

CMS中国组2022年研究进展

肖朦

代表CMS中国组

2022.11.24



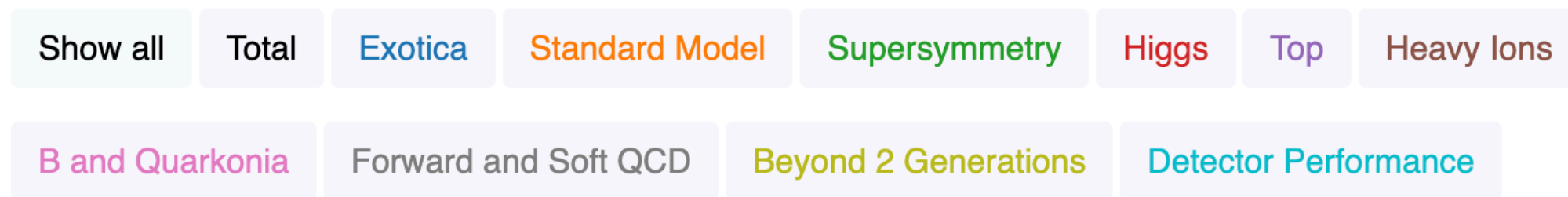
中国CMS组概况

- 8所高校，近120人队伍，新教工成员加入北大、科大
- 署名作者47人，占CMS签名人数2%

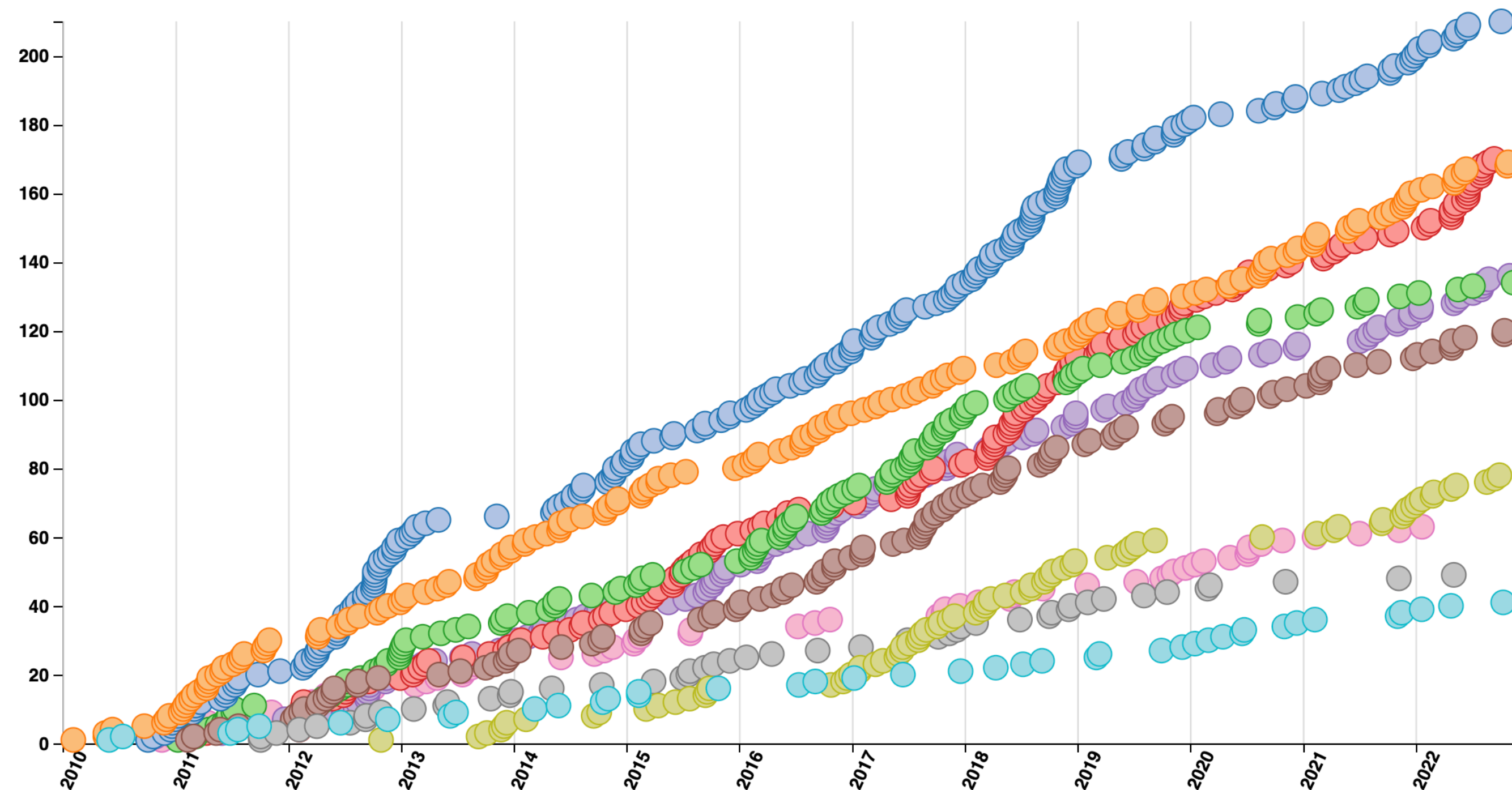
单位	教职工	博士后	研究生	总人数	作者数
高能所	19	8	17	44	16
北大	7	5	21	33	12
北航	2	2	3	7	5
清华-南师	4	3	10	17	7
中山	1	1	2	4	2
浙大	2	0	5	7	3
复旦	1	0	1	2	1
科大	1	0	0	1	1
总计	37	19	59	115	47

CMS合作组

3



1170 collider data papers submitted as of 2022-11-16



- CMS物理分析的主导角色：
 - 分析联系人(Analysis Contact): 1人
 - 审核报告(Approval talk): 1人
 - 预审核报告(Pre-approval talk): 1人
 - 文章编辑(Paper Editor): 1-2人 (以上人选兼任)

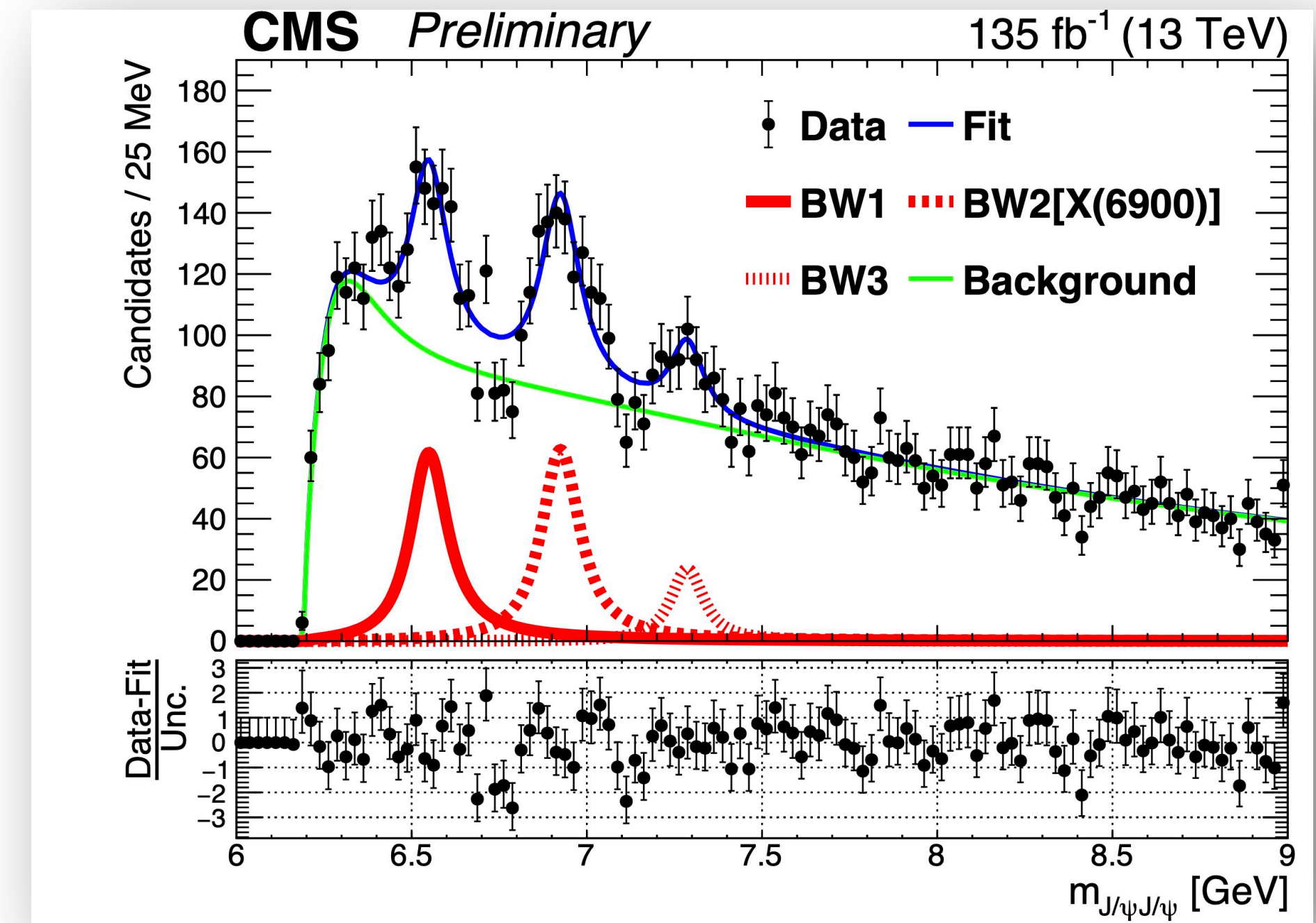
- 挑选自21年11月至今的公开结果
 - B物理：新粒子发现，1篇PAS
 - 希格斯粒子性质测量：6篇文章，5篇PAS
 - 新物理直接寻找和标准模型精确测量：8篇文章，1篇PAS

中国实验团队首次在CMS上主导发现新粒子

BPH-PAS-21-003

5

- 发现新粒子X(6600)、X(7300)存在的证据
- 确认LHCb发现的X(6900)
- 一个可能的全粲四夸克奇特粒子家族，细节见易凯25日报告
- 南师、清华主导，复旦、中大参与：分析联系人、揭盲报告、预审核报告、审核报告
- 首个公开报告、5个国际会议报告

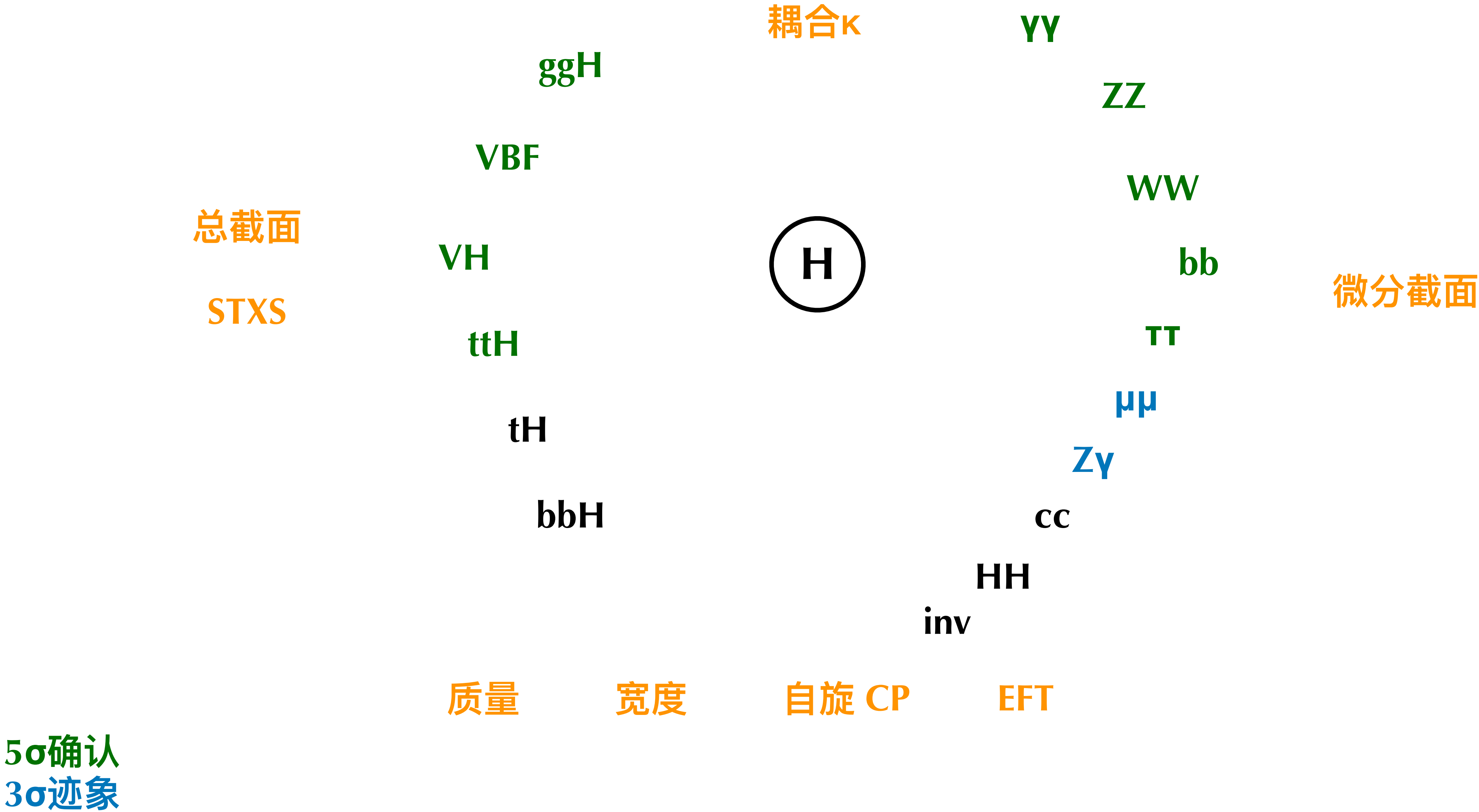


樱井奖得主Stanley Brodsky：“新发现的双J/ψ强子家族开辟了四夸克研究中一个重要的新领域。”

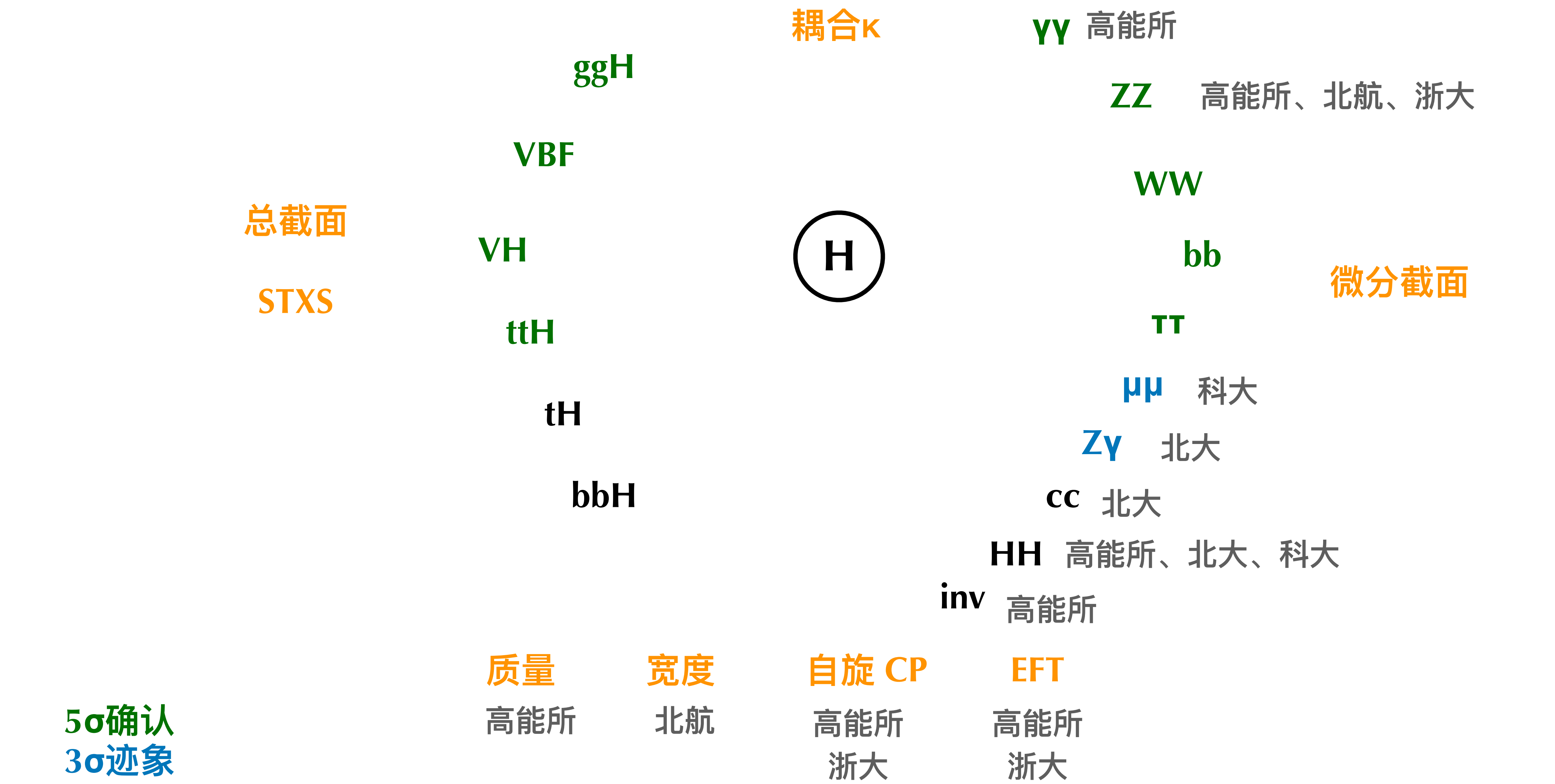
布鲁克海文实验室副所长Dmitri Denisov：“CMS合作组发现的这些新共振态为更深入的理解基本粒子间的相互作用铺平了道路，期待未来有更多这样令人兴奋的发现！”

CMS实验B物理召集人Riccardo Manzoni：“中国团队在这一成果中扮演了主要角色”

希格斯物理



希格斯物理



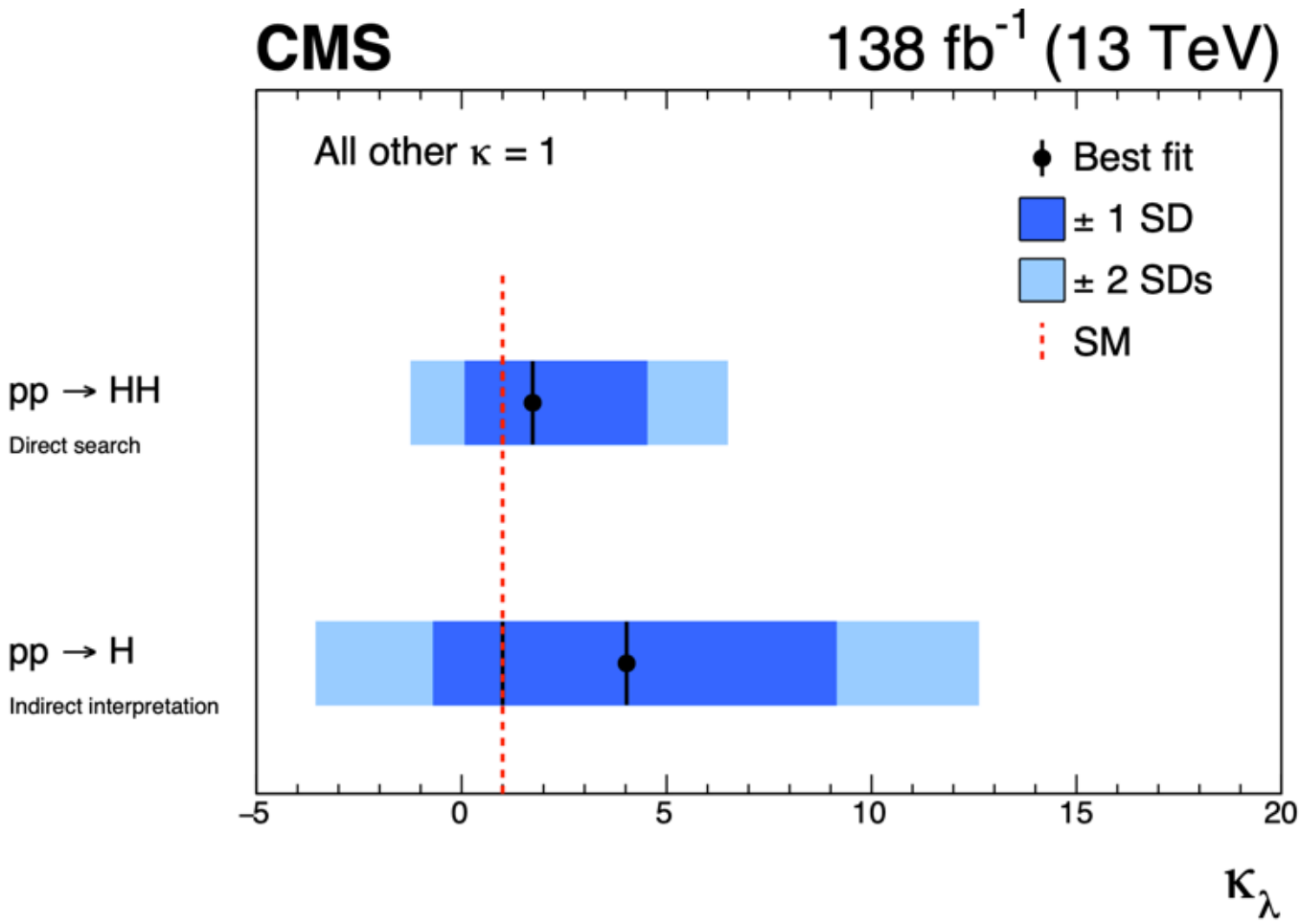
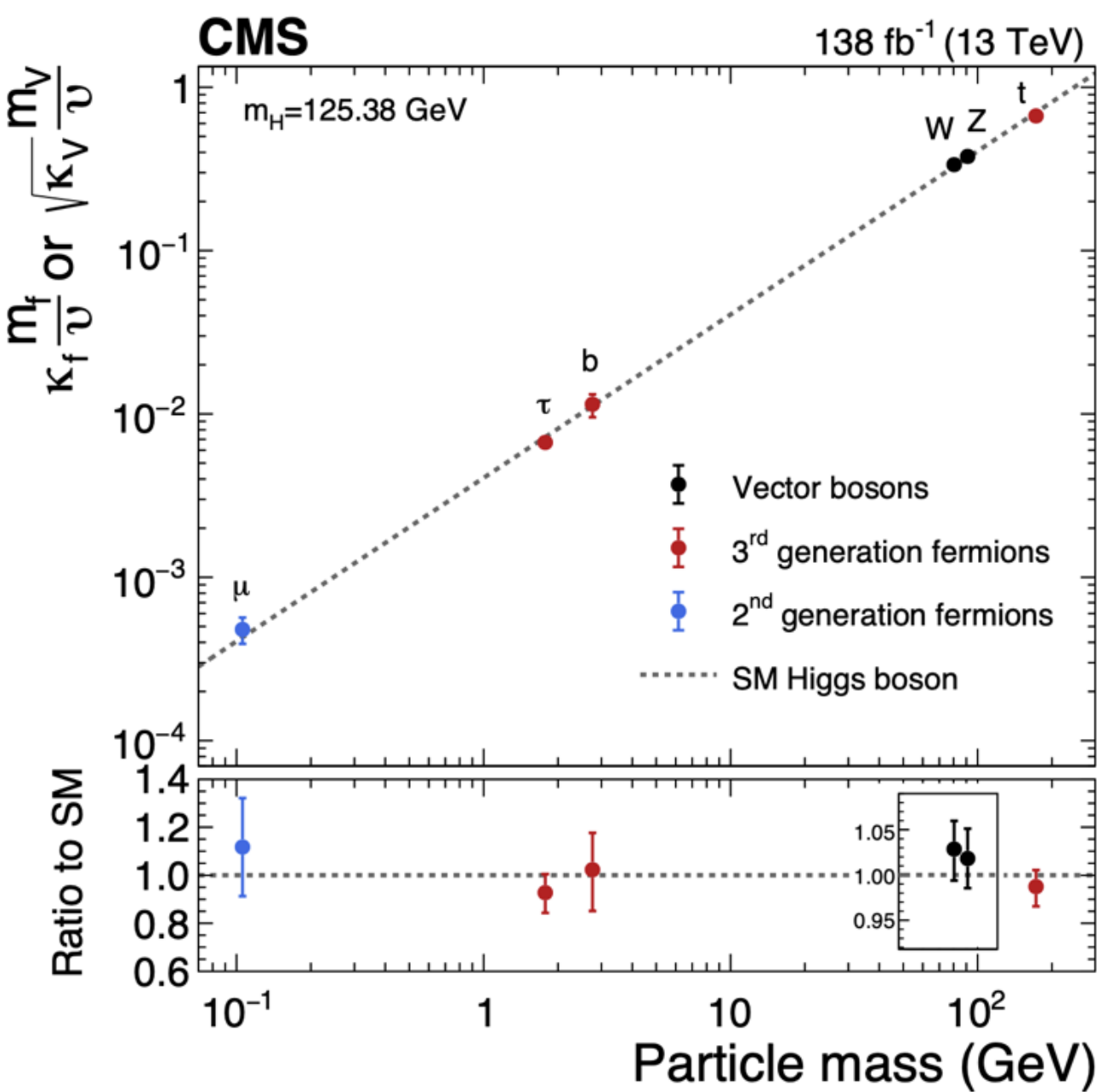
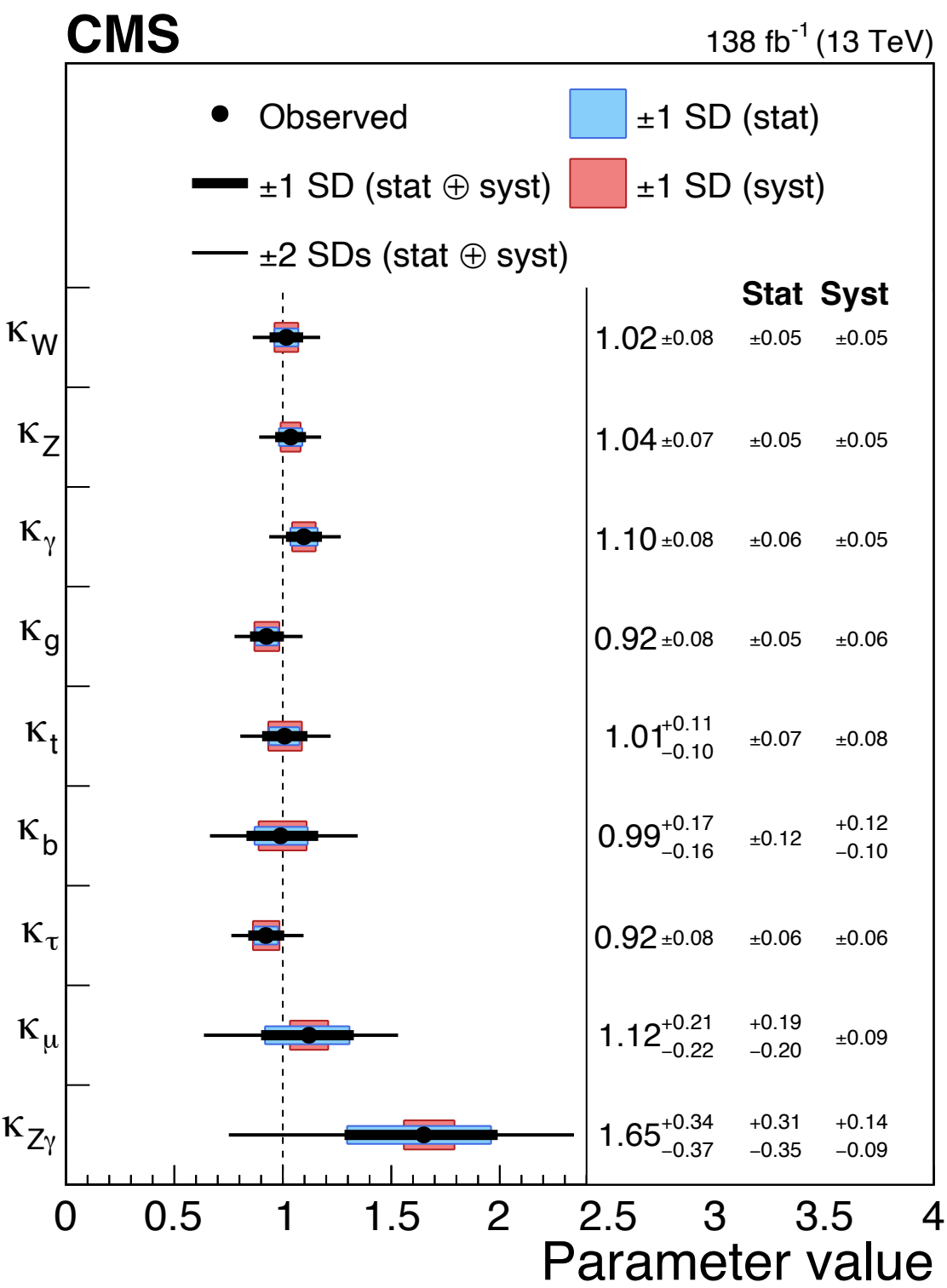
CMS Run2 Higgs联合分析

HIG-22-001

Nature 607 (2022) 60-68

- 基于全部Run2数据的联合测量
- 单希格斯15篇文章+双希格斯6篇文章

为庆祝希格斯粒子发现十周年，《自然》杂志于7月4日以特刊正式刊发

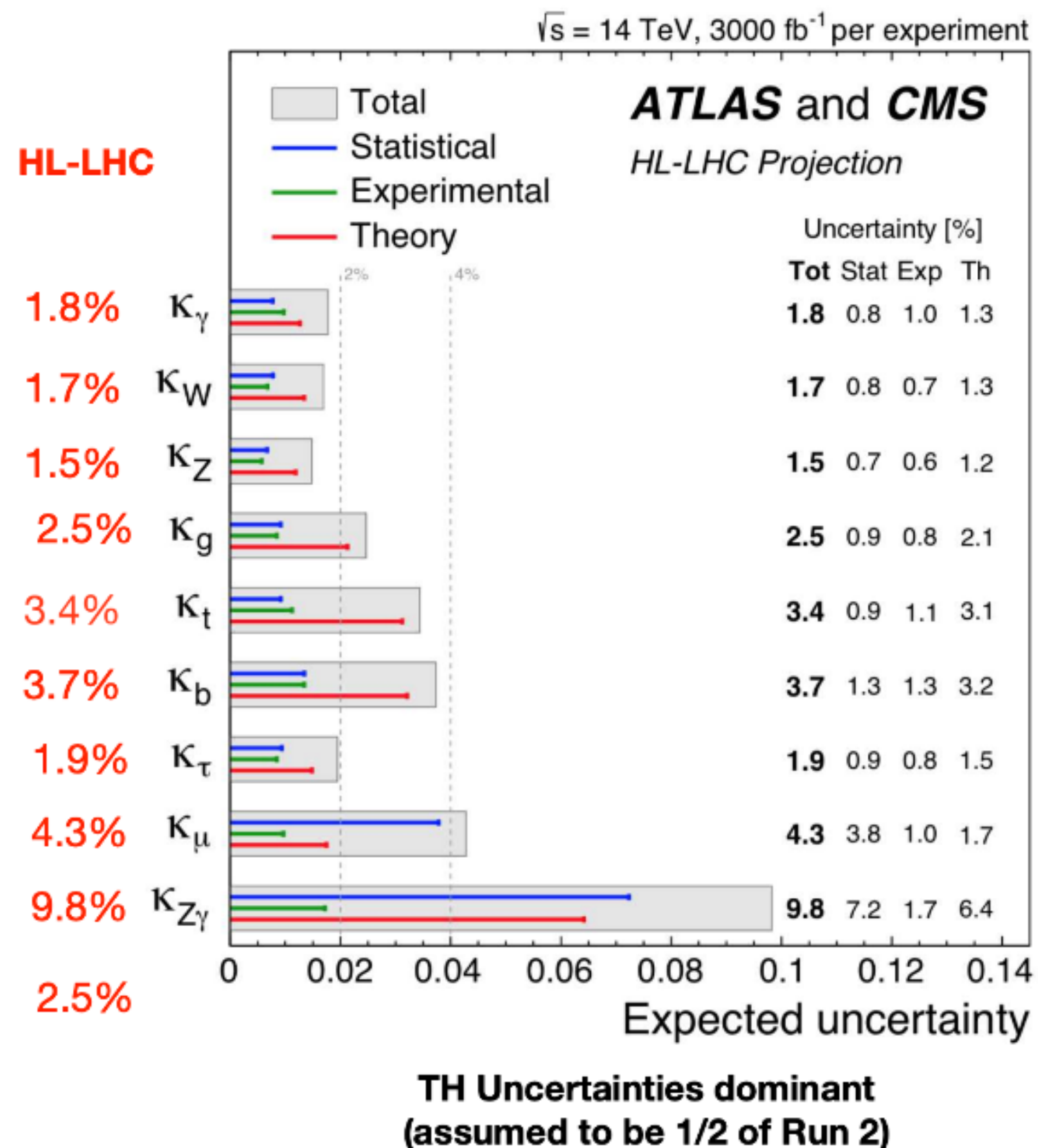


对基本粒子与希格斯的相互作用做出最精确测量

利用单希格斯和双希格斯过程分别对希格斯自相互作用强度做出严格限制

结果与Run1和HL-LHC的对比

	ATLAS - CMS Run 1 combination	ATLAS Run 2	CMS Run 2	Current precision	HL-LHC
κ_γ	13%	1.04 ± 0.06	1.10 ± 0.08	6%	1.8%
κ_W	11%	1.05 ± 0.06	1.02 ± 0.08	6%	1.7%
κ_Z	11%	0.99 ± 0.06	1.04 ± 0.07	6%	1.5%
κ_g	14%	0.95 ± 0.07	0.92 ± 0.08	7%	2.5%
κ_t	30%	0.94 ± 0.11	1.01 ± 0.11	11%	3.4%
κ_b	26%	0.89 ± 0.11	0.99 ± 0.16	11%	3.7%
κ_τ	15%	0.93 ± 0.07	0.92 ± 0.08	8%	1.9%
κ_μ	-	$1.06^{+0.25}_{-0.30}$	1.12 ± 0.21	20%	4.3%
$\kappa_{Z\gamma}$	-	$1.38^{0.31}_{-0.36}$	1.65 ± 0.34	30%	9.8%
B_{inv}		< 11 %	< 16 %	11%	2.5%
		Nature 607, 52-59 (2022)	Nature 607, 60-68 (2022)		



Code	Name	Status	PAS	PAPER	ARC	IRC
HIG-22-001 » show CDS NATURE	Higgs Couplings and non-resonant HH Combination	PUB			Andre David Tinoco Mendes (CERN)	IRC
HIG-22-001 (Tue, 22 Nov 2022 08:06:05)						
Name	Higgs Couplings and non-resonant HH Combination	Description	Combined paper on Higgs couplings, including single-Higgs results as well as the non-resonant di-Higgs combination			
Status	PUB	Contact Person	Andrea Carlo Marini (CERN)			
Twiki	HIG-22-001	Forum	PubTalk HIG-22-001			
Data,Samples	DataSet: Run2 Samples: not set	Conference				
Target Date PreApp	18/01/2022	Target Date PhysApp	17/02/2022	yy 高能所		
Talks	Pre-Approval Talk » Approval Talk »	Actions	Not in Edit Mode			
Related Analyses	HIG-21-002 HIG-20-010 HIG-19-018 B2G-21-001 HIG-20-003 EXO-20-004 EXO-19-003 HIG-19-014 HIG-19-006 HIG-19-008 HIG-19-003 HIG-17-022 HIG-17-026 HIG-19-010 HIG-20-013 HIG-19-001 HIG-19-015 HIG-18-016 HIG-16-044 HIG-20-005 HIG-20-004 B2G-22-003	Related CMS Notes	AN-2020/245 AN-2021/214			
中国组在其中多个分析中起到了关键作用						
zz 高能所、北航、浙大						
μμ 科大						
Physics Analysis Summary (PAS)						
ARC Chair	Andre David Tinoco Mendes (CERN)	ARC	Accepted hide 5 members			
					HH 高能所、北大、科大	
					ttH 高能所	
					inv 高能所	
PAS Actions		PAS CDS id				
PAPER						
Target Journal	NATURE	Target Date Pub				
AuthorList	Current AL (not finalized), Full AL preview (not finalized)	IRC	Accepted hide 7 readers A B C D E F G			
					Anadi Canepa ([A] FERMILAB) Accepted	
					Rainer Wallny ([B] ZURICH-ETH) Accepted	
					Oliver Pooth ([C] AACHEN-3B) Accepted	
					Julie Malcles ([D] SACLAY) Accepted	
					Andris Skuja ([E] MARYLAND) Accepted	
					Mingshui Chen ([F] BEIJING-IHEP) Accepted	
					Martino Margoni ([G] PADOVA) Accepted	
PAPER Actions		PAPER CDS id	CERN-EP-2022-039			
arXiv	2207.00043	DOI	https://doi.org/10.1038/s41586-022-04892-x			
HepData	HIG-22-001	Rivet Plugin tar file				

CMS Run2 Higgs联合分析

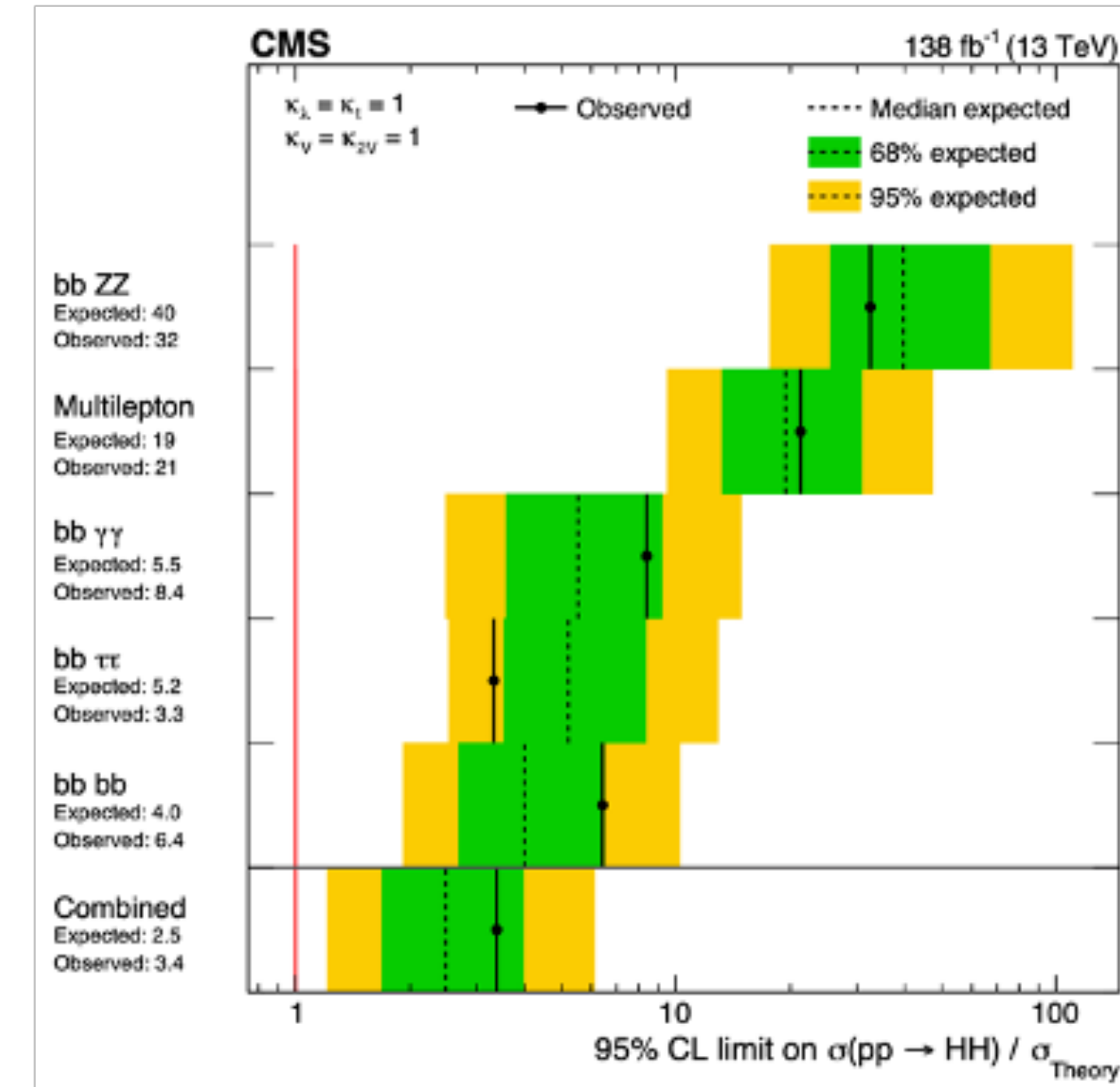
11

- 在联合测量中
- 高能所作HH 揭盲审核报告, 利用单希格斯间接约束希格斯自耦合强度, 担任支撑
LHCHWG note编辑
- 科大进行HH联合分析
- 浙大组织统筹H联合分析, 优化统计框架

Single H results

A. Gilbert, M. Knight, J. Langford, A. C. Marini, F. Monti, N. Smith, J. Wang, N. Wardle, A. de Wit, M. Xiao

Contacts: A. Albert, M. Bonanomi, S. Brommer, C. Caillol, J. Duarte, M. Kwok, A. Loeliger, K. Gedia, A. Giraldi, A. Nigamova, S. Sanchez Cruz, R. Seidita, S. Wozniowski



HH Results

A. Bethani, A. Carvalho, N. De Filippis, J. Duarte, T. Lange, N. Lu, F. Monti, M. Rieger, J. Wang

Contacts: F. Brivio, D. Guerrero, T. Lange, S. Laurila, N. Lu, F. Monti, A. Taliencio

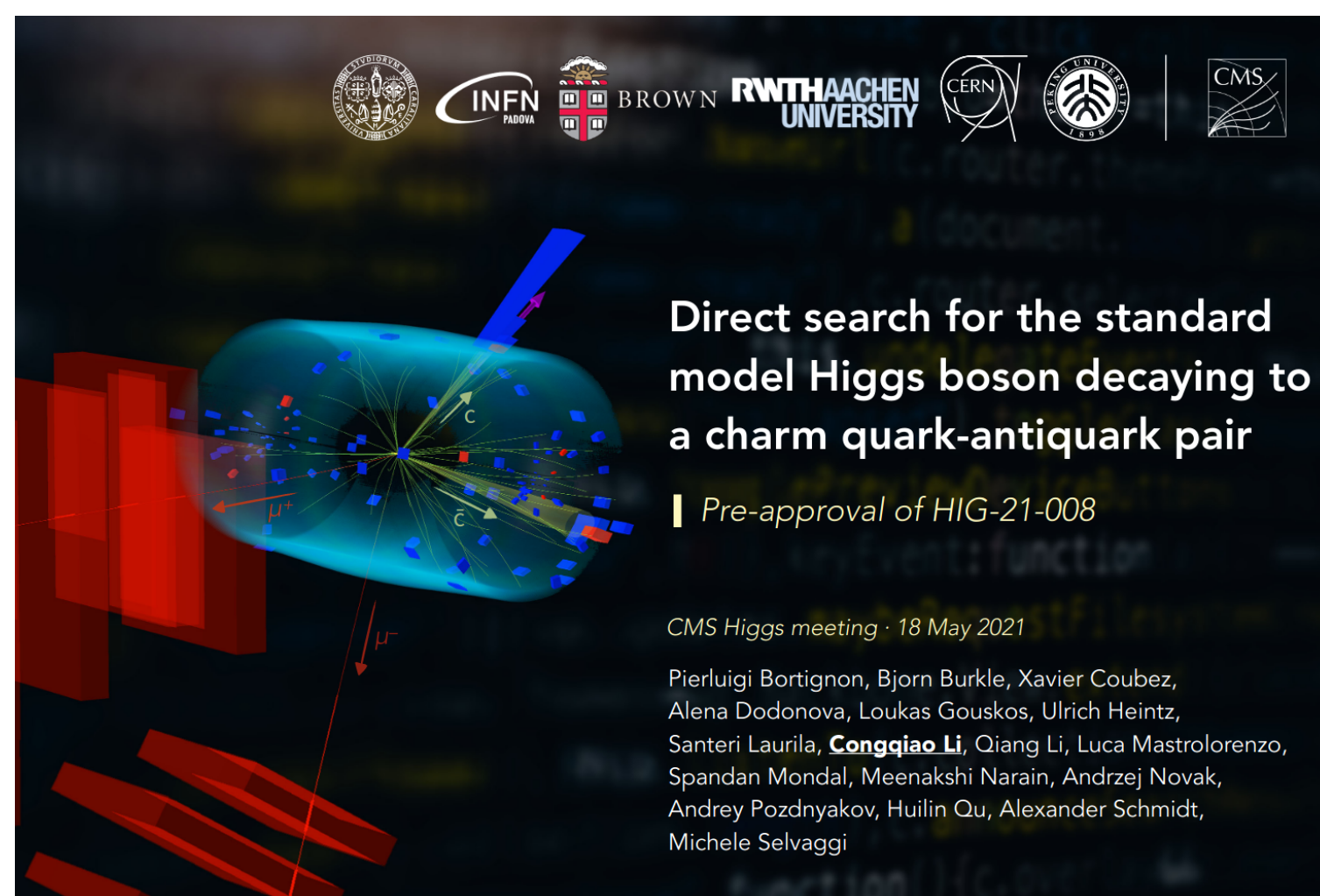
Hcc测量

12

[arXiv:2205.05550](#)

[accepted by PRL \(Editor's suggestion\)](#)

- 北大组与CERN合作开发了基于图神经网络的深度算法标记技术ParticleNet
- 大动量Higgs->cc的探测，大幅提高了该分析的灵敏度
- 在强子对撞机上首次观测到Z玻色子到粲夸克衰变过程
- Higgs与粲夸克汤川耦合的最强实验限制, 超过ATLAS同期结果近2倍!
 - CMS的观测(预期)的95%置信度limit是 $1 < |k_c| < 5.5$ ($|k_c| < 3.4$). ATLAS是 $|k_c| < 8.5(12.4)$
- 北大作预审核报告



ParticleNet已经成为
CMS新物理寻找的
新标准方法

**new
standards**

ParticleNet H→bb calibration

Pierluigi Bortignon (U. Cagliari & INFN Padova), Loukas Gouskos (CERN), Santeri Laurila (CERN),
Congqiao Li (Peking U.), Qiang Li (Peking U.), Huilin Qu (CERN), Michele Selvaggi (CERN)

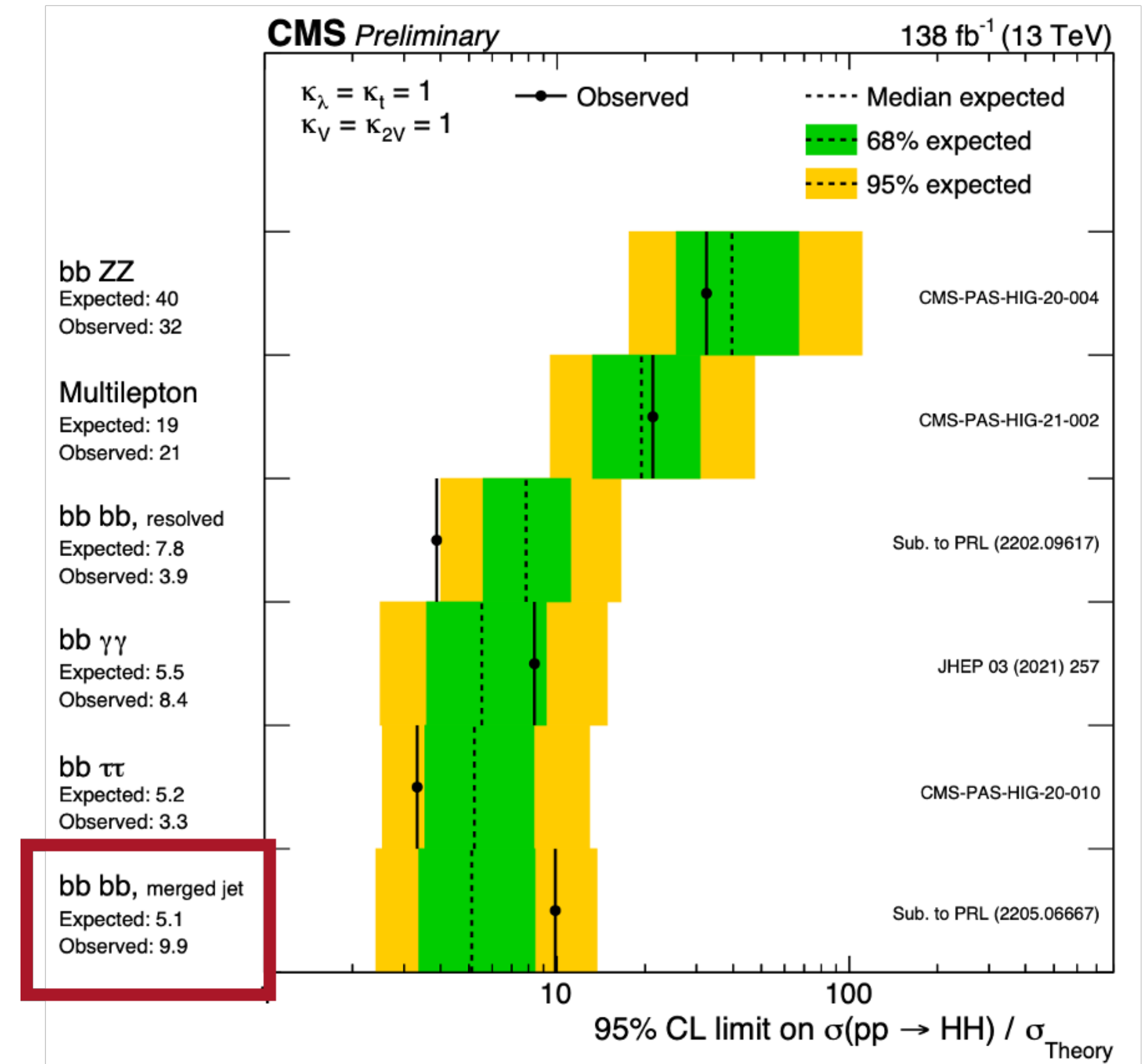
BTV WG meeting
14 April, 2021

$HH \rightarrow 4b$

[arXiv:2205.06667](https://arxiv.org/abs/2205.06667)
accepted by PRL

13

- 利用大动量的 $HH \rightarrow 4b$ 信号, ParticleNet算法
- 目前最精确的 HH 期望截面上限, 并给出了自耦和测量的结果
- 科大担任分析联系人, 审核报告和文章编辑

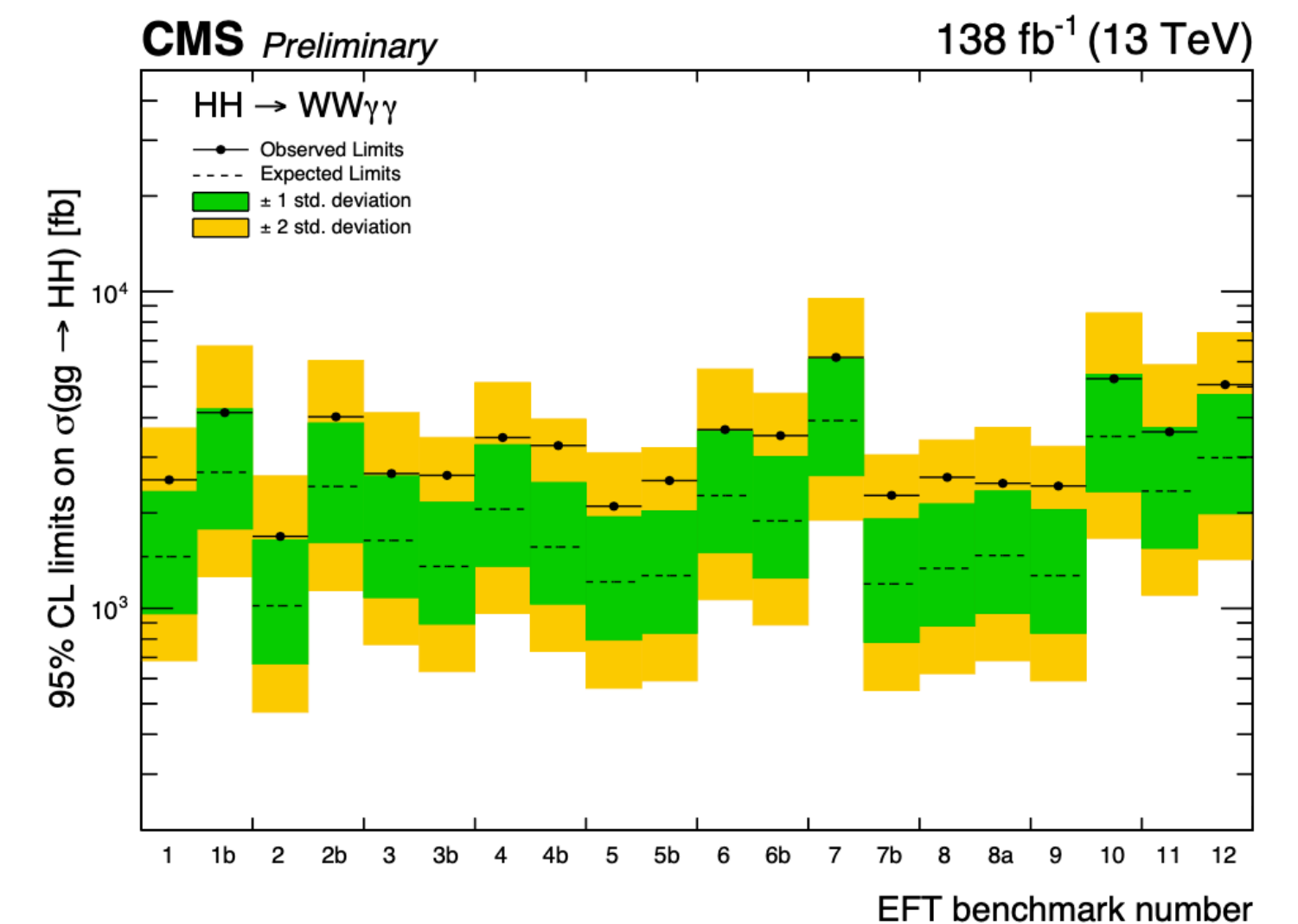
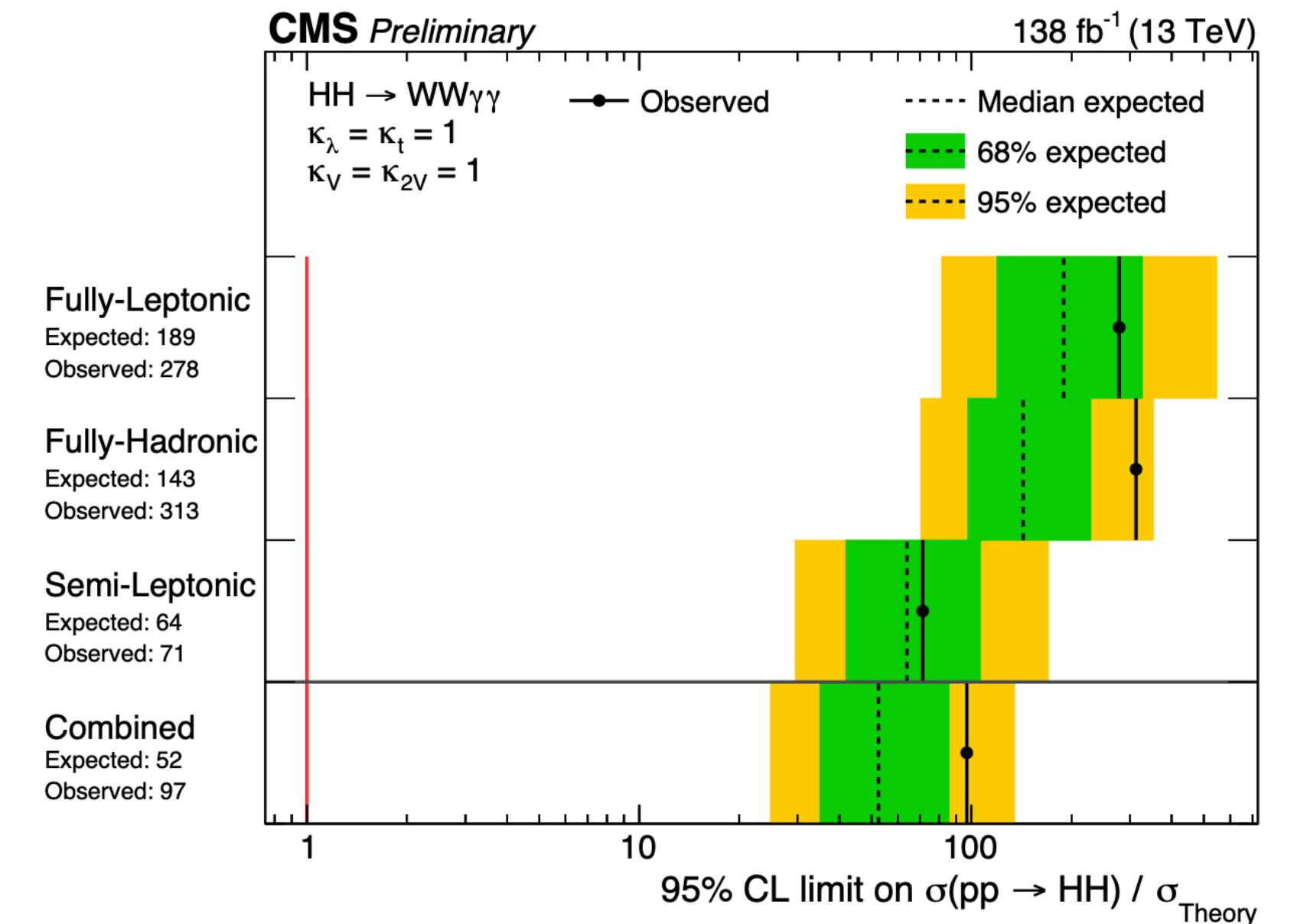


$HH \rightarrow WW\gamma\gamma$

HIG-PAS-21-013

14

- CMS上首次研究该衰变物理道
 - 干净的信号以及相对较大的衰变分支比
 - 基于全部Run2数据分析进行中
 - 高能所作揭盲审核报告、审核报告

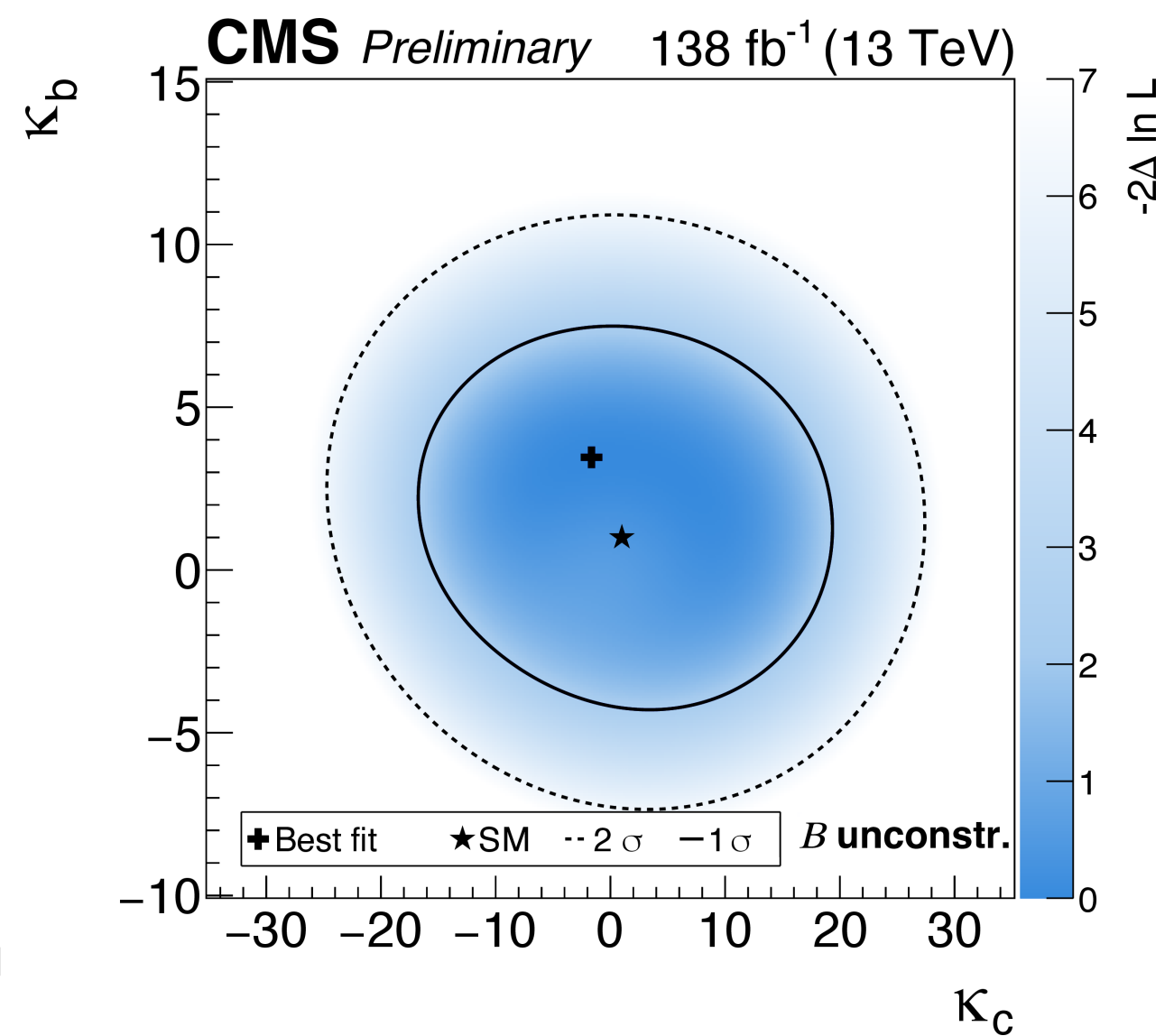
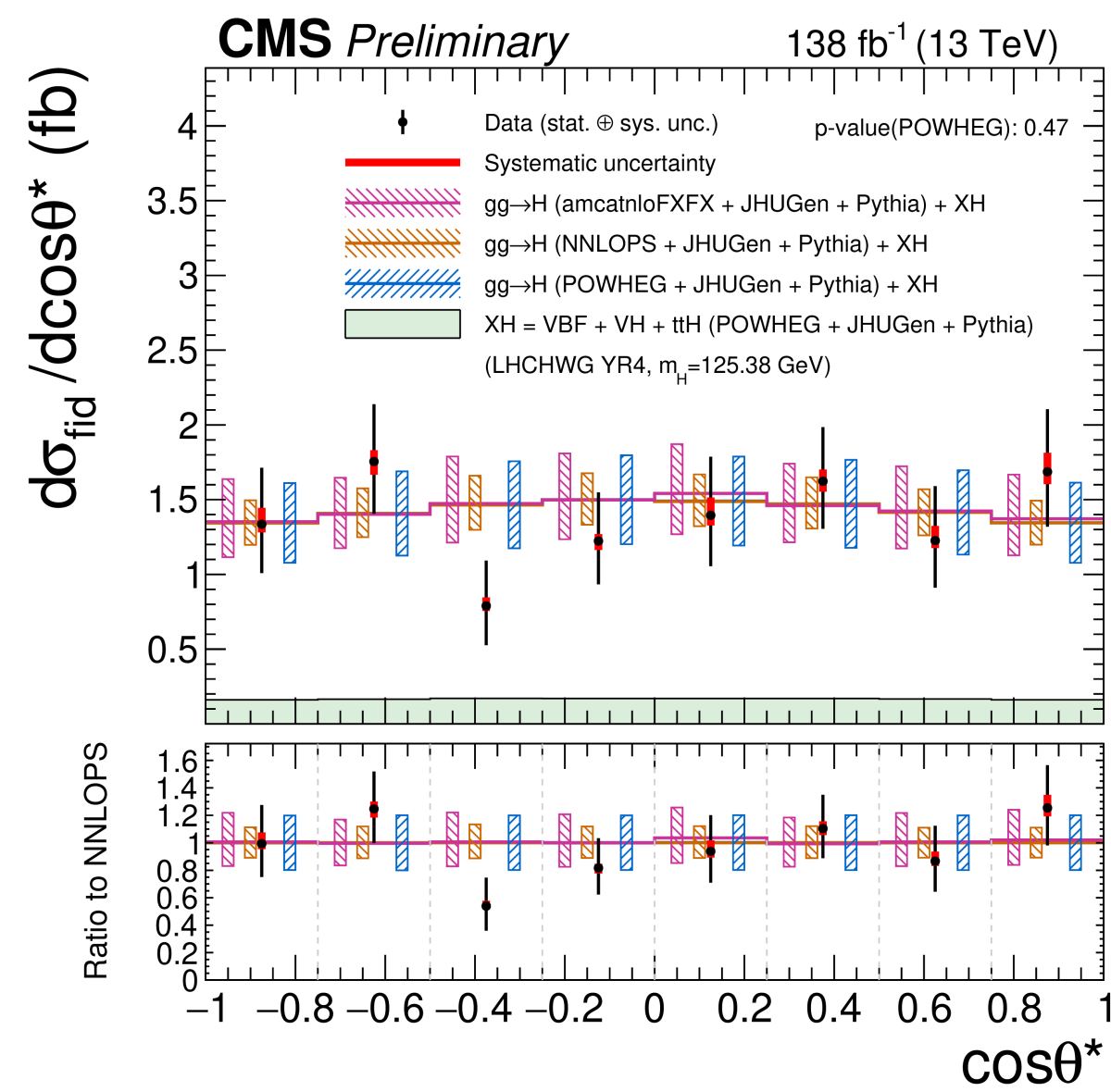
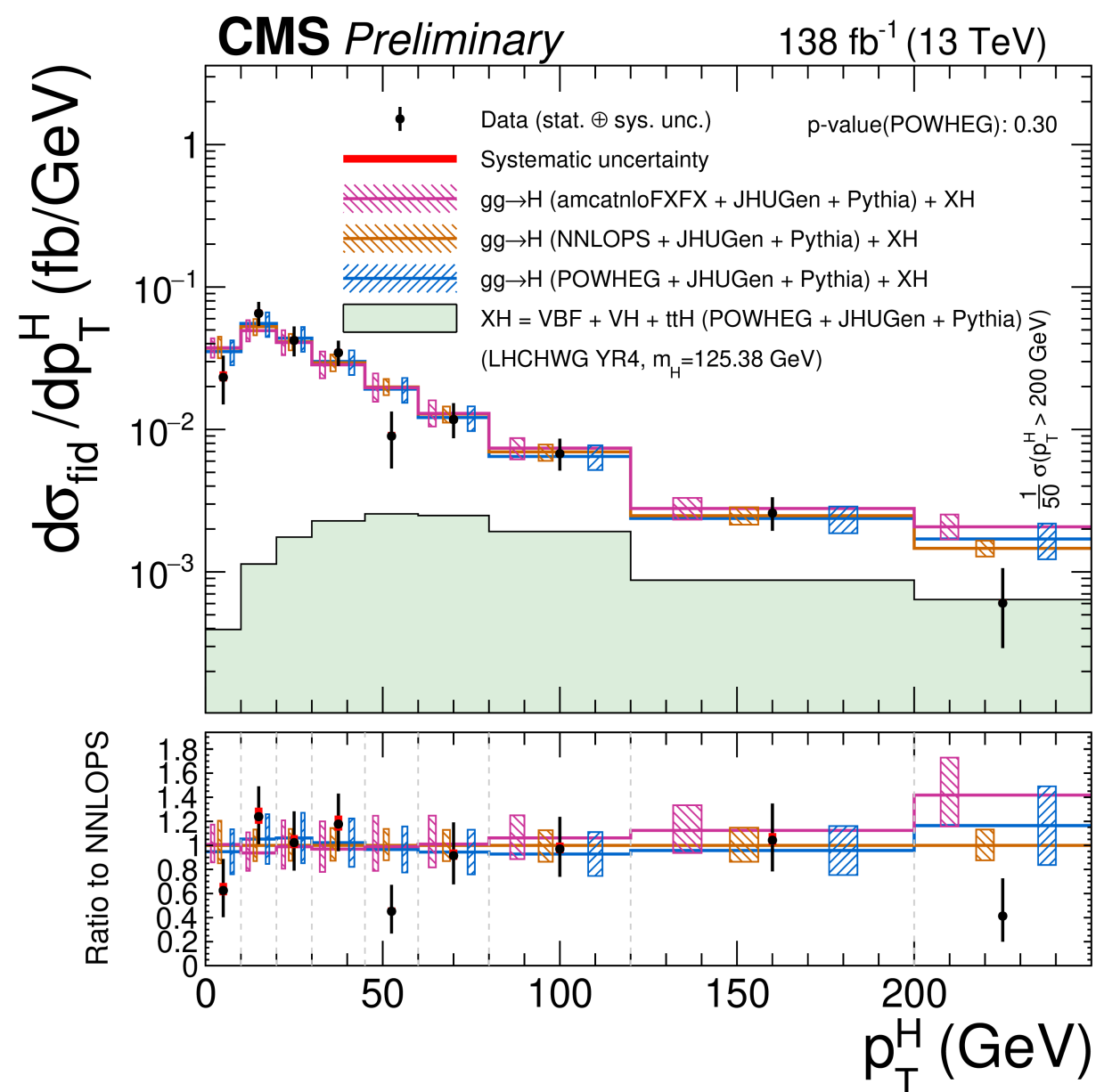


$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ 微分截面

CMS-PAS-HIG-21-009

15

- ~30 个物理量的微分截面、部分二维微分截面，进一步的理论诠释
- 对自耦合、b及c汤川耦合的约束等
- 北航与高能所主导，负责轻子的效率测量及蒙卡样本修正、独立分析框架检验、产生截面的全流程分析
- 北航作审核报告

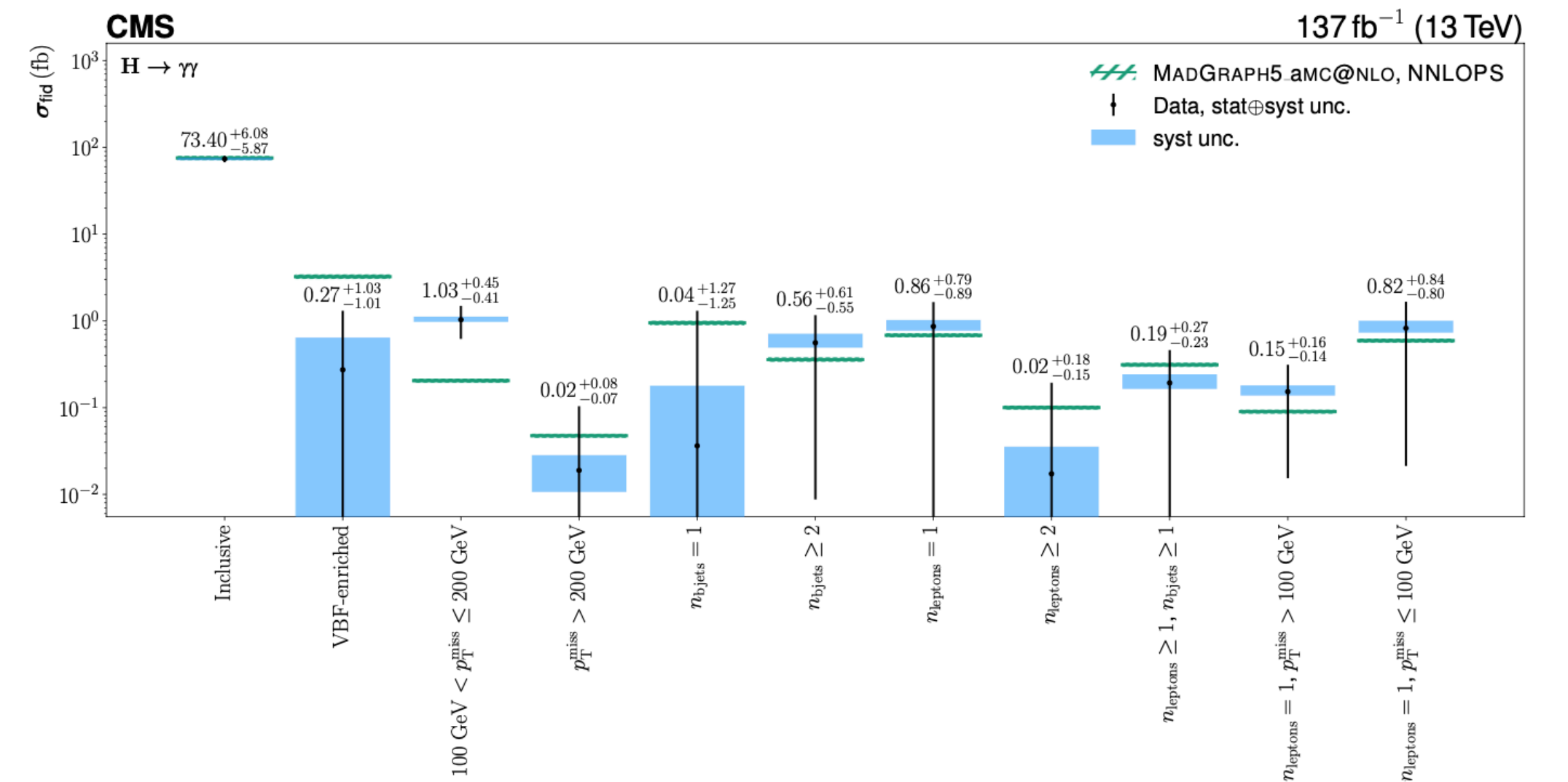
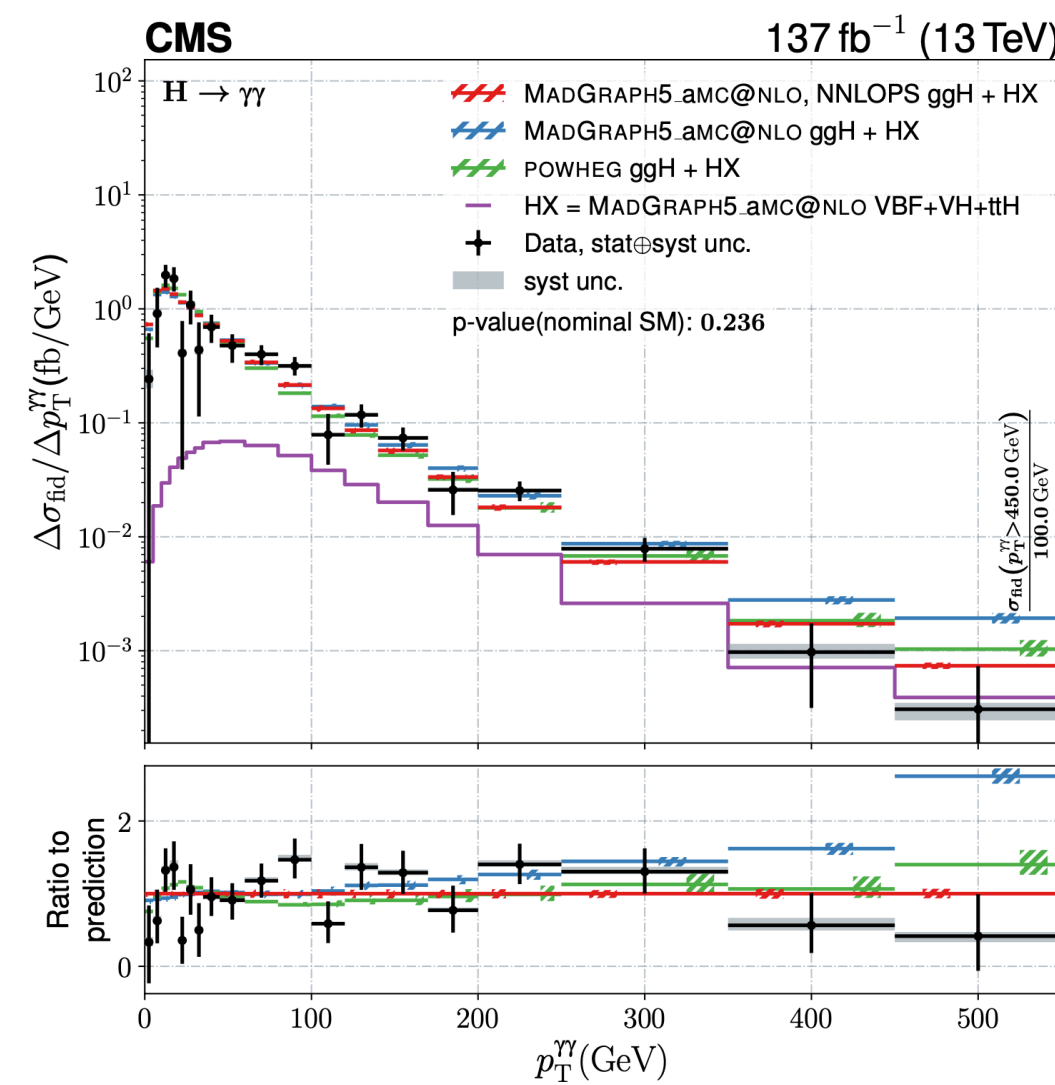
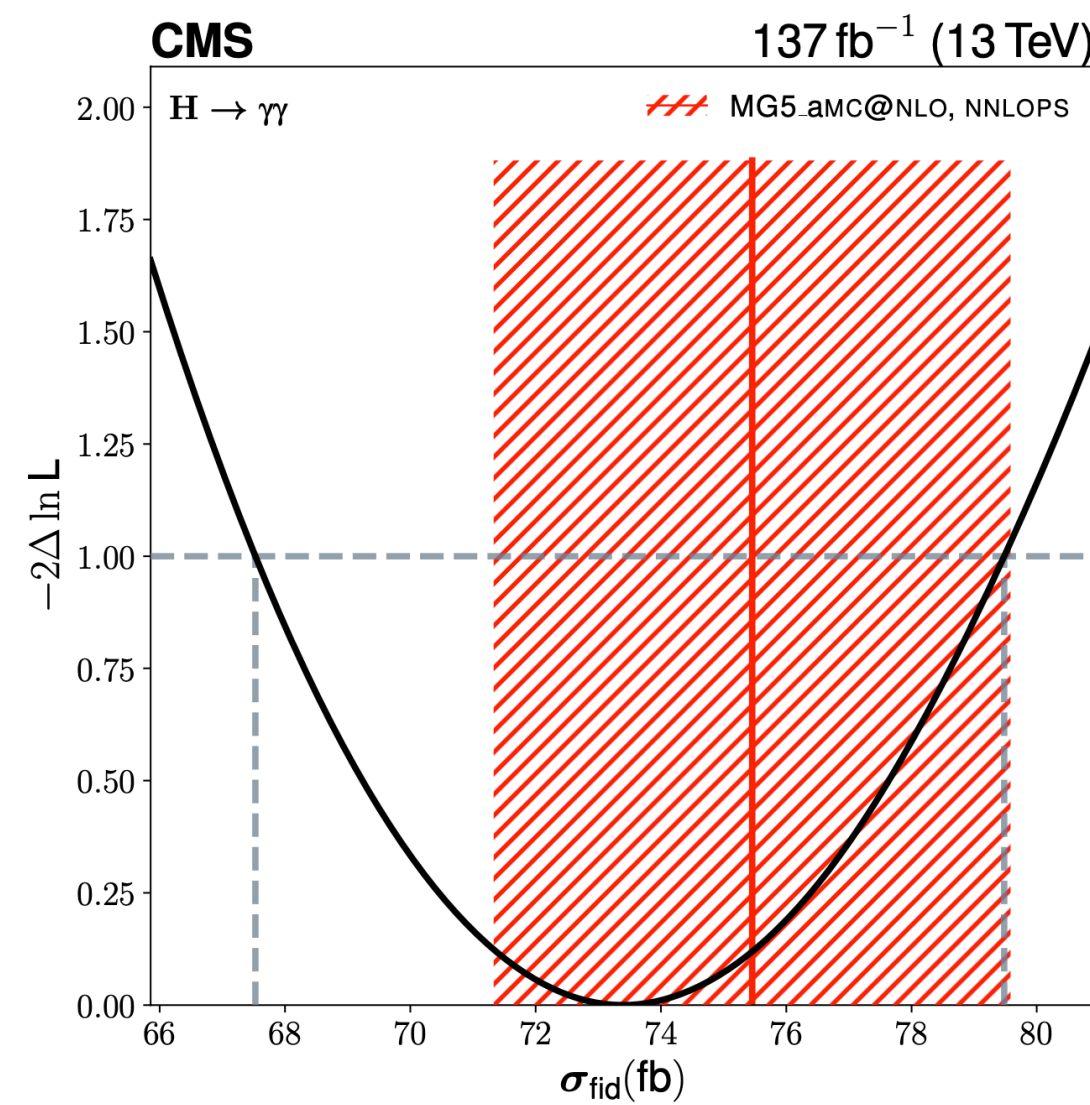


H → γγ 截面测量

CMS-PAS-HIG-19-016

16

- 测量了H → γγ基准截面和微分基准截面
 - ~20 个物理量的微分截面，部分二维微分截面
 - 所有测量结果与SM预测一致
 - 高能所在光子鉴别、MC样本模拟和修正、能量刻度、电子的排除等方面做出直接贡献，是CMS内部文章的编辑人之一和Ultra-legacy数据双光子基础分析内部文章的主编辑



Higgs宽度测量

Nature Phys. 18(2022)1329-1334

17

- 联合在壳事例和离壳事例间接测量希格斯宽度：
 - 首次观测到离壳事例的证据 (3.6σ)
 - 测得希格斯宽度 $3.2^{+2.4}_{-1.7} \text{ MeV}$ ，首次达到~50%测量精度
- 北航任分析召集人，文章编辑，并做预审核报告
- CMS新闻通稿，CERN News，环球科学均予报道

General information

- CADI: [HIG-21-013](#)
- AN: [AN-20-081](#)
- Data cards: [hig-21-013](#)
- Editors: Ulascan Sarica, Li Yuan

Higgs to ZZ

Conveners: Giacomo Ortona (Centre National de la Recherche Scientifique (FR)), Toni Sculac (University of Split Faculty of Science (HR))

20210611_HZZ_ne...

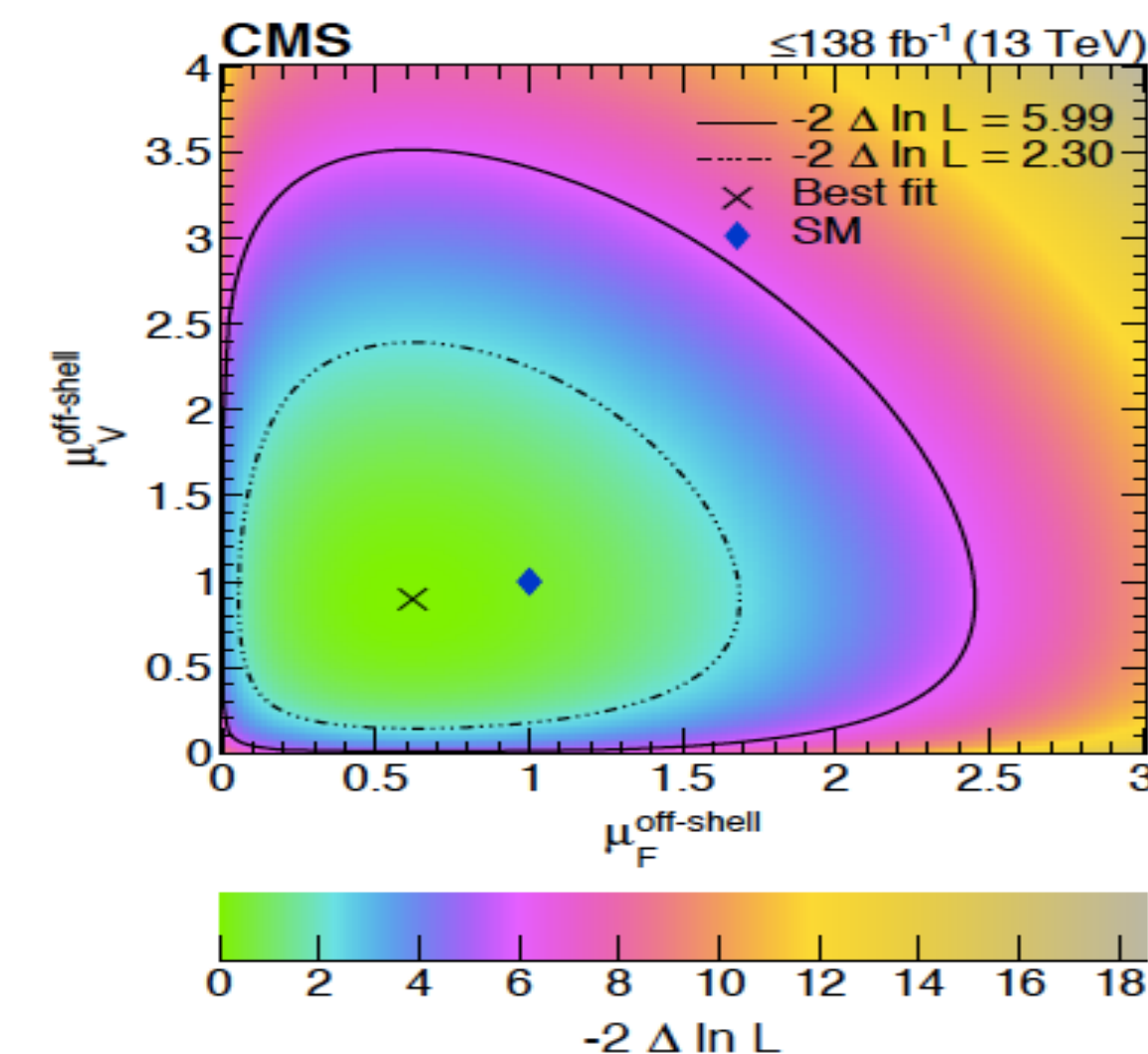
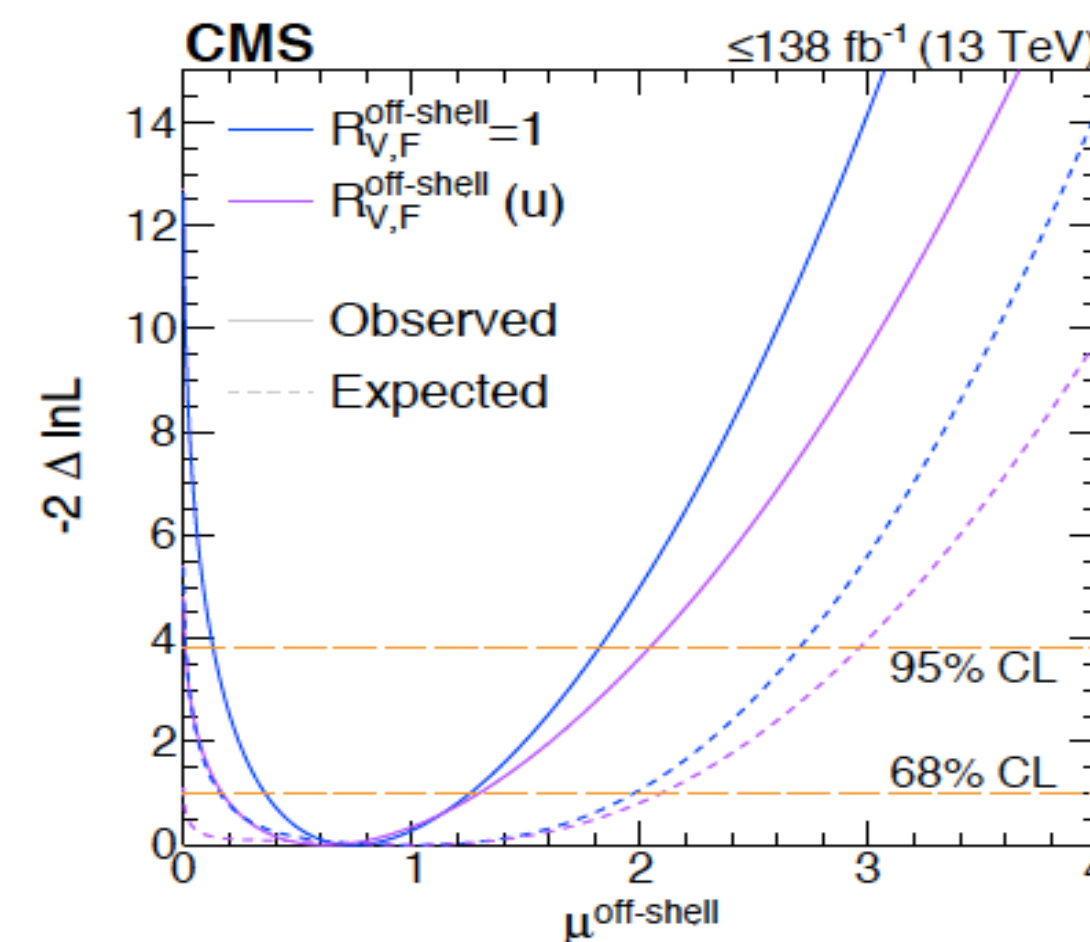
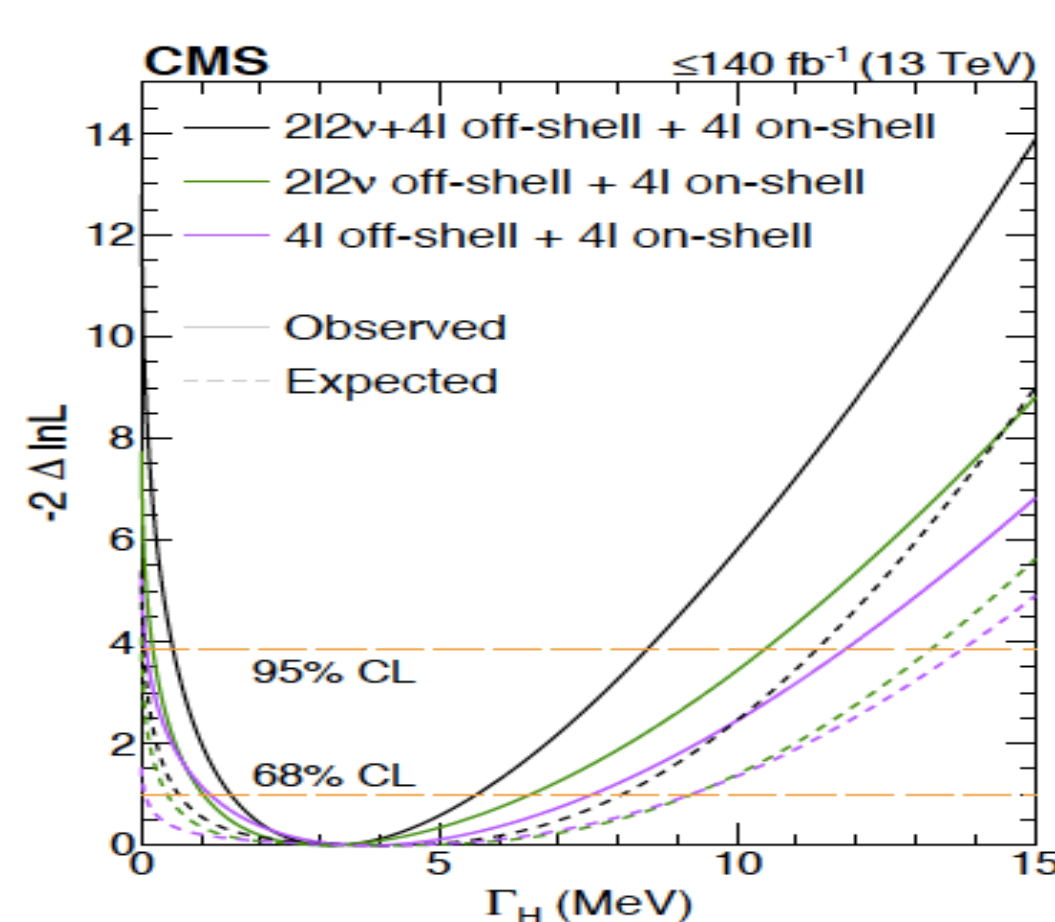
14:00 Pre-approval of HIG-21-013 : Off-shell Higgs production with ZZ to 2l2nu Run 2

Speaker: Hanwen Wang (Beihang University (CN))

[CADI HIG-21-013](#)

[pre-approval-2l2nu...](#)

[pre-approval-2l2nu...](#)



Higgs CP 测量

18

$\tau\tau+4l+\gamma\gamma$: arXiv: 2205.05120

- 利用 $H \rightarrow 4l, \gamma\gamma, \tau\tau$ 联合测量 H - tt 和 H - gg 的CP性质

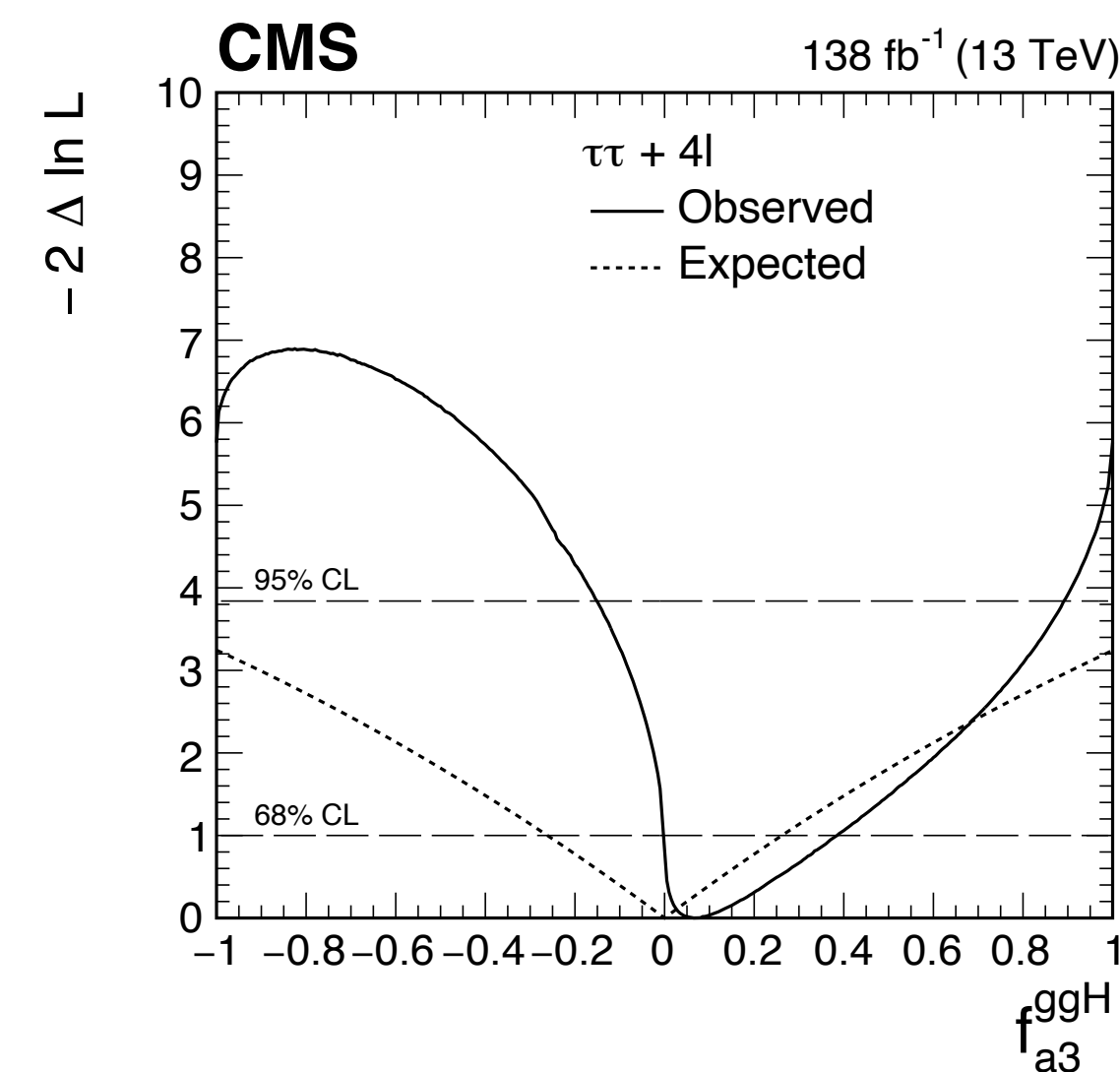
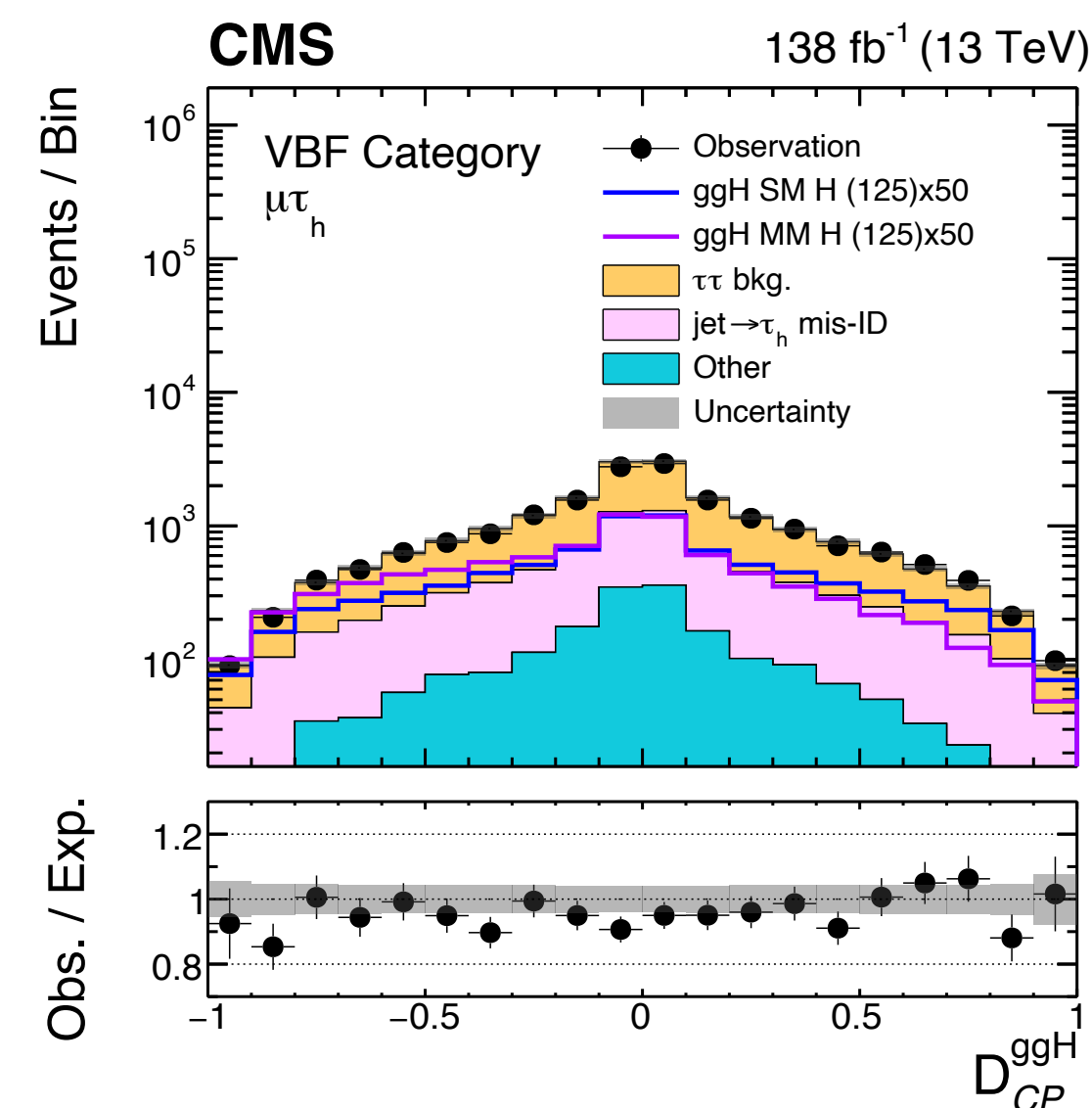
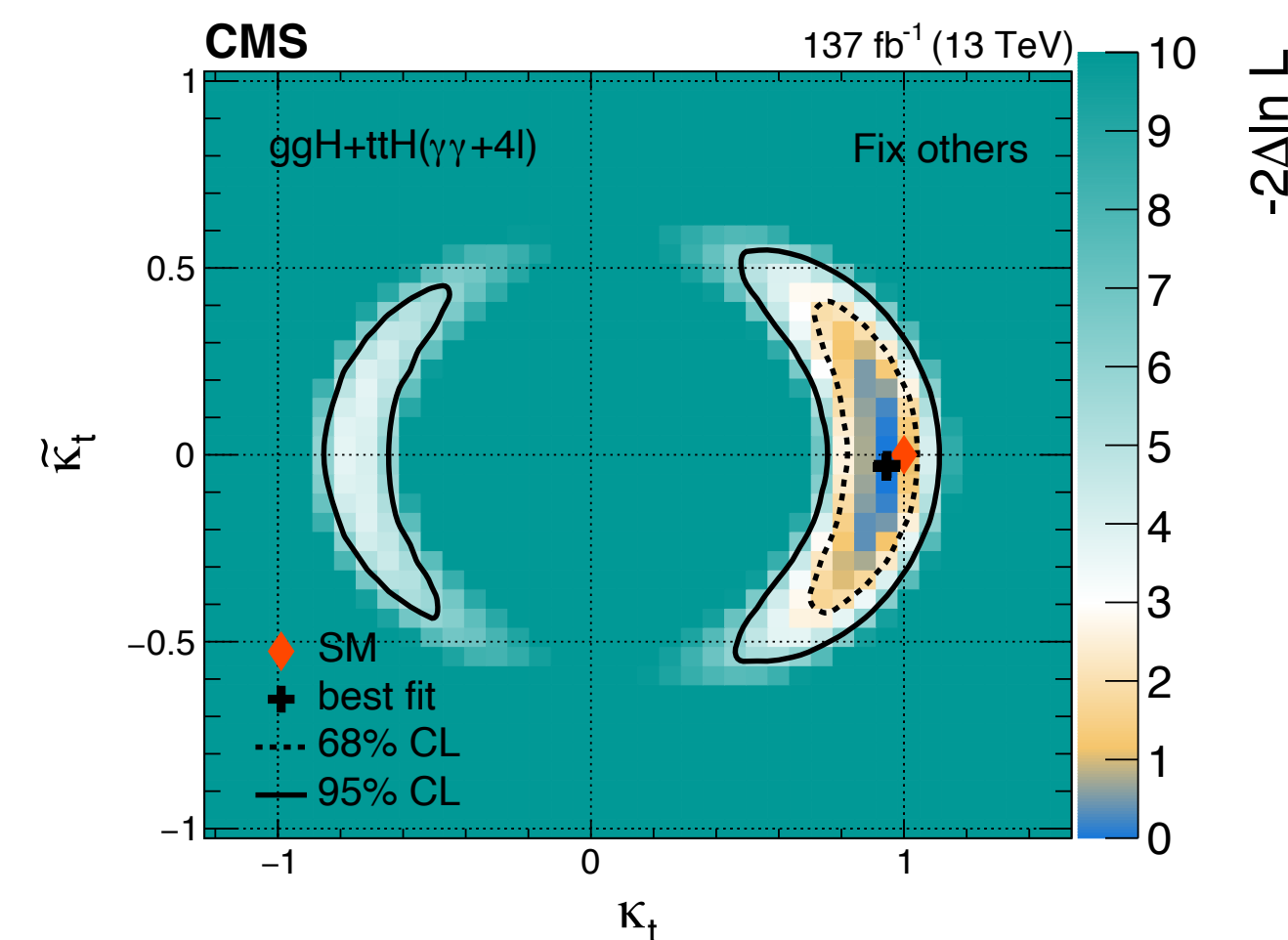
- 目前 H - gg CP最精确的结果

- 浙大负责 $\tau\tau$ 变量优化和所有末态的联合测量

- 其中结果来源

- $4l$ (2021): Phys. Rev. D 104, 052004 (2021), 首次联合利用 ggH 和 ttH 进行 H - tt 顶点测量, 浙大任分析联系人、审核报告

- $\gamma\gamma$ (2020): PRL 125, 061801 (2020), 首个 ttH 的CP测量, 浙大作审核、预审核报告、文章编辑



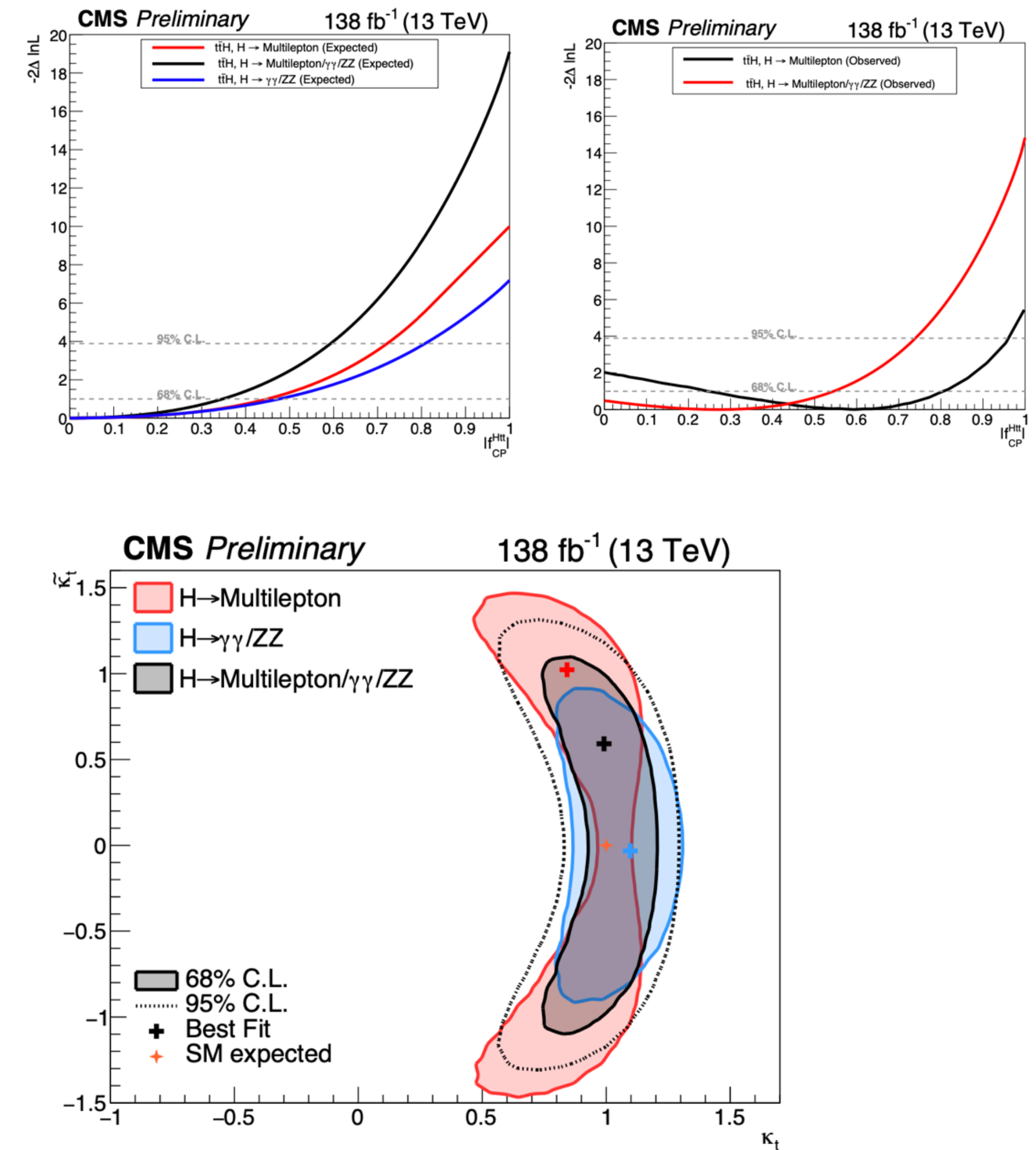
Higgs CP 测量

CMS-PAS-HIG-21-006

即将提交JHEP

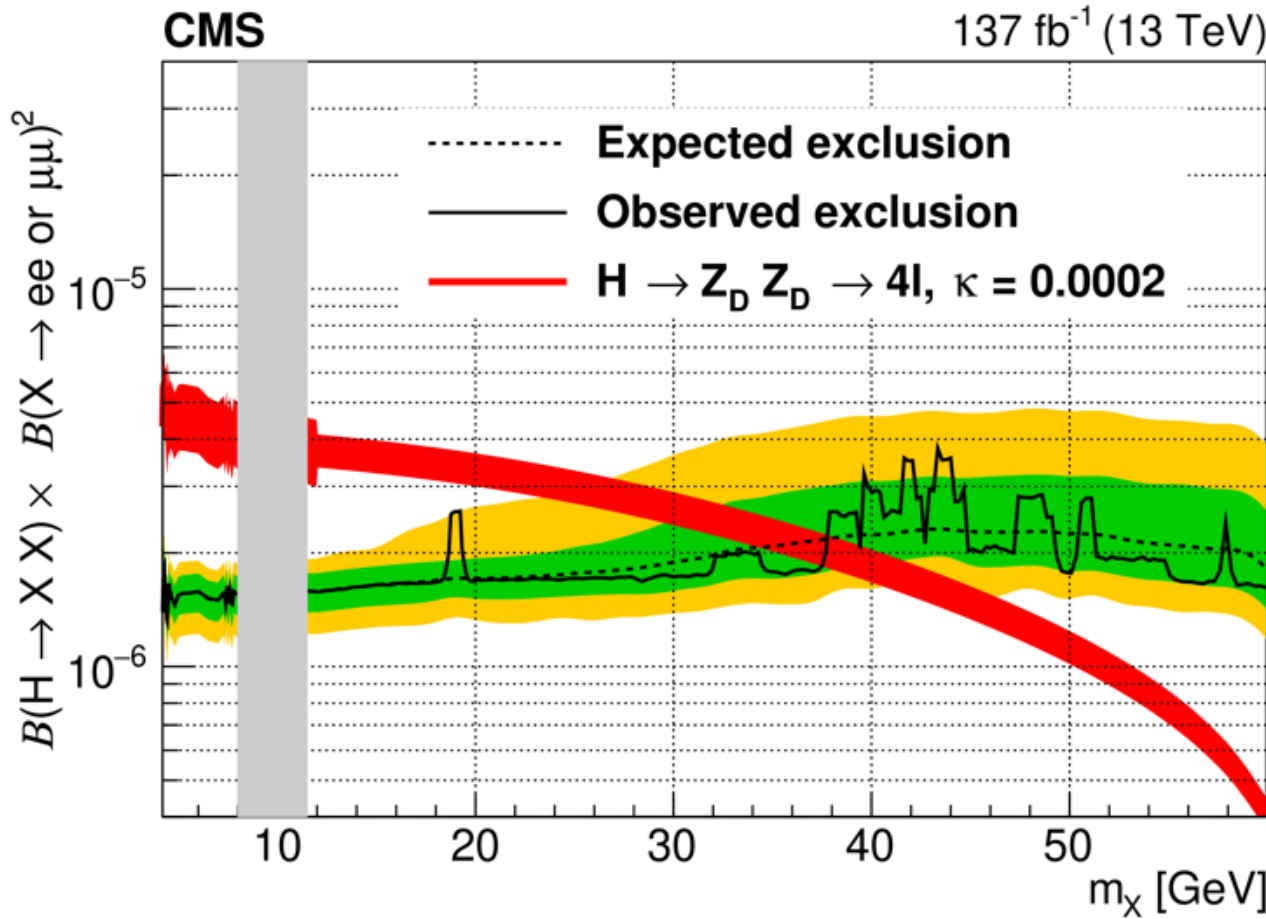
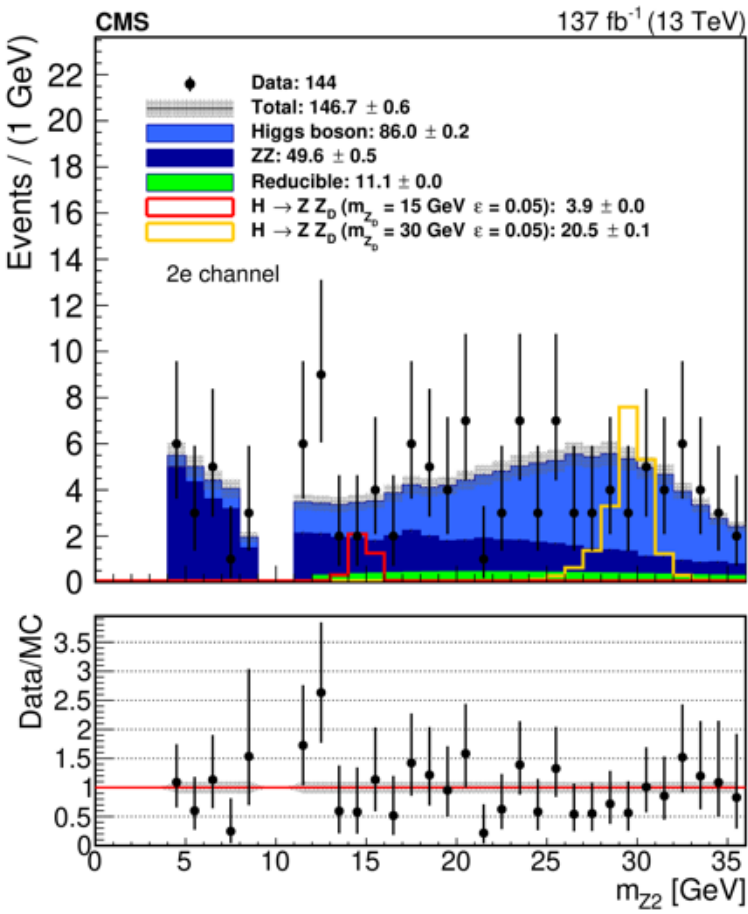
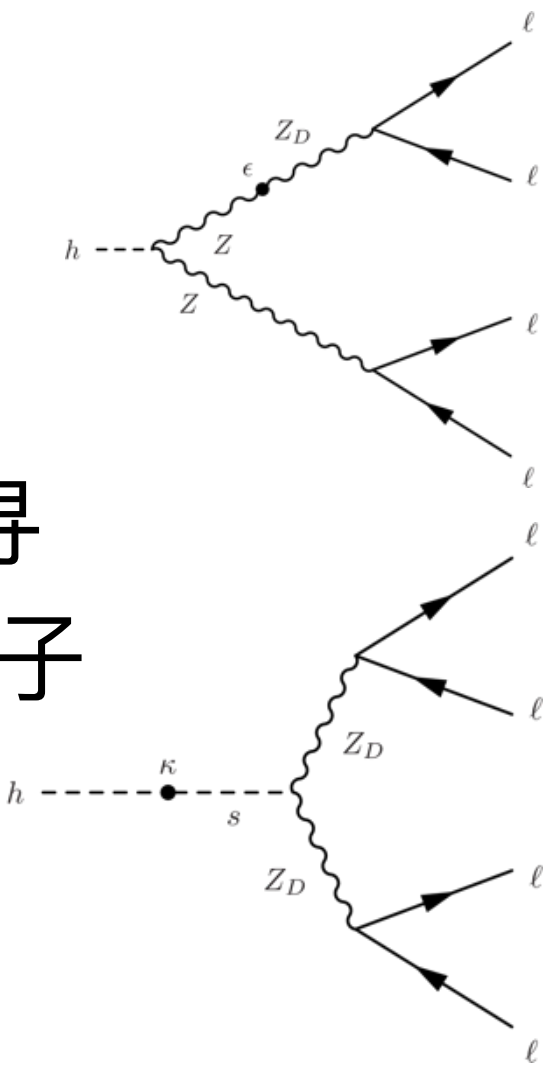
19

- 利用Run2数据，通过多轻子测量 ttH/tH 过程
- LHC上 ttH 最灵敏的末态
- 测量希格斯粒子在 t - H 顶点的CP
- 高能所做揭盲报告



- 许多新物理模型预测希格斯玻色子可以衰变至**轻玻色子**，其中新玻色子有可能作为暗物质理论隐藏相互作用（hidden sector）的传递子从而解决暗物质质量来源的问题，也可以作为轴子模型中的传递子从而解决强CP破坏的问题

HIG-19-007:
H- $\rightarrow$ 4l末态中寻找中间态新粒子



高能所在分析框架、轻子鉴别及效率测量和误差处理方面做出主要贡献
清华-南师参与分析

希格斯质量测量灵敏度@HL-LHC

- 精度可达30 MeV@HL-LHC，将显著改善相关理论误差
- 高能所是希格斯质量及宽度测量的主要承担单位之一
- 在最灵敏的4l末态主导分析策略、轻子能量刻度、分辨率优化及误差研究，将核心的缪子动量刻度误差从~80 MeV降低为15 MeV，并做了审核报告
- 在双光子末态，参与光子能量刻度等基础性研究、优化质量和宽度测量的分析策略等

CMS-FTR-21-007

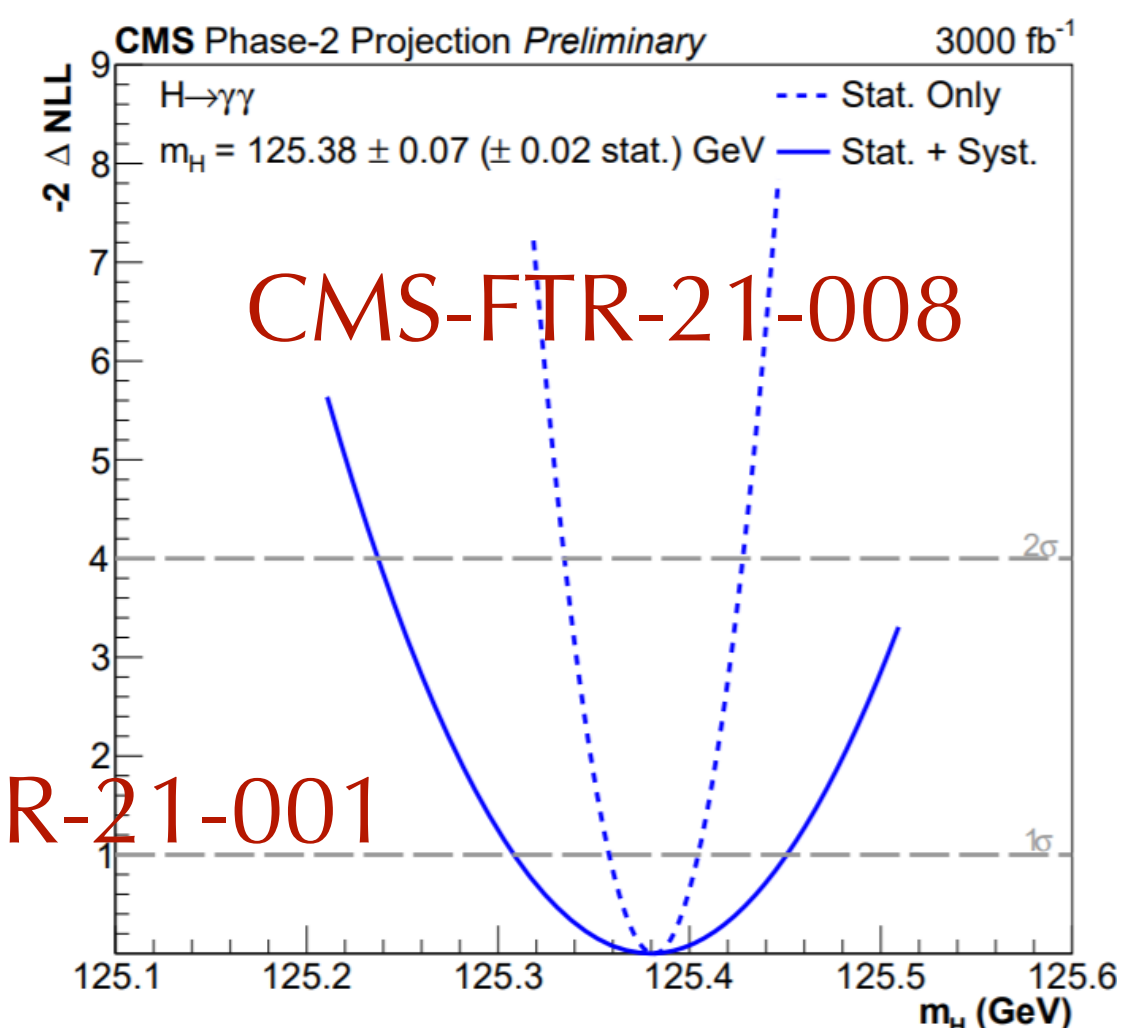
	Mass uncertainty (MeV)					Width upper limit at 95 % CL (MeV)
	Combined	4 μ	4e	2e2 μ	2 μ 2e	Combined
Stat. uncertainty	22	28	83	51	59	94
Syst. uncertainty	20	15	189	94	95	150
Total	30	32	206	107	112	177

优化后的分析方案+缪子的优异性能

HL-LHC $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ 衰变道

m_H 测量精度可接近30 MeV

Γ_H 上限(@95%CL) ~180 MeV

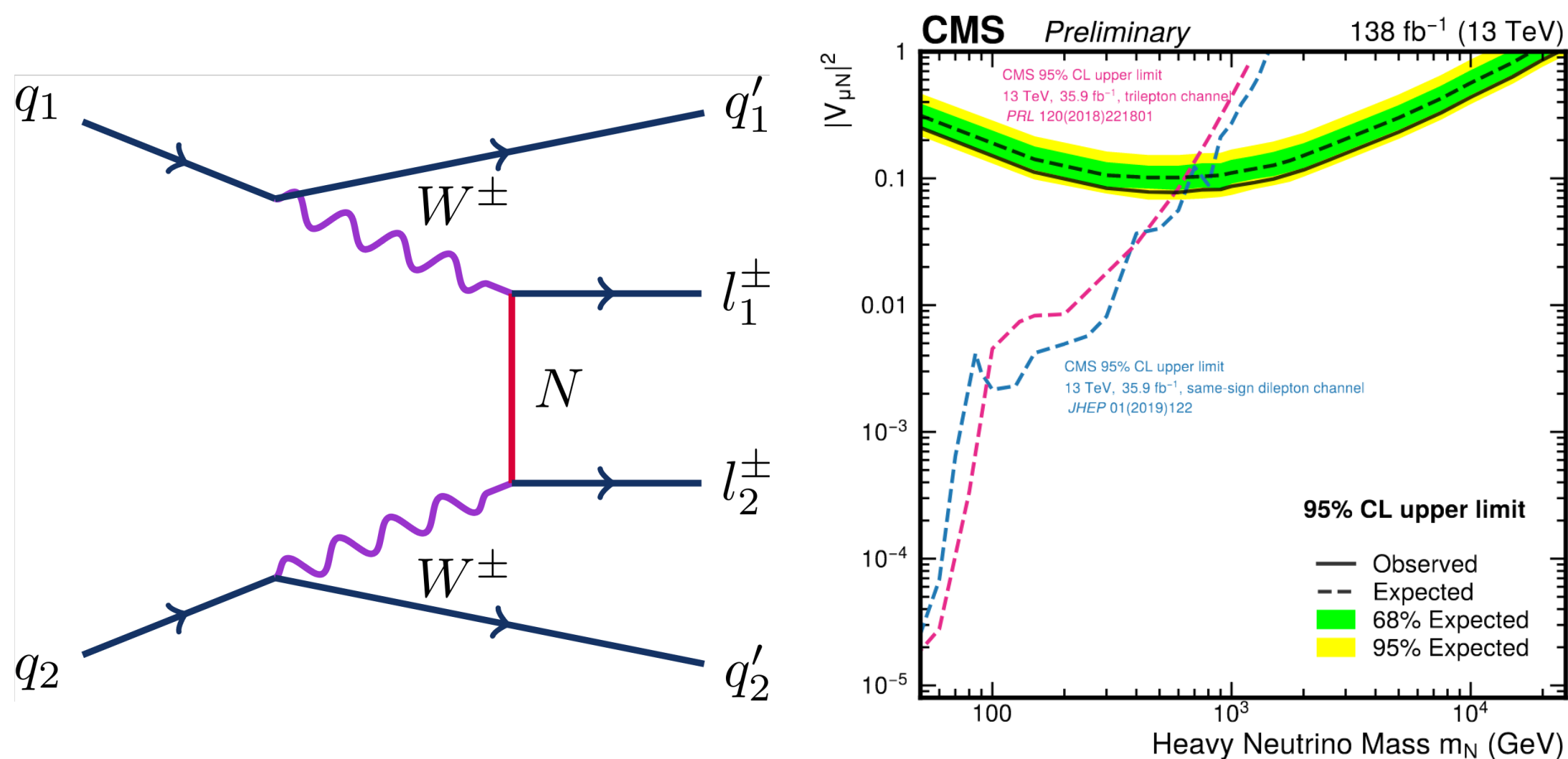


HL-LHC $H \rightarrow \gamma\gamma$ 衰变道

m_H 测量精度可接近70 MeV

新物理直接寻找

- 利用矢量玻色子散射过程探测重Majorana中微子，大大扩展了探测的质量范围直至20余TeV
- 对中微子质量的五维算子Weinberg算符的诠释
- 在对撞机上进行了无中微子双缪的0 $\nu\mu\mu$ 实验，给出了对等效马约拉纳中微子质量上限 $|m_{\mu\mu}|$ 的观测(预期)值为 10.8 (12.8) GeV。
- 北大任分析联系人



CERN和《中国科学报》给予新闻报道：

作者：韩扬眉 来源：中国科学报 发布时间：2022/5/10 21:54:35

选择字号：小中大

测试“跷跷板模型”，揭示中微子质量之谜

北大CMS合作组对中微子质量的“跷跷板模型”进行了新的测试

中国科学家关于中微子质量模型探测的研究，近日得到了世界上最大型的粒子物理学实验室——欧洲核子中心的特别关注。

大型强子对撞机中国合作组之一、北京大学高能物理CMS组李强团队对解释中微子小质量来源的“跷跷板模型”进行了新的检验，结果为大型强子对撞机的数据挖掘打开了新的窗口。

TeV能级三重规范玻色子共振态世界首次寻找

Phys. Rev. Lett. 129 (2022) 021802

北大担当分析的负责人，建立了4夸克
喷注的鉴别及校准技术，拓展了CMS新
物理寻找路径。未来可以应用于：
X->HH->8q, boosted H->WW



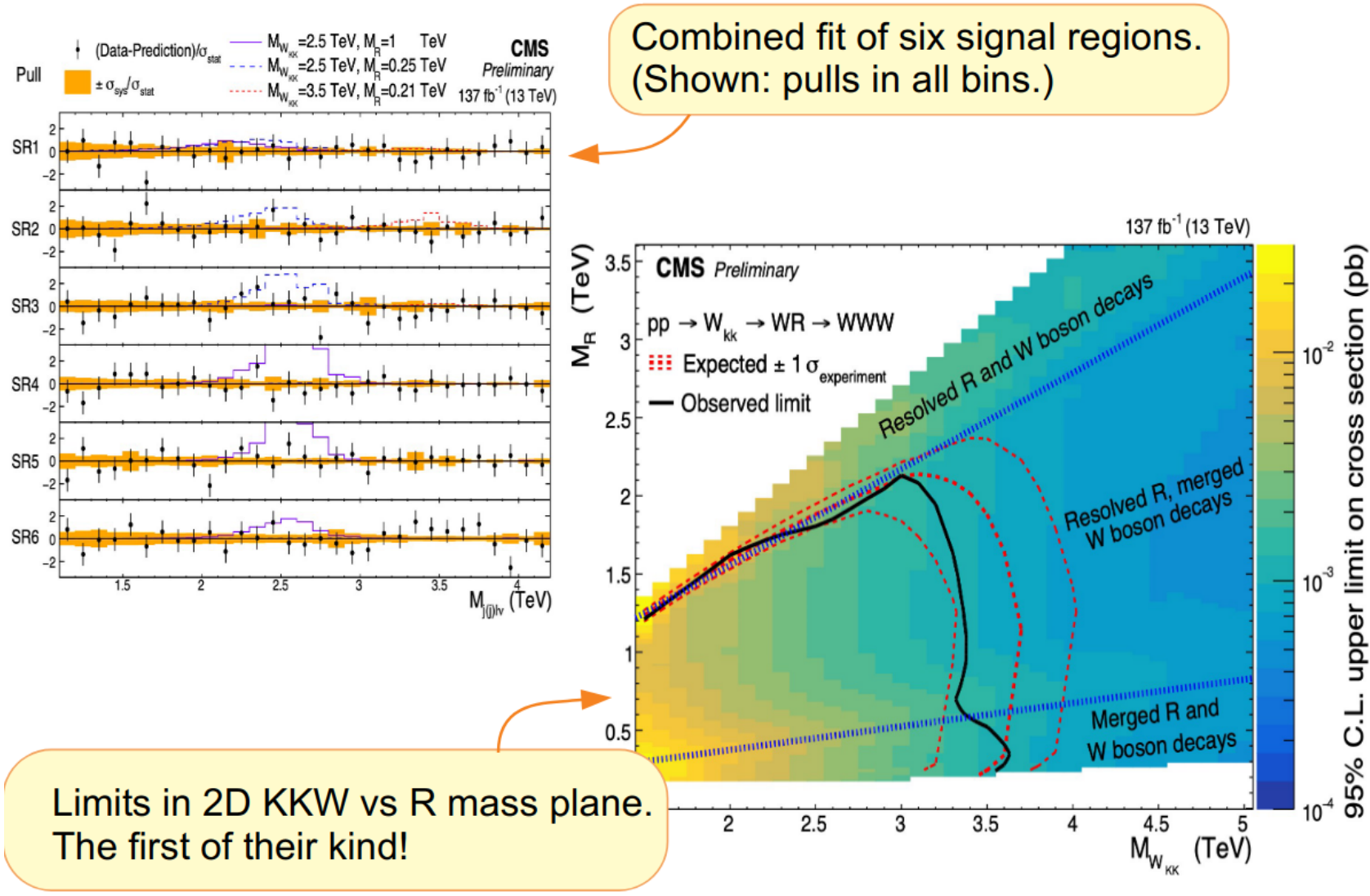
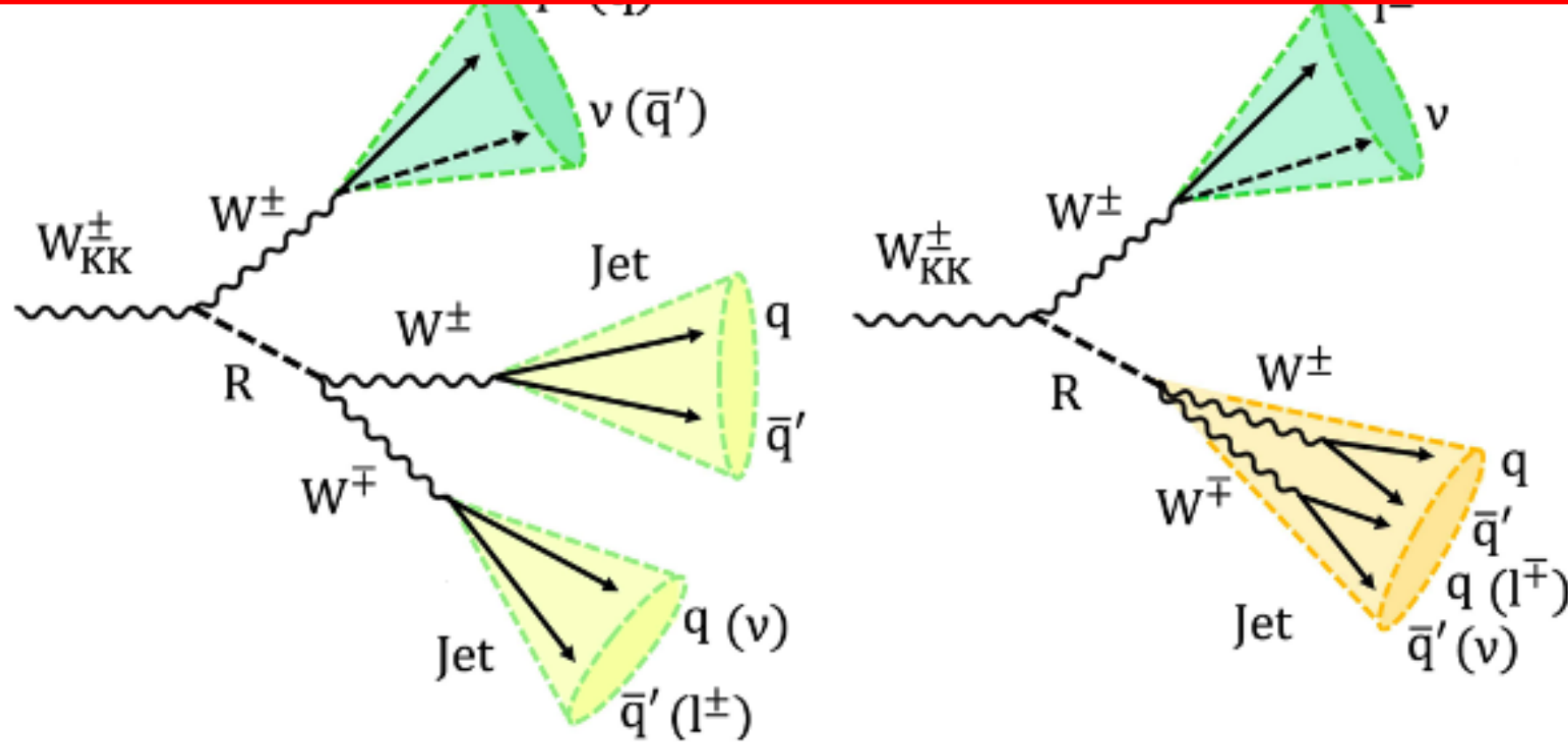
CMS发布新闻通稿予以报道

Moriond EW Wednesday: Moriond EWK - Wednesday: afternoon session

16:00

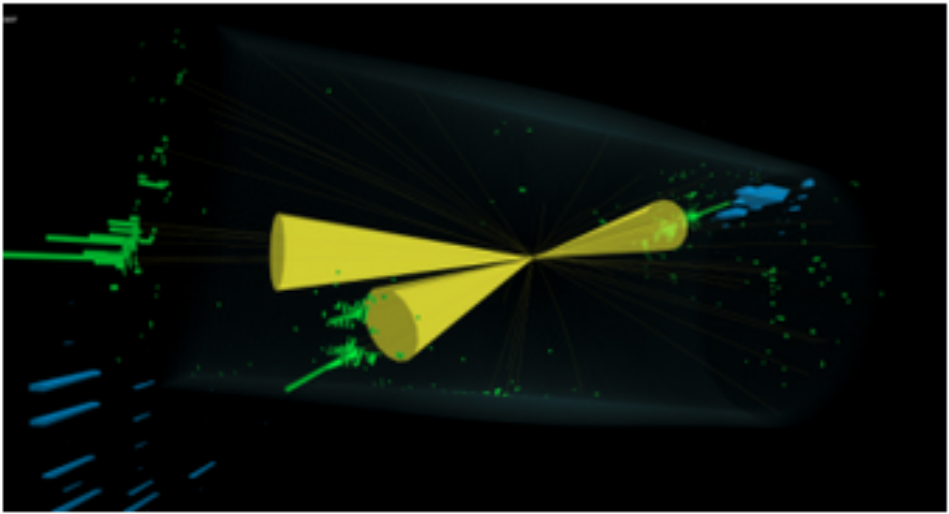
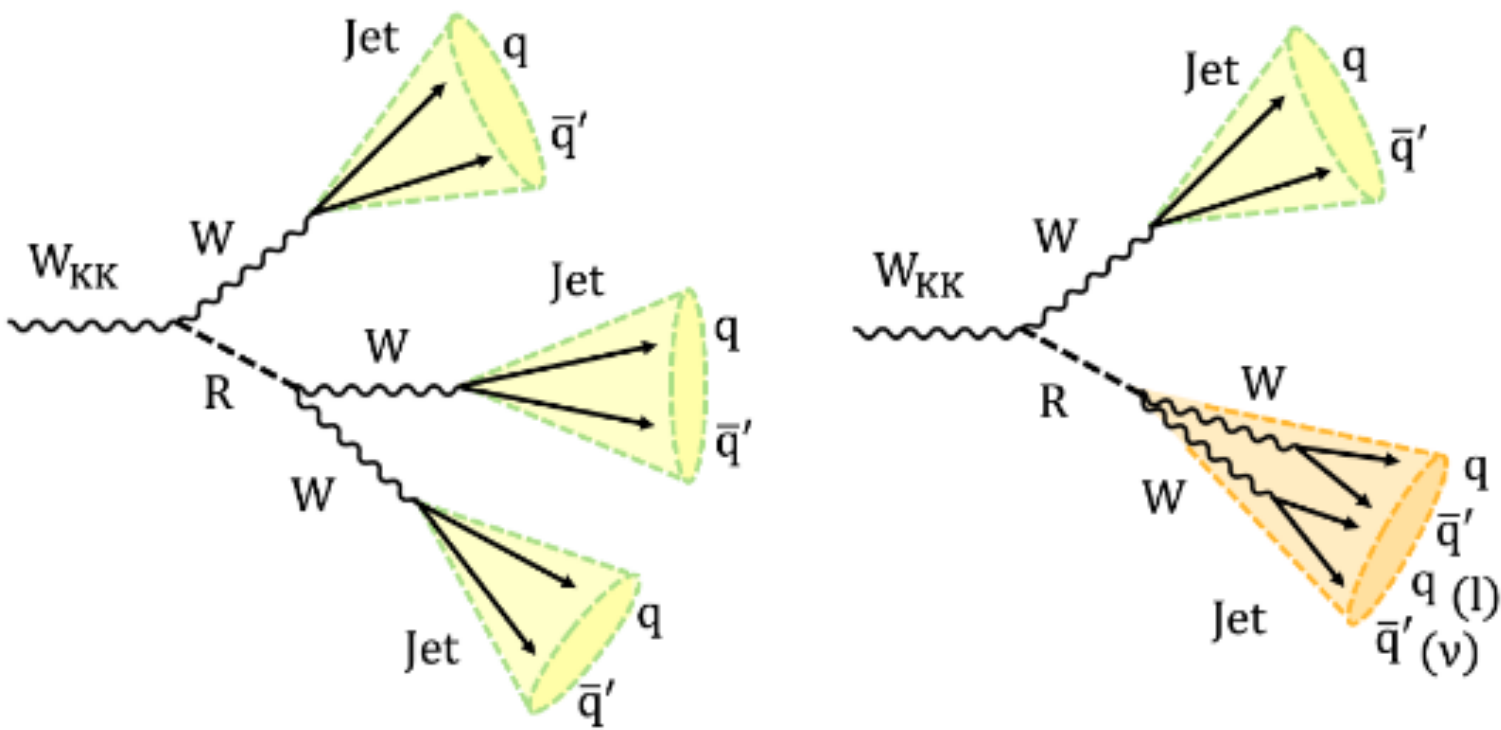
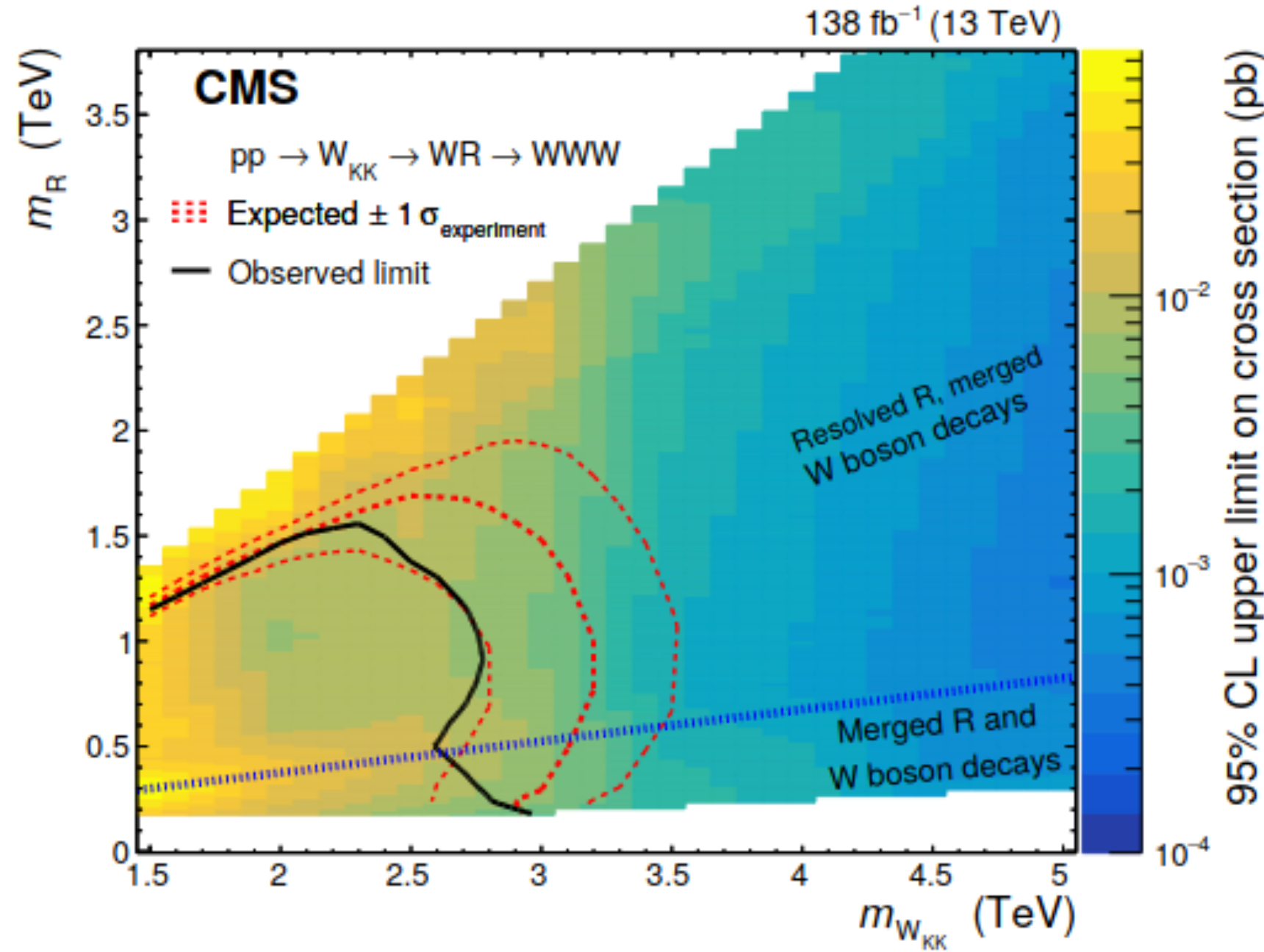
Approval of B2G-20-001: Search for resonances decaying into WVV in the single lepton final state

Speakers: Antonis Agapitos (Peking University (CN)), Qiang Li (Peking University (CN)), Xudong Lyu (Peking University (CN))



[Phys. Rev. Lett. 129 \(2022\) 021802](#)

北大担当分析的负责人，通过合并单轻子和全强子道，进一步改进了对三玻色子共振态的探寻灵敏度。

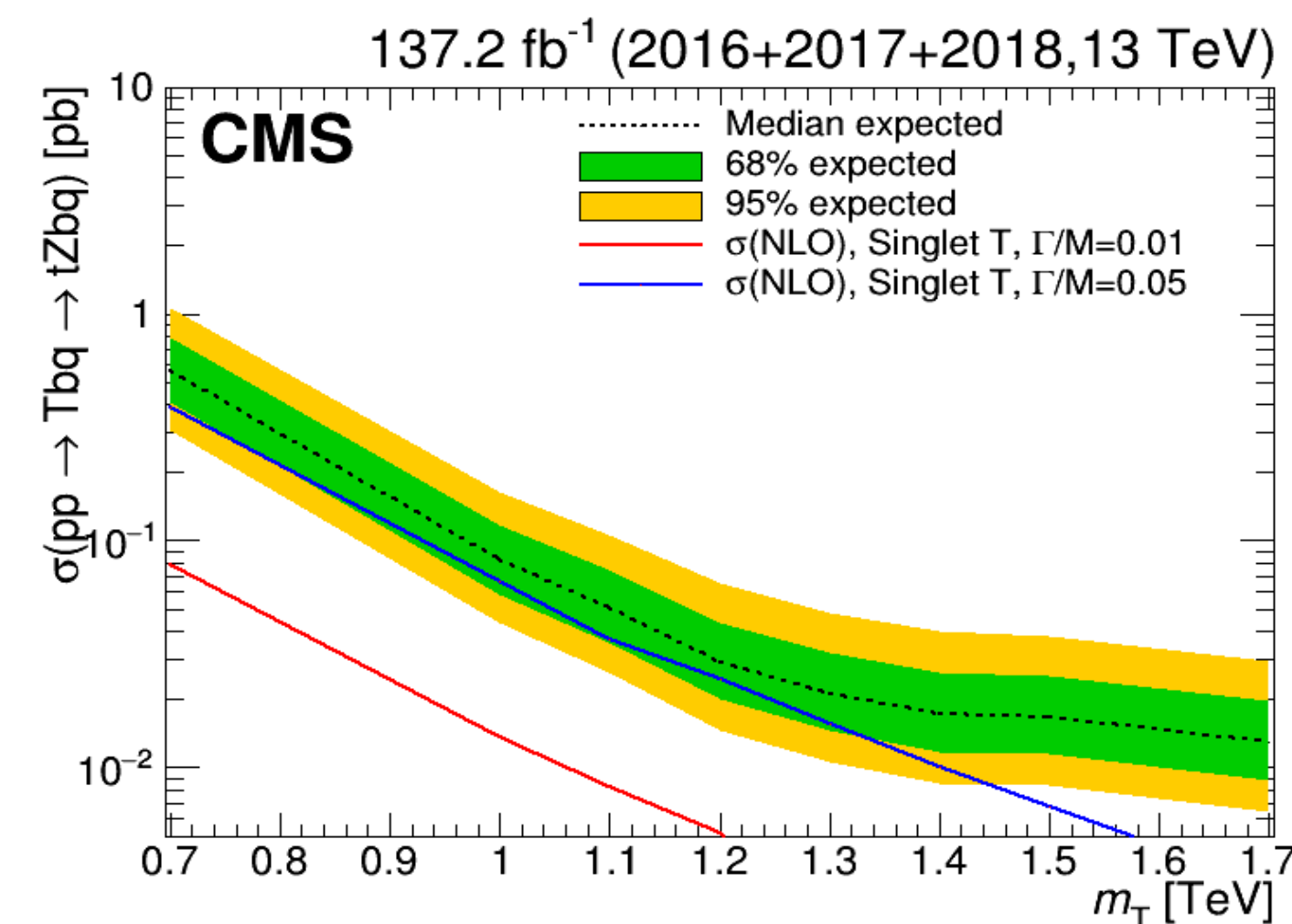
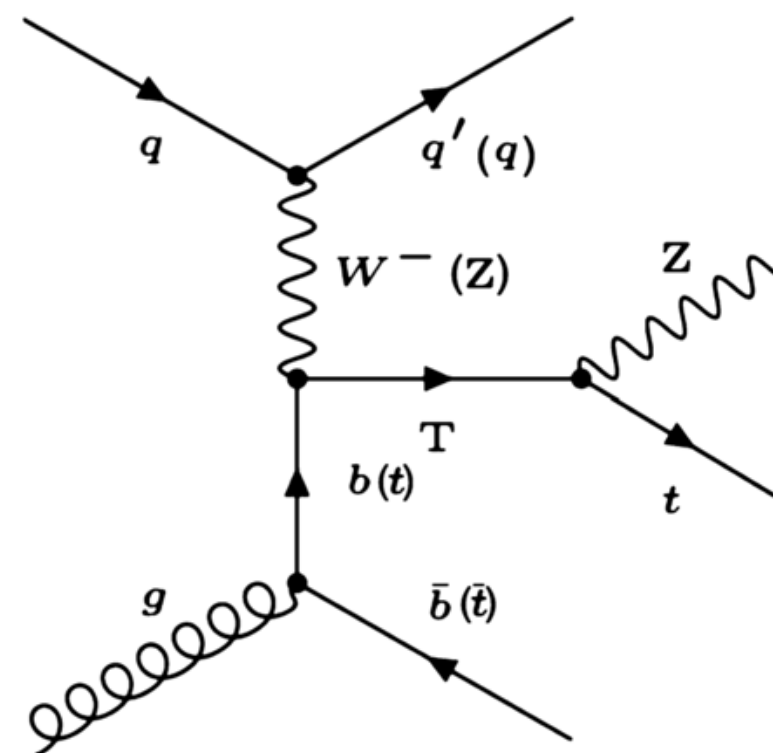


WWW.TRIBOSON.CMS 25 OCT 2021

Apart from the "World Wide Web," three Ws may also have a different interpretation in the LHC era. The standard model of particle physics is a mathematical construct that connects three of the four fundamental forces of nature and classifies all...

类矢量夸克 $T' \rightarrow tZ$ 寻找

- 质量较大的类矢量夸克: 抵消夸克对希格斯质量二次发散的贡献, 解决希格斯质量的不自然性的问题, 如复合希格斯模型
- 高能所曾基于2015年和2016年13 TeV数据独立完成双轻子末态分析, 发表过两篇文章
- $T' \rightarrow tZ$ ($Z \rightarrow \nu\nu$) 双中微子新末态的首次分析正式发表
- 高能所担任分析联系人, 并做预审核及审核报告

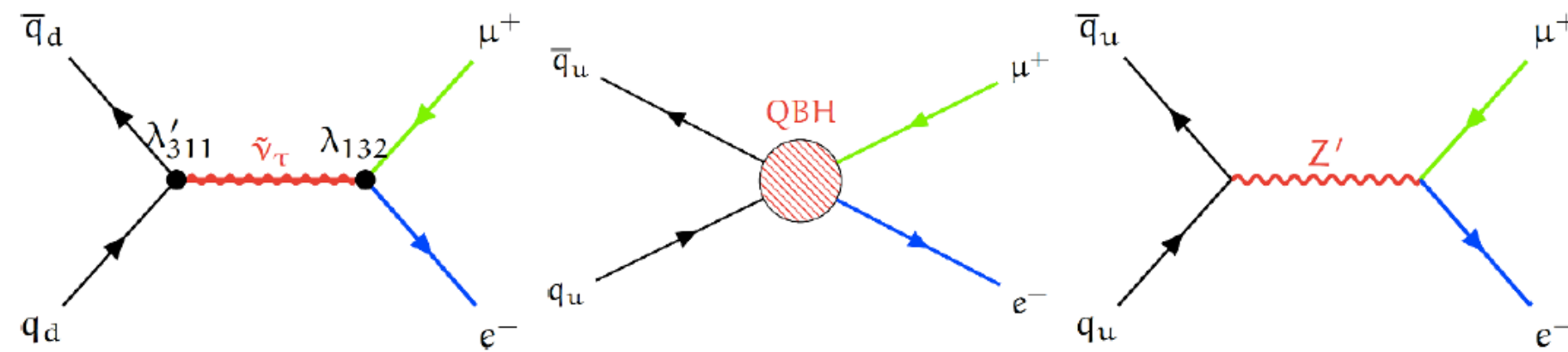


大质量的轻子味破缺过程寻找

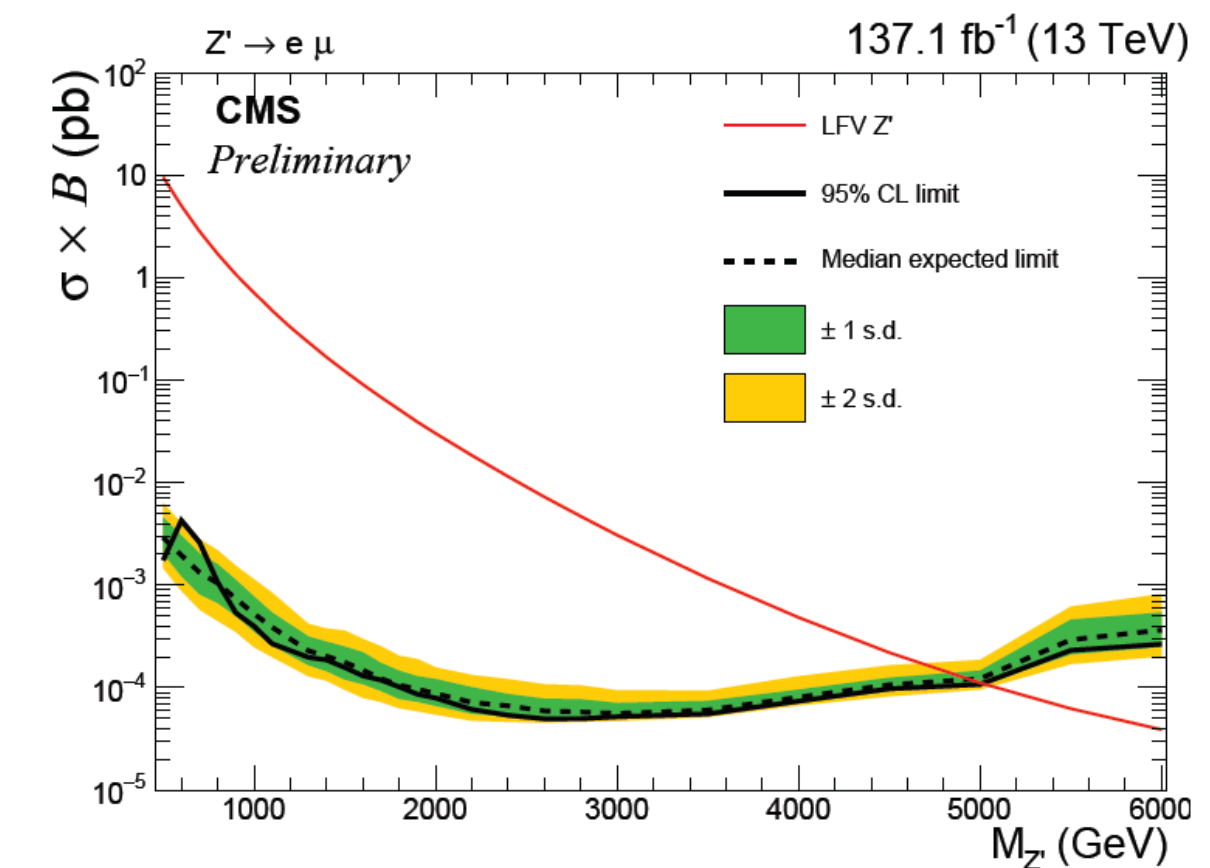
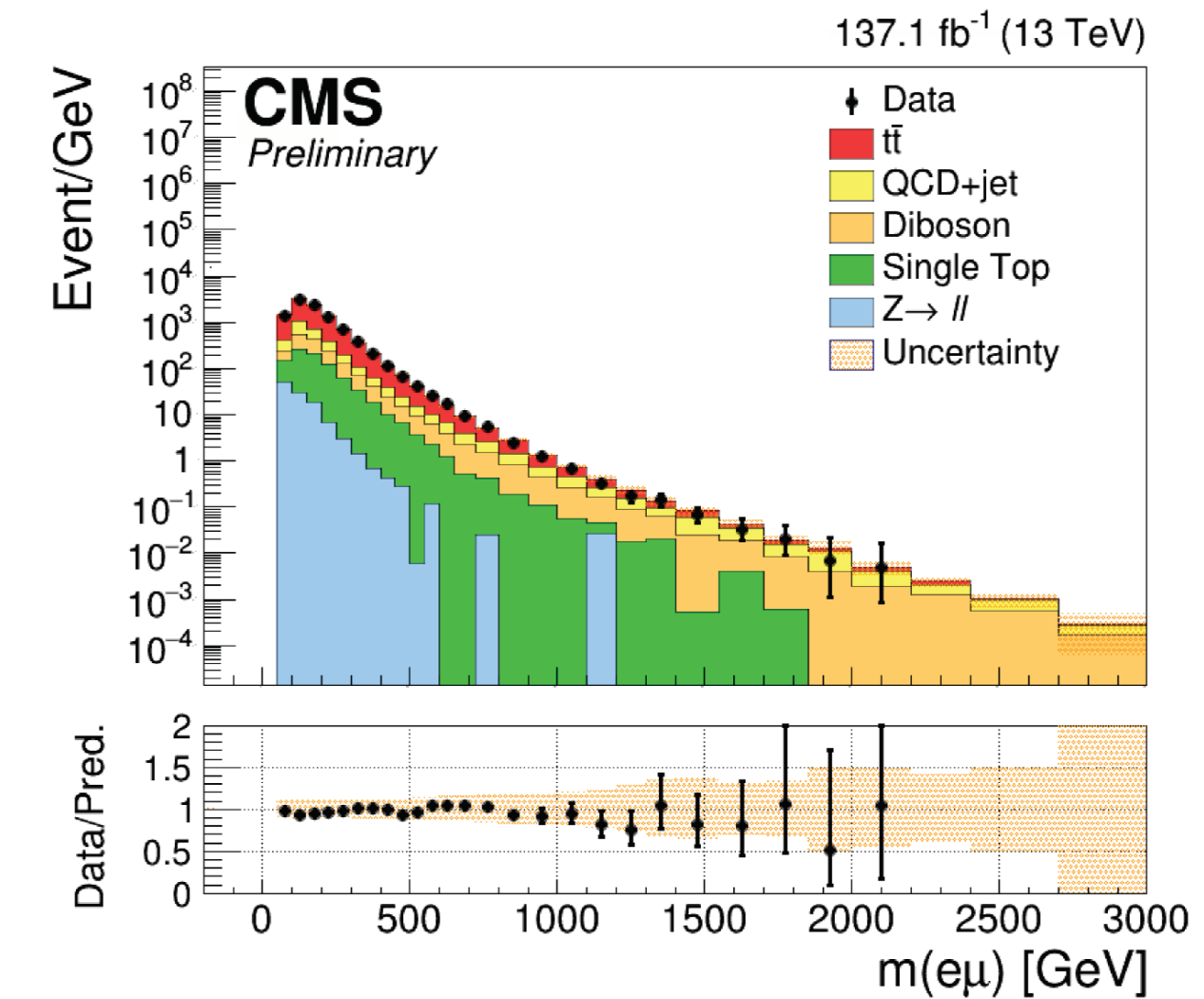
EXO-19-014
Submitted to JHEP

27

- 超出标准模型理论允许打破轻子味守恒
- 典型的轻子味破缺理论模型包括R-parity violating (RPV), Microscopic quantum black holes (QBHs), 和 Gauge boson Z' 等.
- 此分析使用CMS实验在Run2阶段积累的全部数据, 在 $e\mu$ $e\tau$ $\mu\tau$ 末态寻找上述轻子味破缺过程的迹象。

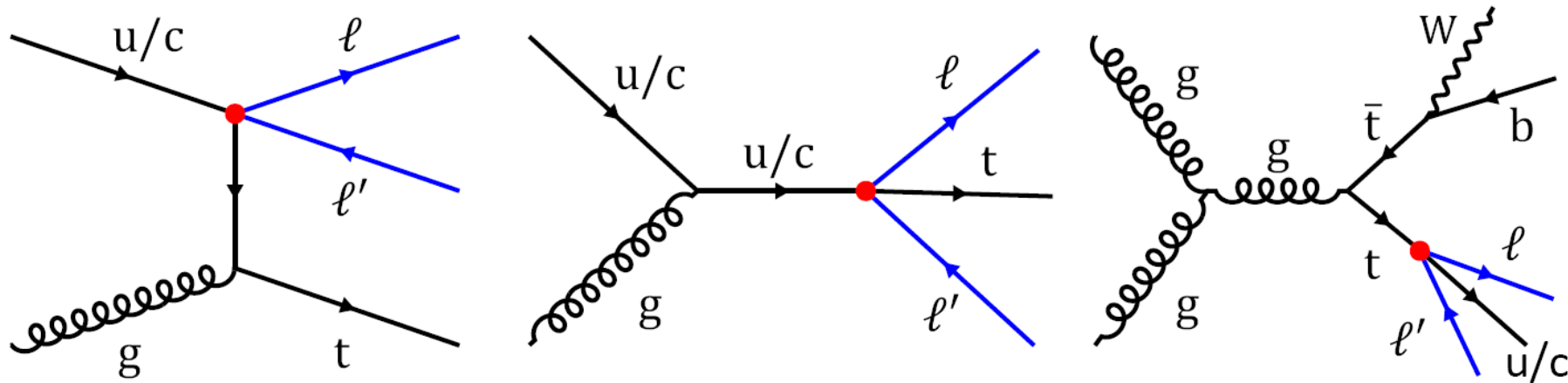


- 复旦大学负责 $e\mu$ 末态的全部分析内容。



带电轻子味破缺过程

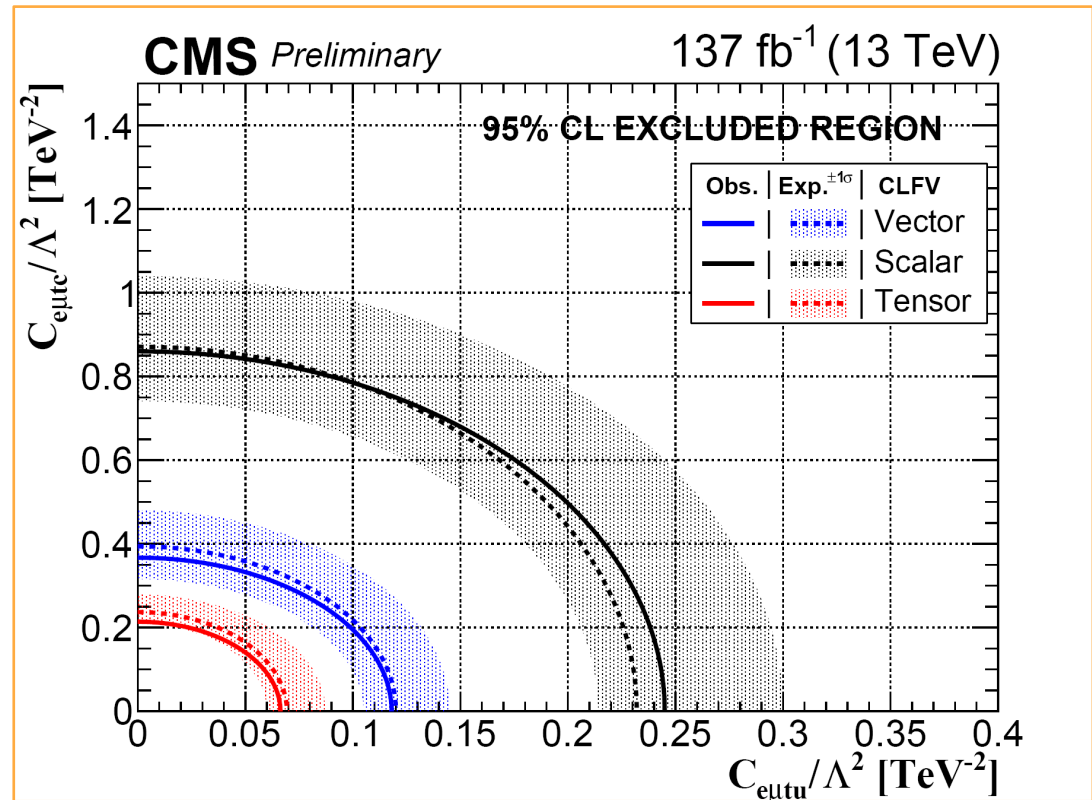
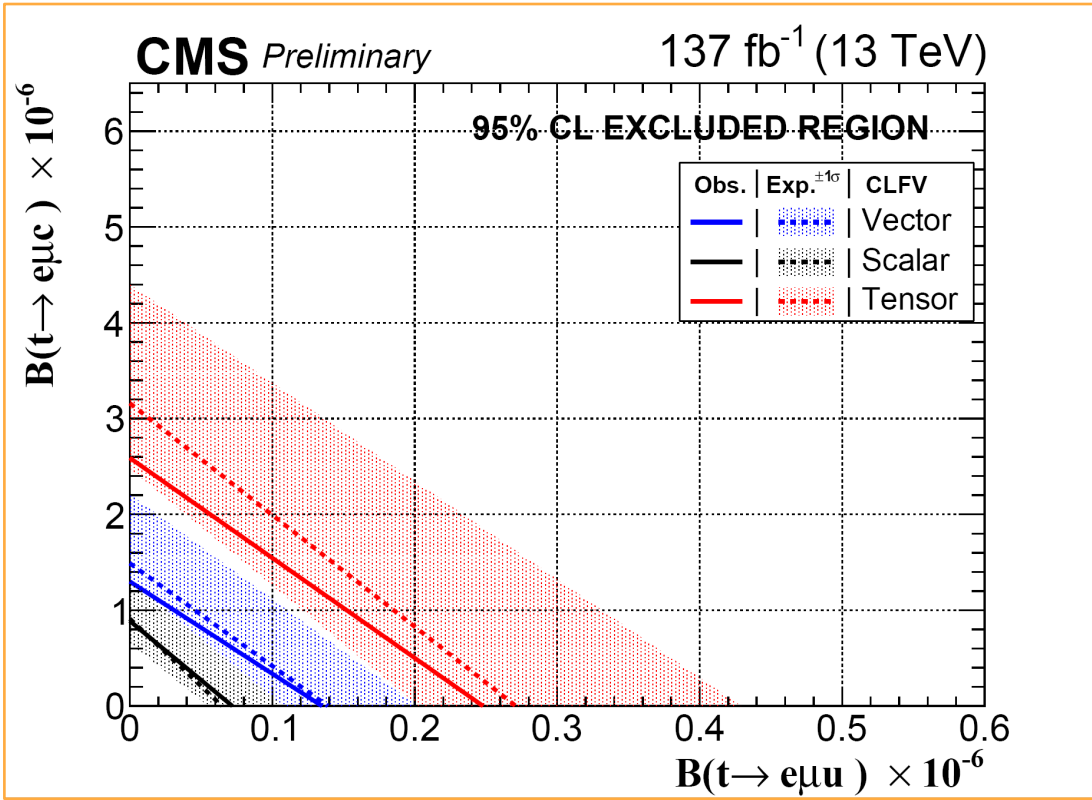
- LHC实验产生了大量的顶夸克(对)事例，为通过顶夸克寻找新物理提供了理想的实验平台。



- 此分析寻找 $e\mu tu$ 和 $e\mu tc$ 这两个含有顶夸克的轻子味破缺过程。

Vertex	Int. type	σ [fb]	σ [fb]	$C_{e\mu tq}/\Lambda^2$ [TeV ⁻²]	$C_{e\mu tq}/\Lambda^2$ [TeV ⁻²]	$\mathcal{B} \times 10^{-6}$	$\mathcal{B} \times 10^{-6}$
$e\mu tu$	Vector	7.02	6.78	0.12	0.12	0.14	0.13
		[5.33,10.21] (3.39,12.33)		[0.10,0.14] (0.08,0.16)		[0.11,0.20] (0.07,0.24)	
	Scalar	5.63	6.25	0.23	0.24	0.06	0.07
		[4.79,9.38] (3.75,12.12)		[0.21,0.33] (0.19,0.34)		[0.05,0.11] (0.04,0.14)	
	Tensor	10.01	9.18	0.07	0.06	0.27	0.25
		[7.51,15.90] (4.59,19.24)		[0.06,0.09] (0.04,0.09)		[0.20,0.43] (0.12,0.52)	
$e\mu tc$	Vector	11.21	9.73	0.39	0.37	1.49	1.31
		[7.21,16.63] (4.33,21.61)		[0.32,0.48] (0.24,0.55)		[0.96,2.21] (0.58,2.89)	
	Scalar	9.11	8.88	0.87	0.86	0.91	0.89
		[6.58,13.10] (3.54,17.41)		[0.74,1.04] (0.54,1.21)		[0.65,1.31] (0.35,1.74)	
	Tensor	21.02	17.22	0.24	0.21	3.16	2.59
		[16.52,29.21] (10.51,42.02)		[0.21,0.28] (0.17,0.33)		[2.48,4.41] (1.58,6.32)	

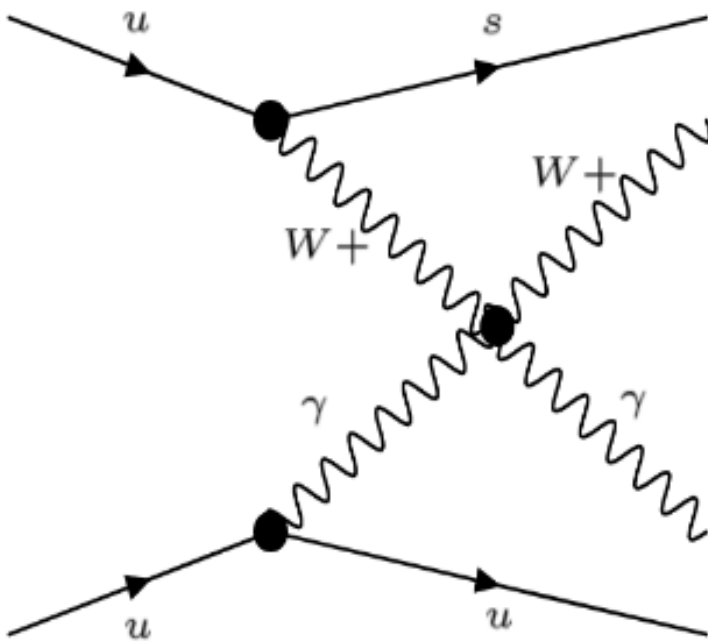
- 复旦大学在分析框架，触发效率，事例选择，信号抽取等方面做重要贡献。



标准模型精确检验

矢量玻色子散射： W+光子

- LHC首次发现该新型散射过程
- **Full Run2 分析在LHCP2022获得公开!**
 - 给出观测(预期)敏感度6.0 (6.8) 倍标准偏差,
 - 对一批反常四规范玻色子耦合给出**世界最强限制**。
- 北大担任分析联系人



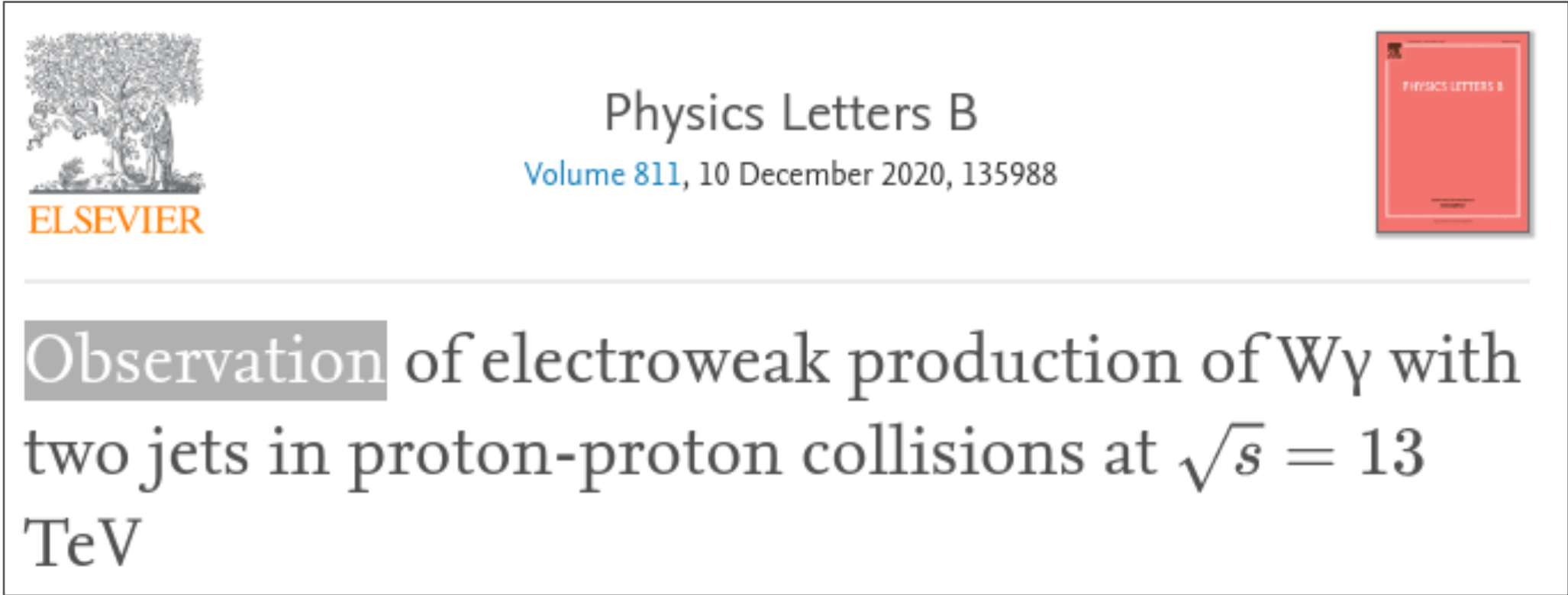
Description	Wgamma + 2 jets production in EWK processes
Contact Person	Daneng Yang (PEKING-UNIV)
HN	SMP-14-011 ➞

8TeV [JHEP 06 \(2017\) 106](#)

Description	Wgamma vector boson scattering
Contact Person	Qianming Huang (PEKING-UNIV)
HN	SMP-19-008 ➞

13TeV, 2016 [PLB 811 \(2020\) 135988](#)

Description	EW Wgamma plus 2 jets at 13 TeV full run 2
Contact Person	Xiaohu Sun (PEKING-UNIV)
HN	SMP-21-011 ➞

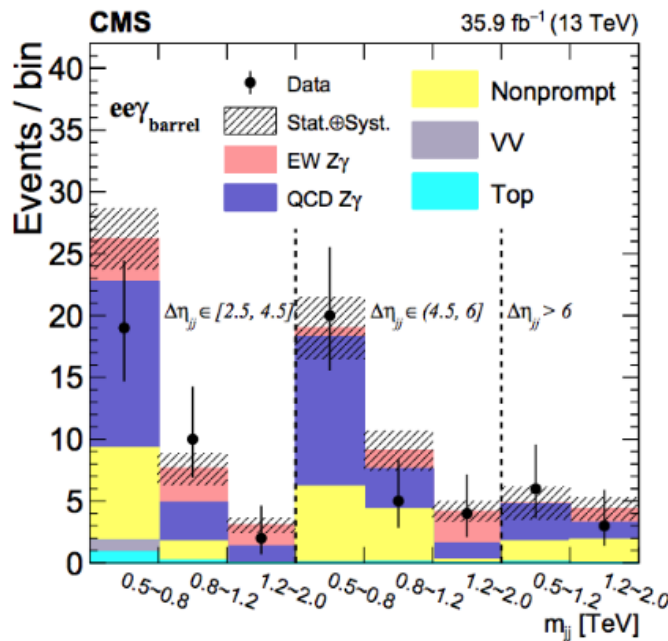


<https://cms.cern/news/lhc-w-photon-collider>

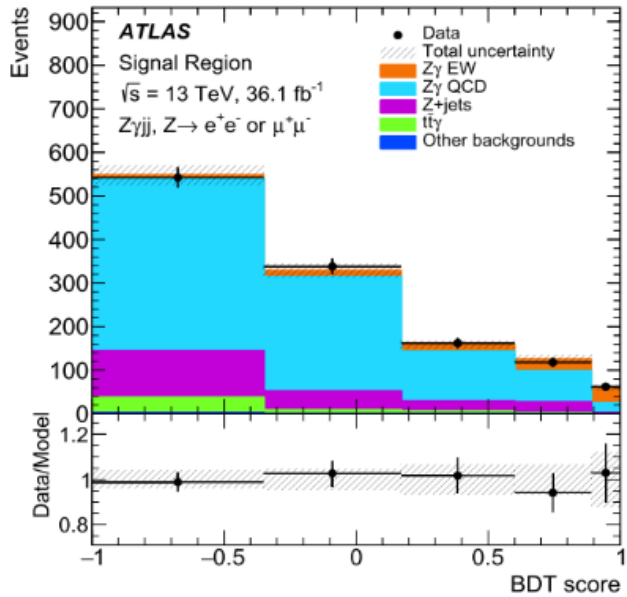
Full Run2 **[CMS-PAS-SMP-21-011](#)**

矢量玻色子散射： Z+光子

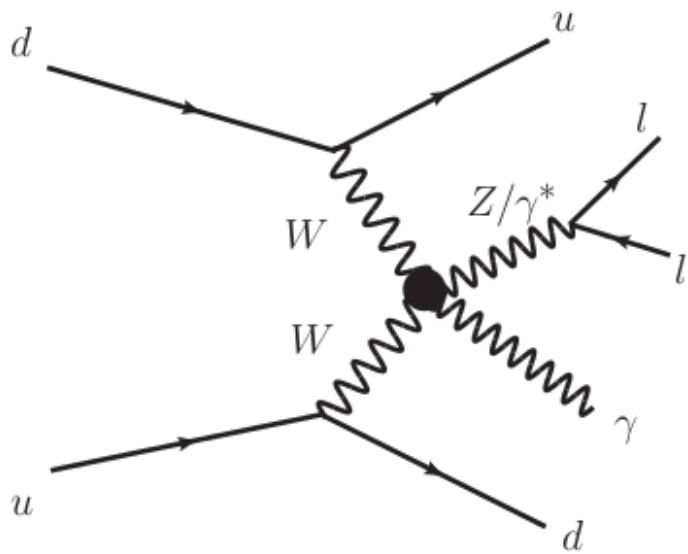
- 中性玻色子散射过程，对标准模型的深度检验
- 利用Full Run2对撞数据，首次发现该过程
- 北大担任分析联系人，中大参与



CMS: arxiv: 2002.09902 for 13 TeV
8 TeV (19.7 fb⁻¹):
observed(expected) significance is **3.0σ (2.1σ)**.
13TeV (35.9fb⁻¹):
observed(expected) significance is **3.9σ (5.2σ)**.
aQGC limits and fiducial cross section are also reported
Combined observed(expected) significance is **4.7σ (5.5σ)**.



ATLAS: arxiv: 1910.09503 for 13 TeV
8 TeV (20.2 fb⁻¹):
observed(expected) significance is **2.0σ (1.8σ)**.
13 TeV (36.1fb⁻¹):
observed(expected) significance is **4.1σ (4.1σ)**
Fiducial cross section is also reported



Description	Zgamma + 2 jets production in EWK processes and aQGC
Contact Person	Fengwangdong Zhang (PEKING-UNIV)
HN	SMP-14-018 ➡

8TeV [PLB 770 \(2017\) 380](#)

Description	Zgamma vector boson scattering
Contact Person	Meng Lu (PEKING-UNIV)
HN	SMP-18-007 ➡

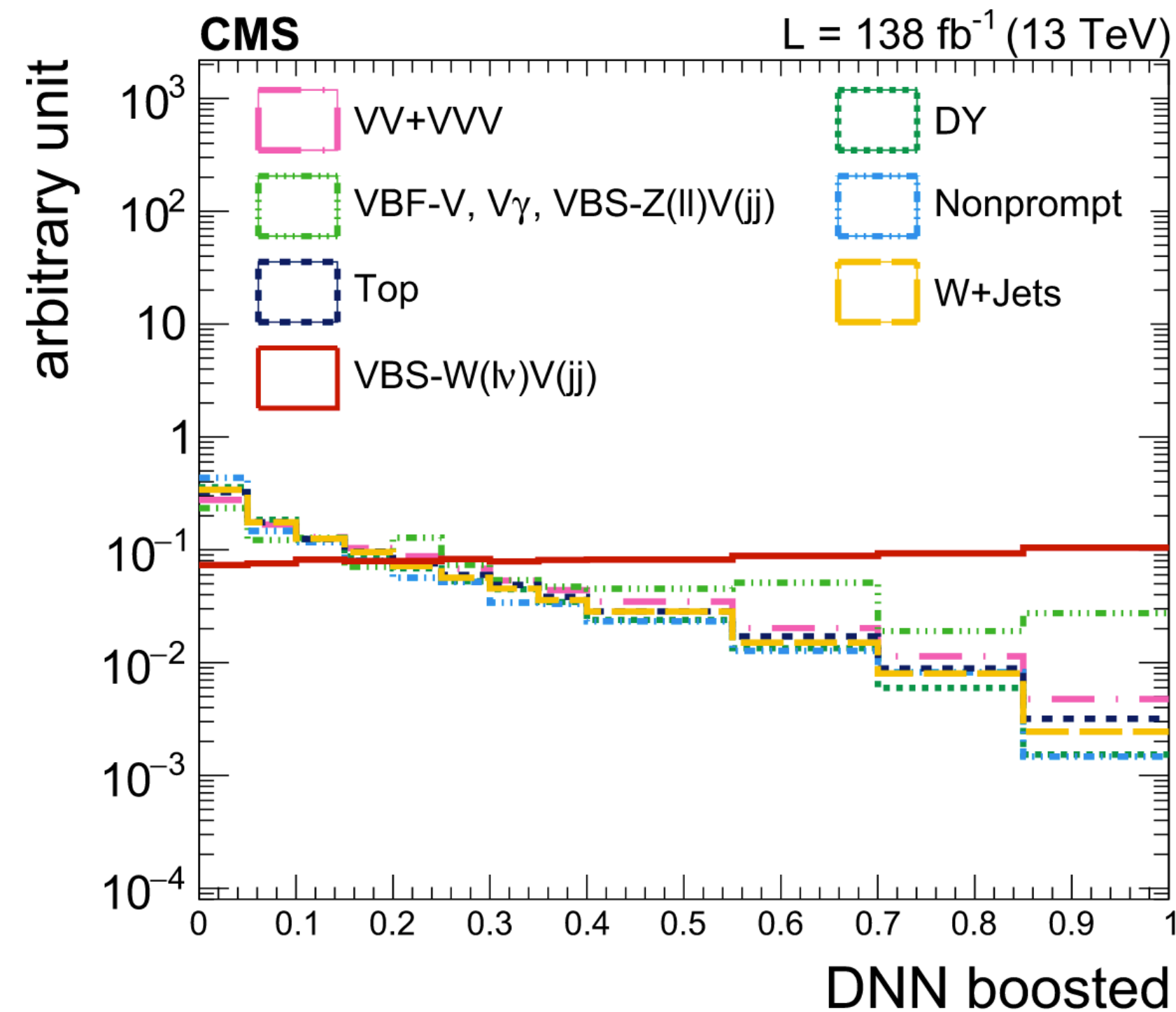
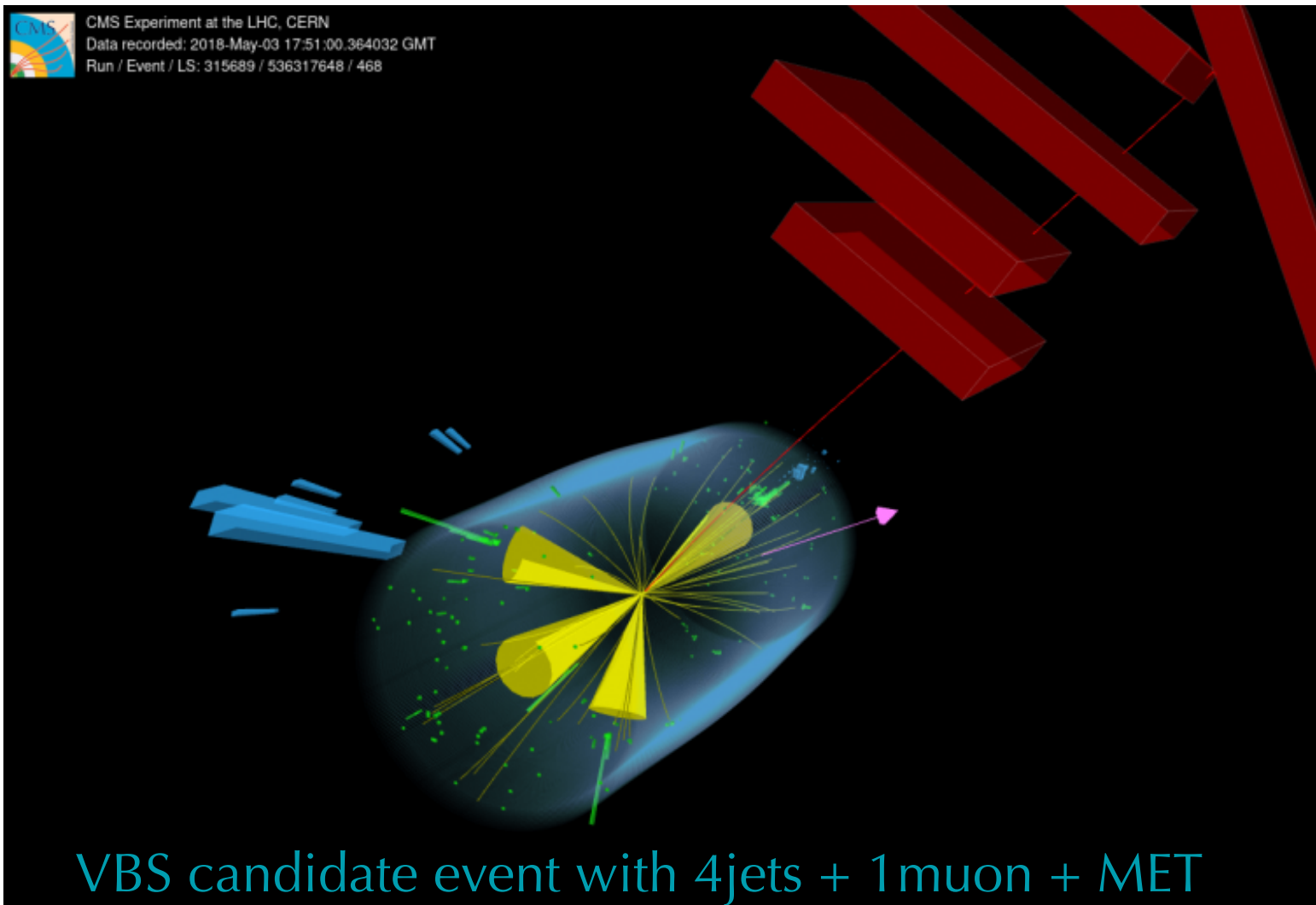
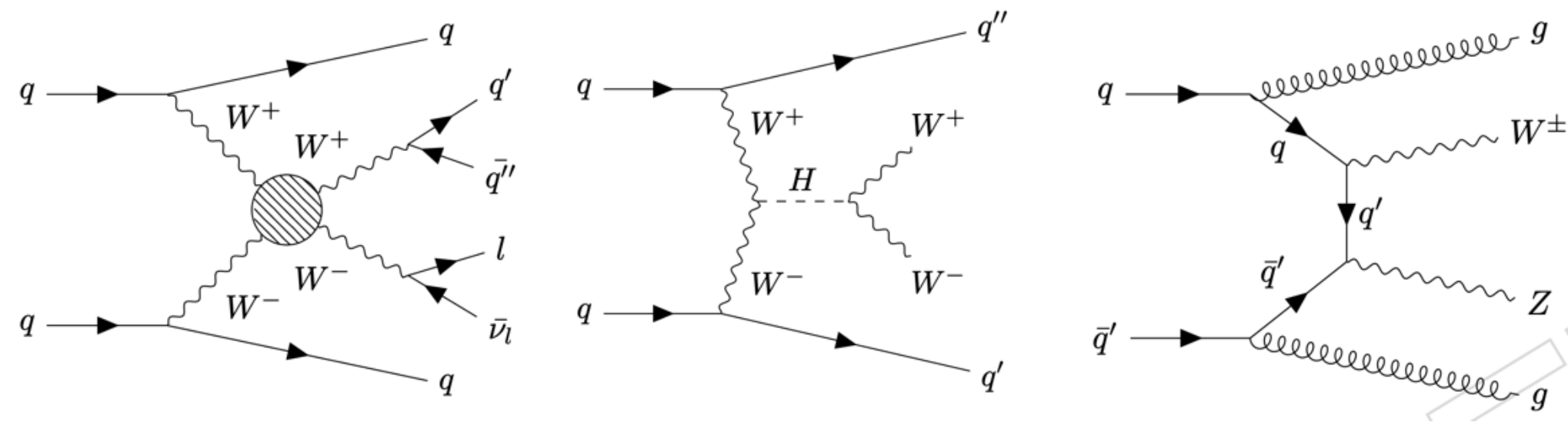
13TeV, 2016 [JHEP 06 \(2020\) 076](#)

Description	EW Zgamma plus 2 jets at 13 TeV full run 2
Contact Person	Ying An (PEKING-UNIV)
HN	SMP-20-016 ➡

Full Run2 [PRD 104 \(2021\) 072001](#)

矢量玻色子散射： $WW/WZ \rightarrow lvqq$

CMS-SMP-20-013
PLB 834 (2022) 137438



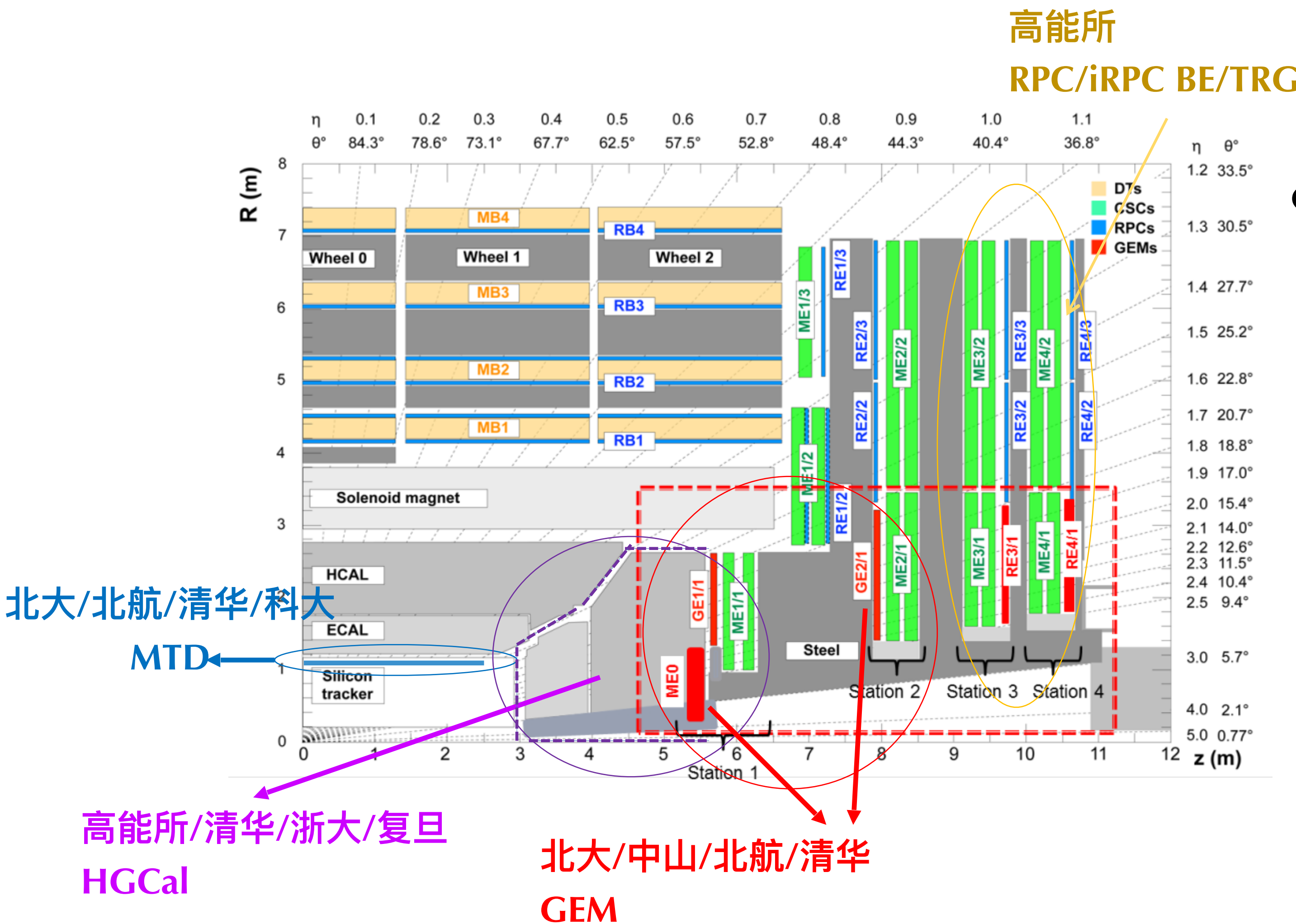
观测 (预期) EW 信号显著性: **4.4 (5.1) σ**

电弱产生的 $WV+2jets$ 半轻子衰变道
过程的首个实验证据

高能所为主要分析人员之一

硬件升级

33



- CMS中国组承担四个硬件项目
- HGCal高粒度量能器
- GEM端盖缪子探测器
- RPC一级触发
- MTD最小电离粒子时间探测器

详见周日孙小虎报告

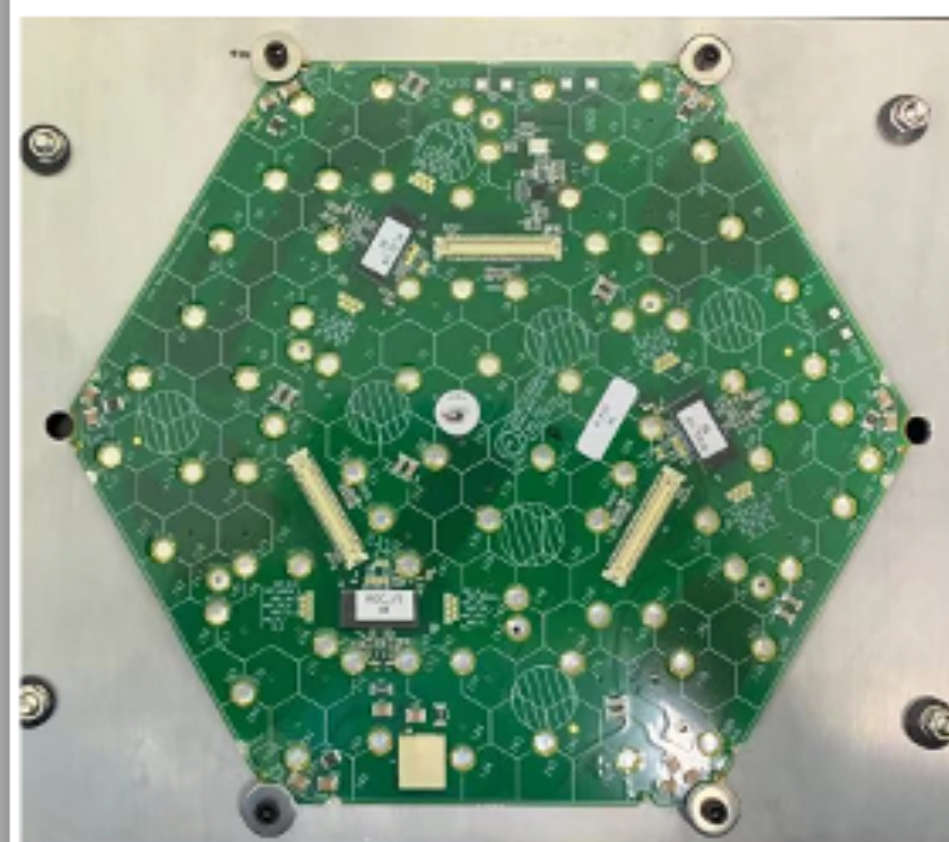
高粒度量能器进展

34

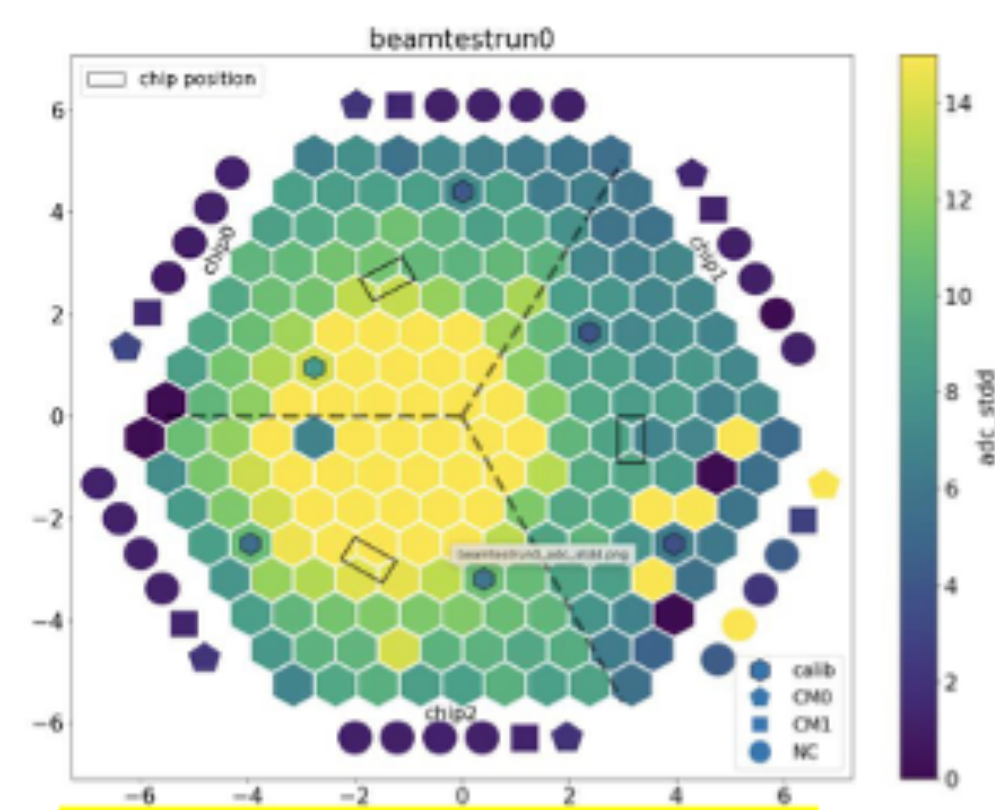
- 任务：硅模块集成中心，5000块模块组装
- 参与单位：高能所/清华/浙大/复旦
- 在 高能所建立了140m²的千级洁净间
- 建立了完整的HGCal硅模块生产实验室和流程
- 成功制作了首块8寸的硅模块，2021年9月在CERN进行了束流测试



成功试制CMS首块8寸硅模块原型机，完成北京硅模块中心站点认证，小批量生产4块硅模块



高能所制作的8寸硅模块



该模块在CERN测得的束流簇射信号



高能所硅模块站点成员合影

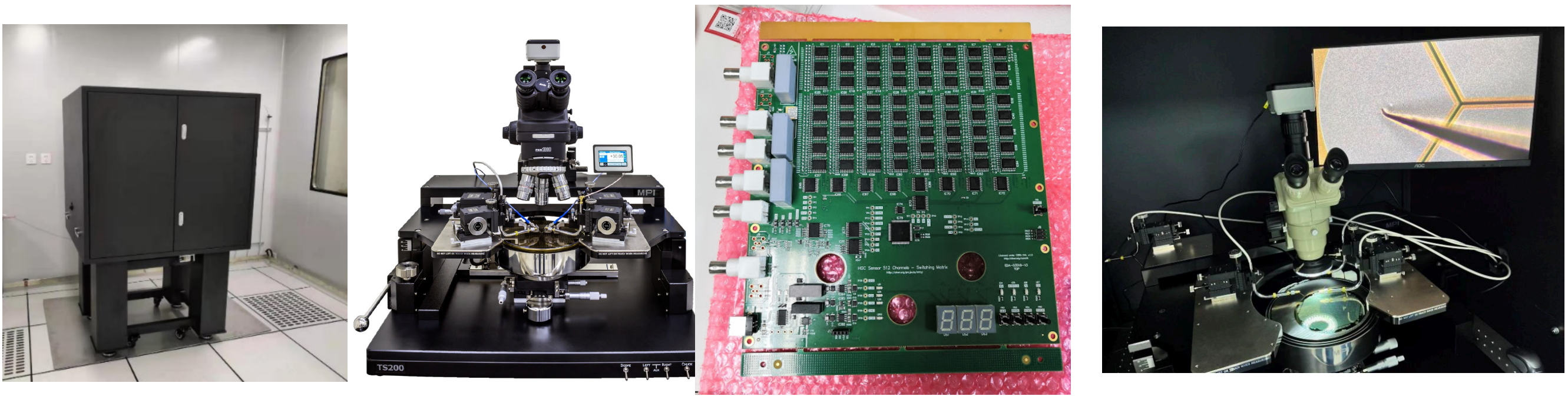


北京硅模块站点通过认证证明信

高粒度量能器进展

35

建立了硅传感器测试平台，已经在国内制作首批6寸硅传感器



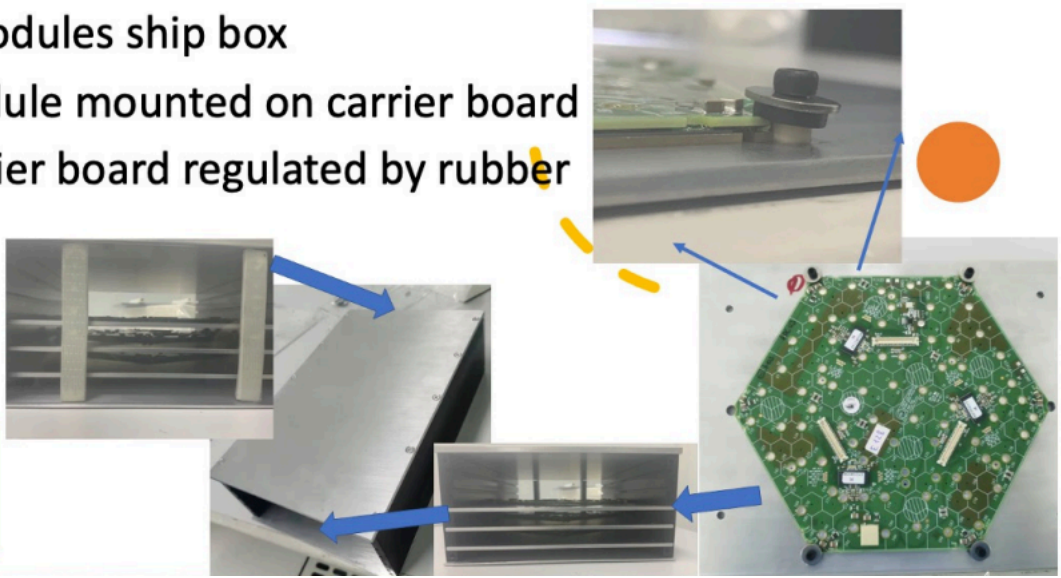
为费米实验室小批量生产4块硅模块

2022年
3-4月

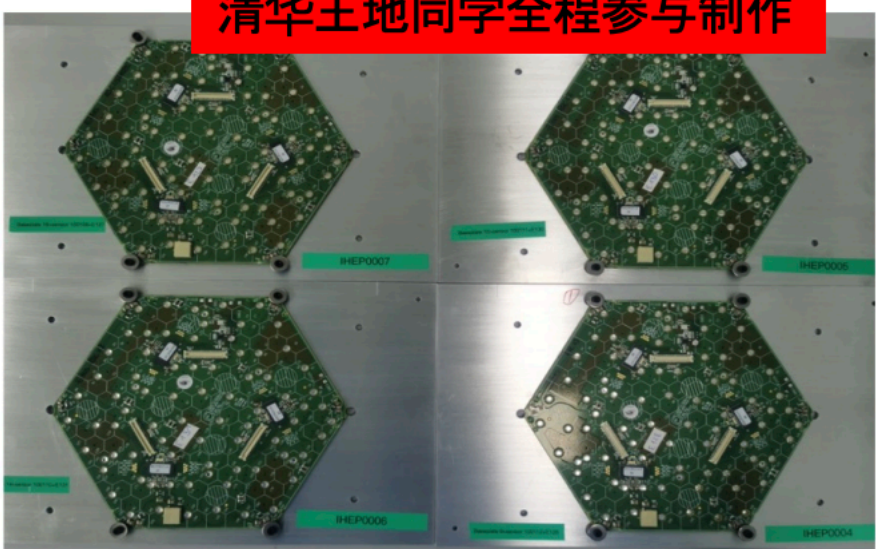
A succeded small “mass” pre-production

- 5 modules ship box
- Module mounted on carrier board
- Carrier board regulated by rubber

@IHEP



清华王地同学全程参与制作



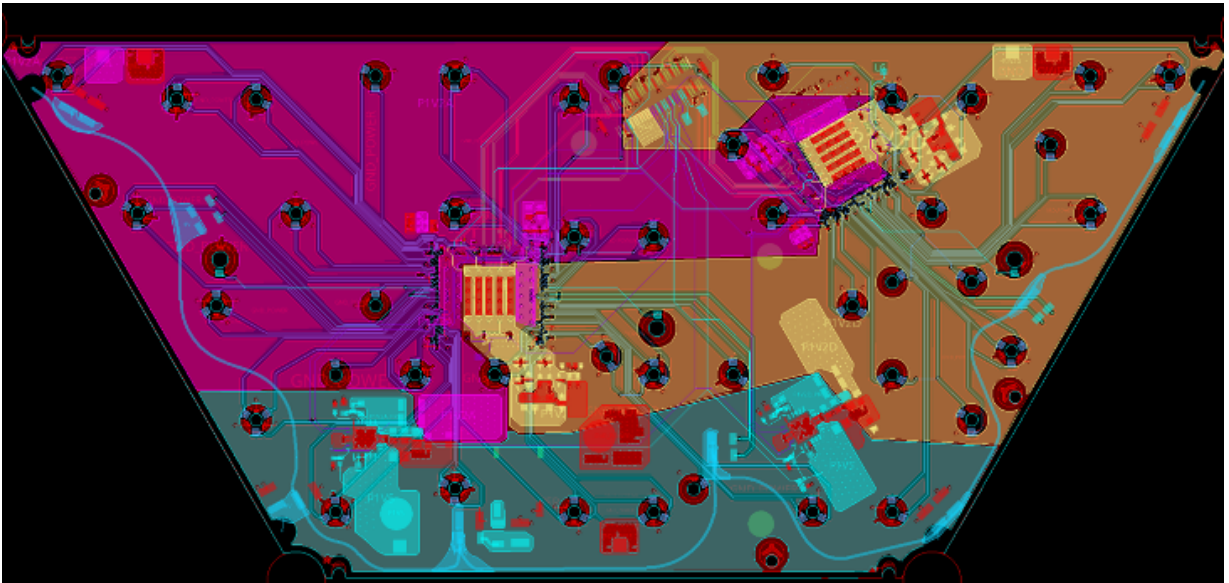
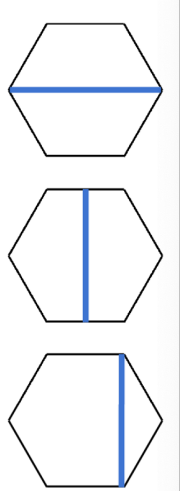
进行了硅模块电路板的初步设计

浙江大学完成

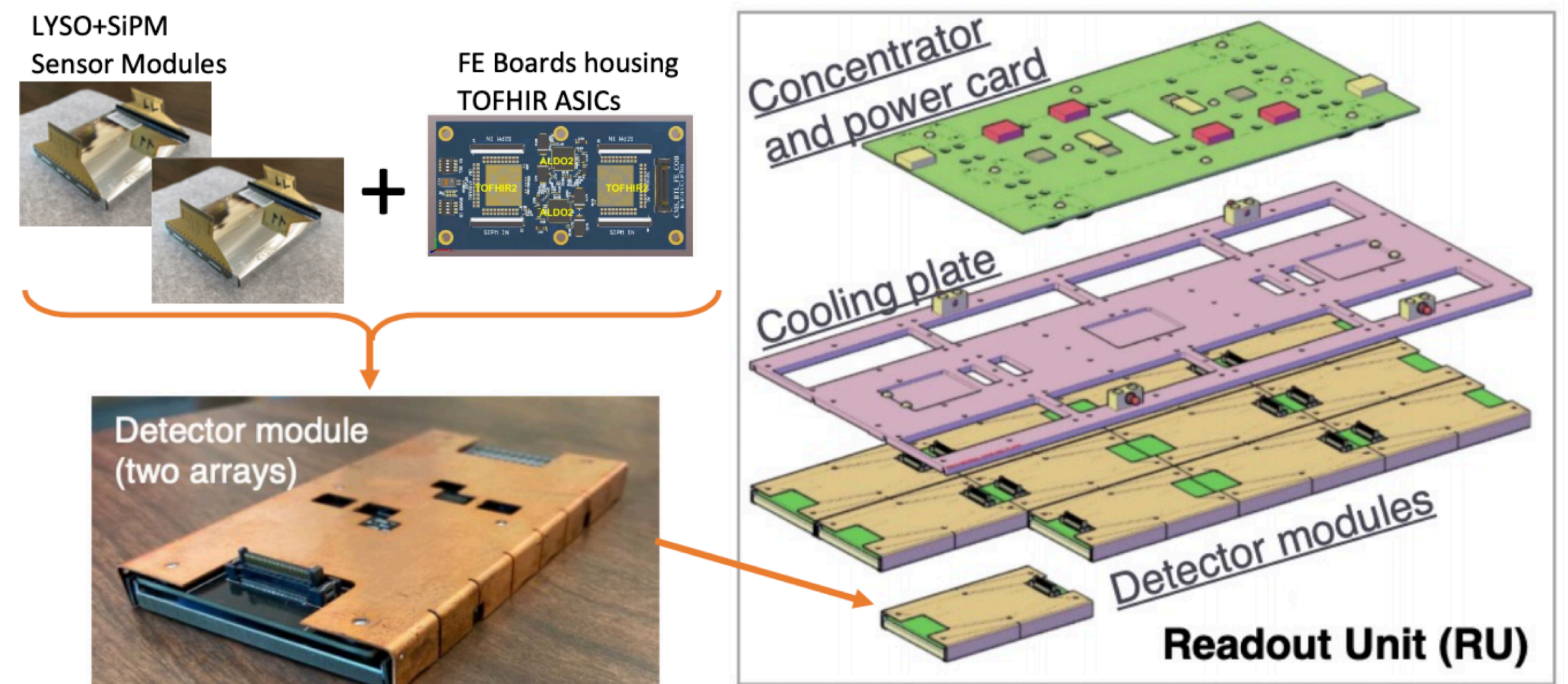
Two Halves : Top & Bottom

Two Semis : Left & Right

One Five and One Three



- 为应对极为密集的对撞环境，新型最小电离粒子时间探测器（MTD）在 CMS 上应运而生，拟将时间测量精度提高近2个量级（ns $\rightarrow$ 30 ps）
- 获得合作组的批准，在北京建立 MTD桶部组装中心 BAC（BTL Assembly Center）
 - 是继米兰、加州理工和弗吉尼亚之后的第四个组装中心
- 参与单位：北大/北航/清华/科大
 - 北大：sensor组装和前端电子学
 - 清华：冷却集成
 - 北航：ASIC芯片后电子学

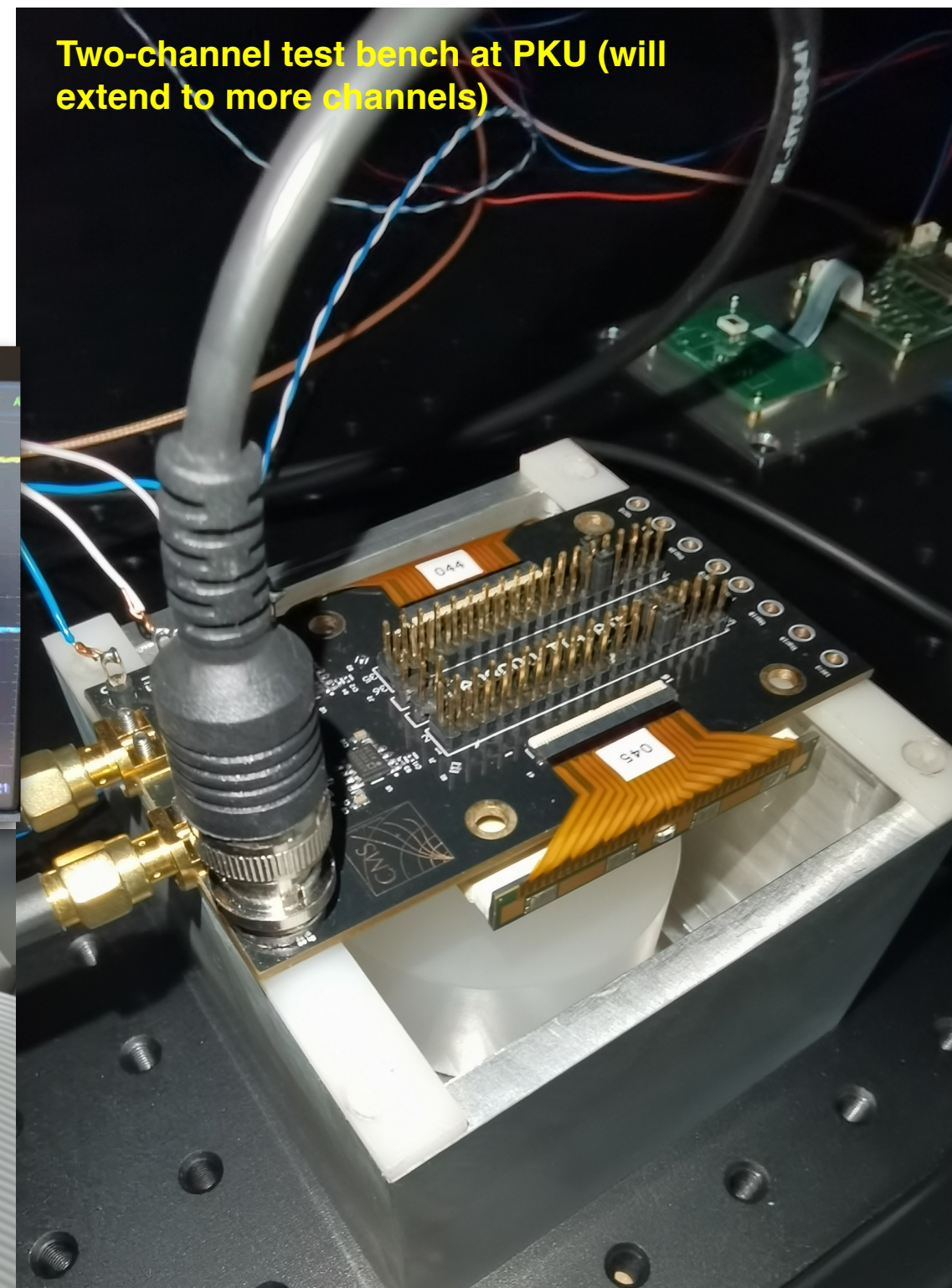
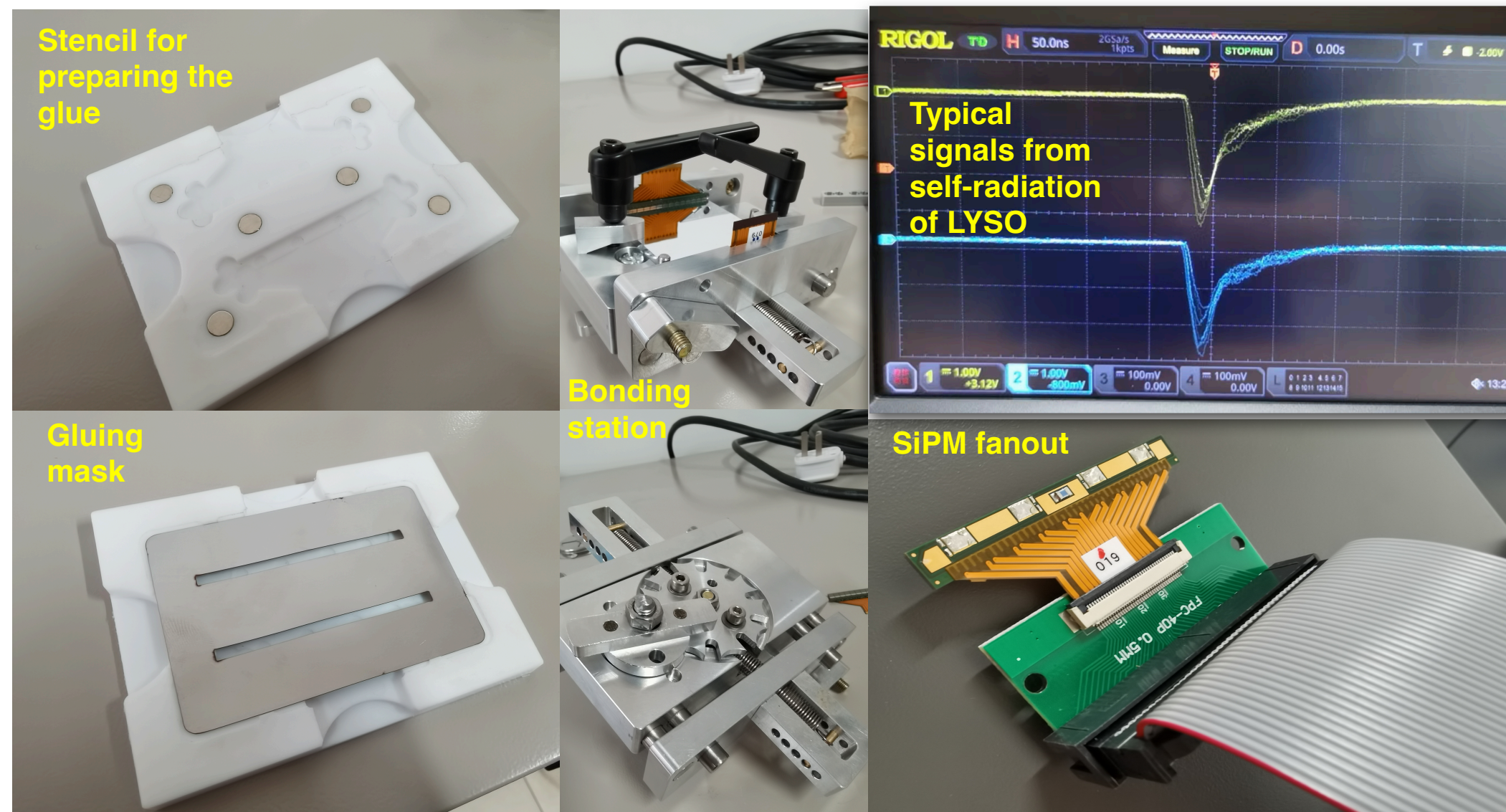


时间探测器进展

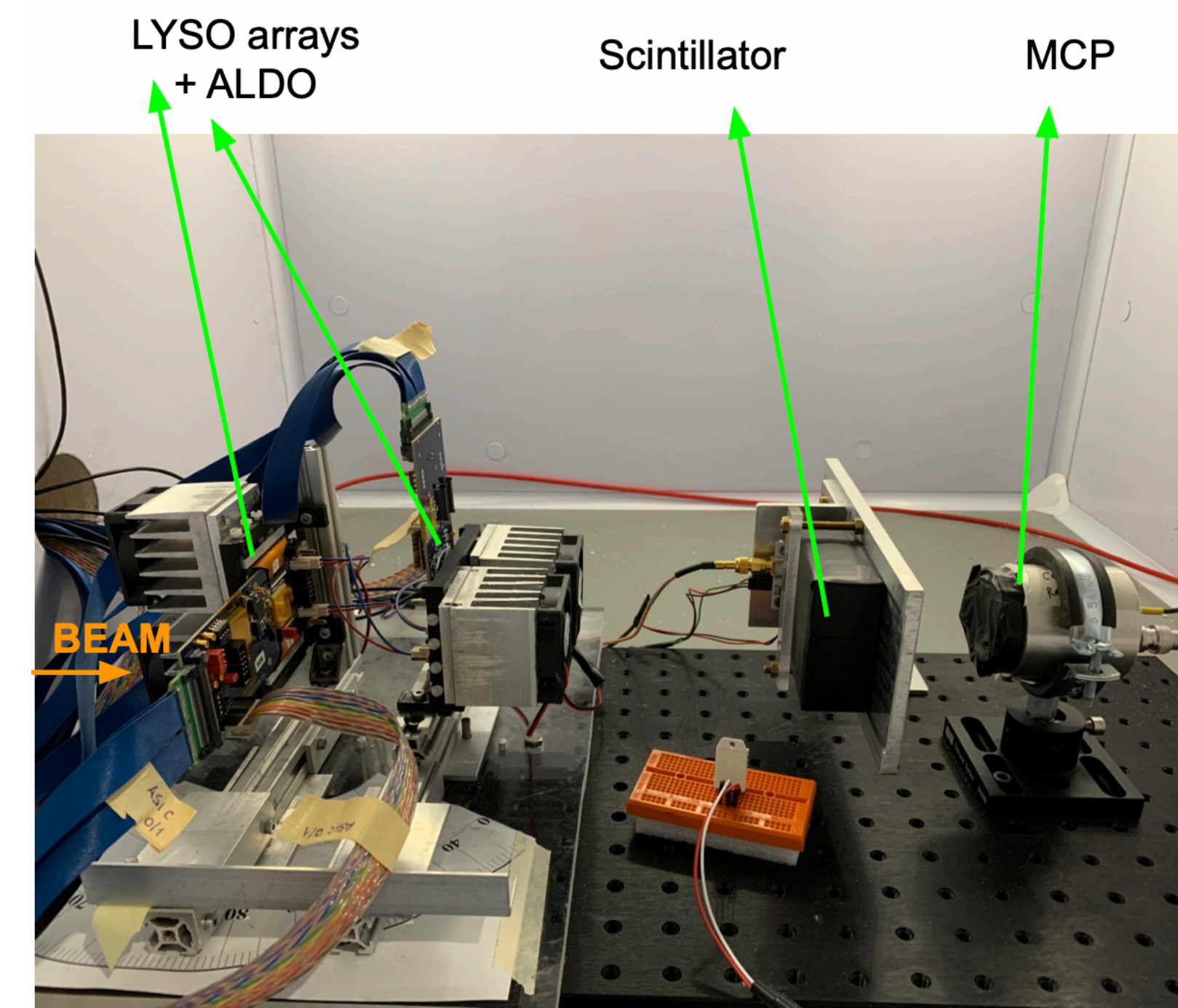
37

组装中心正在积极搭建中

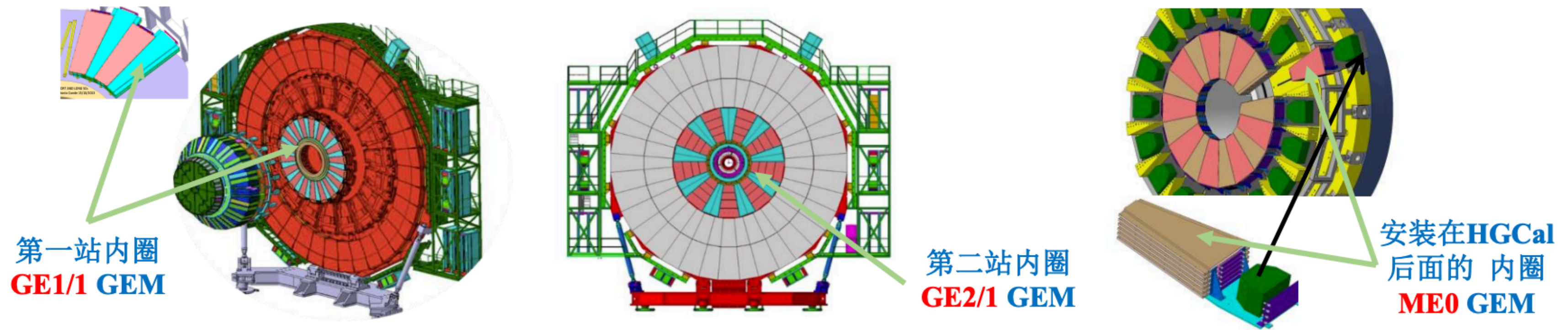
北大搭建Sensor前放测试平台



清华参与在CERN的束流测试



端盖缪子探测器进展



升级探测器		GE1/1	GE2/1	ME0
探测器个数*		288 (=2×36×4)	288 (=2×18×8)	216 (=2×18×6)
计划	预研	2013-2017	2014-2020	2014-2021
	批量生产	2017-2019	2020-2022	2022-2024
	安装调试	2018-2022	2022-2024	2024-2026
中国组任务		全部前端电子板GEB的生产测试，在CERN的探测器组装测试、安装调试	负责设计研发及生产测试全部GEB，在北大生产1/8 GEM探测器，在CERN进行组装测试、安装调试	负责设计研发及生产测试全部GEB，在北大生产~1/5 GEM探测器，在CERN进行组装测试、安装调试

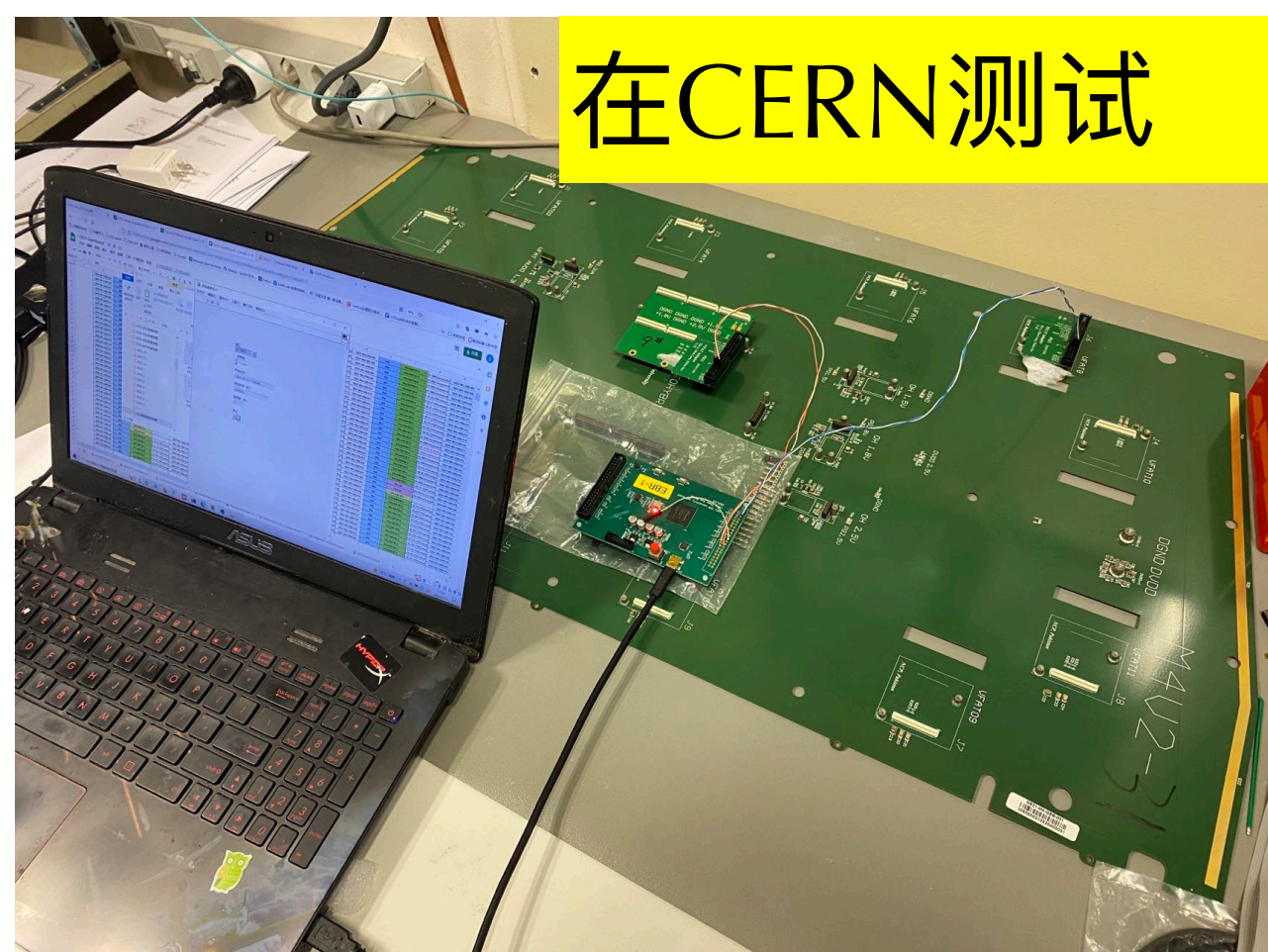
*（总探测器个数=端部数×每个端部module数×每个module探测器个数）

本年度正在进行的项目

端盖缪子探测器进展

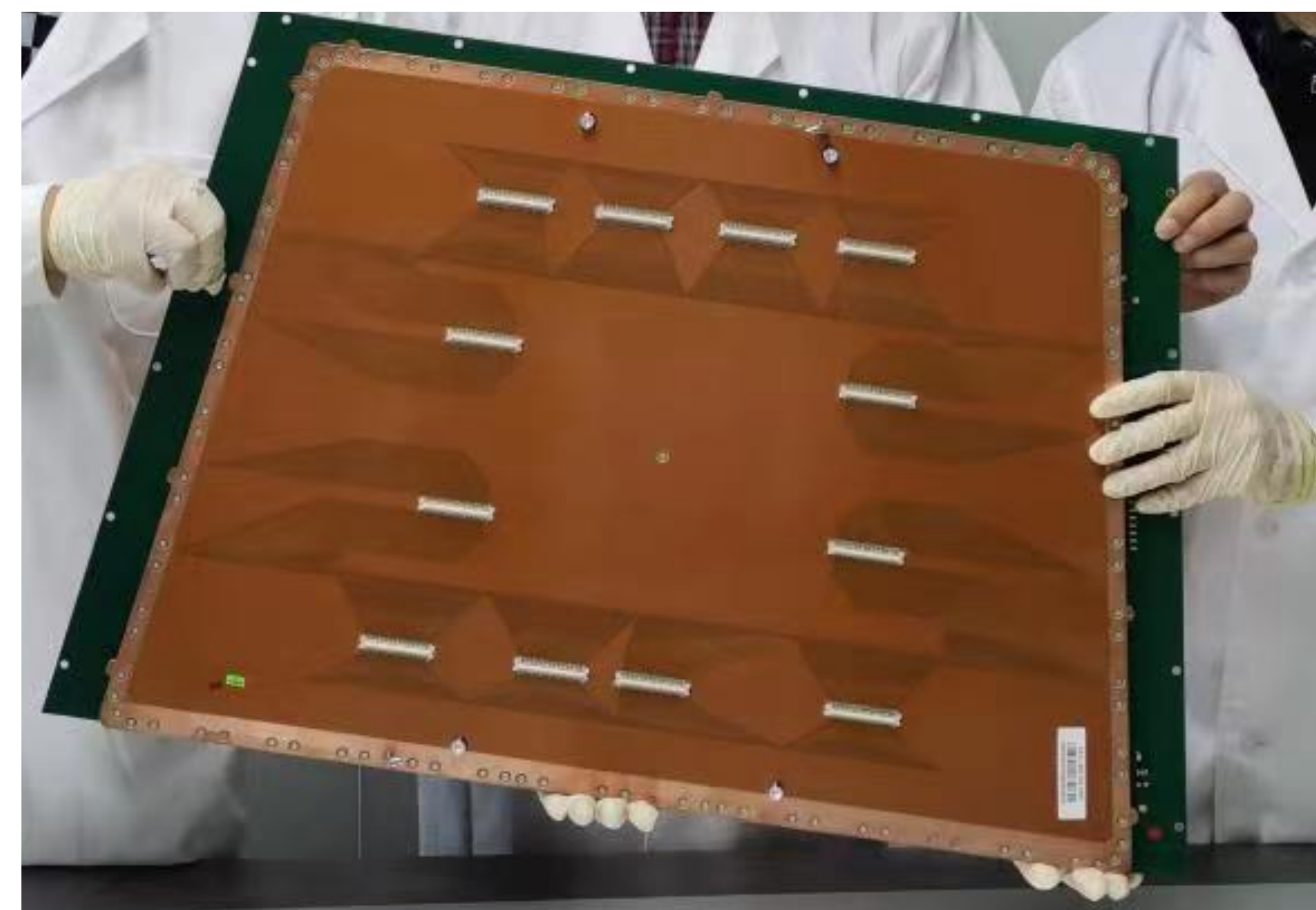
39

- 21年12月完成了全部168 块GE2/1 M1-M4 GEBs 电子学板的批量生产和测试
 - 完成在深圳的测试 (北大、中山)
 - 22年5-6月在CERN完成接收测试

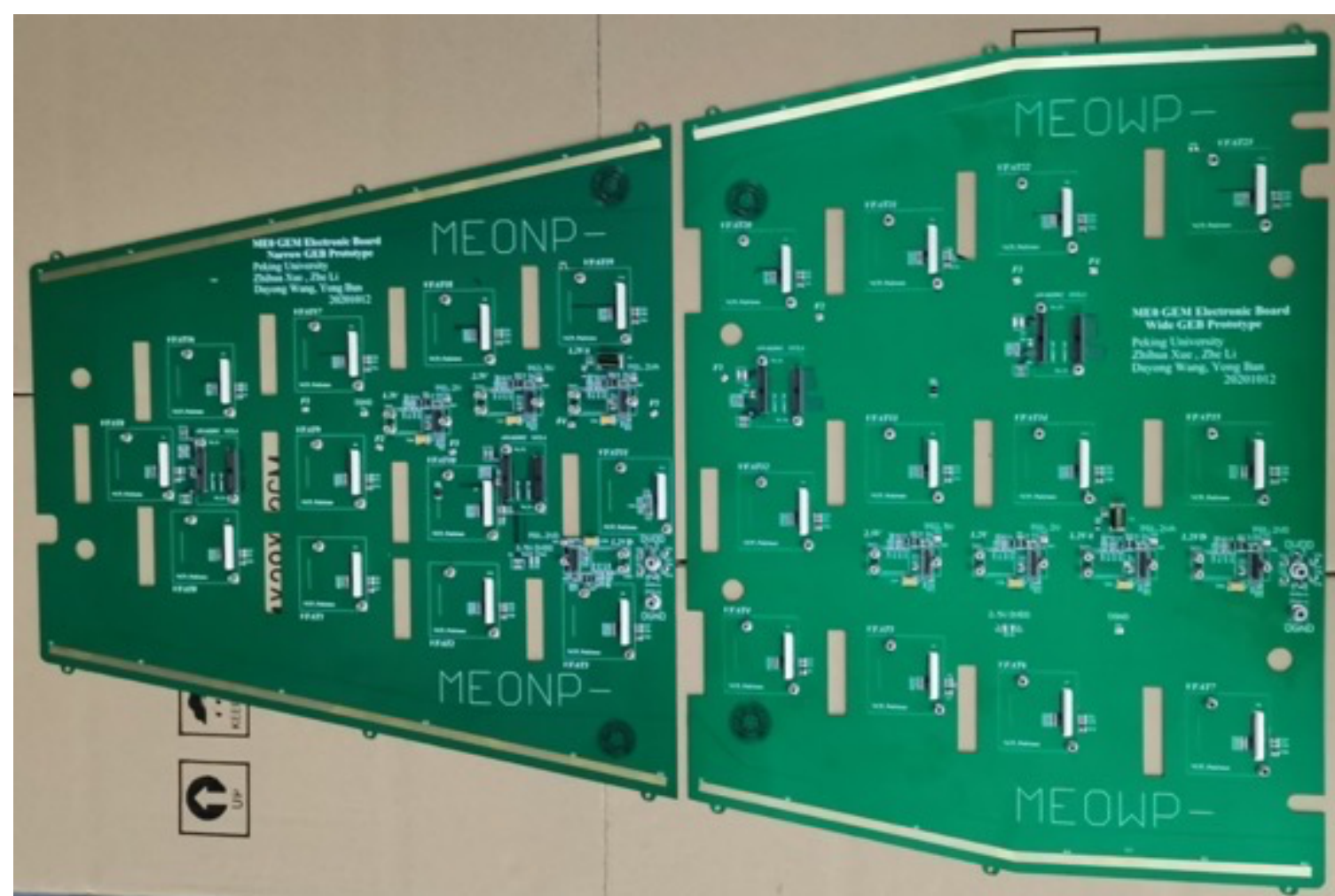


- 开始在北大进行GE2/1探测器的组装
 - 6块 GE2/1 M5探测器组装完成
- 二期升级在中国完成的首个完整探测器

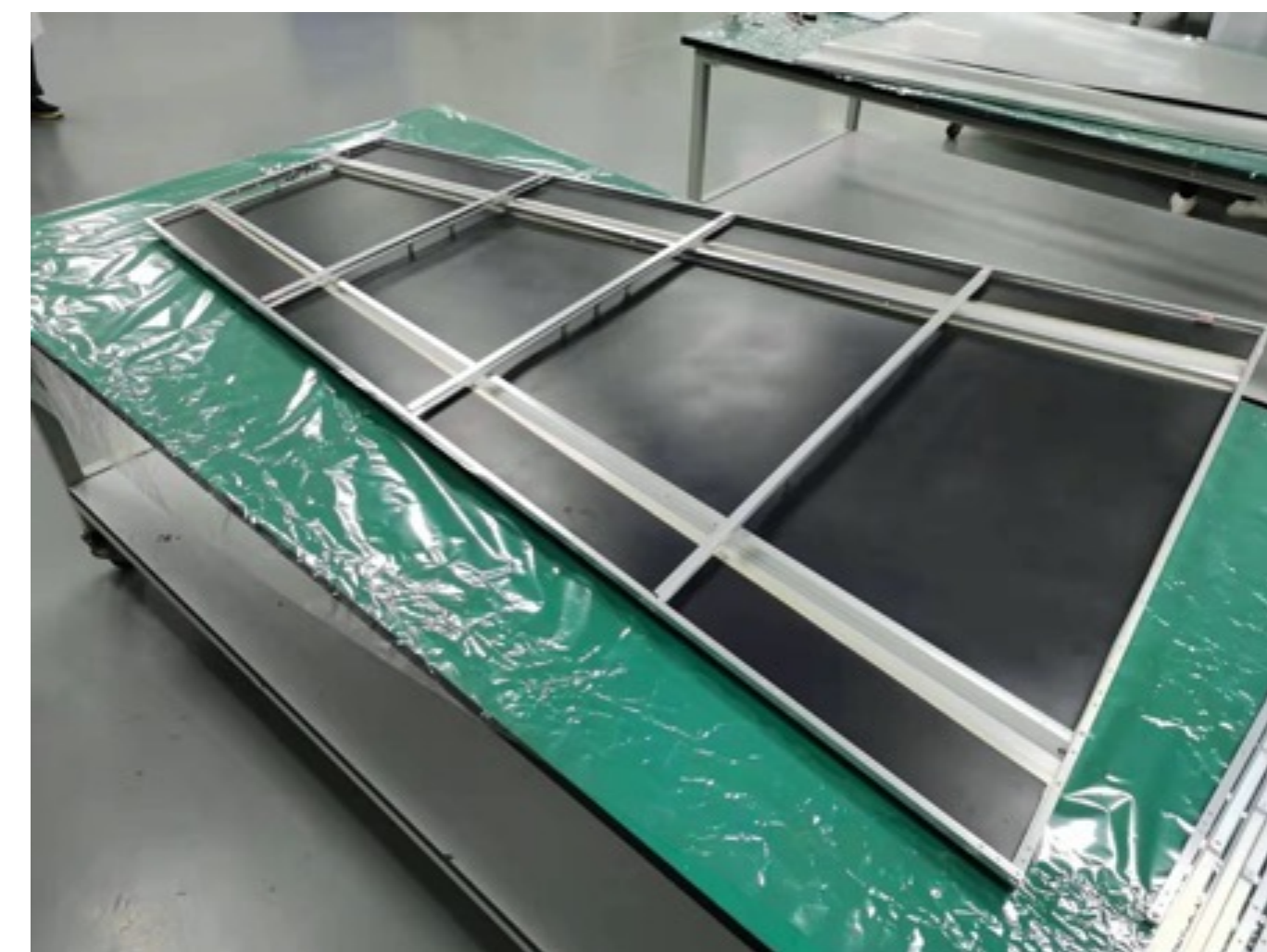
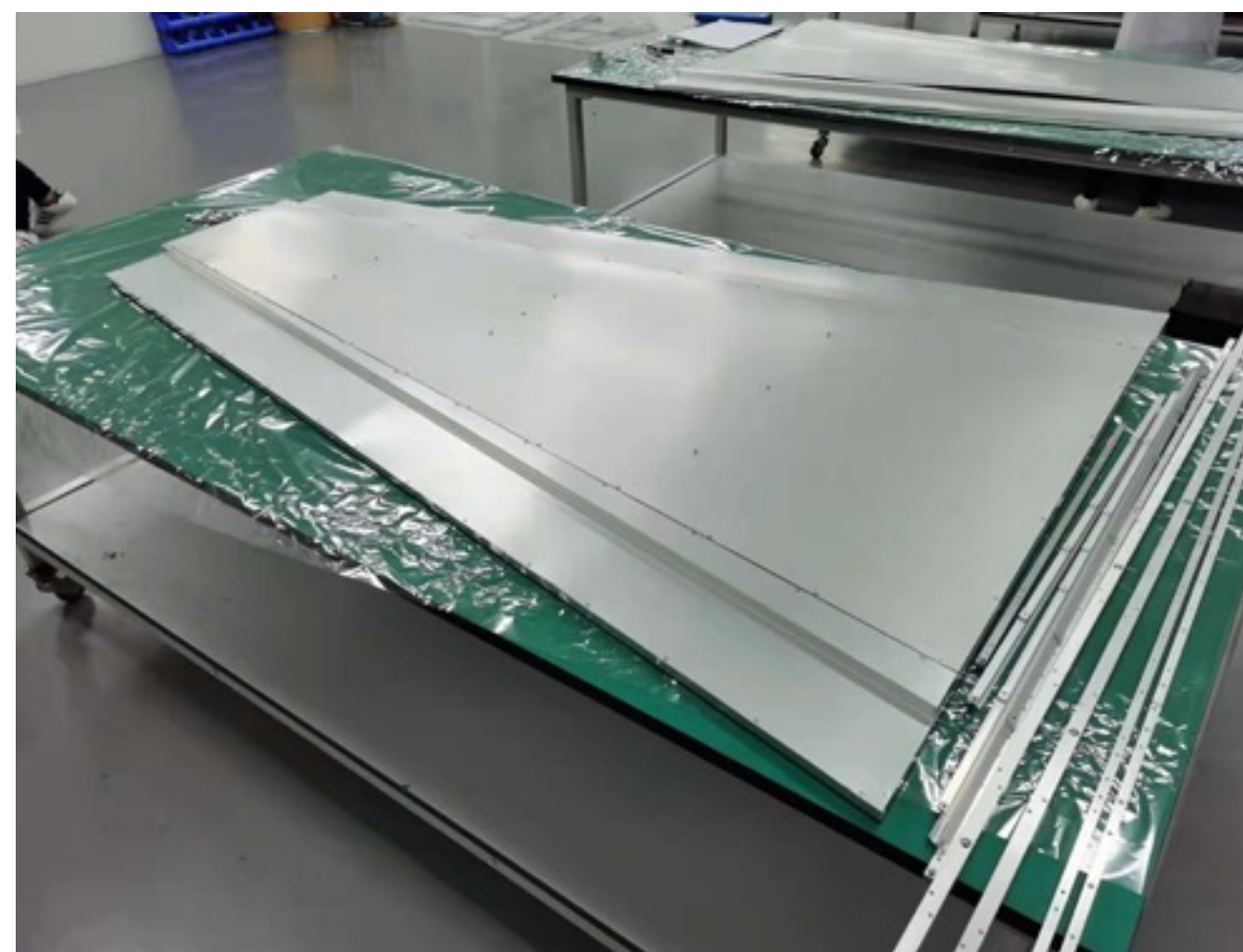
第一块北大组装的GEM探测器



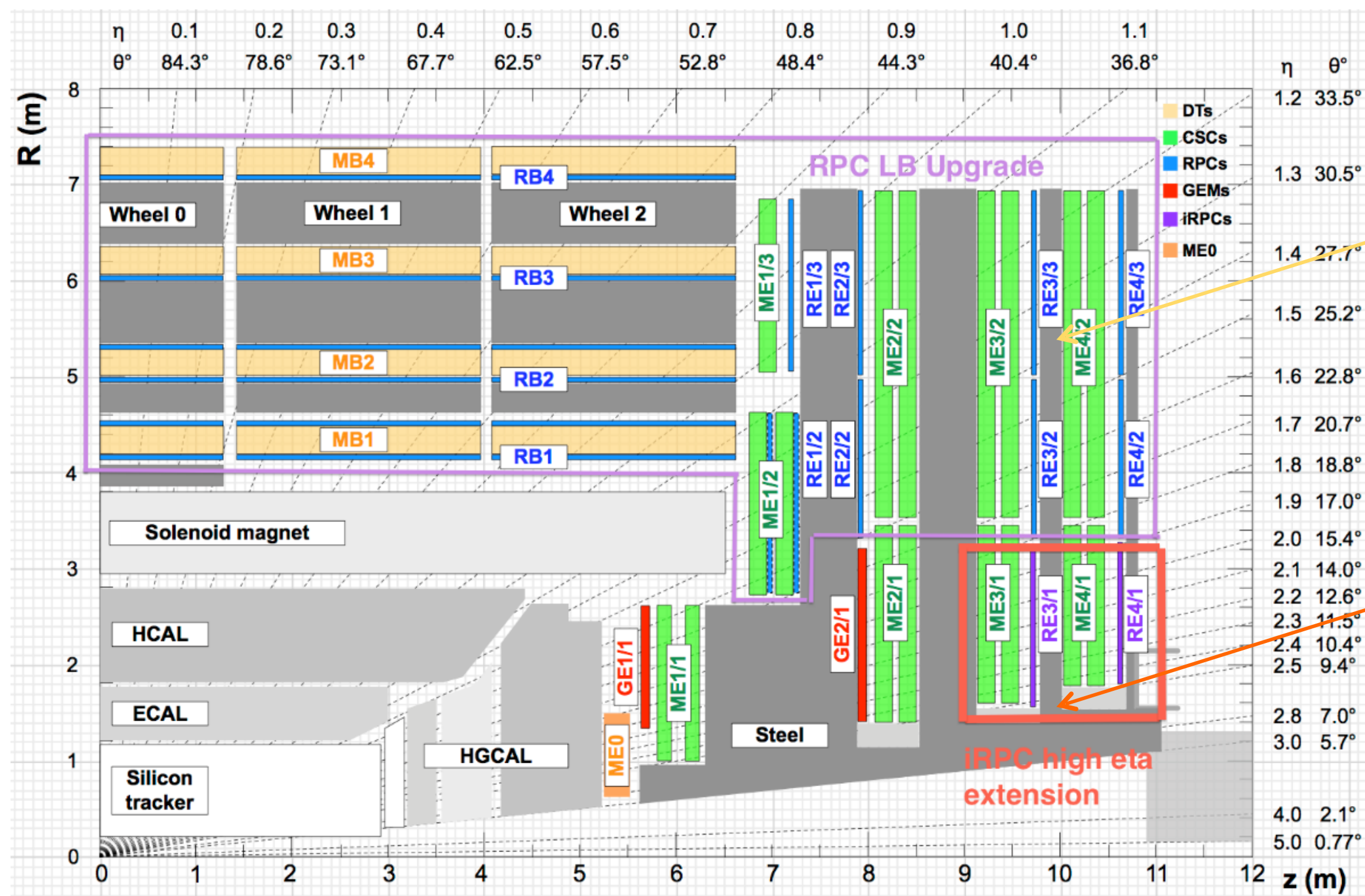
- ME0电子学板的第一版设计完成
- 7套原型板生产后运到CERN和美国测试，结果良好
- 大规模生产即将开始



- GEM超模块屏蔽支撑架研制与生产：外形 $\sim 1 \times 2 \text{m}^2$ ，把8种型号GEM探测器 组装成两种规格的模块
- 铝材经数控机床加工，表面经氧化处理
- 21年12月开始批量生产，22年 5月全部38套完成生产运达CERN



RPC触发电子学进展

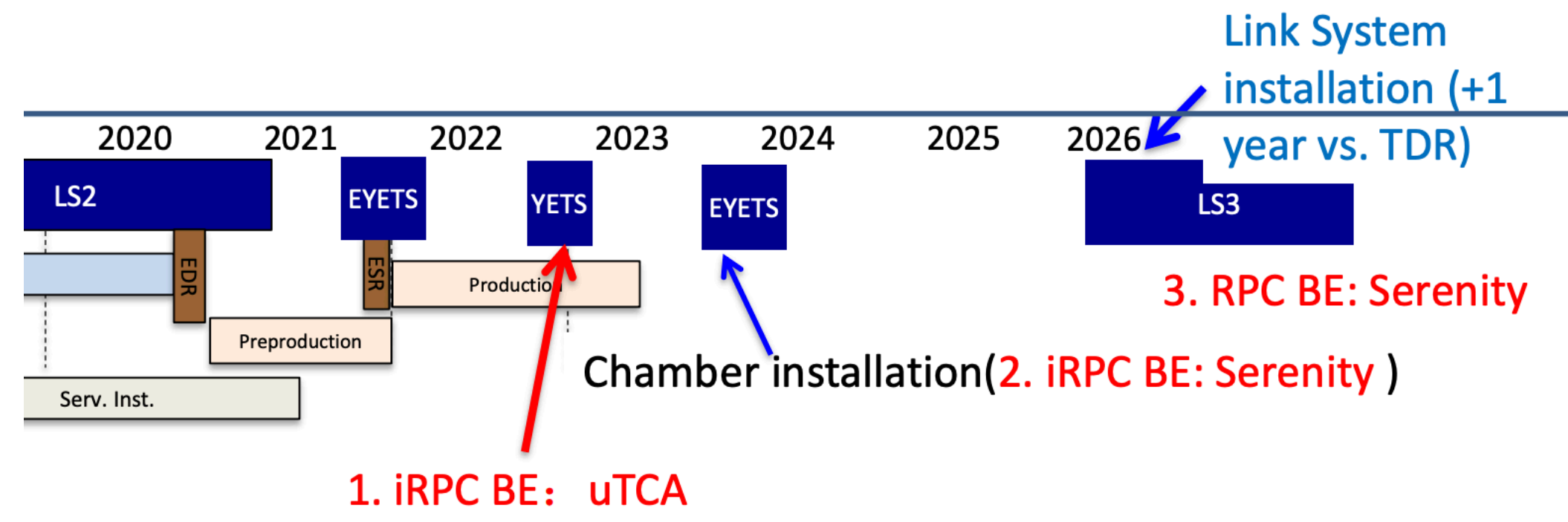


升级已有RPC的连接系统

新的iRPC覆盖更前端的空间

RPC任务：为以上两个新系统设计后端电子学和触发

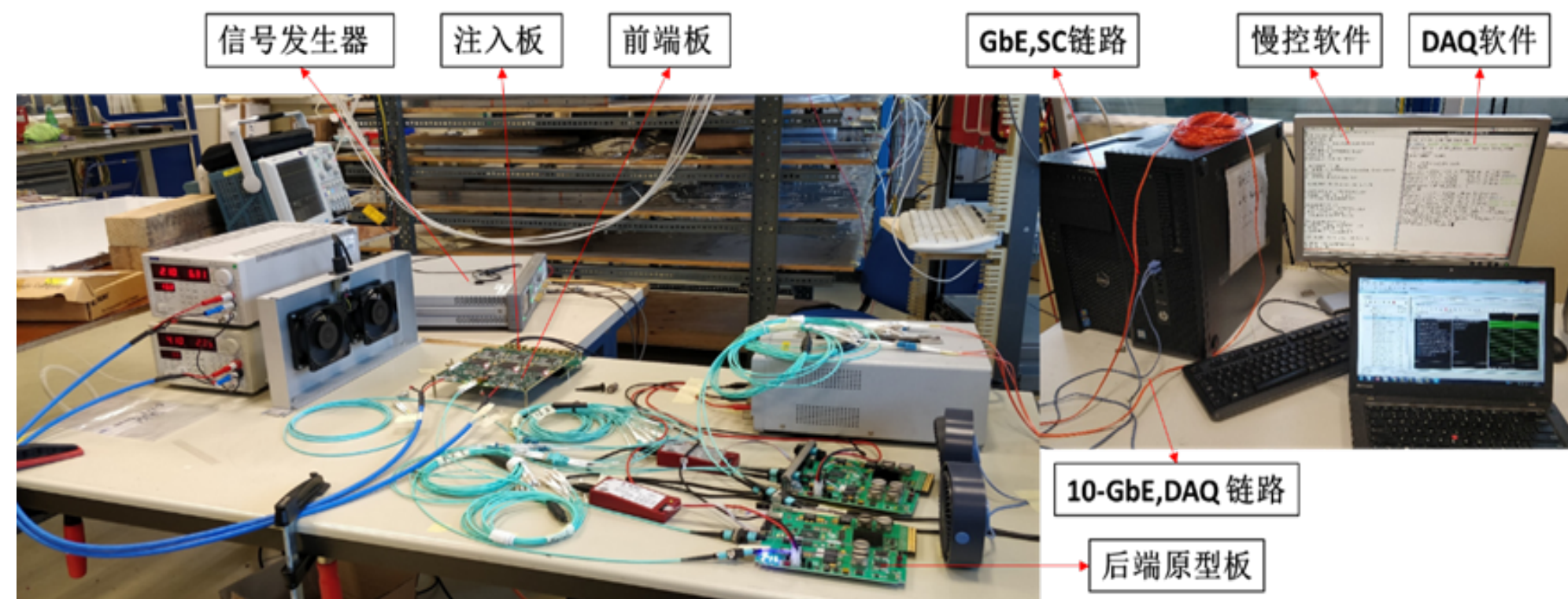
- iRPC 后端触发电子学
 - 两部走的计划安排: uTCA+ATCA
 - 2022-2023: iRPC BE uTCA(现阶段工作)
 - 2024: iRPC BE ATCA-Serenity
- RPC后端电子学
 - 2025-2026: RPC BE ATCA-serenity



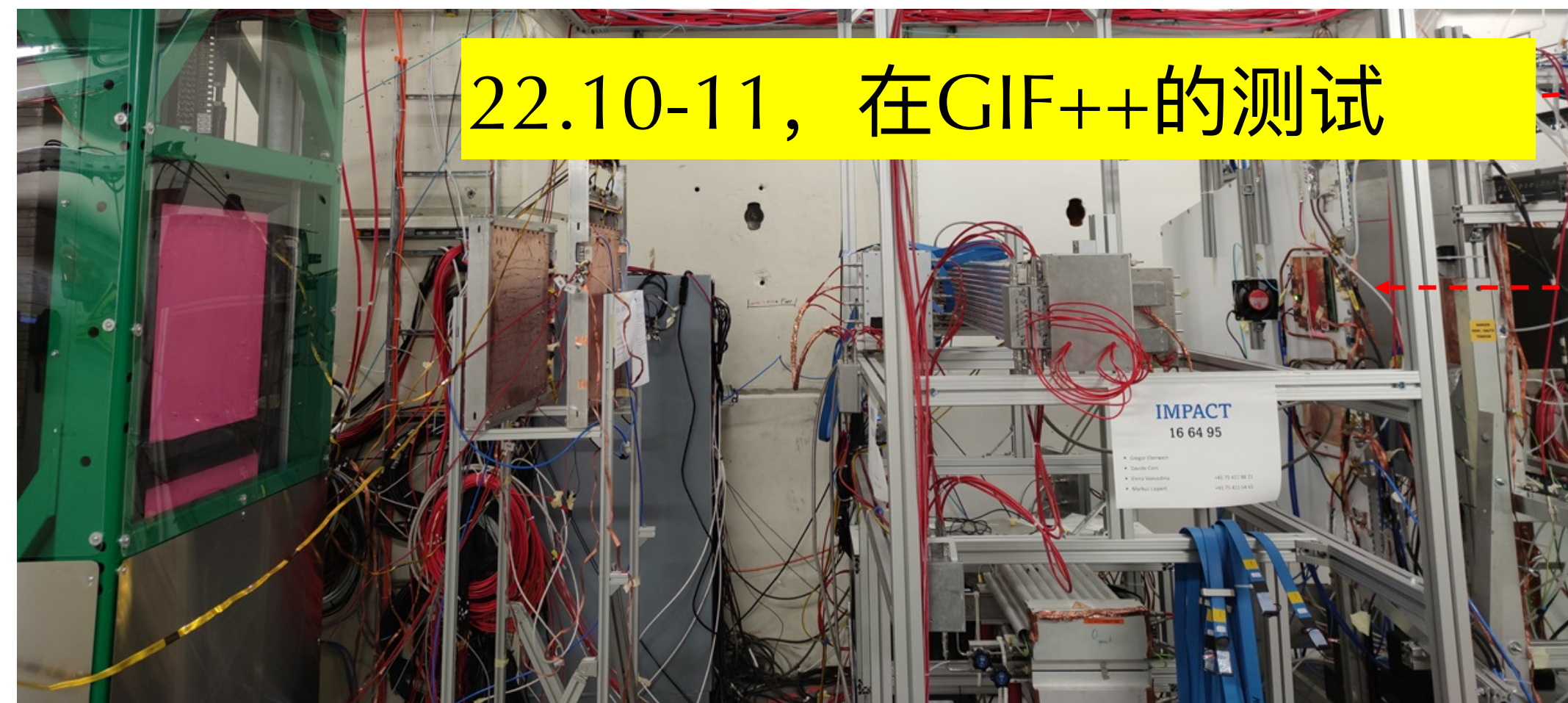
RPC触发电子学进展

- 为了减小iRPC前端电子学(FEB)工期延迟对后端触发电子学(BE)的影响, 2021年4 月份开发了 FEB Emulator, 为后端触发电子学的功能开发发挥了重要作用。
- 2021.7-2021.12 在CERN 904进行了BE与FEB的联调;
- 2022.1-现在 在CERN 904进行了BE与FEB及iRPC探测器的宇宙线联调取数
- 2022.10-11, 与FEB和chamber进行束流测试
- 积极参与核心技术的开发, 目前参加serenity板卡的核心设计, 负责时钟树部分的设计。

22.1-现在, 在CERN 904的测试



22.10-11, 在GIF++的测试



Chamber_190

FEB v2_2c

国际会议大会报告17个

43

1. Jingqing Zhang, Observation of multiple near-threshold structures in $J/\psi/\psi$ mass spectrum, QWG2022, 2022.9.28, Germany
2. Muhammad Ahmad, Observation of new structures in the $J/\psi/\psi$ mass spectrum in pp collisions at 13 TeV, Corfu2022, 2022.8.30, Greece
3. Kai Yi, Observation of new structures in pp collisions at 13 TeV, Miami2022, 2022.12.15, US
4. Kai Yi, Observation of new structures in pp collisions at 13 TeV, HEP2023, 2023.1.10, US
5. Nan Lu, HH prospects at HL-LHC, 2022 Higgs pairs workshop
6. Fabio Monti, HH Production at CMS, HiggsPairs2022: Higgs Pairs Workshop 2022, 30 May-3 Jun 2022, Dubrovnik (Croatia)
7. Mingshui Chen, Differential fiducial measurements next steps and combination, LHC-Higgs: The 18th Workshop of the LHC Higgs Working Group, 1-3 Dec 2021, CERN (online)
8. Duncan Leggat, Measurement of tW production in lepton jets channel, TOP2021: 14th International Workshop on Top Quark Physics (TOP2021), 13-17 Sep 2021 (online)
9. Hongbo Liao, Top quark physics at CMS, Lomonosov 2021: 20th Lomonosov Conference on Elementary Particle Physics, 19-25 Aug 2021, Moscow State University, Moscow (Russian Federation) (online)
10. Ram Sharma, Standard Model and Electroweak Results from CMS, LISHEP2021: LISHEP Workshop on High Energy Physics, 6-8 Jul 2021, UERJ (online)
11. Jie Xiao, Heavy neutrinos at the LHC - results and prospects, Neutrino2022: XXX International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics, 30 May-4 Jun 2022, Seoul, Video only (Virtual World)
12. Leptoquark, vector like quark and new resonance searches at CMS and ATLAS, Moriond/EW2022: 56th Rencontres de Moriond on Electroweak Interactions & Unified Theories, 12-19 Mar 2022, La Thuile (Italy), Antonios Agapitos
13. Andrew Levin, Precision measurements of diboson differential and total cross sections, MBI2021: Multi-Boson Interactions 2021, 23-27 Aug 2021
14. Xudong Lyu , Searches for heavy BSM particles resulting in boosted final states at CMS, BOOST2021, 2-5 Aug 2021
15. Heng Yang, Azimuthal correlations in Z+jet events, REF2021, 15-19 Nov 2021, DESY, Video only
16. Congqiao Li, Boosted jet tagging in CMS, ML4Jets2021, 6-8 Jul 2021
17. Meng Xiao, CP measurement of the Higgs boson, Celebrating a decade of the Higgs, 2022/06, TIFR, Mumbai (online)

国际会议分会报告24个

1. Jin Wang, Higgs couplings and CP studies at ATLAS and CMS, CKM2021: 11th International Workshop on the CKM Unitarity Triangle, 22-26 Nov 2021, Univ. of Melbourne (online)
2. Vukasin Milosevic, Rare, Exotic, and Invisible Higgs Decays at CMS, TeVPA2021: TeV Particle Astrophysics 2021, 24-29 Oct 2021, Chengdu (China)
3. Zebing Wang, Searches for Axion-Like Particles at CMS, , TeVPA2021: TeV Particle Astrophysics 2021, 24-29 Oct 2021, Chengdu (China)
4. Muhammad Aamir Shahzad, Measurement of Higgs production and search for an additional SM-like Higgs boson in the diphoton decay channel with the CMS detector, Higgs2021: Higgs 2021 Conference, 18-22 Oct 2021, Stony Brook, NY (online)
5. Fabio Lemmi, Associated production of $t\bar{t}+H$ at CMS, EPS-HEP2021: European Physical Society Conference on High Energy Physics, 26-30 Jul 2021, DESY and University of Hamburg (online)
6. Vukasin Milosevic, Searches for Higgs invisible, EPS-HEP2021: European Physical Society Conference on High Energy Physics, 26-30 Jul 2021, DESY and University of Hamburg (online)
7. Jinjing Gu, Triple J/ψ production at CMS at 13 TeV, APS April Meeting 2022, 2022.4.10, US
8. Kai Yi, Observation of new structures in the $J/\psi J/\psi$ mass spectrum at CMS, ICHEP2022, 2022.7.9
9. Monika Mittal, The GEM GE1/1 station of the CMS muon detector: status, commissioning and operation in magnetic field, ICHEP2022, 6-13 July 2022, Italy
10. Tongguang Cheng, CMS Performance Highlights, LHCP2022, 16-21 May 2022, Virtual (Taiwan)
11. Tahir Javaid, Measurement of the Higgs boson differential fiducial cross sections in the four-lepton decay channel in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, HiggsPotential2022, 24-28 July 2022, Virtual (Beijing)
12. Andrew Levin, EWK: dibosons, LHCP2022, 16-21 May 2022, Virtual (Taiwan),
13. Ying An, EWK: tribosons, LHCP2022, 16-21 May 2022, Virtual (Taiwan),
14. Congqiao Li, Performance: Boosted algorithms for searches, LHCP2022, 16-21 May 2022, Virtual (Taiwan),
15. Jing Peng, EWK physics: VBS SM at CMS, LHCP2022, 16-21 May 2022, Virtual (Taiwan),
16. Xudong Lyu, Search for heavy resonances decaying to bosons and for new resonances coupling to third generation quarks at CMS, LP2021, 10-14 Jan 2022, Manchester (United Kingdom),
17. Qilong Guo, Searches for heavy resonances decaying into Z, W, and Higgs bosons at CMS, SUSY2021, 23-28 Aug 2021,
18. Qun Wang, Vector boson associated with jets in CMS, EPS-HEP2021: European Physical Society Conference on High Energy Physics, 26-30 Jul 2021,
19. Cheng Chen, Searches for heavy resonances decaying into Z, W, and Higgs bosons at CMS, EPS-HEP2021: European Physical Society Conference on High Energy Physics, 26-30 Jul 2021,
20. Antonis Agapitos, ATLAS + CMS Searches for Di/Triboson resonances ($VV/VVV/Vh/Z\gamma/H\gamma, 3\gamma$), LHCP2021, 7-12 Jun 2021
21. Xuelong Qin, Angular analyses of B meson decays at CMS, FPCP2021, 7-11 Jun 2021
22. Anshul Kapoor, CMS electron and photon performance, ICHEP2022: 41st International Conference on High Energy Physics 6-13 July 2022, Bologna (Italy)
23. Chaochen Yuan, Producing and detecting long-lived particles at different experiments at the LHC, The eleventh LLP Community workshop, 30 May-3 June 2022, CERN(Geneva)Online
24. Huaqiao Zhang, The CMS High Granularity Calorimeter for the High Luminosity LHC, The 2022 international workshop on the high energy Circular Electron-Positron Collider 24- 28, Oct 2022, Online

CMS 2021 Award

45

- 李强（北大）：For outstanding contributions to offline and computing in CMS over more than ten years
- Muhammad Ahamd（清华-南师）：For his excellent leadership in the operation, maintenance, and development of the CMS data-quality monitoring system.
- Jordan Martins（清华-南师）：For his exemplary leadership and crucial technical contributions to the physics dataset and MC validation group, in particular his optimization and deployment of data reprocessing and MC production.



任CMS二/三级管理职位统计表

分组 (二级)	人员	管理级别	所属三级 分组	服务期限
软件计算组	李强	二级	-	2020.6-
产生子组	李强	二级	-	2018.09-2020.09
EGamma组	Anshul Kapoor	二级		2022.09-
重离子物理组	Emilien Chapon	二级		2018.09-2020.09
RPC 触发组	刘振安	二级	-	2019.09-
物理性能以及数据集 PdmV	M. Ahmad	二级	-	2020.9-
物理性能以及数据集 DQM	J. Martins	二级	-	2020.9-
Top group/Top+X	Joshuha Thomas- Wilsker	三级	-	2020.7-
EGamma组	Anshul Kapoor	三级	ID	2020.9-
B-Tagging组	J. Thomas-Wilsker	三级	Performance	2018.9-2020.9
物理性能以及数据集	M. Ahmad	三级	Validation	2017.12-2020.8
Egamma组	Ram Krishna Sharma	三级	HLT	2020.10-
B2G分析组	Antonis	三级	共振态组召集人	2020.9-
标准模型分析组	彭靖	三级	MC Contact	2019.6-
Jetmet 组	吕旭东	三级	MC Contact	2019.10-

物理分组 (二级)	人员	所属三级 物理分组	服务期限
LHC实验 Higgs物理工作组	J. Thomas- Wilsker	WG1 ttH	2019.06-
希格斯物理组	郭倩颖	HZZ MC联络人	2019.01-
产生子组	Junquan Tao	MC generator photos++联络人	2018-
产生子组	卞建国	MC generator BCVEGPY 联络人	2011-
标准模型分析组	卢梦	MC联络人	2017.4-2019.12
B-Tagging组	王锦	MC联络人	2019.05-
希格斯物理组	王锦	Hgg MC联络人	2019.10-
B2G 分析组	Agapitos	MC Contact	2019.5-
标准模型分析组	安莹	Electron Contact	2019.10-
标准模型分析组	肖杰	机器学习联络人	2020.9-
RPC电子学	赵京周	RPC 触发组	2020.9-
LHC实验 Higgs物理工作组	鲁楠	HH	2021.8-
希格斯物理组	鲁楠	Future SM & Higgs	2020.9-
B物理组	胡震	MC联络人	2021.1-
B物理组	J. Martins	VFS	2021.1-
HGCal组	张华桥	Beijing Module Assembly Center	2017-

物理分组 (二级)	人员	所属三级 物理分组	服务期限
TOP组/ Tracking 组	Duncan Leggat	MC联络人/ tracking validator	2019.11-/ 2020.03-
EXOTIC分析组	Anshul Kappor	Electron Object Expert	2018.04-2020.09
EXOTIC分析组	Ram Krishna Sharma	联络人	2019.12-
产生子组	Duncan Leggat	generator operator	2020.1-
希格斯物理组	肖朦	Higgs联合分析和EFT	2020.09 -2022.09
希格斯物理组	肖朦	HZZ组	2018-2020
JETMET	安莹	DQM	2022.2-
产生子组	肖杰	Validation	2021.9-
LHC Higgs Combination group	陈明水		
电磁量能器刻度组	王锦		
Trigger DQM	Vukasin		
希格斯物理组	Fabio	HH联络人	

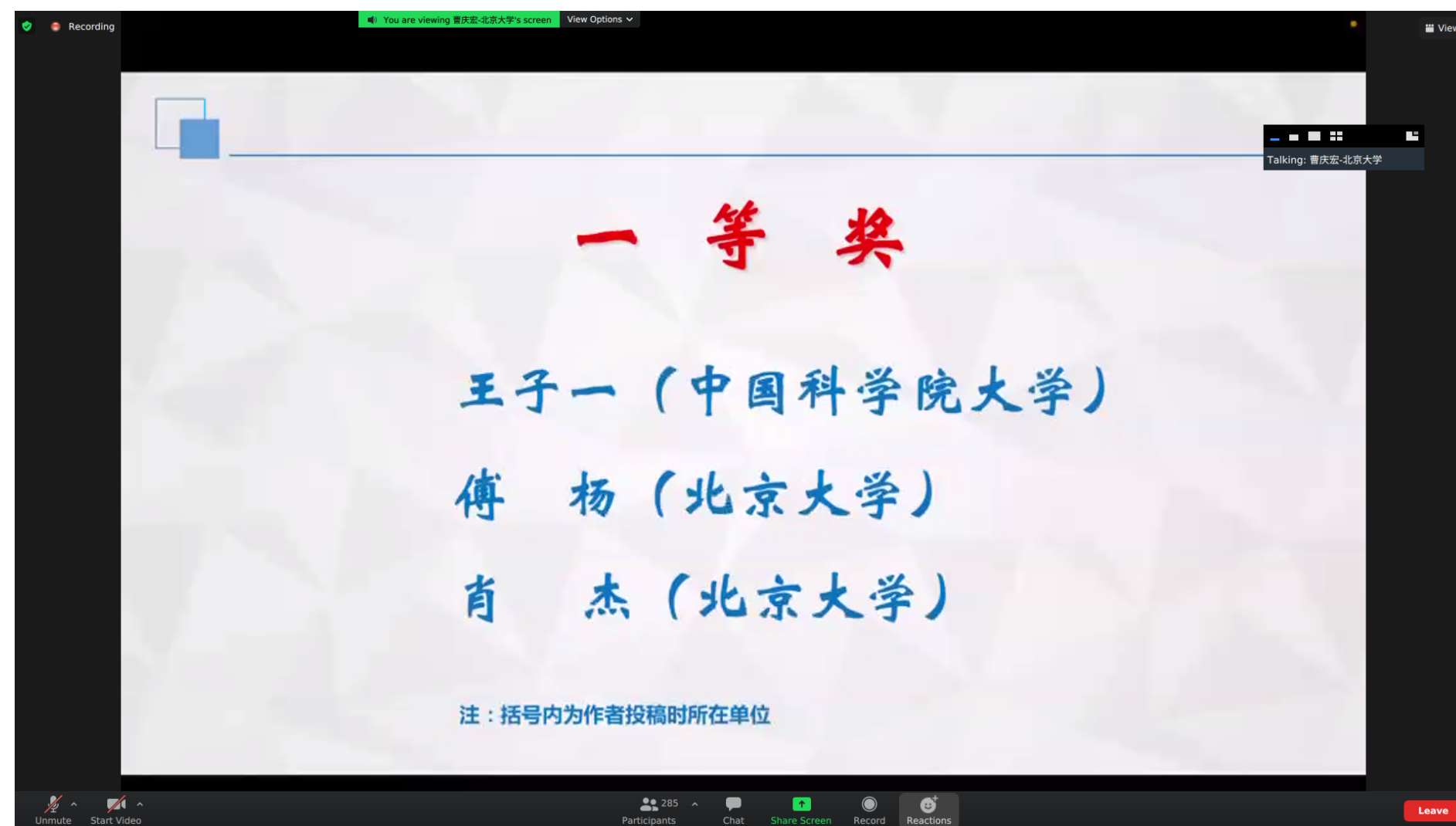
CMS中国组成员担任合作组职务

- Thesis award committee: 鲁楠（科大，22-），周辰（北大，22-）
- Conference Committee: 廖红波（高能所，21-），袁丽（北航，21-）
- Thesis Award Committee: 王群（北大，20-）
- CMS Authorship Committee: 钱思进（北大）
- CB Advisory Committee: 肖朦（浙大，19-21）
- Diversity office: 肖朦（浙大，20-22）

学生获奖情况

北京大学肖杰的论文“通过多玻色子过程检验标准模型及探索超出标准模型的新物理”荣获中国物理学会高能物理分会第十二届“晨光杯”青年优秀论文一等奖

北京大学钱思天获得第23届国际中微子工厂研讨会(NuFact2022)最佳报告奖



总结

50

- 近一年CMS中国组队伍继续壮大
- 在希格斯物理、新物理寻找和标准模型检验三个方面都做出了很有特色的工作
- 硬件升级进展良好，并获得了新的科技部项目支持
- 感谢基金委、科技部和兄弟院校的长期支持！
- 谢谢！