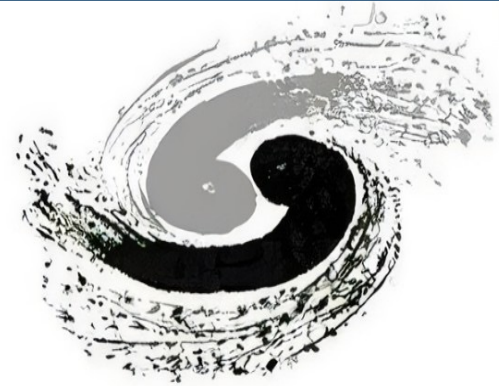
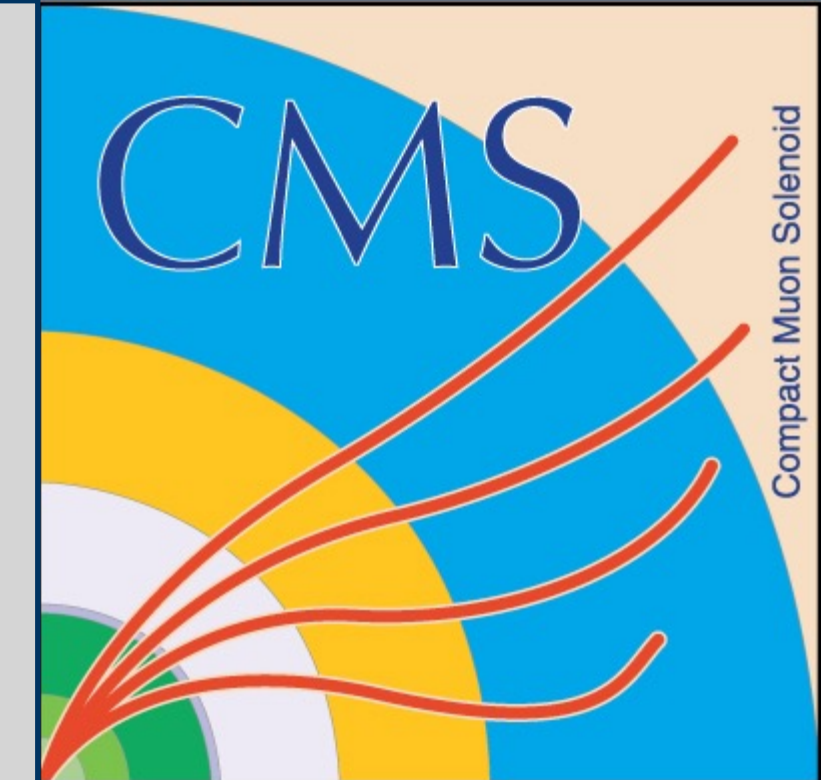




中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences



2023年1月-4月考核报告

汇报人：宋绍炜
指导老师：陈明水 研究员

中国科学院高能物理研究所

2023年4月23日

Content

物理分析

HGCal工作

总结与计划

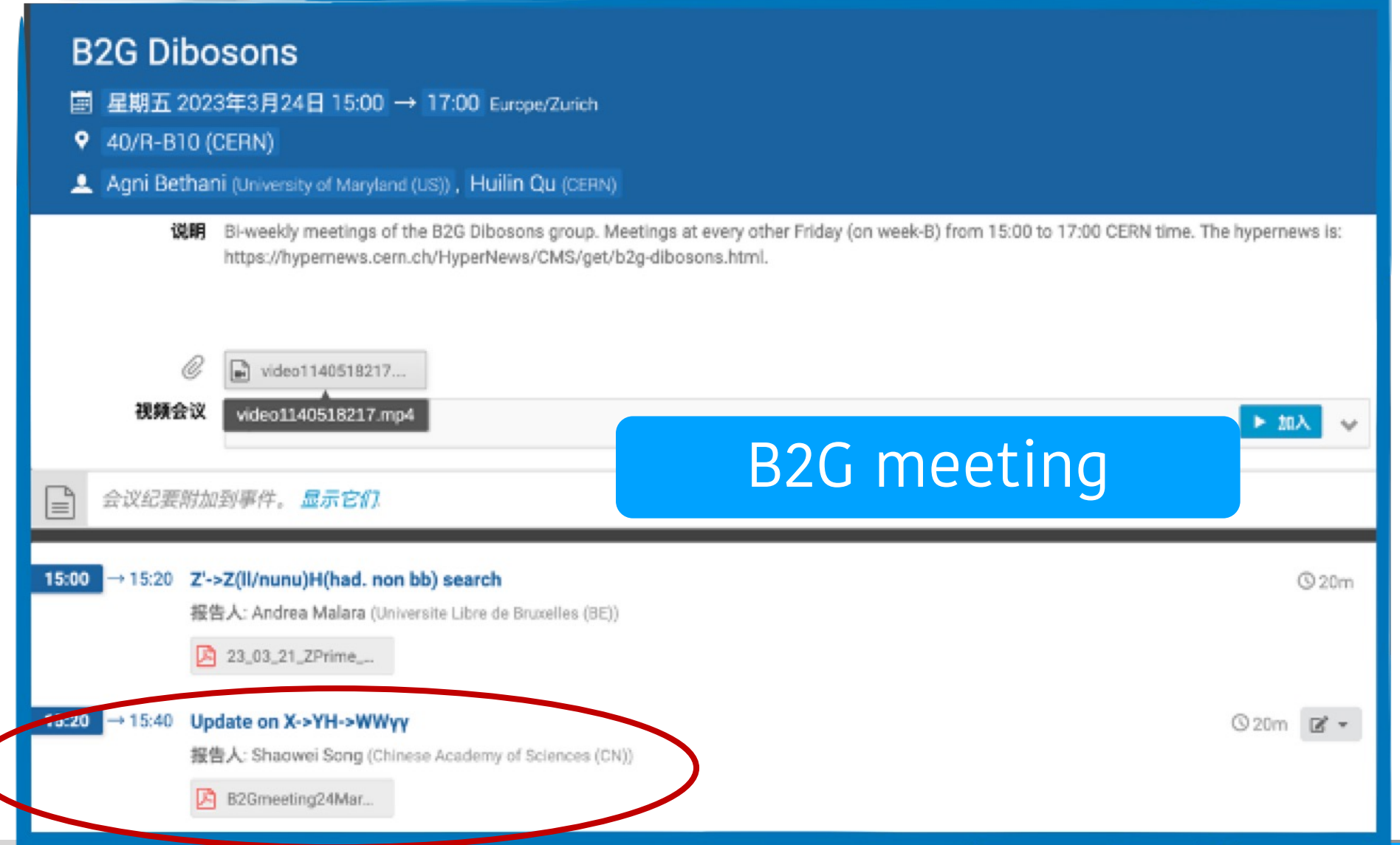
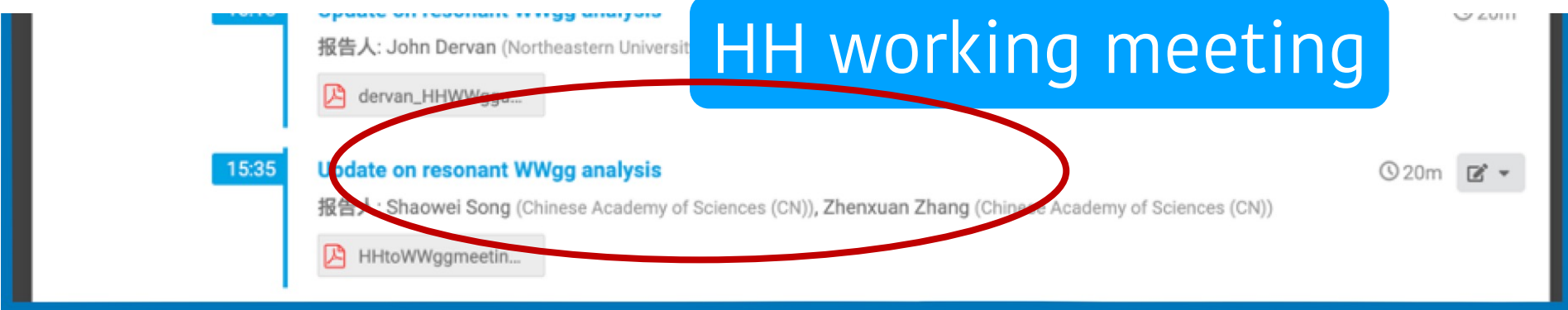
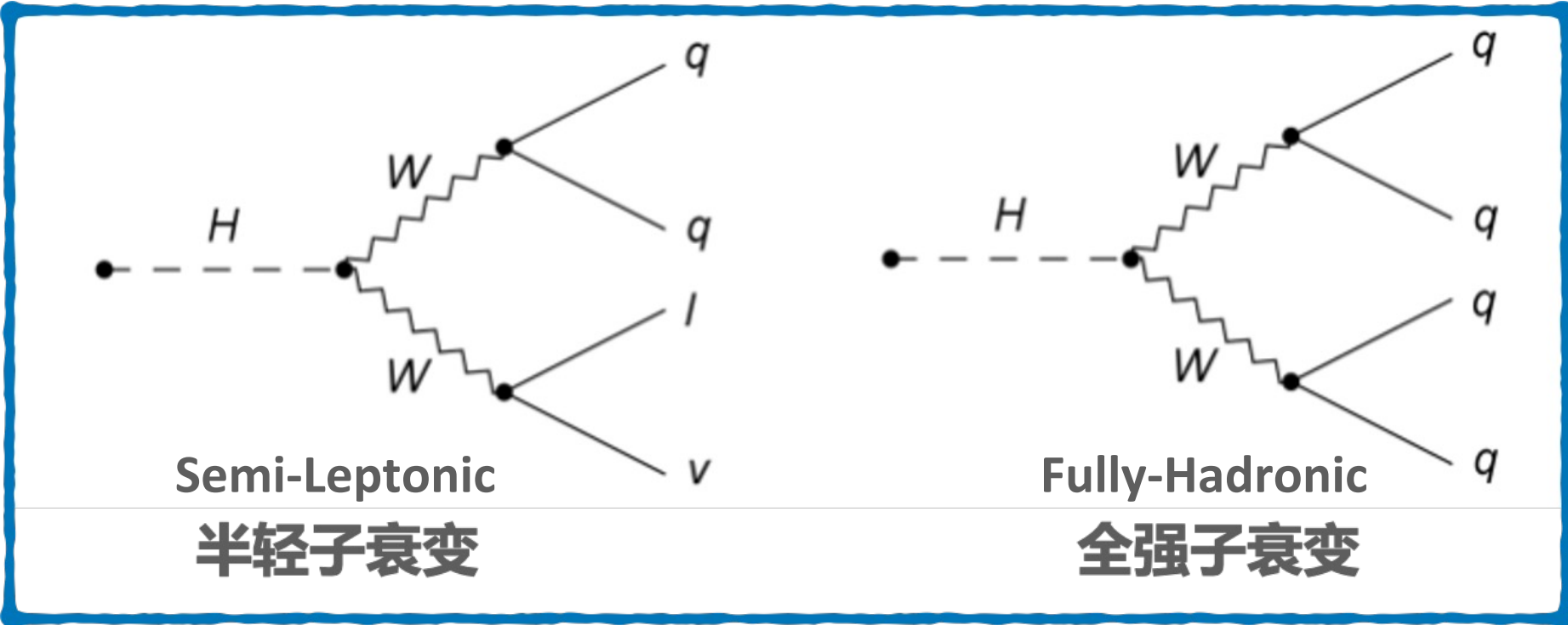
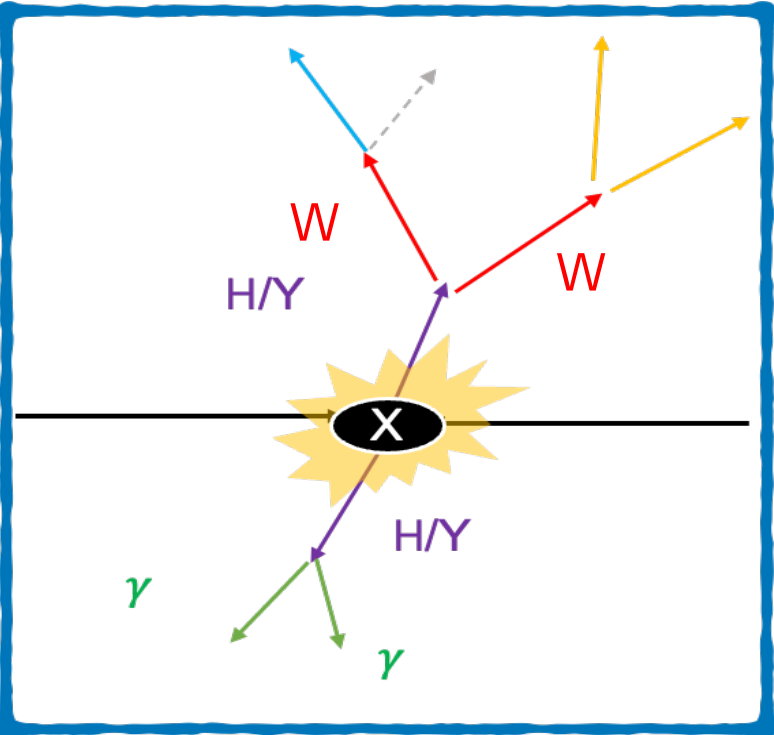
Backup

物理分析

研究进展

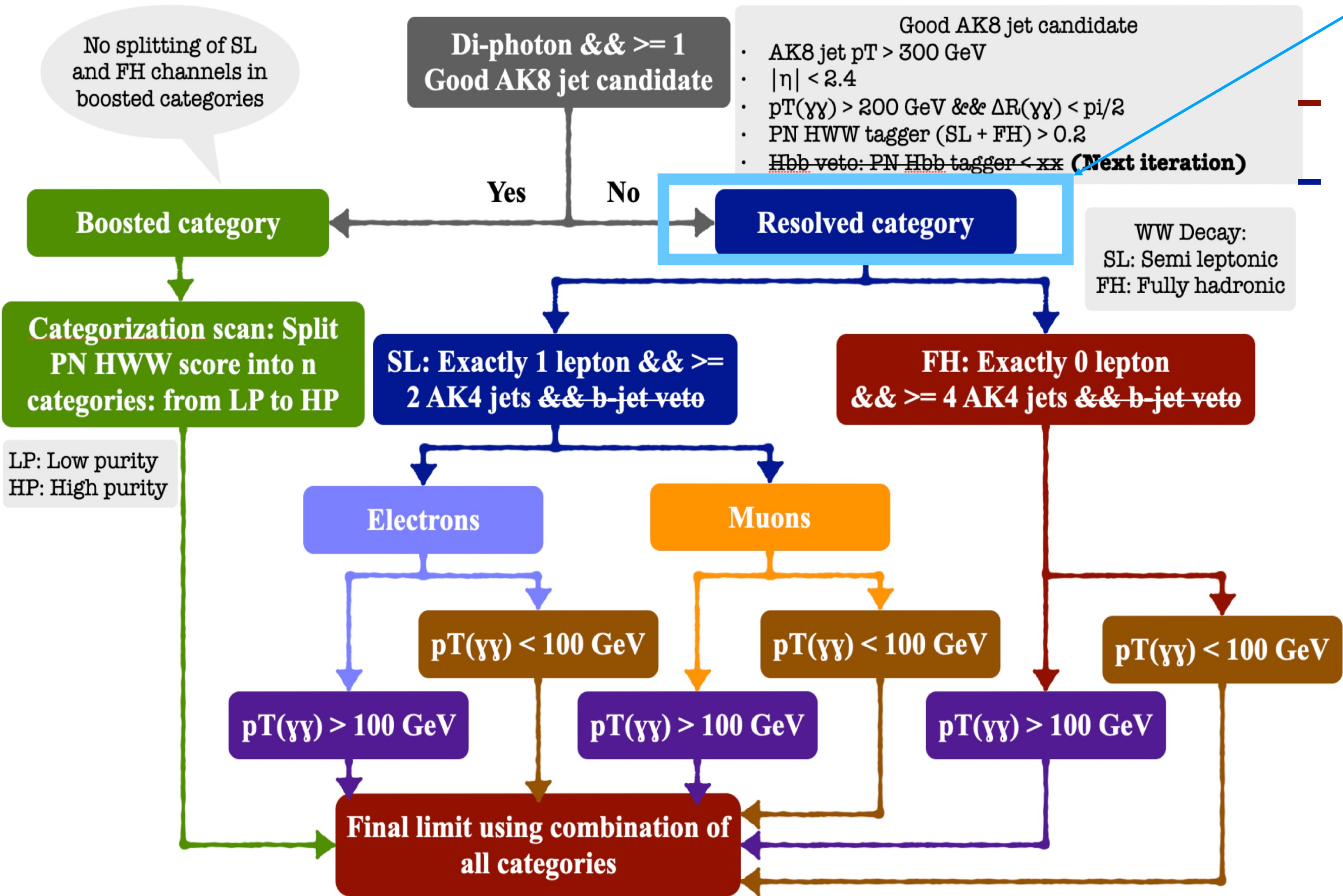
课题：Resonant $X \rightarrow HH/HY \rightarrow WW\gamma\gamma$ 共振态X的寻找以及希格斯自耦合的测量

- 研究 $X \rightarrow HH/HY \rightarrow WW\gamma\gamma$ 半轻子末态和全强子末态的WW衰变
 - 研究质量在[250,3000]GeV的X和质量在[60,2800]GeV的Y ($m_X > m_Y + 125$)
 - ✓ HH分析已完成: 产生子水平研究，分析框架，本底估计，DNN框架，HH产生截面上限
 - ✓ 本人已经在CMS B2G会议上给过 $X \rightarrow HH/HY \rightarrow WW\gamma\gamma$ 报告
 - ✓ 多次在CMS Higgs Working meeting汇报进展



研究方案与事例筛选

✓ 基于HiggsDNA建立本分析事例筛选框架



本人主要研究Fully Resolved末态

FH Resolved: 基于 $p_{T\gamma\gamma}$ 是否大于100GeV分2类

SL Resolved: 基于轻子种类和 $p_{T\gamma\gamma}$ 是否大于100GeV分4类

后续对FR类扫描DNN score的significance分类优化

Object selection 参考non-resonant $WW\gamma\gamma$ 分析¹

di-Photon pair

- Standard H->diphoton selection (Inherit from HIG-21-014)
- At least 1 good di-photon pair:
 - Diphoton: $100 \text{ GeV} < M_{gg} < 180 \text{ GeV}$
 - Leading photon $p_T > 35 \text{ GeV}$
 - Leading p_T photon: $p_T/m_{gg} > 0.33$
 - Sub-leading p_T photon: $p_T/m_{gg} > 0.25$

Electrons

- Exactly 1 isolated electron
- $p_T > 10 \text{ GeV}$, $|\eta| \in [0.0, 1.4442], [1.566, 2.4]$
- $d_{xy} < 0.045 \text{ cm}$, $d_z < 0.2 \text{ cm}$
- ID: mvaFall17V2Iso_WPL or mvaFall17V2noIso_WPL & pfRelIso03_all < 0.3
- $\Delta R(e, \gamma) > 0.4$, $\Delta R(e, \text{jet}) > 0.4$
- Z-Veto: $|m_{e\gamma} - 91.187| [\text{GeV}] > 5 \text{ GeV}$

Muons

- Exactly 1 isolated muon
- $p_T > 10 \text{ GeV}$, $|\eta| < 2.5$
- $d_{xy} < 0.045 \text{ cm}$, $d_z < 0.2 \text{ cm}$
- ID: medium
- $\Delta R(\mu, \gamma) > 0.4$, $\Delta R(\mu, \text{jet}) > 0.4$

Higgs ak8jet

- At least one good AK8 Jet
- 0 isolated lepton
- $|\eta| < 2.4$
- $\Delta R(\text{jet}, \text{lep}) > 0.8$, $\Delta R(\text{jet}, \gamma) > 0.8$
- $p_T > 300 \text{ GeV}$
- Particle Net $H_{wwtagger} > 0.2$

ak4PFCHS jets

- Tight jet ID
 - $p_T > 25 \text{ GeV}$, $|\eta| < 2.4$
- $\Delta R(\text{jet}, \gamma) > 0.4$
- $\Delta R(\text{jet}, \text{lep}) > 0.4$

本底估计

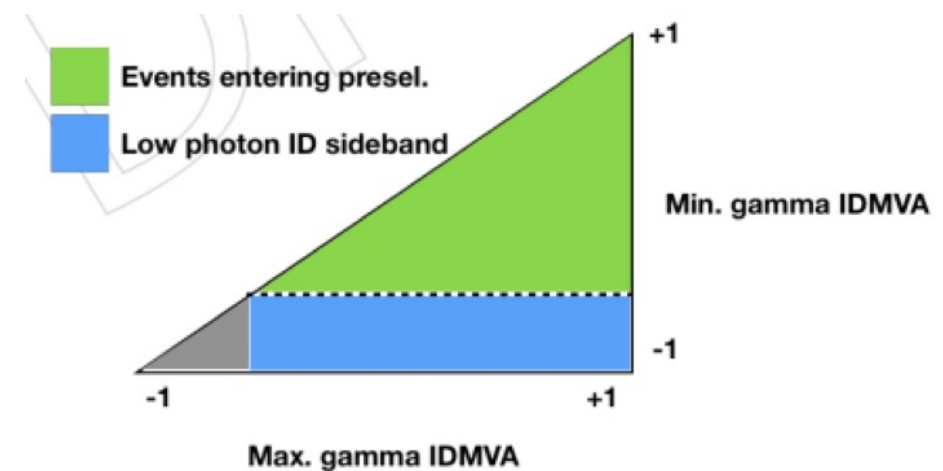
✓ 参考HIG-19-013²的data-driven方法估计本底

Motivation:

1. QCD蒙卡等样本对高动量喷注的本底描述不好
2. 保证数据和MC好的一致性并使用DNN进行无偏训练。

Method:

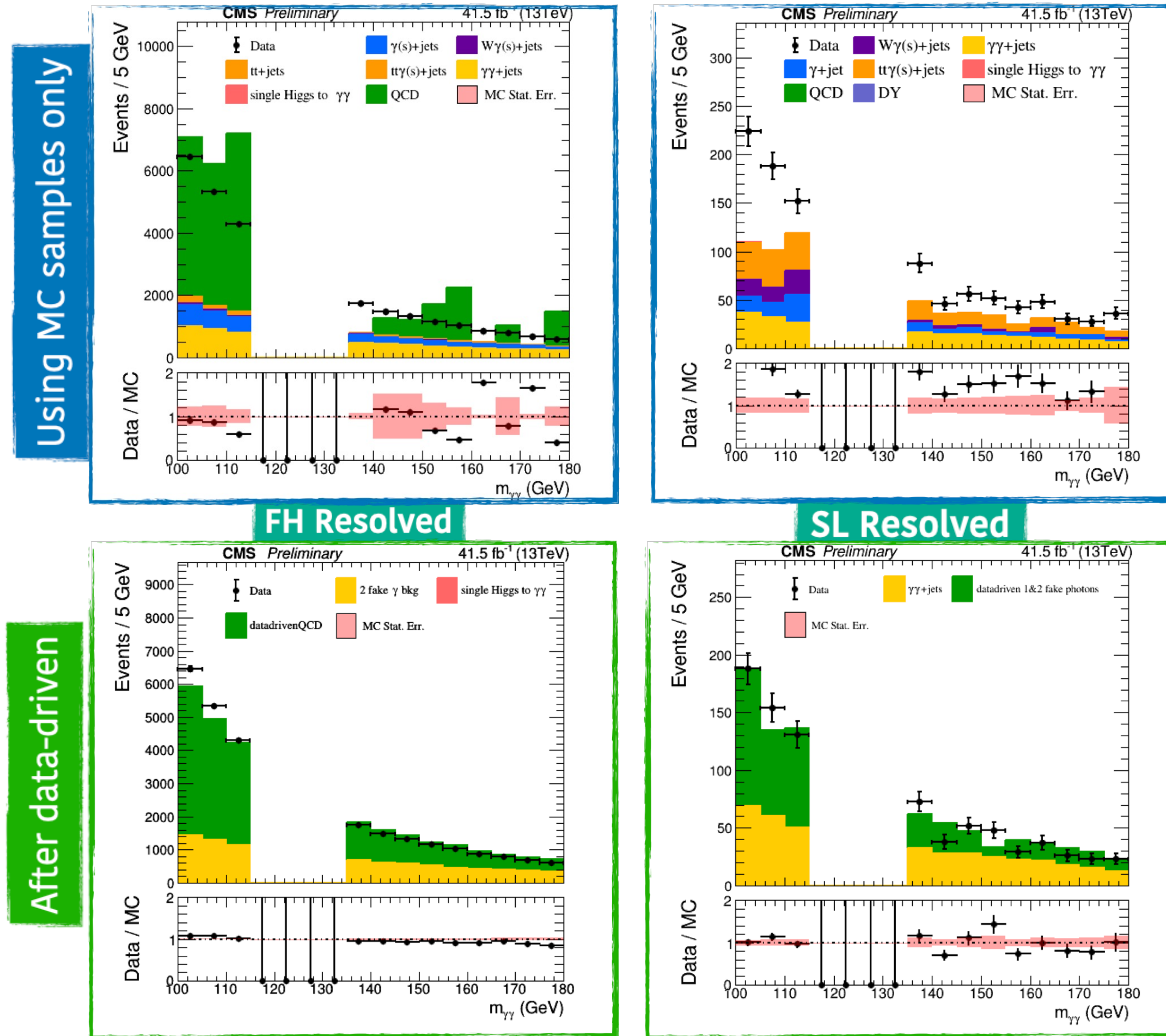
使用Data中未通过光子ID MVA cut的事例代替假光子本底(e.g. QCD)。我们把未通过光子ID cut的区间叫做 Low photon ID sideband



Assumptions:

- ✓ DNN中其他变量与光子ID MVA的相关性极小
- ✓ Low photon ID sideband的主要本底为假光子本底(e.g. QCD)
- ✓ Low photon ID sideband的光子不是prompt光子

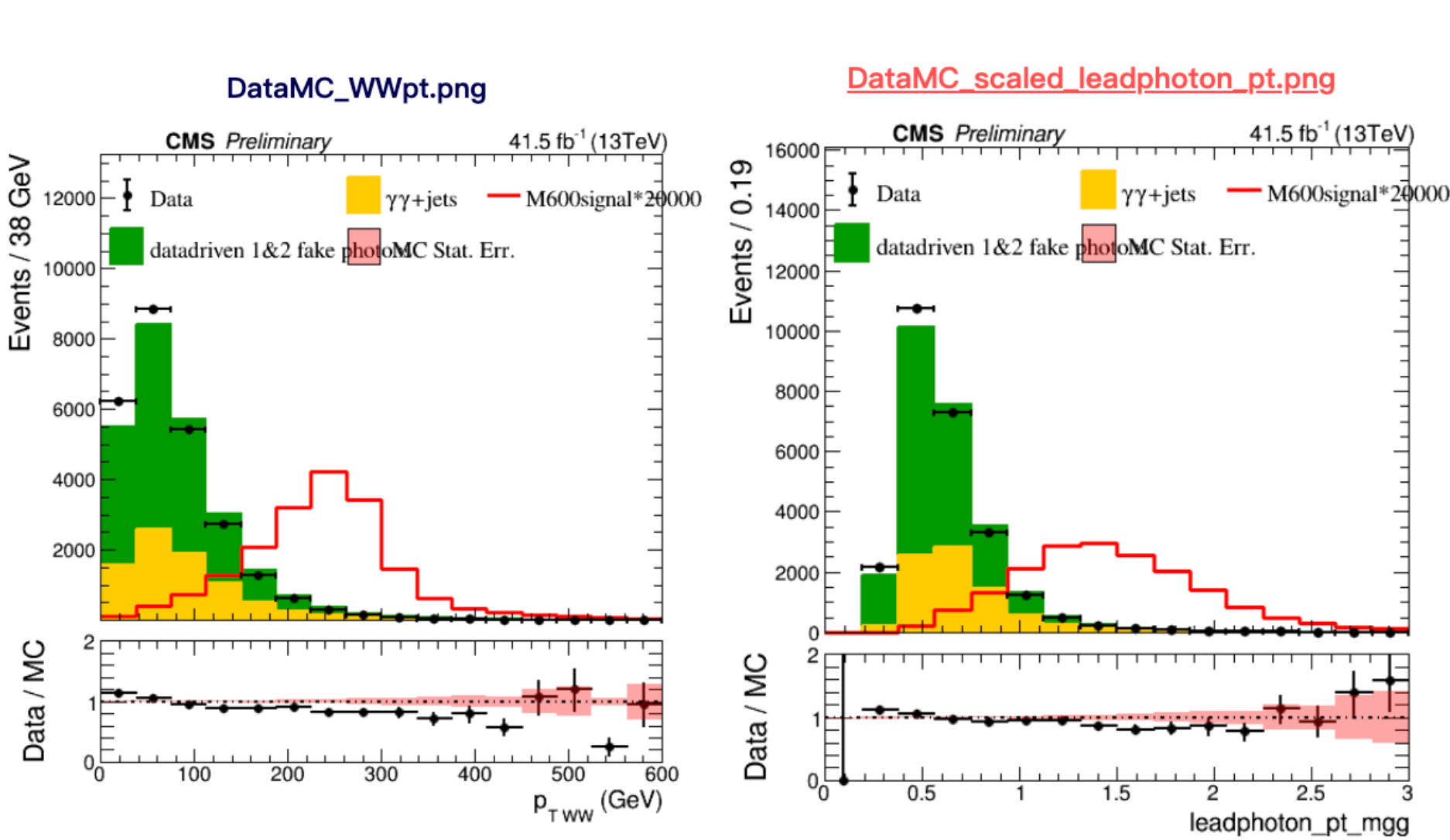
方法步骤和假设验证在backup



[Link: Data/MC comparison plots](#)

DNN优化

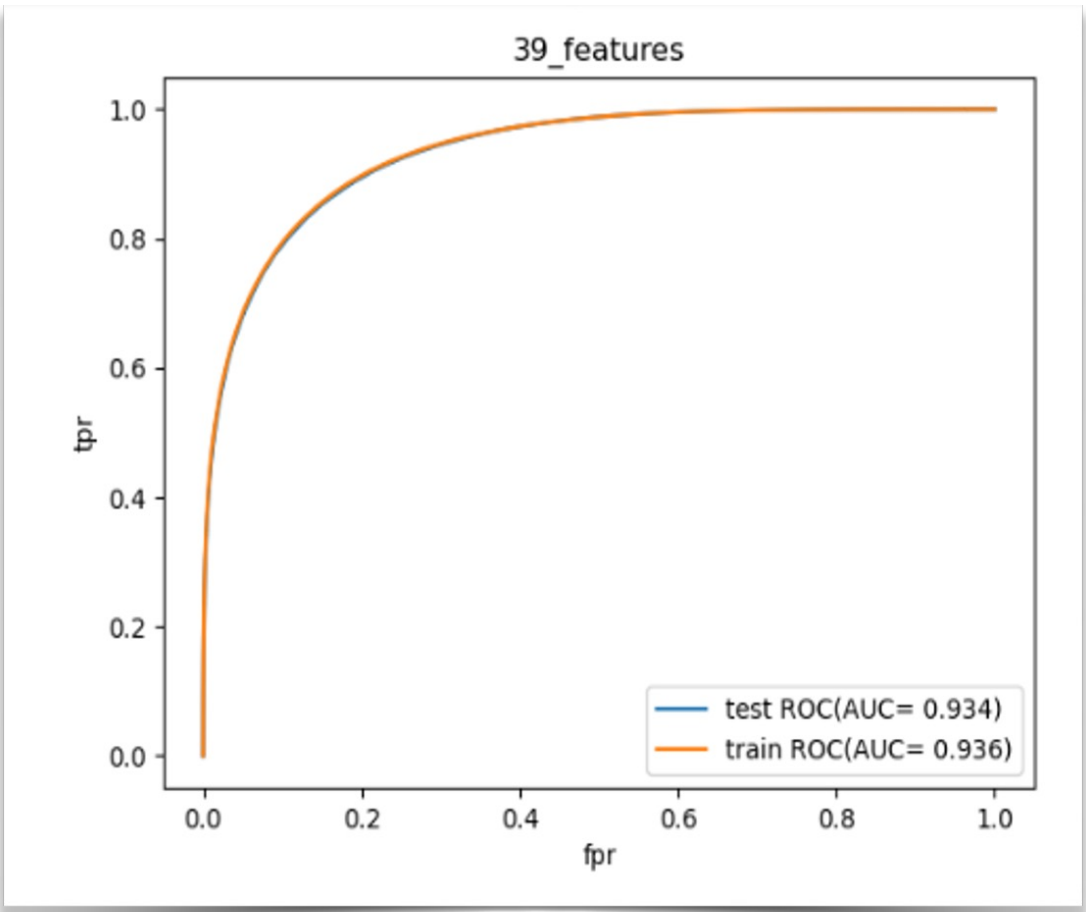
- ✓ 构建本分析使用的DNN框架，利用DNN训练信号和本底蒙卡样本，得到[0,1]之间分布的DNN score，进一步分类。
- 应用于Resolved全强子末态和半轻子电子道末态优化



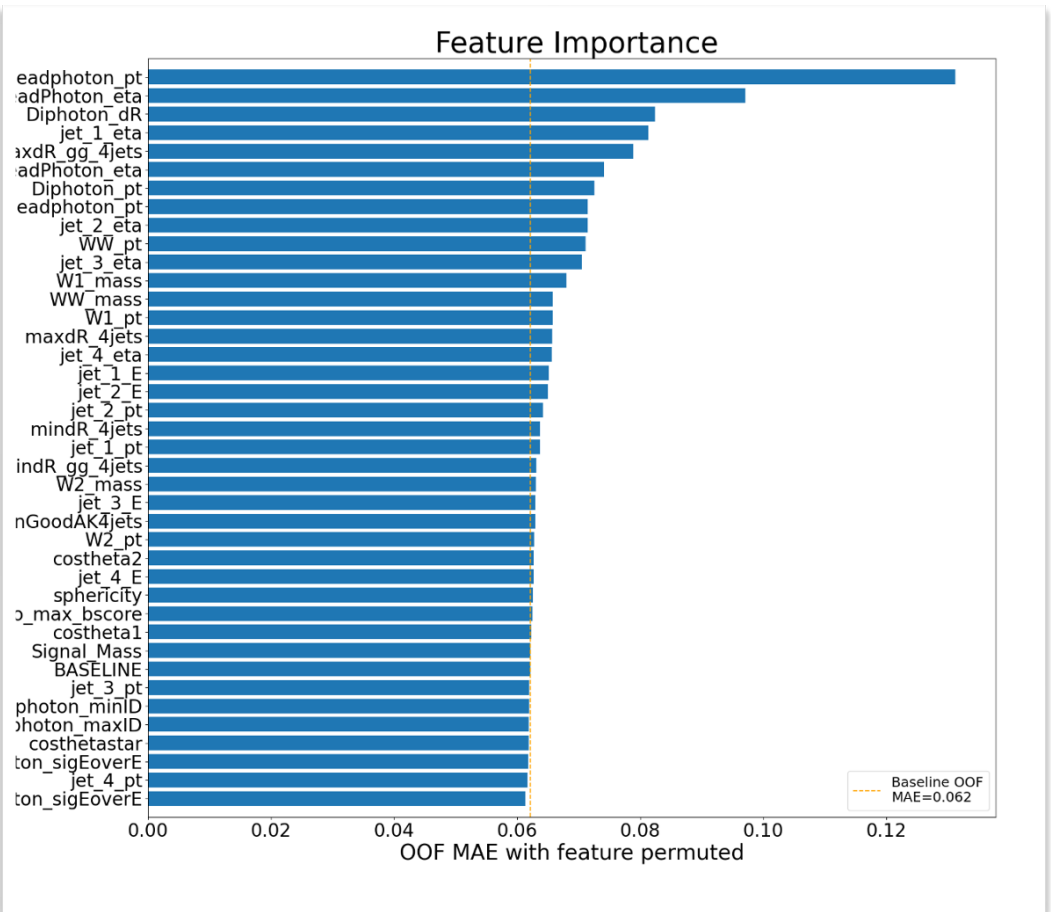
Training variables MC plot

39 input features

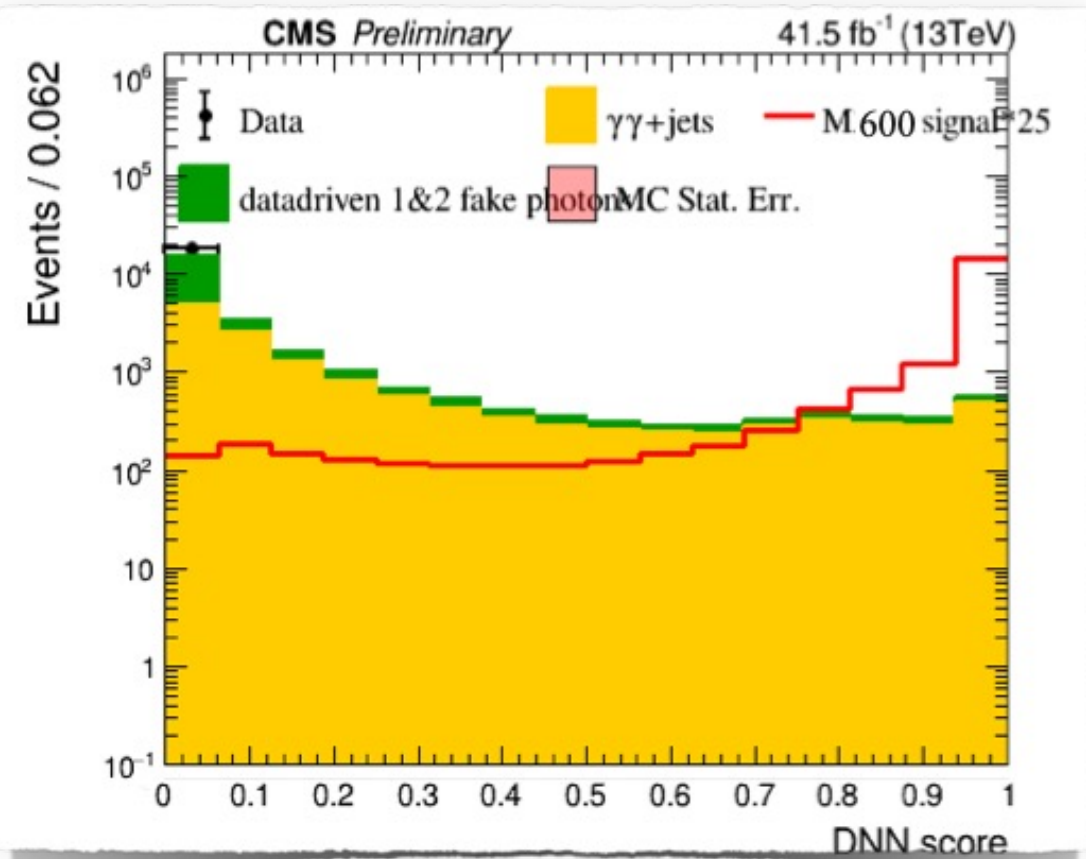
$p_{T\gamma lead}/m_{\gamma\gamma}, p_{T\gamma sublead}/m_{\gamma\gamma}, \eta_{\gamma lead}, \eta_{\gamma sublead}, \gamma_{lead}, sublead$ mass resolution
Sphericity, Sum two max b score, nGoodAK4jets Jet1,2,3,4: E, pt, eta,
W1, W2, WW: pt, mass
 $\Delta R(\gamma, \gamma), \min \Delta R(\gamma, jet), \max \Delta R(\gamma, jet), \min \Delta R(jet, jet), \max \Delta R(jet, jet)$
costhetastar, costhetastar1,2



ROC curve



特征重要性分布



Control region DNN score

下一步：

扫描DNN score significance 划分Fully Resolved category的类别。

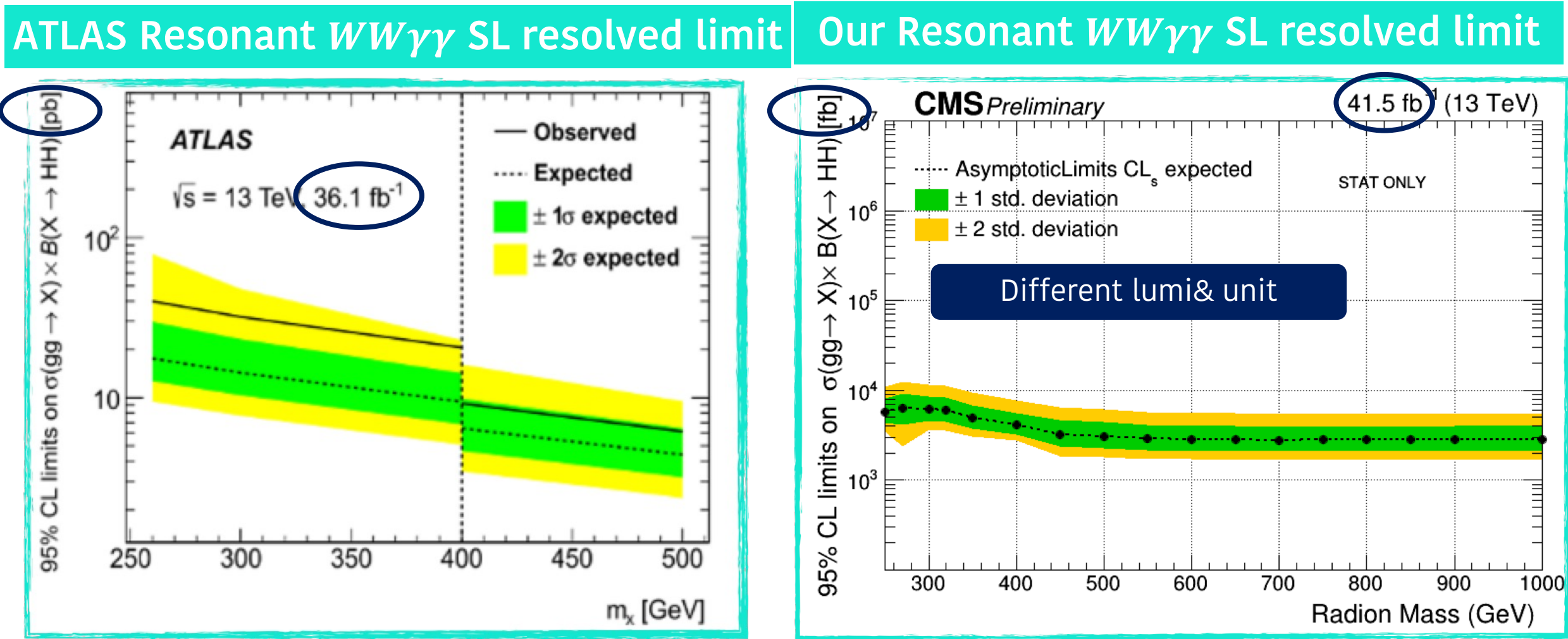
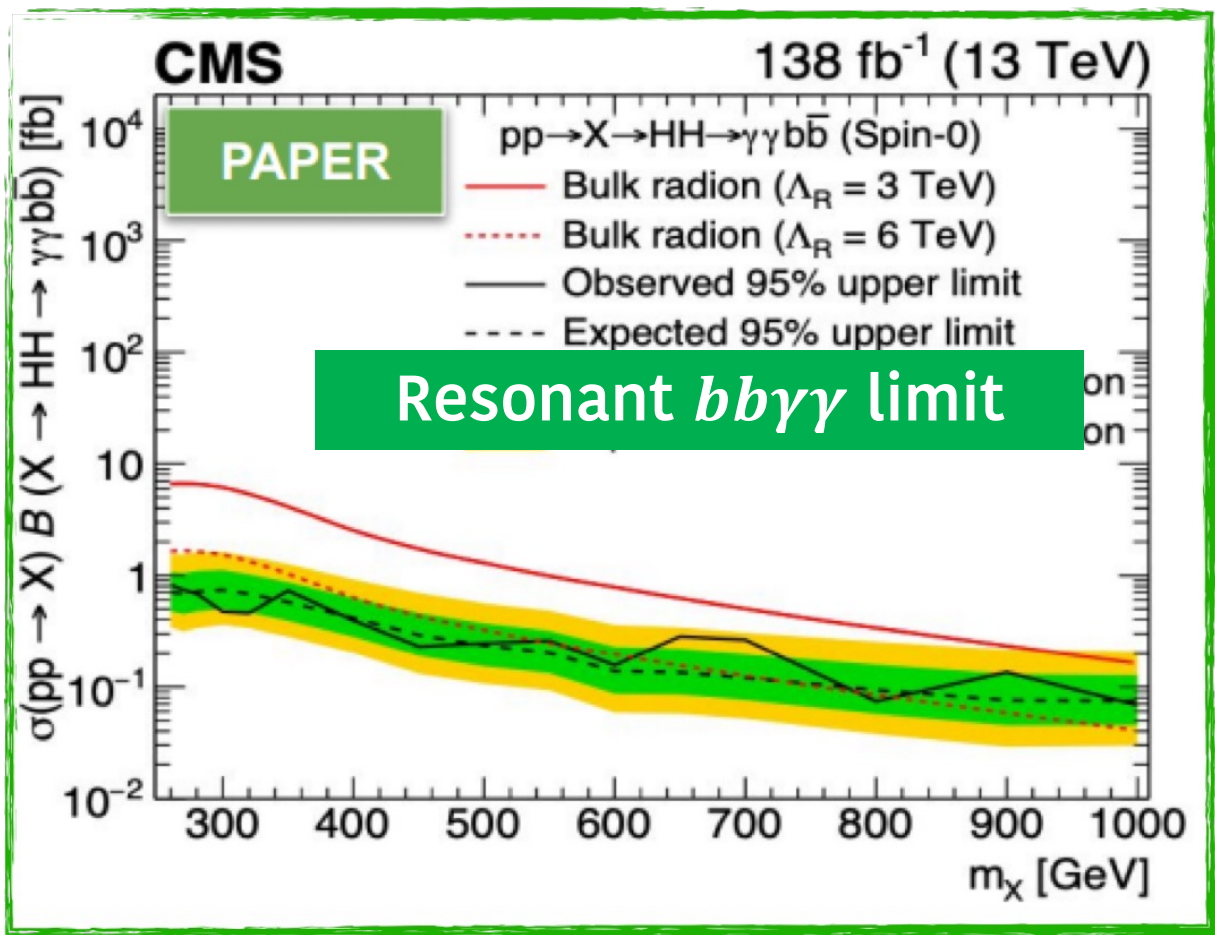
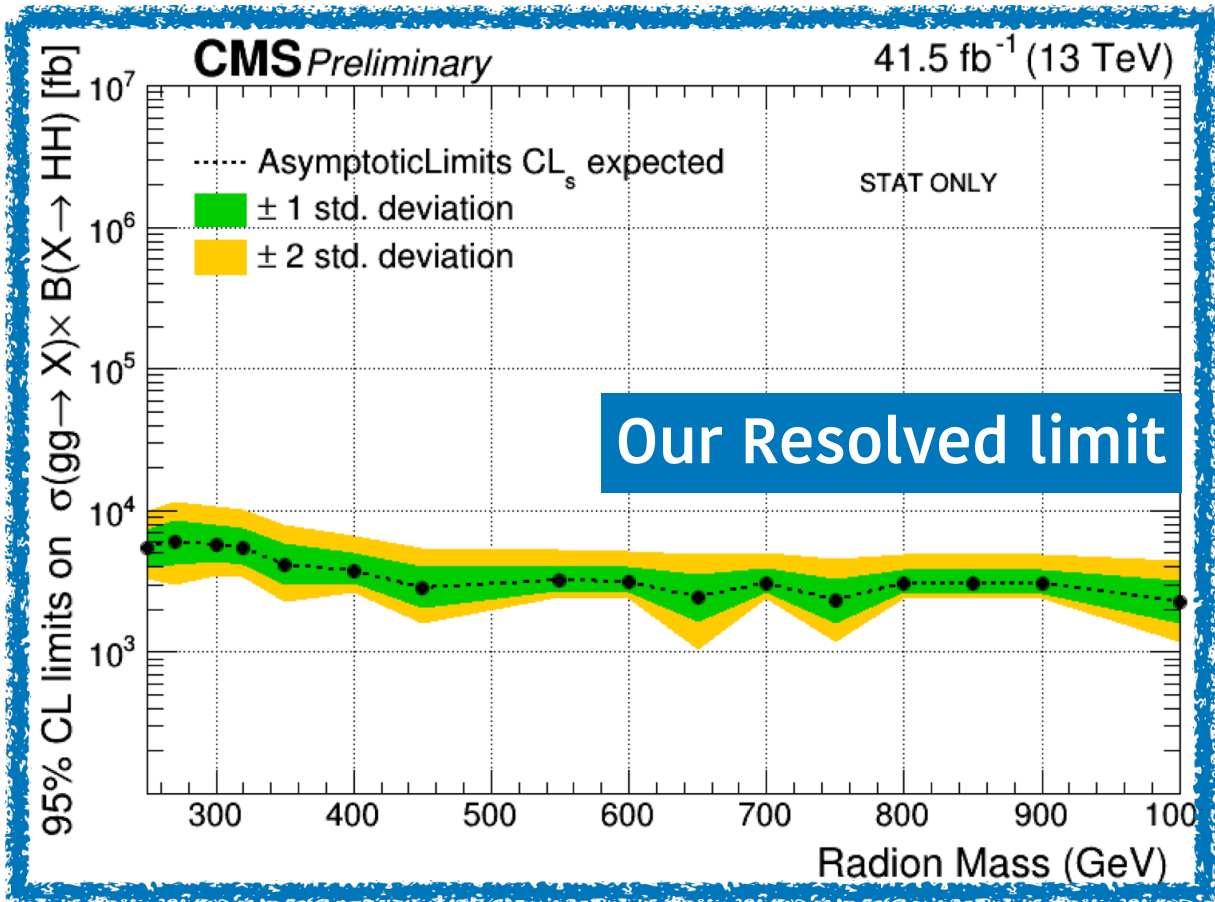
利用MC训练BDT以找到4gen matched信号jet用于训练DNN，替代掉目前依据pt挑选的4个jet。

HH产生截面上限

Resolved SL&FH末态，cut based优化结果 (将在下一步给出DNN优化结果)

mass	Limit
250	5390.625
270	5957.03125
300	5722.65625
320	5507.8125
350	4082.03125
400	3769.53125
450	2804.6875
550	3212.890625
600	3154.296875
650	2421.875
700	3076.171875
750	2285.15625
800	3066.40625
850	3056.640625
900	3046.875
1000	2255.859375

表格中单位为fb^-1



scale to 36.1 fb^-1, our limit is 3.4 pb^-1 at 500GeV, where ATLAS published result⁵ is 4.4 pb^-1

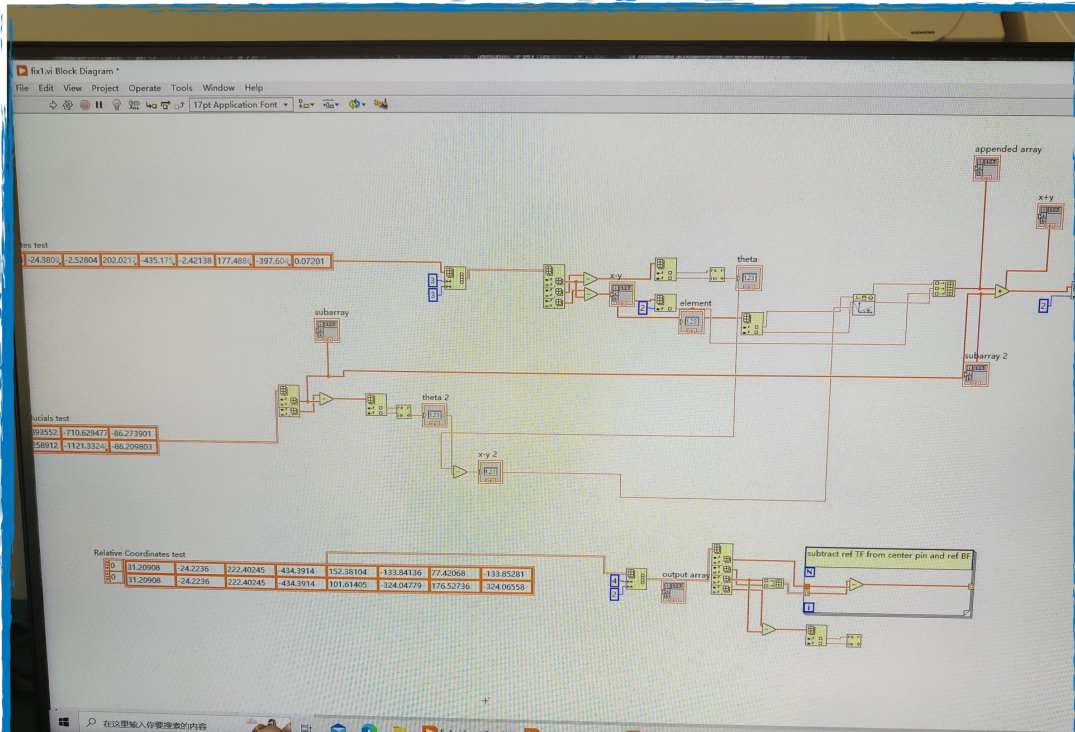
Radion mass (GeV)	Limit (fb^-1)	Scale to 138fb^-1	bby gamma Limit(fb^-1)	Scan DNN scale to 138fb
550	3212	~1606	~200	~600
Radion mass (GeV)	Combined Limit	FH Limit	SL Limit	
600	3212	5039	3340	
Radion mass (GeV)	Cut based FH Limit	Scan DNN score FH Limit		
600	3212	2642		

HGCal工作

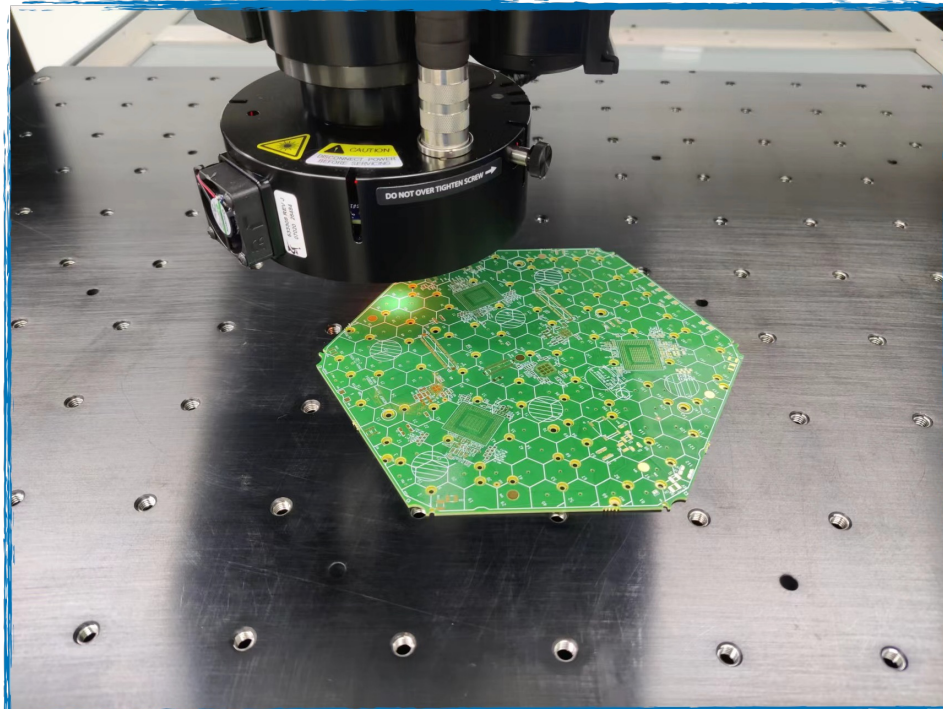
HGCal工作

— HGCal (高颗粒度度量能器)模块组装工作(Gantry部分)

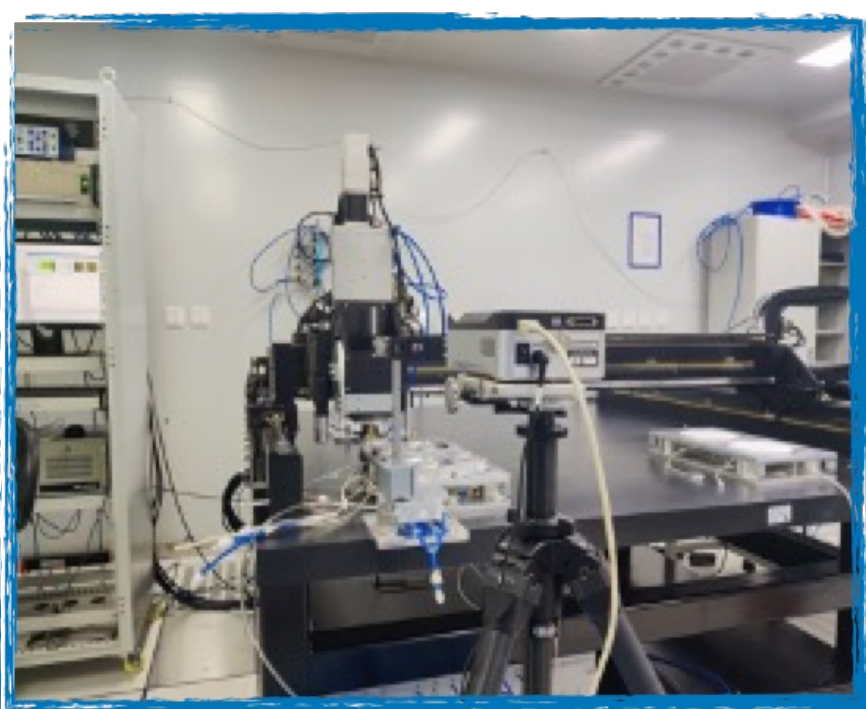
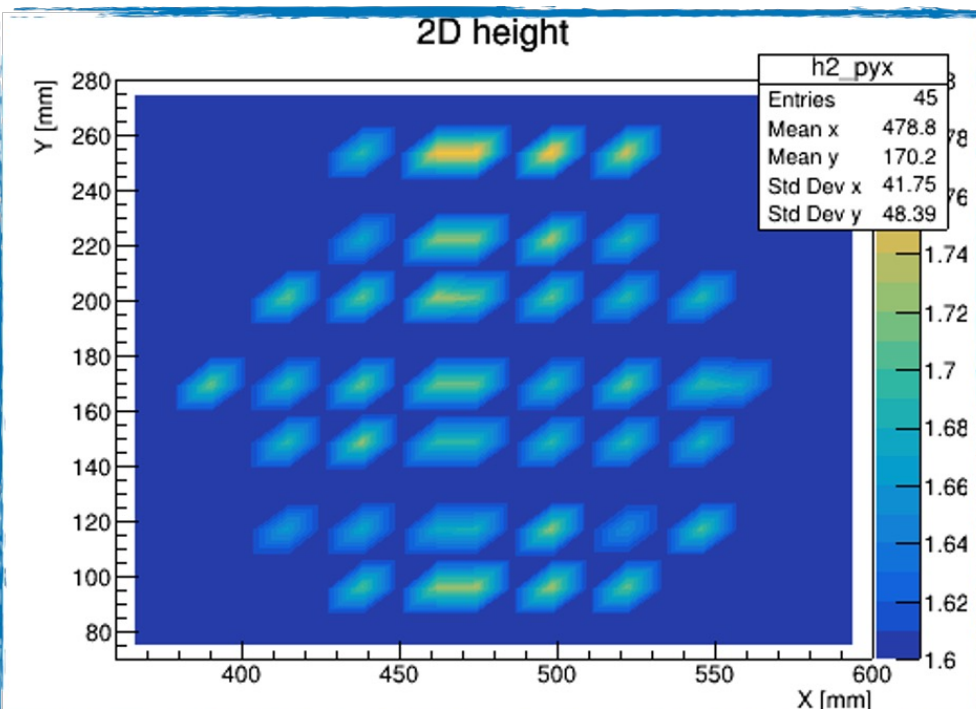
- 1. 使用Labview创建新的模块定位点代码，为模块在Gantry上进行自动化组装做好准备工作。
- 2. 熟练掌握OGP的使用，创建程序自动化测量工装及模块参数。
- 3. 负责完成Gantry刻度工作，激光刻度&玻璃板刻度。
- 4. 参与3M胶组装HGCal模块方案设计(Gantry部分)，组装dummy模块，为正式生产做准备。



Gantry视觉识别定位参考点



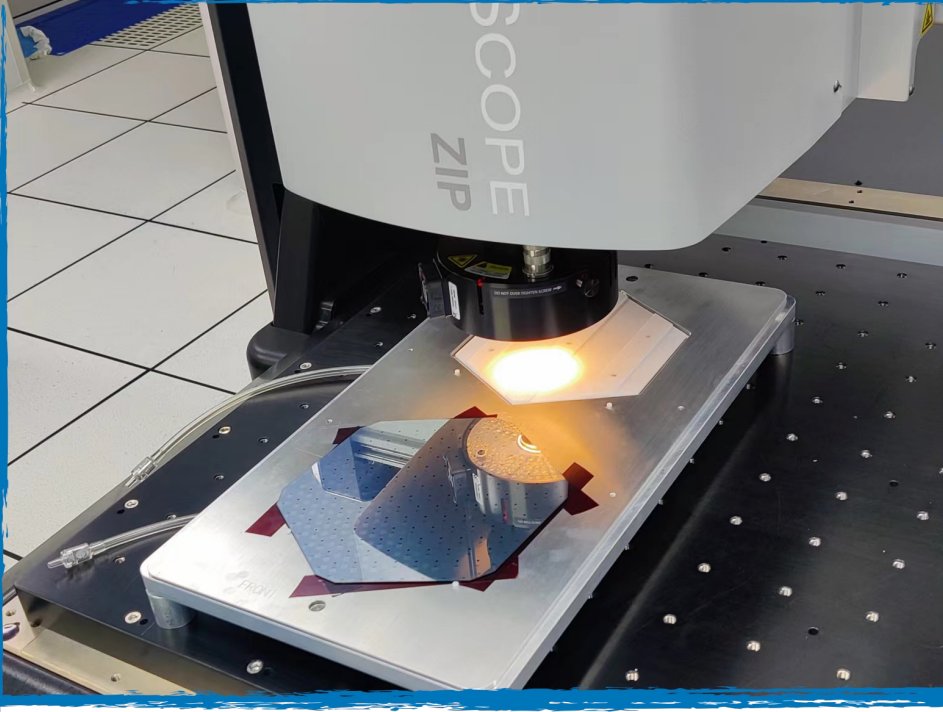
OGP创建自动化程序测量工装和模块参数



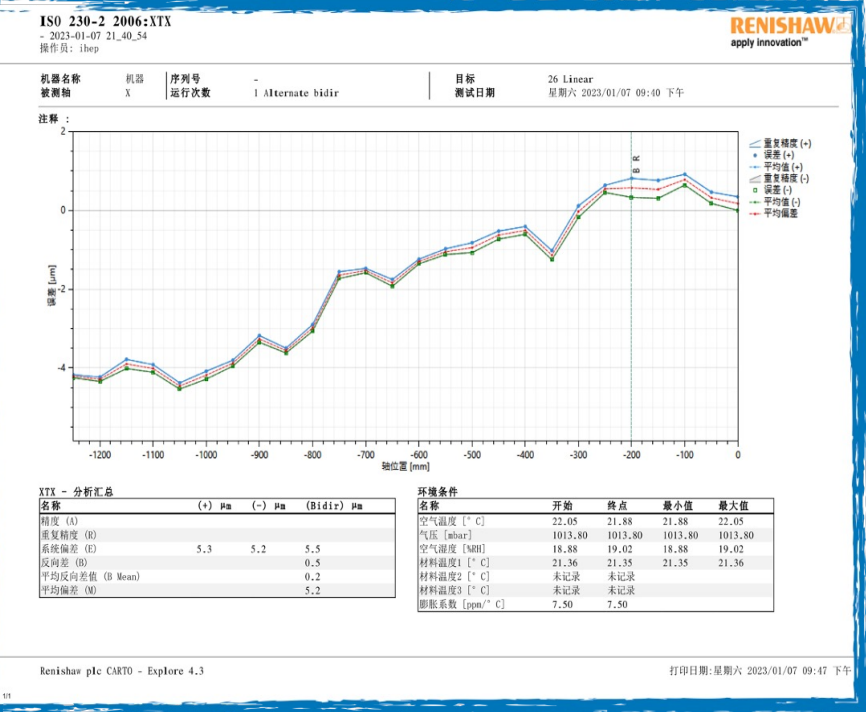
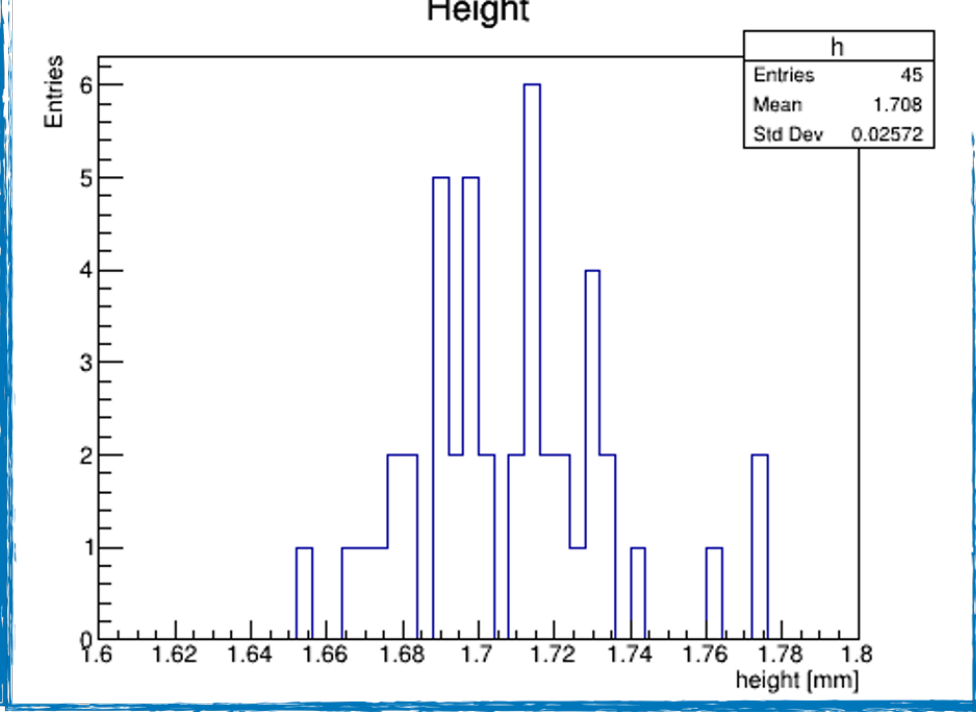
Gantry刻度



宋绍炜



实验物理中心考核



23/04/2023

总结与计划

总结与计划

- Resonant $X \rightarrow HH/HY \rightarrow WW\gamma\gamma$ 2022年7月-2023年8月

主要贡献

1. 构建本分析研究框架，对Fully Resolved道完成本底研究(本底估计，假设验证，好的Data/MC一致性)
2. 建立DNN框架，将DNN优化用于Fully Resolved道，目前用全强子末态测试优化结果，预计HH combine 全强子和半轻子Fully Resolved limit结果在低质量区间为 $\sim 600 fb^{-1}$, 约为 $bb\gamma\gamma$ 结果($\sim 200 fb^{-1}$) 3倍。cut-based优化的半轻子道的HH Limit结果(3.4pb)优于已发表的ATLAS的结果(4.4pb)。
3. 在B2G meeting上汇报本分析进展。
 - 将signal jet match的BDT用于DNN优化，重新产生DNN优化的Resolve末态的HH limit, 完成HH系统误差分析。
 - 完成 $HY \rightarrow WW\gamma\gamma$ 的全强子WW末态衰变分析，与NEU (负责半轻子道)合作完成HY分析。
 - 与non-resonant $HH \rightarrow WW\gamma\gamma$ 分析结果combine, 预计在6月给pre-approval报告, 8月发表论文。

- HGCal

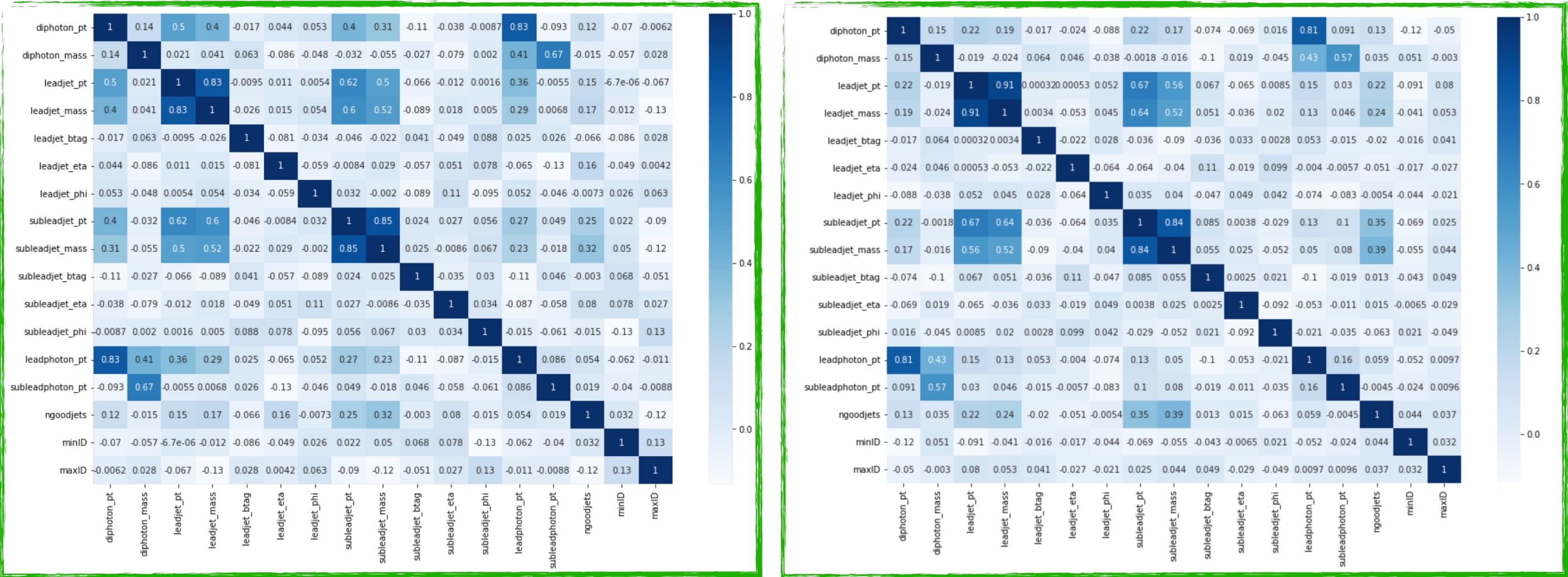
1. 完成Gantry的刻度工作，创建2D补偿文件，刻度后gantry的绝对精度在10微米以内。
2. 学习并使用Labview编写视觉识别定位点点代码。
3. 熟练掌握OGP并且创建自动化测量模块参数的程序。
4. 参与dummy模块的组装，为正式生产做好基础。

参考文献

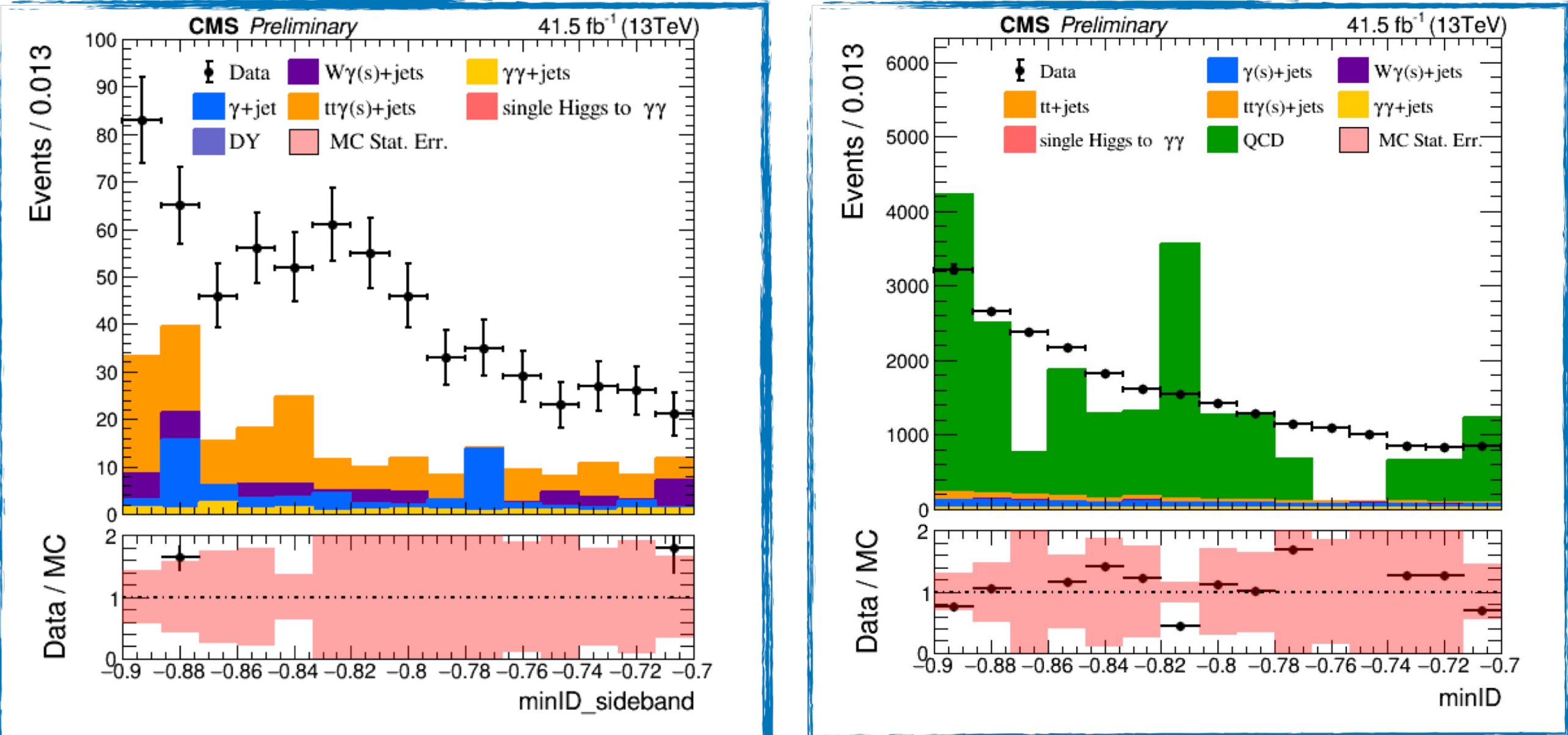
1. Search for non-resonant production of HH decaying to WWgamma gamma
<https://cms.cern.ch/iCMS/analysisadmin/cadilines?line=HIG-21-014&tp=an&id=2459&ancode=HIG-21-014>
2. Measurements of $t\bar{t}t\bar{t}H$ Production and the CP Structure of the Yukawa Interaction between the Higgs Boson and Top Quark in the Diphoton Decay Channel CMS Collaboration Albert M Sirunyan(Yerevan Phys. Inst.)et al. Phys.Rev.Lett. 125 (2020) 6, 061801 • e-Print: 2003.10866• DOI: 10.1103/PhysRevLett.125.061801
3. <https://indico.cern.ch/event/1201790/#20-pre-approval-of-hig-22-012>
4. [arXiv:1902.08570](https://arxiv.org/abs/1902.08570) [hep-ph]
5. Search for Higgs boson pair production in the $\gamma\gamma WW^*$ channel using pp collision data recorded at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector [arXiv:1807.08567](https://arxiv.org/abs/1807.08567) [hep-ex]

Backup

Data-Driven assumptions validation



Plot the 2D correlation matrix to check assumption 1



Plot the sideband region distribution to check assumption 2

MC sample	Fake rate in sideband
$\gamma + jets$	92%
QCD	100%

MC sample	Fake rate in sideband
$\gamma + jets$	98.14%
QCD	100%

background	Fake rate
TTJets	99.42%
TTToHadronic	99.65%
W4Jets	100%
QCD	100%
GJets	96.31%
TTGJets	95.76%

Calculate fake rate to check assumption 3