

2018年“粒子物理前沿卓越创新中心”年度考评

ATLAS实验中Higgs性质的测量以及 新物理的寻找

Yanping Huang

黄燕萍

中国科学院高能物理研究所实验物理中心

2018.11.23



本人前期主要研究成果简介

❖ BESIII物理分析 (2009-2012)

- ✦ 在《中国物理C》上发表BESIII首篇物理文章，获《中国物理C》优秀论文奖。
- ✦ 确认 $X(1835)$ 并发现 $X(2120)$ 和 $X(2370)$ 新粒子，文章发表于PRL。
- ✦ 首次测定 $X(pp\bar{b})$ 自旋宇称为 0^-+ ，文章发表于PRL。

❖ ATLAS物理分析 (2012-2017)

- ✦ 率先开展 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 基准截面和微分截面测量，担任首篇Conf-Note的editor，在分析中发挥主导作用。已发表多篇文章。
- ✦ 首次利用 $H \rightarrow WW$ 过程测量Higgs粒子宽度上限，在分析中发挥主导作用。文章发表于JHEP。
- ✦ 在 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 中进行广泛的Higgs性质测量。已发表多篇文章。
- ✦ 担任 $Z\gamma$ 末态中Higgs和新物理的寻找($H/X \rightarrow \gamma\gamma$)的contact，负责组织、协调分析，并在分析中发挥主导作用。
- ✦ 担任光子鉴别convener

❖ 主要获奖情况简介

- ✦ 2017 年获卓越中心青年优秀人才奖
- ✦ 连续获2014、2015 两个年度DESY科研工作奖
- ✦ “晨光杯”优秀论文一等奖 (2012)
- ✦ 王宽诚博士后工作奖 (2011)，中科院优秀博士论文奖 (2011)
- ✦ 中科院院长特别奖 (2010)，中科院优秀毕业生奖 (2010)

提 纲

主要研究成果: (2017.10 - 2018.10)

❖ ATLAS 物理分析:

- 光子鉴别研究
- **Higgs性质的测量**: $H \rightarrow \gamma\gamma$ 中耦合常数、最简化模式截面、基准/微分截面的测量, Higgs性质联合测量, t-Yukawa 耦合测量, $H \rightarrow Z\gamma$ 稀有衰变寻找
- 在 $Z\gamma/\gamma\gamma$ 末态中新物理的寻找

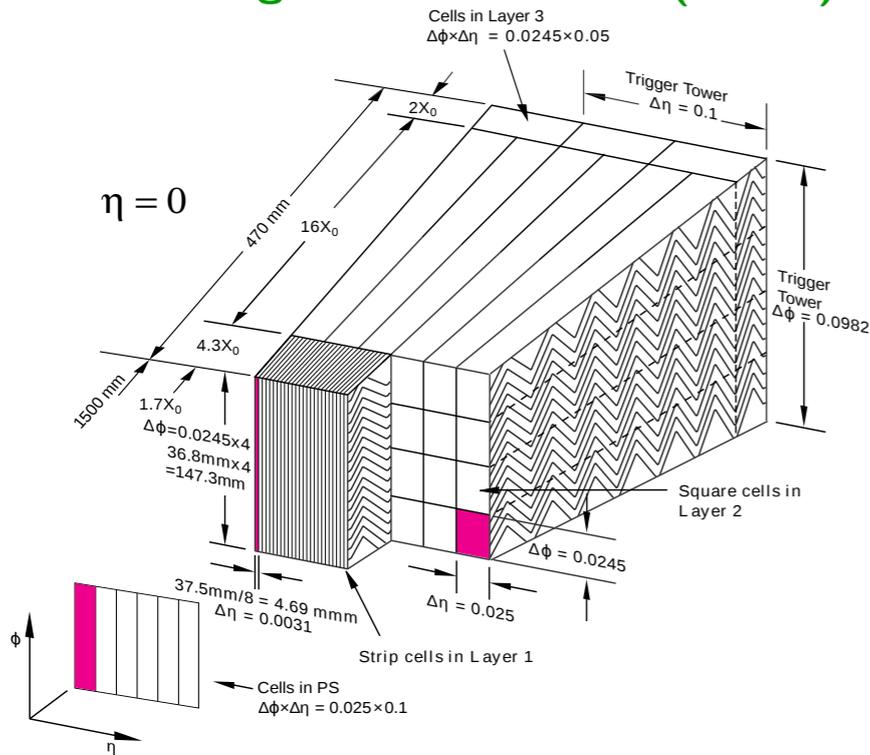
❖ CEPC 物理分析: 改进 $H \rightarrow \mu\mu$ 分析

❖ BESIII 物理分析: 新型强子的寻找和性质的研究

ATLAS 物理分析

光子鉴别

electromagnetic calorimeter (ECAL)



Variables and Position

	Strips	2nd	Had.
Ratios	f_1, f_{side}	R_{η}^*, R_{ϕ}	$R_{\text{Had.}}^*$
Widths	$w_{s,3}, w_{s,\text{tot}}$	$w_{\eta,2}^*$	-
Shapes	$\Delta E, E_{\text{ratio}}$	* Used in PhotonLoose.	

Energy Ratios

$$R_{\eta} = \frac{E_{3 \times 7}^{S2}}{E_{7 \times 7}^{S2}}$$

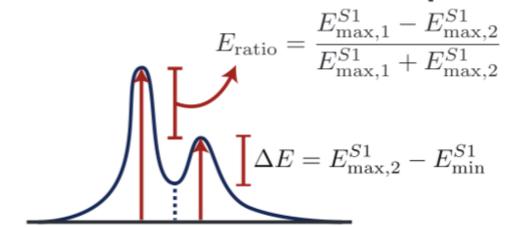
$$R_{\phi} = \frac{E_{3 \times 3}^{S2}}{E_{3 \times 7}^{S2}}$$

$$R_{\text{Had.}} = \frac{E_T^{\text{Had.}}}{E_T}$$

$$f_1 = \frac{E_{S1}}{E_{\text{Tot.}}}$$

$$f_{\text{side}} = \frac{E_{7 \times 1}^{S1} - E_{3 \times 1}^{S1}}{E_{3 \times 1}^{S1}}$$

Shower Shapes



Widths

$$w_{\eta,2} = \sqrt{\frac{\sum E_i \eta_i^2}{\sum E_i} - \left(\frac{\sum E_i \eta_i}{\sum E_i} \right)^2}$$

Width in a 3x5 ($\Delta\eta \times \Delta\phi$) region of cells in the second layer.

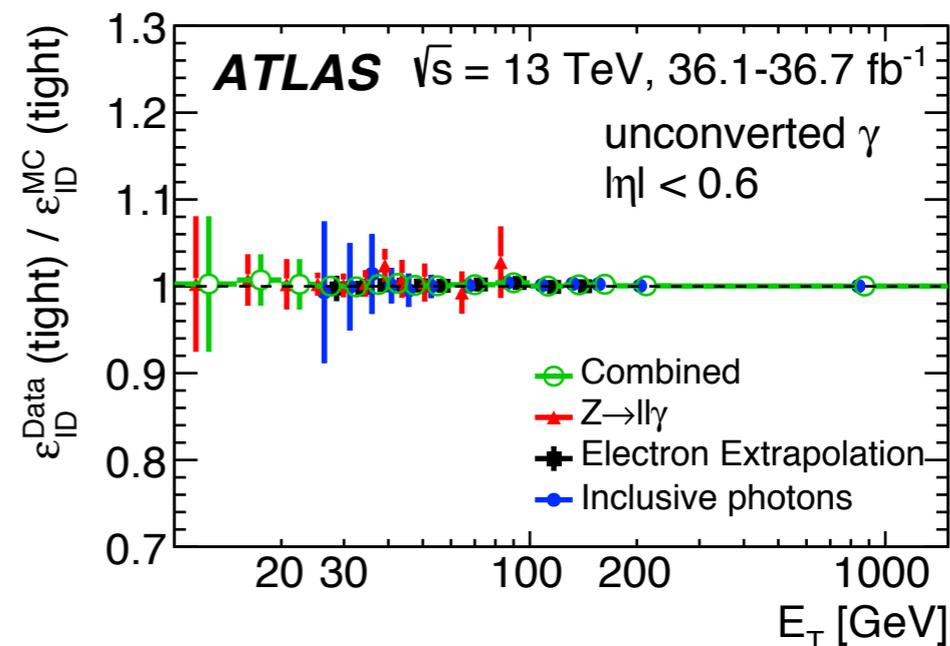
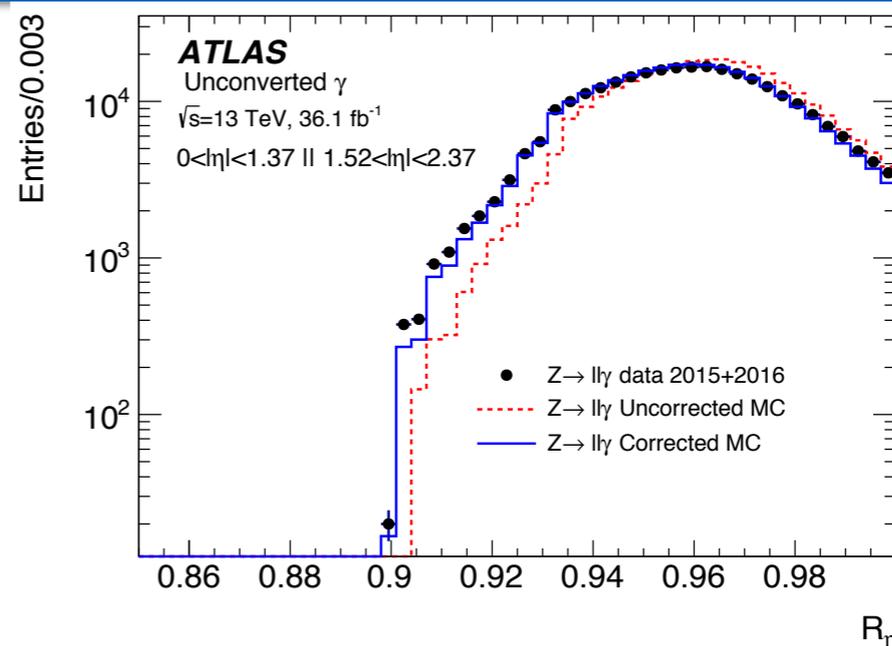
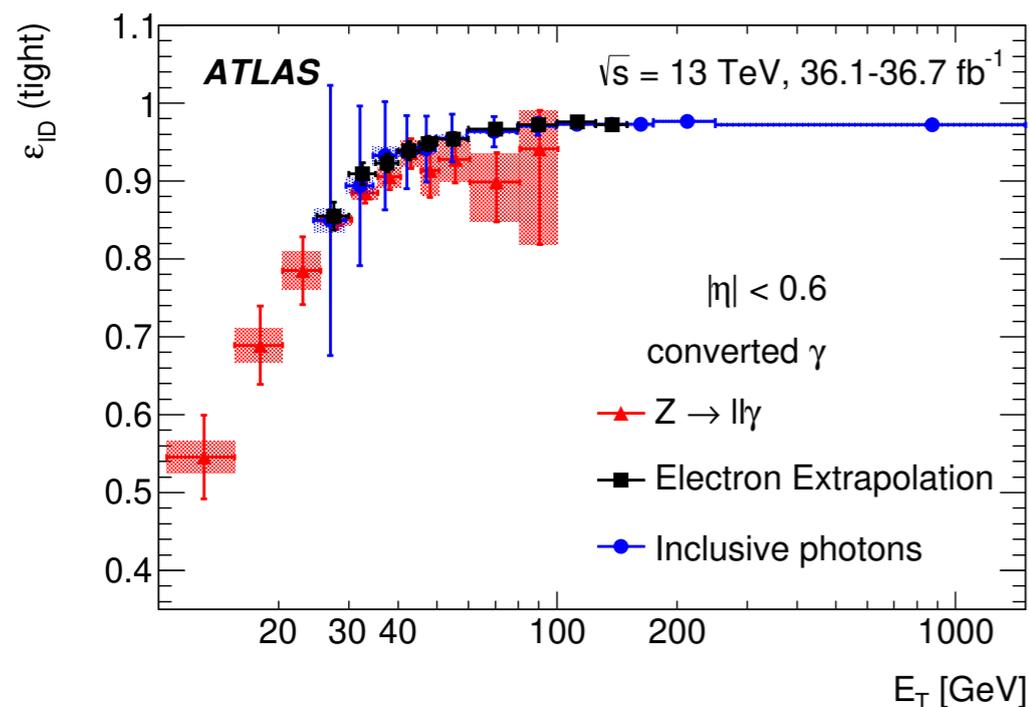
$$w_s = \sqrt{\frac{\sum E_i (i - i_{\text{max}})^2}{\sum E_i}}$$

$w_{s3} = w_1$ uses ± 1 strips (three total); w_{stot} is defined similarly, but uses 20x2 strips.

- 光子鉴别对物理分析极为重要，尤其是双光子的分析。
- 2016.10 — 2018.4 期间，任命为 **ATLAS光子鉴别组convener**，负责合作组光子优化判选，以及相应的修正因子和系统误差的官方结果(recommendation)
- 2017年年底发布Run-2 rel20光子鉴别最终版本，相应结果已投送 EPCJ (arxiv: 1810.05087)
- 2018年1月发布新重建版本rel21的光子鉴别，用于所有基于2015+2016+2017数据的物理分析。

2015+2016 数据光子鉴别结果发布

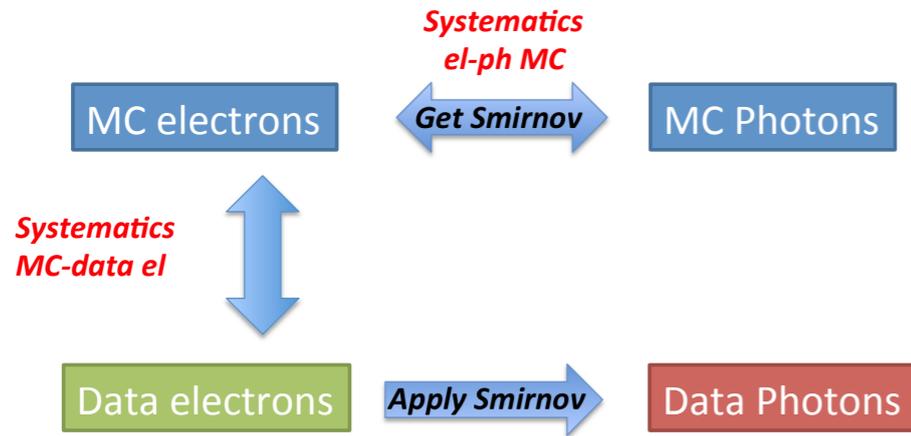
3 data-driven methods



- 对shower shape进行修正，从而提高数据和MC之间的一致程度
- 利用3种data-driven的方法测量光子鉴别效率，覆盖了横动量区间 $[10, 1500] \text{ GeV}$
- 最后通过联合测量给出2015+2016年数据相应光子鉴别最终结果：修正因子为3-4% ($E_T = 10 \text{ GeV}$)、1-2% ($E_T > 40 \text{ GeV}$)，系统误差为10% ($E_T = 10 \text{ GeV}$)、1-2% (高动量区间)

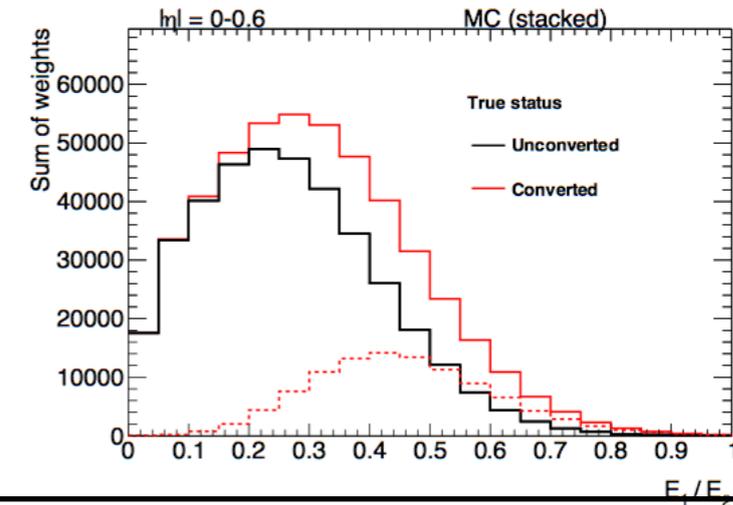
光子鉴别研究 (主导贡献)

电子外推方法(EEM)测光子鉴别效率



- 技巧：通过 $Z \rightarrow ee$ 过程在真实数据中选取高统计量、纯净的电子样本
- Smirnov 转换：修正电子shower shape来模拟光子行为

转化光子的研究



- 要点：利用 E_1/E_2 变量很好地区分转化光子和非转化光子，通过 Z 辐射光子/单光子过程从数据中获得较纯净的低/高动量光子样本
- 通过仔细的本底扣除后，得到数据中转化光子份额、转化光子重建效率以及非转化光子误判效率

EEM是3种不同方法中联合测量中权重最高的，韩朔为该分析编辑

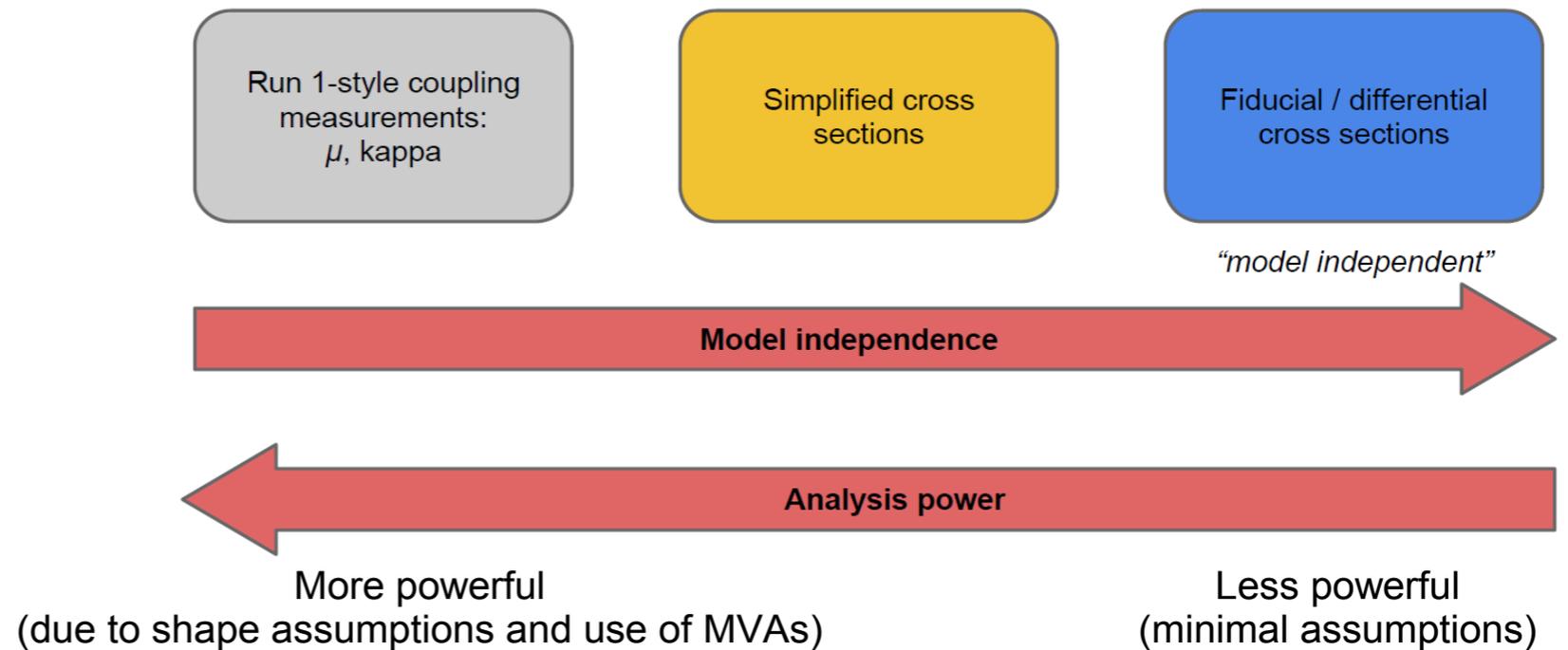
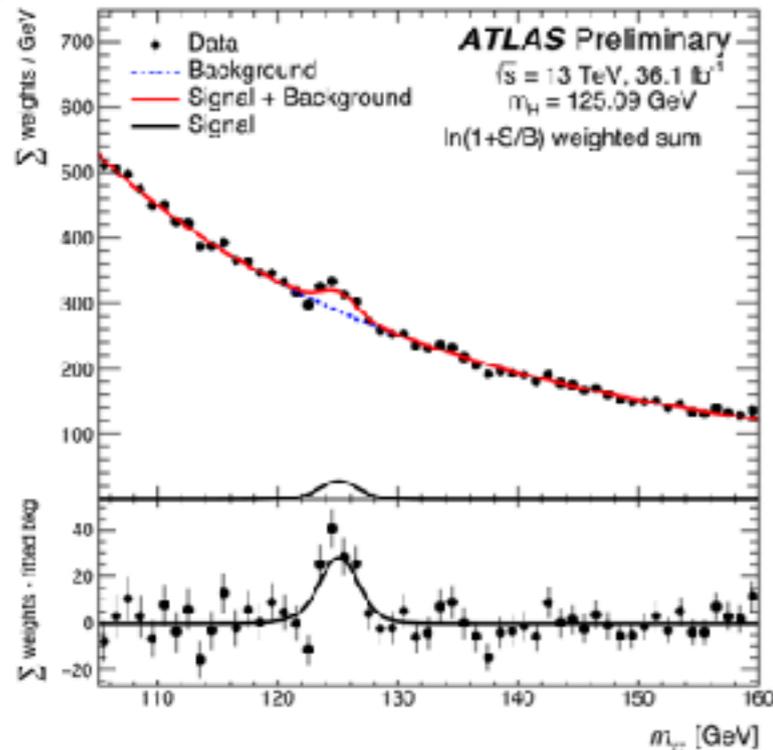
转化光子的研究成果首次发表，彭聪，冉坤林为该分析编辑：

创新点：首次实现了数据中测量转化光子率的方法

文章中描述

→ a novel technique for measuring the efficiency of reconstructing a photon conversion

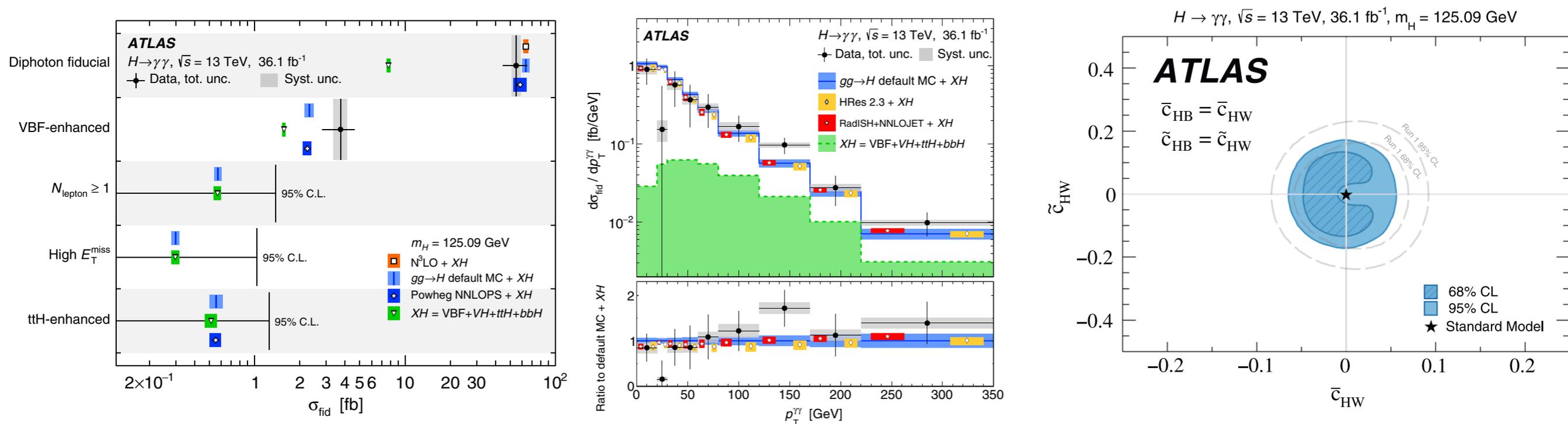
在双光子末态中Higgs性质的测量



❖ 和 Run1 相比:

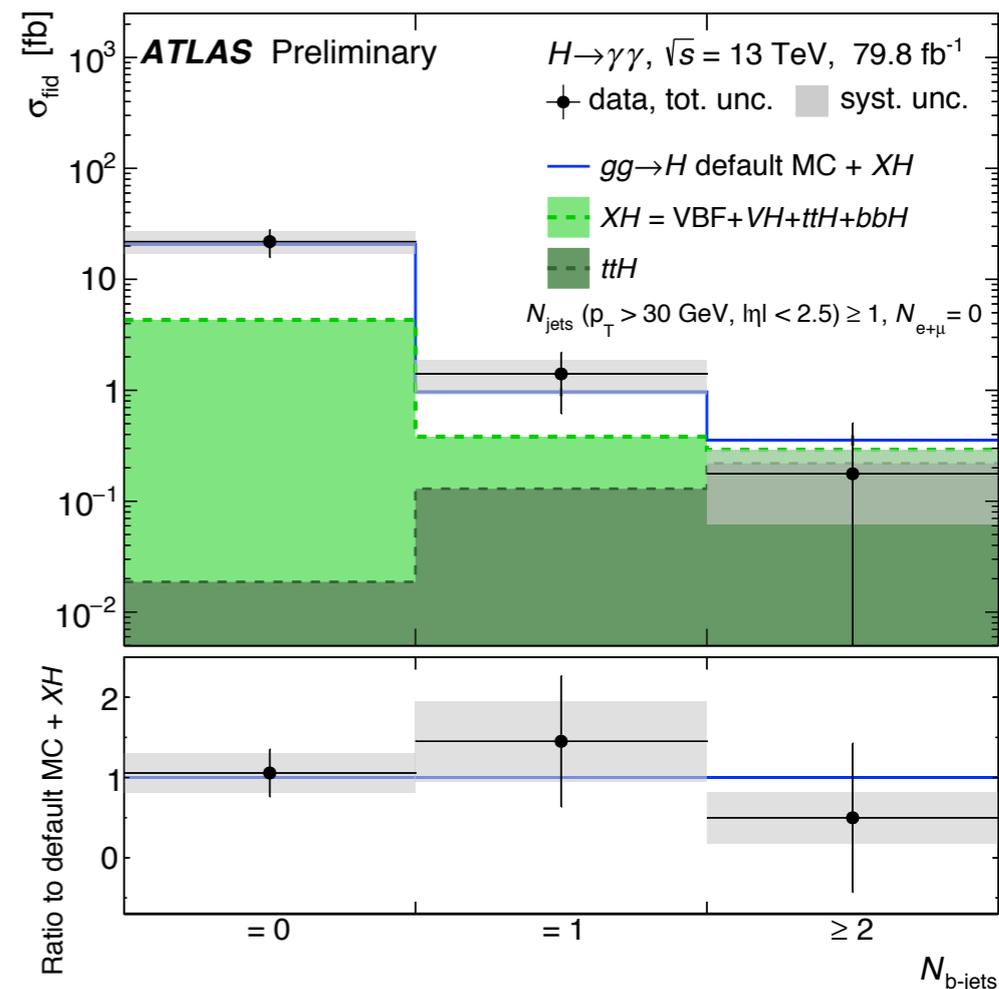
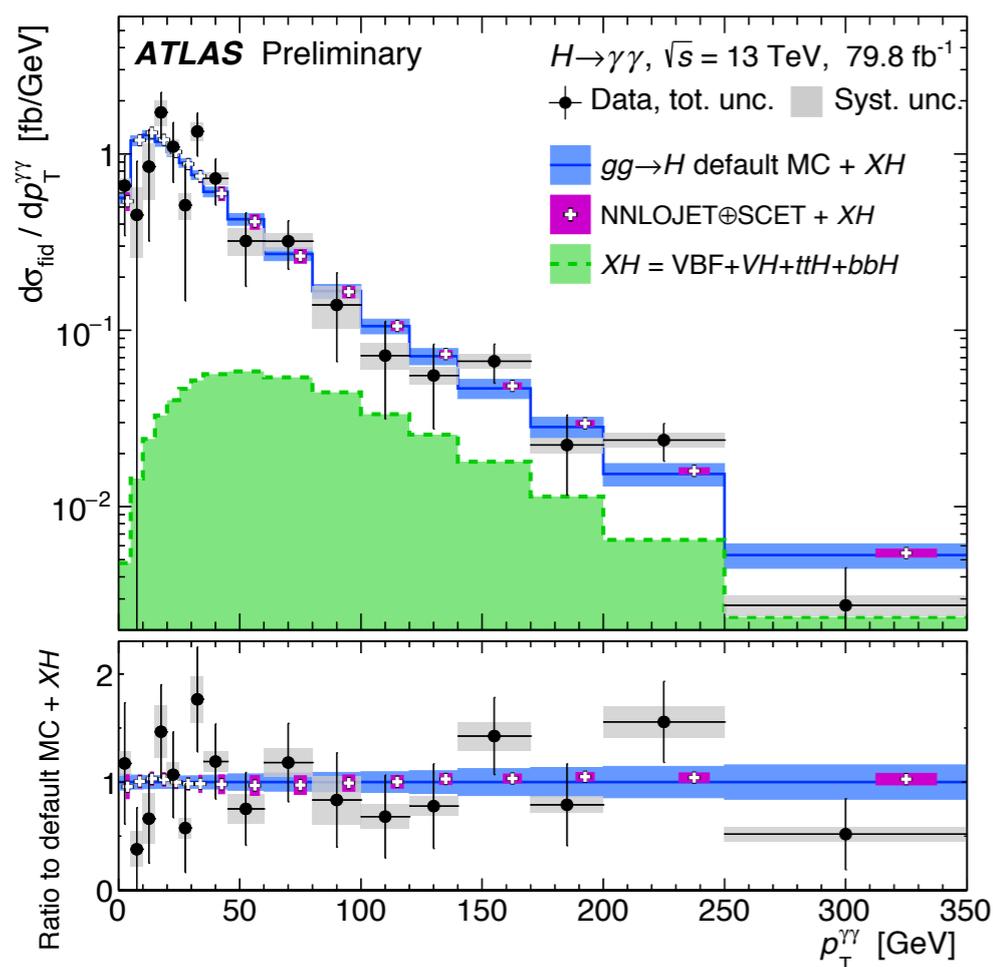
- **Run2 13TeV 36.1⁻¹fb** (更高的对撞能量和更高统计的数据)
 - **新的分析方法: 简化模式截面测量** (更多的尺度和更少的模型依赖性)
 - **信号优化: 31 category** (考虑Higgs不同的产生模式和简化模式截面)
- ❖ 综合考虑**测量灵敏度和模型无关性**, 进行了广泛全面的测量, 包含**耦合常数、简化模式截面、基准/微分截面的测量**。结果已经正式发表 [PRD 98 (2018) 052005]。
- ❖ **贡献**: VH信号区的优化, 本底估计、系统误差估计和统计分析, unfolding修正, 有效场论分析等主要研究内容, **彭聪是分析的编辑之一**

基准和微分截面测量



- ❖ 本人率先在ATLAS Run1开展的工作，完成了世界上首个Higgs截面测量。我们在Run2分析中继续占据主导地位。
- ❖ 这是一种最模型无关性的方法，给出particle level的截面从而可以直接和理论进行比较。
- ❖ 广泛全面的基准和微分截面测量，测量结果与理论预言在误差范围内是一致。

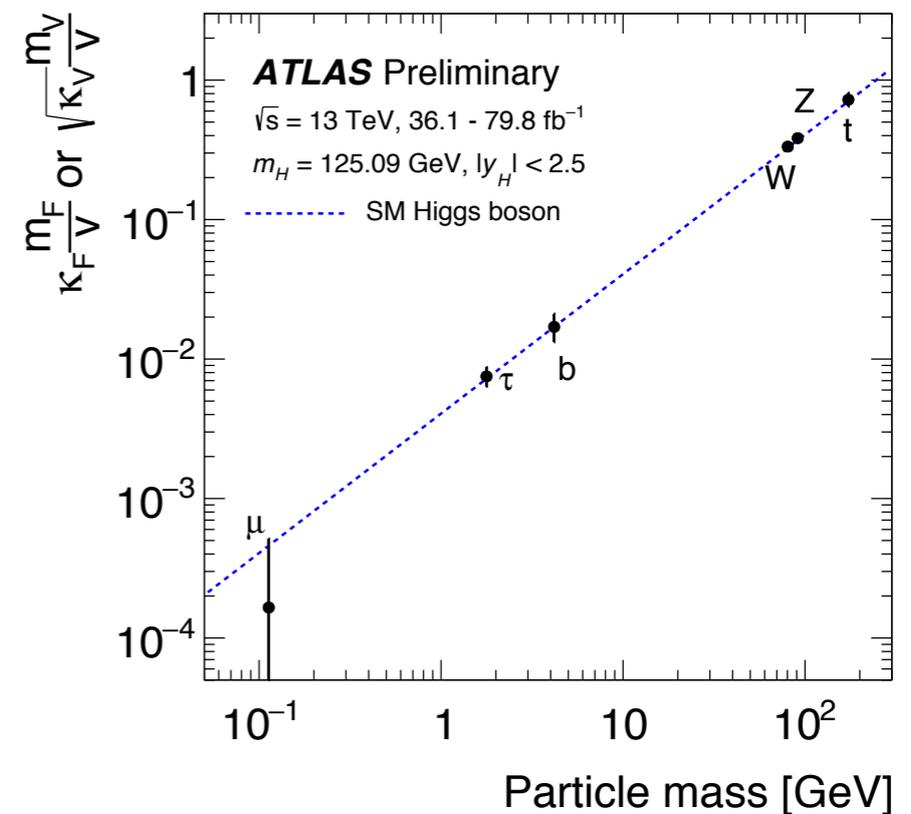
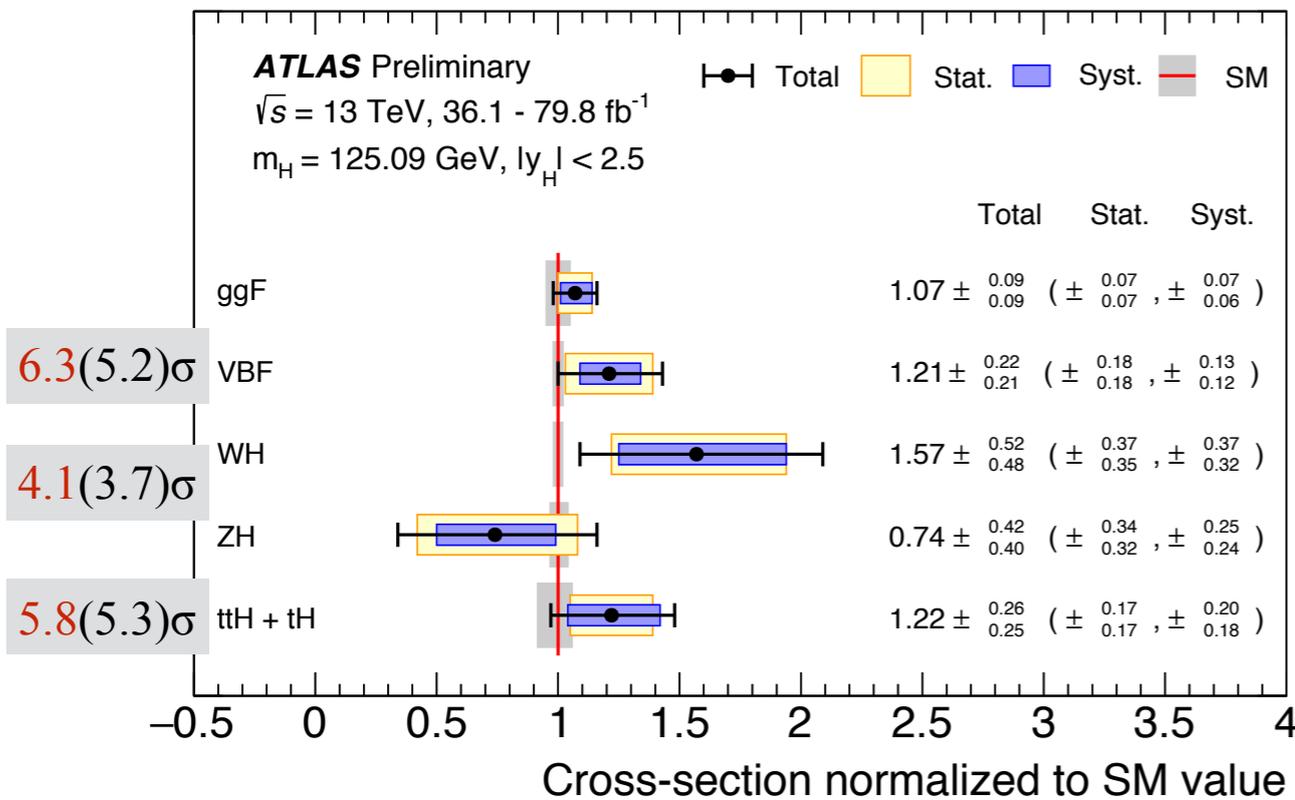
基准和微分截面测量



- 利用高统计量的数据 79.8fb^{-1} , 对基准和微分截面进行了更新:
 - 对测量变量进行了re-bin, 从而更精细地测量Higgs截面
 - 增加了新的物理变量
 - **本底分析 (越高的统计量, 对本底的估计也越严格)**
- 已发表一篇CONF NOTE (**ATLAS-CONF-2018-028**)。

Higgs性质联合测量

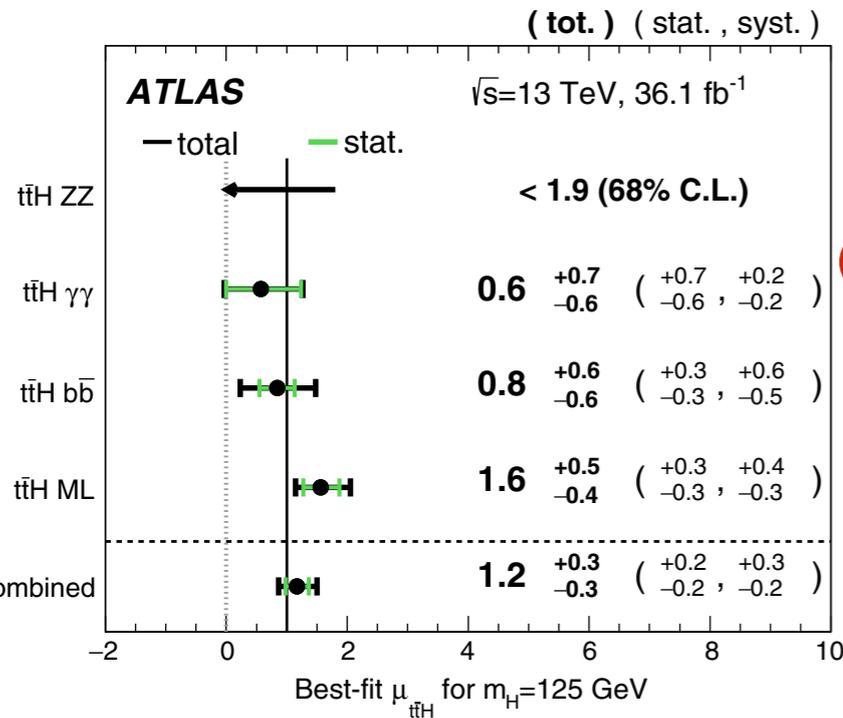
Analysis	Integrated luminosity (fb ⁻¹)
$H \rightarrow \gamma\gamma$ (including $t\bar{t}H, H \rightarrow \gamma\gamma$)	79.8
$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ (including $t\bar{t}H, H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$)	79.8
$H \rightarrow WW^* \rightarrow e\nu\mu\nu$	36.1
$H \rightarrow \tau\tau$	36.1
$VH, H \rightarrow b\bar{b}$	36.1
$H \rightarrow \mu\mu$	79.8
$t\bar{t}H, H \rightarrow b\bar{b}$ and $t\bar{t}H$ multilepton	36.1



- ❖ 全局信号强度为 $\mu = 1.13^{+0.09}_{-0.08}$ (8%), VBF和ttH两个产生模式均 $> 5\sigma$, 与标准模型很好符合
- ❖ 在该分析中负责系统检测、统计分析, 并给出最终结果。已发表一篇CONF NOTE (**ATLAS-CONF-2018-031**), 冉坤林为该分析编辑之一。
- ❖ 目前正在更全面地Higgs性质的联合测量, 包含加入 $H \rightarrow b\bar{b}$ 最新的结果, 最简化模式截面测量等等, **相关结果预计明年年初发表。**

t-Yukawa 耦合

通过 ttH 产生过程直接测量 t-Yukawa 耦合

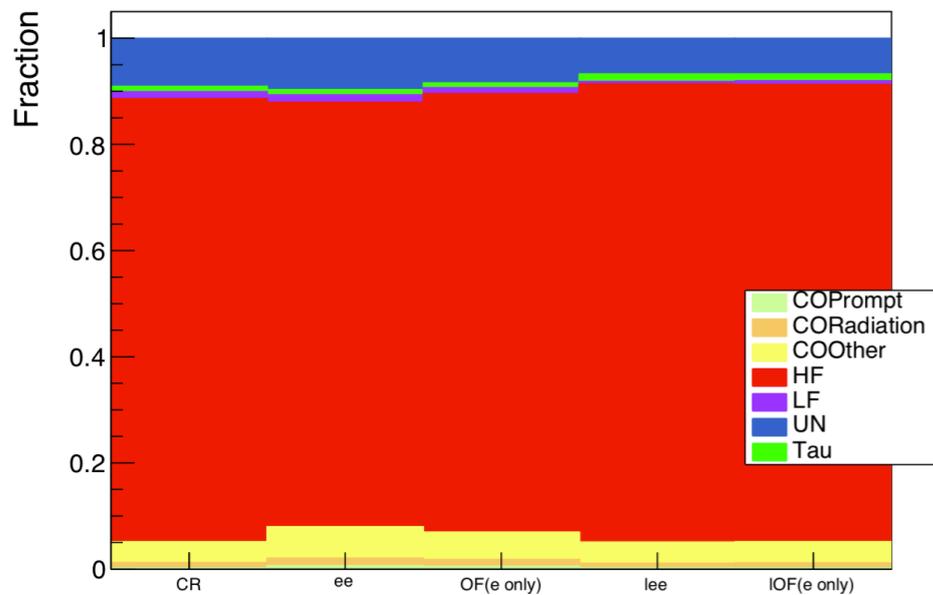
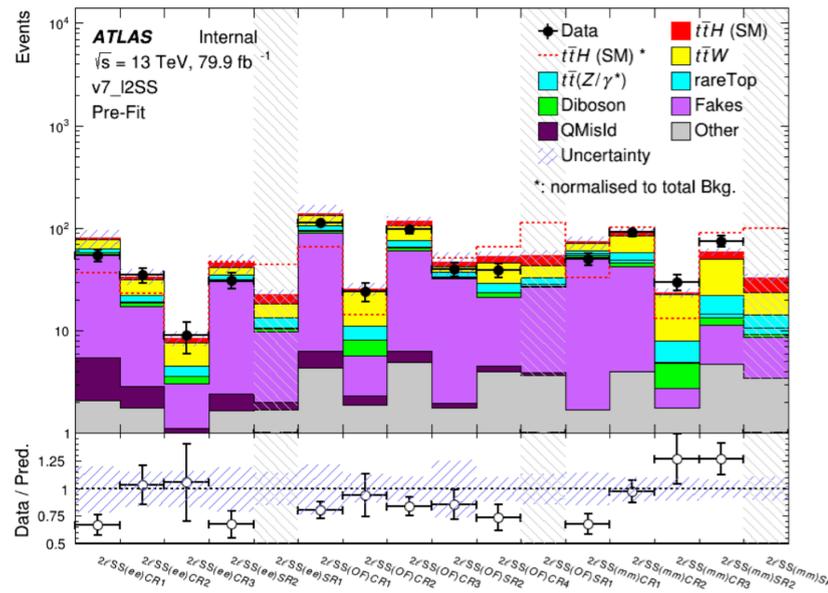


Channel	Significance		Channel	Significance	
	Observed	Expected		Observed	Expected
Multilepton	4.1 σ	2.8 σ	2 ℓ OS + 1 τ_{had}	0.9 σ	0.5 σ
$H \rightarrow b\bar{b}$	1.4 σ	1.6 σ	1 ℓ + 2 τ_{had}	...	0.6 σ
$H \rightarrow \gamma\gamma$	0.9 σ	1.7 σ	4 ℓ	...	0.8 σ
$H \rightarrow 4\ell$...	0.6 σ	3 ℓ + 1 τ_{had}	1.3 σ	0.9 σ
Combined	4.2 σ	3.8 σ	2 ℓ SS + 1 τ_{had}	3.4 σ	1.1 σ
			3 ℓ	2.4 σ	1.5 σ
			2 ℓ SS	2.7 σ	1.9 σ
			Combined	4.1 σ	2.8 σ

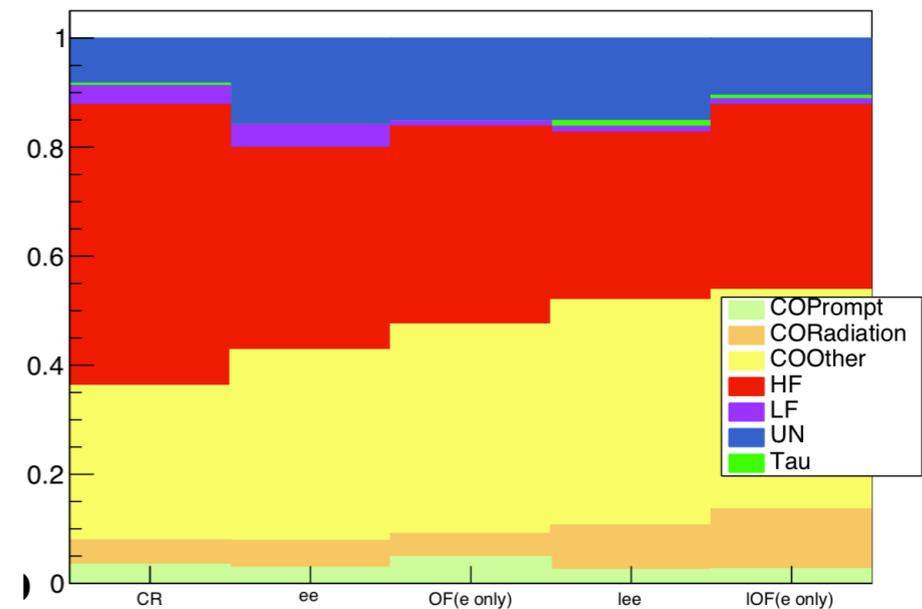
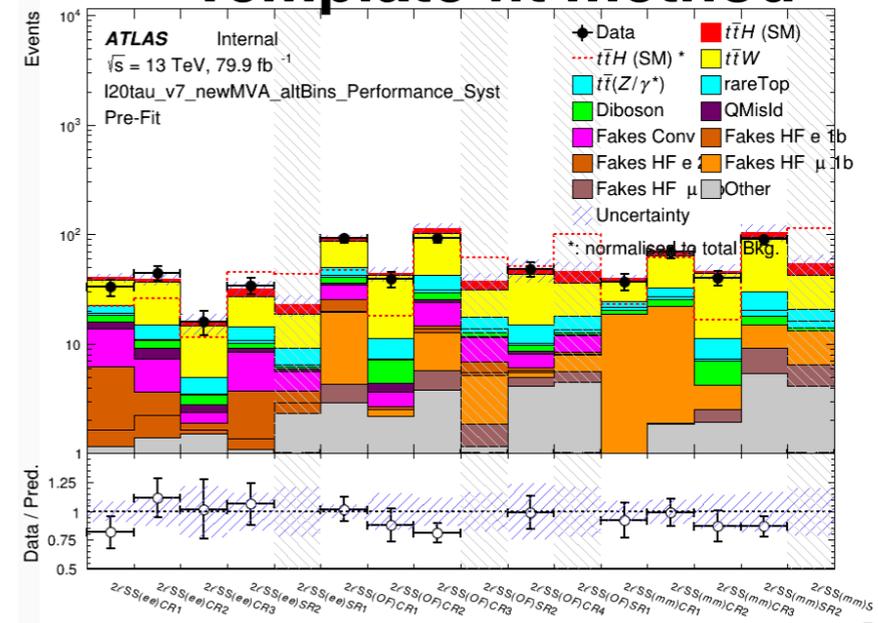
- 利用 36 fb⁻¹ 数据，给出 ATLAS 直接测量 t-Yukawa 耦合的 evidence (~4 σ)，相应结果已经发表 [PRD 97(2018) 072003].
- 贡献： t-Yukawa 耦合的联合拟合

ttH (H → Multi-lepton)

Matrix method



Template fit method



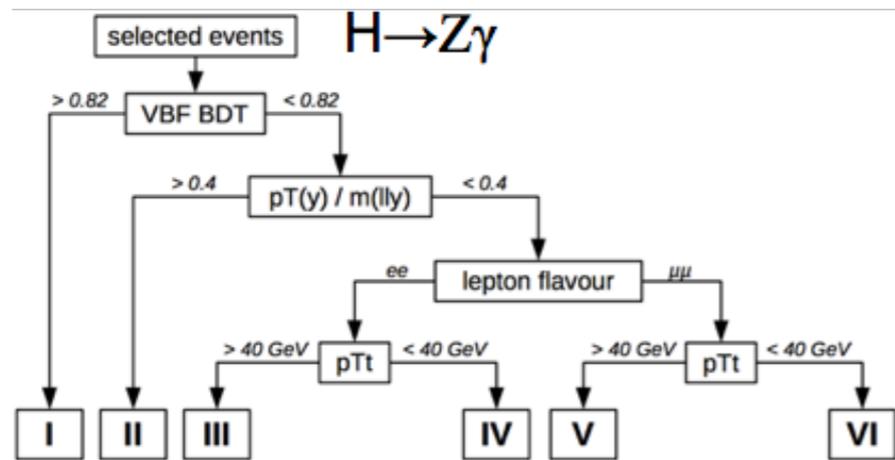
- 主要贡献：信号的优化，本底控制区间的优化，本底的估计，统计估计
 - 采用新的本底估计方法 (Template fit method)，从而很好地减小mis-modelling
 - 利用光子的重建信息，合理地估计和减小转化光子本底
- 目前已经在ATLAS内部给了2个approval talk，预计明年年初正式发表。

在 $Z\gamma$ 末态中Higgs和新物理的寻找

本人为该分析小组的 **Analysis contact**:

- **H \rightarrow Z γ search**: 进一步理解Higgs本质, 尤其是Higgs圈的相互作用非常重要
- **High mass search**: 新物理的寻找
- **H $\rightarrow\gamma\gamma^*$ search**: (新的分析, 对di-lepton的重建和鉴别是新的挑战 (in progress))

主导完成了Run2中H \rightarrow Z γ 寻找的首次测量

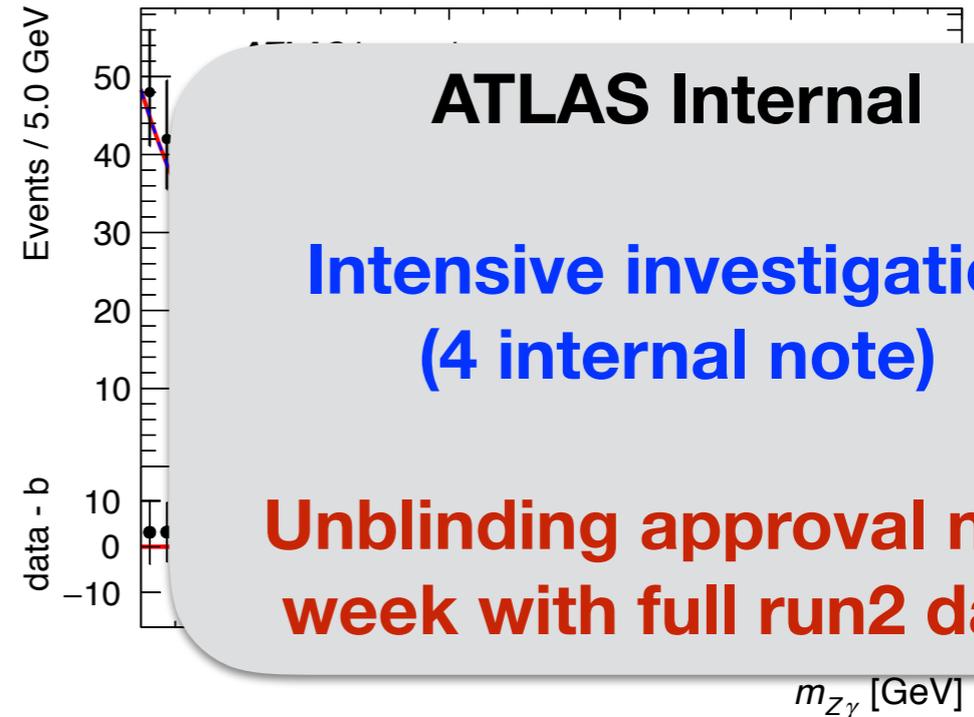


POI: μ	300fb ⁻¹	3000fb ⁻¹
Limit(s/o sM)	1.27/2.16	0.40/1.46
significance	1.6 σ	4.9 σ
n \times SM	1.00 \pm 0.65	1.00 \pm 0.24

run-1
extrapolation
3.9 σ

PUB-HIGG-2018-21

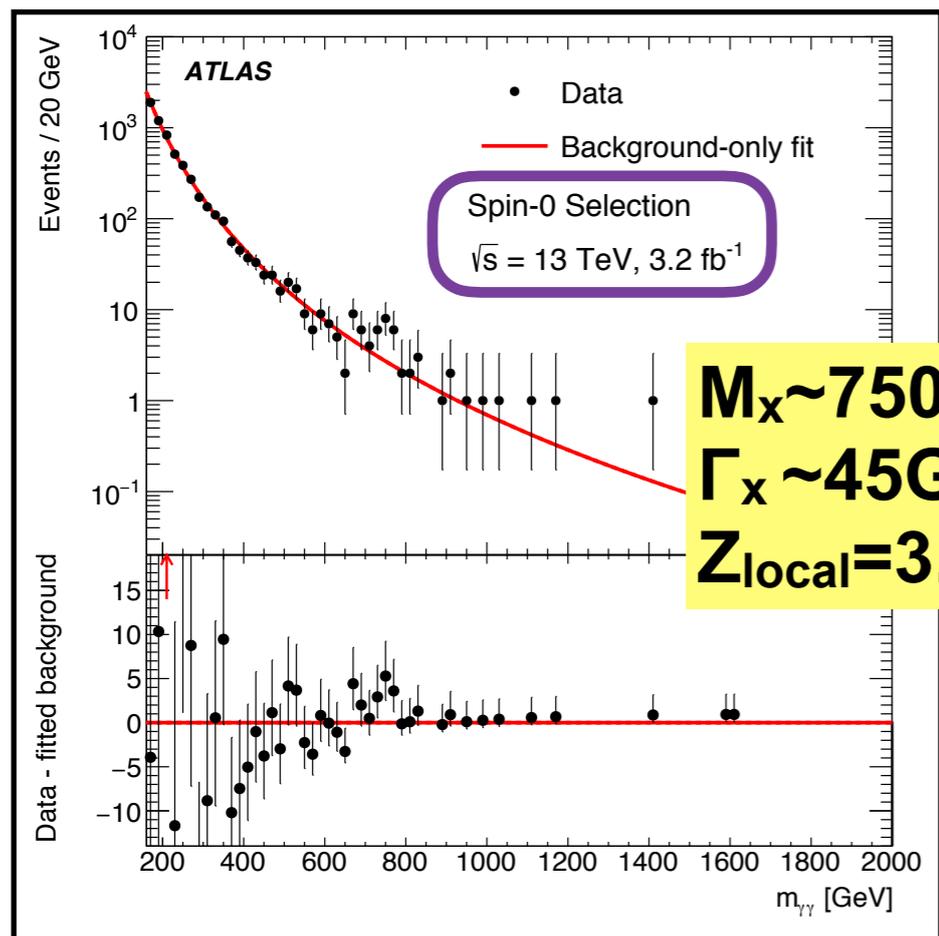
High mass search



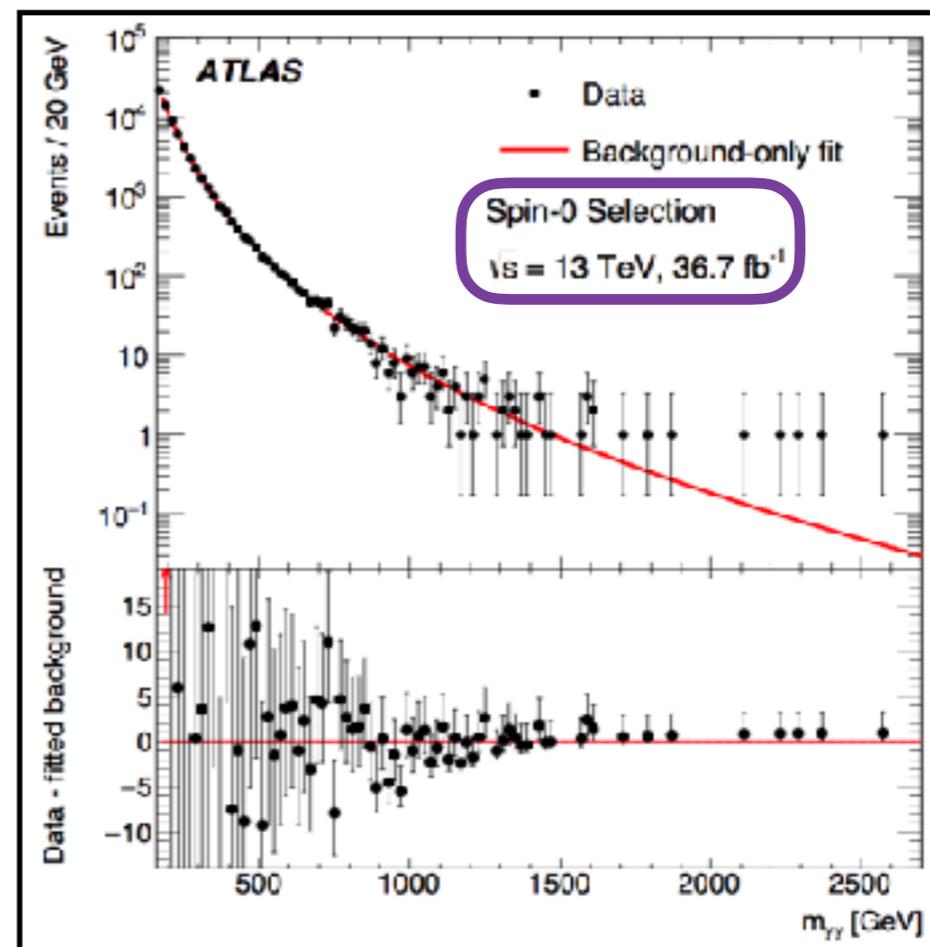
下一步进行更全面的新物理寻找

负责分析的设计和框架构建, 优化, 本底研究, 误差估计、统计分析, 并给出最终结果等等, 为**分析的负责人、编辑**, 直接领导整个分析。

$\gamma\gamma$ 高质量区间新物理寻找



[JHEP, 09 \(2016\) 001](#)



[arxiv: 1707.04147, submitted to PLB](#)

$\gamma\gamma$ 末态(750GeV超出是2016年热点话题):

- 利用更高的统计量进一步分析，结果表明所观测到750GeV超出主要来源于统计涨落。在该分析中做出主要贡献，包括本底分析(采用我提出的**Jet-fake-rate reweighting method**)，统计分析等等。
- 本年度已于2017年11月发表**一篇文章 PLB 775 (2017) 105**

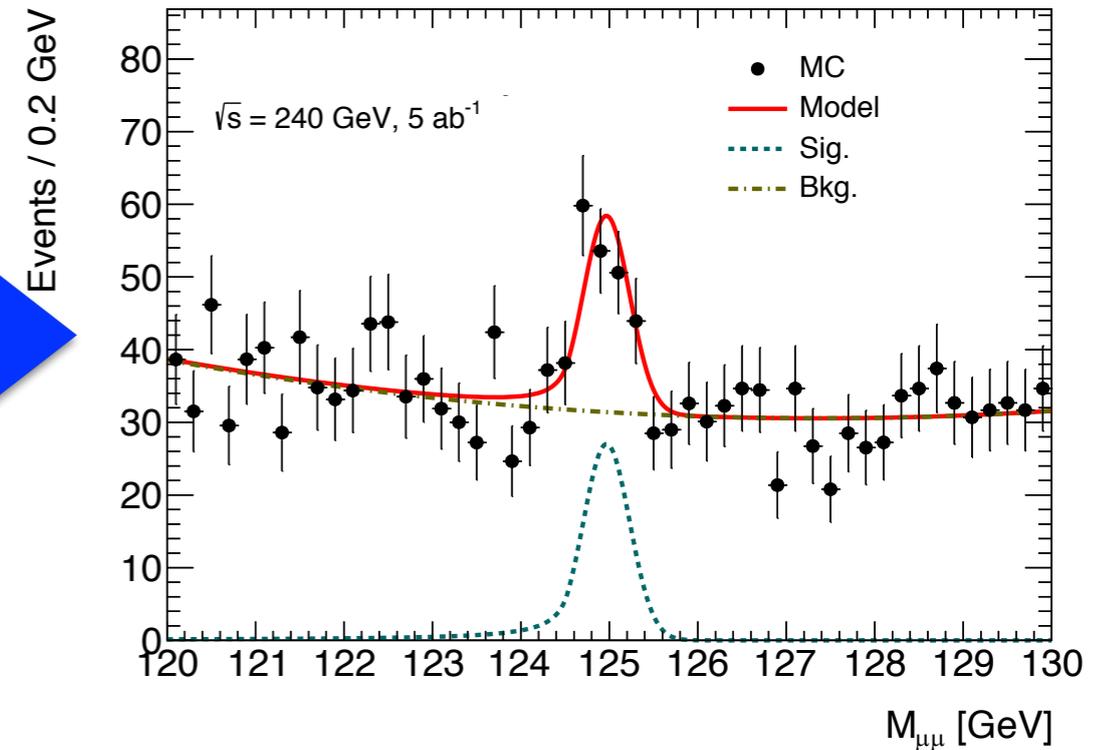
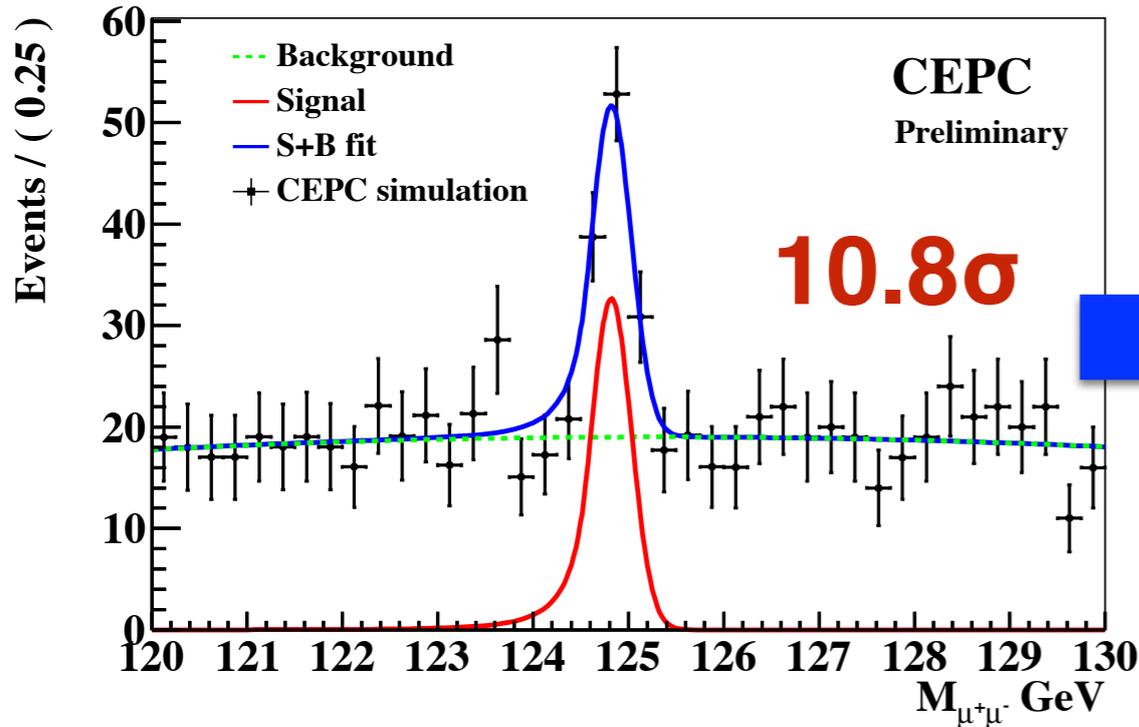
CEPC 物理分析

改进H→μμ分析

CPC 54 (2018) 5

Z(qq)H(μμ)

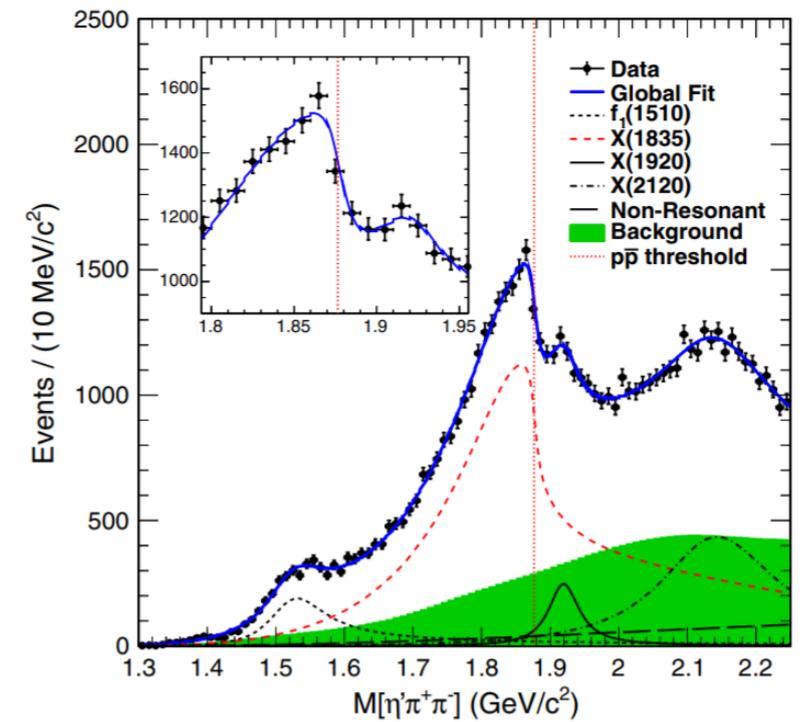
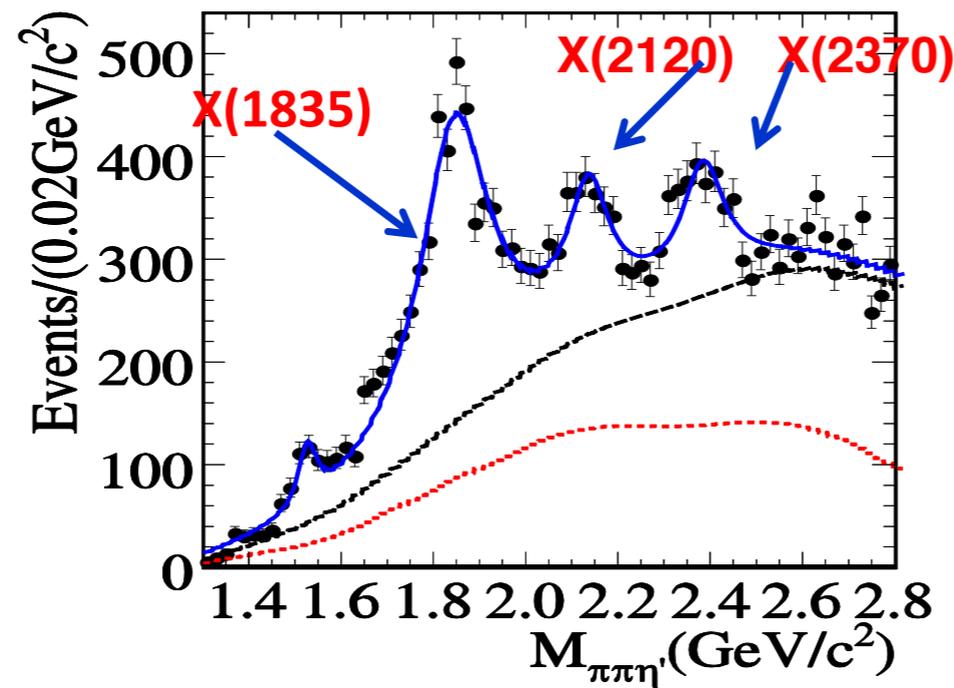
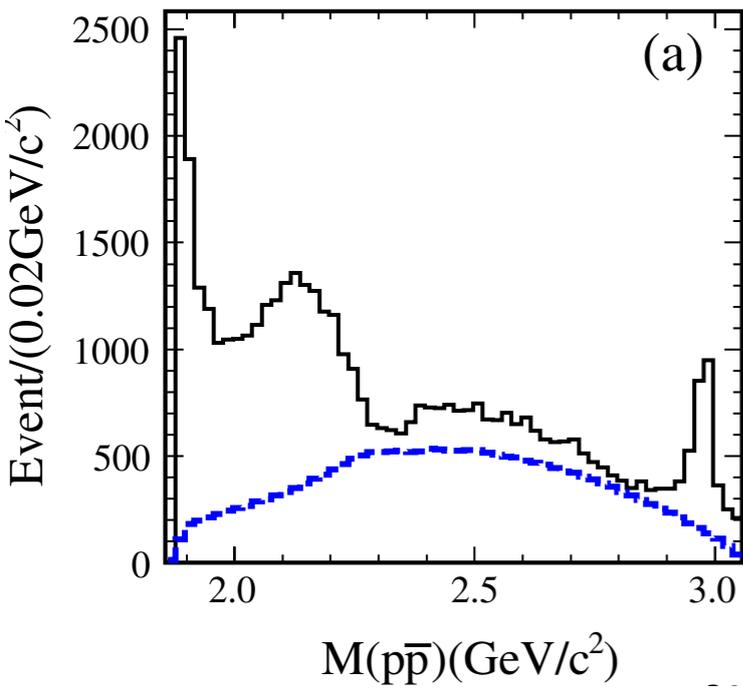
our analysis



- Z的宽度：0 → Z的实际宽度导致本底增加
- 统计显著性的计算方法
- 以上两点对最终结果有较大影响，还在仔细检查中。

BESIII 物理分析

新型强子的寻找和研究



问题:

- ppb 阈结构(多夸克态、胶球)?
- ppb 和 X(1835) 是否为同一来源?
- X(2370) 为胶球?
-

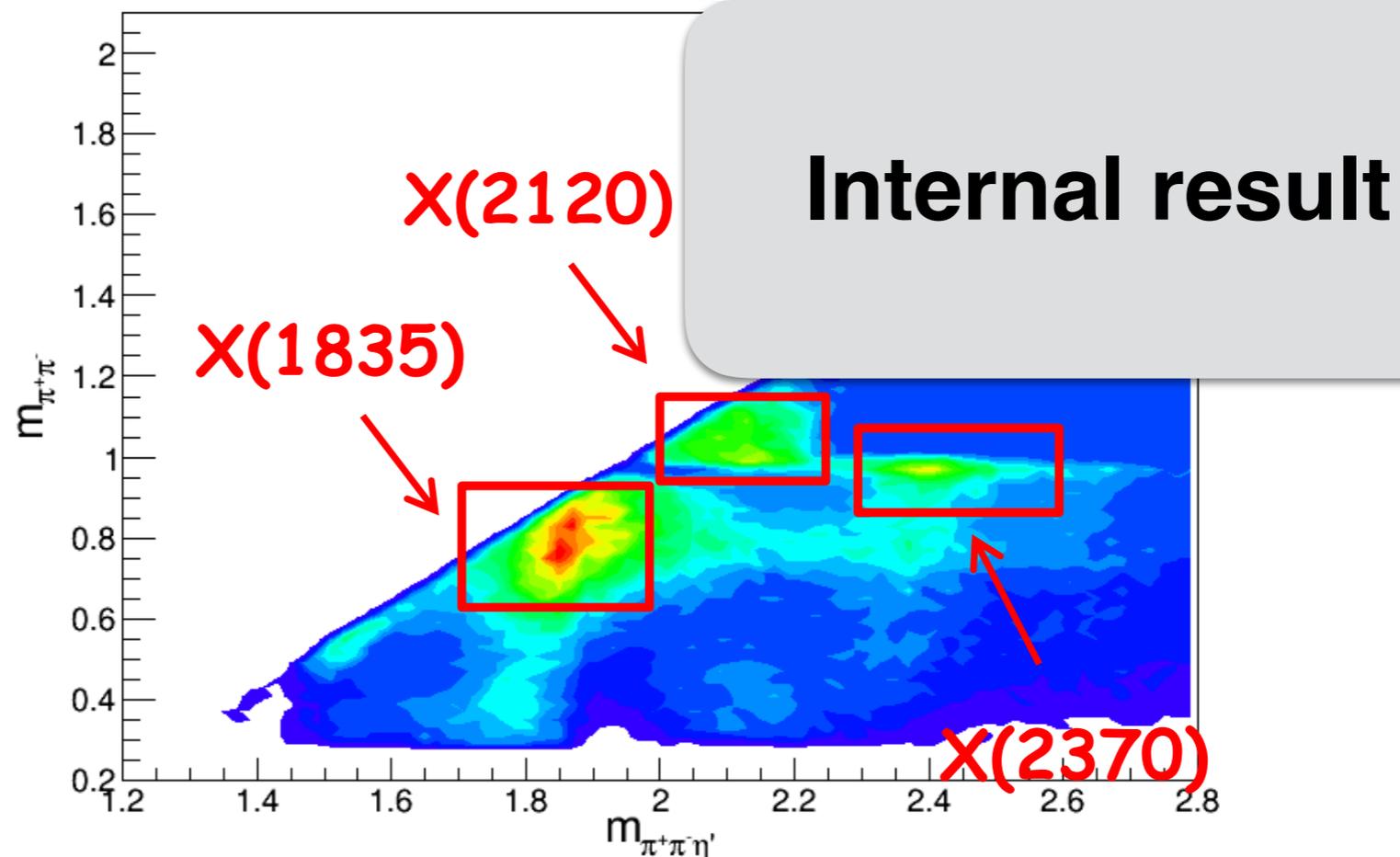
		$\gamma X(\pi\pi\eta')$	$\gamma X(\pi\pi\eta)$	$\gamma X(KK\eta')$	$\gamma X(KK\eta)$	$\omega X(\pi\pi\eta')$	$\omega X(\pi\pi\eta)$
X(1835)		***	***	×	***	×	?
	$X \rightarrow a_0(980)Y$	×	***	×			
	$X \rightarrow f_0(980)Y$	**	***	×	***		
X(2370)		***	***	***	**	×	×
	$X \rightarrow a_0(980)Y$	×	***	?			
	$X \rightarrow f_0(980)Y$	***	×	?	?		
η_c		***	***	***	***	×	×
	$X \rightarrow a_0(980)Y$	×	***	?			
	$X \rightarrow f_0(980)Y$	***	×	?	***		

*** Observed ** Maybe observed ? Unknown × Not observed

***s Observed but suppressed

通过不同的产生和衰变模式，正在进行这些新粒子进行全面的研究

X(1835)/X(2370)进一步研究，可能的新共振态 X(?)



正在研究:

X(2370) 与 $f_0(980)$ 的关联

可能存在新共振结构 X(?) 以及与 $\pi\pi$ 共振态的关联

创新点 (本底的估计至关重要):

- 引入新的本底扣除方法，成功地扣除可约本底的30%
- 提出新的本底估计方法，可以给出更加精确的估计并运用于全相空间

主导/主要贡献作者文章列表

1. Search for new phenomena in high-mass diphoton final states using 37fb-1 of proton-proton collisions collected at $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ with the ATLAS detector
2. Evidence for the associated production of the Higgs boson and a top quark pair with the ATLAS detector
3. Measurement of Higgs boson properties in the diphoton decay channel with 36 fb⁻¹ of pp collision data at $\sqrt{s}=13\text{ TeV}$ with the ATLAS detector
4. Measurement of the photon identification efficiencies with the ATLAS detector using LHC Run 2 data collected in 2015 and 2016
5. Measurements of Higgs boson properties in the diphoton decay channel using 80 fb⁻¹ of pp collision data at $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ with the ATLAS detector
6. Combined measurements of Higgs boson production and decay using up to 80 fb⁻¹ of proton--proton collision data at $\sqrt{s}= 13\text{ TeV}$ collected with the ATLAS experiment
7. Measurement of Higgs couplings with the ATLAS Experiment at the HL-LHC

序号	公开结果类型	索引号	贡献
1	文章	PLB 775 (2017) 105	本底估计和统计分析
2	文章	PRD 97 (2018) 072003	统计分析
3	文章	PRD 98 (2018) 052005	优化、本底估计.../editor(执笔者)
4	文章	arxiv: 1810.05087 (EPJC)	analysis convener/editor(执笔者)
5	会议文集	ATL-CONF-2018-28	本底估计, unfolding, 统计分析
6	会议文集	ATL-CONF-2018-31	统计分析/editor(执笔者)
7	公开文集	PB-HIGG-2018-21	完整分析/editor(执笔者)

会议报告

国际会议报告 2 个

1. Higgs coupling, mass and width measurement (ATLAS + CMS), LHCP@2018
2. Higgs property prospect from LHC and future colliders, IAS2018@2018

国内会议报告 7 个

1. Higgs property measurement in di-photon final states, CLHCP@2017
2. Search for the $Z\gamma$ decay mode of Higgs boson and for new high-mass resonances in pp collisions at 13 TeV with the ATLAS detector, CLHCP@2017
3. Combined Higgs Boson Coupling Measurements with 2015 and 2016 data, CLHCP @2017
4. Higgs property measurements in di-photon final state, Chinese High Energy Physics Conference 2018
5. Short summary of Higgs measurement, Topical Mini-Workshop of the new Physics at the Terascale 2018
6. Higgs property measurement @ ATLAS, TeV physics 2018
7. Further study on the X(1835) and the X(2370), BESIII973 Light hadron spectrum workshop 2018

基金情况

- 中组部青年千人计划 (2016年入选)
- 参加基金委/科技部重大国际合作项目 (2016-2020)
 - 负责Higgs性质的研究 (100万元)
 - 负责科技部合作项目Higgs到玻色子性质的研究 (总经费235万元)

总结

◆ ATLAS 物理分析:

- ◆ 担任ATLAS光子鉴别组convenor。在光子鉴别中做出了重要贡献，包括光子鉴别、效率测量、光子转化研究以及光子误判等等，为发表与光子有关的物理结果提供了有利保障。
- ◆ 进行广泛的Higgs性质测量， $H \rightarrow \gamma\gamma$ 中耦合常数、最简化模式截面、基准/微分截面的测量，Higgs性质联合测量，t-Yukawa 耦合测量，其中在基准、微分截面测量中发挥主导作用。
- ◆ 担任 $H/X \rightarrow Z\gamma$ 组的Analysis Contact, 在分析中发挥的主导作用

◆ CEPC 物理分析: 改进 $H \rightarrow \mu\mu$ 分析，从而给出更正确的精确估计

◆ BESIII 物理分析: 通过不同的产生和衰变模式，正在对一系列新粒子($X(1835)/X(2370)/X(?)$)进行全面的

在过去一年共发表期刊文章4篇，Conf-Note 3篇，内部Note 7篇。国际会议报告 2个，国内报告7个。

Backup

Internal conversion

Rare top example

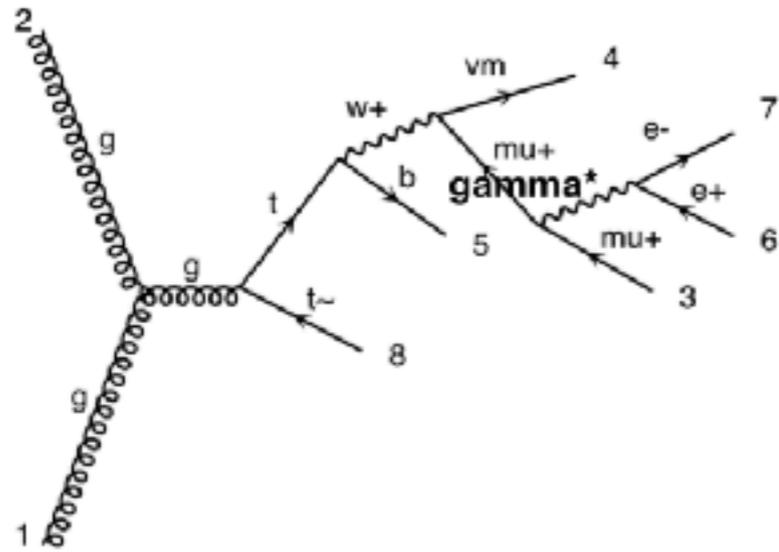


diagram 8

QCD=2, QED=4

tth example

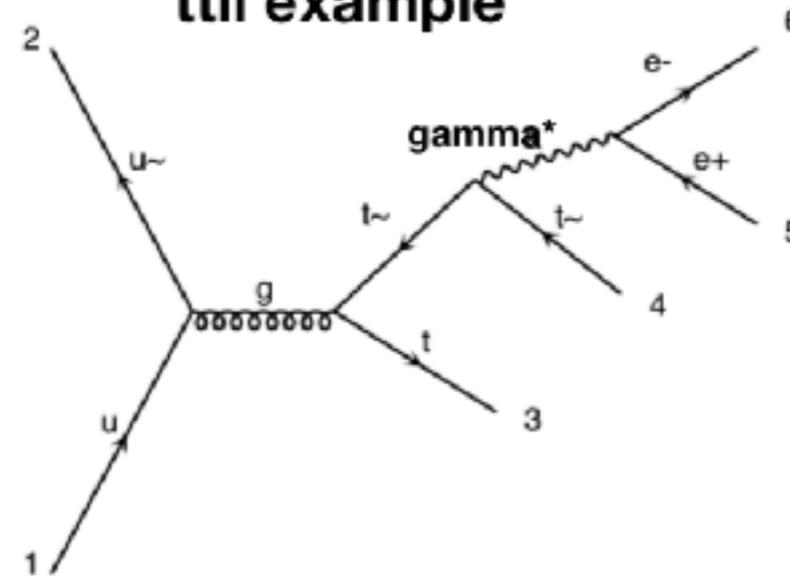


diagram 1

QCD=2, QED=2