

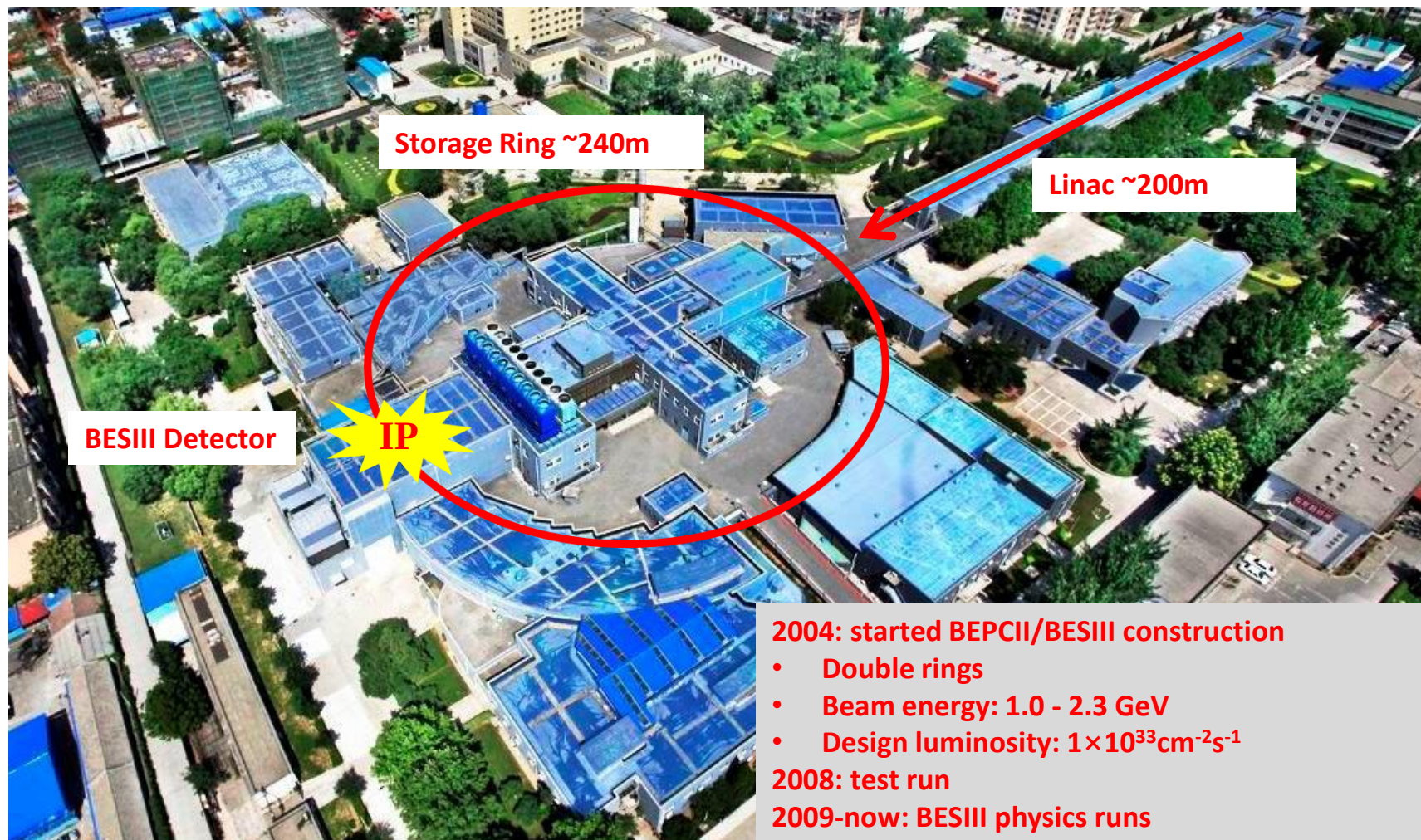
η' 衰变分支比的精确测量

“晨光杯” 答辩报告

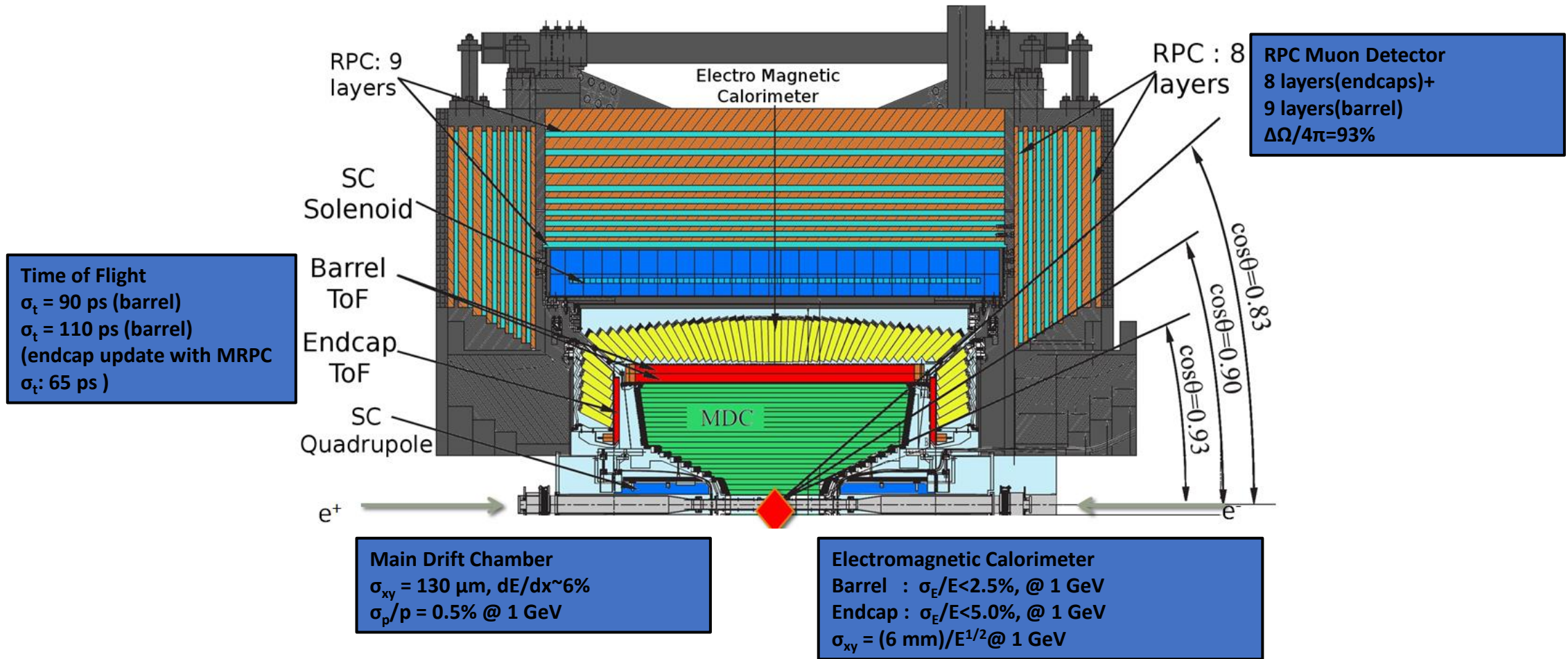
马玉明

2021.08.16

北京正负电子对撞机II



北京谱仪III

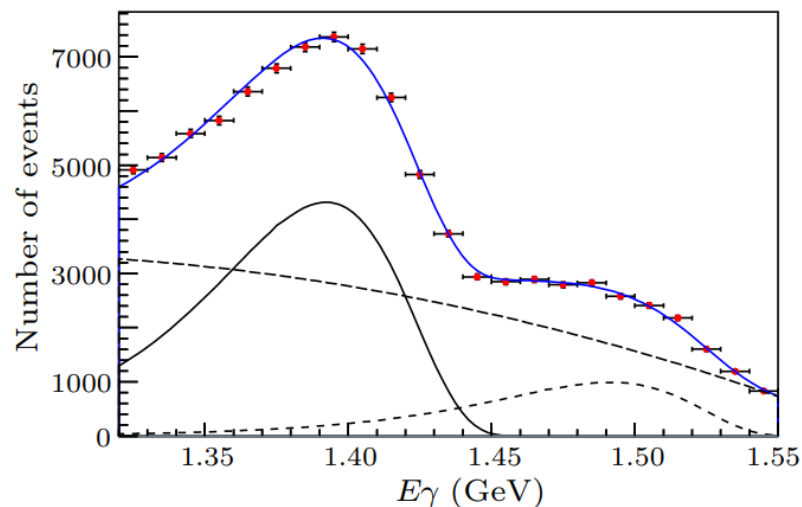


研究背景

- η/η' 粒子是夸克模型中最轻的赝标介子八重态和单态混合的产物, 其衰变蕴含着丰富的物理内容。在理解低能区的量子色动力学中扮演着非常重要的角色。
 - 检验低能区的手征微扰理论
 - 检验基本对称性
 - 寻找超出标准模型的物理
- 通过 J/ψ 的辐射衰变和强子衰变, 可以产生大量的 η' 事例。
 - $J/\psi \rightarrow \gamma\eta'$: $\sim 7 \times 10^6 \eta'$
 - $J/\psi \rightarrow \phi\eta'$: $\sim 3 \times 10^5 \eta'$ ($\sim 1.3B J/\psi$ Data)

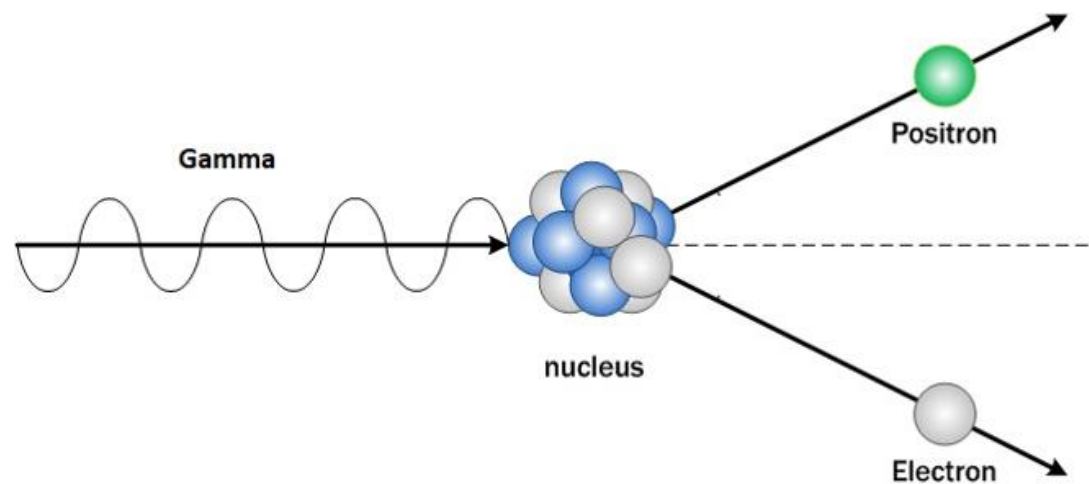
研究背景

- BESIII对 η' 的衰变进行的大量的相关研究
 - $\eta' \rightarrow \gamma\pi^+\pi^-$, $\eta\pi^+\pi^-$, $\eta\pi^0\pi^0$, $\pi^+\pi^-\pi^0$, $\pi^0\pi^0\pi^0$ 过程中的动力学机制。
 - 首次观测到 $\eta' \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)$, $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$, γe^+e^- , ωe^+e^- , $\gamma\gamma\pi^0$ 。
 - 稀有衰变的寻找.....
- η' 的衰变的分支比
 - 在此之前只有相对测量值
 - 重建 η' 的衰变的单举过程困难



光子的对产生过程

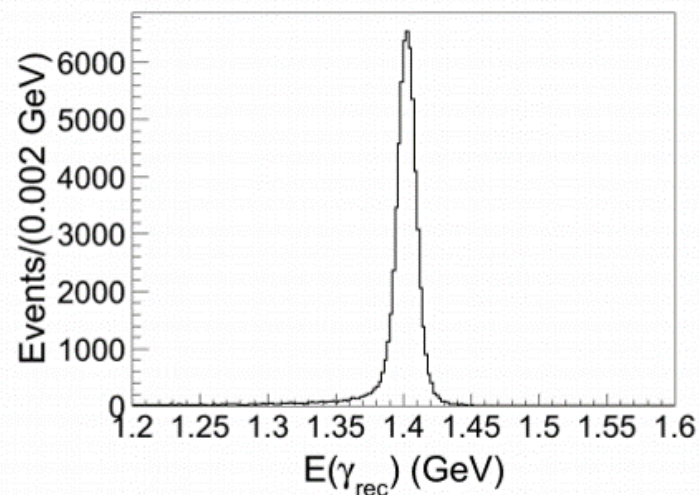
- 对于能量超过一定阈值的光子，在原子核库仑场中有几率转化为电子-正电子对。



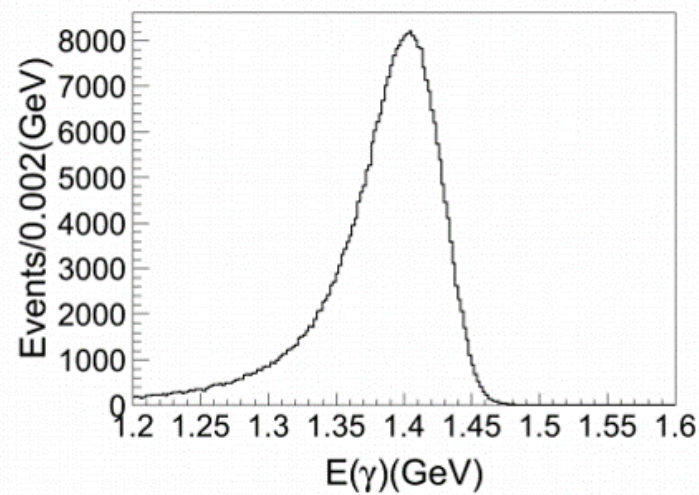
对产生过程的优势

- 利用MDC对带电径迹动量探测性能的优势，通过对产生过程正负电子对来重建光子可以显著提高光子的能量分辨。

利用对产生过程重建：



利用EMC信息重建：



分析方法： η' 单举过程

- 利用对产生过程来重建 $J/\psi \rightarrow \gamma \eta'$ 过程中的辐射光子，然后在辐射光子的反冲质量谱上提取 η' 单举过程的信号。
- $J/\psi \rightarrow \gamma \eta'$ 过程的分支比可以通过以下公式计算得到：

$$\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \gamma \eta') = \frac{N_{J/\psi \rightarrow \gamma \eta'}^{obs}}{N_{J/\psi} \cdot \varepsilon \cdot f},$$

- 其中， f 是修正因子，代表数据和MC样本的对产生过程的效率差异。

分析方法： η' 衰变遍举过程

- 为了保证统计量，光子通过EMC信息重建

- $J/\psi \rightarrow \gamma \eta', \eta' \rightarrow \gamma \pi^+ \pi^-$
- $J/\psi \rightarrow \gamma \eta', \eta' \rightarrow \eta \pi^+ \pi^-, \eta \rightarrow \gamma \gamma$
- $J/\psi \rightarrow \gamma \eta', \eta' \rightarrow \eta \pi^0 \pi^0, \eta \rightarrow \gamma \gamma, \pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$
- $J/\psi \rightarrow \gamma \eta', \eta' \rightarrow \gamma \omega, \omega \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0, \pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$
- $J/\psi \rightarrow \gamma \eta', \eta' \rightarrow \gamma \gamma$

- η' 的衰变分支比：

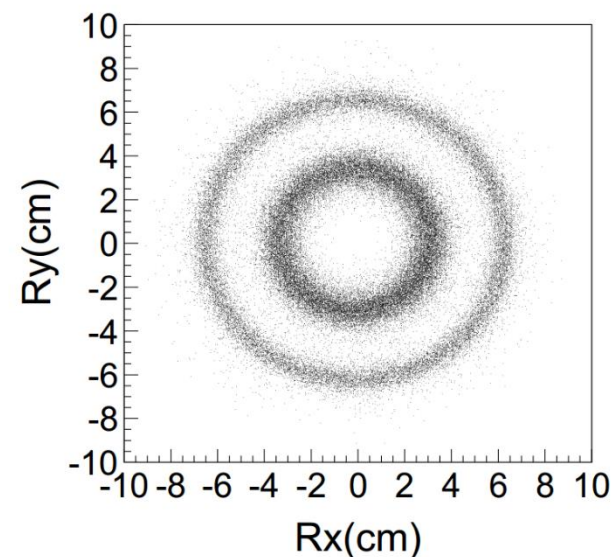
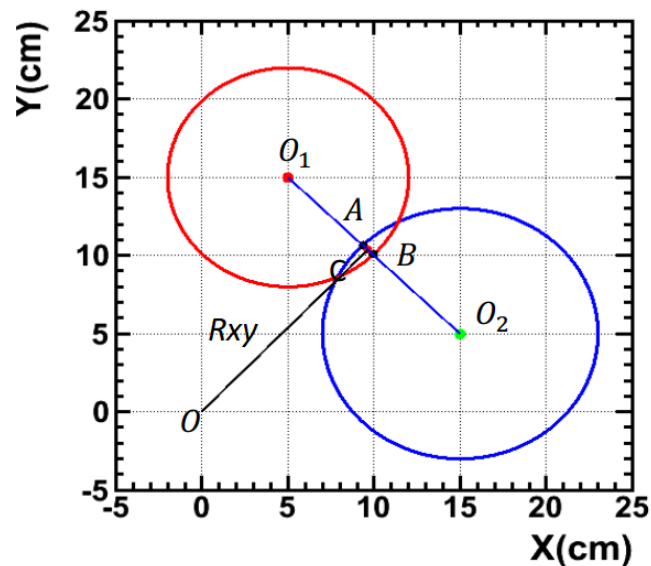
$$\mathcal{B}(\eta' \rightarrow X) = \frac{N_{\eta' \rightarrow X}^{obs}}{\epsilon_{\eta' \rightarrow X}} \cdot \frac{\epsilon}{N_{J/\psi \rightarrow \gamma \eta'}^{obs}} \cdot f$$

事例选择： η' 单举过程

- $J/\psi \rightarrow \gamma \eta'$, $\eta' \rightarrow \text{anything}$, $\gamma \rightarrow e^+e^-$ (通过对产生过程)
- 带电径迹选择：
 - $|\cos\theta| < 0.93$
 - $|z| < 30 \text{ cm}$
 - $N_{\text{ch}} \geq 2$
- 光子选择：
 - $0 < T < 14 \text{ (50ns)}$
 - Barrel : $E > 0.025 \text{ GeV}$, $|\cos\theta| < 0.8$
 - Endcap : $E > 0.050 \text{ GeV}$, $0.86 < |\cos\theta| < 0.92$
 - $\theta_{\gamma\text{-ch}} > 10^\circ$

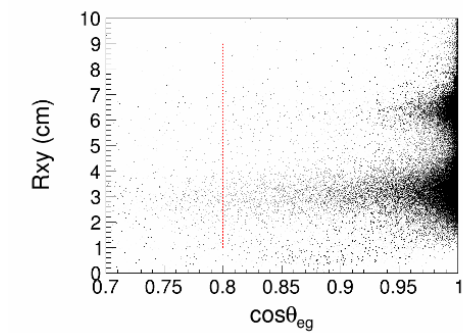
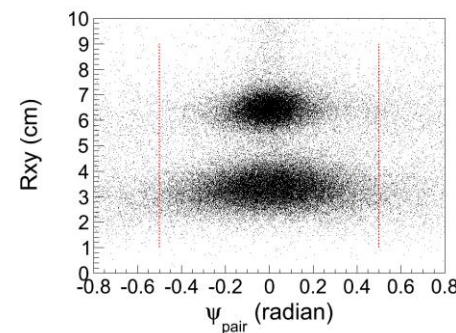
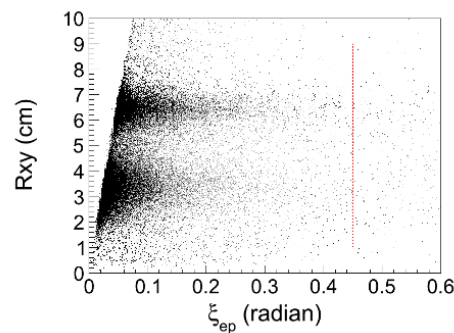
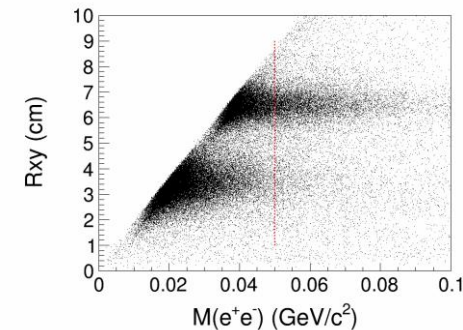
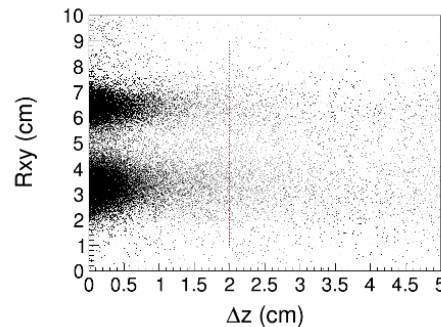
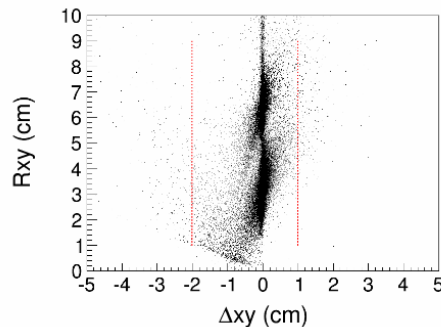
对产生过程的重建

- 光子转化作为正负电子对位置 (CP) 的重建
- 两个圆环分别代表正负电子的径迹, O_1 、 O_2 为圆心, O 为对撞点 (IP)。
- A 、 B 为两个圆与 O_1 、 O_2 连线的交点
- CP 为 AB 的中点
- R_{xy} 为 CP 与 IP 的距离



对产生过程的重建

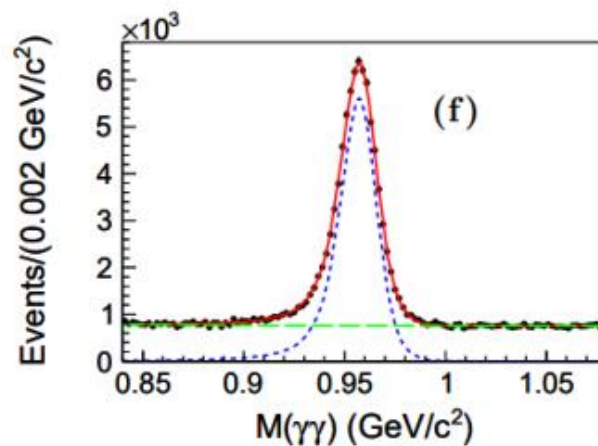
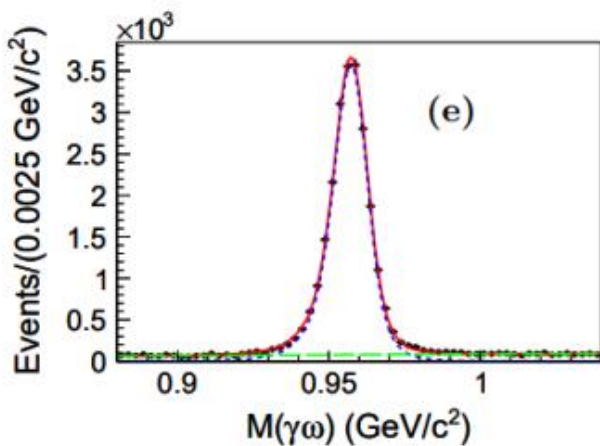
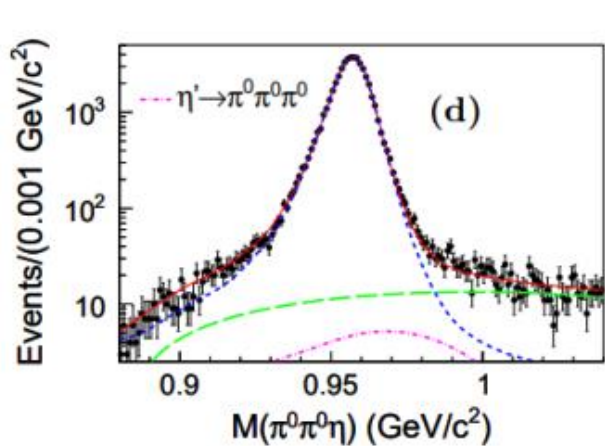
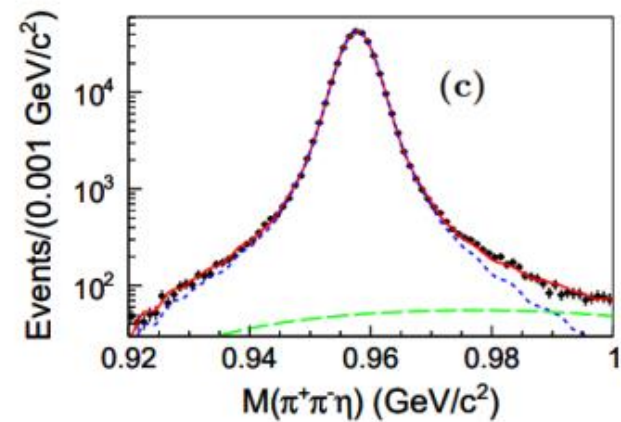
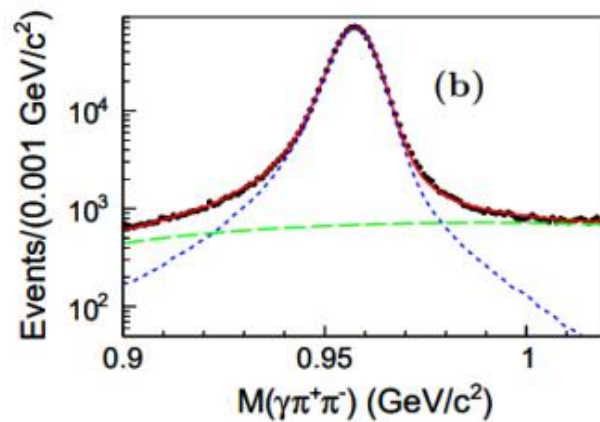
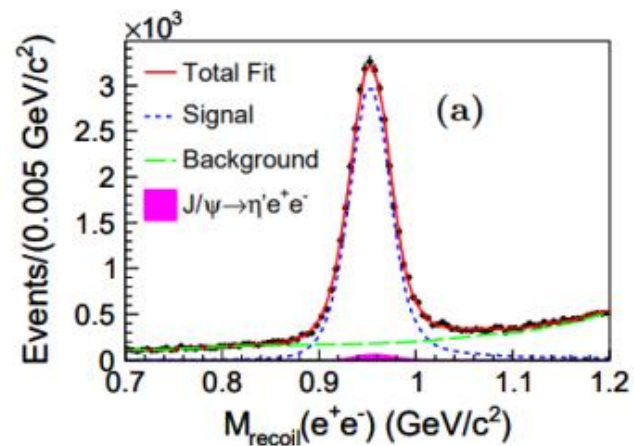
- $-2\text{cm} < \Delta xy < 1\text{cm}$
- $\Delta z < 2\text{cm}$
- $M_{e^+e^-} < 50\text{ MeV}$
- $\xi_{ep} < 0.45\text{ radians}$
- $|\Psi_{\text{pair}}| < 0.5\text{ radians}$
- $\cos\theta_{eg} > 0.8$



事例选择： η' 衰变遍举过程

- 带电径迹选择
 - $|\cos\theta| < 0.93$
 - $|R_{xy}| < 1 \text{ cm}$, $|R_z| < 10 \text{ cm}$
- 光子选择
 - $0 < T < 14 \text{ (50ns)}$ (末态为纯中性过程: $|T - T_0| < 10$)
 - Barrel : $E > 0.025 \text{ GeV}$, $|\cos\theta| < 0.8$
 - $\theta_{\gamma\text{-ch}} > 10^\circ$
- 为了减少系统误差, 只利用了EMC桶部重建的光子
- 运动学拟合
-

不变质量谱



测量结果及意义

- 利用J/ψ辐射光子的对产生过程，成功的重建了η'单举过程。
- 精确测量了J/ψ → γη'的分支比为 $(5.27 \pm 0.03 \pm 0.05) \times 10^{-3}$ ，结果与PDG符合，并且精度显著提高。
- 首次测量了η'五个主要衰变过程的绝对分支比，结果与PDG相符合。结果有助于对相关低能量量子色动力学理论的检验，同时可以为相关高精度测量提供基础。

Decay Mode	$N_{\eta' \rightarrow X}^{\text{obs}}$	$\varepsilon_{\eta' \rightarrow X}(\%)$	$\mathcal{B}(\eta' \rightarrow X)(\%)$	
			This measurement	PDG [37]
$\eta' \rightarrow \gamma \pi^+ \pi^-$	913106±1052	44.11	29.90±0.03±0.55	28.9±0.5
$\eta' \rightarrow \eta \pi^+ \pi^-$	312275±570	27.75	41.24±0.08±1.24	42.6±0.7
$\eta' \rightarrow \eta \pi^0 \pi^0$	51680±238	9.08	21.36±0.10±0.92	22.8±0.8
$\eta' \rightarrow \gamma \omega$	22749±163	14.98	2.489±0.018±0.074	2.62±0.13
$\eta' \rightarrow \gamma \gamma$	70669±349	43.79	2.331±0.012±0.035	2.22±0.08

Phys. Rev. Lett. 122, 142002 (2019)