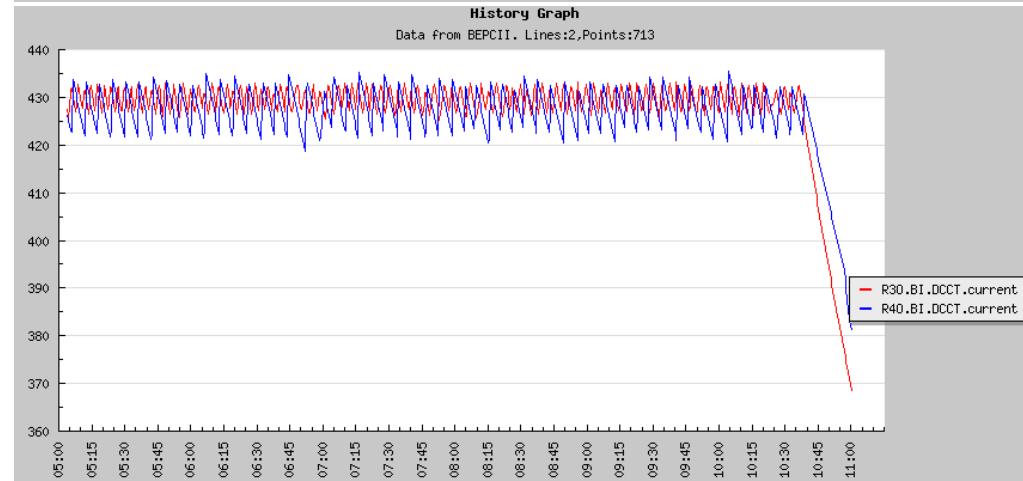
普通模式

流强下降到一定程度，降探测器高压，注入



Top-up模式

提高注入频率，
接近恒流模式
亮度提高20-30%



未来几年的亮度升级

Luminosity gain	Present BEPCII	*2.0	*2.5	*3.0
β_y^*	1.5 cm	1.5cm	1.2cm	1.05cm
Bunch currnt	7mA	9mA	9mA	9mA
Bunch number	80	120	120	120
SR power	125kW	250kW	250kW	250kW
Beam-beam	0.036	0.04	0.04	0.04
RF voltage	1.6 MV	2.2 MV	> 3.4 MV	> 4.0 MV
ν_s	0.028	0.033	0.041	0.044
HOM power	7.7 kW	19.1 kW	29.7 kW	38.8 kW
RF cavity		1 new RFC/ring	2 RFC/ring	2 new RFC/ring
Coupling	1	1	*0.8	*0.7
Dynamic aperture	1	1	*0.8	*0.7
Beam lifetime	2 hr	1 hr	0.64 hr	0.5 hr

探测器方面的挑战:

- 高亮度 → 高束流本底 → 探测器性能收到影响
- 加速老化



上海科学技术出版社

要点总结

- BESIII探测器
 - MDC
 - 带电粒子径迹测量
 - 带电粒子能量损失(dE/dx)测量
 - TOF: 带电粒子飞行时间测量
 - EMC: 能量测量
 - MUC: μ 粒子测量
 - 离线软件
 - 重建
 - 刻度
 - 模拟
 - 探测器运行及性能
- 动量、顶点测量
} PID
→ e、 γ 鉴别
→ μ 鉴别

Backup

漂移室丝层设计

- 超层结构
 - 有利于径迹段寻找
- 内室全部采用斜丝
 - 满足顶点z向测量精度的需要
- 台阶结构特殊，设计为直丝
- 大端板
 - 超层内各丝层丝数相同
 - 斜丝、直丝相结合，直丝有利于简化触发设计
- 尽可能高的对称性
 - 有利于减小模式字典

丝层	所在位置	每层单元数	丝层类型
1 ~ 4	内室	40, 44, 48, 56	斜丝 -
5 ~ 8	内室	64, 72, 80, 80	斜丝 +
9 ~ 10	台阶1	76	直丝
11 ~ 12	台阶2	88	直丝
13 ~ 14	台阶3	100	直丝
15 ~ 16	台阶4	112	直丝
17 ~ 18	台阶5	128	直丝
19 ~ 20	台阶6	140	直丝
21 ~ 24	大端板	160	斜丝 -
25 ~ 28	大端板	176	斜丝 +
29 ~ 32	大端板	208	斜丝 -
33 ~ 36	大端板	240	斜丝 +
37 ~ 40	大端板	256	直丝
41 ~ 43	大端板	288	直丝

事例显示

- 目的
 - 直观地显示每个事例中各子探测器的情况以及重建后的径迹，帮助查找问题。
- 运行步骤
 - 设置BOSS环境后，输入命令besvis.exe
 - 加载探测器几何文件：选择geom.root，单击“open”
 - 打开需要进行事例显示的文件：通过左上角小图标或File菜单进入选择文件的窗口
 - 通过工具栏选择合适的显示方式
 - 通过左下角工具条选择合适的视图
 - 上方工具栏可设置显示比例等
 - 右侧工具栏可选择事例号、子探测器等
- 目前可以用于事例显示的文件类型： *.rec, *.rtraw

