



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



# 2023年1-4月 考核报告

报告人：赫明旭

导师：黄燕萍



# 研究课题

## ◎ ATLAS物理分析工作

- ATLAS实验上电子光子能量刻度
- 寻找高质量 $Z\gamma$ 本征态 (X)
- 单Higgs和双Higgs联合测量自耦合性质
- ATLAS和CMS联合测量 $H\rightarrow Z\gamma$ 过程
- $H\rightarrow\gamma\gamma$ 过程中双光子顶点的研究



# ATLAS实验上电子光子能量刻度

## 研究背景

- 电子能量的精确测量是很多物理分析的基础，电子的能量刻度是必不可少的
- 其中最重要的一步也是最终的能量刻度：用 $Z \rightarrow ee$ 过程来刻度电子的能量

## 研究内容

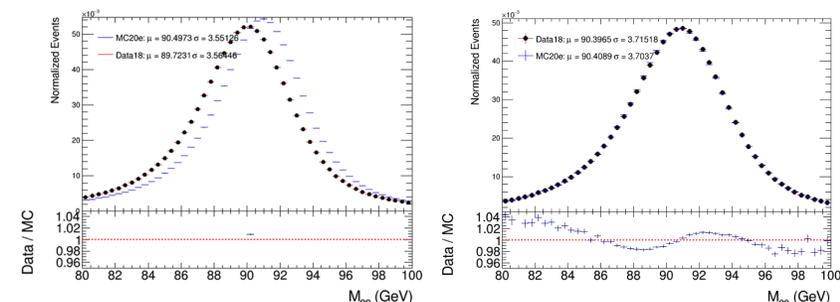
- 使用第二轮全部数据，通过 $Z \rightarrow ee$ 事例修正真实数据和MC模拟数据之间的电子能量差别

## 研究进展

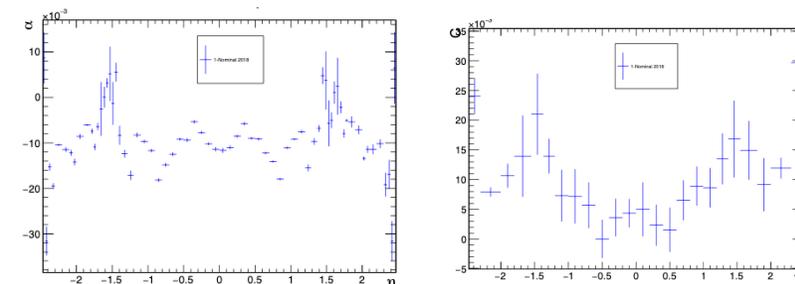
- 本人的Qualification task (QT)：为第三轮取数提供电子的能量刻度及能量展宽，从而保障物理分析
- **首次为第三轮取数提供了电子光子的能量刻度，已经开始在ATLAS组内使用**

- 在1月给了最终的QT报告，完成QT

双电子不变质量谱修正前后的分布  
左：修正前 右：修正后



能量刻度因子的测量值



# 寻找衰变到 $Z\gamma$ 末态的高质量本征态 (X)

## 研究背景

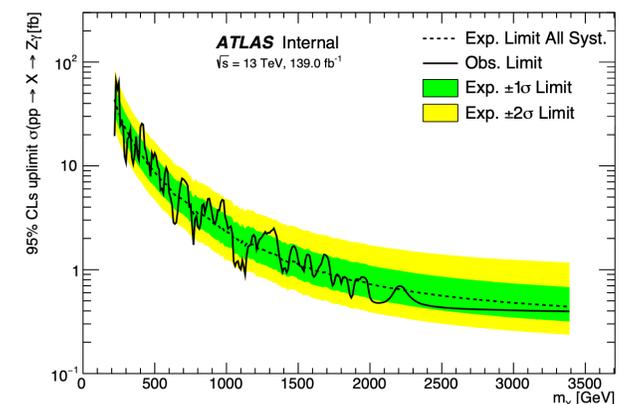
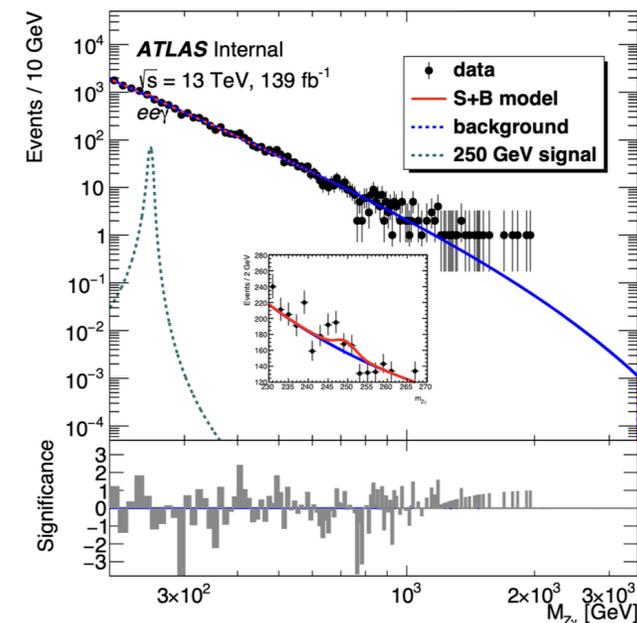
- 寻找衰变到 $Z\gamma$ 末态的高质量本征态 (X) 是寻找超越标准模型的新物理的一个重要线索
- $Z$ 衰变到两轻子末态：高选择效率，低本底

## 研究内容

- 使用ATLAS第二轮收集到的数据，对可能存在的超出标准模型共振态X进行 $\sigma(pp \rightarrow X)BR(X \rightarrow Z\gamma)$ 的95%置信区间的上限进行测量，未发现超出标准模型的证据[link]
- 用机器学习方法训练得到电子的粒子鉴别条件，提升了高动量电子的选择效率
- 利用电子和误重建为光子的电子来重建Z玻色子，提升了Z玻色子的重建效率

## 分析现状

- 已经通过unblinding approval, 正在进行analysis approval
- 预计在2023年夏季发表文章
- 担任分析的internal note editor, 代表组内给了unblinding approval以及analysis approval的报告



# 单Higgs和双Higgs联合测量自耦合性质

## 研究背景

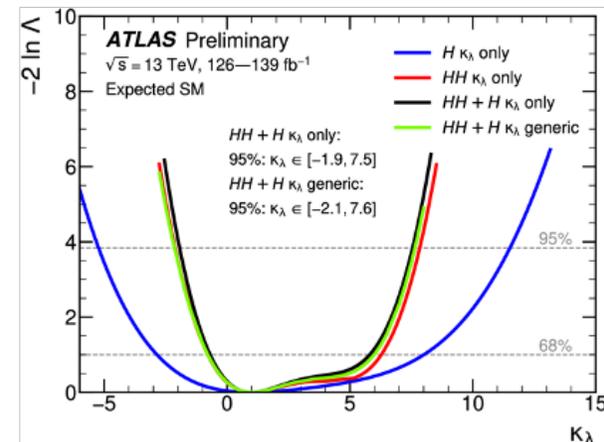
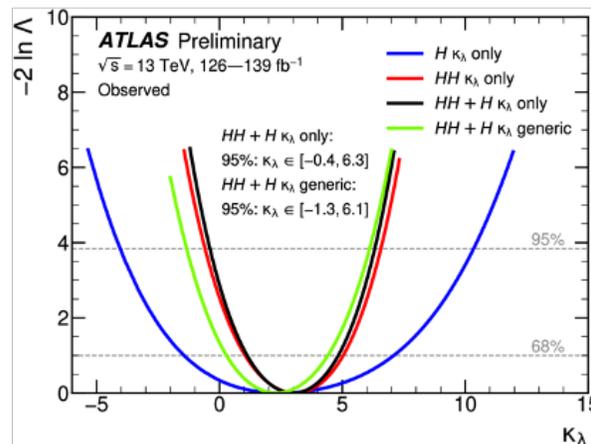
- Higgs自耦合还没有被实验所证实
- ATLAS实验Higgs的自耦合可以通过双Higgs产生过程被直接测量，也可以通过NLO电弱修正的单Higgs产生和衰变过程间接测量，引入单Higgs过程减小了测量结果对模型的依赖

## 分析现状

- 首次使用了ATLAS收集到全部第二轮取数数据
- 对三个最主要双Higgs衰变道以及对单Higgs各个可用的衰变道进行联合测量，给出了截至目前对Higgs自耦合最严格的约束

## 发表了会议文章，期刊文章已经被PLB接收：

[arXiv:2211.01216](https://arxiv.org/abs/2211.01216)



Combination assumption	Obs. 95% CL	Exp. 95% CL	Obs. value $^{+1\sigma}_{-1\sigma}$
$HH$ combination	$-0.6 < \kappa_\lambda < 6.6$	$-2.1 < \kappa_\lambda < 7.8$	$\kappa_\lambda = 3.1^{+1.9}_{-2.0}$
Single- $H$ combination	$-4.0 < \kappa_\lambda < 10.3$	$-5.2 < \kappa_\lambda < 11.5$	$\kappa_\lambda = 2.5^{+4.6}_{-3.9}$
$HH+H$ combination	$-0.4 < \kappa_\lambda < 6.3$	$-1.9 < \kappa_\lambda < 7.5$	$\kappa_\lambda = 3.0^{+1.8}_{-1.9}$
$HH+H$ combination, $\kappa_t$ floating	$-0.4 < \kappa_\lambda < 6.3$	$-1.9 < \kappa_\lambda < 7.6$	$\kappa_\lambda = 3.0^{+1.8}_{-1.9}$
$HH+H$ combination, $\kappa_t, \kappa_V, \kappa_b, \kappa_\tau$ floating	$-1.3 < \kappa_\lambda < 6.1$	$-2.1 < \kappa_\lambda < 7.6$	$\kappa_\lambda = 2.3^{+2.1}_{-2.0}$

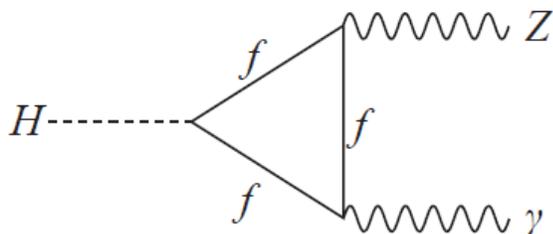


# ATLAS和CMS联合测量 $H \rightarrow Z\gamma$ 过程

## 研究背景

- 标准模型中Higgs可以衰变到 $Z\gamma$ ，更好地探索和理解Higgs的圈图相互作用性质以及探测超出SM的理论
- 利用Z衰变到两轻子末态的过程，有更高的选择效率和更少的本底
- 使用第二轮取数的数据，Higgs粒子衰变到 $Z\gamma$ 的过程在ATLAS实验中的信号显著性为 $2.0\sigma$ ，CMS实验得到的信号显著性为 $2.4\sigma$
- 统计量是限制测量精度的最主要的原因

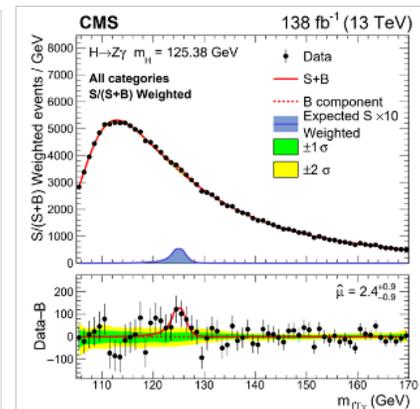
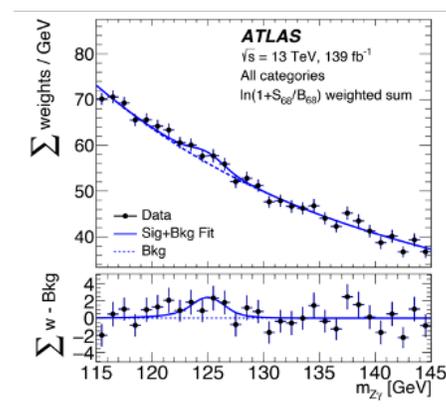
标准模型中 $H \rightarrow Z\gamma$ 的衰变图



## 第二轮取数ATLAS和CMS寻找 $H \rightarrow Z\gamma$ 过程结果

Phys. Lett. B 809 (2020) 135754

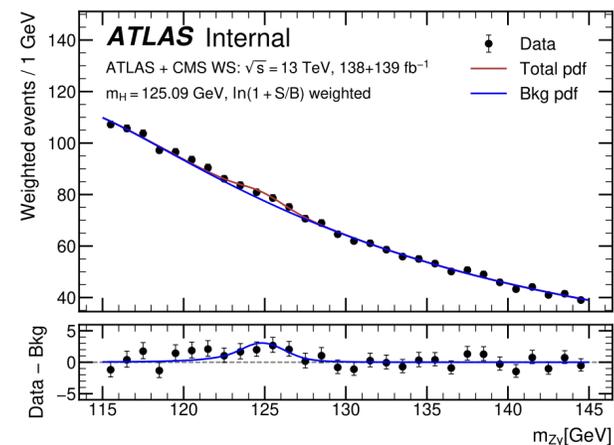
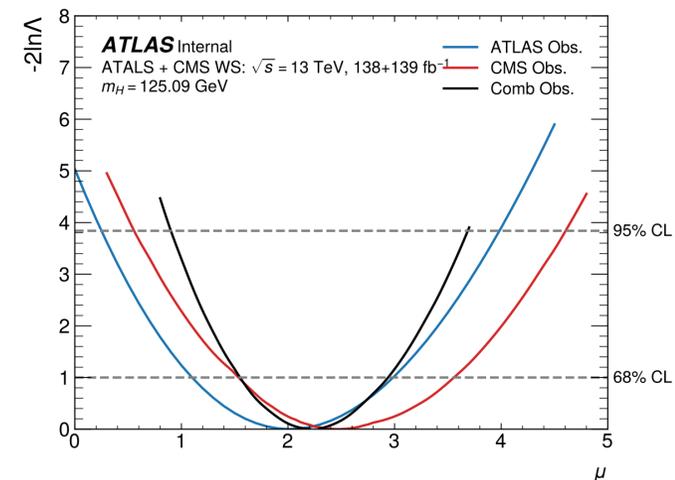
CMS-HIG-19-014



# ATLAS和CMS联合测量 $H \rightarrow Z\gamma$ 过程

## 研究进展

- 联合ATLAS和CMS第二轮取数数据对Higgs衰变到 $Z\gamma$ 的信号强度和显著性进行更精确的测量
  - 解决了ATLAS和CMS使用的数据模型格式不相同带来的技术问题
  - 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
  - 首次观测到 $H \rightarrow Z\gamma$ 的证据 ( $> 3\sigma$ )**
  - 已经完成Higgs组analysis approval，下一步将paper draft提供给ATLAS审核，预计夏季发表
- 担任分析的internal note editor，代表组内给了analysis approval报告



# $H \rightarrow \gamma\gamma$ 过程中双光子顶点重建的研究

## ◎ 研究背景

- ATLAS实验中，中性粒子的顶点通常是选择hardest vertex（横动量最大）
- 在 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 产生截面的测量中需要更精确的测量光子的运动学信息
  - ➔ hardest vertex的正确选择效率较低
  - ➔ 使用converted光子的径迹或者神经网络（NN）对顶点进行选择
  - ➔ 使用选择的顶点对光子的运动学信息进行修正

## ◎ 研究内容

- 使用Run 3的 $H \rightarrow \gamma\gamma$  MC样本，重新估计现有NN方法的正确选择效率
- 使用Run 3的去除径迹信息的 $Z \rightarrow ee$  MC和data样本来模拟 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 过程
  - ➔ 验证NN方法的可靠性



# $H \rightarrow \gamma\gamma$ 过程中双光子顶点的研究

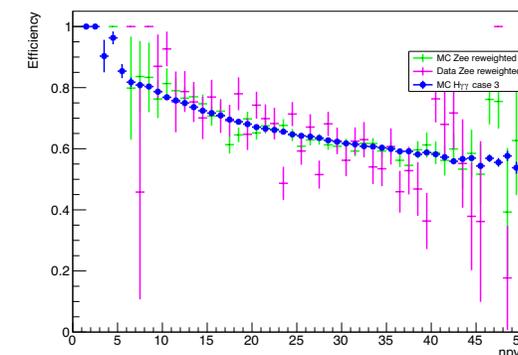
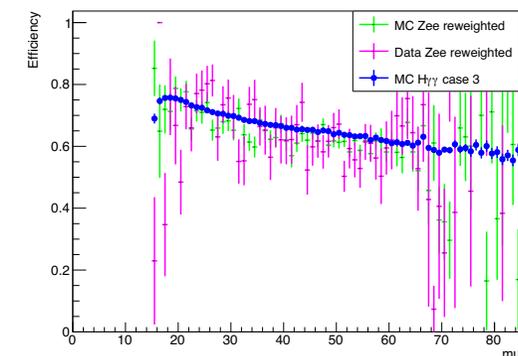
## 研究进展

- NN训练所需的变量无法从官方的 $Z \rightarrow ee$  derivation样本中正确计算
- 对derivation生成过程进行改造, 重新产生customized derivation样本
  - ➡ 十分耗时, 需要大量计算资源和存储空间
- 使用Run 3的全部 $H \rightarrow \gamma\gamma$  MC样本和部分 $Z \rightarrow ee$  MC和data样本取得了顶点正确率的测量结果, 在组内进行报告[[link](#)]
  - ➡  $H \rightarrow \gamma\gamma$ 和 $Z \rightarrow ee$ 的测量结果符合的很好
- 结果已经包含在 $H \rightarrow \gamma\gamma$  fiducial cross section会议文章中: [ATLAS-CONF-2023-003](#)

## 研究计划

- 引入更多的变量, 使用XGBoost进行训练, 期望进一步提高正确率

$H \rightarrow \gamma\gamma$ 和 $Z \rightarrow ee$ 样本中NN顶点的正确率



Sample	$H \rightarrow \gamma\gamma$ MC	$Z \rightarrow ee$ MC	$Z \rightarrow ee$ data
Inclusive correct rate	64.5%	62.8%	63.6%



# 总结

## ● ATLAS实验上电子光子能量刻度

- 首次为第三轮取数提供了电子光子的能量刻度，完成了QT

## ● 寻找高质量 $Z\gamma$ 本征态 (X)

- 使用ATLAS第二轮收集到的数据，对超出标准模型共振态X进行 $\sigma(pp \rightarrow X)BR(X \rightarrow Z\gamma)$ 的95%置信区间的上限进行测量，未发现超出标准模型的证据
- 担任分析的internal note editor，给了[unblinding approval](#)以及[analysis approval](#)的报告
- 正在进行analysis approval，预计在2023年夏季发表文章

## ● 单Higgs和双Higgs联合测量自耦合性质

- 对三个最主要双Higgs衰变道以及对单Higgs各个可用的衰变道进行联合测量，给出了截至目前对Higgs自耦合最严格的约束
- 文章已经被PLB接收：[arXiv:2211.01216](#)

## ● ATLAS和CMS联合测量 $H \rightarrow Z\gamma$ 过程

- 联合ATLAS和CMS第二轮取数数据对Higgs衰变到 $Z\gamma$ 进行测量，首次观测到 $H \rightarrow Z\gamma$ 的证据 ( $> 3\sigma$ )
- 担任分析的internal note editor，代表组内给了[analysis approval](#)报告，已经完成Higgs组analysis approval，预计夏季发表

## ● $H \rightarrow \gamma\gamma$ 过程中双光子顶点的研究

- 使用Run 3的全部 $H \rightarrow \gamma\gamma$  MC样本和部分 $Z \rightarrow ee$  MC和data样本取得了顶点正确率的测量结果
- 结果已经包含在 $H \rightarrow \gamma\gamma$  fiducial cross section会议文章中：[ATLAS-CONF-2023-003](#)

