



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics Chinese Academy of Sciences



2022年9-12月考核报告

报告人：赫明旭

导师：黄燕萍

实验物理中心 高能量物理组

目前正在参与LHC上ATLAS的物理分析工作:

- 使用 $Z \rightarrow ee$ 事例刻度电子的能量
- 寻找高质量 $Z\gamma$ 本征态
- Higgs自耦合性质的联合测量
- ATLAS和CMS实验联合测量 $H \rightarrow Z\gamma$

电子能量刻度

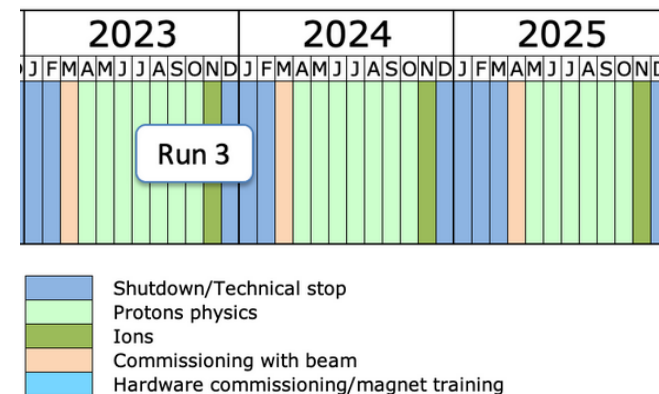
研究背景

- LHC的Run 3已经完成了2022年的取数
- ATLAS的离线软件也有一个大版本的升级 (Release 21 → Release 22)
- 电子能量的精确测量是很多物理分析的基础

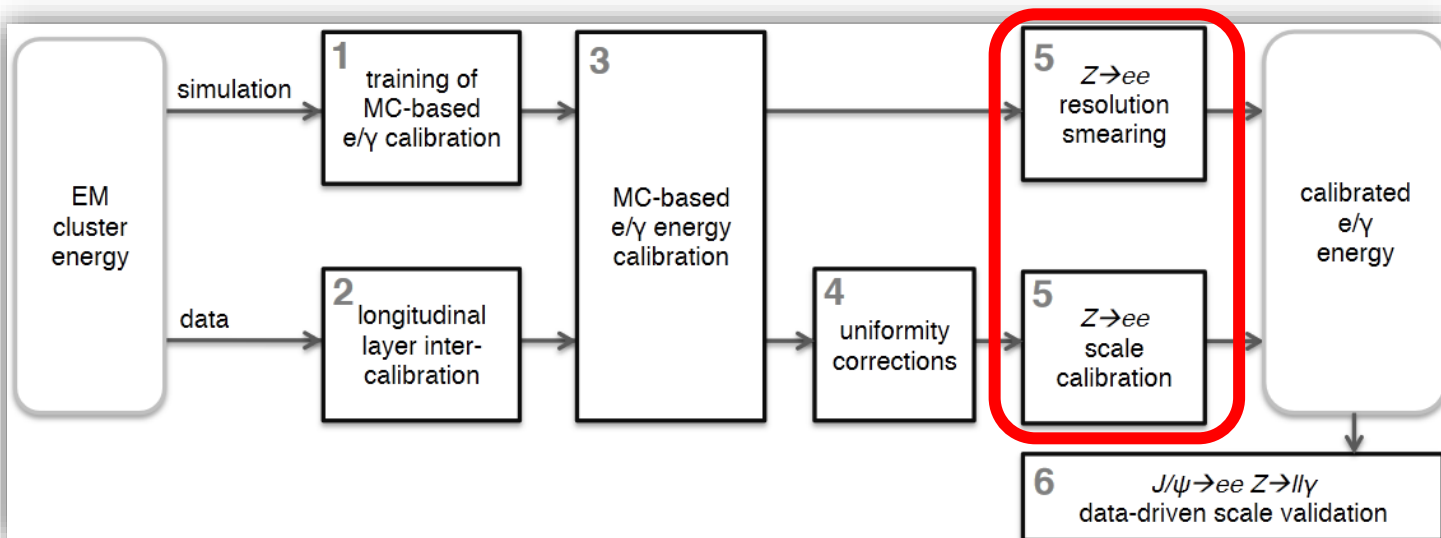
研究动机

- 在Release 22的软件环境下用Run2数据, 通过 $Z \rightarrow ee$ 事例修正真实数据 (data) 和MC模拟数据之间的电子能量差别
- 为Run3提供电子的能量刻度因子 α , 能量展宽常数项 C 的预推荐值

Run 3取数计划



电子光子能量刻度流程



能量刻度因子和展宽常数项的定义

The scale factor α is the relative energy scale difference between data and MC

The constant term C smears the MC energy resolution to the one of data

Propagate the electron energy scale at object level to the di-electron mass shape agreement between data and MC

Definition of α :

$$E^{data} = E^{MC} (1 + \alpha(\eta))$$

$$\alpha(\eta_1, \eta_2) = \frac{\alpha(\eta_1) + \alpha(\eta_2)}{2}$$

$$m_{ee}^{data} = m_{ee}^{MC} (1 + \alpha(\eta_1, \eta_2))$$

Definition of C :

$$\left(\frac{\sigma(E)}{E}\right)_{data} = \left(\frac{\sigma(E)}{E}\right)_{MC} \oplus C(\eta)$$

$$C^2(\eta_1, \eta_2) = \frac{C^2(\eta_1) + C^2(\eta_2)}{2}$$

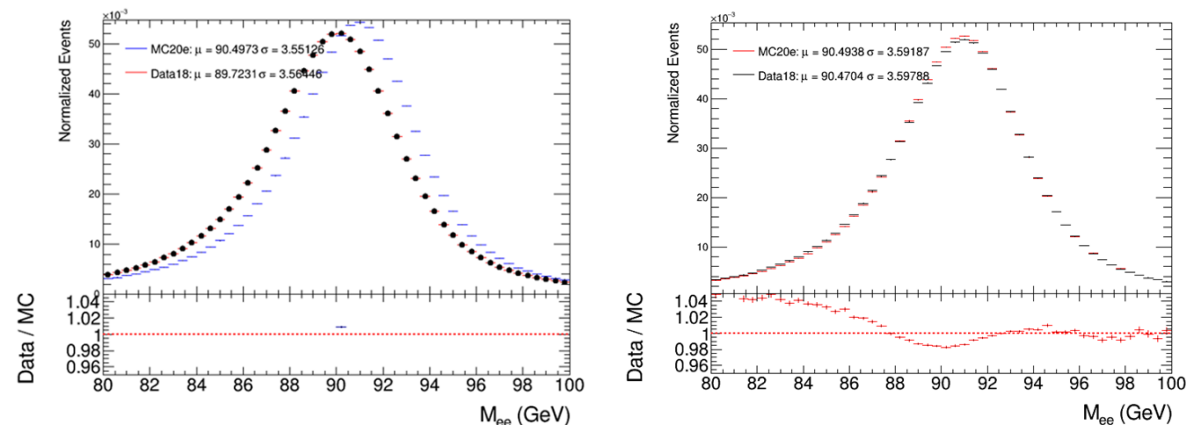
$$\left(\frac{\sigma(m)}{m}\right)_{data}^2 = \left(\frac{\sigma(m)}{m}\right)_{MC}^2 + \frac{C^2(\eta_1, \eta_2)}{2}$$

电子能量刻度

研究进展

- 这项工作是我的资格认证 (QT)
- 作为ATLAS的Run3的pre-recommendation供物理分析使用
- 所有的结果已经记录在[Supporting Note](#)中, 正在进行QT完成的审核

经过刻度前后的双电子不变质量谱

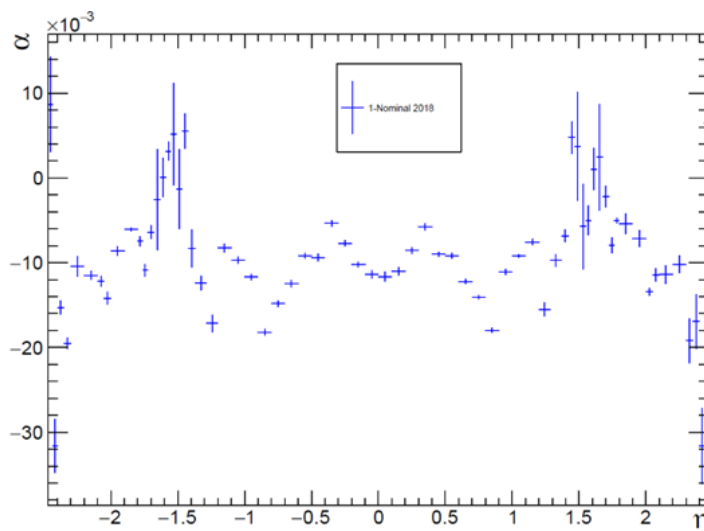


考虑的系统误差

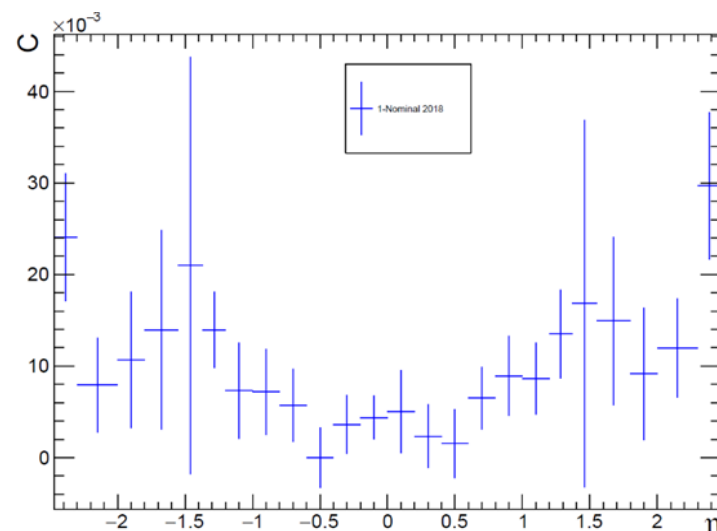
Four systematic source are considered:

- Electron ID: **tight** likelihood ID rather than medium
- Mass window: m_{ee} in **[87, 94.5 GeV]** rather than [80, 100] GeV
- The envelope of the 17 and 18 results
- The energy difference between MC20 (for Run 2 data) and MC21 (for Run 3 data)

在64个 η 区间测量能量刻度因子



在24个 η 区间测量能量展宽常数项



寻找高质量 $Z\gamma$ 本征态 X

研究动机

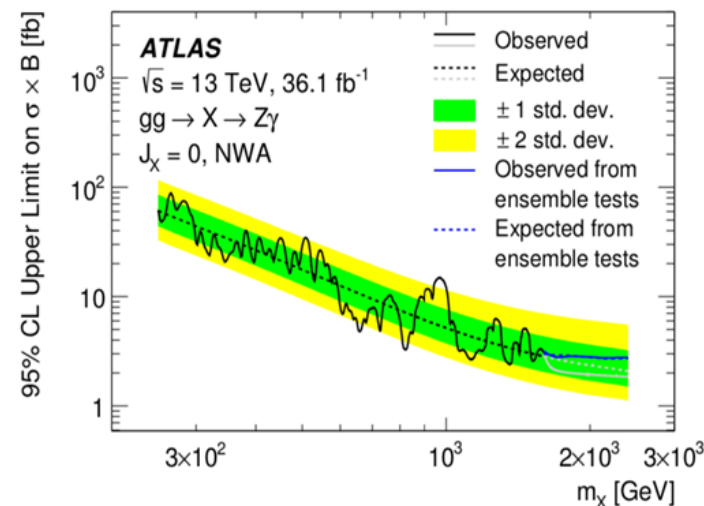
- 通过寻找高质量 $Z\gamma$ 本征态 X 找到超出标准模型的新物理
- 用 $Z(\rightarrow ll)\gamma$ 末态寻找寻找此窄本征态 X

研究进展

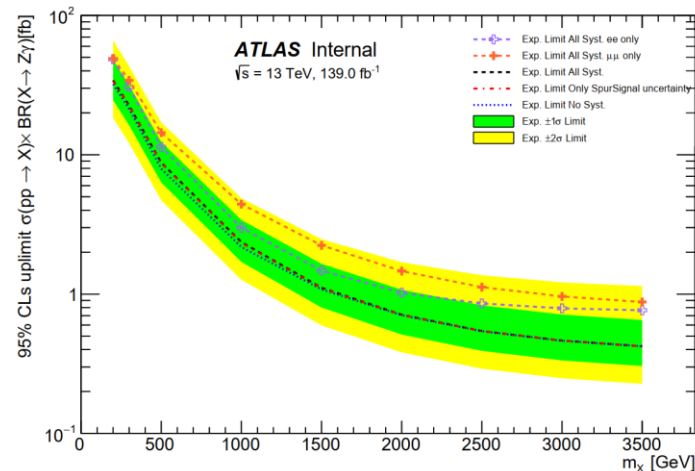
- 分析的流程和研究方法已经确定，所有的结果已经收入到Supporting Note中：[CDS entry](#)，本人负责note的编辑工作
- 召开了三次EB会议，已经申请unblinding，正在回复unblinding approval会议中收到的comments
- 预计在今天的Moriond会议发表
- 在分析的会议中给了10次报告，在EB会议中给了3次报告，在Approval会议做了[unblinding approval报告](#)

Previous publication

[[JHEP 10 \(2017\) 112](#)]



Full Run2 results



ATLAS Note

ANA-HIGG-2018-44-INT1

28th November 2022



Draft version 0.5

Search for heavy resonances in di-lepton plus photon final states in 139 fb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector

Alves Lucio Fabio^b, Dahbi Salah-Eddine^d, He Mingxu^a, Huang Yanping^a, Jin Shan^b, Lu Gangcheng^a, Mellado Bruce^d, Mokgatitswane Gaogalalwe^d, Phuti Rapheeha^d, Proklova Nadezda^c, Ran Kunlin^c, Ruan Xifeng^d

^aJHEP, Beijing, China

^bNanjing University, Nanjing, China

^cUniversity of Pennsylvania, Philadelphia, USA

^dUniversity of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa

^eDeutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg, Germany

$X \rightarrow Z\gamma$ 的寻找

研究进展

➤ 电子选择条件的优化

- boosted Z产生的Merged双电子在默认的粒子鉴别 (ID) 下选择效率很低
- 使用XGBoost训练得到多变量的电子ID, 提升了高X质量区间电子的选择效率, non-Z本底也被很好的压低

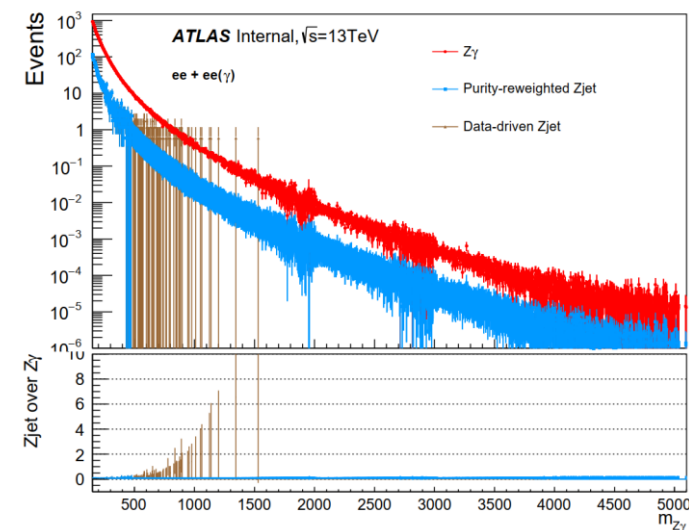
➤ Merged双电子的重建优化

- boosted Z产生的Merged双电子, 动量较低的一个有一定几率会被重建成光子
- 引入额外的 $e + e(\gamma)$ channel来重建 $Z \rightarrow ee$ 过程, $e(\gamma)$ 是被误重建为光子的电子, 提升了电子的重建效率

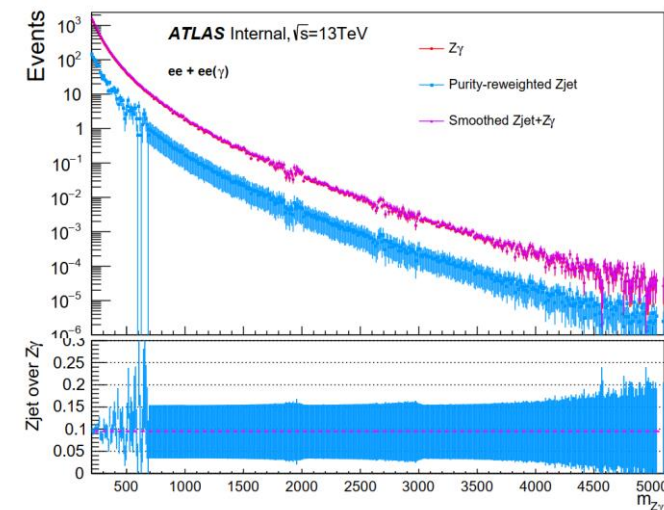
➤ 本底模板的优化

- 由于高质量区间的统计量很低, 利用不同质量区间的 $Z\gamma$ 本底的比例 (purity) 以及MC估计得到的 $Z\gamma$ 本底的形状来估计Zjet本底

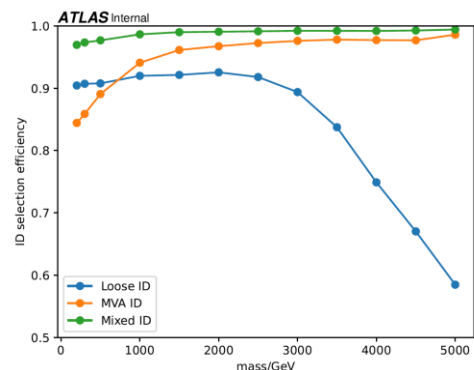
$Z\gamma$ 和Zjet本底



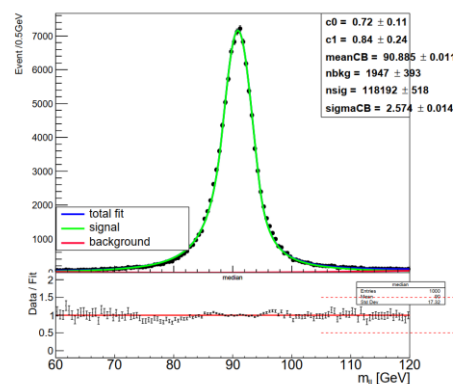
平滑化后的最终本底



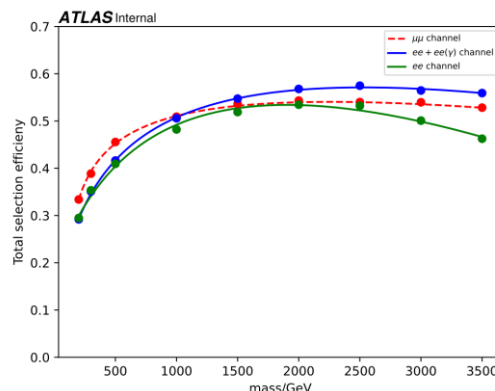
不同电子ID的选择效率



Zee质量谱

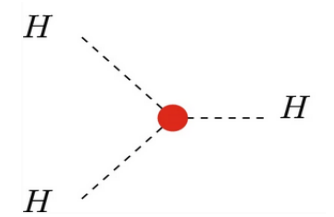


ee, ee+ee(gamma)和mu mu channel的选择效率



Higgs自耦合性质的联合测量

Higgs三线自耦合



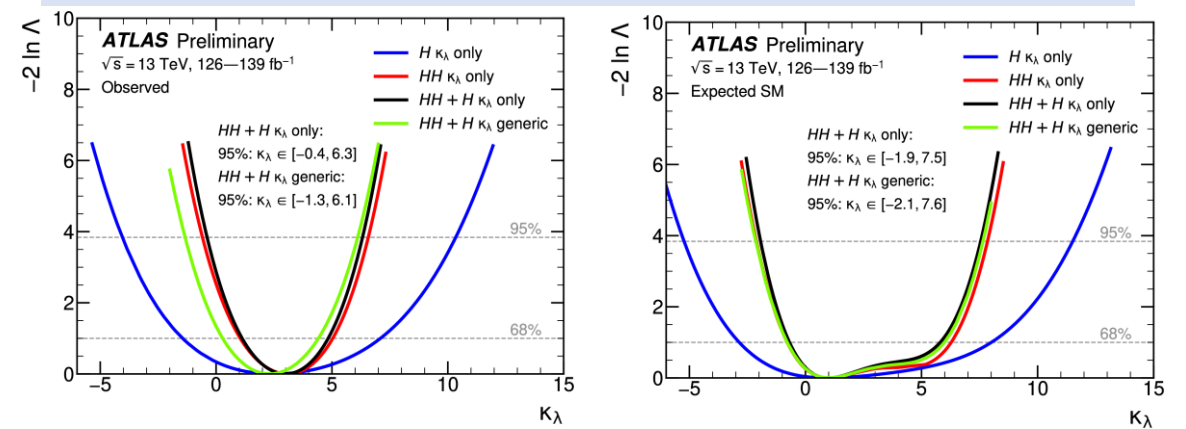
研究动机

- Higgs与矢量玻色子和费米子的耦合已经通过单Higgs的产生和衰变过程被发现，但是Higgs的自耦合还没有被实验所证实
- 通过对自耦合的modifier $\kappa_\lambda \equiv \frac{\lambda_{HHH}}{\lambda_{SM}^{HHH}}$ 的限制来研究Higgs自耦合的性质
- 在ATLAS实验中Higgs的自耦合可以通过双Higgs产生过程被直接证明
- 也可以通过NLO电弱修正的单Higgs产生和衰变过程间接证明

研究进展

- 首次使用了ATLAS收集到的126-139 fb⁻¹全部Run 2数据
 - 对三个最主要双Higgs衰变道进行联合测量，对单Higgs和双Higgs过程进行联合测量
 - 引入单Higgs过程减小了测量结果对模型的依赖
 - 给出了截至目前对Higgs自耦合最严格的约束
- 文章已经在11月2日提交到PLB: [arXiv:2211.01216](https://arxiv.org/abs/2211.01216)
- 在第十六届TeV物理工作组学术研讨会和CLHCP2022上做了2个会议报告

Observed and expected value of the test statistics for κ_λ



Observed value and 95% CL limits of κ_λ

Combination assumption	Obs. 95% CL	Exp. 95% CL	Obs. value ^{+1σ} _{-1σ}
HH combination	-0.6 < κ_λ < 6.6	-2.1 < κ_λ < 7.8	$\kappa_\lambda = 3.1^{+1.9}_{-2.0}$
Single-H combination	-4.0 < κ_λ < 10.3	-5.2 < κ_λ < 11.5	$\kappa_\lambda = 2.5^{+4.6}_{-2.0}$
HH+H combination	-0.4 < κ_λ < 6.3	-1.9 < κ_λ < 7.5	$\kappa_\lambda = 3.0^{+1.8}_{-1.9}$
HH+H combination, κ_t floating	-0.4 < κ_λ < 6.3	-1.9 < κ_λ < 7.6	$\kappa_\lambda = 3.0^{+1.8}_{-1.9}$
HH+H combination, $\kappa_t, \kappa_V, \kappa_b, \kappa_\tau$ floating	-1.3 < κ_λ < 6.1	-2.1 < κ_λ < 7.6	$\kappa_\lambda = 2.3^{+2.1}_{-2.0}$

ATLAS和CMS实验联合测量 $H \rightarrow Z\gamma$

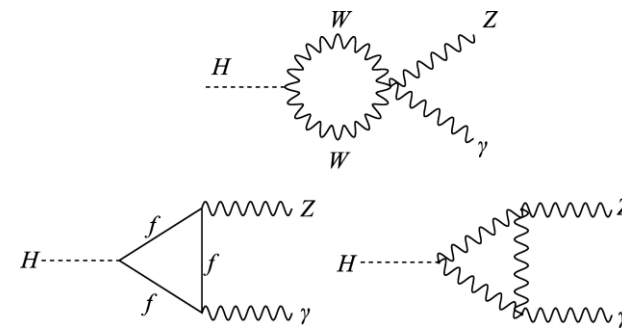
研究背景

- ATLAS和CMS实验分别对 $H \rightarrow Z\gamma$ 的衰变过程进行了测量，结果的误差由统计误差主导
 - ATLAS ([Phys. Lett. B 809 \(2020\) 135754](#)):
 - 信号强度 $\mu = 2.0_{-0.9}^{+1.0} (\pm 0.9(\text{stat.})_{-0.3}^{+0.4}(\text{syst.}))$,
 - $\mu < 3.6$ (2.6 in SM exp) at 95% CL
 - CMS ([CMS-HIG-19-014](#) submitted to JHEP):
 - $\mu = 2.4 \pm 0.9$ ($_{0.9}^{0.8}(\text{stat})_{-0.2}^{+0.3}(\text{syst})$)
 - ATLAS和CMS分别得到了 2.2σ 和 2.7σ 的信号显著性

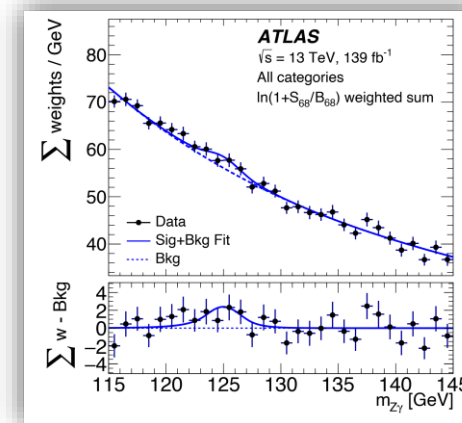
研究内容

- 联合ATLAS和CMS收集到的数据，能够更精确的测量信号强度和信号显著性
 - 解决了ATLAS和CMS使用的workspace格式不相同带来的技术问题
 - CMS使用了discrete profiling方法估计本底形状误差
 - ATLAS使用spurious signal方法估计本底形状的错误
 - 研究不同Higgs质量对结果的影响
 - 进行了ATLAS和CMS分析中的理论误差的关联研究

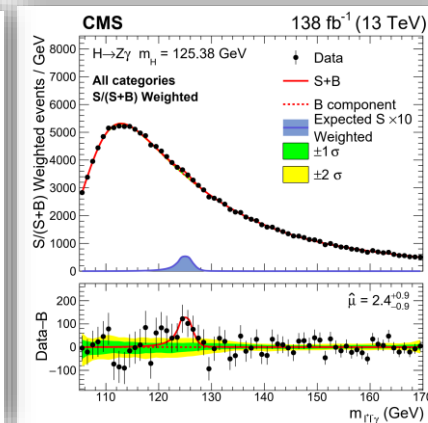
$H \rightarrow Z\gamma$ decay modes



[Phys. Lett. B 809 \(2020\) 135754](#)



[CMS-HIG-19-014](#)



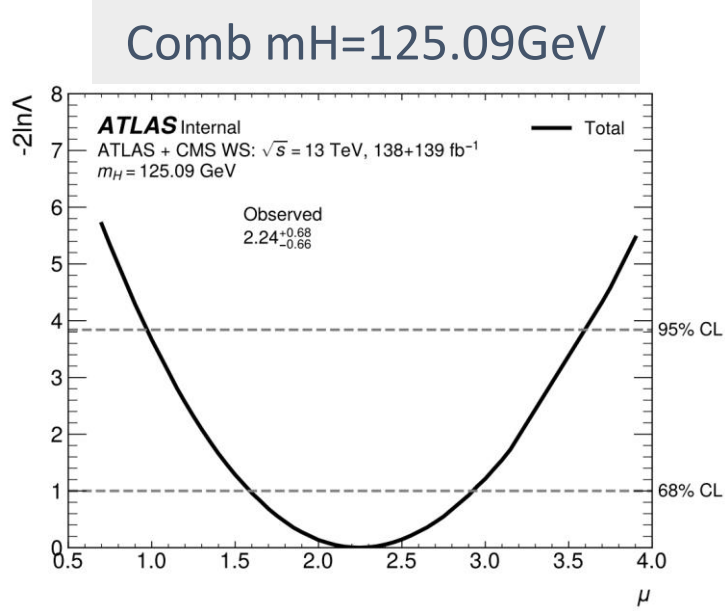
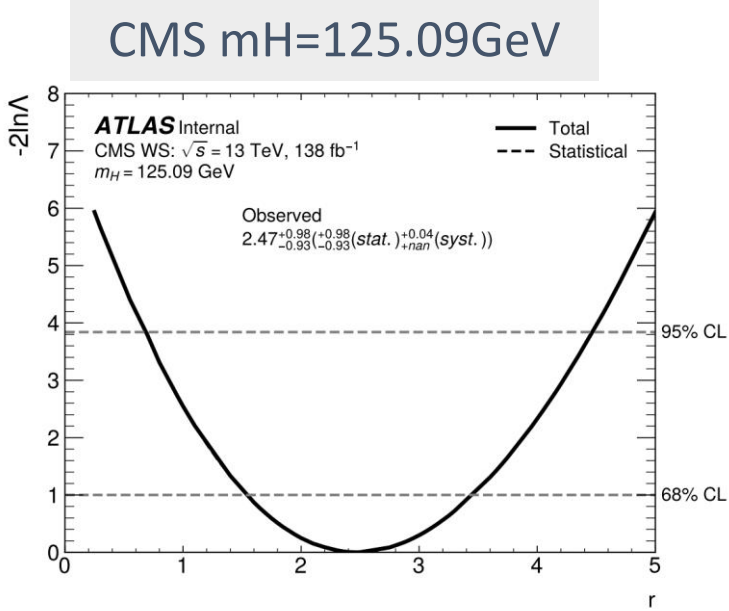
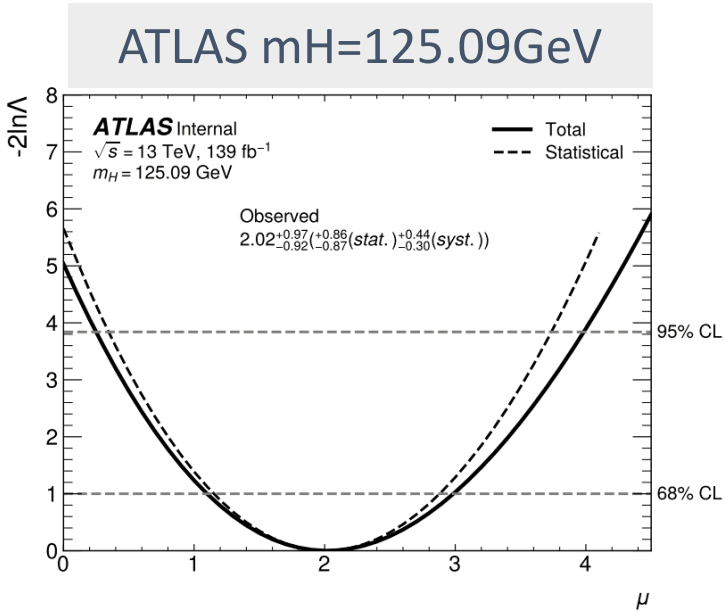
ATLAS和CMS实验联合测量 $H \rightarrow Z\gamma$

信号强度测量结果

研究进展

- 使用了不同的误差关联方法对ATLAS和CMS的数据进行联合
- 取得ATLAS和CMS的初步联合测量结果：信号显著性 3.5σ
- 不同的Higgs质量对信号强度和显著性的影响可以忽略
- 在分析的会议中给了3次报告

Experiment	mass (GeV)	μ	95% CL limit
ATLAS	125.09	$2.02^{+0.97}_{-0.92}$	< 3.657
ATLAS	125.4	$1.95^{+0.96}_{-0.91}$	< 3.567
CMS	125.09	$2.47^{+0.98}_{-0.93}$	< 4.129
CMS	125.38	$2.45^{+0.96}_{-0.90}$	< 4.086
Combined	125.09	$2.24^{+0.68}_{-0.66}$	< 3.336
Combined	125.4	$2.21^{+0.67}_{-0.65}$	< 3.325



总结

➤ 电子能量刻度

- 刻度结果作为ATLAS的Run3的pre-recommendation供物理分析使用
- 分析流程和结果已经记录到Supporting Note中，正在进行QT的审核

➤ 寻找高质量 $Z\gamma$ 本征态 X

- 优化了电子选择条件和重建方法，提高了选择效率，提出了新的本底估计方法
- 分析的流程和研究方法已经确定，正在进行unblinding approval
- 所有的结果已经收入到Internal note中：[CDS entry](#)，本人负责note的编辑工作
- 在分析的会议中给了10次报告，在EB会议中给了3报告，在approval meeting中给了unblinding approval报告

➤ Higgs自耦合性质的联合测量

- 首次使用全部Run 2数据对单Higgs和双Higgs过程进行联合测量，给出了截至目前对Higgs自耦合最严格的约束
- 完成了所有的测量，文章已经提交到PLB：[arXiv:2211.01216](#)
- 在第十六届TeV物理工作组学术研讨会和CLHCP2022做了2次会议报告

➤ ATLAS和CMS实验联合测量 $H \rightarrow Z\gamma$

- 解决了ATLAS和CMS分析的workspace格式不同的技术问题，进行了理论误差的研究
- 取得ATLAS和CMS的初步联合测量结果：信号显著性 3.5σ
- 在分析的会议中给了3次报告

