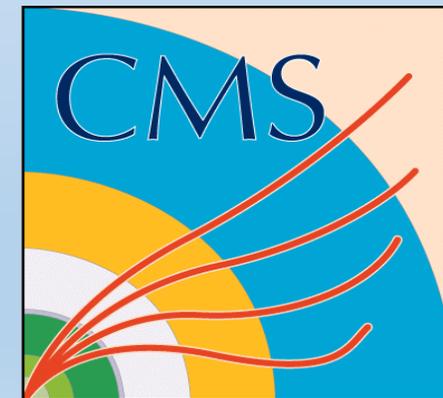
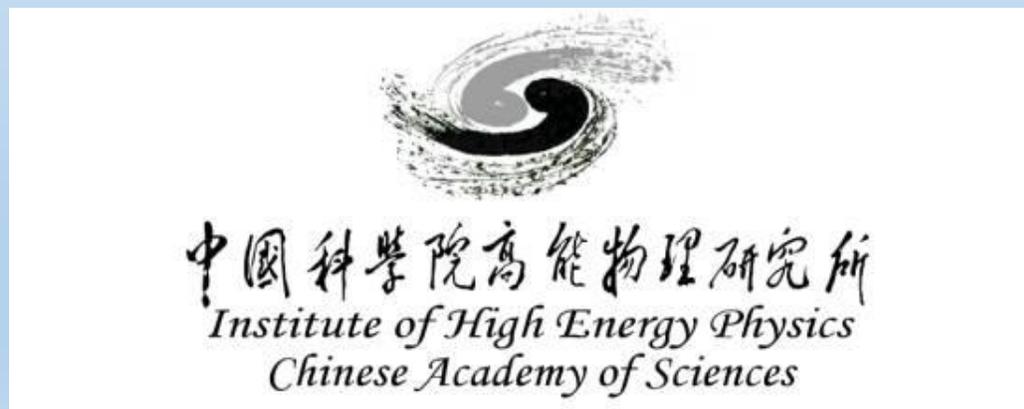


# 中国科学院“粒子物理前沿卓越创新中心” 2019年度考评报告

中科院高能所CMS组 陶军全 ([taojq@ihep.ac.cn](mailto:taojq@ihep.ac.cn))

07/12/2019



# 研究方向和工作内容

- 从事CMS实验的数据分析工作, 长期参与希格斯 ( Higgs ) 粒子的物理分析, 为2012年Higgs粒子的发现作出直接重要贡献; 在**Higgs粒子性质测量**、标准模型测量、**新粒子寻找**方面开展物理研究工作
- **$H \rightarrow \gamma\gamma$** 是LHC上竞争最为激烈的物理分析之一, 代表高能所组长期参加 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 数据分析, 使高能所在CMS  $H \rightarrow \gamma\gamma$ 物理分析中占据一席之地, **分享了 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 组发表的一系列研究成果**
- 通过 $\gamma\gamma$ **末态寻找额外的Higgs粒子**, 来寻求对标准模型的突破; 新粒子寻找也是LHC的主要实验目标之一
- 过去一年的工作内容和进展包括:
  - 1 希格斯粒子性质测量和贡献
  - 2 新粒子寻找结果和进展
  - 3 EGamma能量刻度等其他工作

# 1.1 希格斯质量测量

- 在标准模型中，Higgs 粒子的质量是一个自由参数，其精确测定显著提高了标准模型理论的预言能力，为希格斯其它性质的精确测量检验奠定基础，对超出标准模型的理论给出了更强的限制
- $H \rightarrow \gamma\gamma$ : 基于2016年36fb<sup>-1</sup>数据，进一步优化了2016年运行的探测器刻度、数据重建等对光子能量进行更精细的修正

0.21% precision

$$m_H = 125.78 \pm 0.26 (0.18 \text{ (stat)} \pm 0.18 \text{ (syst)}) \text{ GeV}$$

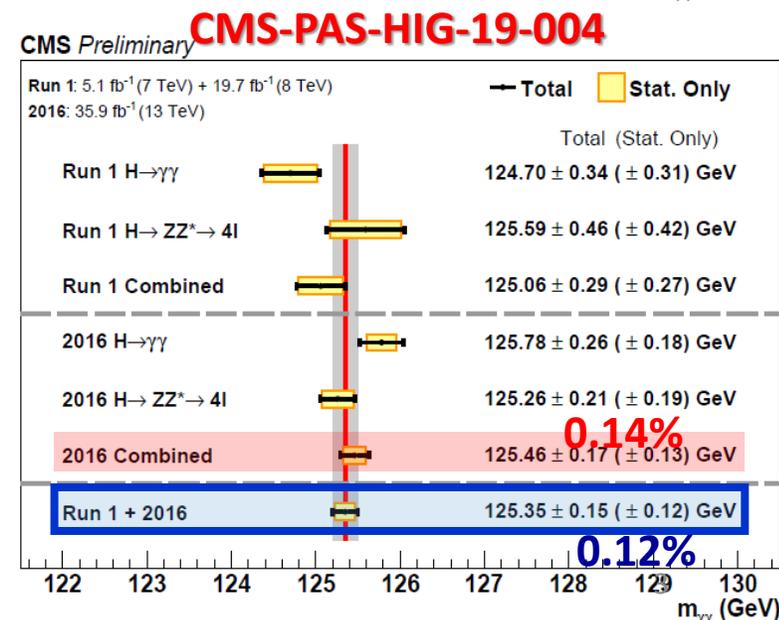
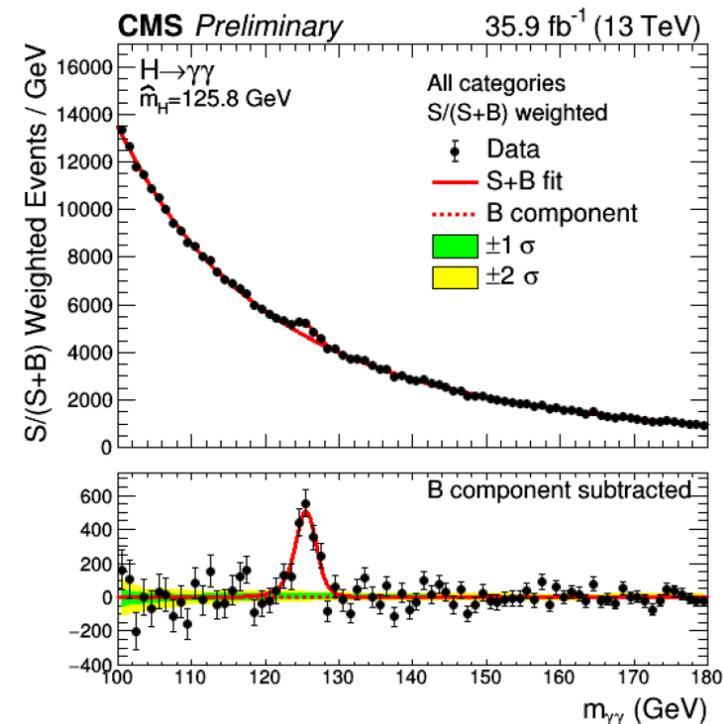
- 结合 $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$  结果以及Run1 CMS的希格斯质量测量结果

$$m_H = 125.35 \pm 0.12 \text{ (stat)} \pm 0.09 \text{ (syst)} \text{ GeV}$$

- 目前Higgs质量测量的最高精度: 0.12%

- 希格斯质量测量结果由 $\gamma\gamma$ 组2019年09月30日发布([CMS-PAS-HIG-19-004](#))并在HiggsCouplings2019 会议上展示

- 贡献于光子鉴别、光子能量刻度、MC模拟修正以及电子排除，CMS内部文章编辑之一



# 1.2 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 测量希格斯产生截面

- **基准截面**  $\sigma_{\text{fid}}$  : Higgs在特定相空间的产生截面
- **模型无关** , 真实粒子阶段的希格斯产生截面测量
- **基准微分截面** : 截面随Higgs  $P_T$ 、Jet数等的分布
- **文章**2019年1月份发表在JHEP

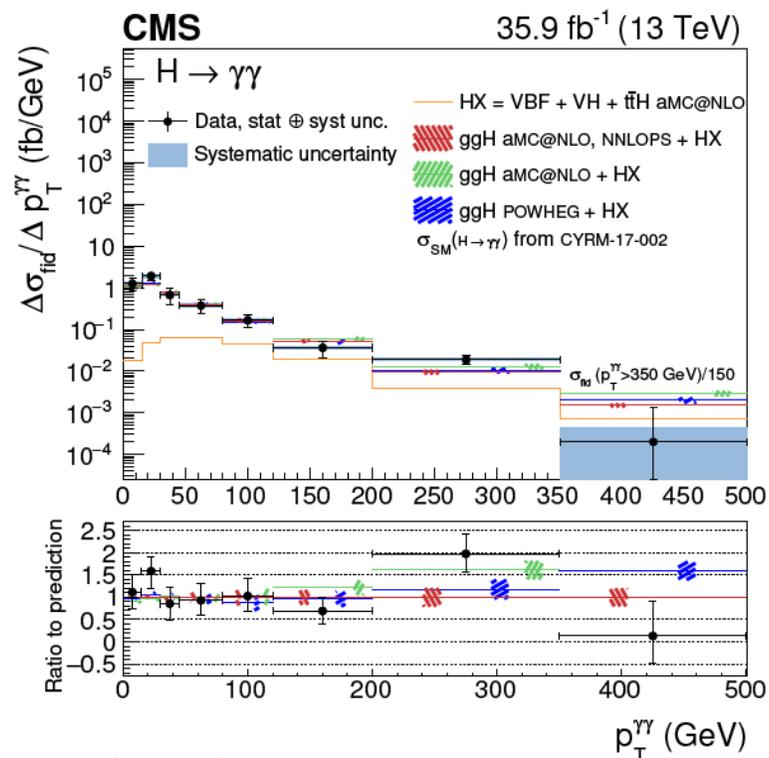
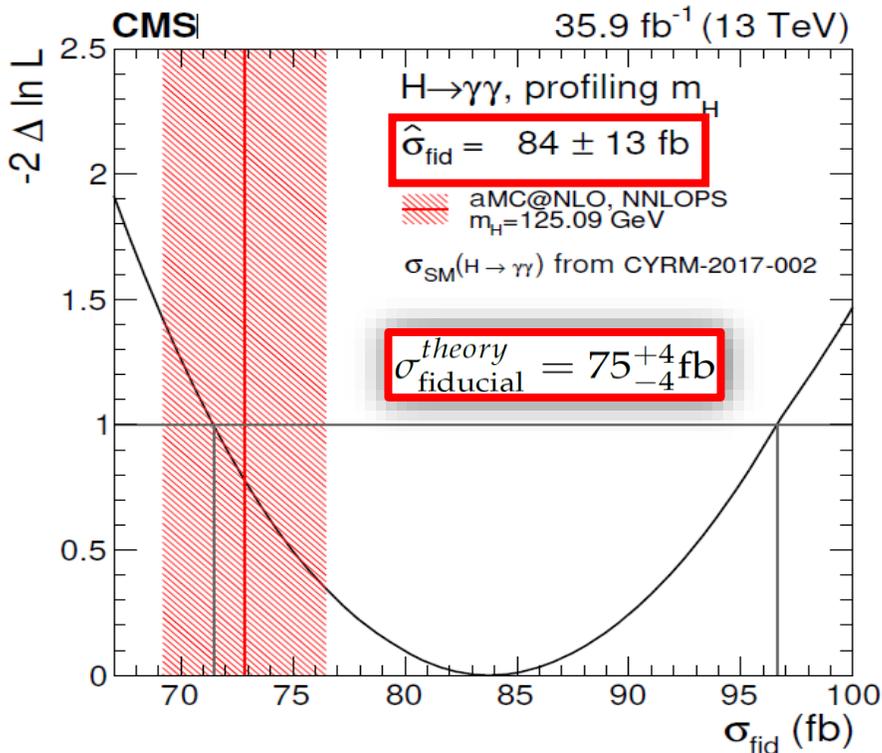
**Fiducial volume:**

$$p_T^{\gamma^{1(\gamma^2)}}/m_{\gamma\gamma} > 1/3 \text{ (1/4)}$$

$$|\eta^{\gamma^{1(\gamma^2)}}| < 2.5 \text{ excluding}$$

$$1.4442 < |\eta^{\gamma^{1(\gamma^2)}}| < 1.566$$

$$\text{ISO}_{\text{gen}1,2} < 10 \text{ GeV } (\Delta R=0.3)$$



本人在分析框架(Run2 flashgg)、事例触发 (HLT)、光子鉴别、MC模拟修正、光子能量刻度、电子的排除以及效率等方面做出贡献, 是CMS内部文章的编辑和作者之一

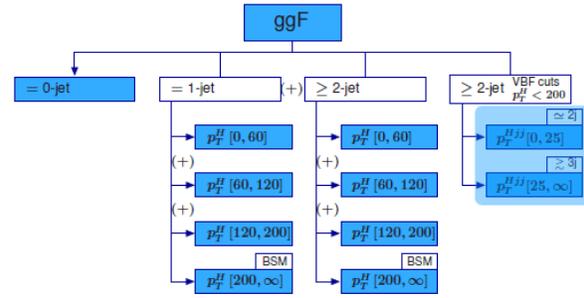
# 1.3 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 简易模板截面 (STXS)

➤ **简易模板截面**测量(simplified template cross sections): **尽可能保留分析灵敏度、降低模型依赖性** → 为理论界提供可靠的方便使用的实验结果

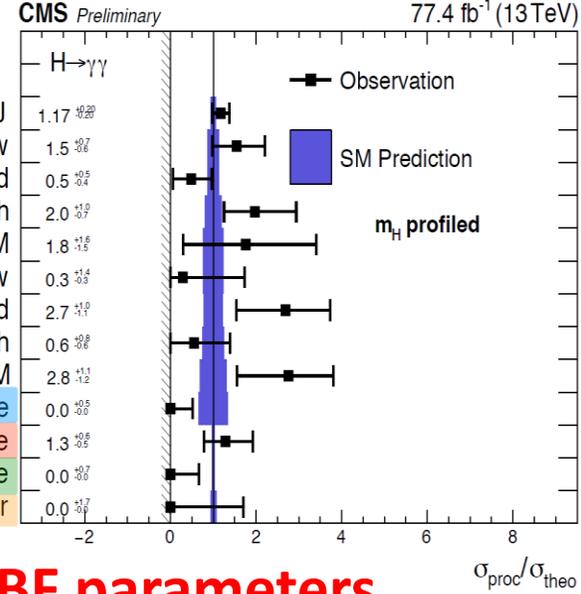
➤ 利用2017年13TeV 41.5fb<sup>-1</sup>的数据, 结合2016年13TeV 35.9fb<sup>-1</sup>的数据, 测量**Stage1  $H \rightarrow \gamma\gamma$  的简约模板截面**: 根据Jet数和Higgs pT划分

➤ 分析结果 (HIG-18-029, PAS-PUB) Moriond2019 (2019.3) 国际会议上公布

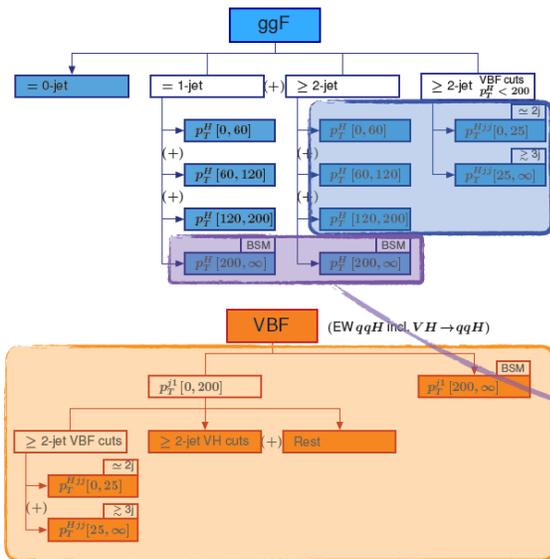
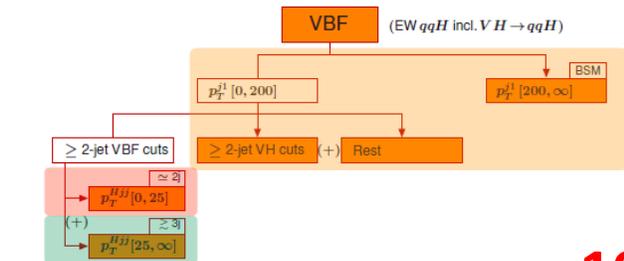
➤ 在分析框架 (Run2 flashgg)、事例触发 (HLT)、光子鉴别、MC模拟修正、光子能量刻度、电子的排除以及效率等方面做出贡献; 是CMS内部文章的编辑人之一



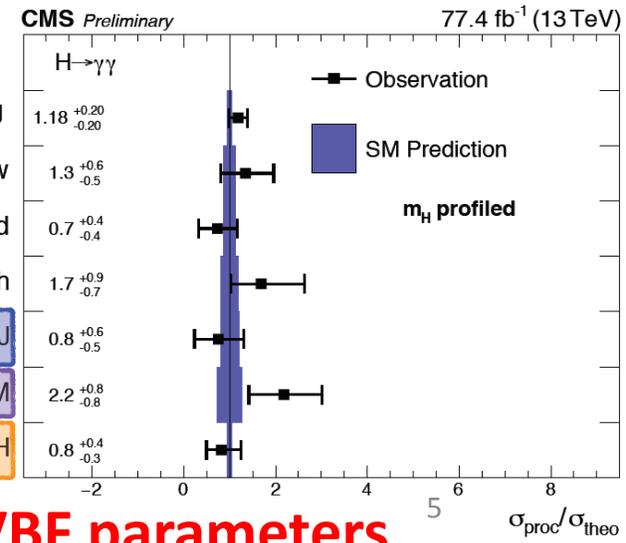
HIG-18-029



10 ggH + 3 VBF parameters



ggH 0J  
ggH 1J low  
ggH 1J med  
ggH 1J high  
ggH GE2J  
ggH BSM  
qqH

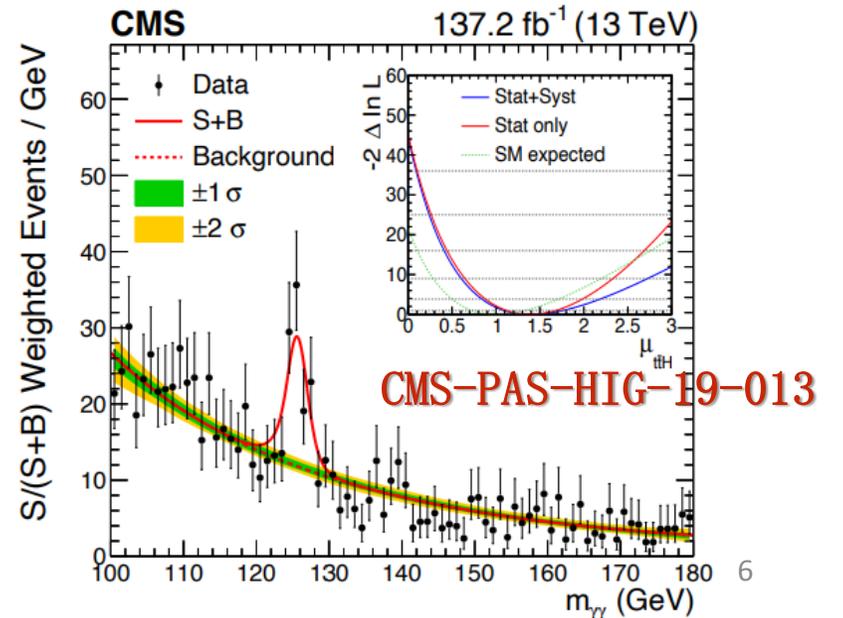
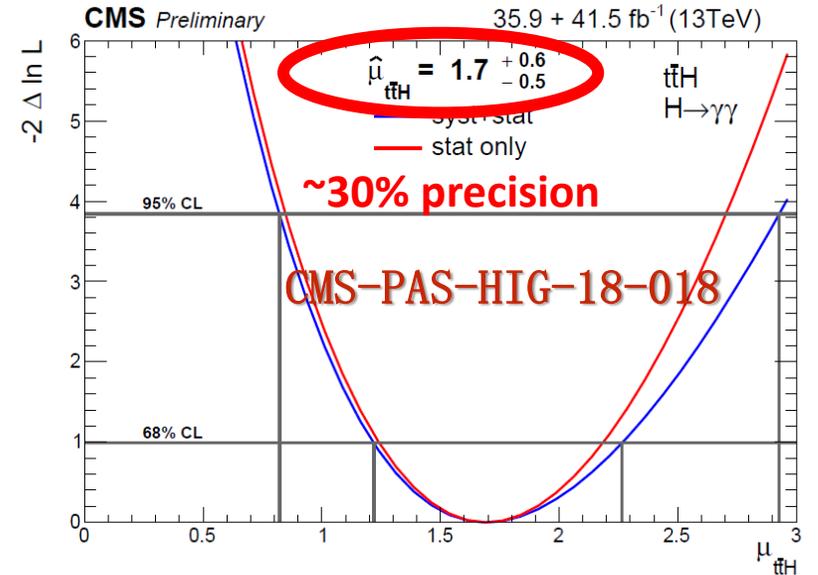


6 ggH + 1 VBF parameters

# 1.4 ttH(H→γγ)实验测量

- **ttH**: 直接研究和证明希格斯粒子和顶夸克之间的汤川相互作用, 对理解费米子的质量起源有着重要的意义
- 2018年6月4日, **PRL以编辑推荐**的方式发表了CMS合作组首次以**5.2倍标准差**发现**ttH**物理过程的文章: **H→γγ**是主要贡献道之一; 在观测到ttH之后, 实验上仍需直接在各单衰变道测量、检验与top的Yukawa耦合
- **2016+2017数据(77.4fb<sup>-1</sup>)ttH→γγ**测量结果 ( **HIG-19-018** ): 信号强度精度提高到**30%**; 测量的信号显著性为**4.1σ** (期望值为2.7σ)
- **全部Run2数据(137.2fb<sup>-1</sup>)**的测量结果 (**HIG-19-013**): 产生  $\sigma \times BR = 1.58^{+0.36}_{-0.33}$  fb、相对于标准模型预言的信号强度为  $1.39^{+0.37}_{-0.30}$ 、信号显著性**6.6σ**(期望值4.7σ), **第一次单一衰变道发现ttH**

在光子鉴别、MC模拟修正、光子能量刻度、电子的排除等方面做出贡献

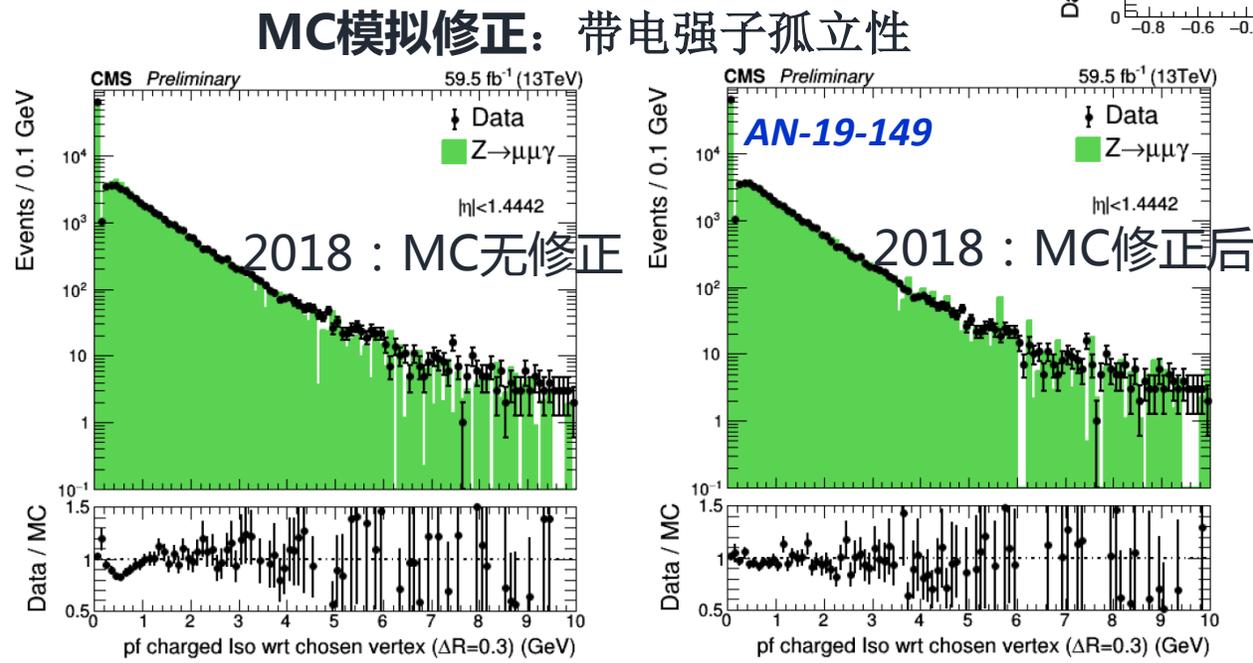


# 在Run2希格斯性质的测量 ( $H \rightarrow \gamma\gamma$ ) 中贡献

参与分析框架(Run2 flashgg)和事例触发(HLT)方案的发展

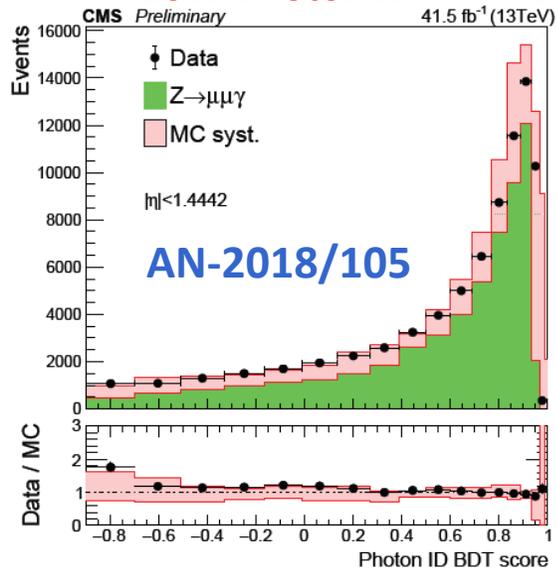
继续贡献于光子鉴别、MC模拟光子簇射形状和孤立性的修正、光子能量刻度、电子的排除等

部分贡献的Run2研究结果展示



光子鉴别输出值:

2017 Photon ID MVA: EB



电子的排除效率、data/MC SF

AN-2018/105

Conversion-safe e-veto eff. and data/MC SF

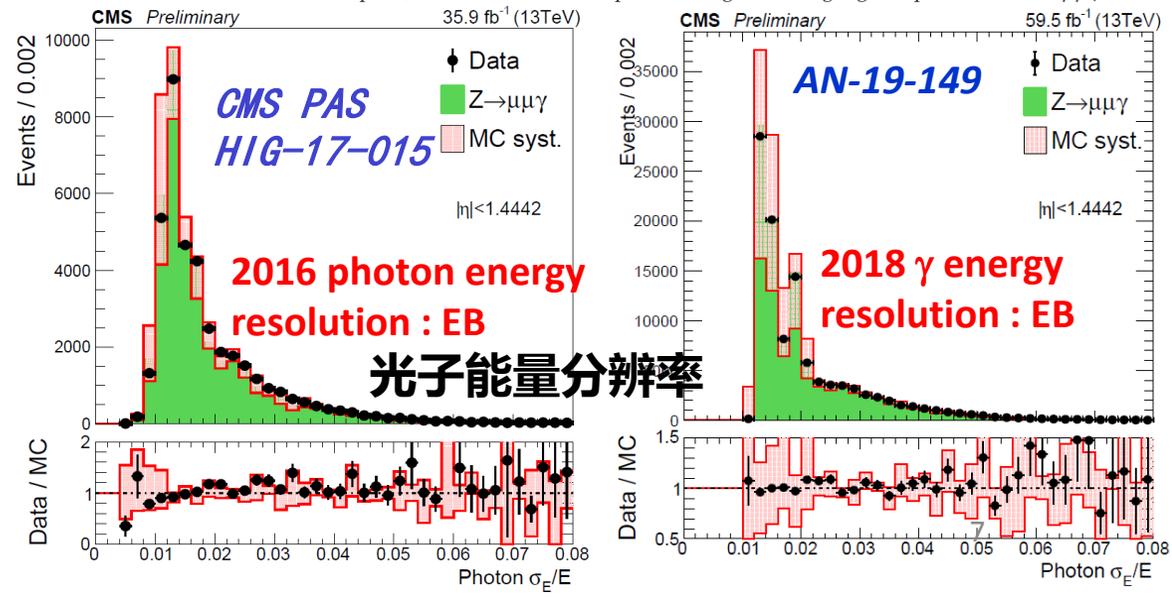
	Data		Simulation		Scale Factor	
	Eff.	Stat.	Eff.	Stat.	Eff.	Unc.
Barrel; $R_9 > 0.85$	0.9871	0.0004	0.9945	0.0004	0.9925	0.0006
Barrel; $R_9 < 0.85$	0.9587	0.0012	0.9719	0.0018	0.9864	0.0022
Endcap; $R_9 > 0.90$	0.9580	0.0011	0.9721	0.0014	0.9855	0.0018
Endcap; $R_9 < 0.90$	0.8932	0.0040	0.9141	0.0056	0.9771	0.0074

Table 10: Efficiency of the conversion-safe electron veto, measured in the four photon categories using tag and probe with  $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$  events. The data to simulation ratio is also shown with its

Pixel-seed e-veto eff./SF. after CSEV applied (ttH)

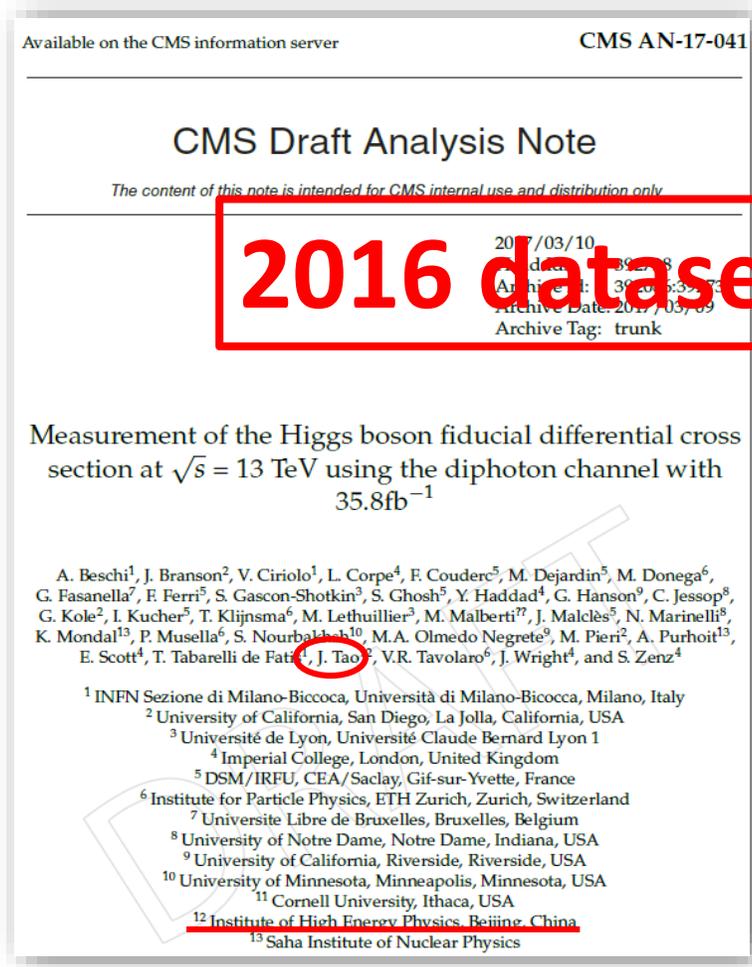
	Data		Simulation		Scale Factor	
	Eff.	Stat.	Eff.	Stat.	Eff.	Unc.
Barrel; $R_9 > 0.85$	0.9520	0.0010	0.9687	0.0013	0.9827	0.0016
Barrel; $R_9 < 0.85$	0.8806	0.0026	0.8997	0.0043	0.9787	0.0055
Endcap; $R_9 > 0.90$	0.7362	0.0036	0.7816	0.0056	0.9419	0.0081
Endcap; $R_9 < 0.90$	0.5297	0.0096	0.5664	0.0155	0.9352	0.0307

Table 11: Efficiency of the pixel-seed electron veto after the conversion-safe electron veto applied, measured in the four photon categories using tag and probe with  $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$  events.

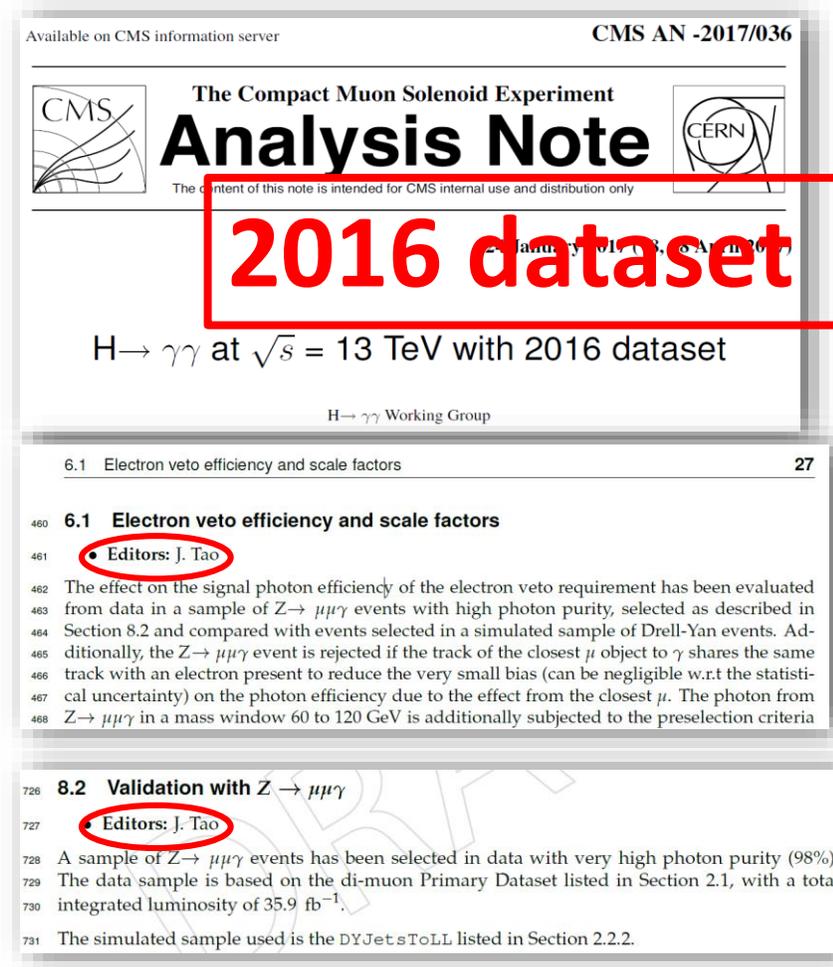


# 在Run2希格斯性质的测量 ( $H \rightarrow \gamma\gamma$ ) 中贡献

- 是CMS内部文章(AN/PAS)的编辑和作者之一：贡献于今年发表的截面文章(HIG-17-025 [JHEP01\(2019\)183](#))和公开的质量测量(HIG-19-001)文章



➔ HIG-17-025 (XS) [JHEP01\(2019\)183](#)



➔ HIG-19-001 (Higgs mass)

# 在Run2希格斯性质的测量 ( $H \rightarrow \gamma\gamma$ ) 中贡献

- 是CMS内部文章(AN/PAS)的编辑和作者之一：贡献于今年公开的简易模板截面 (STXS, [HIG-18-029](#)) 和Full Run2 ttH([HIG-19-013](#))结果

Available on CMS information server CMS AN -2018/105

---

 **The Compact Muon Solenoid Experiment**   
**Analysis Note**  
The content of this note is intended for CMS internal use and distribution only

---

**2017 dataset**  
07 May 2018 (v4, 21 February 2019)

Common tools to all measurements for the diphoton decay channel of the SM Higgs boson

---

4. Analysis Preselection 13

---

242 **4.1 Electron veto efficiency and scale factors**

243 **Editor(s): J. Tao**

244

245 The effect on the signal photon efficiency of the electron veto requirement is evaluated from

246 data in a sample of  $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$  events with high photon purity, selected as described in Section 7.2

---

554 **7.2 Photon ID Validation with  $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$**

555 **Editor(s): J. Tao**

556

557 A sample of  $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$  events is selected in data with very high photon purity ( $\sim 99.5\%$ ) after the

558  $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$  event selections, the photon candidate passing the  $H \rightarrow \mu\mu\gamma$  preselection as described

559 in Section 4 and also the looser requirement on photon ID with  $MVA > -0.9$ .

➔ [HIG-18-029 \(STXS\)](#)

Available on the CMS information server CMS AN-19-149

---

CMS Draft Analysis Note

*The content of this note is intended for CMS internal use and distribution only*

---

2019/11/06  
Archive Hash: 73da21d-D  
Archive Date: 2019/11/24

**Full Run2 dataset**

Common tools for analyses of Higgs boson decay in the diphoton final state

Rajdeep Mohan Chatterjee, Linda Finco, Neil Schroeder, Peter Hansen, Gouranga Kole, Kuntal Mondal, Arnab Purohit, Thomas Reitenspiess, Junquan Tao, Simone Pigazzini for  $H \rightarrow \gamma\gamma$  Working Group

**Abstract**

The common studies and inputs used by the multiple  $H \rightarrow \gamma\gamma$  analyses are described. These studies are performed using the dataset recorded in 2016-2018 by the CMS experiment at the LHC from pp collisions at centre-of-mass energy of 13 TeV corresponding to an integrated luminosity of  $137.4 \text{ fb}^{-1}$ .

➔ [HIG-19-013 \(full Run2 ttH+CP\)](#)

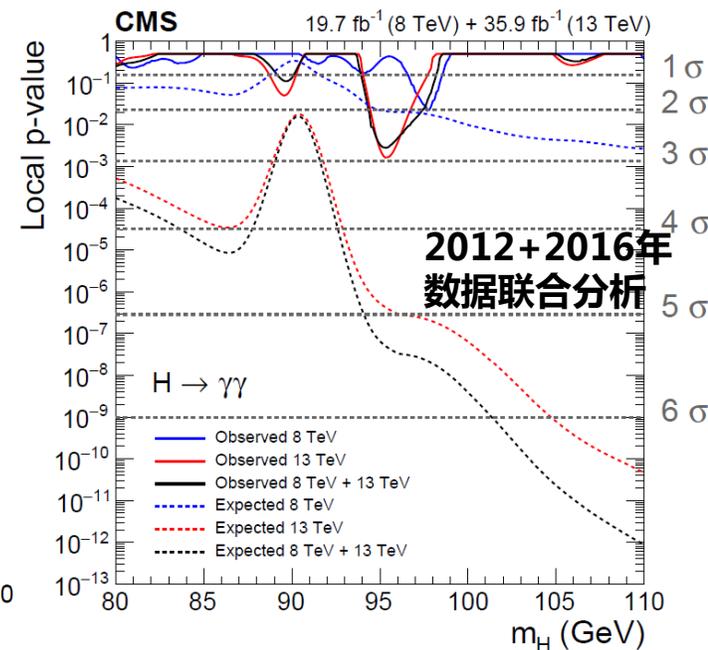
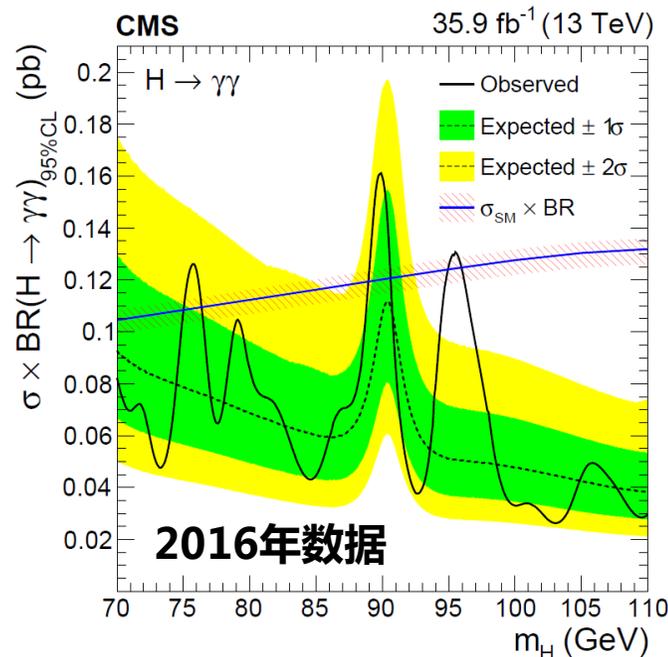
# 2.1 低质量(<125GeV)额外希格斯粒子的寻找：13TeV

➤ 主导了13TeV 2016年数据寻找低质量区间双光子末态的共振态的分析以及8TeV+13TeV的联合分析

➤ 做了所有CMS内部重要报告：期望结果的**预审核(preapproval)报告**、数据结果的unblinding报告以及**最终审核(approval)报告**等

➤ 文章2019年6月份发表在 [Physics Letters B 793 \(2019\) 320–347](#)

➤ 寻找引起实验和理论的关注 (PAS + Paper inspire引用~60次)



**95.3GeV处最大2.8σ 观测显著性**

Discussing 125 GeV and 95 GeV excess in Light Radion Model

Divya Sachdeva\* and Soumya Sadhukhan†  
Department of Physics and Astrophysics, University of Delhi, Delhi 110 007, India

The 96 GeV Diphoton Excess in the Seesaw Extensions of the Natural NMSSM

Junjie Cao, Xinglong Jia, Yuanfang Yue, Haijing Zhou, and Pengxuan Zhu  
Department of Physics, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China

A 96 GeV scalar tagged to dark matter models

Poulami Mondal\*, Suvam Maharana†, and Anirban Kundu‡

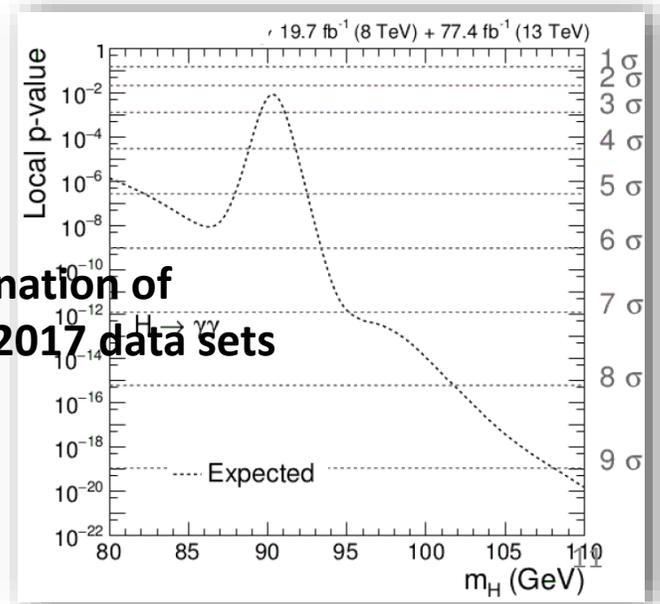
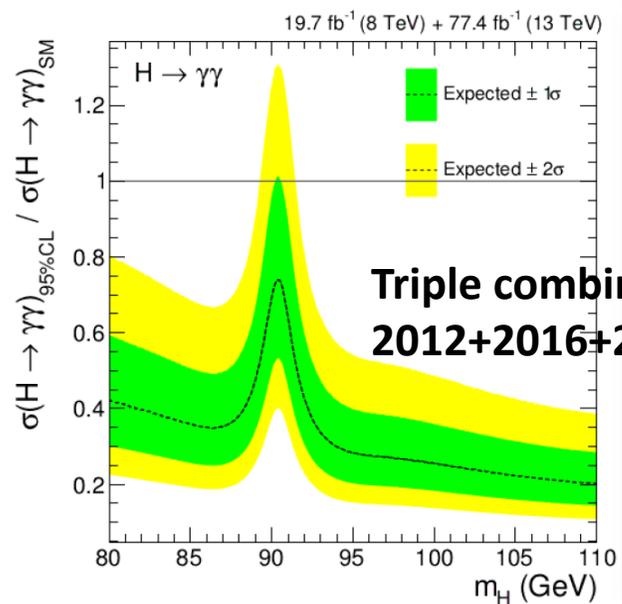
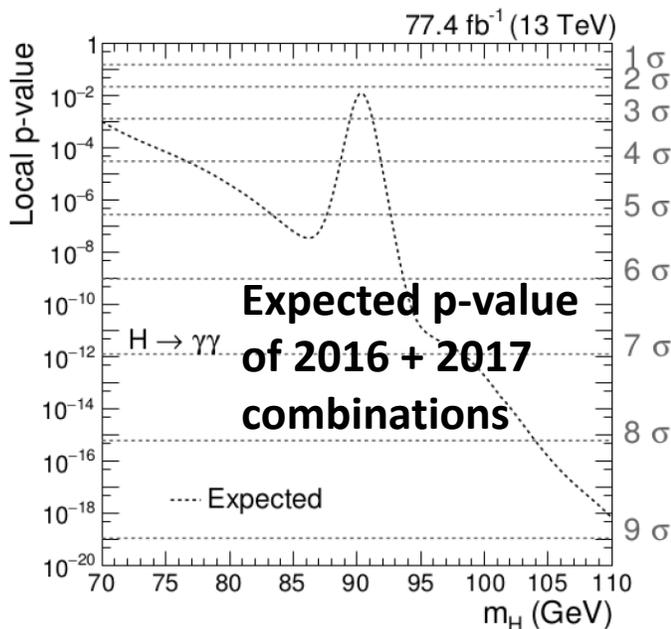
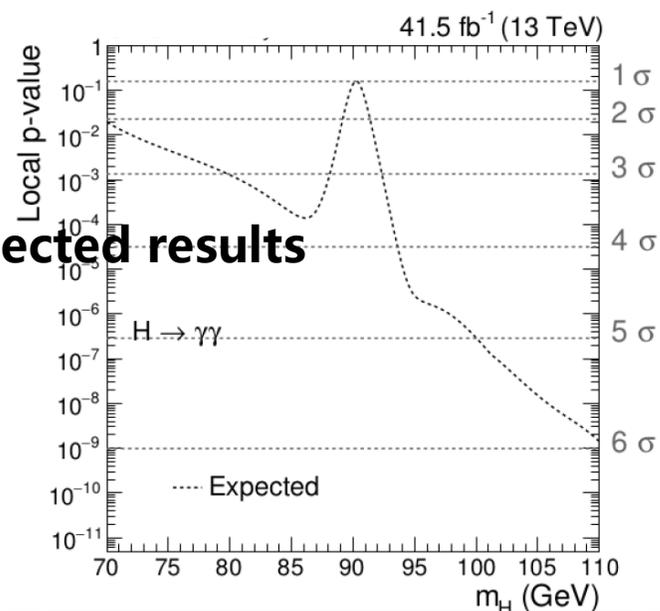
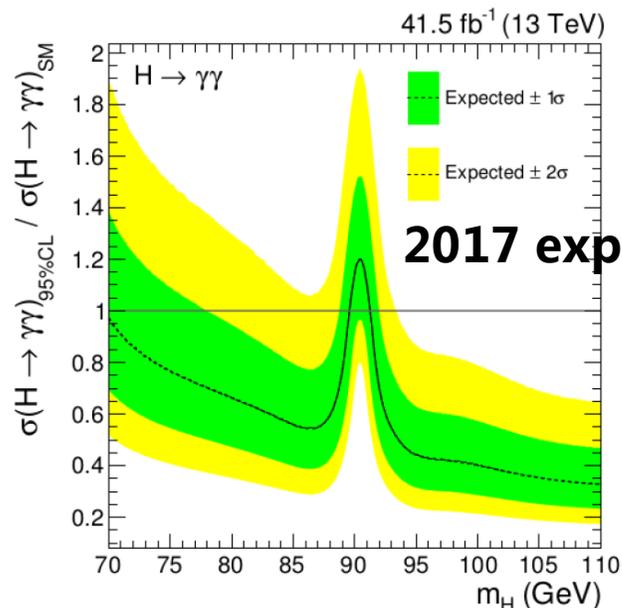
Department of Physics, University of Calcutta,  
92 Acharya Prafulla Chandra Road, Kolkata 700009, India

An N2HDM Solution for the possible 96 GeV Excess

Thomas Biekötter (Madrid, IFT & Madrid, Autonoma U.), M. Chakraborti (Madrid, Autonoma U.), Sven Heinemeyer (Madrid, IFT & Cantabria Inst. of Phys.)

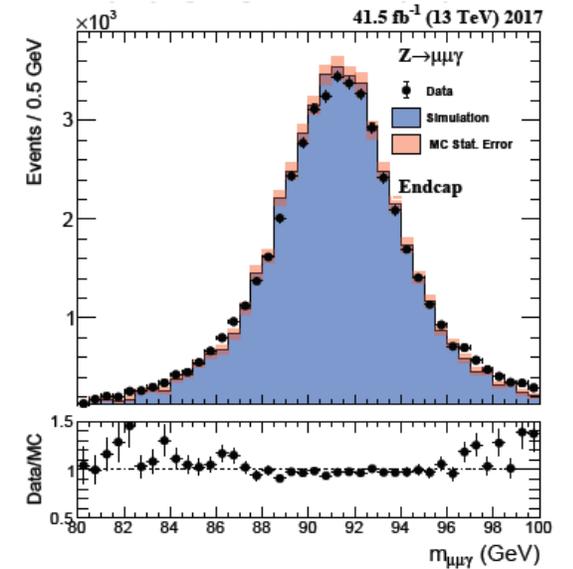
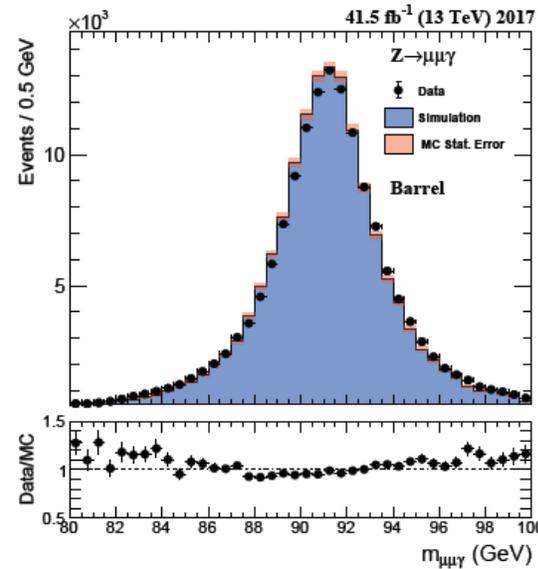
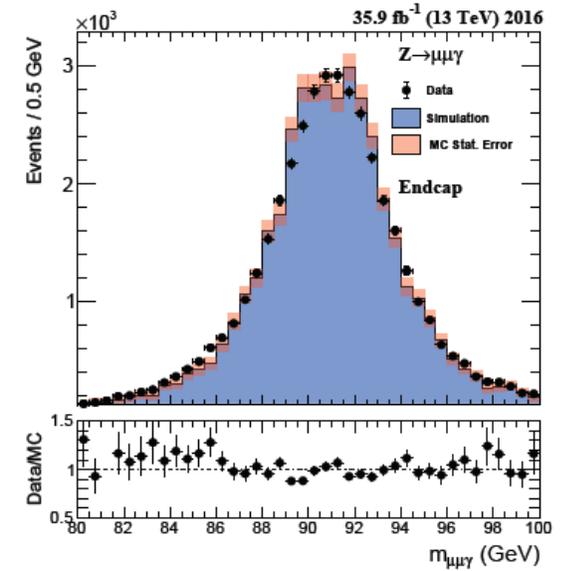
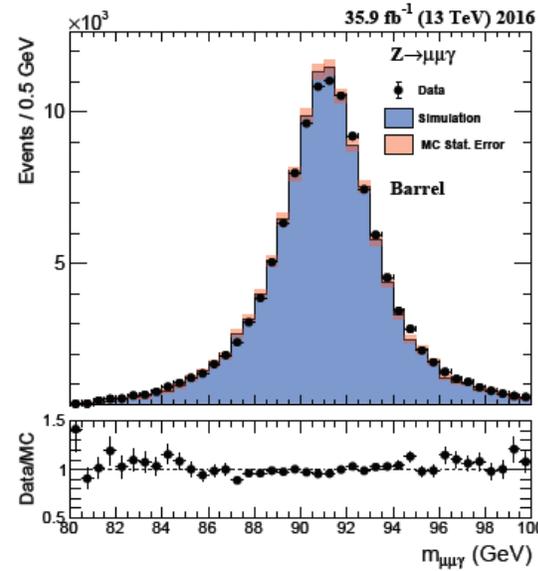
## 2.2 低质量额外希格斯粒子的寻找 : full Run2

- **Full Run2** : 2017年数据已有**初步期望结果**,并与以往结果相结合 (combinations); 2018年数据正在分析中
- 承担了主要的研究内容
- 是内部文章 (CMS AN-18-249) 的主编辑



# 3.1 Egamma: 光子能量标定 (scaling)

- $Z \rightarrow \mu \mu \gamma$  是LHC数据里唯一能提供高纯度 (99%) 光子事例的过程
- 利用  $Z \rightarrow \mu \mu \gamma$  末态光子进行光子能量刻度, 也用来对  $Z \rightarrow ee$  得到的能量标定值进行验证
- 贡献于CMS Egamma组的文章 ( EGM-17-001 , 尚未对外公开 )



CMS PAPER EGM-17-001

---

DRAFT  
CMS Paper

---

*The content of this note is intended for CMS internal use and distribution only*

---

2019/07/09  
Archive Hash: 6ade4e0-D  
Archive Date: 2019/06/21

---

Performance of  $e/\gamma$  reconstruction and identification with the CMS detector in proton-proton collisions at  $\sqrt{s}=13$  TeV

---

The CMS Collaboration

## 3.2 Photos++

- Contact person of generator Photos++
- 维护产生子， 解决用户遇到的相关问题

Generator	Documentation	Interface	External	Responsible	Status
<a href="#">Pythia8</a>	<a href="#">View Twiki</a>	yes	yes	Mikhail Kirsanov*, Steve Mrenna*	ready
<a href="#">Pythia6</a>	<a href="#">View Twiki</a>	yes	yes	Steve Mrenna*	ready
<a href="#">ThePEG</a> (Herwig++, Ariadne 5) Obsolete	<a href="#">View Twiki</a>	yes	yes	Marco Harrendorf*, Mikhail Kirsanov*	ready, old CMSSW releases
<a href="#">Herwig7</a> Herwig7	<a href="#">View Twiki</a>	yes	yes	Andrej Saibel*, Marco Harrendorf*, Mikhail Kirsanov*	in progress
<a href="#">SHERPA</a>	<a href="#">View Twiki</a>	yes	yes	Sebastian Thuer*, Philipp Millet*, Piergiulio Lenzi*	ready
<a href="#">Hydjet</a>	<a href="#">View Twiki</a>	yes	no	Andrey Belyaev*, Igor Lokhtin*	ready
<a href="#">Hydjet++</a>	<a href="#">under construction</a>	yes	no	Andrey Belyaev*, Igor Lokhtin*	ready
<a href="#">EvtGen</a>	<a href="#">View Twiki</a>	yes	yes	Alberto Sanchez Hernandez*, Roberto Covarelli*	ready
Particle Guns	<a href="#">under construction</a>	yes	uses pythia8	Stephen Mrenna*	ready
<a href="#">Tauola++</a> and <a href="#">TauSpinner</a> , <a href="#">Photos++</a>	<a href="#">under construction</a>	yes	yes	<b>Junquan Tao</b> , Mikhail Kirsanov*, Sergei Slabospitskii	ready
<a href="#">LHAPDF6</a>	<a href="#">View Twiki</a>	no	yes	Mikhail Kirsanov*	ready

# 2019年度发表的有重要贡献的分析

## ➤ 6个分析PAS, 2篇paper

序号	物理分析	文章/PAS号	贡献
1	H→γγ希格斯产生截面测量	CMS-PAS-HIG-17-015, <b>JHEP 01 (2019) 18</b>	光子鉴别、光子能量刻度、电子排除、MC模拟修正、分析框架(Run2 flashgg)和高阶事例触发(HLT)方案的发展
2	H→γγ希格斯质量测量	CMS-PAS-HIG-19-004	
3	H→γγ简易模板截面(STXS)	CMS-PAS-HIG-18-029	
4	ttH→γγ分析 full run2数据	CMS-PAS-HIG-19-013	
5	双光子末态寻找低质量共振态	CMS-PAS-HIG-17-013, <b>PLB 793 (2019) 320-347</b>	主导和承担了大部分的研究内容, 做了预审核、审核报告等
6	电子光子重建和鉴别	CMS-PAS-EGM-17-001	光子能量刻度和验证

## ➤ 1篇会议文章: Junquan Tao\*, Searches for additional Higgs bosons at CMS, PoS182 (LeptonPhoton2019), <https://pos.sissa.it/367/182/pdf>

# 2019年度会议报告

**参加国际会议并报告4人次、国内会议报告8人次（包括中法粒子物理联合实验室会议、中国LHC物理会议、中国CMS联合会议）**

## 国际会议：4个

1. Junquan Tao, Searches for additional Higgs bosons at CMS, 29th International Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energies, 5-10 Aug 2019, University of Toronto, Toronto (Canada)
2. Sijing Zhang, Search for low-mass Higgs boson in the diphoton final state at CMS, 2019 Winter LHCC meeting, 27 Feb 2019, CERN, Geneva (Switzerland)
3. Sijing Zhang, Search for a standard model-like Higgs boson in the mass range between 70 and 110 GeV in the diphoton final state in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 8$  and 13 TeV with CMS, Higgs Hunting 2019, 29-31 Jul 2019, Paris (France)
4. Muhammad Aamir Shahzad, Search for additional low-mass ( $m < 125$  GeV) Higgs bosons at CMS, Higgs Couplings 2019, 30 Sep-5 Oct 2019, Oxford (United Kingdom)

## 国内会议：8个

1. Junquan Tao, “Higgs measurements with  $H \rightarrow \gamma\gamma$  at CMS”,第5届中国LHC物理工作会议, 2018年10月23-27日, 中国大连
2. Sijing Zhang, Junquan Tao, “Search for low mass resonances in the diphoton final state at CMS”, 第5届中国LHC物理工作会议, 2018年10月23-27日, 中国大连
3. Junquan Tao, “H->diphoton measurements”, 2019中国CMS研讨会, 2019年6月8-10日, 中国广州
4. Sijing Zhang, Junquan Tao, “Low mass resonance search in diphoton channel”, 2019中国CMS研讨会, 2019年6月8-10日, 中国广州
5. Junquan Tao, “Highlight of CMS recent results”, 第12届中法粒子物理联合实验室会议 (FCPPL), 2019年4月24-27日, 中国上海
6. Sijing Zhang, Junquan Tao, “CMS  $H \rightarrow \gamma\gamma$ ”, 第12届中法粒子物理联合实验室会议 (FCPPL) 2019年4月24-27日, 中国上海
7. Junquan Tao, “Measurements of Higgs boson properties in the diphoton decay channel (CMS)”,第4届中国LHC物理工作会议, 2018年12月19-22日, 中国武汉
8. Junquan Tao, “Search for low mass resonances in the diphoton final state (CMS)”,第4届中国LHC物理工作会议, 2018年12月19-22日, 中国武汉

# 2019年度科研项目

## ➤ 主持2项基金委项目

1. **完成1项结题工作**：自然科学基金委**青年科学基金项目** “CMS上通过双光子末态寻找非标准模型希格斯粒子等新共振态”（11505208），25万元，项目主持人
2. **开始1项面上项目**：国家自然科学基金委**面上项目** “CMS实验中利用双光子事例寻找额外的小质量希格斯等新共振态”（11875275），66万元，项目主持人，**2019.1-2022.12**

## ➤ 作为科研骨干参加2项基金委重大国际合作和科技部重点专项在研项目

1. **国家重点研发计划大科学装置专项**，“CMS实验Run-2数据的物理研究”，1857万元，**2018.05- 2023.04**
2. **国际(地区)合作与交流项目**，“CMS实验希格斯性质研究和新粒子寻找”，750万元，**2016.07 – 2020.12**

# 总结和未来工作计划

- 过去一年, 主要在Higgs粒子的性质测量和新粒子寻找方面开展研究工作, 贡献或主导6个CMS分析PAS, 2篇正式paper和1篇会议文章; 参加国际会议并报告4人次、国内会议报告8人次
- 完成1项基金委(青年)项目结题和开始主持开展1项基金委(面上)项目(2019-2022); 作为骨干成员参加2项基金委重大国际合作和科技部重点专项在研项目
- 未来一年工作集中于希格斯的性质的精确测量和新粒子的直接寻找 (也是未来LHC物理分析的最主要2个方向)
  - ✓ 利用Full Run2数据通过 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 在希格斯质量、宽度、耦合强度和截面等更精确的Higgs性质测量方面做出高能所CMS组更多的贡献
  - ✓ 利用Full Run2数据开展双Higgs的物理分析, 利用 $HH \rightarrow WW^*\gamma\gamma$ 过程直接研究希格斯粒子的自耦合
  - ✓ 完成Run2数据低质量额外Higgs粒子寻找的分析, 验证95.3GeV处 $\sim 3\sigma$ 的超出

# 谢谢!

[taojq@ihep.ac.cn](mailto:taojq@ihep.ac.cn)

[jtao@cern.ch](mailto:jtao@cern.ch)

