



中山大学 - 物理学院 - 2024级

组会报告

张雨

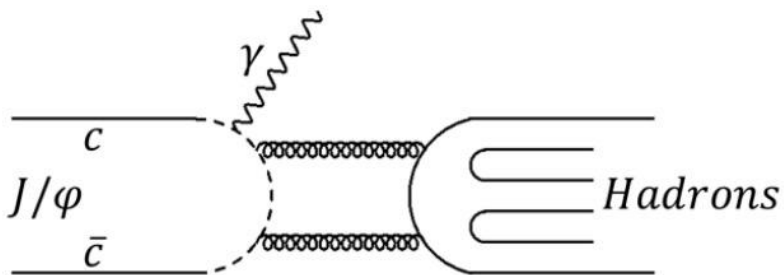
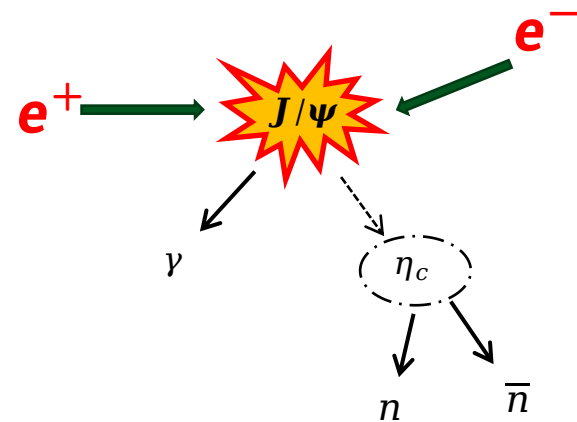
2024/7/24



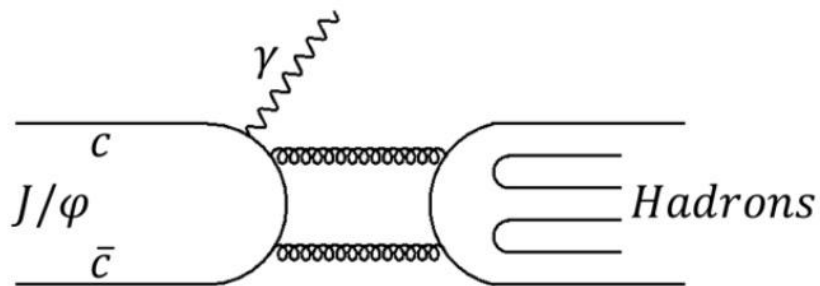
1. $\eta_c \rightarrow n\bar{n}$ 分支比的测量
2. $J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c \rightarrow \gamma\gamma\gamma$ 分支比的测量

研究意义

- I. 通过 $J/\psi \rightarrow (\gamma\eta_c) \rightarrow \gamma n\bar{n}$ 过程研究 $\eta_c \rightarrow n\bar{n}$ ，与 $\eta_c \rightarrow p\bar{p}$ 过程的衰变路径和相互作用强度相似。强相互作用理论框架下，二者的分支比应接近。有助于研究 η_c 的衰变特点和其作为基态的特性。
- II. 测量 $J/\psi \rightarrow \gamma n\bar{n}$ 过程，与 $J/\psi \rightarrow \gamma p\bar{p}$ 、 $J/\psi \rightarrow \gamma \Lambda\bar{\Lambda}$ 过程对比验证强相互作用下 SU(3) 的对称性。



(a) J/ψ 跃迁至 η_c 后衰变为强子对。

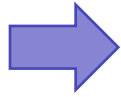


(b) J/ψ 辐射一个光子直接衰变为强子对。

主要研究方法

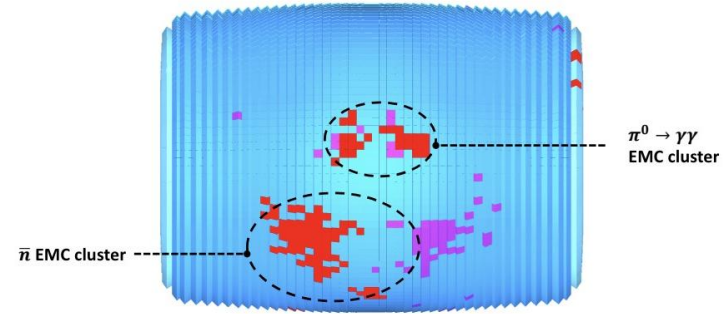
排除带电径迹(MDC)

中性径迹挑选(EMC)



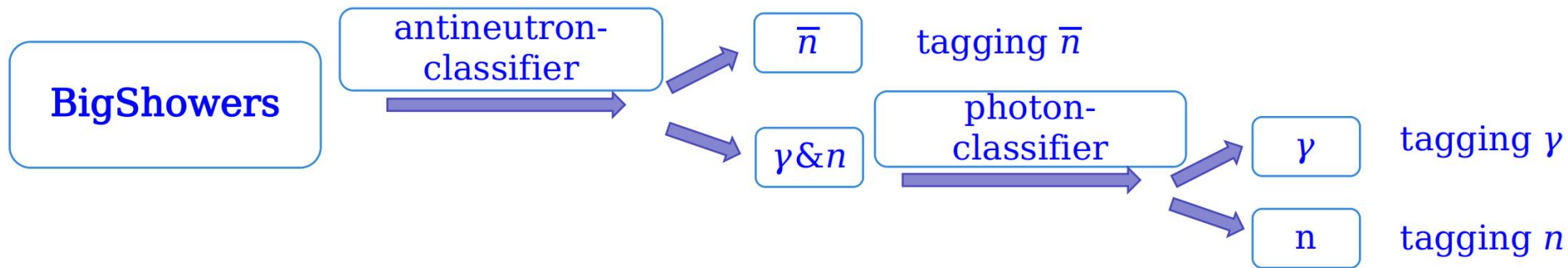
BigShower(大簇射)

- 反中子簇射不连续: 探测到多个簇射, 可能来自于同一个反中子



<https://arxiv.org/pdf/2404.07951>

- TMVA-2steps-Classification (BDT(Boosting Decision Tree)), 筛选末态粒子(γ 、 n 、 \bar{n})

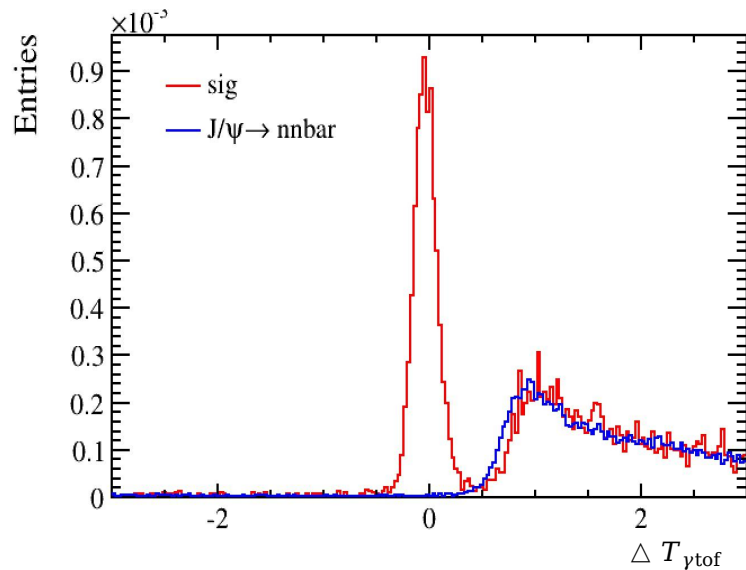


- TMVA-Regression设计三个回归模型, 重建中子、反中子的动量大小以及光子的能量
光子的反冲四动量、中子的单位矢量、反中子的单位矢量

主要的cut条件

◆ 背景分类

第一类	$J/\psi \rightarrow n\bar{n}$
第二类	$J/\psi \rightarrow n\bar{n} + \text{多光子背景}$
第三类	多光子背景 $J/\psi \rightarrow \gamma\gamma\gamma/\gamma\gamma\gamma\gamma\gamma$
第四类	$J/\psi \rightarrow K_L^0 K_L^0 + \text{多光子背景}$



第一类: $J/\psi \rightarrow n\bar{n}$

辐射光子的飞行时间 $T_{\gamma tof}$, 定义:

$$\Delta T_{\gamma tof} = T_{\text{measured}} - T_0 - T_{\gamma \text{ expected time}}$$

- T_{measured} : TOF探测器中的测量时间
- T_0 : 事例的起始时间
- $T_{\gamma \text{ expected time}}$: 光子的预期飞行时间

第三类: 多光子背景

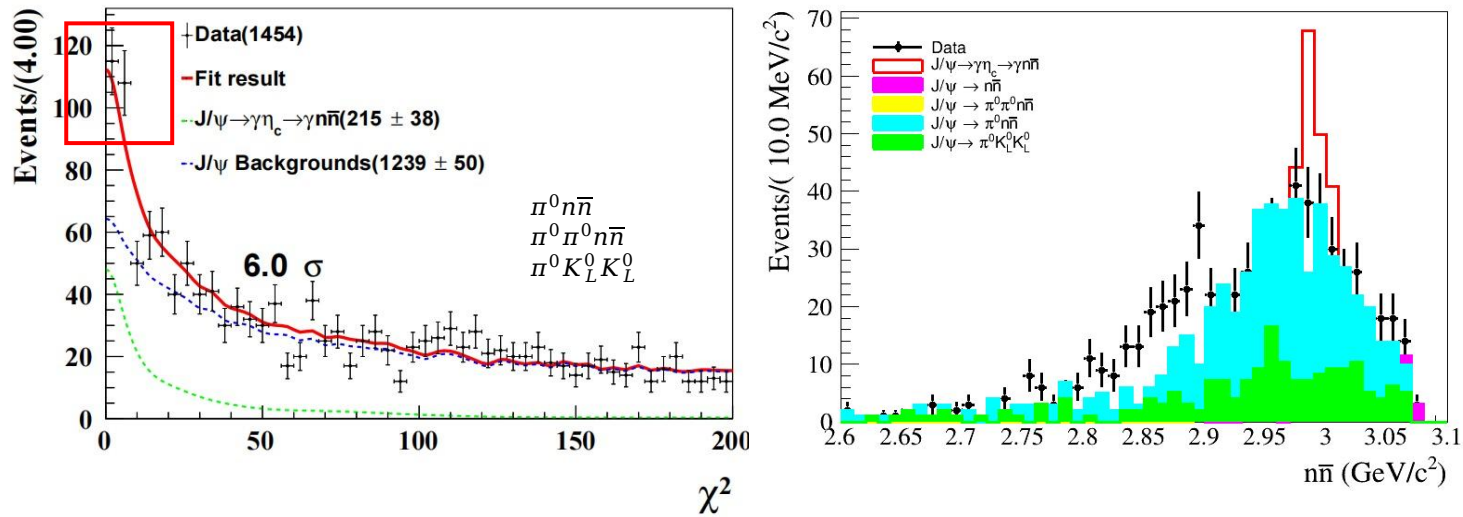
反中子的飞行时间 $T_{\bar{n} tof}$, 定义:

$$\Delta T_{\bar{n} tof} = T_{\text{measured}} - T_0 - T_{\bar{n} \text{ expected time}}$$

- T_{measured} : TOF 探测器中的测量时间
- T_0 : 事例的起始时间
- $T_{\bar{n} \text{ expected time}}$: 反中子的预期飞行时间

研究结果

- 在 $\chi^2(n\bar{n})$ 分布上初步观测到了 $J/\psi \rightarrow \gamma n\bar{n}$ 信号过程。
- 受限于 (反) 中子的动量重建精度以及 $J/\psi \rightarrow \pi^0 n\bar{n}$ 的影响, 未观测到 $\eta_c \rightarrow n\bar{n}$ 过程。
- 研究 $J/\psi \rightarrow \gamma n\bar{n}$ 的直接衰变, 验证强相互作用下 SU(3) 对称性。



➤ 在 $\cos\theta$ 和 P 两个维度上, 用 $J/\psi \rightarrow p\bar{n}\pi^-$ & $J/\psi \rightarrow \bar{p}n\pi^+$ 修正 MC 效率 ϵ_{MC} 。

[Yu Zhang et al, Measurement of the BF of \$\eta_c \rightarrow n\bar{n}\$, Charmonium Group Meeting, 24 May, 2023.](#)
[Yu Zhang et al, Measurement of the BF of \$\eta_c \rightarrow n\bar{n}\$, Collaboration Meeting in Summer, 28 June, 2023.](#)

$J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \gamma \gamma$ 分支比的测量

I. CLEO 和 BESIII 实验研究过该衰变过程

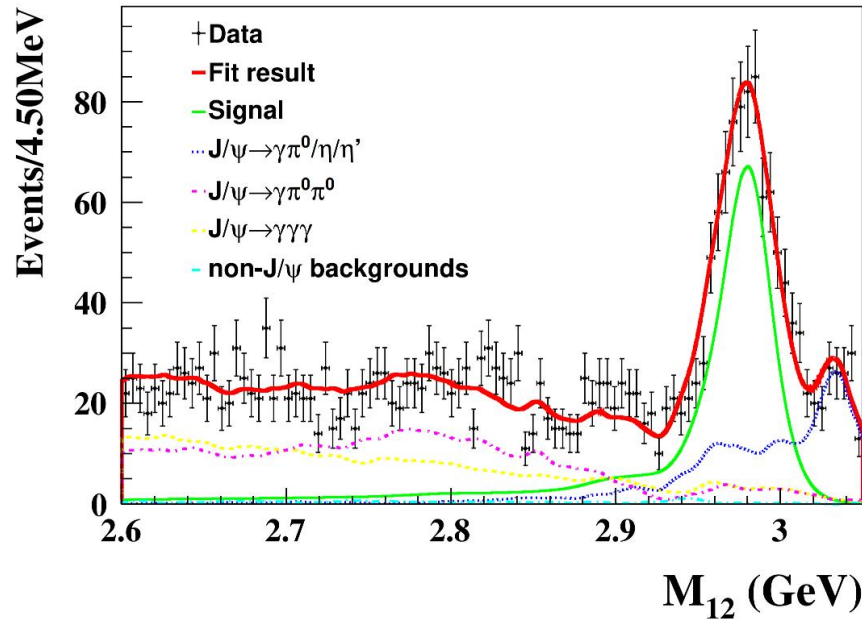
- CLEO: $\text{BF}(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \gamma \gamma) = (1.2_{-1.1}^{+2.7} \pm 0.3) \times 10^{-6}$ 提高分支比的测量精度
- BESIII: $\text{BF}(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \gamma \gamma) = (4.5 \pm 2.7 \pm 0.6) \times 10^{-6}$

II. $\eta_c \rightarrow \gamma \gamma$ 为探索强耦合常数提供敏感探针，有助于验证非相对论QCD等有效场论的适用性^[6]

- PDG中大多数是非直接测量过程: $\gamma \gamma \rightarrow \eta_c, \eta_c \rightarrow \text{hadrons}$

Methods	$\Gamma_{\eta_c \rightarrow \gamma \gamma}$ (keV)	$\mathcal{B}(\eta_c \rightarrow \gamma \gamma) (\times 10^{-4})$	Year
Quenched lattice	$2.65 \pm 0.26 \pm 0.80 \pm 0.53$	$0.83 \pm 0.09 \pm 0.26 \pm 0.17$	2006
Un-quenched lattice	1.122 ± 0.014	0.351 ± 0.009	2016
DSE, BSE	6.32 – 6.39	1.98 – 2.00	2016
SGF	$5.02 \pm 0.13 \pm 0.38$	$1.57 \pm 0.06 \pm 0.13$	2020
LQCD	$4.13 \pm 0.14 \pm 0.59$	$1.29 \pm 0.03 \pm 0.18$	2020
$c\bar{c}$ -glueball mixing	3.84 – 6.40	1.20 – 2.00	2021
NNLO, NRQCD	9.9 – 10.6	3.1 – 3.3	2017
最近的理论模型 \rightarrow Model-independent	$6.57 \pm 0.15 \pm 0.08$	$2.05 \pm 0.07 \pm 0.06$	2021
PDG-fit value	5.15 ± 0.35	1.61 ± 0.12	2020
PDG-aver value	$6.1_{-2.0}^{+2.3}$ 3.6σ 差异	$1.9_{-0.6}^{+0.7}$	2020

测量结果	意义
$BF(J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c \rightarrow \gamma\gamma\gamma) = (5.47 \pm 0.3_{\text{stat.}} \pm 0.37_{\text{syst.}}) \times 10^{-6}$	目前最精确的测量结果
$BF(\eta_c \rightarrow \gamma\gamma) = (3.22 \pm 0.18_{\text{stat.}} \pm 0.22_{\text{syst.}} \pm 0.76_{\text{ref.}}) \times 10^{-4}$	本次测量结果与非相对论QCD的次高阶修正的计算一致! [1]
$\Gamma_{\eta_c \rightarrow \gamma\gamma} = (10.30 \pm 0.56_{\text{stat.}} \pm 0.70_{\text{syst.}} \pm 2.44_{\text{ref.}}) \text{ KeV}$	
突破 $J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c$ 的测量精度的限制, 进一步提高 $\eta_c \rightarrow \gamma\gamma$ 测量精度	



[1] F. Feng et al., Phys. Rev. Lett. 119, no.25, 252001 (2017)

02

PART TWO

Back up

Research Experience And Results



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

Improved measurement of the Branching Fraction of

$$J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \gamma \gamma$$

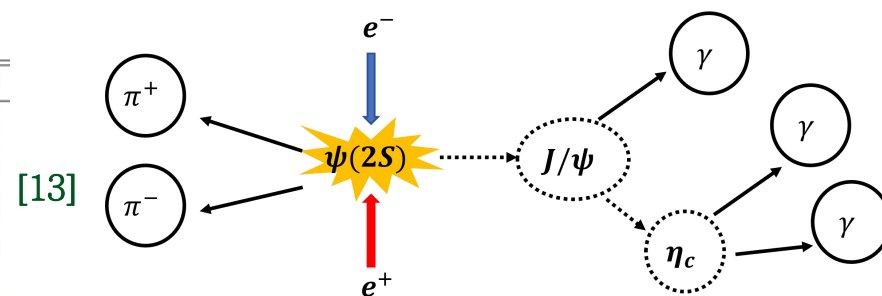
✓ 选题意义:

- 与粲偶素(由一对正反粲夸克组成)相关的物理学是研究量子色动力学QCD和强相互作用的丰富领域
- 粲偶素的双光子衰变 $\eta_c \rightarrow \gamma \gamma$ 有利于更好地理解微扰、非微扰QCD [7, 8]
- 双光子衰变是检验非相对论QCD(NRQCD)等有效场论应用的一种方法[10]

✓ 国内外的研究现状:

Source	$\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \gamma \gamma) (\times 10^{-6})$	Year
[11,12] CLEO	$1.2^{+2.7}_{-1.1} \pm 0.3$	2008
BESIII	$4.5 \pm 2.7 \pm 0.6$	2013
[1] PDG	$3.8^{+1.3}_{-1.0}$	2020

Methods	$\Gamma_{\eta_c \rightarrow \gamma \gamma}$ (keV)	$\mathcal{B}(\eta_c \rightarrow \gamma \gamma) (\times 10^{-4})$	Year
Quenched lattice	$2.65 \pm 0.26 \pm 0.80 \pm 0.53$	$0.83 \pm 0.09 \pm 0.26 \pm 0.17$	2006
Un-quenched lattice	1.122 ± 0.014	0.351 ± 0.009	2016
DSE, BSE	$6.32 - 6.39$	$1.98 - 2.00$	2016
SGF	$5.02 \pm 0.13 \pm 0.38$	$1.57 \pm 0.06 \pm 0.13$	2020
LQCD	$4.13 \pm 0.14 \pm 0.59$	$1.29 \pm 0.03 \pm 0.18$	2020
$c\bar{c}$ -glueball mixing	$3.84 - 6.40$	$1.20 - 2.00$	2021
NNLO, NRQCD	$9.9 - 10.6$	$3.1 - 3.3$	2017
Model-independent	$6.57 \pm 0.15 \pm 0.08$	$2.05 \pm 0.07 \pm 0.06$	2021
PDG-fit value	5.15 ± 0.35	1.61 ± 0.12	2020
PDG-aver value	$6.1^{+2.3}_{-2.0}$	$1.9^{+0.7}_{-0.6}$	2020



✓ 研究方法:

- 采用数据: BESIII上27亿的 $\psi(3686)$ 数据
- 使用衰变道: $\psi(3686) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma \eta_c \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma \gamma \gamma$

[9] M. B. Voloshin, Prog. Part. Nucl. Phys. **61**, 455-511 (2008).

[10] G. T. Bodwin *et al.*, Phys. Rev. D **51**, 1125-1171 (1995).

[11] G. S. Adams *et al.* (CLEO), Phys. Rev. Lett. **101**, 101801 (2008).

[12] M. Ablikim *et al.* (BESIII), Phys. Rev. D **87**, no.3, 032003 (2013).

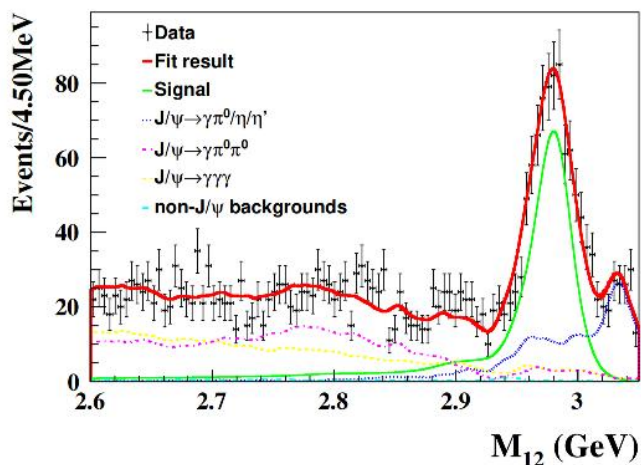
[13] BAM-00743: Improved measurement of the branching fraction of $J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \gamma \gamma$ by Zhijun Li *et al.*

Improved measurement of the Branching Fraction of

$$J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \gamma \gamma$$

✓ 研究内容:

- 寻找 $\psi(3686) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma \eta_c \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma \gamma \gamma$
- 在 $M_{12}(M_{\eta_c})$ 上看到清晰的信号



✓ 我的工作:

- 利用反冲方法计算 J/ψ 的质量, 用双高斯拟合限定 cut 范围
- 利用信噪比 FOM 优化各 cut 条件, 压低背景
- 研究本底形状细节
- Memo 撰写和修改
- 用光子能量分辨反推 η_c 的质量分辨

- 目前为止, 最精确的测量结果

$$\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \gamma \gamma) = (5.47 \pm 0.30_{\text{stat.}} \pm 0.37_{\text{syst.}}) \times 10^{-6}$$

- 本次测量结果与非相对论 QCD 的次高阶修正的计算一致! [14]

$$\Gamma_{\eta_c \rightarrow \gamma \gamma} = \frac{\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \gamma \gamma)}{\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c)} \times \Gamma_{\eta_c} = (10.30 \pm 0.56_{\text{stat.}} \pm 0.70_{\text{syst.}} \pm 2.44_{\text{ref.}}) \text{KeV}$$

$$\mathcal{B}(\eta_c \rightarrow \gamma \gamma) = \frac{\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \gamma \gamma)}{\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c)} = (3.22 \pm 0.18_{\text{stat.}} \pm 0.22_{\text{syst.}} \pm 0.76_{\text{ref.}}) \times 10^{-4}$$

✓ 课题进展:

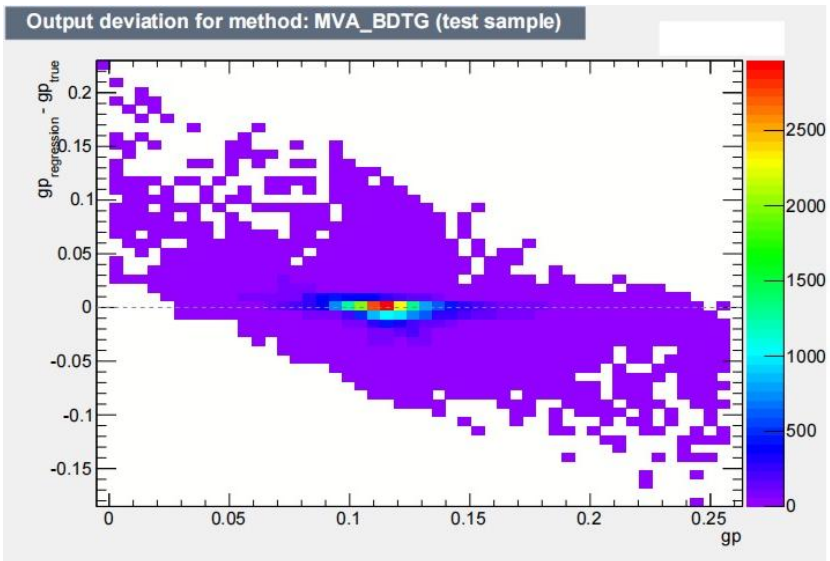
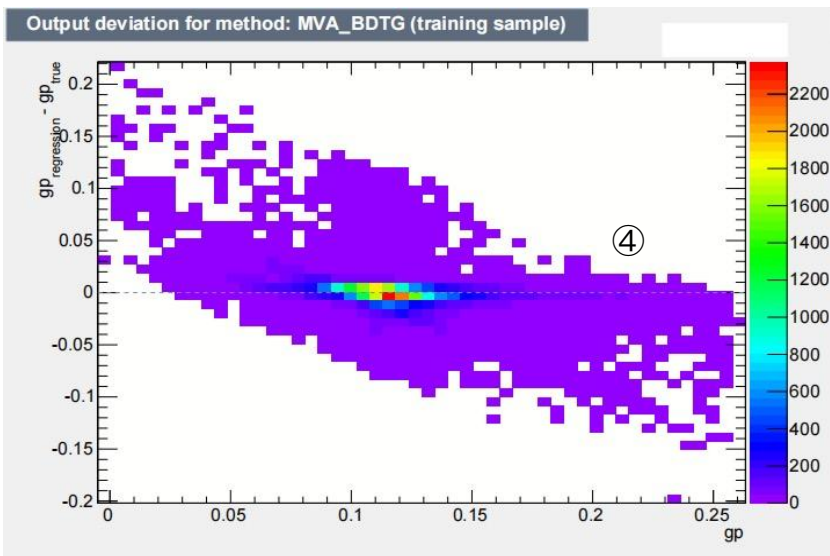
✉ BAM-00743: new Referee Committee formed

Forum: BAM-00743: Improved measurement of branching fraction for Jpsi -> gamma eta_c -> 3 gamma by Zhijun Li et al.
Date: Jul 18, 18:50
From: Ma Hailong <Ma Hailong>

Dear all,

We are pleased to announce that a new referee committee is formed for the analysis, "BAM-00743: Improved measurement of branching fraction for Jpsi -> gamma eta_c -> 3 gamma", by Zhijun Li et al.

(反) 中子的动量大小以及光子的能量的重建



设计三个回归模型 $f_{MVA}(\theta, variables)$

输入10个变量: 光子的反冲四动量、中子的单位矢量、反中子的单位矢量

$$\chi = \sqrt{\sum [f_{MVA}(\theta, 10) - f_{target}]^2}$$

- $f_{target} \rightarrow$ McTruth 中回归模型的回归目标
- 离散程度最小 (~ 0) 时得到模型参数 θ

光子能量/ (反) 中子动量大小回归模型
 $f_{MVA}(\theta, 10)$

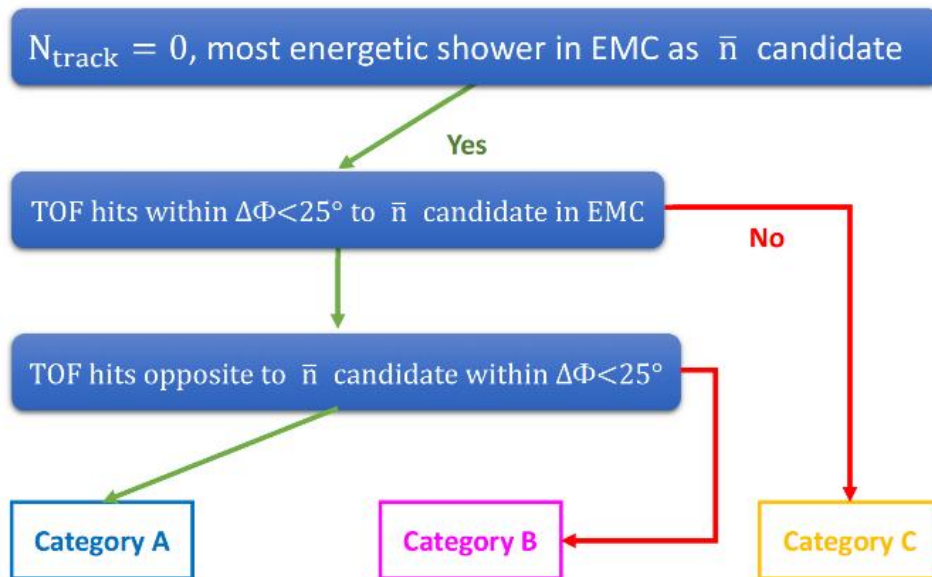
$f_{MVA}(\theta, 10)$ 预测光子能量、 (反) 中子动量大小

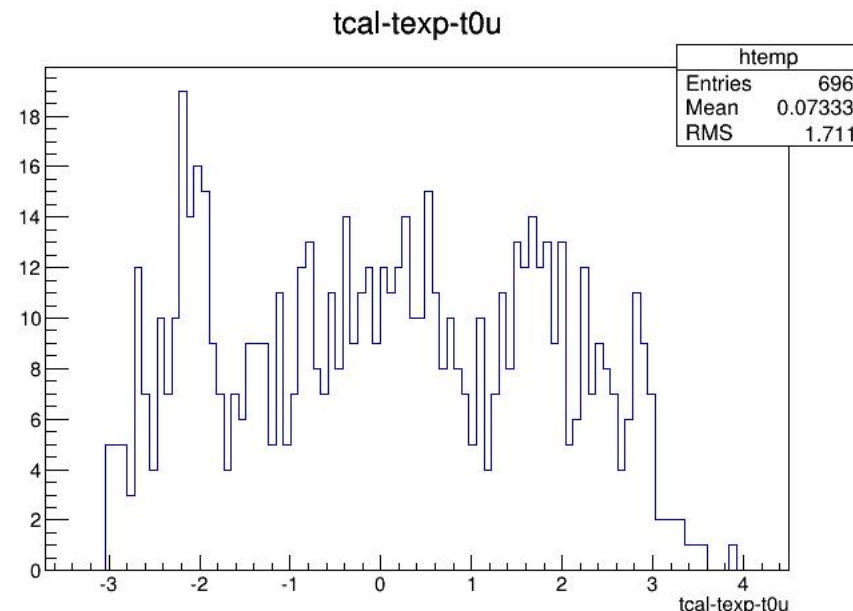
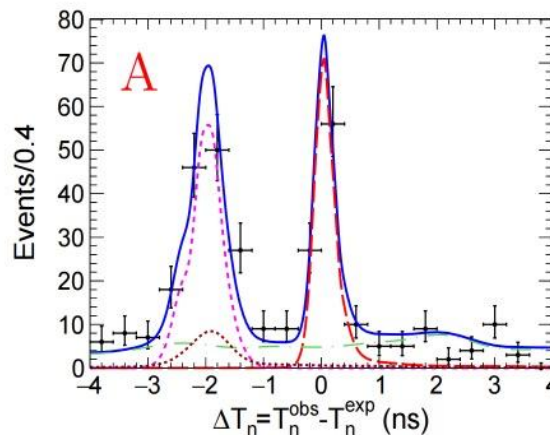
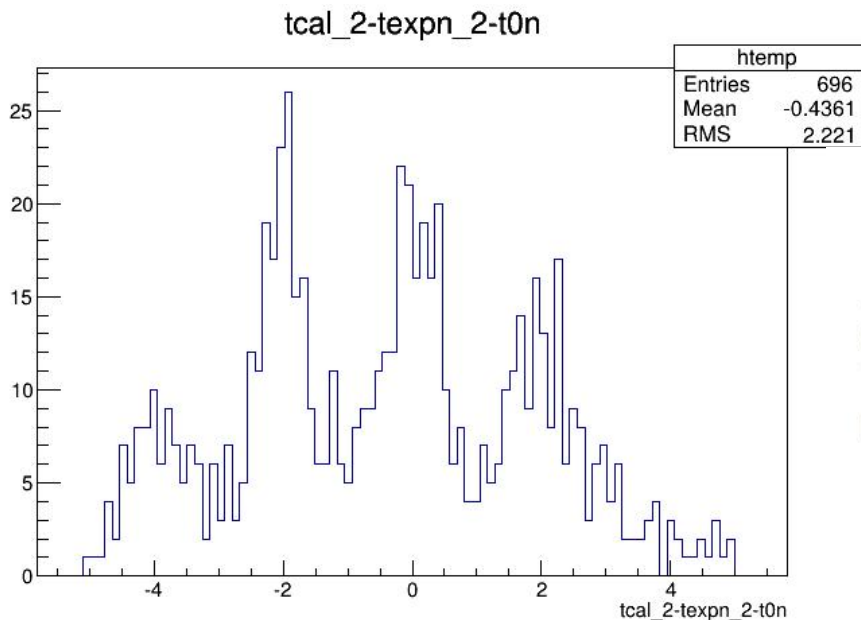
④ 无论真值在哪, 预测值与真值都很接近, 说明回归模型预测的很好。

□ 2.0 GeV

- EMC上, 反中子簇射周围50度圆锥内的击中数: $30 < N_{hit}^{50} < 140$
- 反中子簇射压低2光子背景: $|\cos\theta| < 0.70$
- $\Delta T_n < 4ns$: 挑选中子簇射

- 高动量中子额外能量cut
- 利用信号过程的背对背运动学特性
- 要求 V_{EMC1} 与 V_{TOF2} 之间(压低末态超过两个粒子的背景以及与束流相关的背景)以及 V_{EMC1} 与 V_{EMC2} 之间的开角大于3弧度
- 末态粒子之间的飞行差异 $\Delta T_{n\bar{n}} = |T_{TOF1} - T_{TOF2}| < 4ns$





➤ 中子假设-- $\Delta T_n = T_n^{obs} - T_n^{exp} - t0n$

- $T_n^{exp} = \frac{L_n}{\beta c}$: 中子的预期飞行时间
- 事件的起始时间: $t0n = \text{束团个数} * \text{束团间隔时间} + \text{时间偏移校准}$
- 束团个数 = $(T_{lay1} - \text{预期飞行时间} - \text{时间偏移校准}) / \text{束团间隔时间}$

➤ 光子假设-- $\Delta T_{\bar{n}} = T_{TOF1} - T_{\gamma}^{exp} - t0u$

- $T_{\gamma}^{exp} = \frac{L_{\bar{n}}}{c}$: 光子的预期飞行时间

**Thank You for your
Attention ! ;)**

