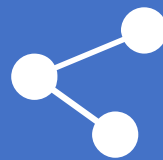


$D_S^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$ 分支比的精确测量

报告人：乔佳辉

指导教师：李惠静

河南师范大学 物理学院
normal University





研究目的

RESEARCH PURPOSE

1

研究方法

RESEARCH METHODS

2

工作进展

WORK PROGRESS

3



研究目的

$$D_S^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$$

$e^+e^- \rightarrow D_S^{*+} D_S^-$, $D_S^{*+} \rightarrow \gamma (\pi^0) D_S^+$, $D_S^- \rightarrow 11$ 标记道 , $D_S^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$ 。联合拟合 $\tau^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\tau$, $\mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_\tau$, $\pi^+ \bar{\nu}_\tau$, $\rho_{\pi^+ \pi^0}^+ \bar{\nu}_\tau$ 精确测量 $D_S^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$ 分支比。之后, 通过带入非微扰量子色动力学理论计算的 $f_{D_S^+}$ 得到 $|V_{cs}|$, 检验是否与CKM全局拟合的 $|V_{cs}|$ 存在偏差; 另一方面通过带入CKM全局拟合得到的 $|V_{cs}|$ 可以得到 $f_{D_S^+}$, 检验与非微扰理论计算的 $f_{D_S^+}$ 是否一致。此外, 结合 $D_S^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ 的分支比, 可以得到这两个纯轻衰变的分支比比值以此检验是否与标准模型预言值存在偏差。

$$D_S^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau \text{ 分支比}$$

$$|V_{cs}| \rightarrow f_{D_S^+} , f_{D_S^+} \rightarrow |V_{cs}|$$

$$D_S^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau / D_S^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu \rightarrow SM$$

表 1 比较各个实验合作组测量的 $D_s^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$ 的分支比结果

合作组	能 量 点 (GeV)	积 分 亮 度(fb^{-1})	τ^+ 的衰变模式	$D_s^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$ 的分支比(%)
CLEO[16]	4.170	0.602	$\tau^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\tau$	$5.30 \pm 0.47 \pm 0.22$
CLEO[17]			$\tau^+ \rightarrow \pi^+ \bar{\nu}_\tau$	$6.42 \pm 0.81 \pm 0.18$
CLEO[18]			$\tau^+ \rightarrow \rho_{\pi^+ \pi^0}^+ \bar{\nu}_\tau$	$5.52 \pm 0.57 \pm 0.21$
BABAR[19]	10.58	521	$\tau^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\tau$	$5.07 \pm 0.52 \pm 0.68$
			$\tau^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_\tau$	$4.91 \pm 0.47 \pm 0.54$
Belle[20]	10.58 附近	913	$\tau^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\tau$	$5.70 \pm 0.21^{+0.31}_{-0.30}$
			$\tau^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_\tau$	
			$\tau^+ \rightarrow \pi^+ \bar{\nu}_\tau$	
BESIII[21]	4.009	0.482	$\tau^+ \rightarrow \pi^+ \bar{\nu}_\tau$	$4.83 \pm 0.65 \pm 0.26$
平均以上实验的测量结果[5]				5.48 ± 0.23
BESIII (本项目)	4.178, 4.189, 4.199, 4.209, 4.219, 4.226	6.32	$\tau^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\tau$ $\tau^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_\tau$ $\tau^+ \rightarrow \pi^+ \bar{\nu}_\tau$ $\tau^+ \rightarrow \rho_{\pi^+ \pi^0}^+ \bar{\nu}_\tau$	联合拟合将极大地 改善测量精度



研究方法

$$D_S^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$$

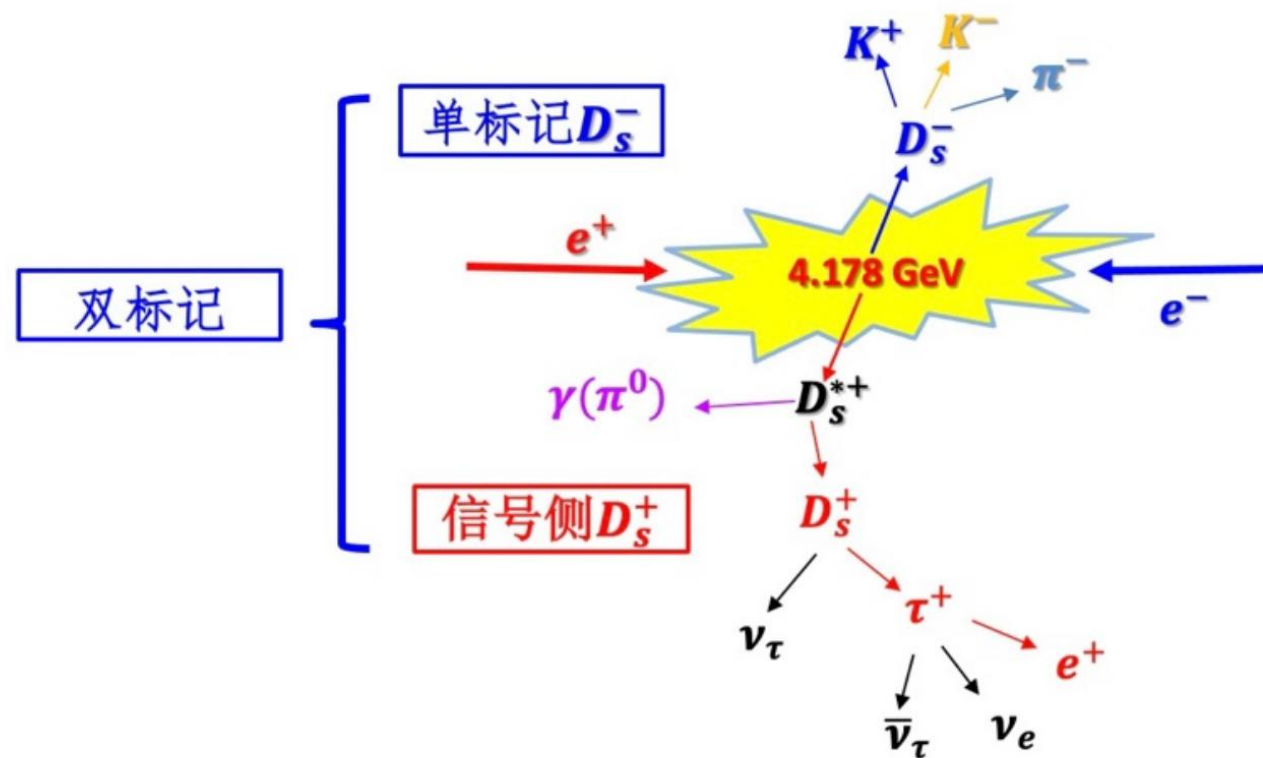
用双标的方法来得到绝对的分支比。双标记方法：先通过11个单标记道完全重建单标记 D_S^- 候选者，然后重建来自 D_S^{*+} 直接衰变的 γ (π^0)，再在它们的反冲侧，通过一条好的带电径迹研究信号过程 $D_S^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$ ，随后利用共同的 $D_S^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$ 分支比作为约束条件，对 τ^+ 的四个衰变过程联合拟合，测量得到 τ^+ 的分支比。

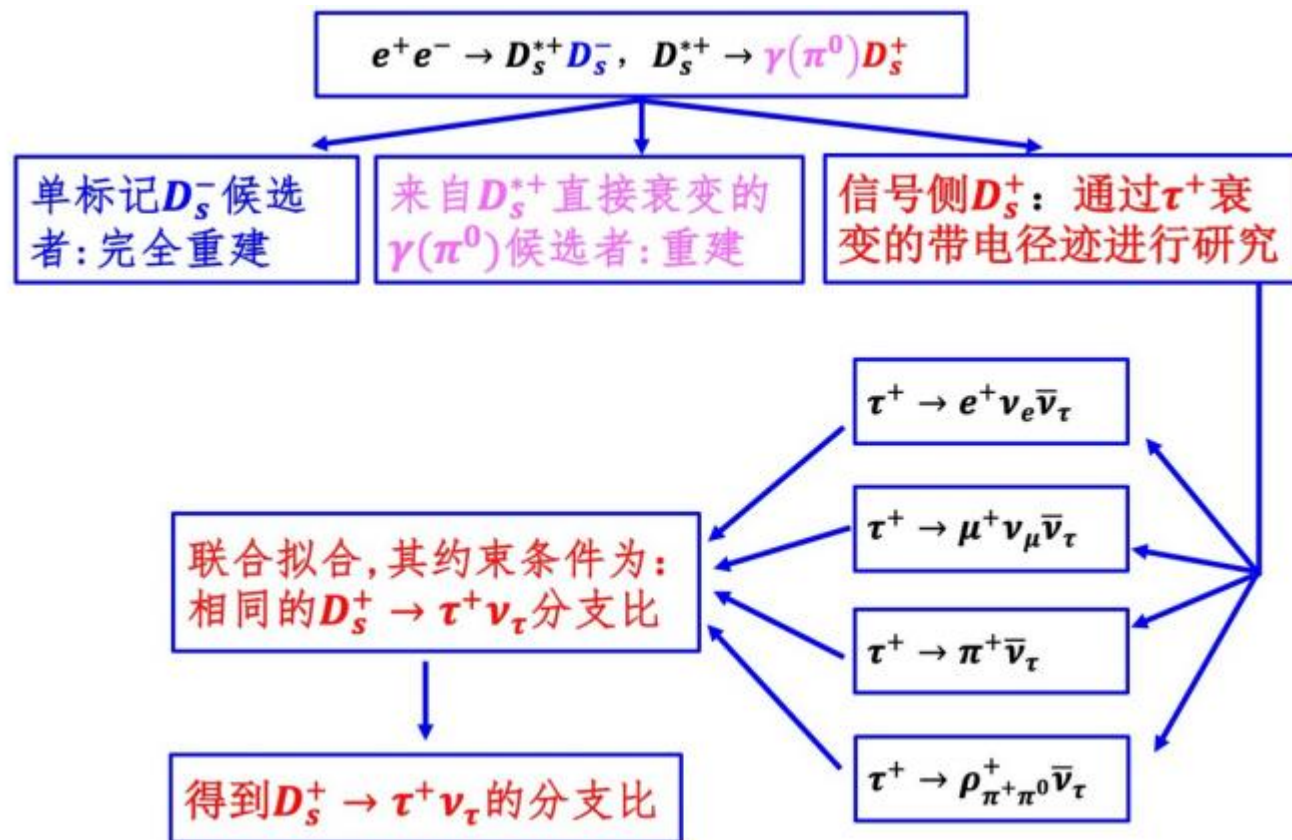
$$\tau^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\tau$$

$$\tau^+ \rightarrow \pi^+ \bar{\nu}_\tau$$

$$\tau^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_\tau$$

$$\tau^+ \rightarrow \rho_{\pi^+\pi^0}^+ \bar{\nu}_\tau$$







$$400 \quad D_S^- \rightarrow K_S^0 K^-$$

$$401 \quad D_S^- \rightarrow K^+ K^- \pi^-$$

$$404 \quad D_S^- \rightarrow K^+ K^- \pi^- \pi^0$$

$$405 \quad D_S^- \rightarrow K_S^0 K^- \pi^+ \pi^-$$

$$406 \quad D_S^- \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^+ \pi^-$$

$$421 \quad D_S^- \rightarrow \pi^- \eta$$

$$440 \quad D_S^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^-$$

$$441 \quad D_S^- \rightarrow \pi^- \pi^0 \eta$$

$$460 \quad D_S^- \rightarrow \pi^- \eta'_{\pi^+ \pi^- \eta}$$

$$480 \quad D_S^- \rightarrow \pi^- \eta'_{\gamma \rho^0}$$

$$502 \quad D_S^- \rightarrow K^- \pi^+ \pi^-$$

$$\tau^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\tau$$

$$\tau^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_\tau$$

$$\tau^+ \rightarrow \pi^+ \bar{\nu}_\tau$$

$$\tau^+ \rightarrow \rho_{\pi^+ \pi^0}^+ \bar{\nu}_\tau$$



标记侧

事例选择

带电径迹

- $|V_z| < 10 \text{ cm};$
- $V_{xy} < 1 \text{ cm};$
- $|\cos\theta| < 0.93.$
- K: $\text{prob}(K) > 0, \text{prob}(K) > \text{prob}(\pi);$
- 除 K_S^0 衰变的 π : $\text{prob}(\pi) > 0, \text{prob}(\pi) > \text{prob}(K).$

好光子

- 桶部 $E \geq 25 \text{ MeV}$, 端盖 $E \geq 50 \text{ MeV};$
- $\theta_{\gamma\text{-charged}} > 10^\circ;$
- $0 \leq \text{TDC EMC} \leq 14 \text{ (x50ns)} .$



标记侧

事例选择

π^0, η

- 两个光子无质量约束之前的不变质量：对于 π^0 , $M_{\gamma\gamma} \in (0.115, 0.150)\text{GeV}/c^2$,
对于 η 为 $(0.50, 0.57)\text{GeV}/c^2$
质量约束的运动学拟合的 $\chi^2 < 200$;
 π^0 的动量: $p(\pi^0) > 0.1\text{GeV}/c^2$ 。

K_S^0

- 对于 K_S^0 无质量约束的 $\pi^+\pi^-$ 的不变质量: $M_{\pi^+\pi^-} \in (0.487, 0.511)\text{GeV}/c^2$
顶点拟合的 $\chi^2 < 100$;



标记侧

事例选择

$$\rho^0, \eta'$$

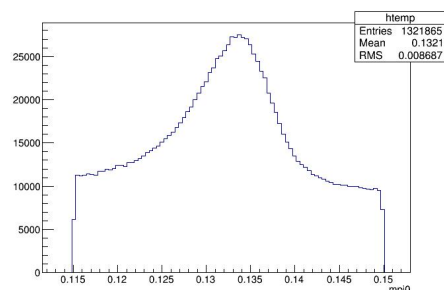
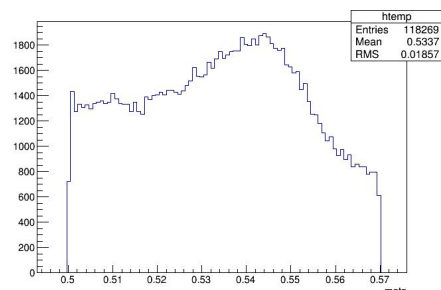
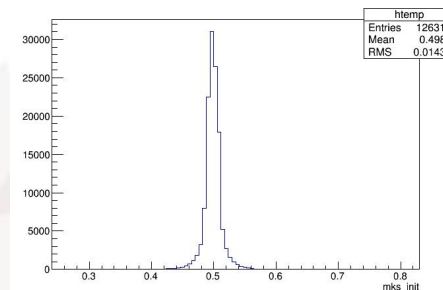
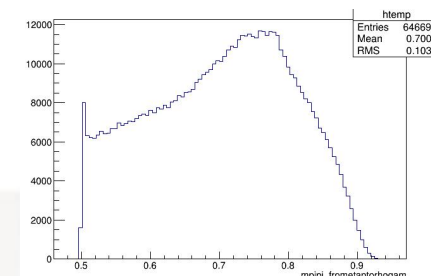
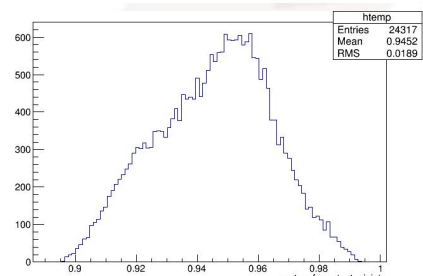
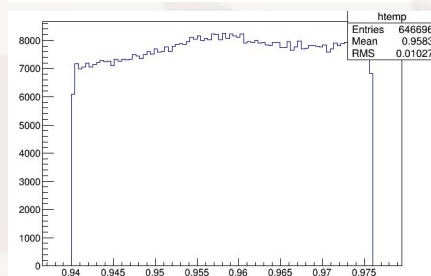
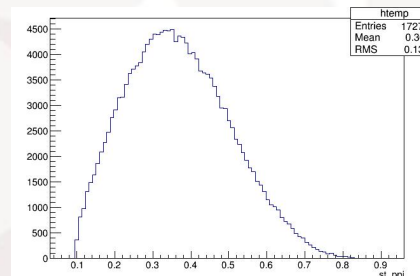
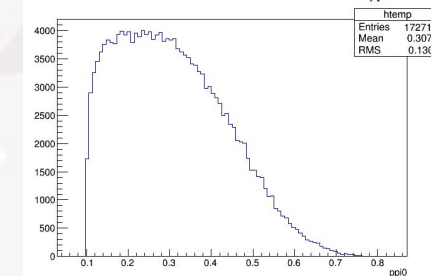
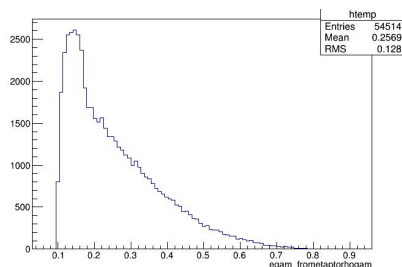
- ρ^0 的候选者满足: $M(\pi^+\pi^-) > 0.5 \text{ GeV}/c^2$;
- η' 的候选者满足: $M(\pi^+\pi^-\eta) \in (0.946, 0.97)\text{GeV}/c^2$; $M(\gamma\rho^0) \in (0.94, 0.976)\text{GeV}/c^2$;

带电 π 的动量: $p(\pi^\pm) > 0.5 \text{ GeV}/c^2$

来自 $\eta' \rightarrow \gamma\rho^0$ 衰变的 γ 的动量: $p(\gamma) > 0.1 \text{ GeV}/c^2$ 。

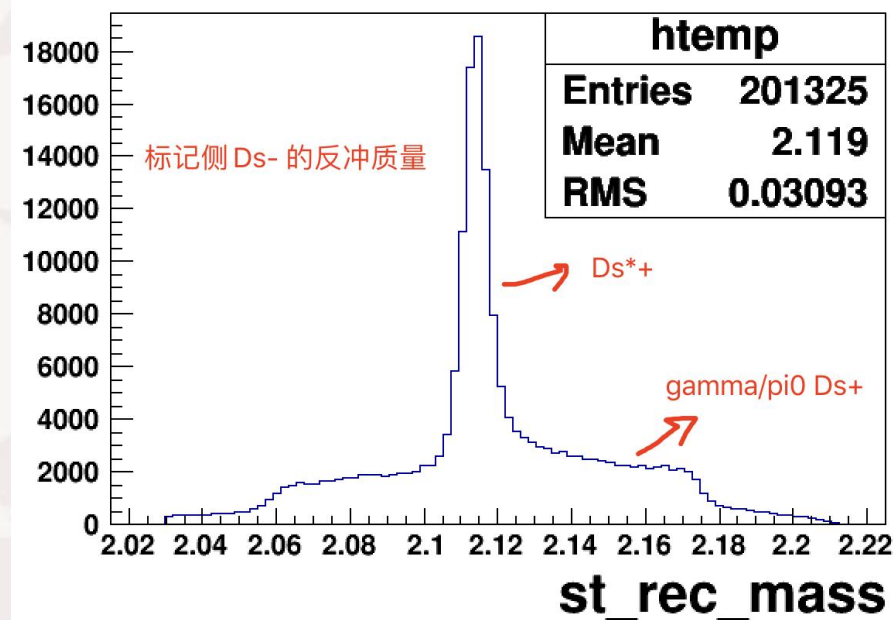
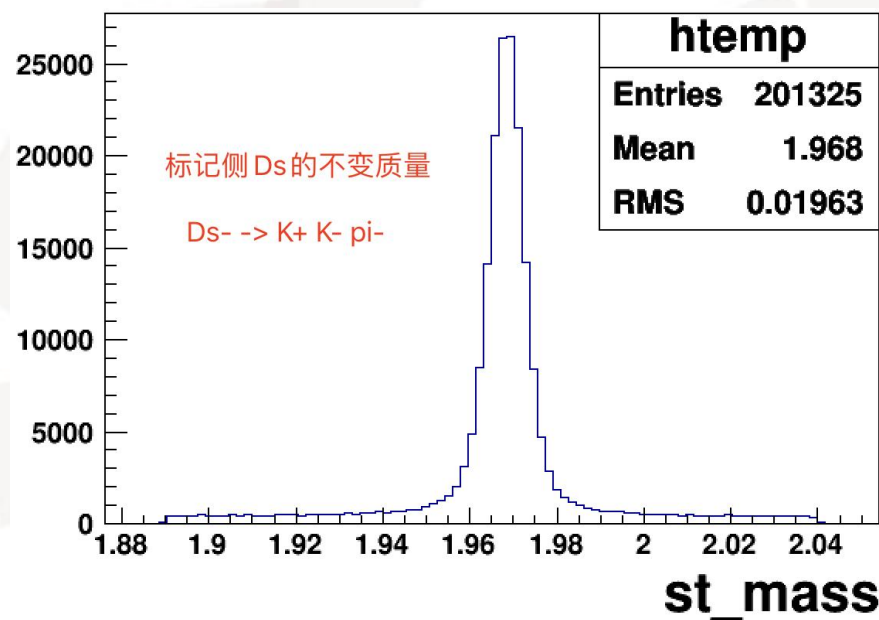


标记侧

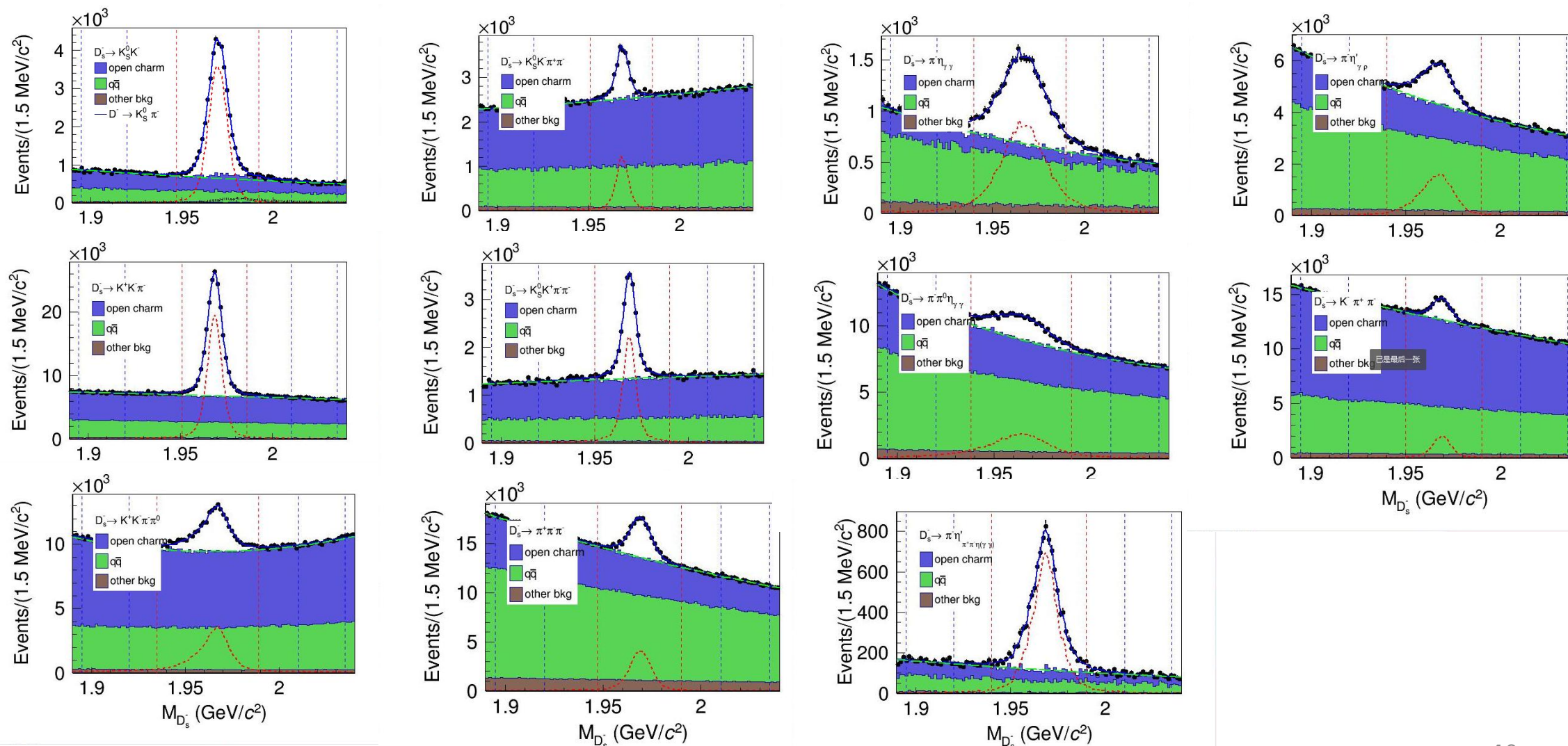
 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ from $D_s^- \rightarrow K^+ K^- \pi^- \pi^0$  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ from $D_s^- \rightarrow \pi^- \eta \gamma\gamma$  $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ from $D_s^- \rightarrow K_S^0 K^-$  $\rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ from $D_s^- \rightarrow \pi^- \eta' \gamma \rho^0$  $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$ from $D_s^- \rightarrow \pi^- \eta' \pi^+ \pi^- \eta(\gamma\gamma)$  $\eta' \rightarrow \gamma \rho^0$ from $D_s^- \rightarrow \pi^- \eta' \gamma \rho^0$  $p(\pi^\pm)$ from $D_s^- \rightarrow K^+ K^- \pi^- \pi^0$  $p(\pi^0)$ (GeV/c²) $p(\gamma)$ from $D_s^- \rightarrow \pi^- \eta' \gamma \rho^0$



标记侧



标记侧



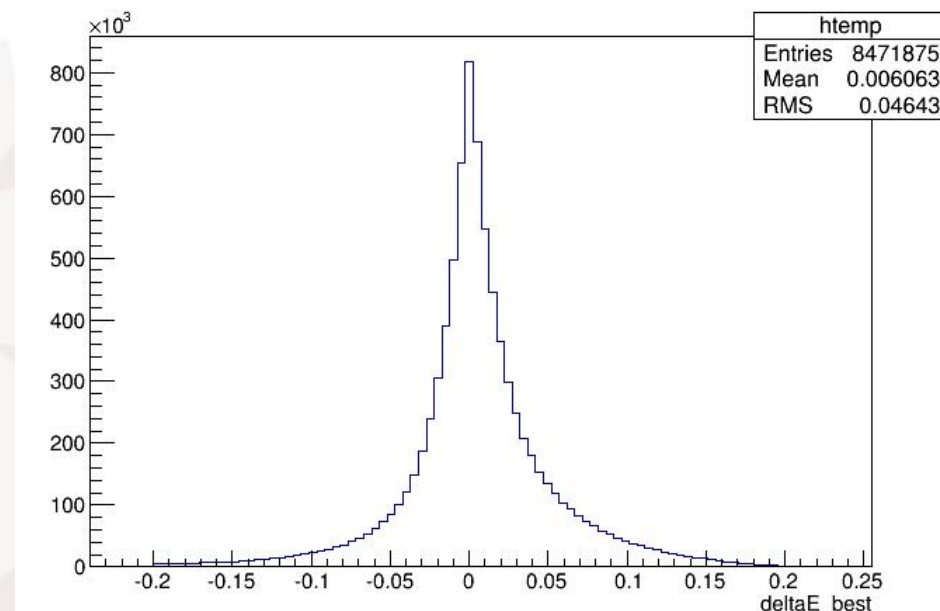
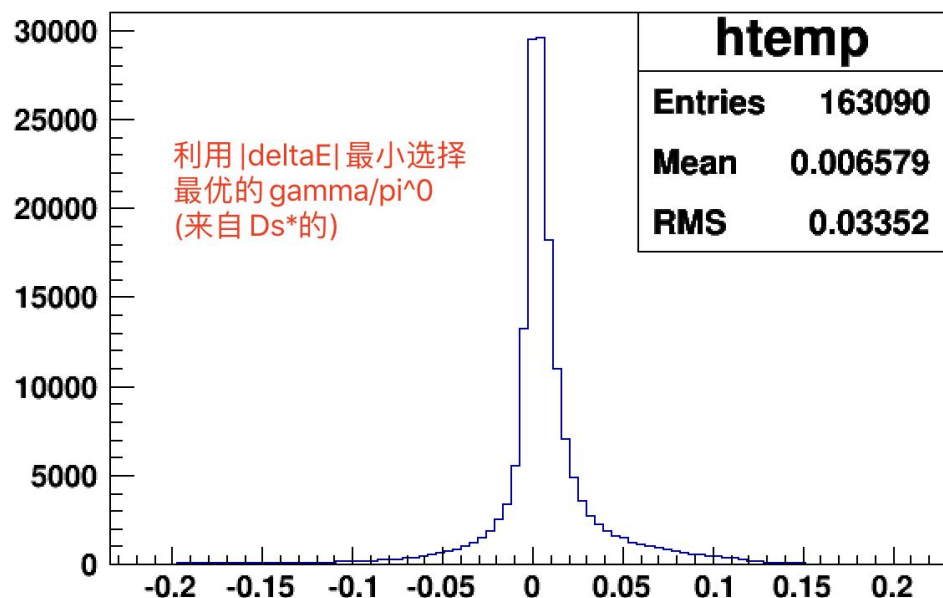


标记侧

标记道	$M_{D_s^-}$ 信号区间	$M_{D_s^-}$ 边带区间
$D_s^- \rightarrow K_S^0 K^-$	[1.947, 1.992]	[1.895, 1.92] [2.01, 2.035]
$D_s^- \rightarrow K^+ K^- \pi^-$	[1.951, 1.986]	[1.895, 1.92] [2.01, 2.035]
$D_s^- \rightarrow K^+ K^- \pi^- \pi^0$	[1.935, 1.989]	[1.895, 1.92] [2.01, 2.035]
$D_s^- \rightarrow K_S^0 K^- \pi^+ \pi^-$	[1.951, 1.985]	[1.895, 1.92] [2.01, 2.035]
$D_s^- \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^- \pi^-$	[1.950, 1.990]	[1.895, 1.92] [2.01, 2.035]
$D_s^- \rightarrow \pi^- \eta_{\gamma\gamma}$	[1.940, 1.990]	[1.895, 1.92] [2.01, 2.035]
$D_s^- \rightarrow \pi^- \pi^0 \eta_{\gamma\gamma}$	[1.938, 1.990]	[1.895, 1.92] [2.01, 2.035]
$D_s^- \rightarrow \pi^- \eta'_{\pi^+\pi^-\eta(\gamma\gamma)}$	[1.940, 1.990]	[1.895, 1.92] [2.01, 2.035]
$D_s^- \rightarrow \pi^- \eta'_{\gamma\rho^0}$	[1.940, 1.990]	[1.895, 1.92] [2.01, 2.035]



标记侧



$$\Delta E = E_{\text{cm}} - E_{\text{tag}} - E_{\text{miss}} - E_{\gamma/\pi^0},$$

$$E_{\text{tag}} = \sqrt{|\vec{p}_{\text{tag}}|^2 + M_{D_s^-}^2},$$

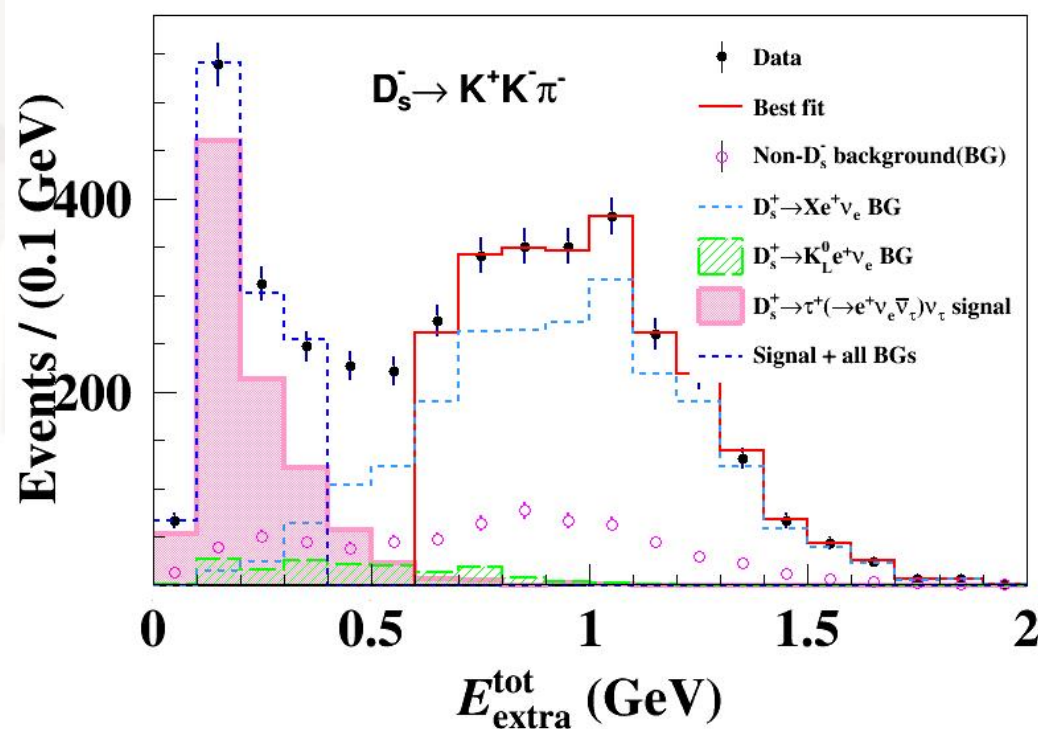
$$E_{\text{miss}} = \sqrt{|\vec{p}_{\text{miss}}|^2 + M_{D_s^+}^2},$$

$$\vec{p}_{\text{miss}} = -\vec{p}_{\text{tag}} - \vec{p}_{\gamma(\pi^0)},$$



标记侧

除标记侧外额外光子总能量



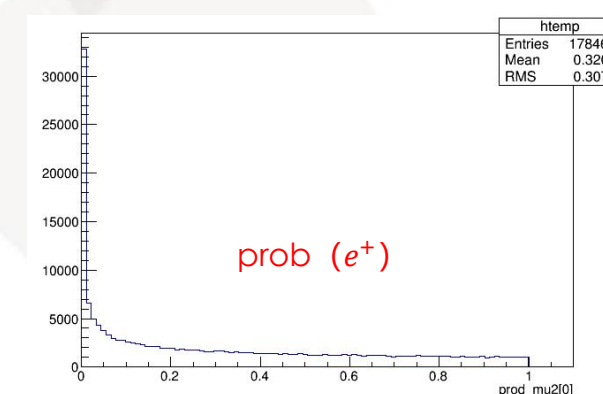
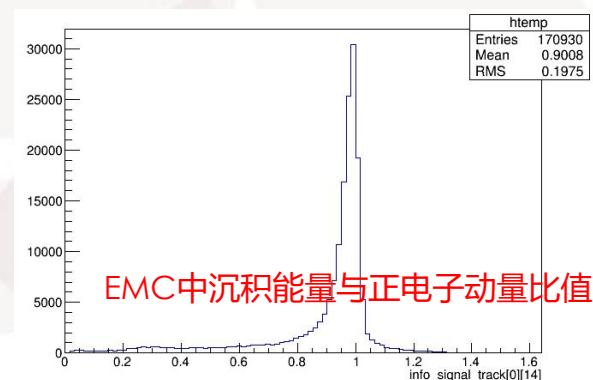
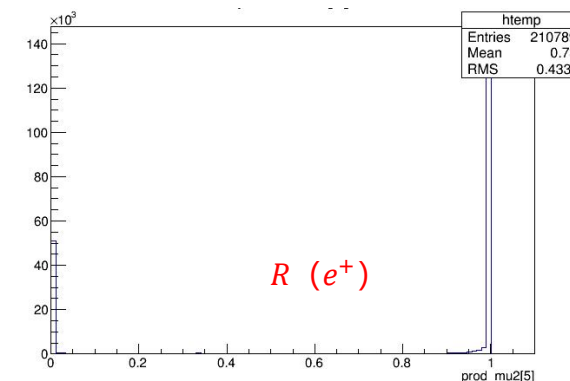
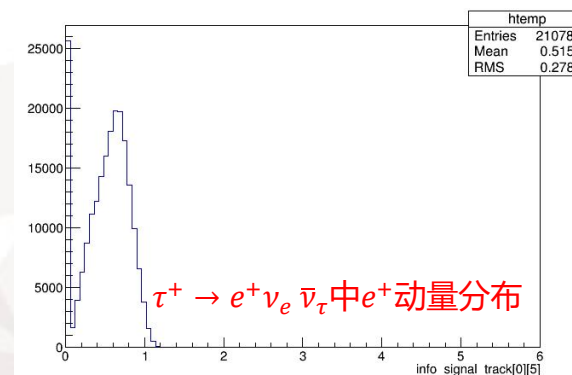


信号侧

事例选择

$$\tau^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\tau$$

- 只有一条好的带电径迹；
- 正电子的概率 > 0.001 ；
- $R(e^+) > 0.8$ ；
- EMC中沉积能量与正电子动量比值 > 0.8 ；
- 正电子的动量 $> 0.2 \text{ GeV}/c$ 。





信号侧

事例选择

$$\tau^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_\tau$$

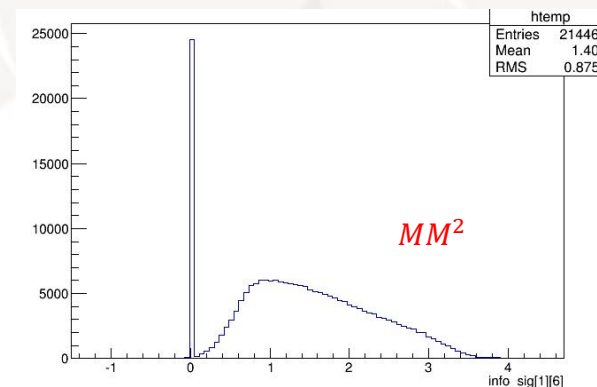
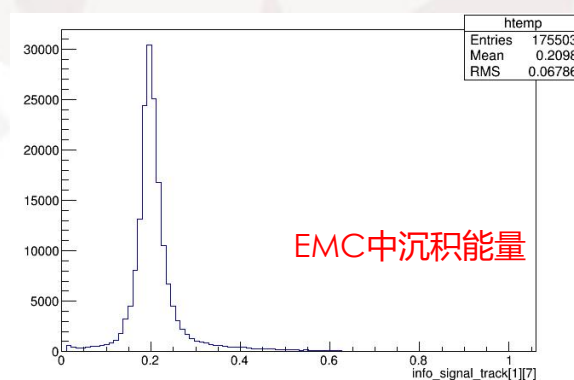
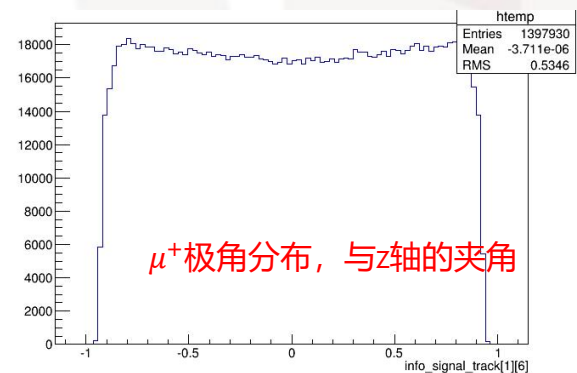
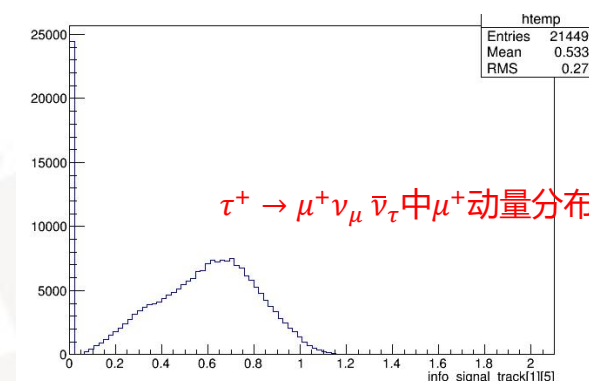
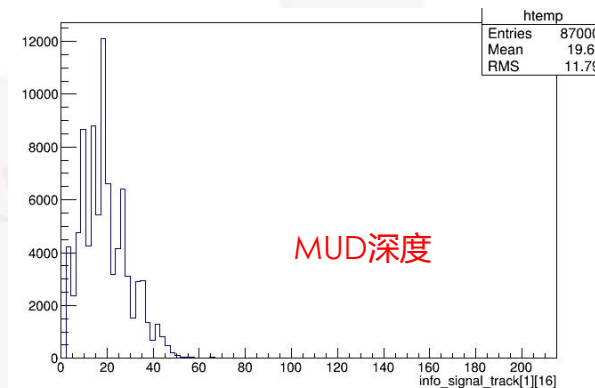
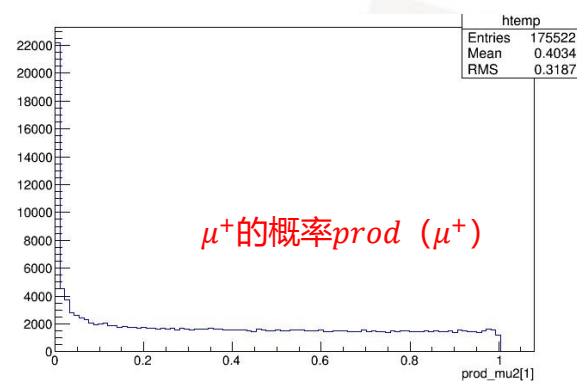
- 只有一条好的带电径迹；
- μ^+ 的概率 > 0.001 ；
- $MM^2 \equiv (E_{\text{cm}} - E_{D_s^-} - E_{\gamma(\pi^0)} - E_{\mu^+})^2 - |-\vec{p}_{D_s^-} - \vec{p}_{\gamma(\pi^0)} - \vec{p}_{\mu^+}|^2 < 0.5 \text{GeV}^2/c^4$
- EMC中沉积能量在 $(0.0, 0.3) \text{ GeV}$ ；
- 极化角，动量， μ 探测器击中深度

$ \cos \theta $	momentum (GeV/c)	depth (cm)
(0,0,0.2)	$0.50 < p < 0.61$	> 3.0
	$0.61 < p < 0.75$	$> 100.0 \times p - 58.0$
	$0.75 < p < 0.88$	> 17.0
	$0.88 < p < 1.04$	$> 100.0 \times p - 71.0$
(0.2,0.4)	$1.04 < p < 1.20$	> 33.0
	$0.50 < p < 0.64$	> 3.0
	$0.64 < p < 0.78$	$> 100.0 \times p - 61.0$
	$0.78 < p < 0.91$	> 17.0
(0.4,0.6)	$0.91 < p < 1.07$	$> 100.0 \times p - 74.0$
	$1.07 < p < 1.20$	> 33.0
	$0.50 < p < 0.67$	> 3.0
	$0.67 < p < 0.81$	$> 100.0 \times p - 64.0$
(0.6,0.8)	$0.81 < p < 0.94$	> 17.0
	$0.94 < p < 1.10$	$> 100.0 \times p - 77.0$
	$1.10 < p < 1.20$	> 33.0
(0.8,0.93)		> 9.0



信号侧

事例选择

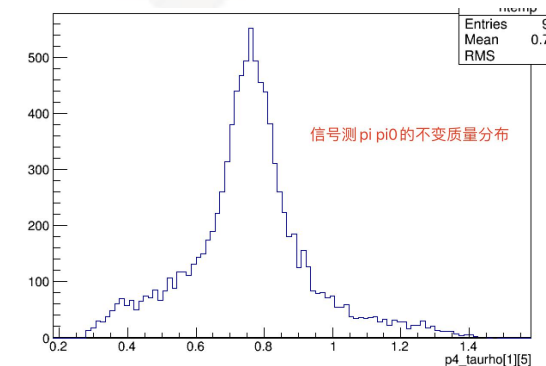
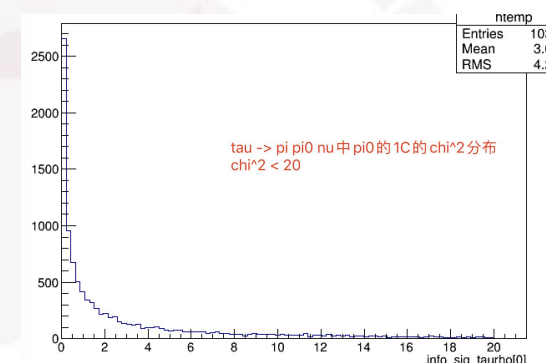
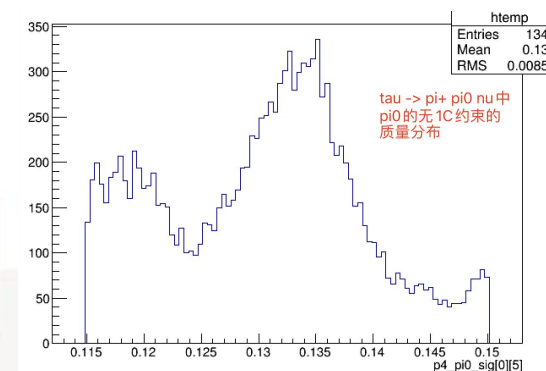
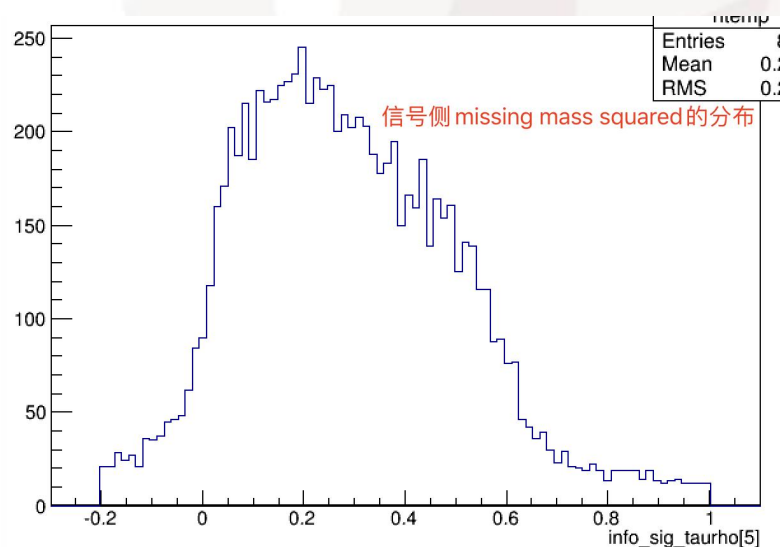


信号侧

事例选择

$$\tau^+ \rightarrow \rho_{\pi^+ \pi^0}^+ \bar{\nu}_\tau$$

- 只有一条好的带电径迹鉴别为 π^+ ;
- 至少两个好光子组成 π^0 ;
- $MM^2 = (E_{\text{cm}} - E_{\text{tag}} - E_{\gamma(\pi^0)} - E_{\pi^+} - E_{\pi^0})^2 - |-\vec{p}_{\text{tag}} - \vec{p}_{\gamma(\pi^0)} - \vec{p}_{\pi^+} - \vec{p}_{\pi^0}|^2$





信号侧

事例选择

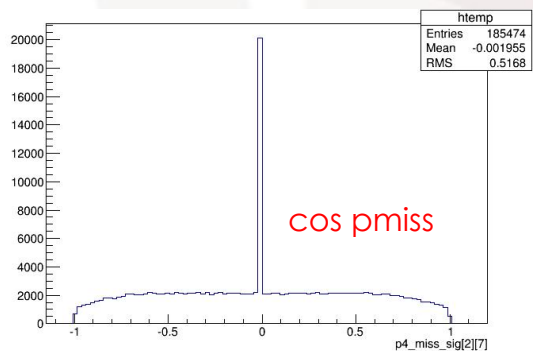
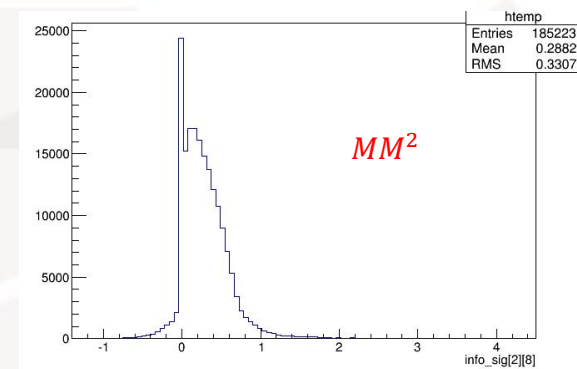
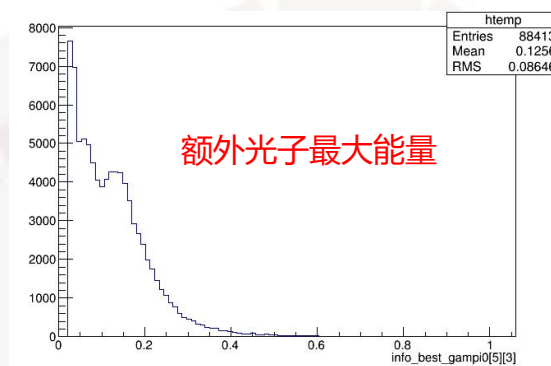
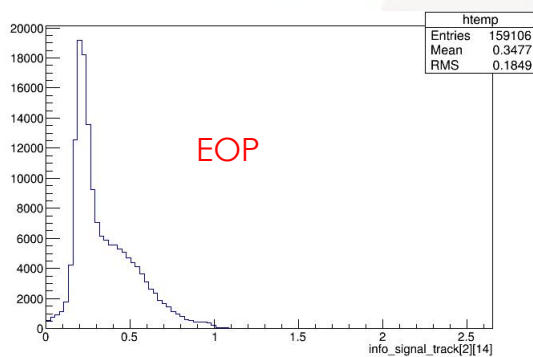
$$\tau^+ \rightarrow \pi^+ \bar{\nu}_\tau$$

- 只有一条好的带电径迹鉴别为 π^+ ;
- 没有额外的 π^0 ;
- 丢失粒子的极化角 < 0.9 ;
- EMC中沉积能量与 π^+ 动量比值 < 0.9 ;
- $\vec{p}'_{\text{miss}} = -\vec{p}_{D_s^-} - \vec{p}_{\gamma(\pi^0)} - \vec{p}_{\pi^+}$ 与电磁量能器中最大沉积能量的光子夹角大40度
- 电磁量能器中除标记侧用到的好光子和来自 D_s^* 衰变的光子之外的最大沉积能量 $< 300\text{MeV}$;
- $MM^2 \equiv (E_{\text{cm}} - E_{D_s^-} - E_{\gamma(\pi^0)} - E_{\pi^+})^2 - |-\vec{p}_{D_s^-} - \vec{p}_{\gamma(\pi^0)} - \vec{p}_{\pi^+}|^2$



信号侧

事例选择





信号侧

本底分析

- 单标记 D_S^- 重建不正确的本底;
- 单标记 D_S^- 重建正确, 但信号侧带电径迹误判或来自其他过程的本底;
- 单标记和信号侧都正确, 但 D_S^{*+} 衰变的 γ (π^0) 重建错误的本底。



欢迎老师同学批评指正

THANKS TO

