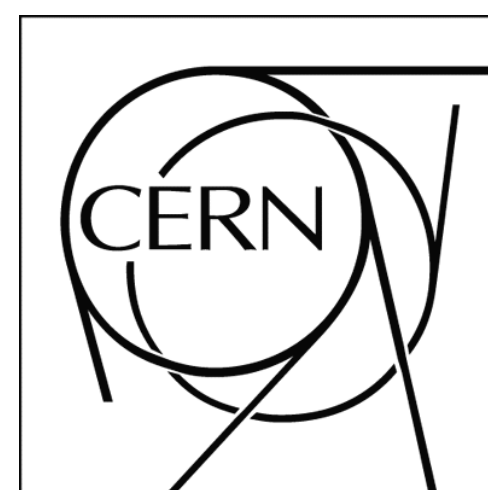


CMS中国组2024年研究进展



胡震
代表CMS中国组



CLHCP2024, 山东大学, 青岛, 2024.11.14

目录

- CMS中国组概况 (3页)
- 物理分析进展 (4-41页)
 - 希格斯 (6-16) 标准模型 (17-26) 新物理 (27-34) B物理 (35-38) 重离子 (39-41)
- 探测器性能、算法 (42-47页)
- 硬件升级 (48-59页)
- 其他 (60-68页)
- 总结 (69页)

CMS中国组概况

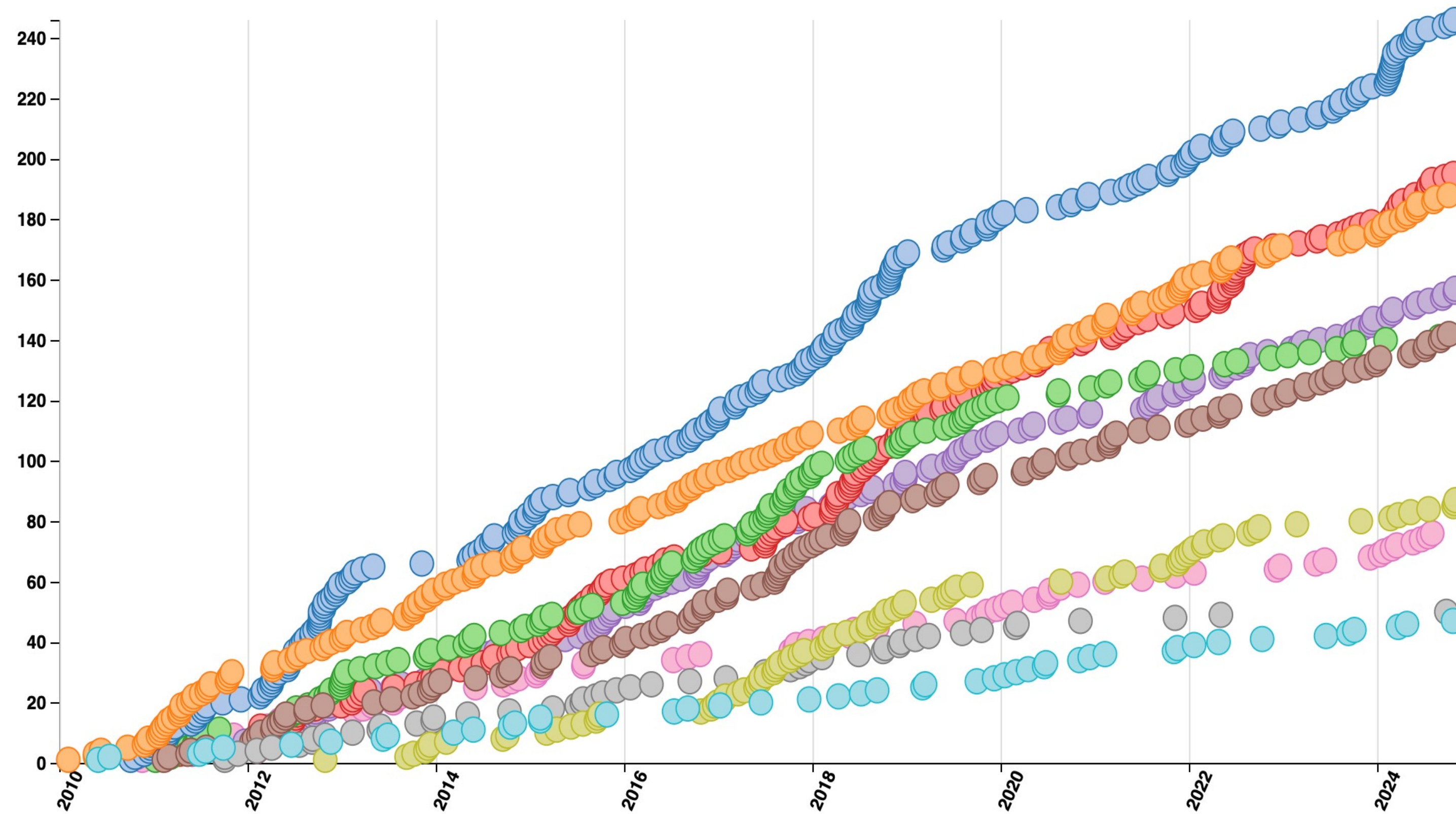
- 11个单位, 约160人队伍
- 现有署名作者52人 (去年41) , 占CMS签名人数~2%

单位	教职工	博士后	研究生	总人数	作者数
高能所	19	6	20	45	16
北大	8	6	30	44	17
北航	2	1	4	7	3
清华	2	0	8	10	3
中山	1	0	3	4	1
浙大	1	0	7	8	3
南师	5	0	12	17	5
复旦	1	0	3	4	1
中科大	2	3	4	9	2
山大	2	0	3	5	0
华南师大	2	1	3	6	1
总计	45	17	97	159	52

CMS合作组物理结果

- Show all
- Total
- Exotica
- Standard Model
- Supersymmetry
- Higgs
- Top
- Heavy Ions
- B and Quarkonia
- Forward and Soft QCD
- Beyond 2 Generations
- Detector Performance

1332 collider data papers submitted as of 2024-11-05



2023.11 ~ 2024.10物理结果

- CMS合作组发表~100篇文章
- 其中，中国组做出主要贡献：~11篇 (~10%)

CMS物理分析的主导角色：通常1~3人

- 分析联络人(Analysis Contact): 1人
- 预审核报告(Pre-approval talk): 1人
- 审核报告(Approval talk): 1人
- 文章编辑(Paper Editor): 1-2人 (以上人选兼任)

CMS中国组物理分析结果

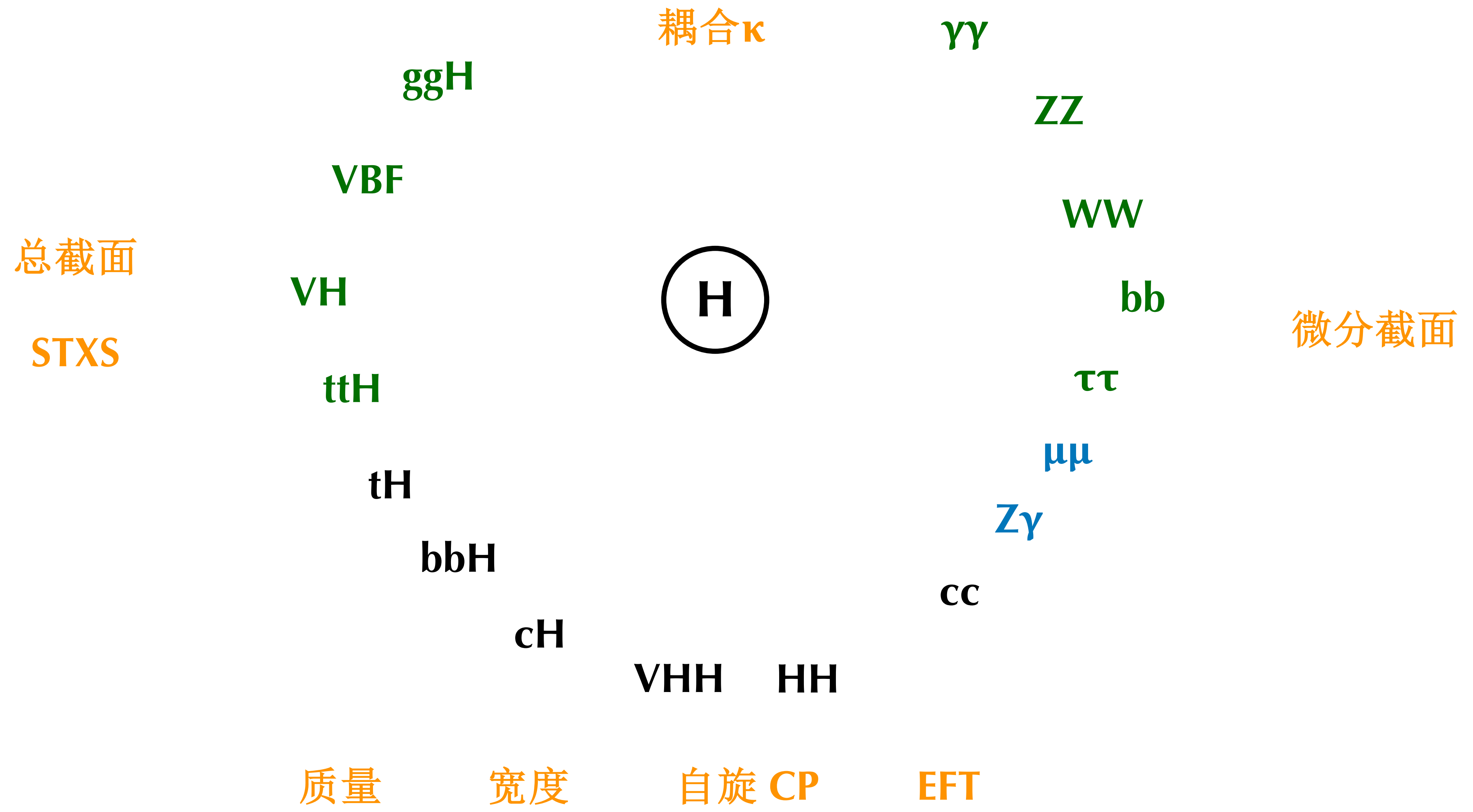
2023.11至今公开的物理结果 (22个)

- 希格斯性质测量: 2篇文章, 2篇arXiv, 2篇PAS
- 标准模型精确测量: 3篇文章, 1篇arXiv, 2篇PAS
- 新物理直接寻找: 5篇文章 (2篇刚accepted), 1篇arXiv
- B物理: 1篇文章, 1篇PAS
- 重离子对撞: 2篇PAS

总计: 11篇文章, 4篇arXiv, 7篇PAS

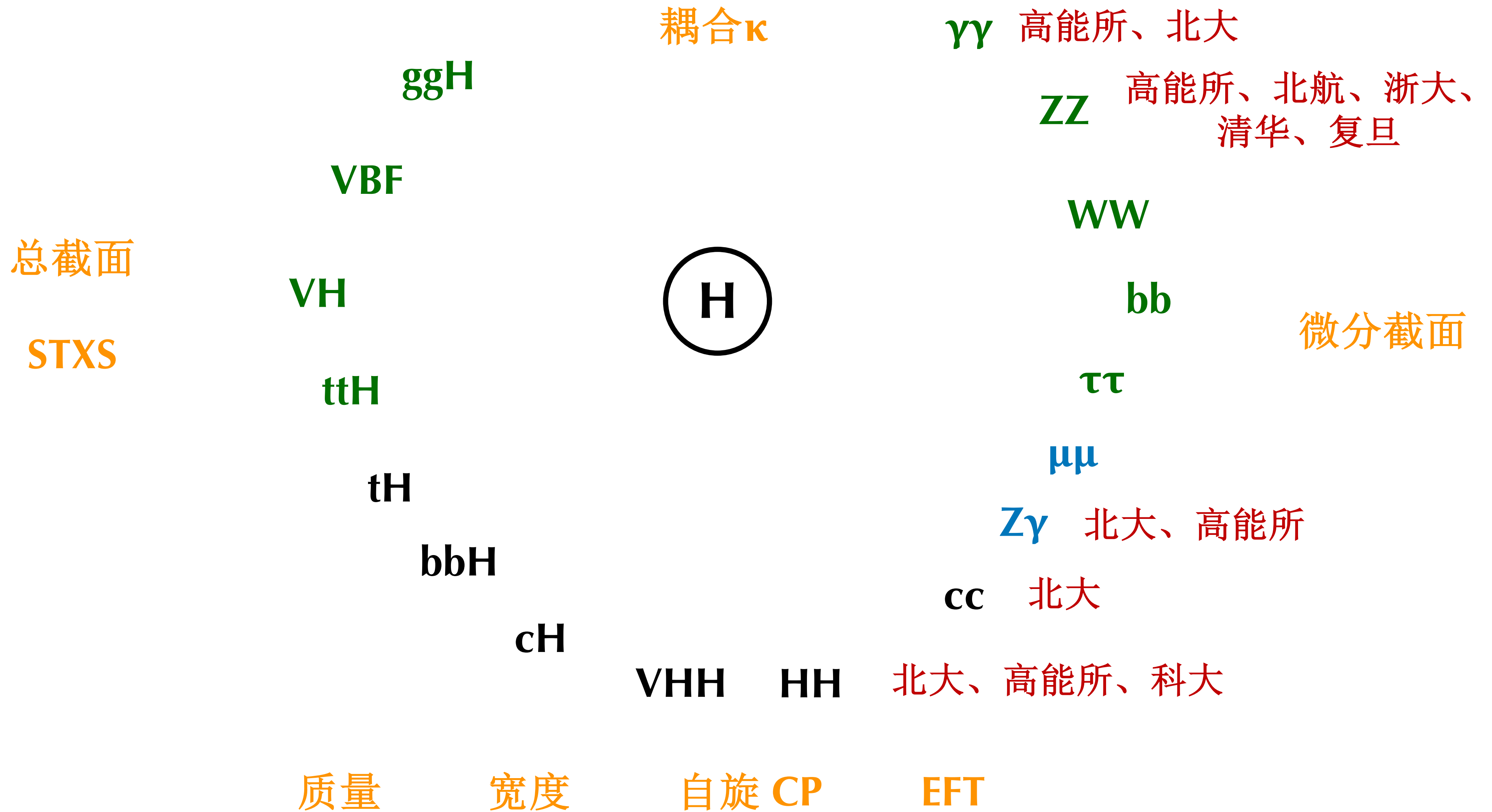
2022.11 ~ 2023.10的公开结果 (16个) : 7篇文章, 5篇arXiv, 4篇PAS

希格斯性质测量



5 σ 确认
3 σ 迹象

希格斯性质测量



5 σ 确认
3 σ 迹象

希格斯性质精确测量: $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$

arXiv:2409.13663
投稿至PRD
详见张辰光报告

高能所、北航、浙大、
清华、复旦

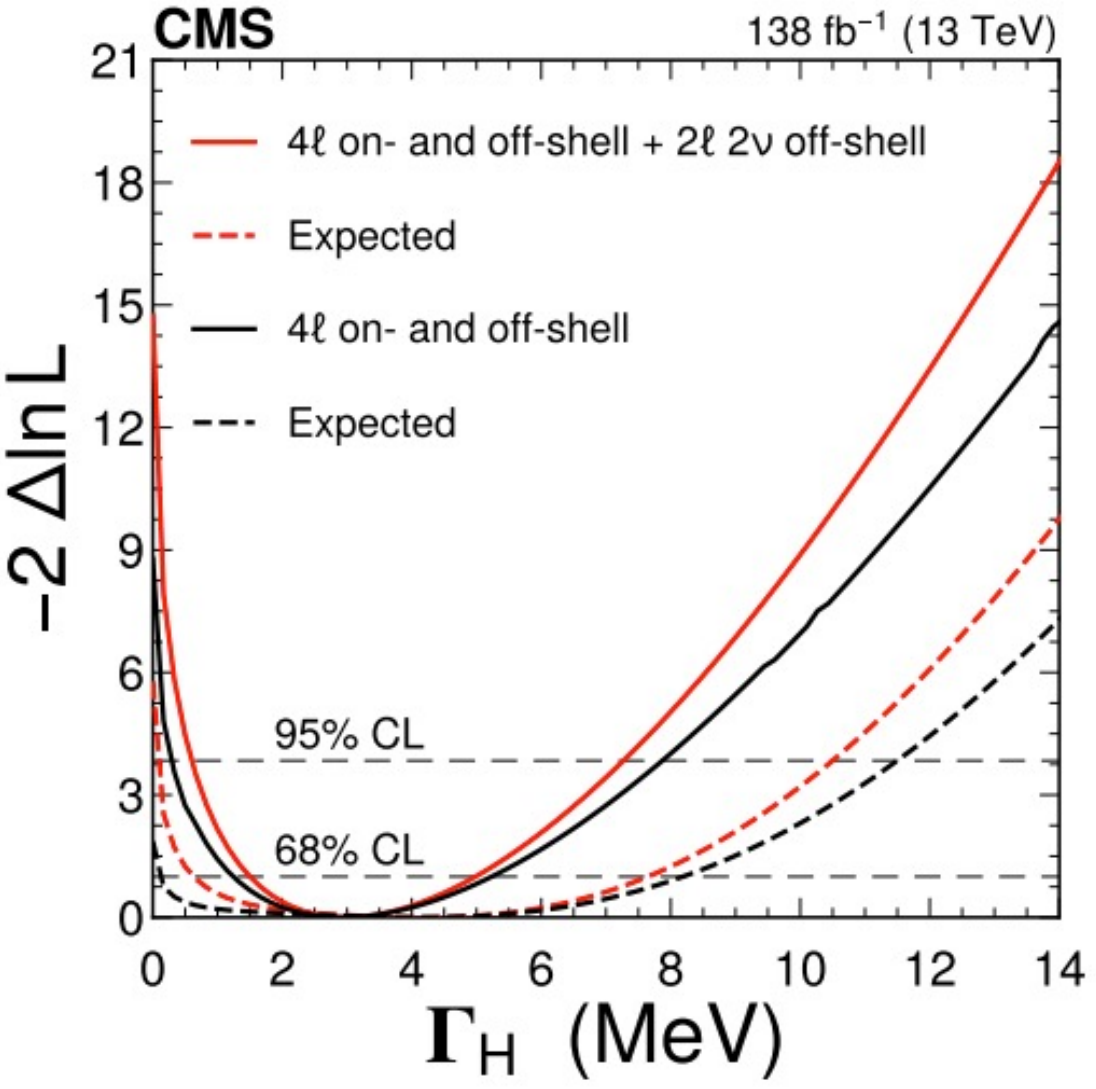
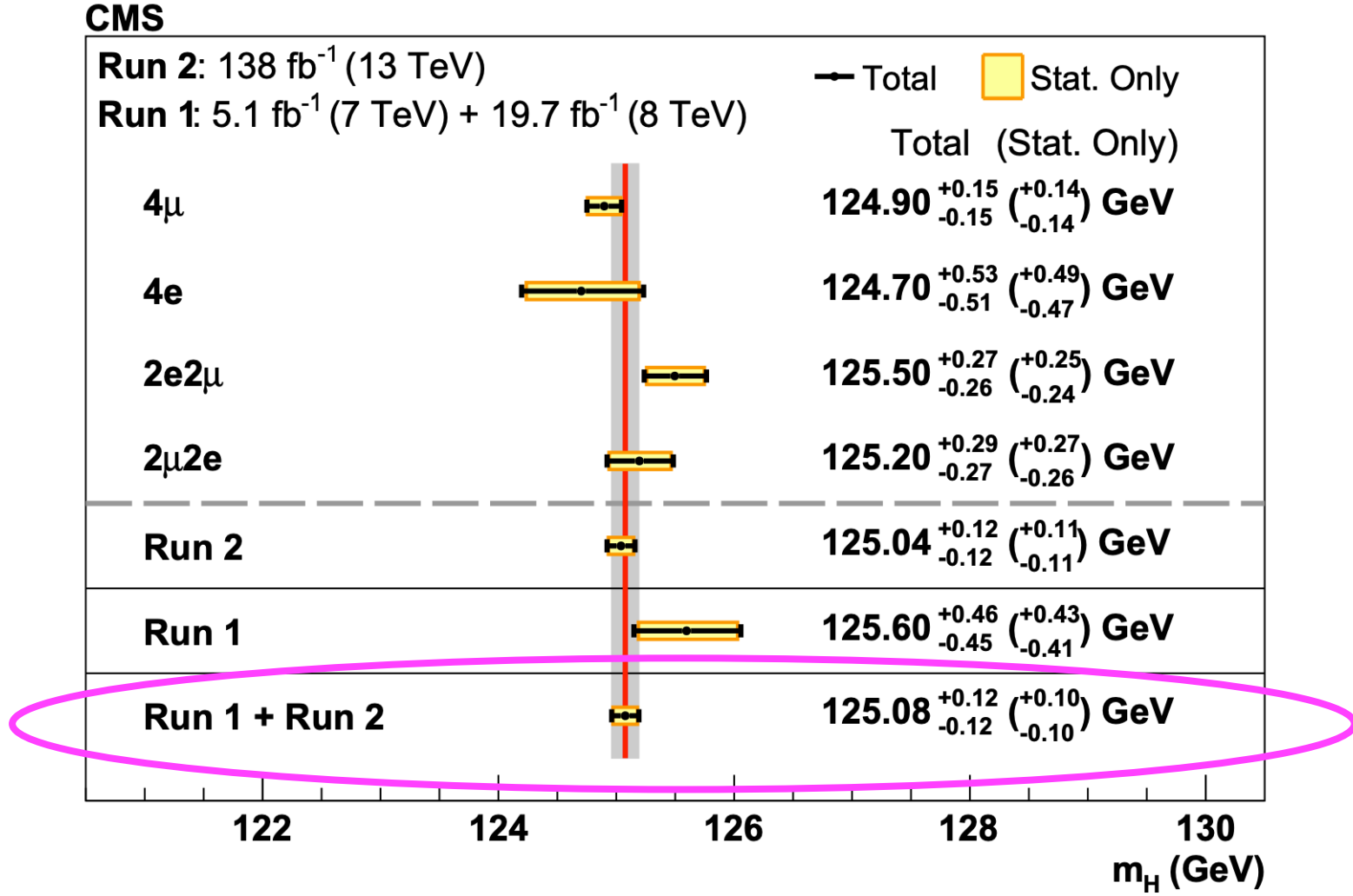
- 基于全部Run-2数据, 取得单个衰变道最精确的 m_H 测量结果

$125.08 \pm 0.10 \text{ stat} \pm 0.05 \text{ syst} \text{ (GeV)}$

- 采取了多种技术改进分辨率, 降低系统误差, 提升分析灵敏度

- Lepton VTXS constrain and Beamspot compatibility
- Categorize events based on $\delta m_{4l}/m_{4l}$
- Improve estimates on lepton uncertainties using on-shell Z

- 高能所博士生张辰光做预审核报告、揭盲报告
- 统计误差仍占主导



希格斯性质精确测量: $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$

arXiv:2409.13663
投稿至PRD

详见张辰光报告

高能所、北航、浙大、
清华、复旦

- 基于全部Run-2数据, 取得单个衰变道最精确的 m_H 测量结果

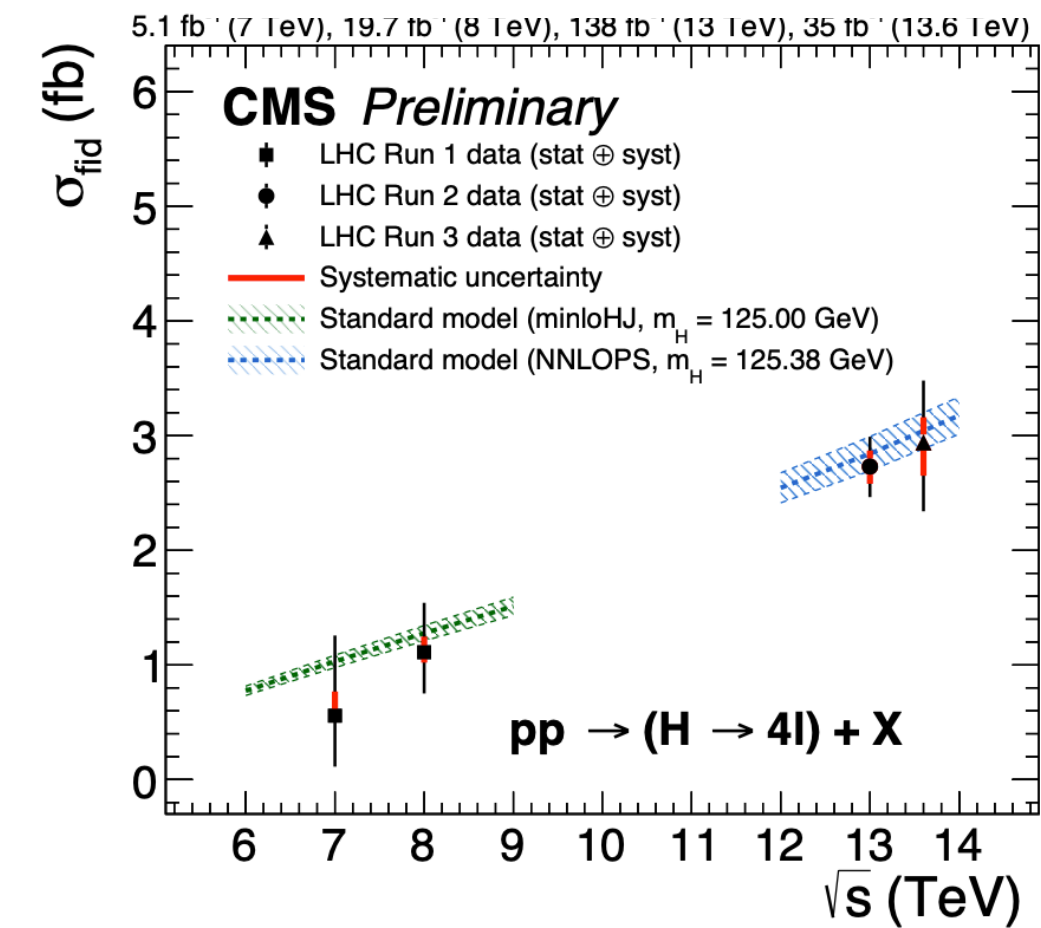
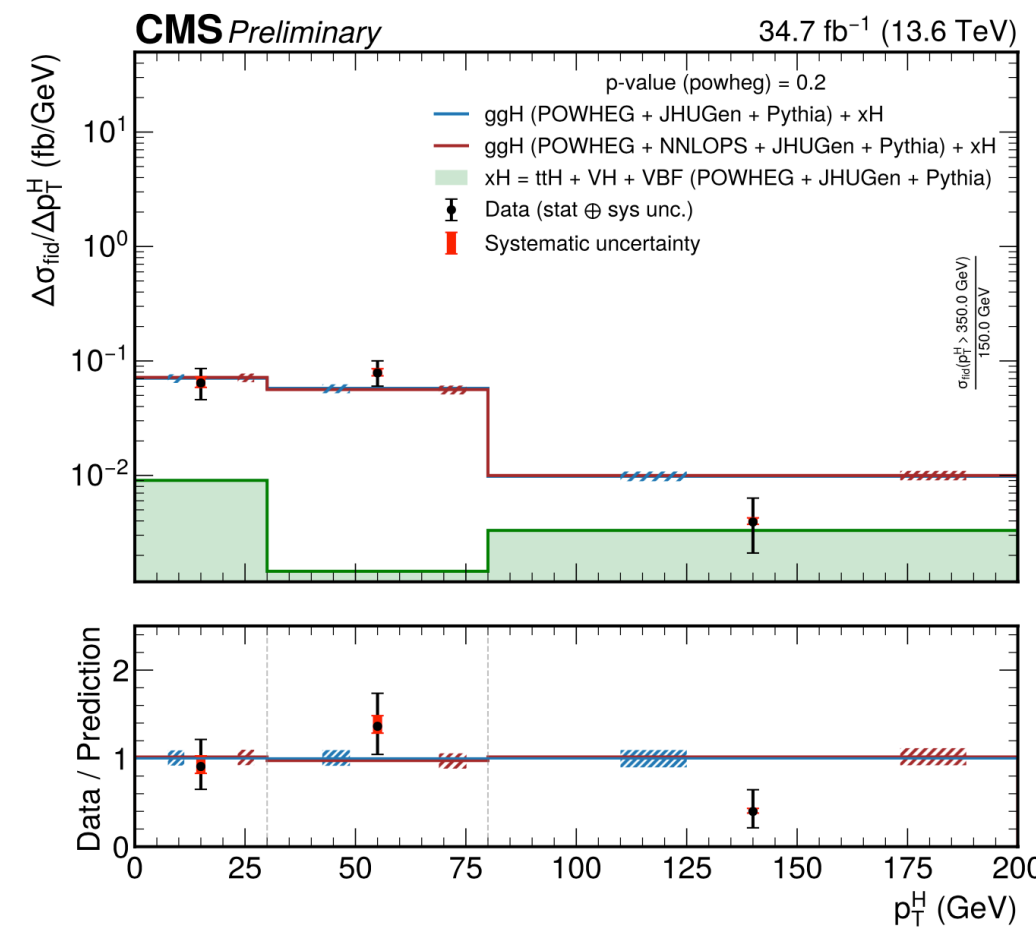
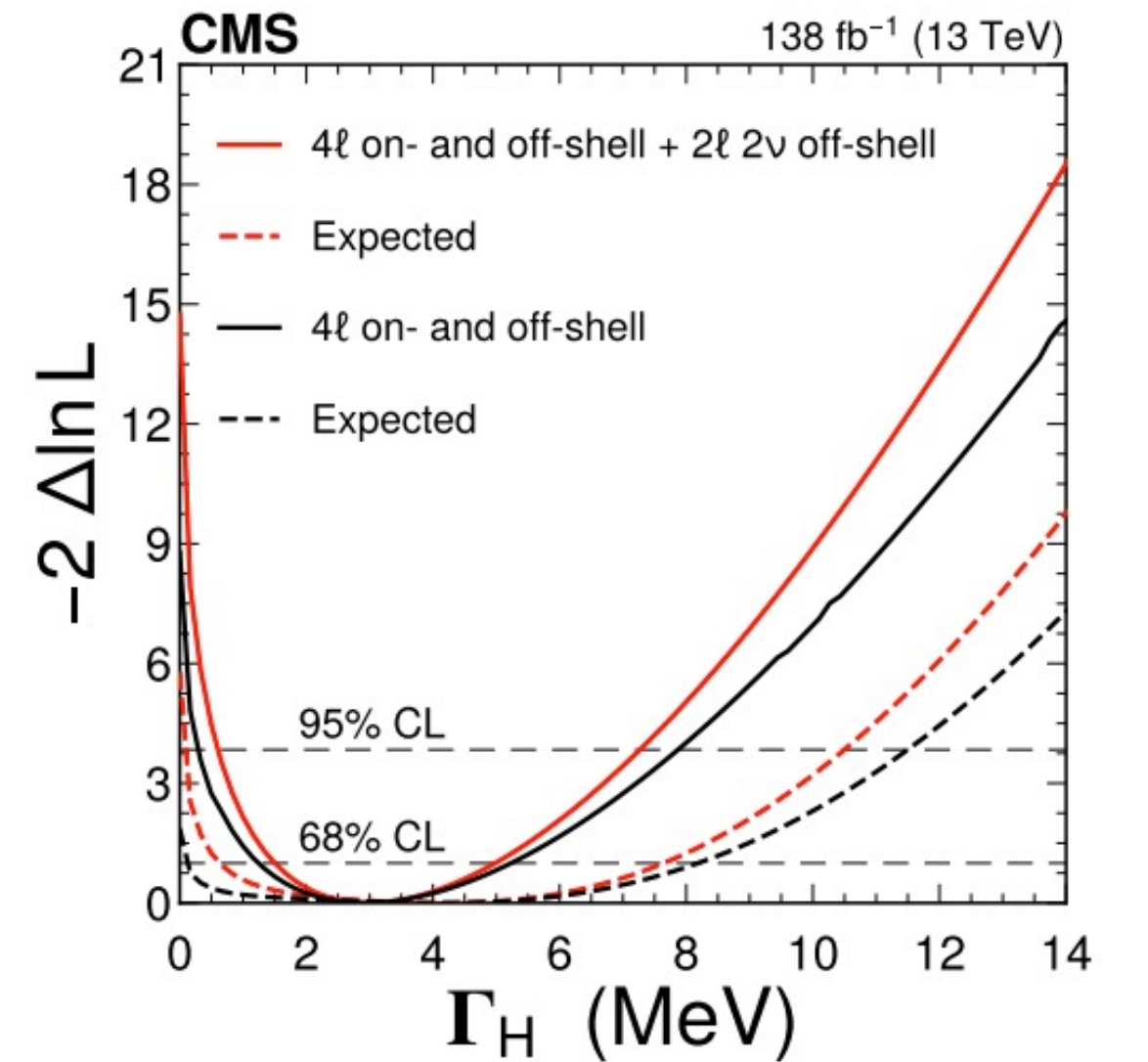
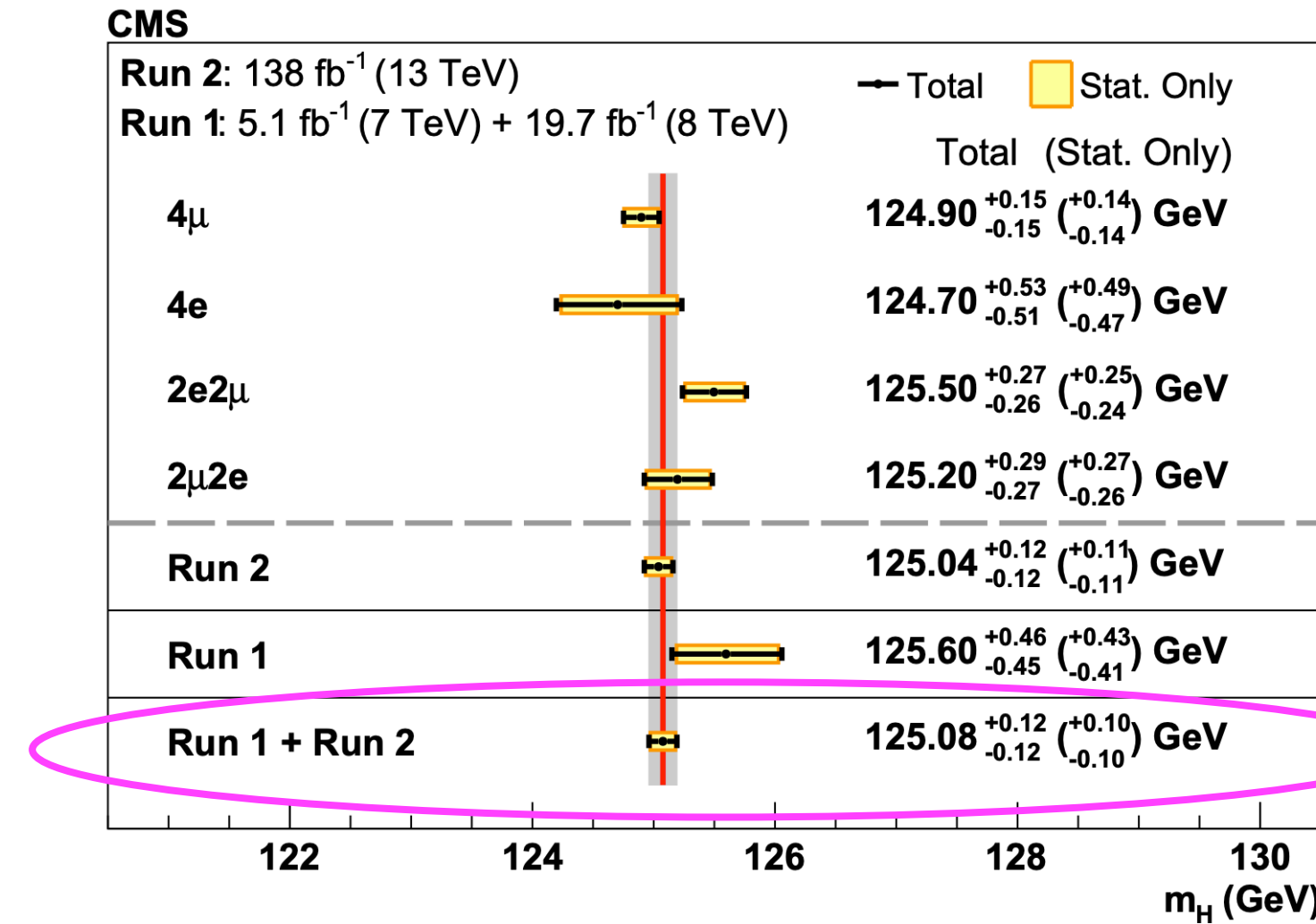
$125.08 \pm 0.10 \text{ stat} \pm 0.05 \text{ syst (GeV)}$

- 采取了多种技术改进分辨率, 降低系统误差, 提升分析灵敏度

- Lepton VTXS constrain and Beamspot compatibility
- Categorize events based on $\delta m_{4l}/m_{4l}$
- Improve estimates on lepton uncertainties using on-shell Z

- 高能所博士生张辰光做预审核报告、揭盲报告

- 统计误差仍占主导



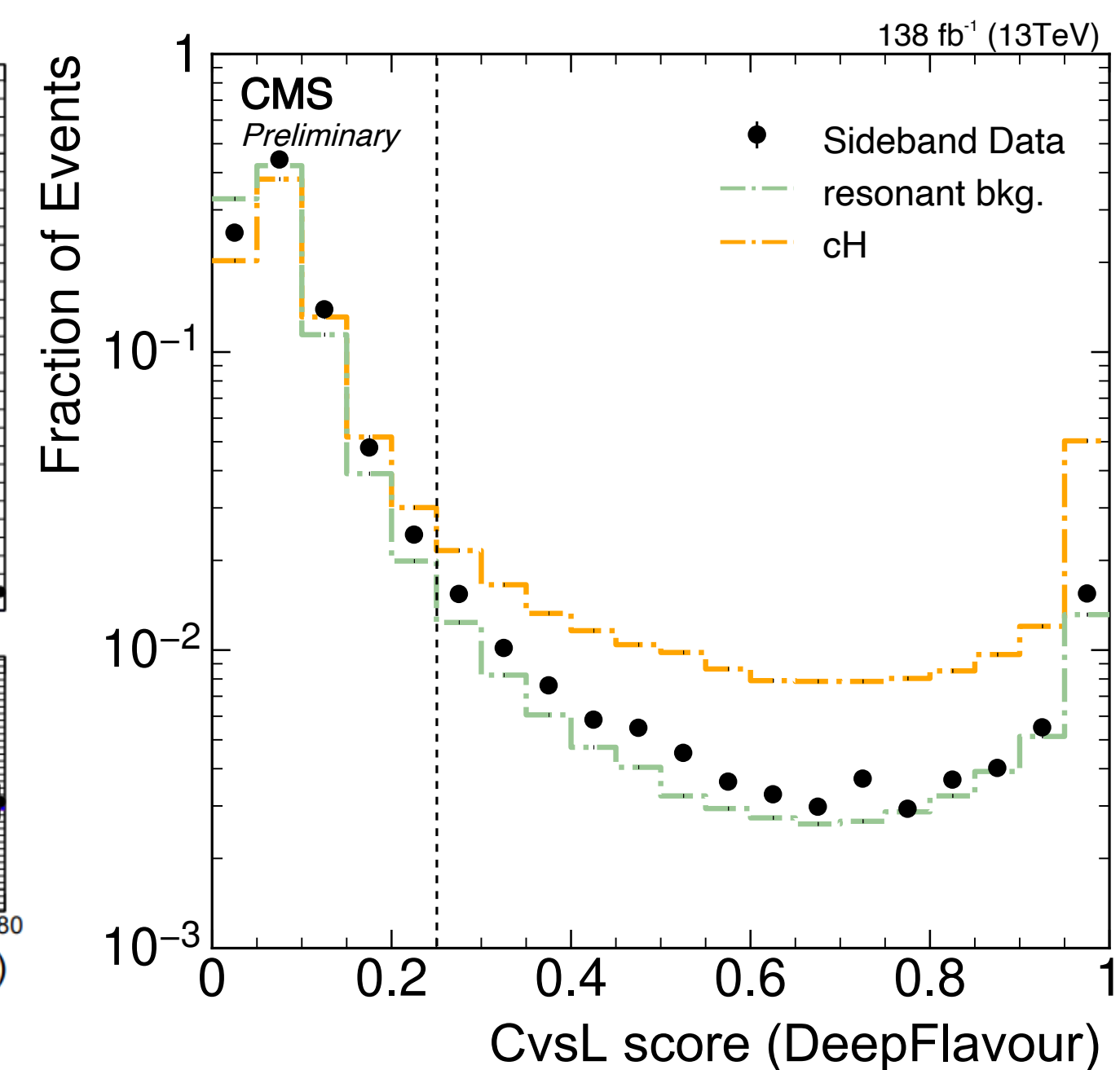
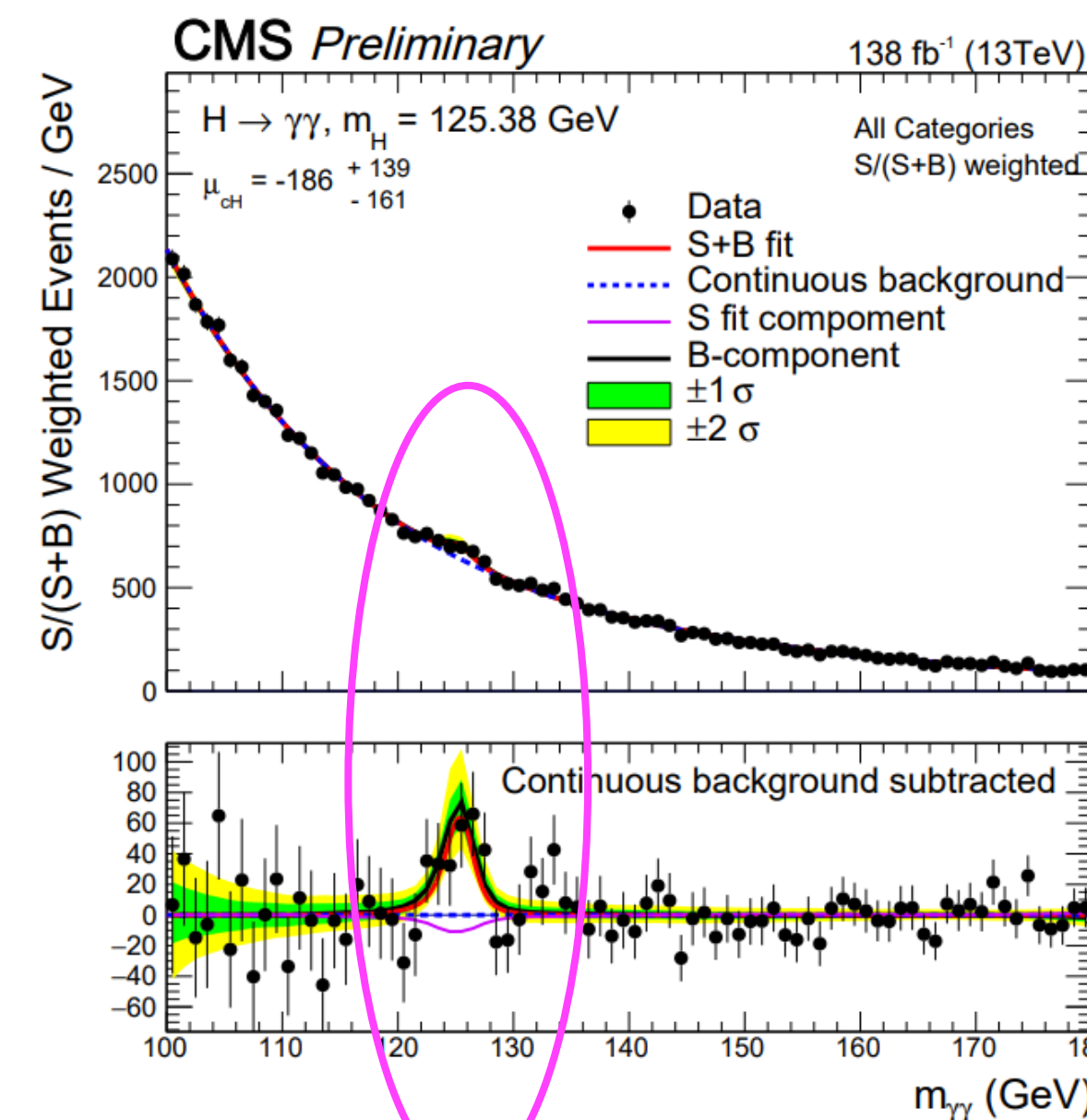
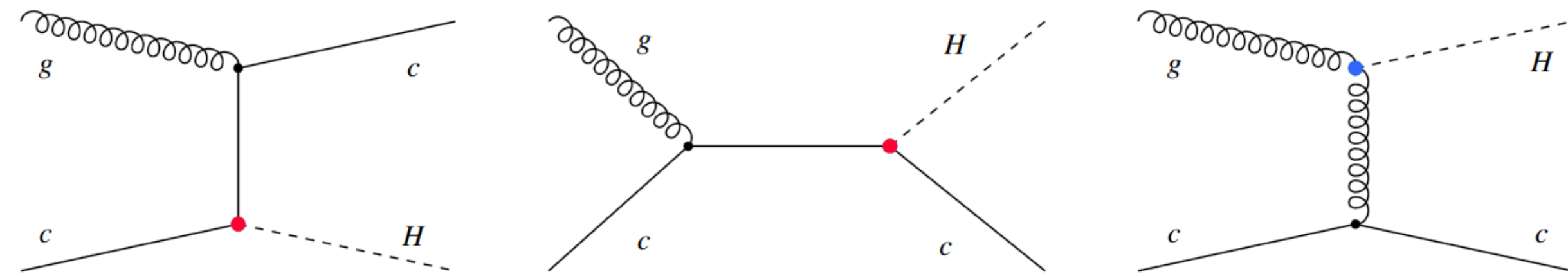
First Run3 Higgs cross section measurements @ CMS
CMS-PAS-HIG-24-013
详见李玉己报告

Run2 cH, $H \rightarrow \gamma\gamma$ 测量

- H与粲夸克联合产生的**首次寻找**
 - 测量H与第二代费米子相互作用的一种**新途径**
- 结果在ICHEP2024上公开 (PAS)
 - H与c联合产生过程的观测信号强度上限为标准模型预言的**243倍**
- **北大、高能所作出重要贡献**
 - **北大周辰担任该分析联络人**，博士生张轩豪做**预审核报告**，被CMS实验的物理简报采访 (<https://cms.cern/news/using-charm-study-higgs-boson>)
 - **高能所做出重要的技术性贡献**：MC样本产生 (MC contact)、光子模拟的修正、光子能量刻度和鉴别、电子的排除等，是 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 分析 common ingredients 的 CMS 内部文章 (AN-2021/025) 的**主编辑**

CMS-PAS-HIG-23-010

北大、高能所



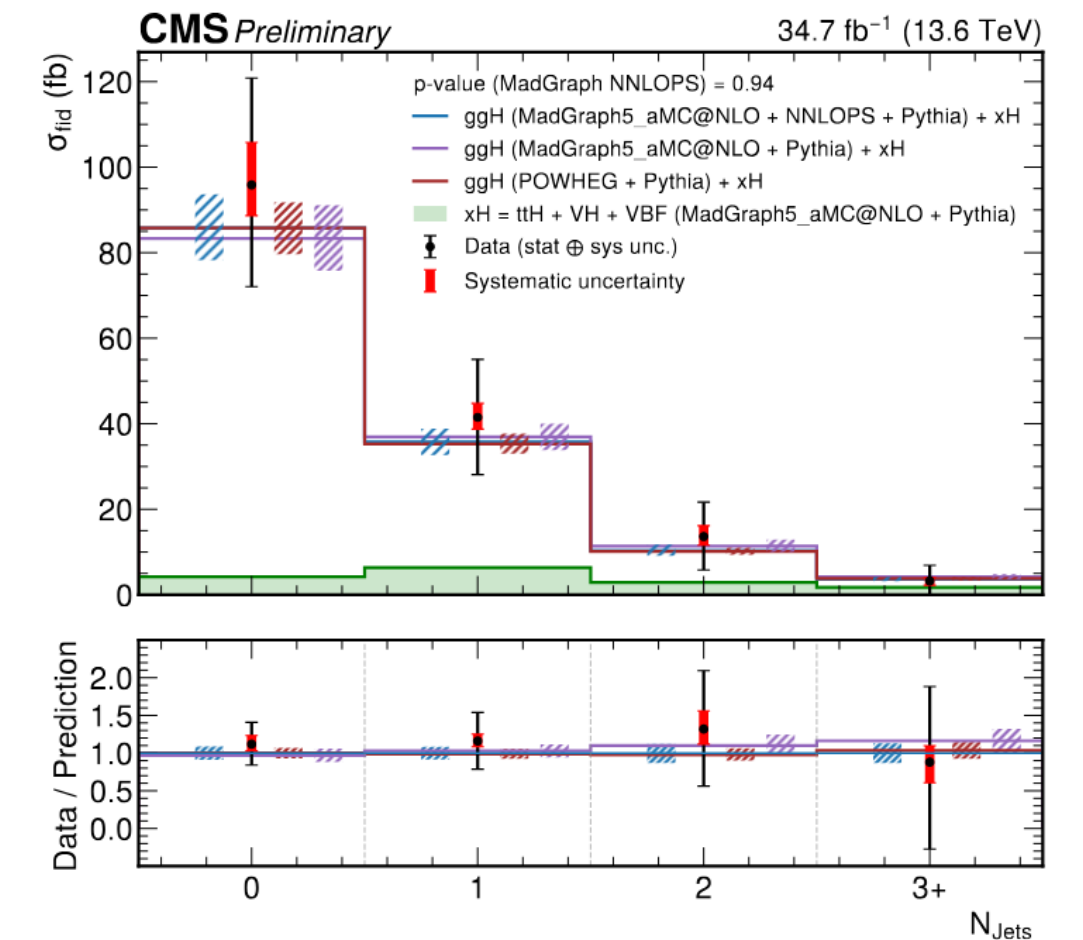
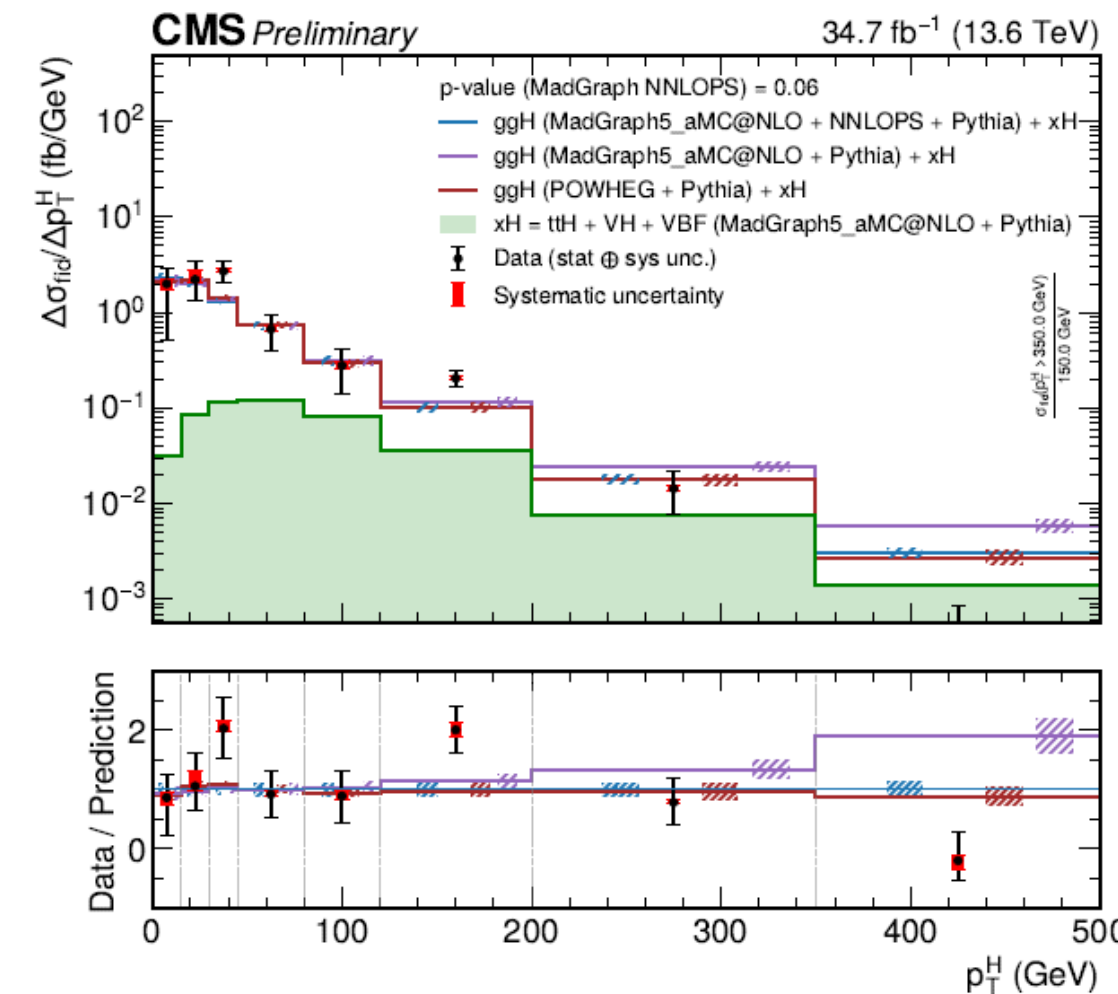
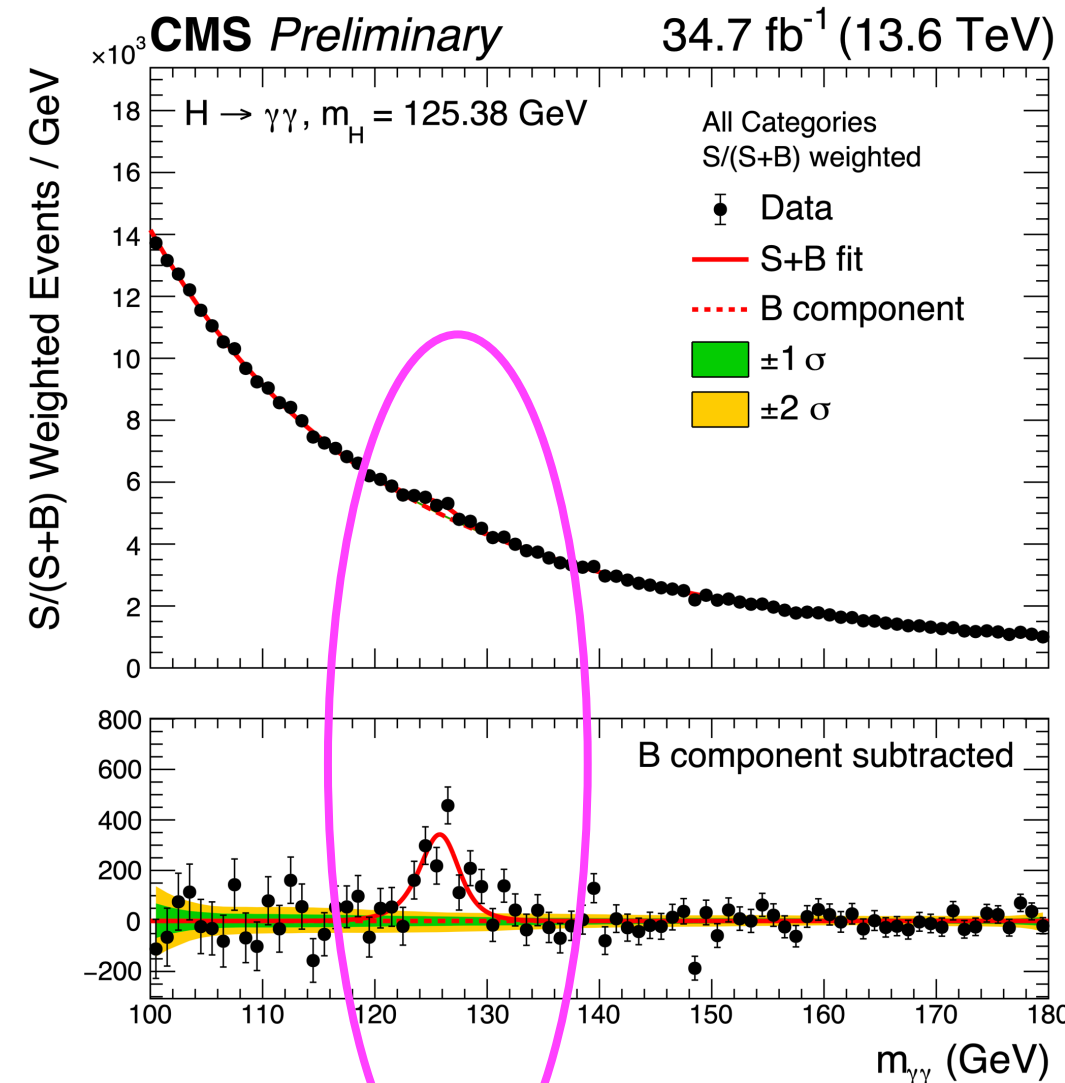
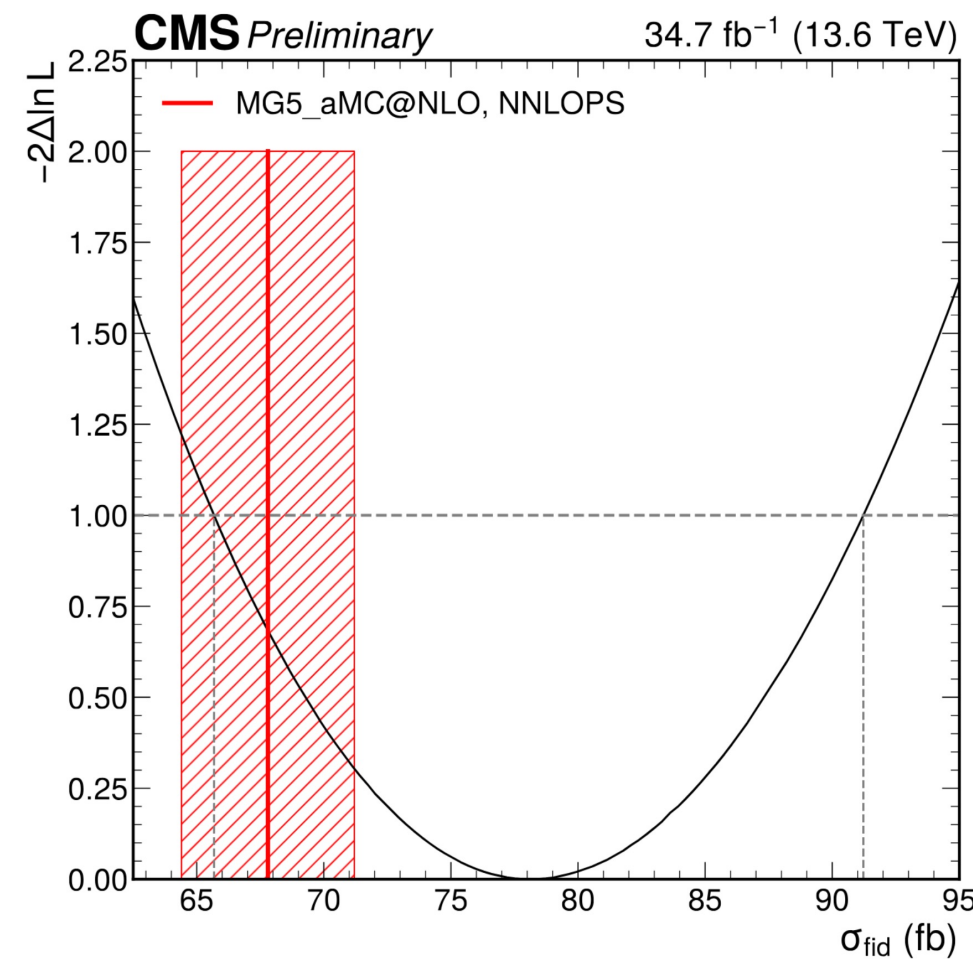
Run3 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 截面测量

CMS-PAS-HIG-23-014

北大、高能所

详见潘程扬报告

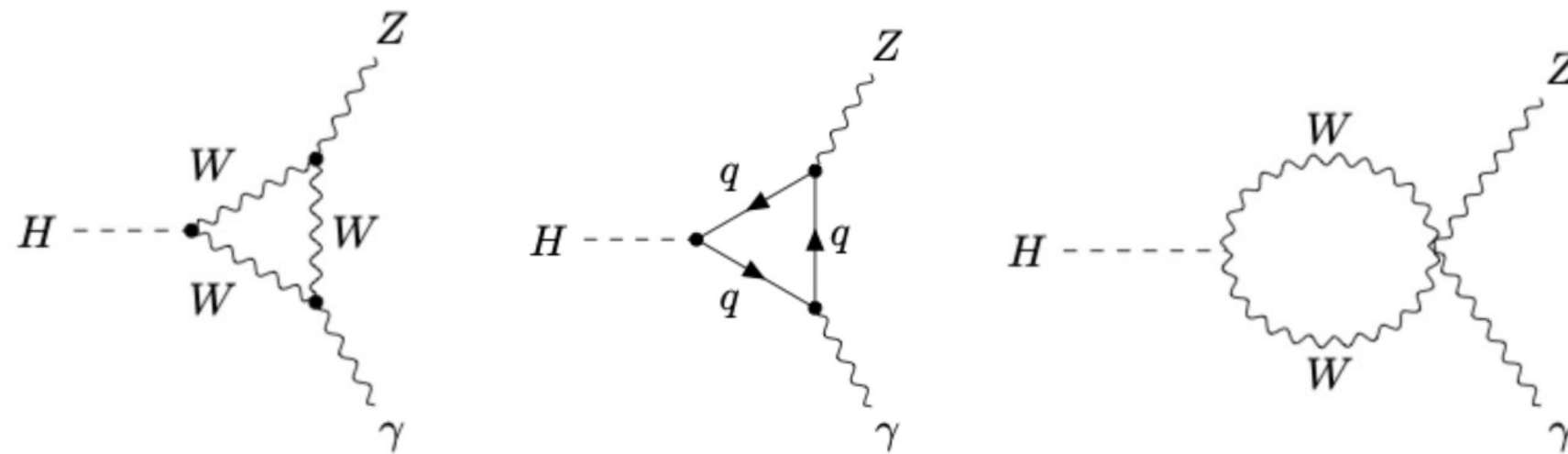
- 使用2022数据开展CMS第一个Run3 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 物理分析
 - 基准截面和微分基准截面的测量结果与理论预言相吻合
 - 可检验电弱对称性破缺机制，并为无法直接探测的新粒子提供线索
- ICHEP2024上公开 (PAS)
 - 北大博士生潘程扬贡献于该分析的事例选择和统计拟合等，并被CMS实验的物理简报采访 (<https://cms.cern/news/counting-higgs-bosons-136-tev>)
 - 高能所成员团队做出重要的技术性贡献：在MC样本产生 (MC contact、光子模拟的修正、光子能量刻度和鉴别、电子的排除等做出直接重要贡献，是CMS内部文章的编辑人之一



稀有衰变 $H \rightarrow Z\gamma$ ：联合ATLAS、CMS取得首个实验证据

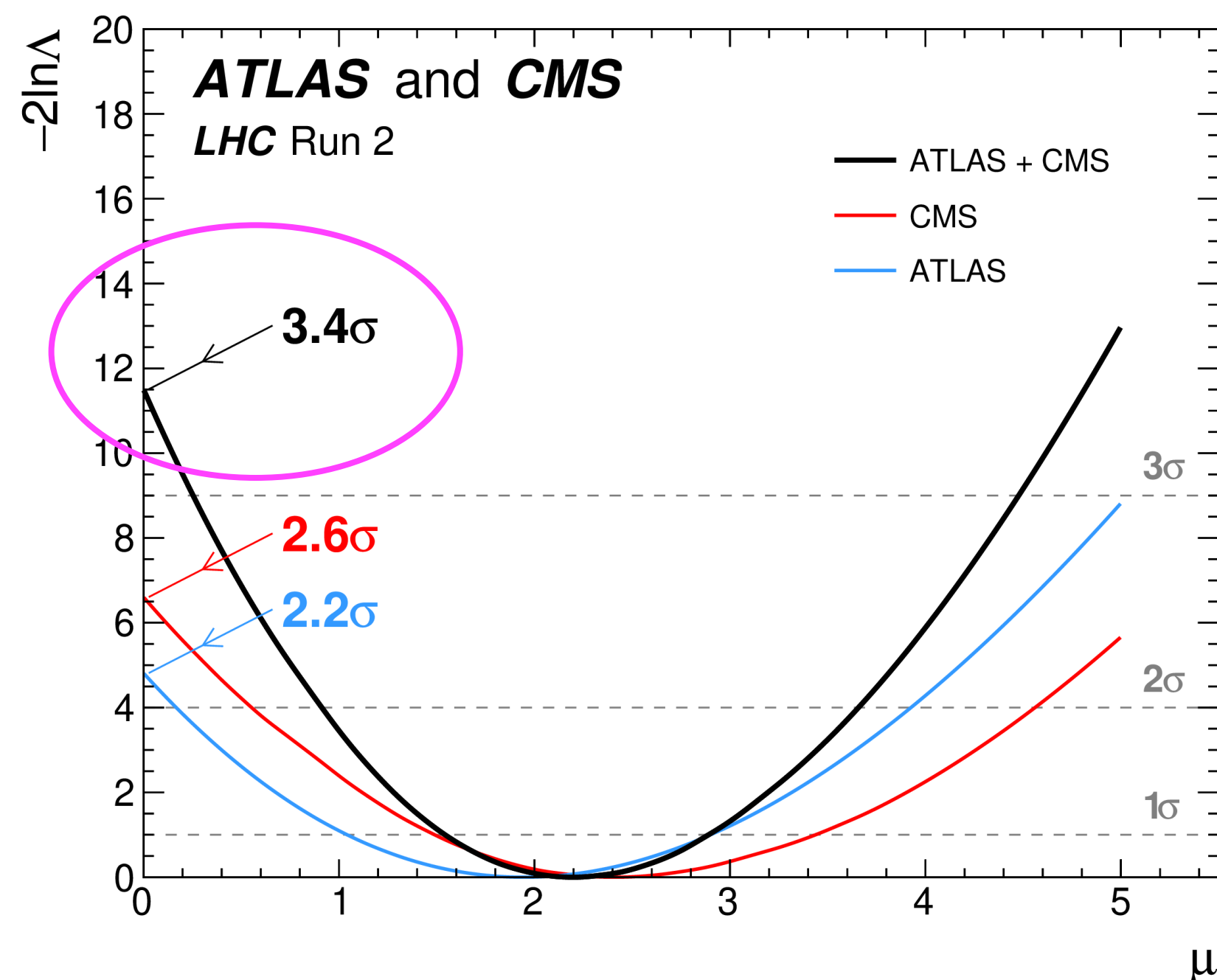
PhysRevLett.132.021803
编辑推荐

北大、高能所



- 联合观测(预期)信号显著性: 3.4σ (1.6σ)
- 观测信号强度: 2.2 ± 0.7

- 希格斯玻色子到 $Z+\gamma$ 的衰变：
 - 量子圈中可能存在新粒子，有望提供新物理的线索
 - 相关理论文章：Qing-Hong Cao et al. *Phys. Lett. B* 789 (2019) 233 等



- 基础科学中心高能所(ATLAS和CMS)、北大、南大团队在Run2首个ATLAS和CMS的希格斯联合分析中做出主要贡献，为下一步更全面的LHC希格斯自相互作用的联合测量奠定了基础
 - 在CMS合作组，北大博士生张铭滔做预审核报告，周辰做审核报告

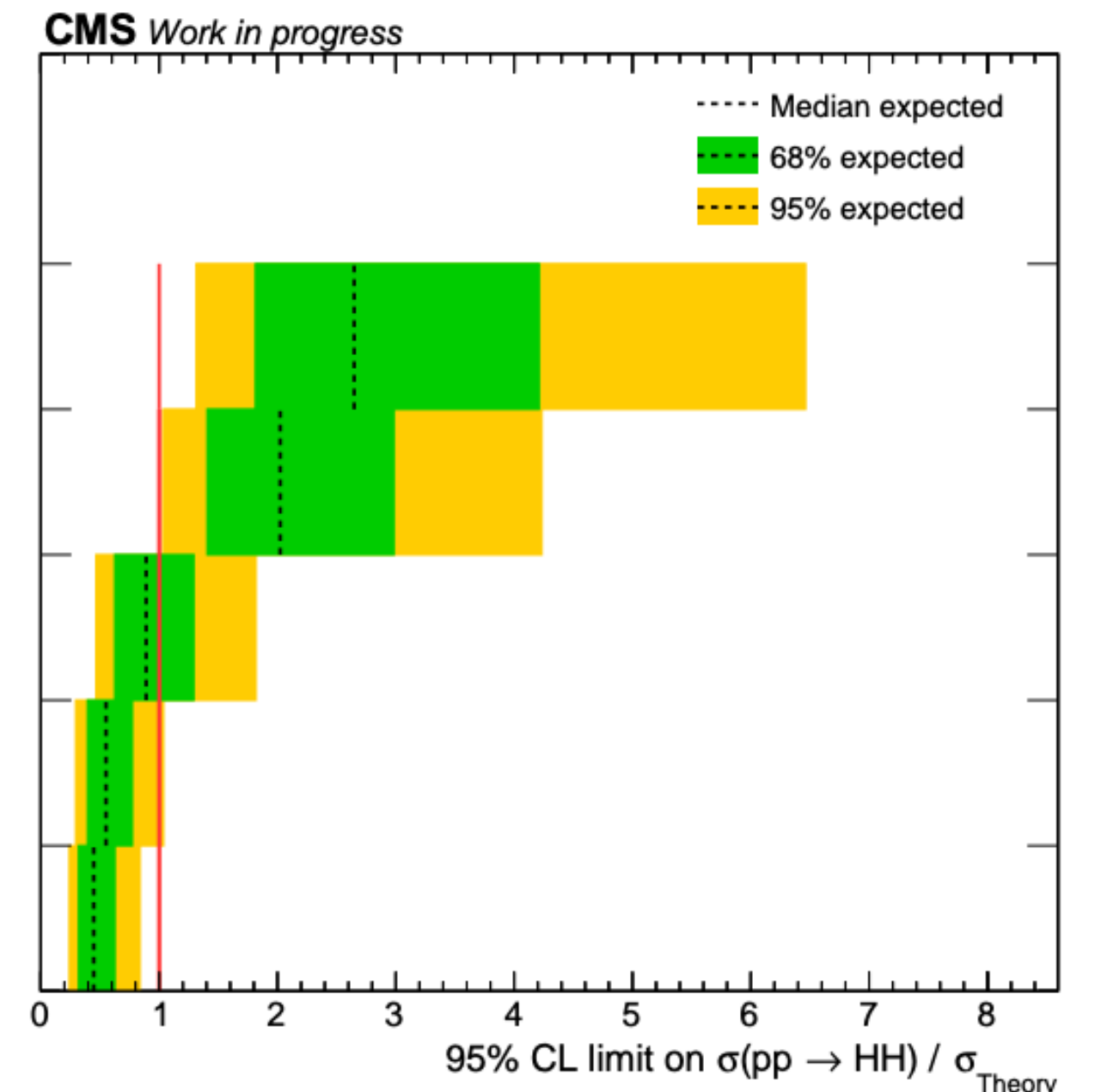
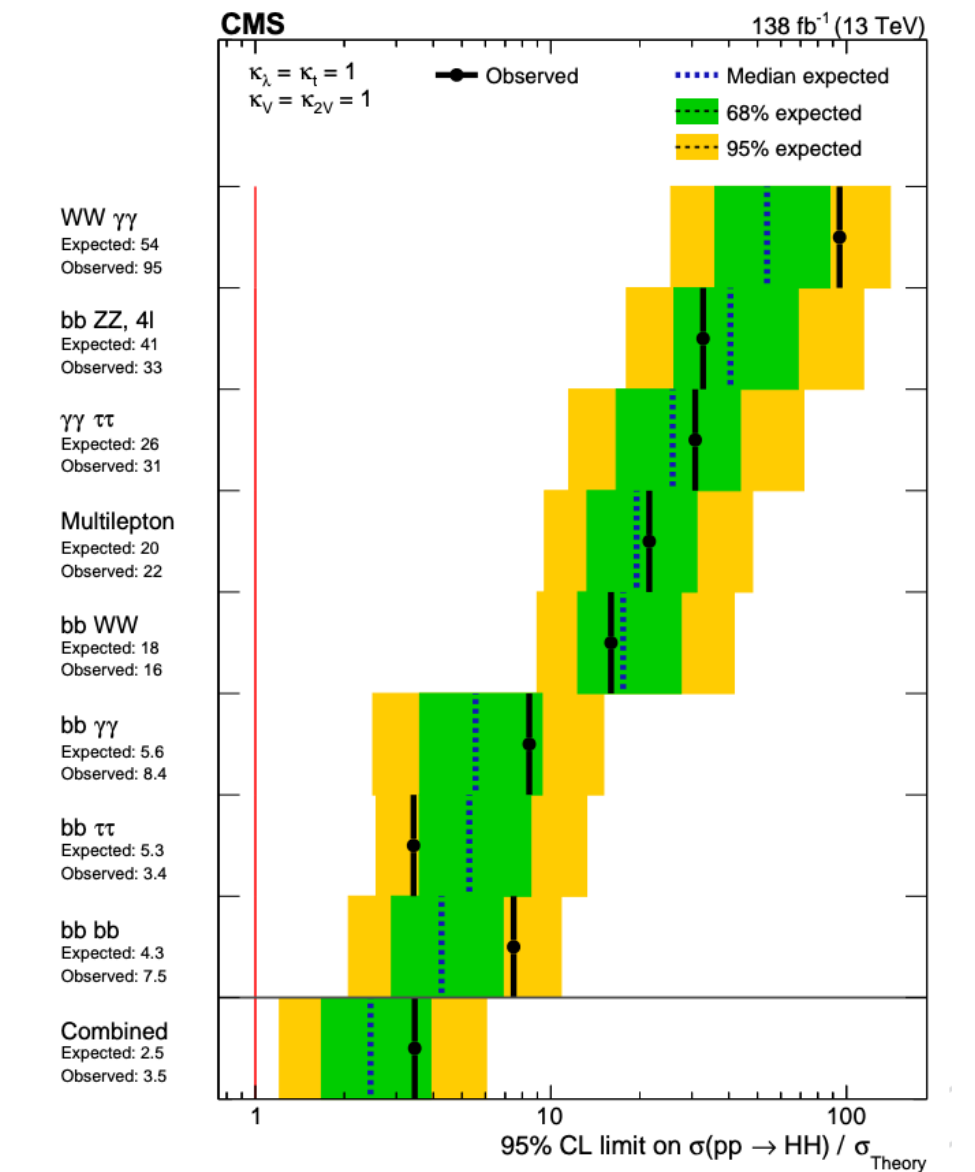
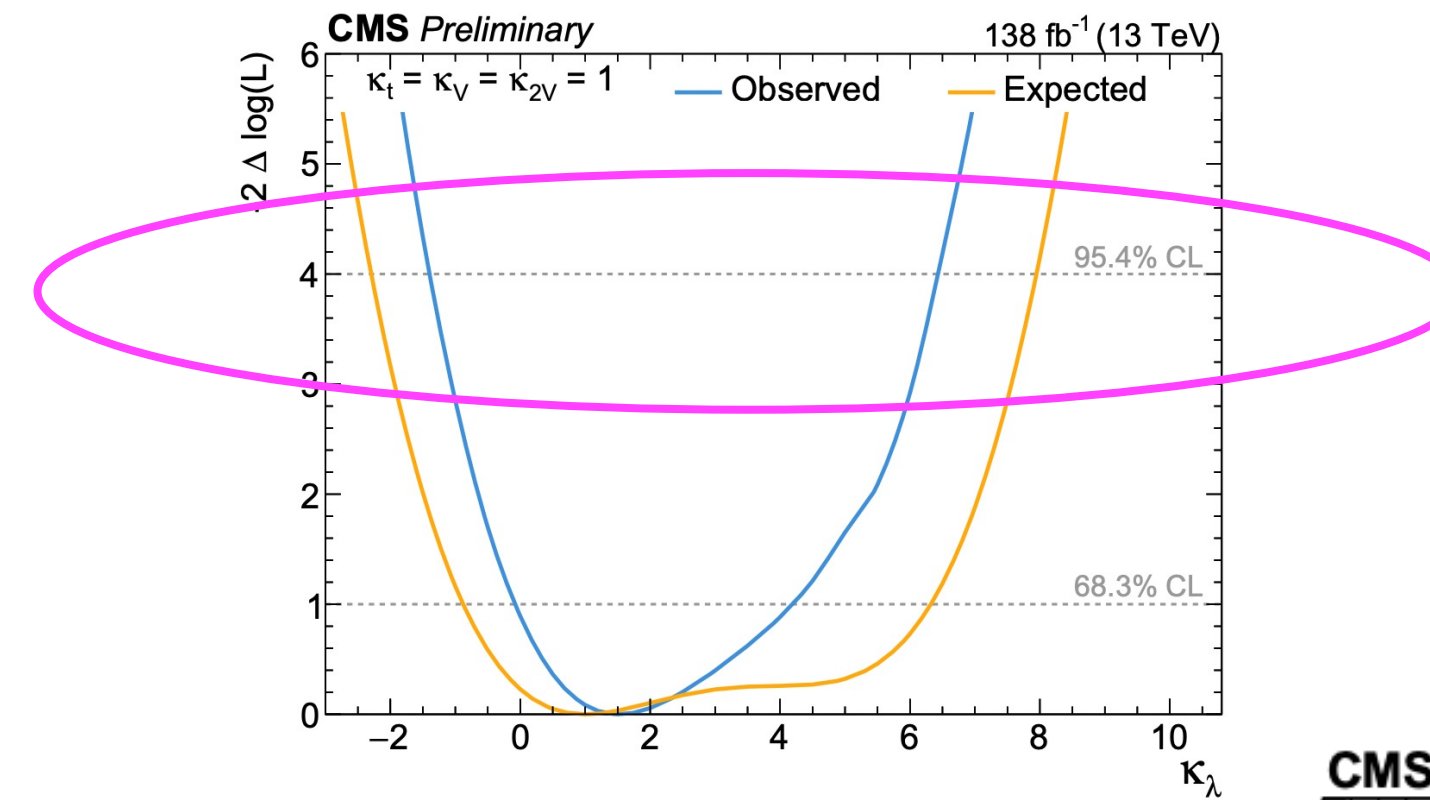
非共振态双希格斯联合测量

CMS-PAS-HIG-20-011

高能所、北大、科大

详见周辰报告

- 希格斯玻色子的自耦合是标准模型最重要问题之一
 - 希格斯势能, 真空稳定性, 早期宇宙演化
- 联合测量CMS上的8个ggHH分析和5个qqHH分析
 - Higgs2024会议公开结果
 - CMS实验最精确的ggHH和qqHH截面测量结果
 - ggHH截面上限: 3.5 (2.5) 倍的标准模型预言
 - qqHH截面上限: 79 (91) 倍的标准模型预言
 - CMS实验最精确的自耦合参数限制度
 - Observed: -1.39 to 7.02 (expected -1.02 to 7.19)
 - 最新的高亮度LHC的投影结果
 - 预期可以得到双希格斯产生的证据
- 北大博士后Alexandra Carvalho预审核报告, 代表CMS合作组做CERN Seminar; 高能所、北大完成最主要结果及统计工具开发; 科大参与联合测量结果, boosted 4b道主要贡献; 鲁楠、王锦为CMS双希格斯组召集人



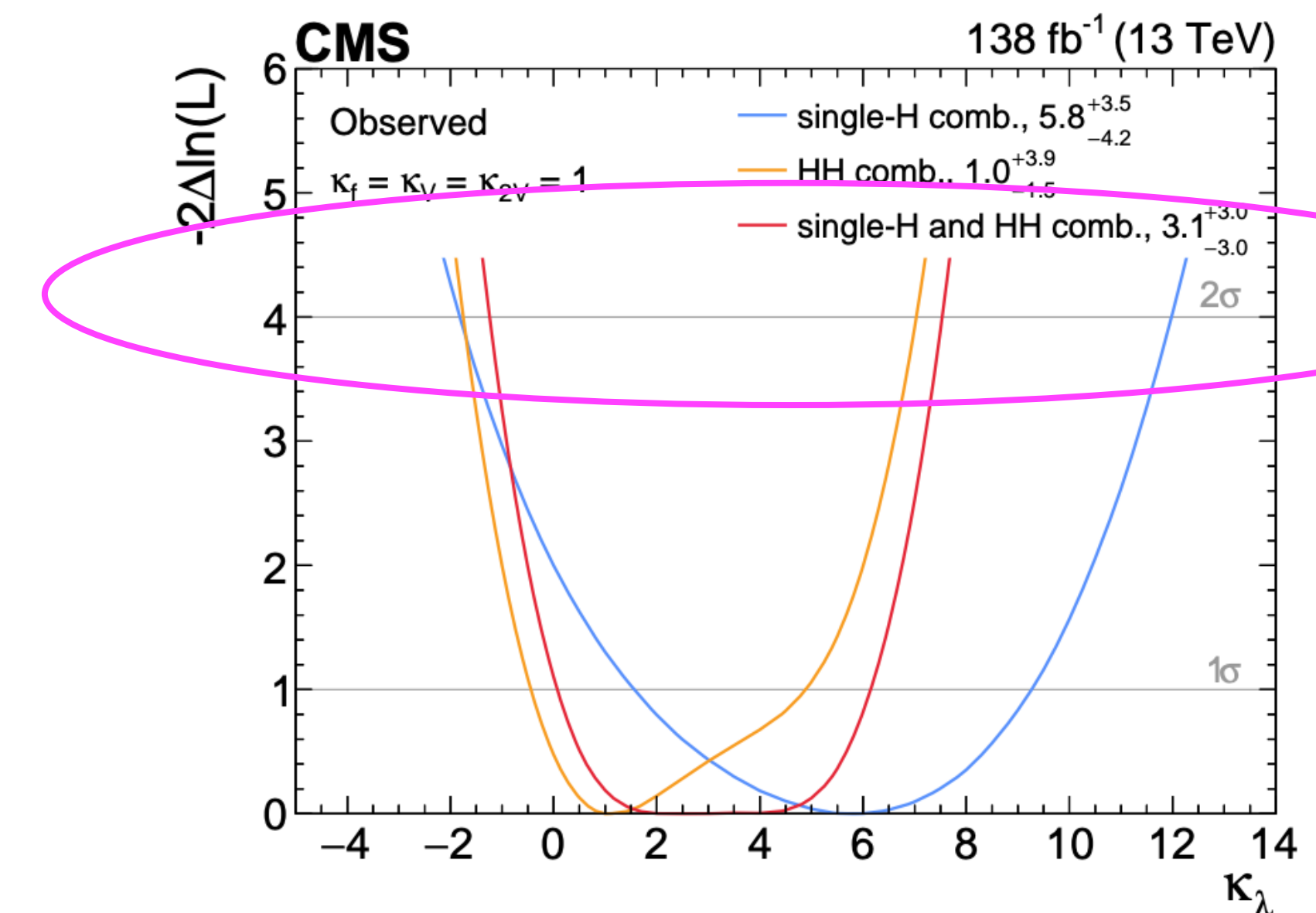
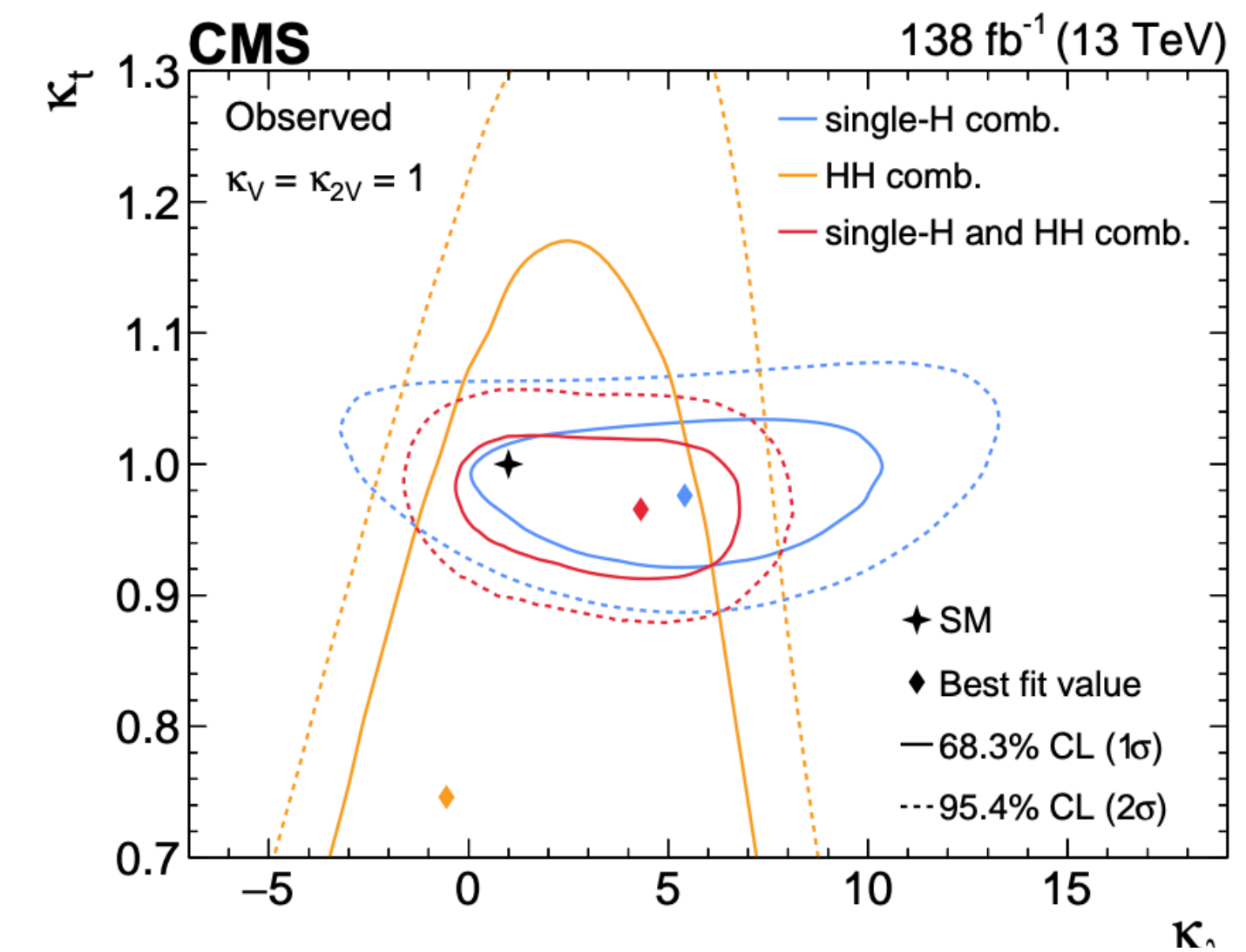
双希格斯和单希格斯联合测量

arxiv:2407.13554
投稿至PLB

高能所、北大

- 联合测量对希格斯自耦合给出精确的限制范围
 - 双希格斯过程对自耦合给出严格限制
 - 单希格斯过程约束费米子和矢量玻色子耦合,并可补充自耦合的测量
 - 联合测量可以减少模型依赖,提高自耦合测量的灵敏度
 - 在95%置信水平下的希格斯自耦合限制范围:
 $-1.2 < \kappa\lambda < 7.5$ ($-2.0 < \kappa\lambda < 7.7$)

- 高能所博士后Fabio Monti在站期间完成主要工作,担任分析联络人、博士生郭佳林做揭盲报告
- 北大博士后Alexandra Carvalho做审核报告



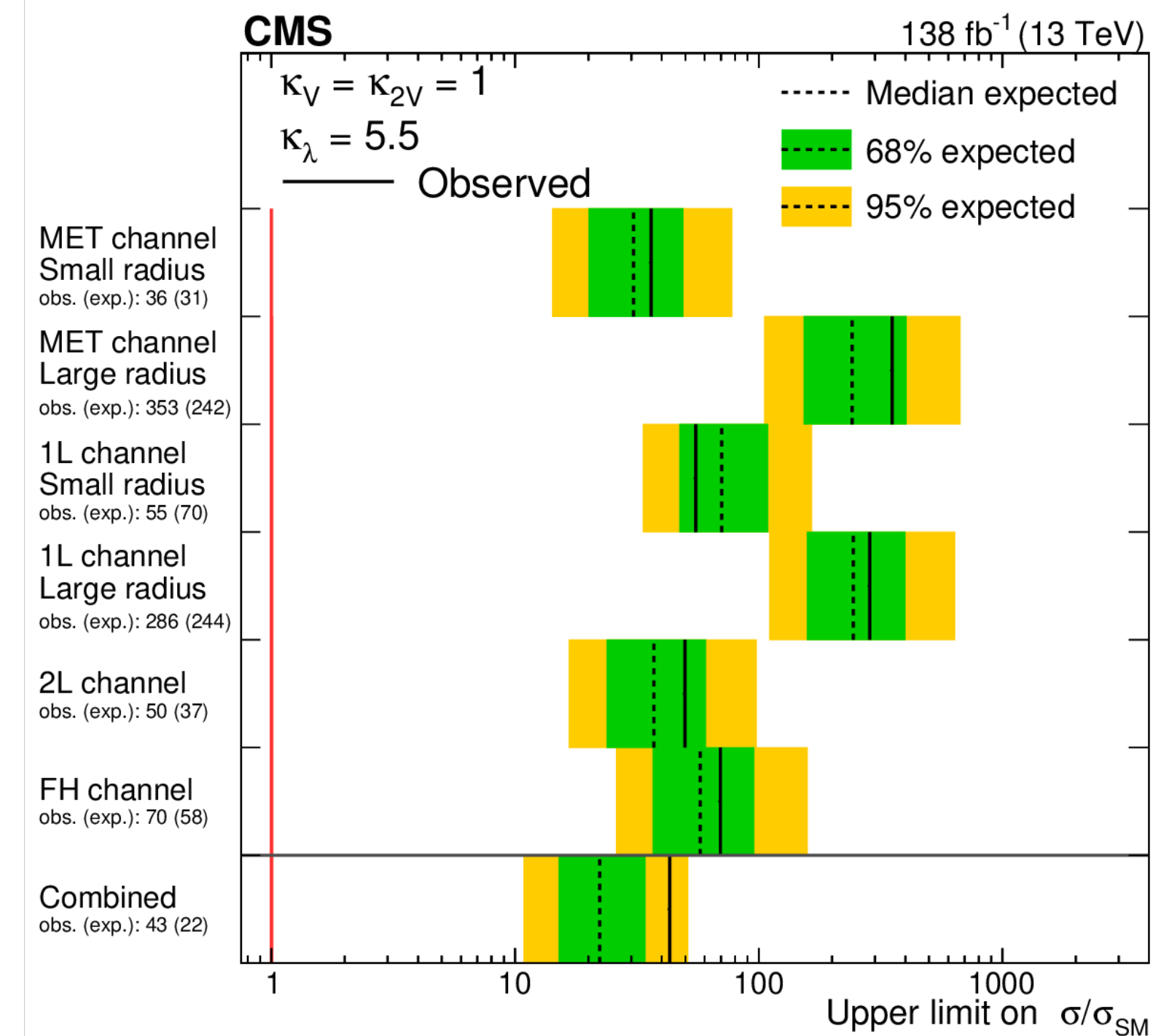
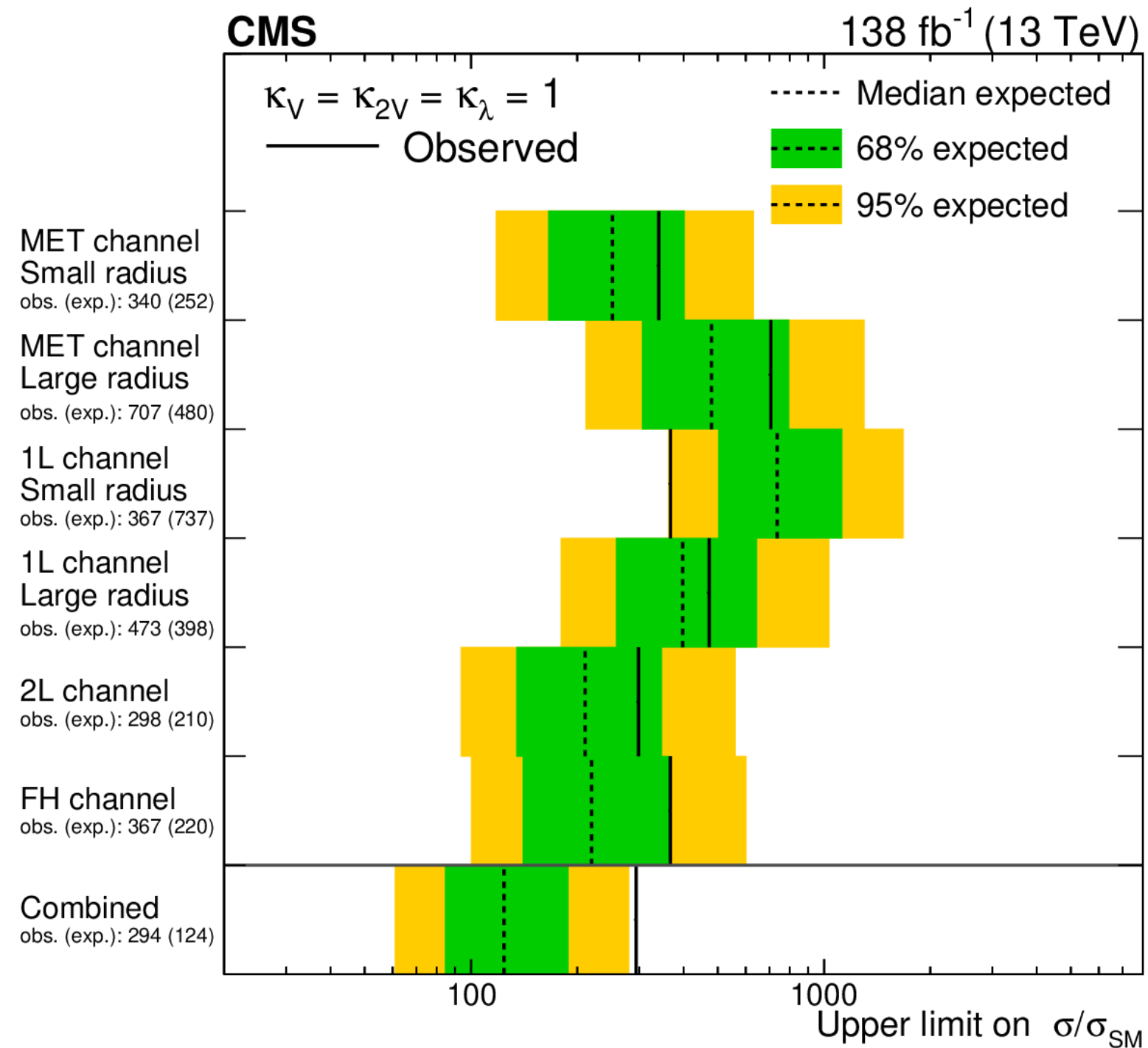
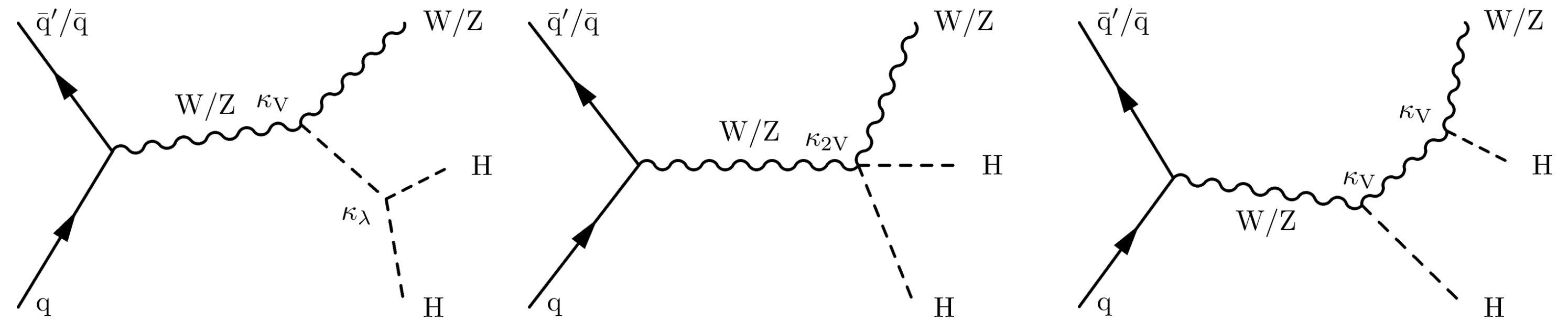
VHH产生过程的寻找

JHEP 10 (2024) 061

北大

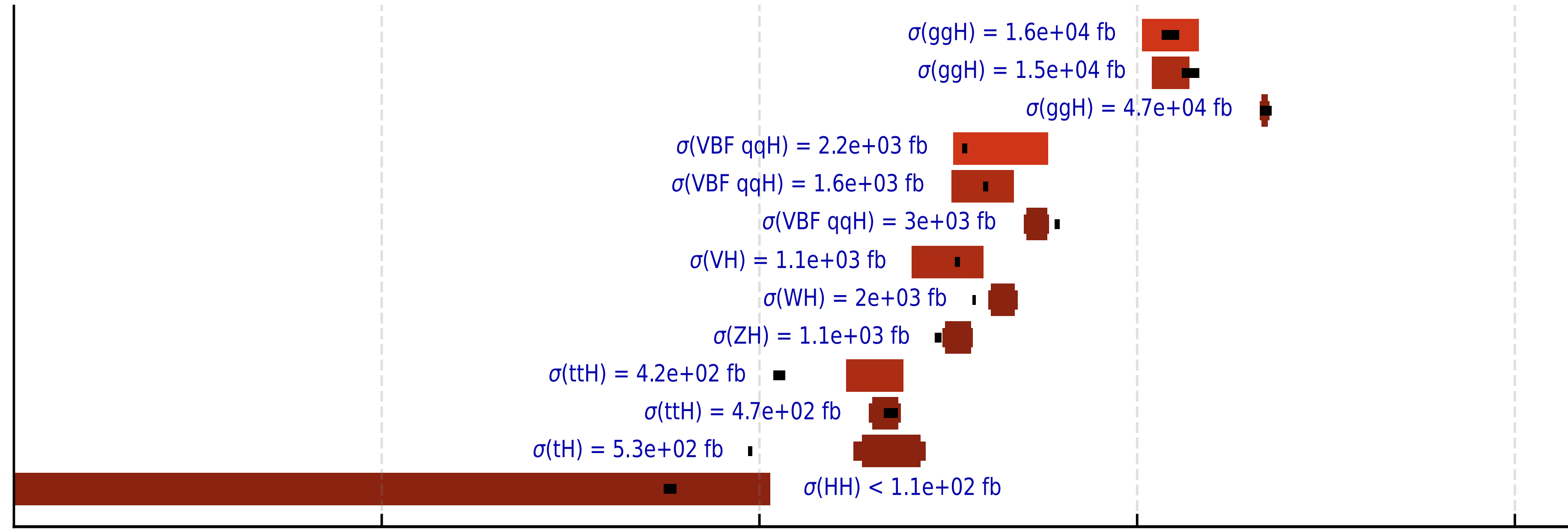
- LHC上通过双希格斯粒子过程研究自耦合，在自耦合较高区间，信号能动能量较低，敏感度下降严重。为此，我们探索了新的产生模式VHH，提高自耦合在较高区间的敏感度，实现CMS实验上的首次探索

- 北大做出重要贡献，博士生章立诚做预审核报告



Higgs

ggH	7 TeV	EPJC 75 (2015) 212
ggH	8 TeV	EPJC 75 (2015) 212
ggH	13 TeV	Nature 607 60-68 (2022)
VBF qqH	7 TeV	EPJC 75 (2015) 212
VBF qqH	8 TeV	EPJC 75 (2015) 212
VBF qqH	13 TeV	Nature 607 60-68 (2022)
VH	8 TeV	EPJC 75 (2015) 212
WH	13 TeV	Nature 607 60-68 (2022)
ZH	13 TeV	Nature 607 60-68 (2022)
ttH	8 TeV	EPJC 75 (2015) 212
ttH	13 TeV	Nature 607 60-68 (2022)
tH	13 TeV	Nature 607 60-68 (2022)
HH	13 TeV	Nature 607 60-68 (2022)



Measured cross sections and exclusion limits at 95% C.L.
 See here for all cross section summary plots

Inner colored bars statistical uncertainty, outer narrow bars statistical+systematic uncertainty
 Light to Dark colored bars: 2.76, 5.02, 7, 8, 13, 13.6 TeV, Black bars: theory prediction

CMS中国组物理分析结果

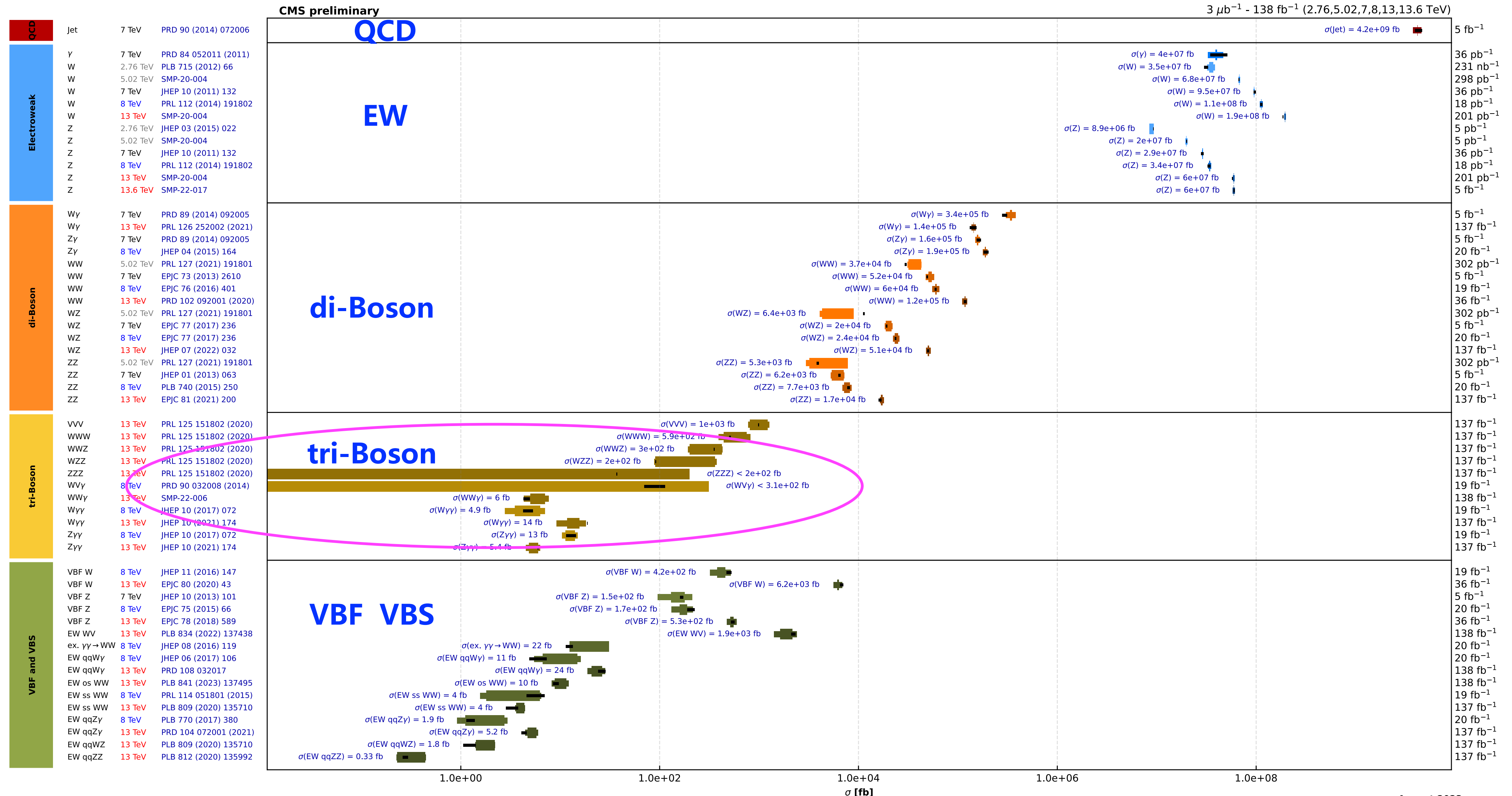
2023.11至今公开的物理结果 (22个)

- 希格斯性质测量: 2篇文章, 2篇arXiv, 2篇PAS
- **标准模型精确测量: 3篇文章, 1篇arXiv, 2篇PAS**
- 新物理直接寻找: 5篇文章 (2篇刚accepted), 1篇arXiv
- B物理: 1篇文章, 1篇PAS
- 重离子对撞: 2篇PAS

总计: 11篇文章, 4篇arXiv, 7篇PAS

标准模型精确检验

Overview of CMS cross section results

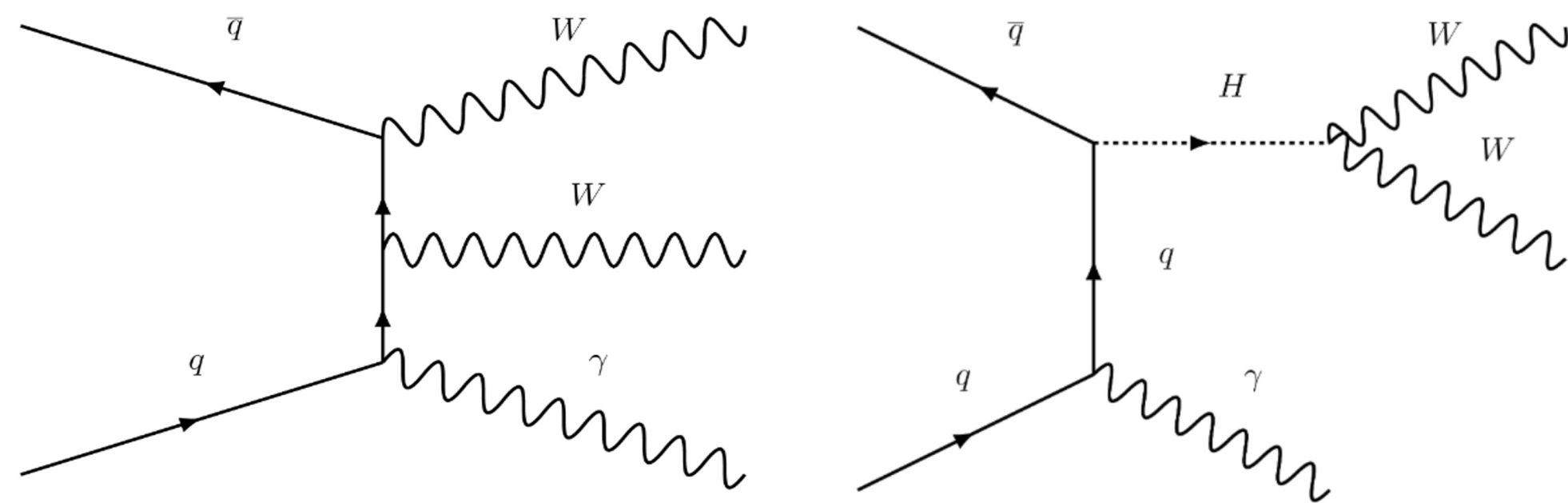


Measured cross sections and exclusion limits at 95% C.L. See here for all cross section summary plots

Inner colored bars statistical uncertainty, outer narrow bars statistical+systematic uncertainty
Light to Dark colored bars: 2.76, 5.02, 7, 8, 13, 13.6 TeV, Black bars: theory prediction

WW γ 联合产生过程的发现

- 发现新的三玻色子物理过程, 并对希格斯与轻夸克耦合给出世界最灵敏探测
- 2023年3月27日, 在意大利举行的第57届MoriondQCD会议上, 以亮点形式被展示
- 北大安莹(现德国DESY Fellow)担当分析联络人, 博士生关喆给予预审核及审核报告



<https://www.nature.com/articles/d41586-024-00764-8>

[nature](#) > [research highlights](#) > [article](#)

RESEARCH HIGHLIGHT | 21 March 2024

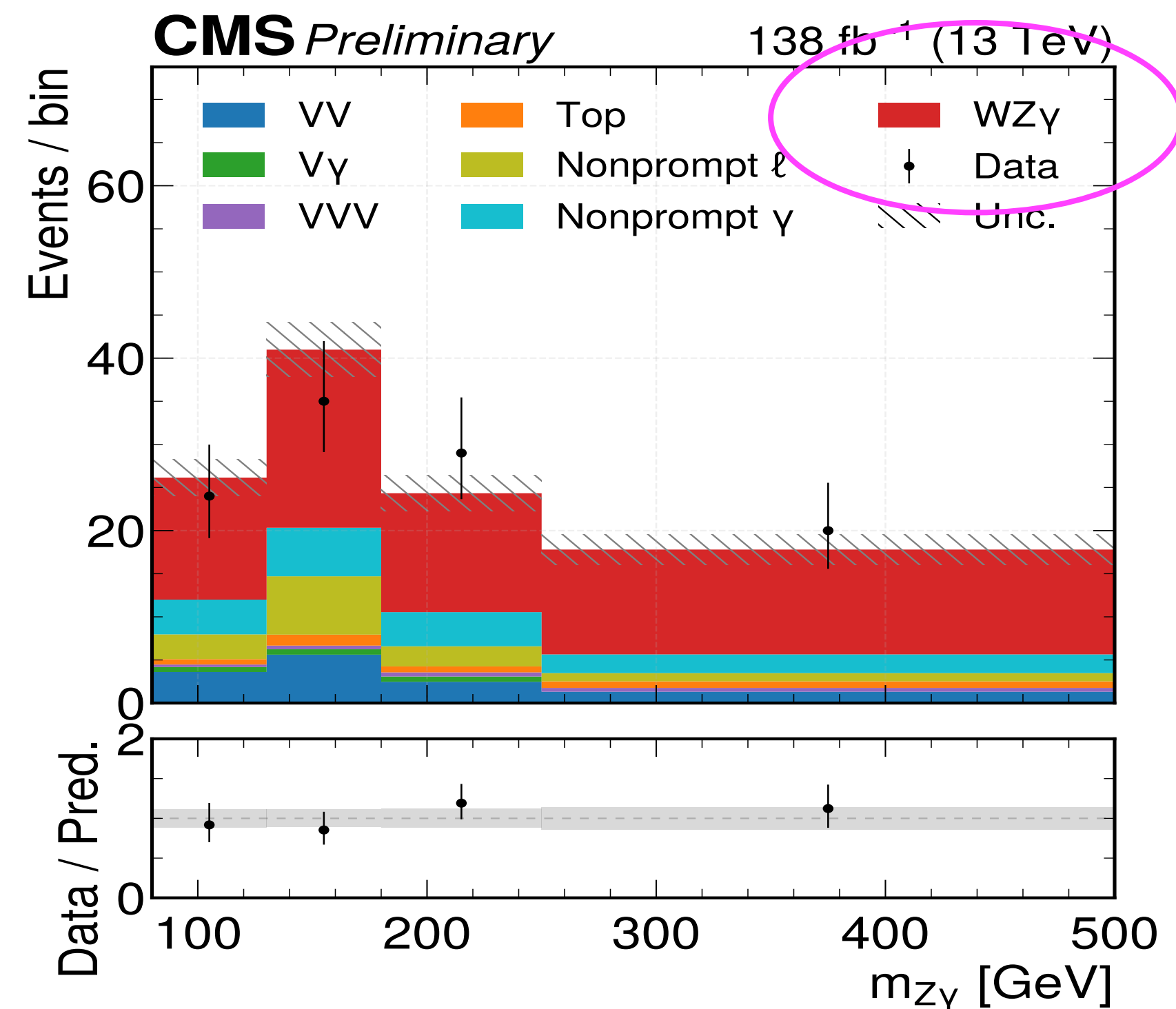
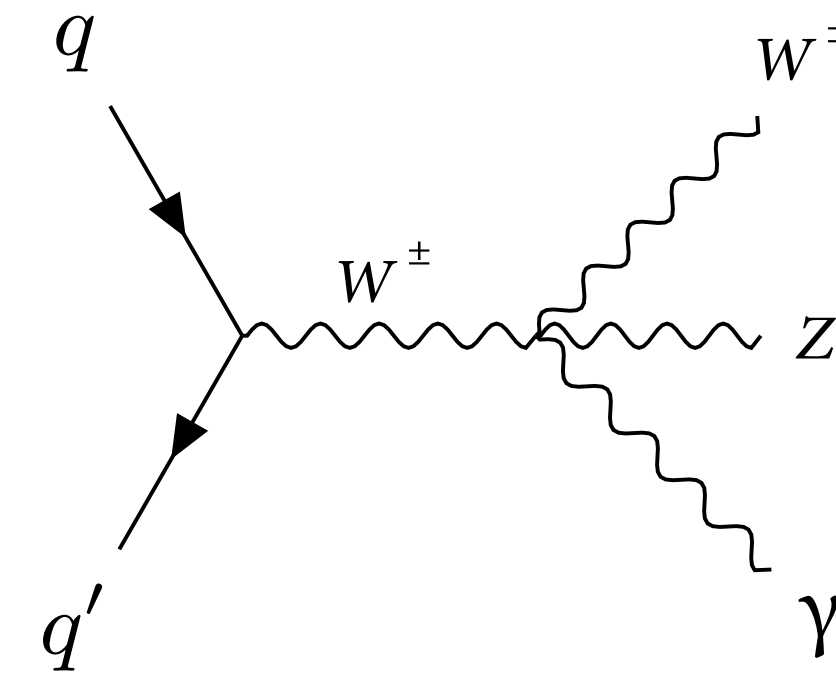
A supercollider glimpses a gathering of three particles never seen together before

Data from billions of proton collisions reveal that subatomic particles called W^+ and W^- bosons keep company with a photon.

Process	σ_{up} pb exp.(obs.)	Yukawa couplings lim
$u\bar{u} \rightarrow H + \gamma \rightarrow e\mu\gamma$	0.067 (0.085)	$ \kappa_u \leq 13000$ (16000)
$d\bar{d} \rightarrow H + \gamma \rightarrow e\mu\gamma$	0.058 (0.072)	$ \kappa_d \leq 14000$ (17000)
$s\bar{s} \rightarrow H + \gamma \rightarrow e\mu\gamma$	0.049 (0.068)	$ \kappa_s \leq 1300$ (1700)
$c\bar{c} \rightarrow H + \gamma \rightarrow e\mu\gamma$	0.067 (0.087)	$ \kappa_c \leq 110$ (200)

WZ γ 联合产生过程的发现

- WZ γ 过程对四规范玻色子耦合（如WWZ γ 耦合）提供灵敏度，因此是标准模型电弱理论的重要试金石
- 此外，WZ γ 过程也可以用于寻找类轴子粒子，为暗物质等新物理的发现提供可能的路径
- 在CMS实验的数据分析中，WZ γ 过程的观测显著度超过 5σ
- 北大博士生邓森担任该分析联络人，并做该分析的预审核报告
- 中山博士后卢梦、北大邓森做审核报告

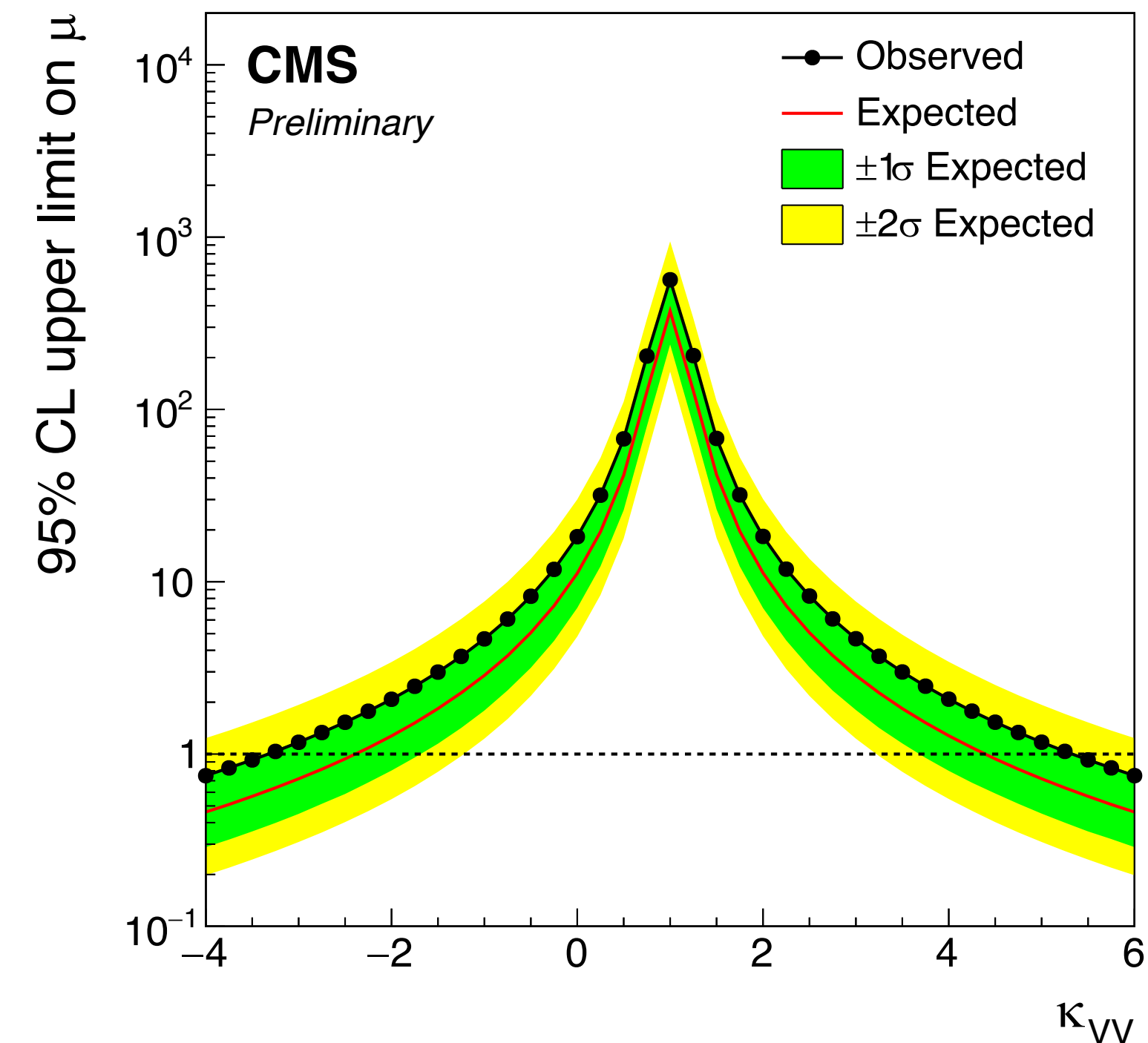
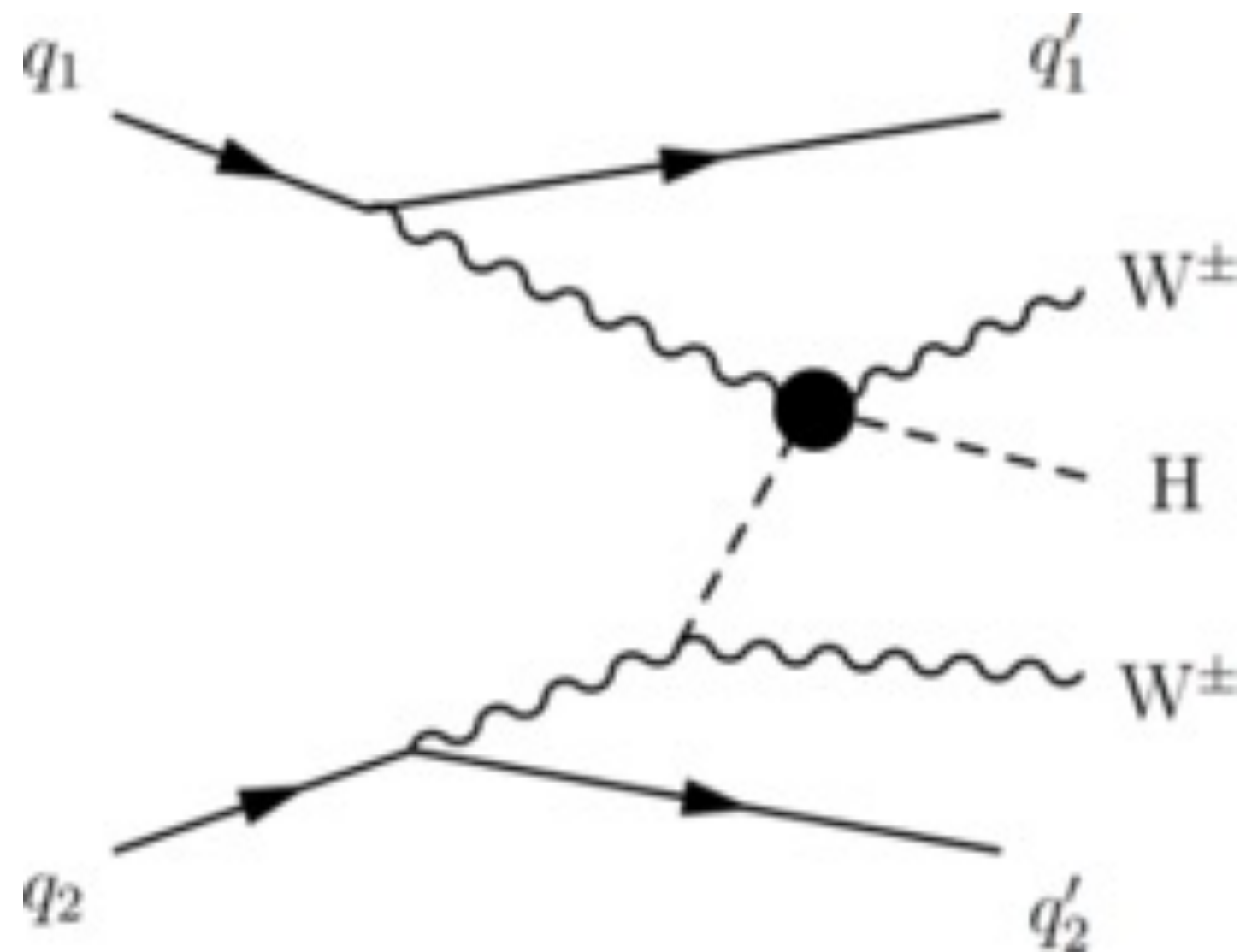


VBS $W^\pm W^\pm H$ 过程的首次探测

CMS-PAS-SMP-24-001

北大

- 2→3 玻色子散射过程的探测为多玻色子物理研究开辟新的疆域
- VBS $W^\pm W^\pm H$ 过程对 $WWHH$ 耦合敏感；如果测得的耦合强度与标准模型的预言有偏差，则可能成为超出标准模型新物理的有力证据。
- 在CMS实验的数据分析中， $WWHH$ 耦合强度被限制在 $[-3.33, 5.33]$ 的范围中。
- 北大博士生杨天一担任该分析联络人，并做该分析的预审核和审核报告。

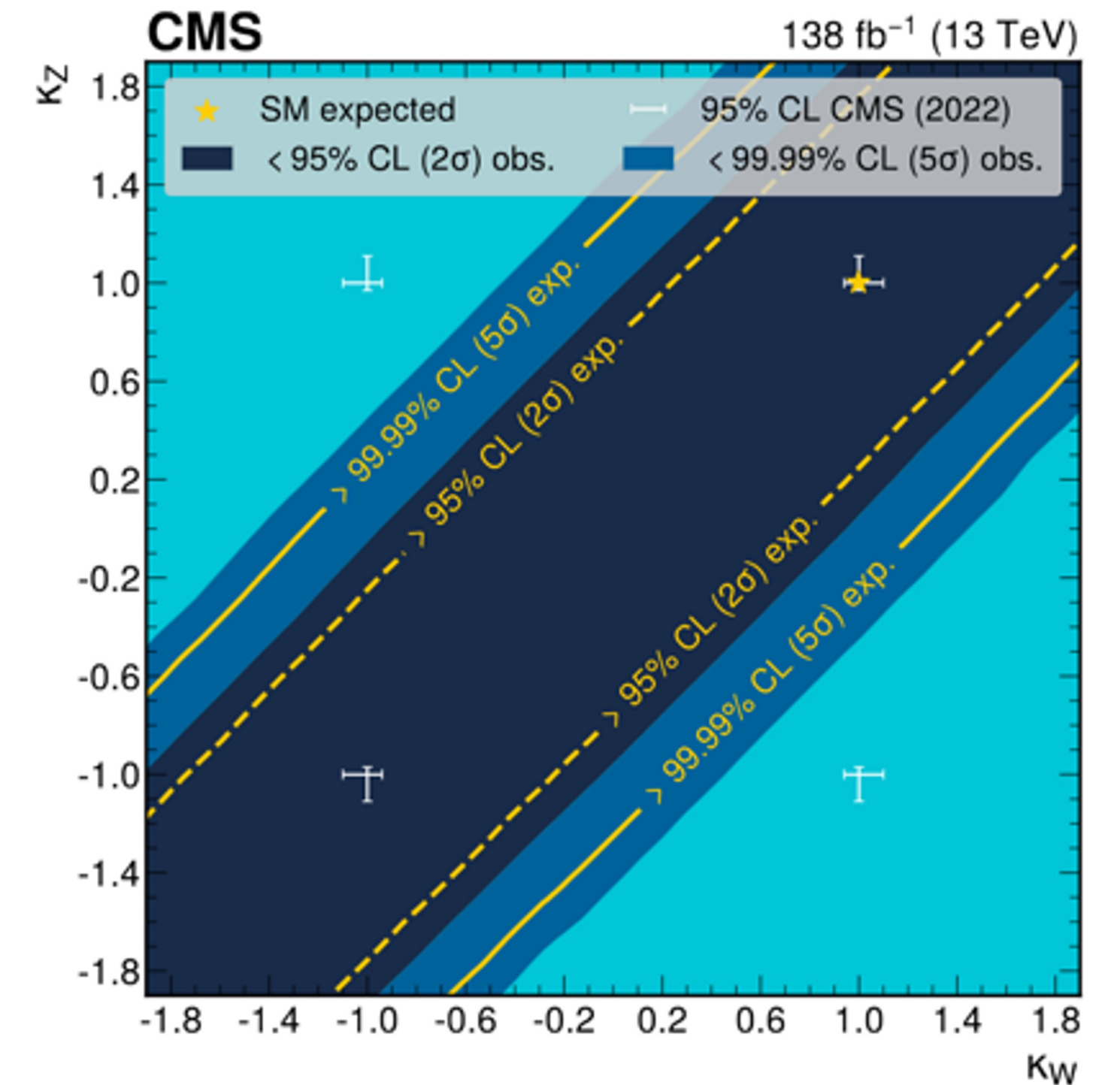
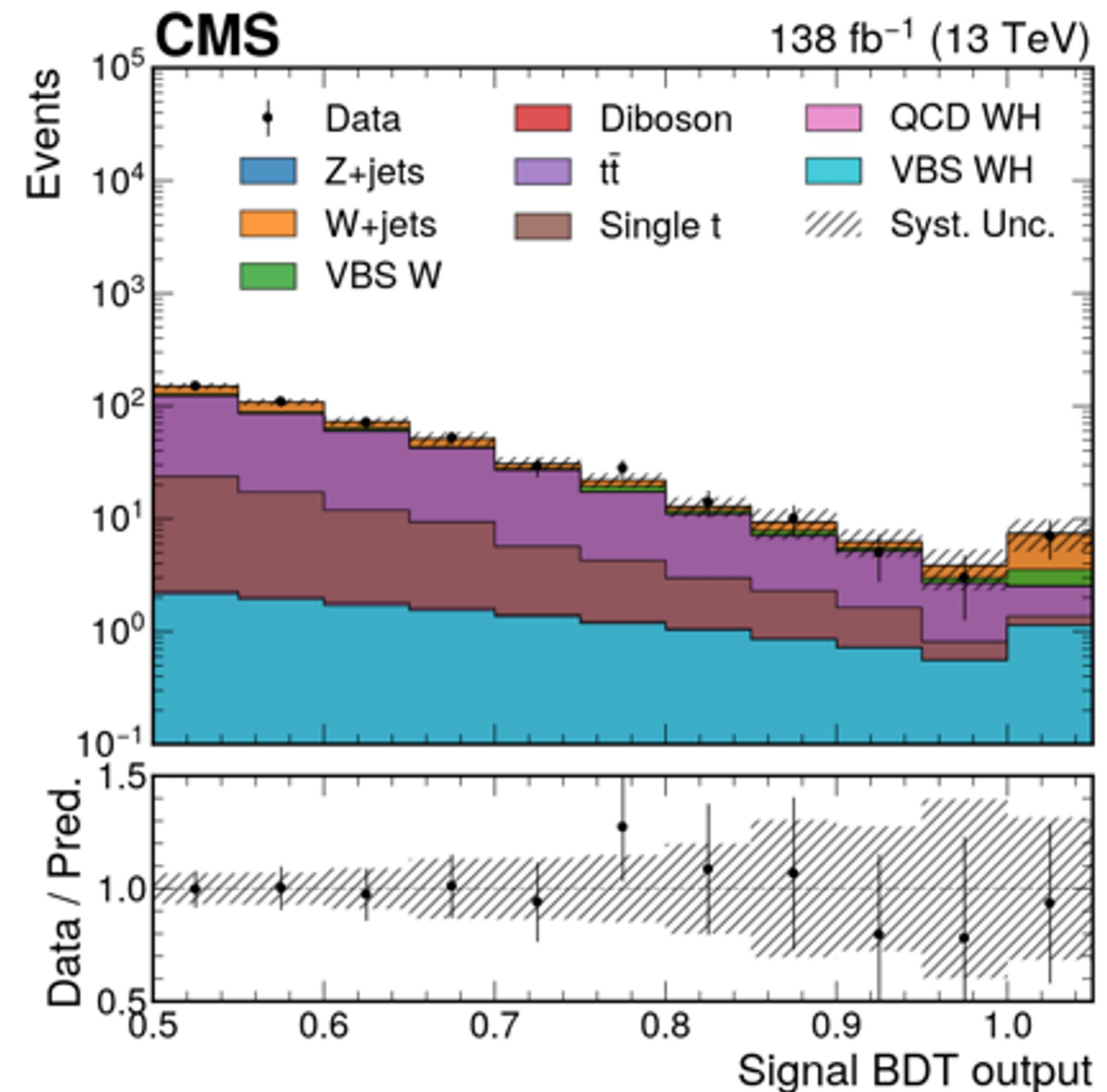
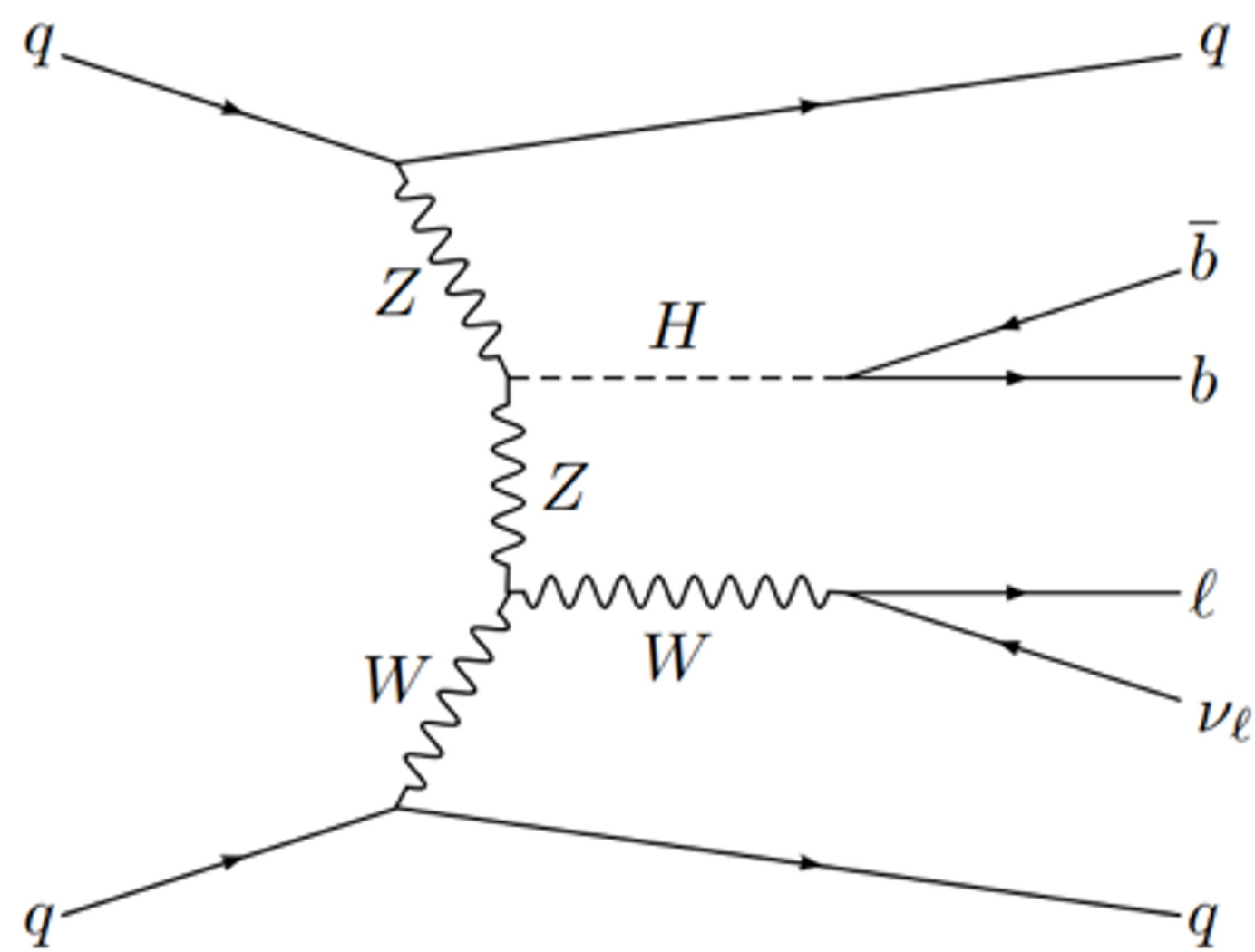


W玻色子与H的散射过程测量

arXiv:2405.16566
投稿至 PLB

北大

- 新型VBS过程的首次探测
- 超过 5σ 显著度, 排除了HWW 和 HZZ 耦合具有相反符号的新物理场景
- 北大负责resolved道, 博士后Andrew Levin及博士生钱思天做预审核及审核报告

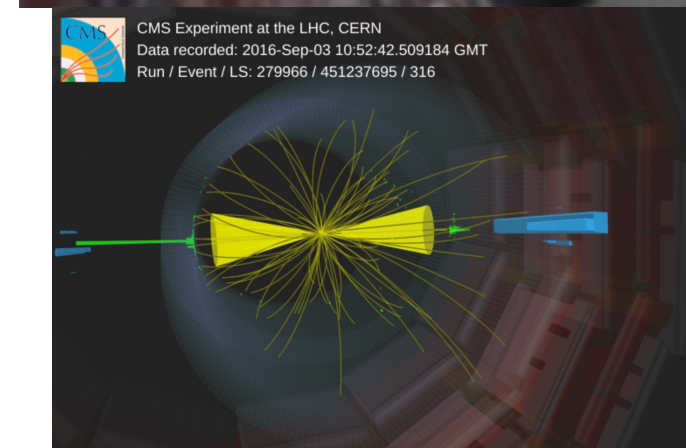
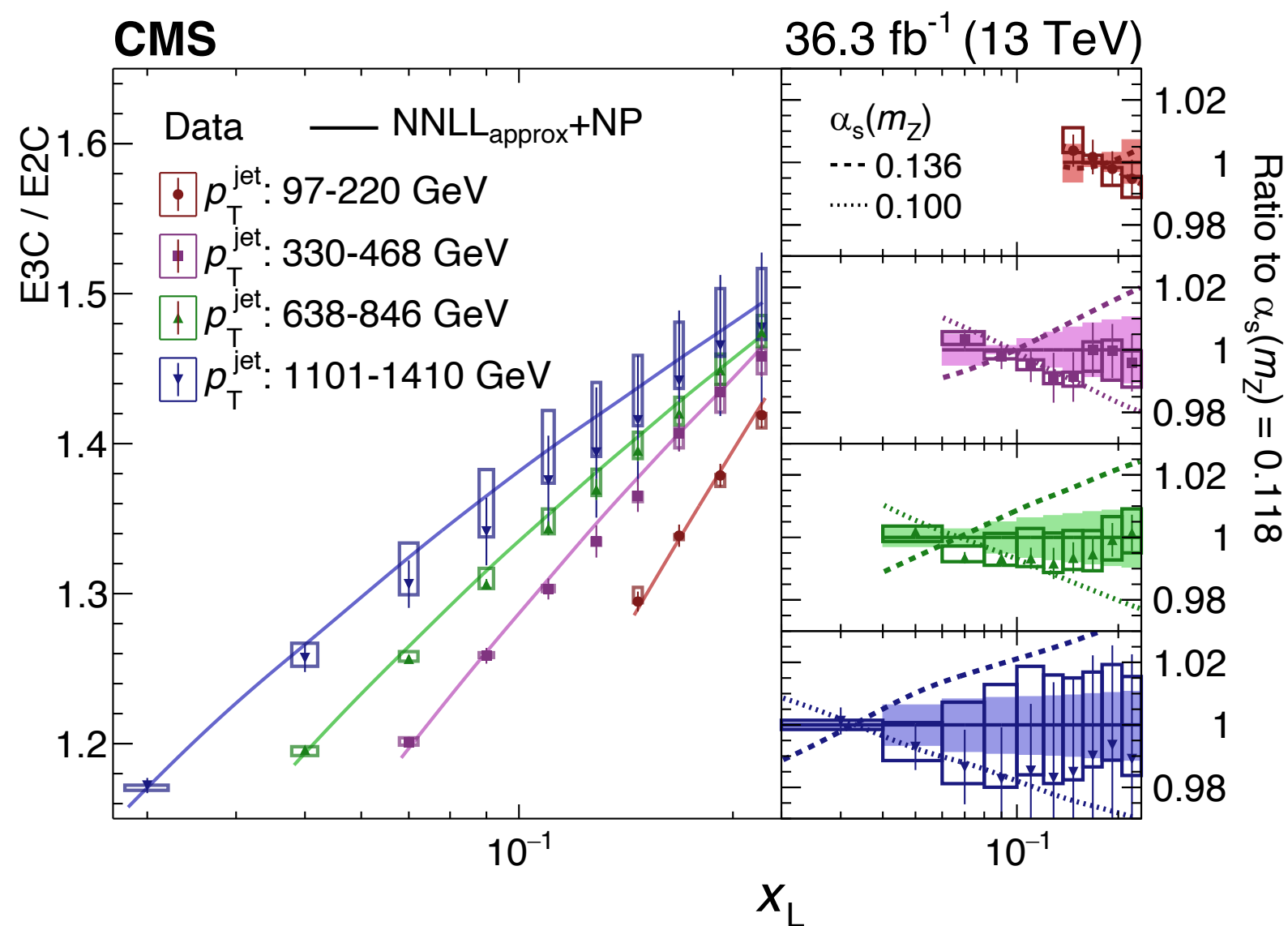


喷注内部能量关联测量

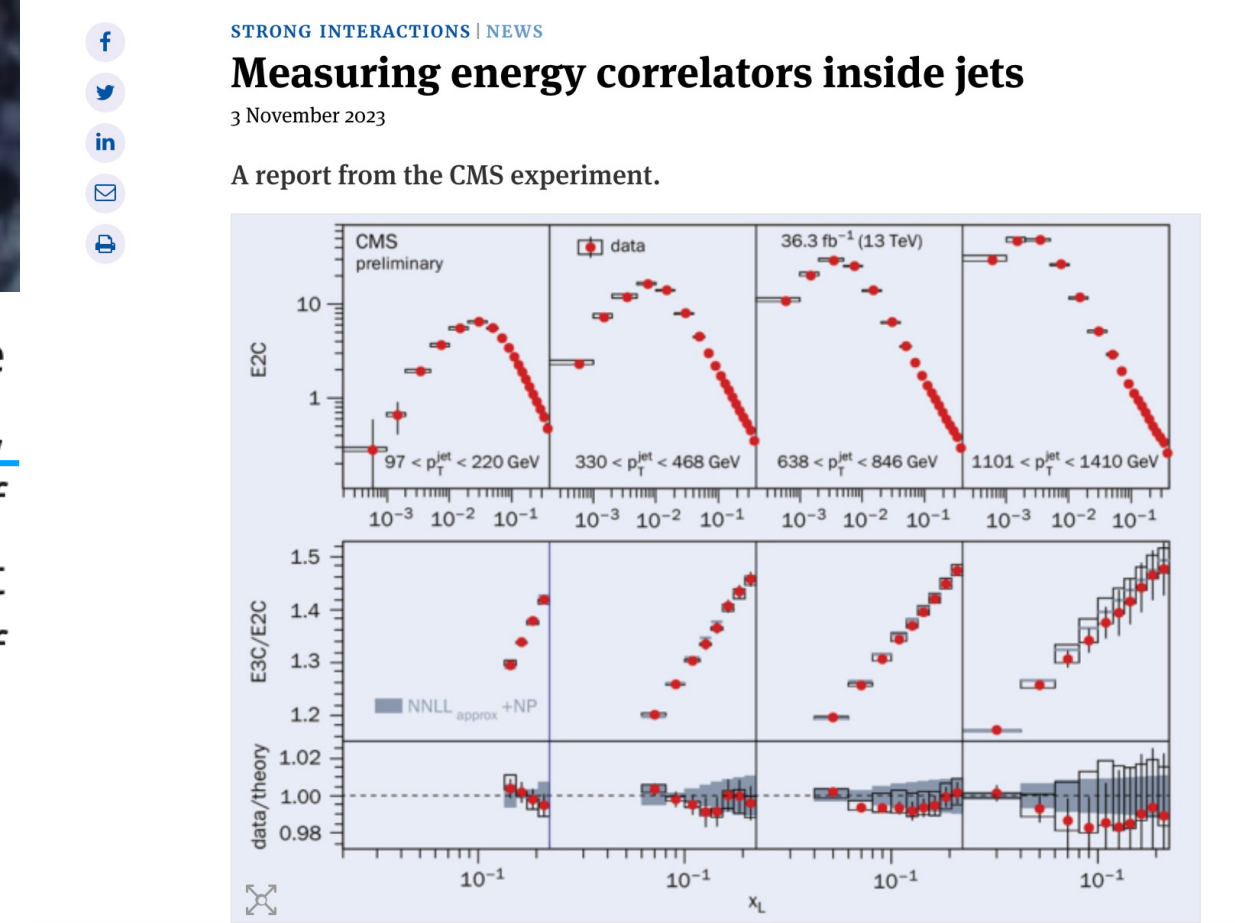
- 与中国理论家（朱华星等）合作，喷注内部多点能量关联测量
- 直接观测QCD的两个重要特征：渐进自由和色禁闭
- 利用喷注内部结构得到的最精确 α_s 测量（4%）
- CERN Courier报道, EPS、LHCP、弦论年会亮点工作
- 浙大独立分析，陆陈丰担任分析联络人、做预审核报告，叶裕雷做审核报告

CMS新闻报道

CERN Courier 报道



The three PhD students who played a key role in the measurement, [Chenfeng Lu](#), [Yulei Ye](#), and [Zhen Lin](#), expressed their excitement about the implications of this work: “Studies of jet substructure have a great potential to improve our understanding of fundamental features of QCD”.



光生过程约束Tau轻子反常磁矩

Rep. Prog. Phys. 87 (2024) 107801

北大

详见何宗晟报告

- 质量大 $(m_\tau/m_\mu)^2 \sim 280$, 对可能的物理新现象更敏感
- 寿命短, 测量手段有限
- 首次观测pp对撞光生过程, 对Tau轻子磁矩最佳测量, 误差减小5倍

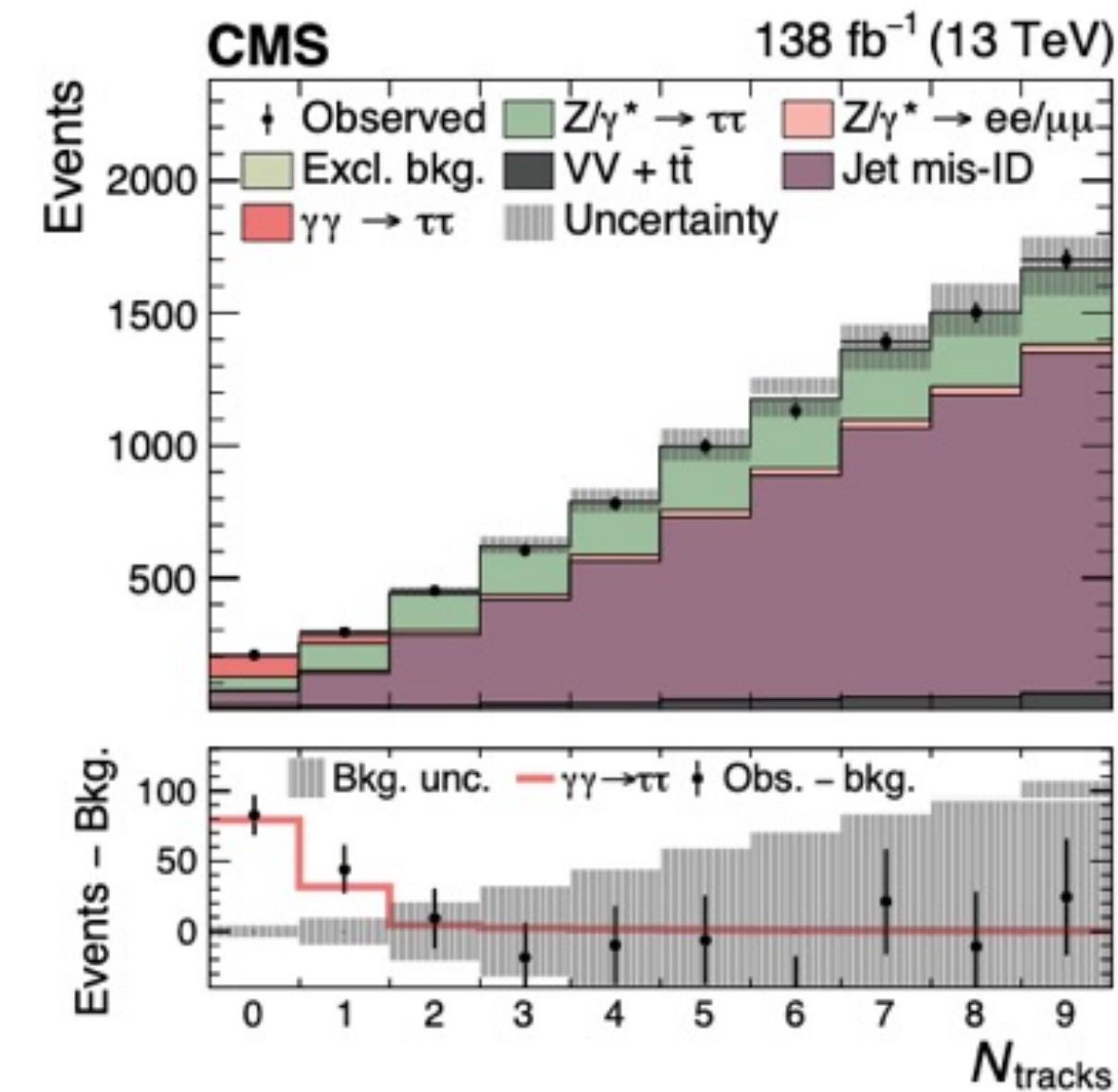
$$g_\tau = 2.0018 + 0.0064 - 0.0062 \text{ (0.3\%)}$$

- 同时约束了Tau轻子的电偶极矩 (时间反演破坏)
- $$-1.70 < d_\tau < 1.70 \times 10^{-17} \text{ ecm (68\% C.L.)}$$

- 北大博士生秦雪龙做预审核报告

- Moriond2024公开发布结果, CERN news

- ROPP 已正式发表



CMS 138 fb⁻¹ (13 TeV)
 • Observed — 68% CL — 95% CL

OPAL
 $ee \rightarrow Z \rightarrow \tau\tau\gamma$
 PLB 434 (1998) 188

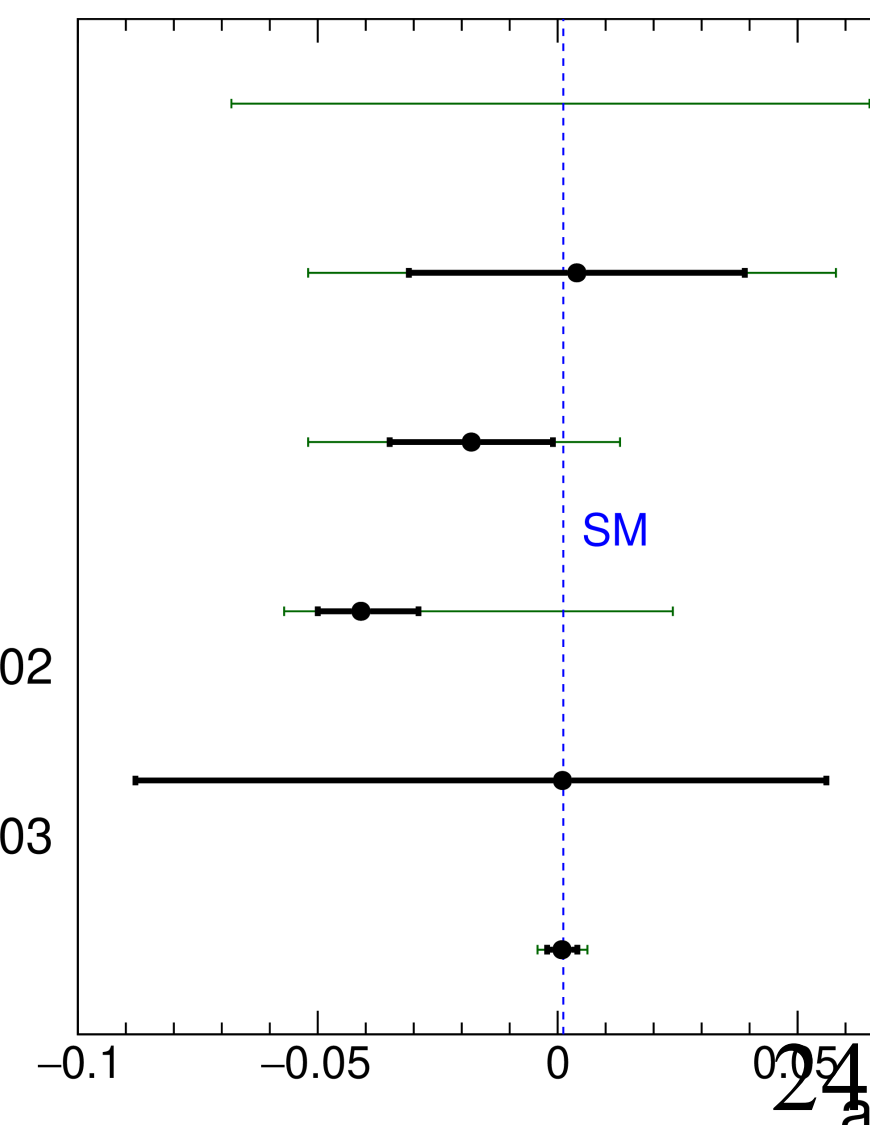
L3
 $ee \rightarrow Z \rightarrow \tau\tau\gamma$
 PLB 434 (1998) 169

DELPHI
 $\gamma\gamma \rightarrow \tau\tau$ (γ from e)
 EPJC 35 (2004) 159

ATLAS
 $\gamma\gamma \rightarrow \tau\tau$ (γ from Pb)
 PRL 131 (2023) 151802

CMS
 $\gamma\gamma \rightarrow \tau\tau$ (γ from Pb)
 PRL 131 (2023) 151803

CMS
 $\gamma\gamma \rightarrow \tau\tau$ (γ from p)
 This result



CERN COURIER.COM

ENERGY FRONTIERS

Reports from the Large Hadron Collider experiments

CMS

CMS closes in on tau g-2

INTERACTIONS.ORG
 PARTICLE PHYSICS NEWS AND RESOURCES

A communication resource from the world's particle physics laboratories.

First observation of photons-to-taus in proton-proton collisions by CMS

25 March 2024 - CERN

4 2024年3月28日 星期四
 责任编辑 董颖 邮箱 cjd@stdaily.com

国际 WORLD

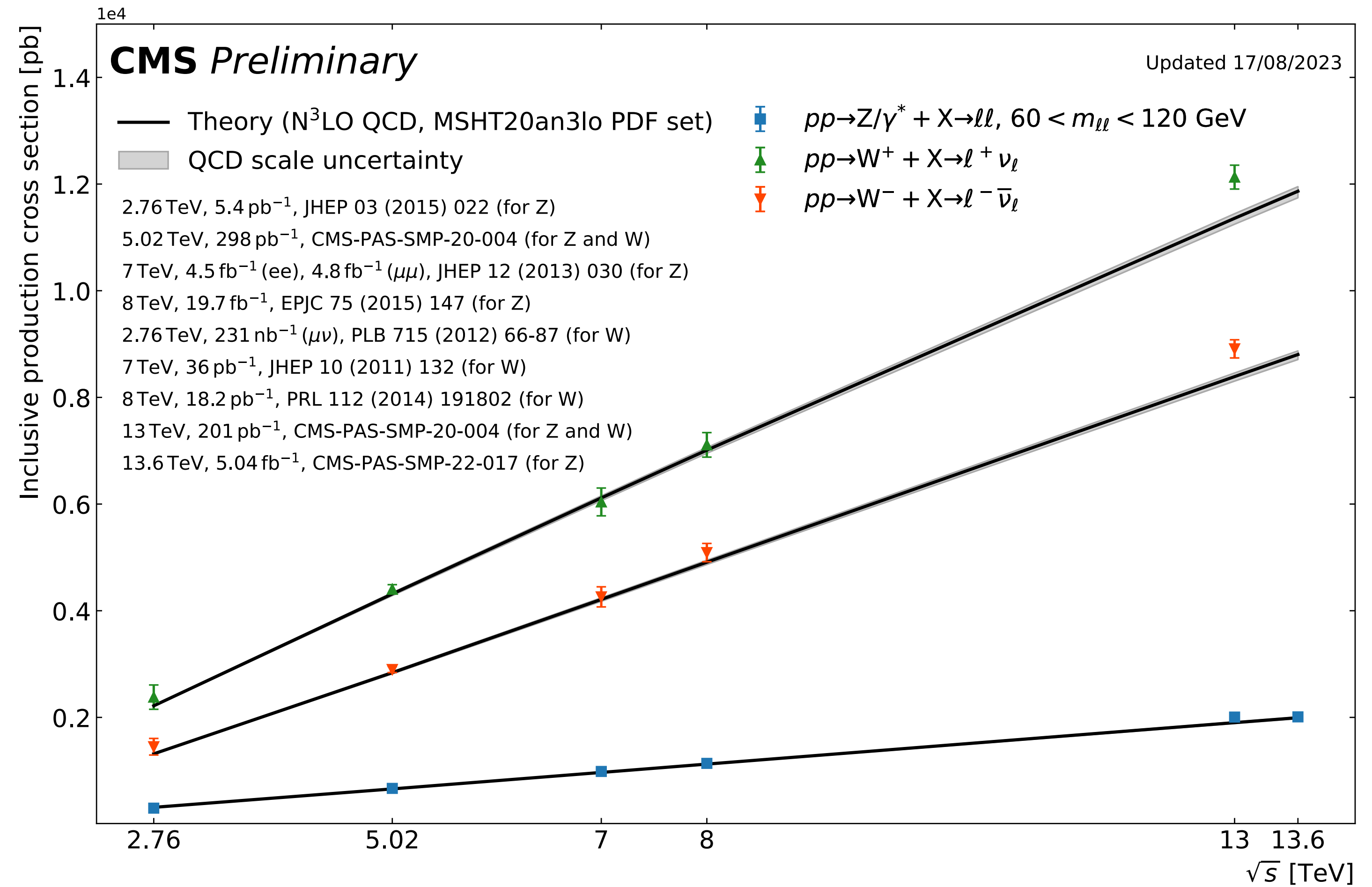
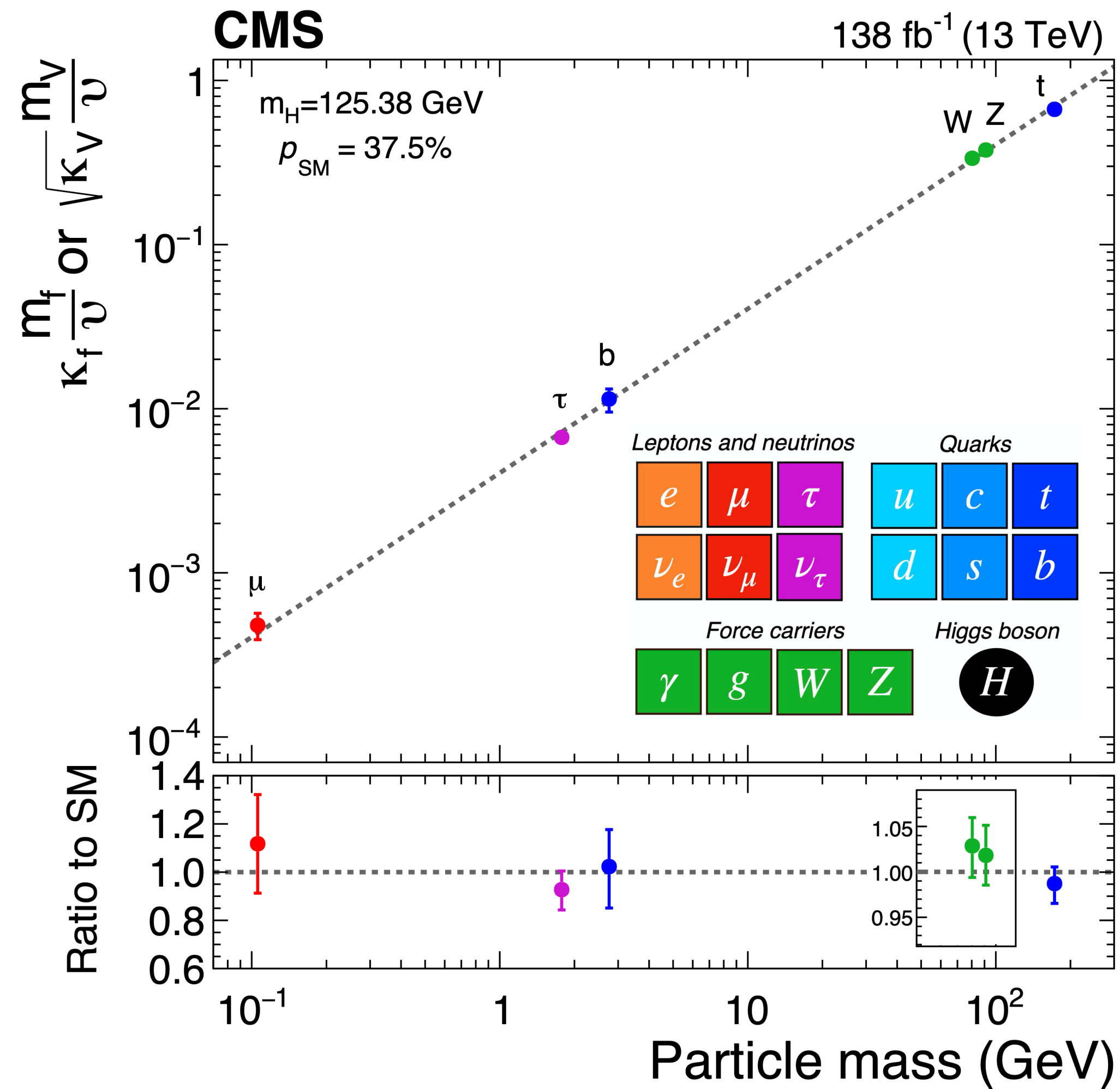
质子对撞中首次观察到光子变陶子

为探索新物理现象提供途径

科技日报北京3月27日电(记者刘霞)欧洲核子研究中心(CERN)27日报道,大型强子对撞机(LHC)上的某项新实验(CMS)国际合作组宣布,他们利用CMS探测器出色的追踪能力,首次观察到质子对撞中两个光子“变身”为两个陶子(τ)。上世纪70年代,陶子首次在美国斯坦福直线加速器实验室被发现,因其寿命极短,难以观测到一个特殊过程,两个光子相互湮灭产生两个陶子,然后分别衰变为电子(e)、电子或正电子(e)和正电子。此次科学家对陶子的反常磁矩开展了迄今最精确测量。粒子的磁矩由粒子内部(数量)磁体的强度和方向产生。同时,真空中存在的大量虚粒子会产生干扰,使其偏离预期值。因此粒子的磁矩需要在量子水平进行修正。这

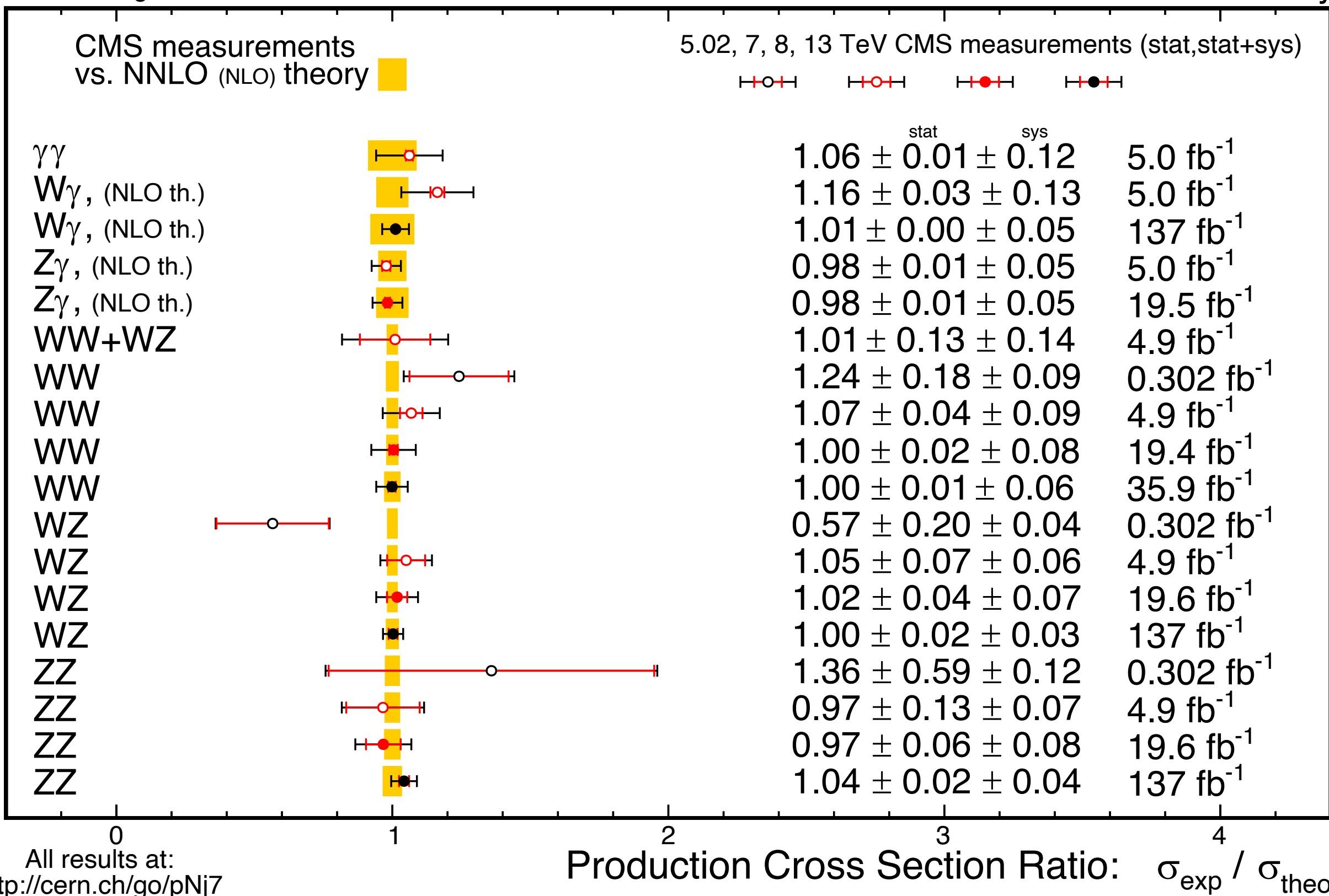
上海交通大学物理与天文学院教授李俊对科技日报记者解释说,“反常磁矩对新物理现象非常敏感。如果在狭义范围内,反常磁矩的理论和实验值不一致,就意味着标准模型之外存在新物理现象。最新研究有助揭示陶子的产生过程及其重要物理性质,从而验证标准模型,并为探索新物理现象提供新途径。”

CMS合作组这一研究利用陶子反常磁矩的测量精度缩小到以往理论计算值的3倍,为其设定了迄今最严格限制。北京大学物理学院助理教授王人类团队在这一研究中作出了突出的贡献。CMS合作组成员、博士生秦雪龙表示,“这项研究人陶子反常磁矩的新方法,开辟了



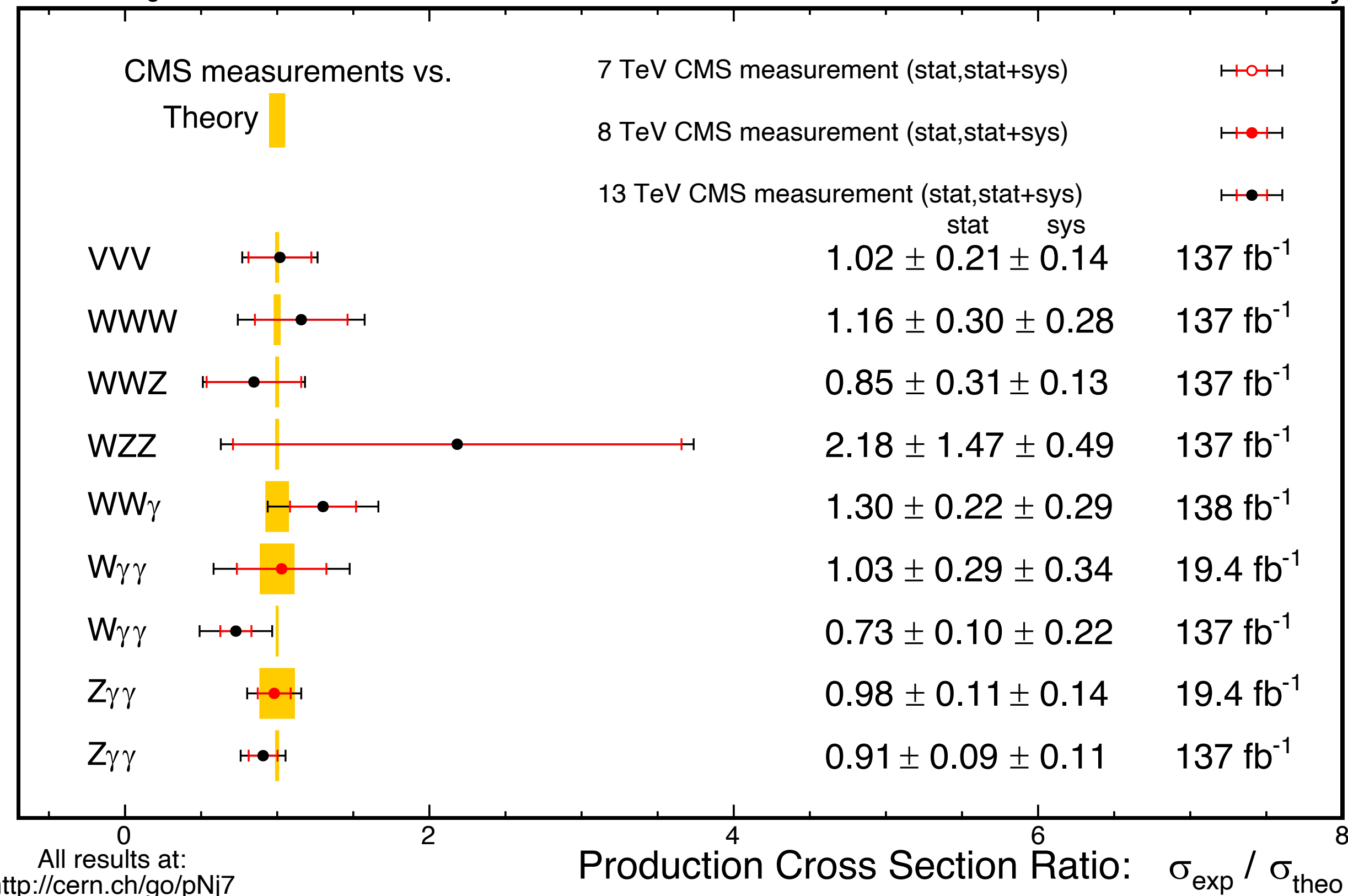
Aug 2023

CMS Preliminary



Aug 2023

CMS Preliminary



通过标准模型精确测量，间接寻找BSM新物理

CMS中国组物理分析结果

2023.11至今公开的物理结果 (22个)

- 希格斯性质测量: 2篇文章, 2篇arXiv, 2篇PAS
- 标准模型精确测量: 3篇文章, 1篇arXiv, 2篇PAS
- **新物理直接寻找: 5篇文章 (2篇刚accepted), 1篇arXiv**
- B物理: 1篇文章, 1篇PAS
- 重离子对撞: 2篇PAS

总计: 11篇文章, 4篇arXiv, 7篇PAS

希格斯奇异衰变

PLB 852 (2024) 138582

高能所

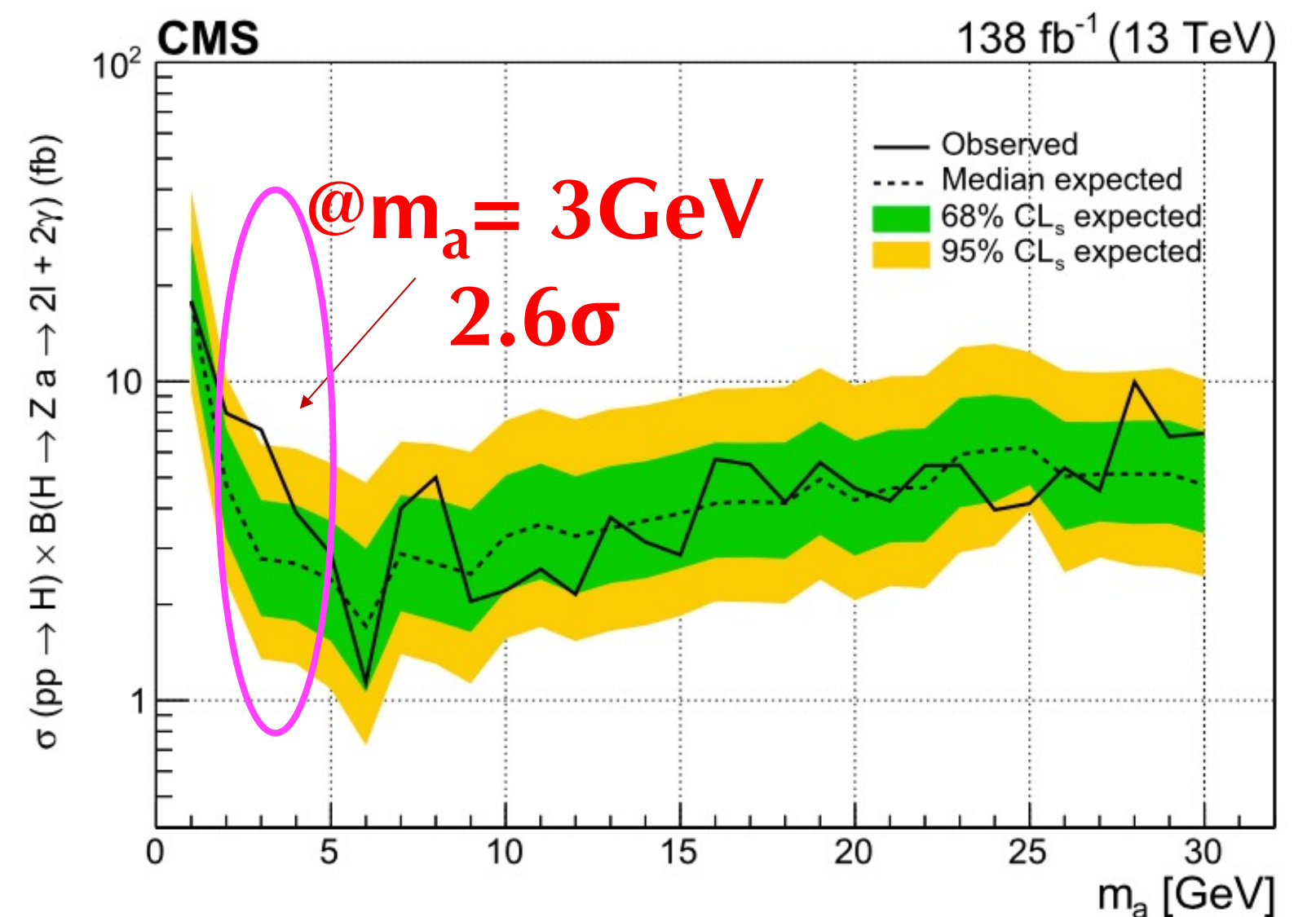
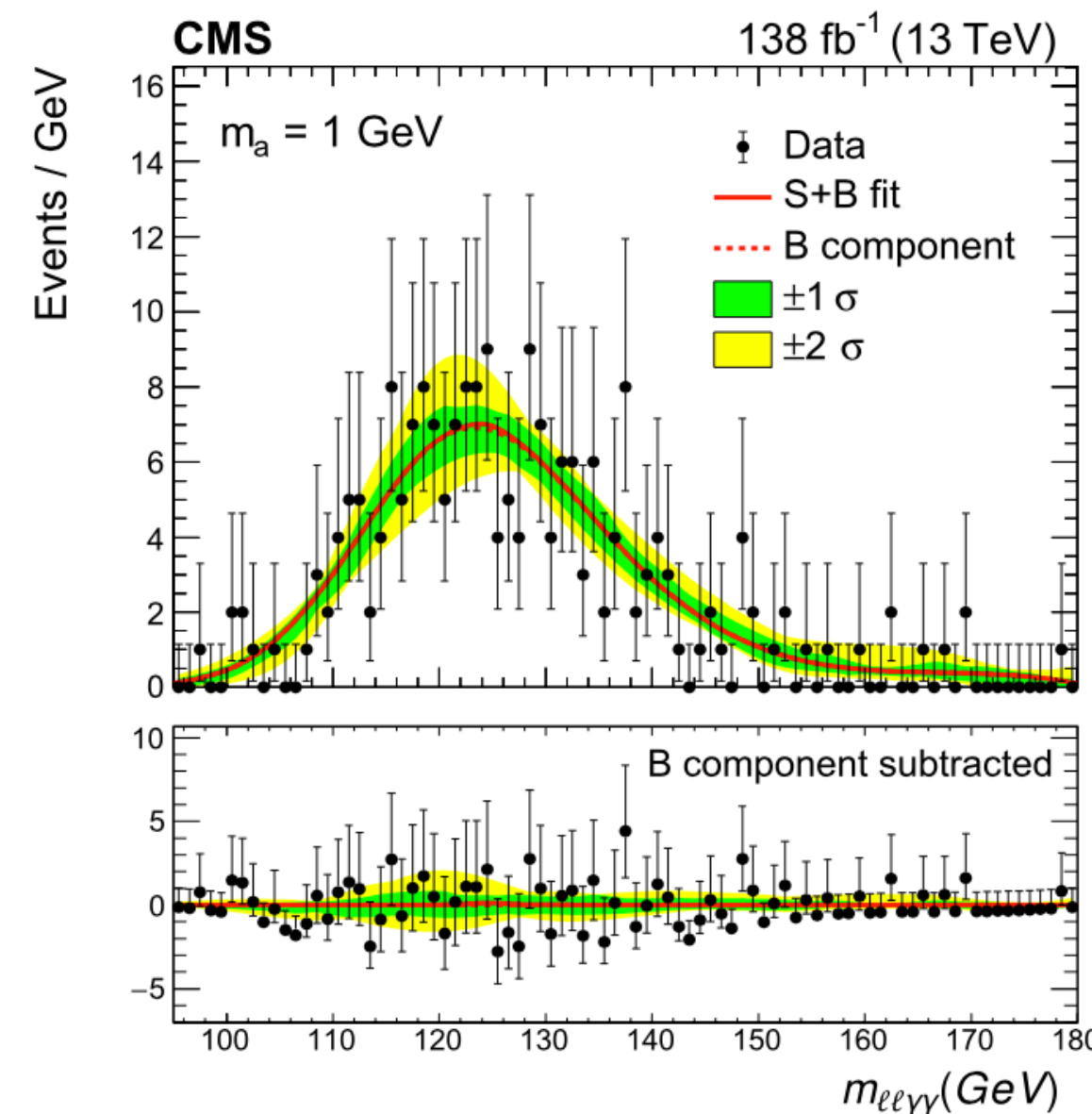
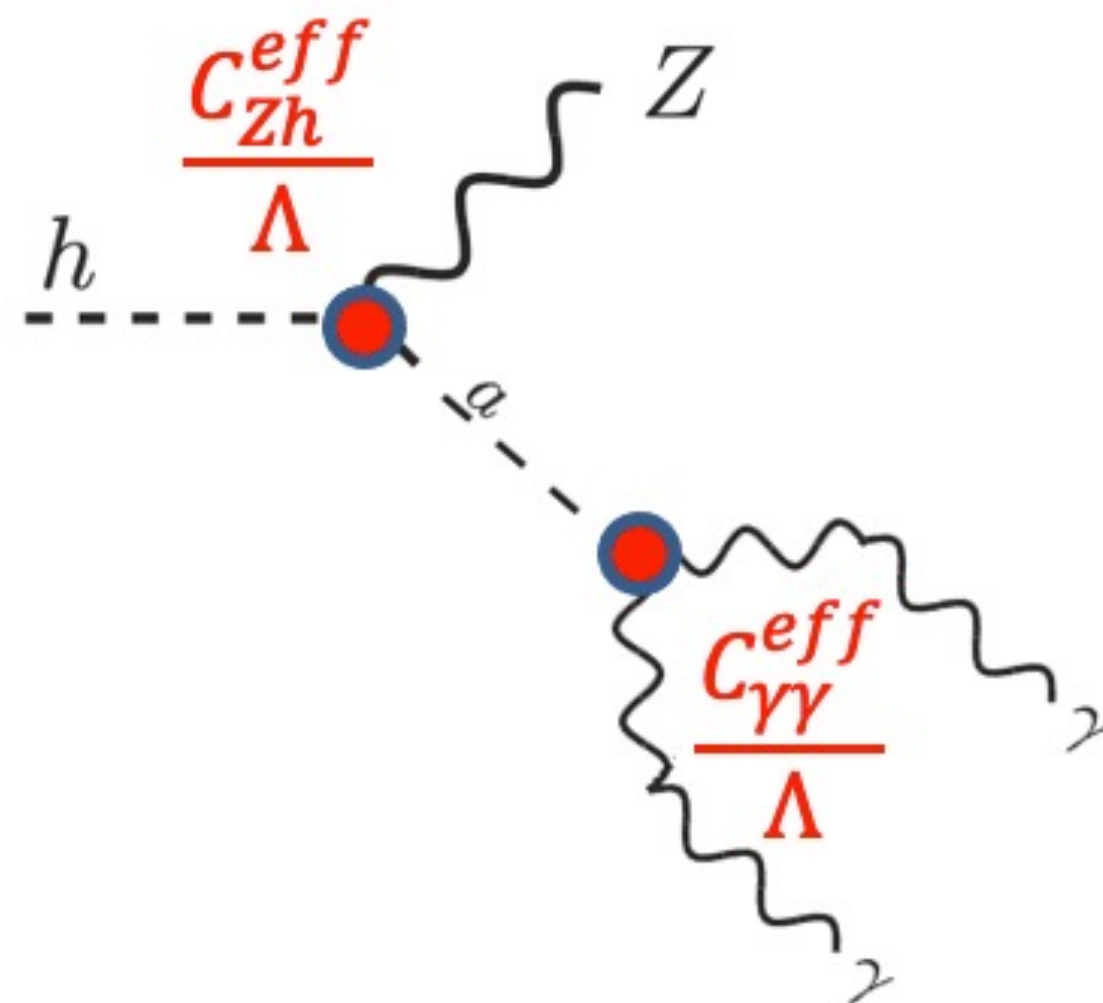
许多新物理模型预测希格斯玻色子可以衰变至轻玻色子，其中新玻色子有可能作为暗物质理论隐藏相互作用 (hidden sector) 的传递子从而解决暗物质质量来源的问题，也可以作为轴子模型中的传递子从而解决强CP破坏的问题

$$H \rightarrow Z a \rightarrow 2l 2\gamma$$

首次在该过程寻找类轴子等

高能所博士生王泽炳：分析联络人、预审核、审核报告

针对相互靠近的双光子设计了新的光子鉴别算法



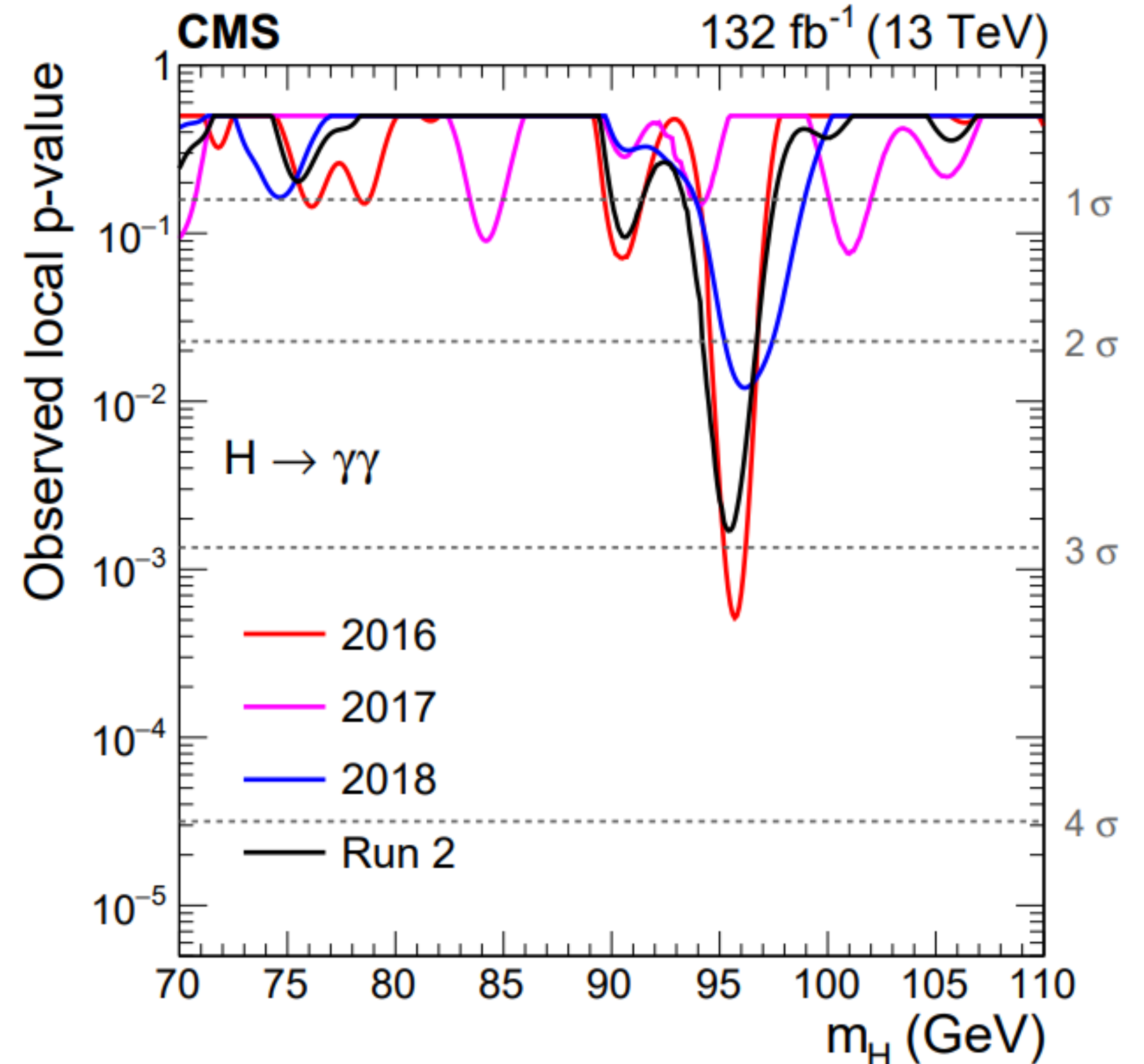
Run2 低质量额外希格斯 $H \rightarrow \gamma\gamma$

PLB接收
arxiv:2405.18149

高能所

详见陶军全报告

- 许多超标准模型 (比如2HDM, NMSSM等) 预测了多个希格斯玻色子, 可能存在质量小于125GeV的、额外的希格斯玻色子
- 寻找额外的希格斯玻色子, 是寻找BSM的直接有效途径之一
- 95.4 GeV处 2.9σ 超出, 吸引广泛关注
- 高能所团队主导了Run2双光子末态低质量共振态的寻找
 - 陶军全是该分析联络人



通过HH/HY过程寻找重共振态联合分析

Physics Report接收
arXiv:2403.16926

北大、高能所、
科大

详见王储报告

- 寻找高质量的共振态新粒子衰变到1个希格斯玻色子+另1个粒子 已经成为LHC新物理寻找项目的一个重要部分
 - 对许多重要新物理模型敏感，包括扩展希格斯模型、额外维模型等
- 基于全部Run-2数据，对已发表的6个HH衰变道和3个YH衰变道联合测量：
 - 给出CMS最高灵敏度和最广泛质量区间的截面上限测量结果
 - 在高亮度LHC上，对Run2结果进行投影
- 结果在五月份被CERN courier报道
- 主要贡献
 - 北大周辰课题组博士后Alexandra Carvalho做预审核报告
 - 高能所博士生王储、科大鲁楠做审核报告

CMS Probing resonant production of Higgs bosons

Besides being a cornerstone of the Standard Model (SM), the Higgs boson (H) opens a very powerful path to search for physics beyond the SM. In particular, in the SM there are no particles that are sufficiently heavy to decay into two Higgs bosons. Therefore, if we observe the resonant production of HH pairs, for example, we have clear evidence for the existence of new physics as predicted by models with an extended Higgs sector.

The CMS collaboration recently conducted a search for the resonant production of Higgs-boson pairs. The analysis combines six different analyses and five HH final states, targeting H decays into b quarks, photons, τ leptons and W bosons. As figure 1 shows for a spin-0 resonance (denoted X), the combination of the decay modes covers a wide mass range, from 280 GeV to 4 TeV. While no resonant signal is observed, stringent upper limits on the $pp \rightarrow X \rightarrow HH$ cross section are obtained, which reach values of about 0.2 fb at the highest masses. These are the strongest observed limits to date for a scalar mass below 320 GeV or above 800 GeV.

One possible candidate for such a resonance is a heavy scalar from an extended Higgs sector, as predicted in the Minimal Supersymmetric Standard Model (MSSM), which features three

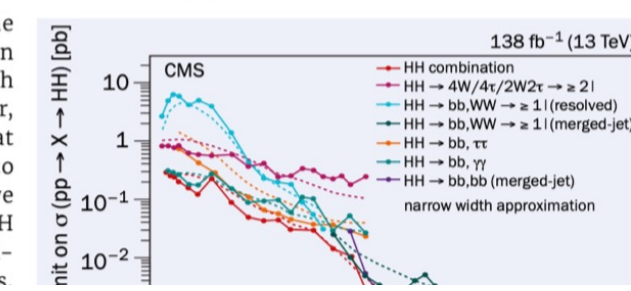


Fig. 1. Observed (solid lines) and expected (dotted lines) upper limits on the cross section of a spin-0 resonance times its branching fraction into a pair of Higgs bosons, as a function of its mass, for six analysis signatures and their combination (red).

CERN courier

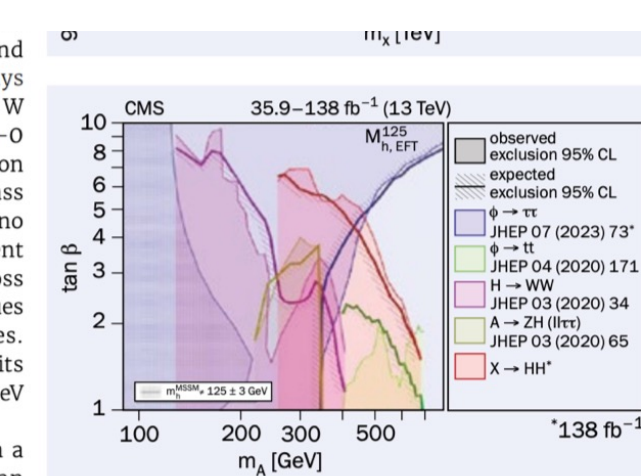
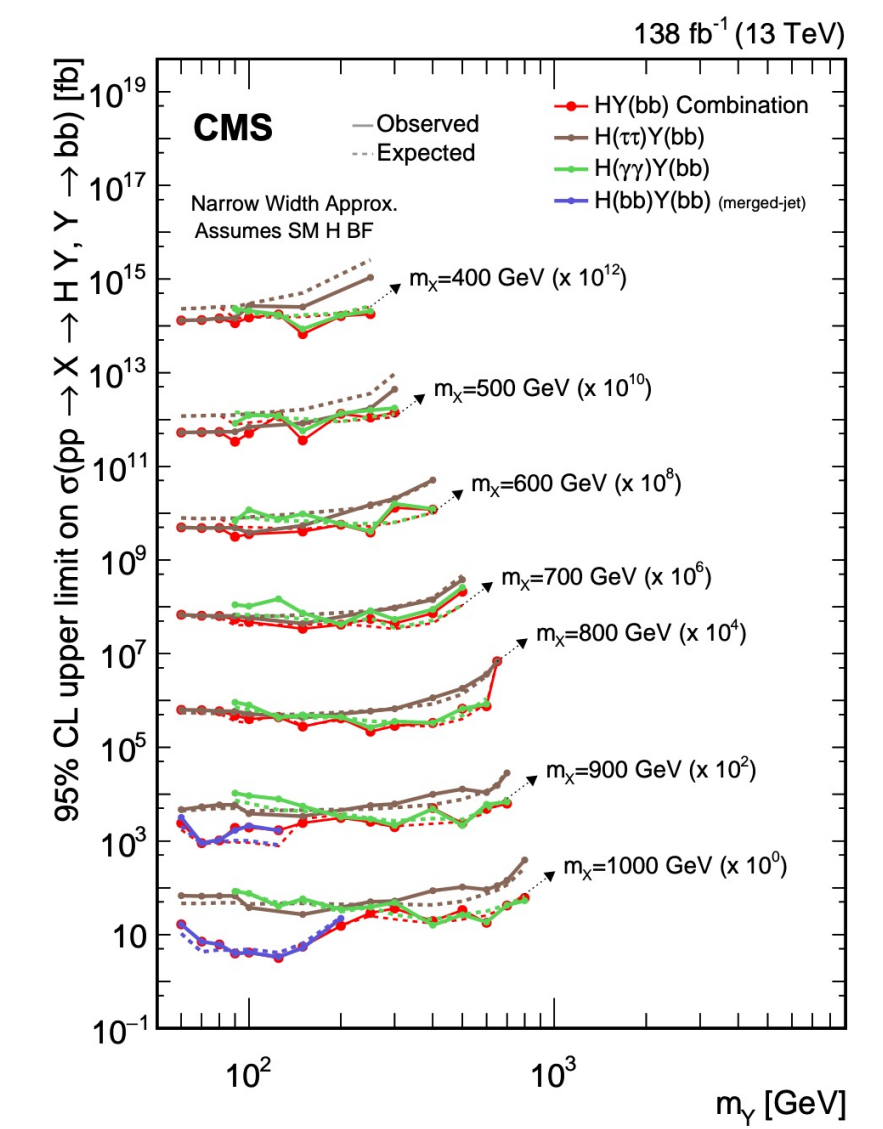
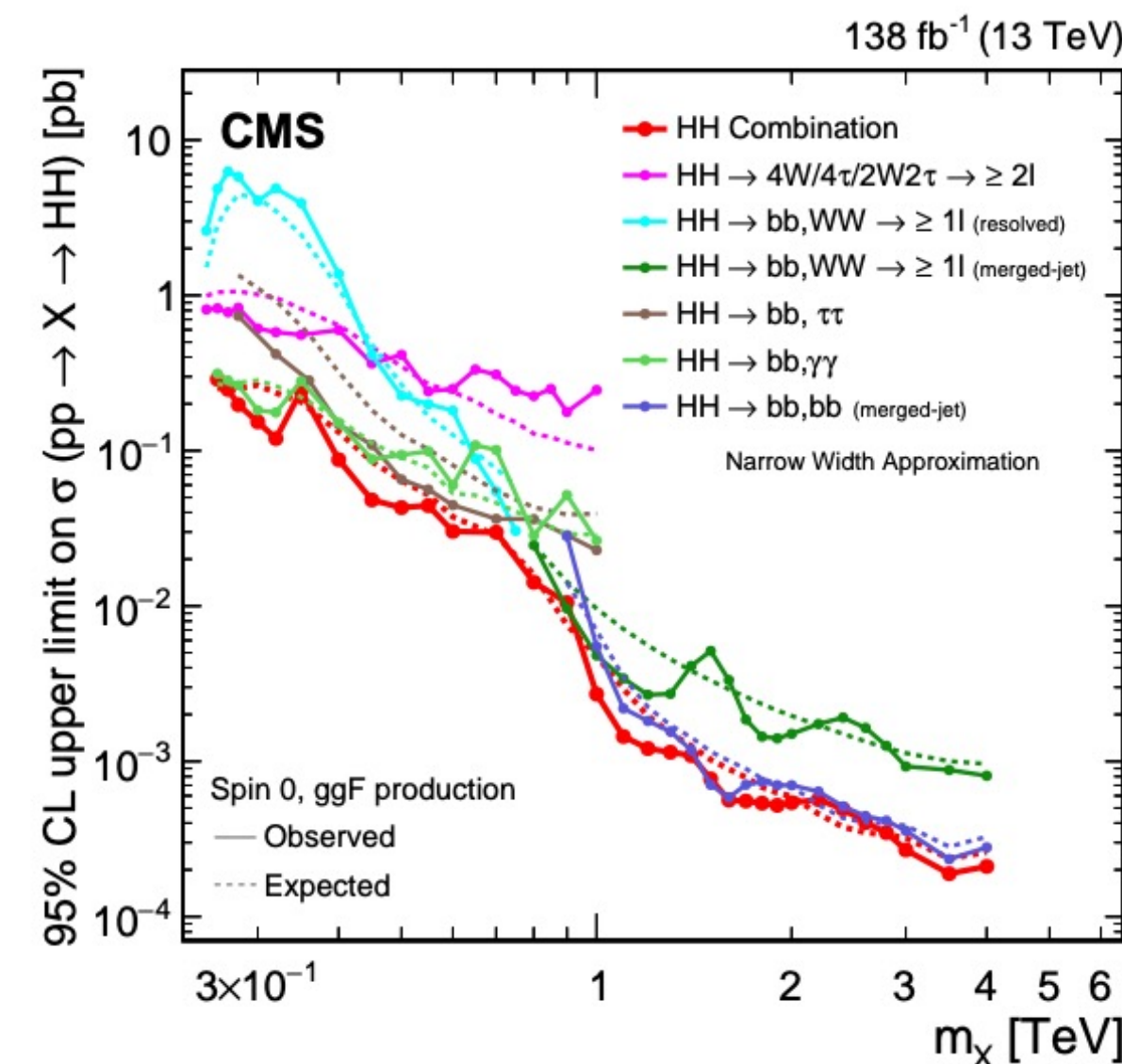


Fig. 2. Interpretation of the HH combination measurement in a MSSM benchmark model, showing exclusion limits in the $\tan\beta$ versus m_A plane and comparisons to other CMS results.

neutral and two charged Higgs bosons. Figure 2 shows the excluded region of the model parameter $\tan\beta$ (the ratio of the expectation values of the two Higgs doublets) as a function of the mass of the CP-odd Higgs boson, the HH combination is sensitive up to $\tan\beta = 6$, just above the HH threshold, and its exclusion extends up to beyond 600 GeV, outperforming the lower limits from the (also shown) searches of single heavy Higgs-boson production in this mass range. Compared to other direct searches, there is unique sensitivity for $m_A > 450$ GeV and $\tan\beta < 5$.

This result is part of a recent comprehensive review article on resonant Higgs-boson production searches by the CMS collaboration, covering the VH, HH and YH final states, with V denoting a W or Z boson and Y representing an additional new boson.

Further reading
CMS Collab. 2024 (to be submitted).
E A Bagnaschi et al. 2021 LHCHWG-2021-001.

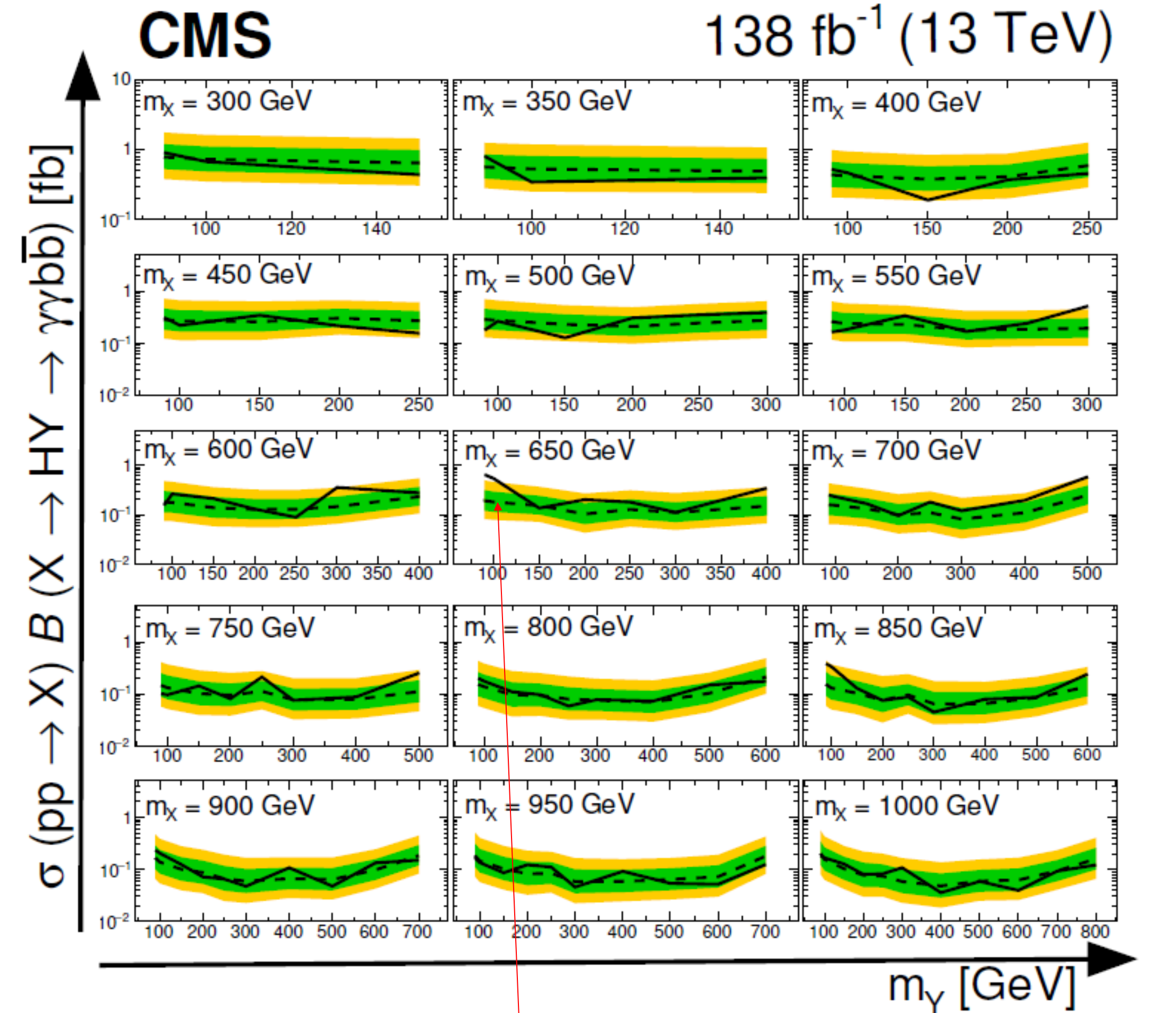


共振态 $X \rightarrow HH/YH \rightarrow bb\gamma\gamma$ 的寻找

详见张镇轩报告

高能所

- 高能所团队参与了共振态 $X \rightarrow HH/YH \rightarrow bb\gamma\gamma$ 的寻找
- 高能所团队做出重要的技术性贡献：在MC样本产生 (MC contact)、光子模拟的修正、光子能量刻度和鉴别、电子的排除等做出直接重要贡献，是 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 双光子基础分析CMS内部文章([AN-2019/149](#))编辑之一



[JHEP05\(2024\)316](#)

(Spin-0) $X \rightarrow HY \rightarrow \gamma\gamma b\bar{b}$

Expected limit $\pm 1\sigma$

Expected limit $\pm 2\sigma$

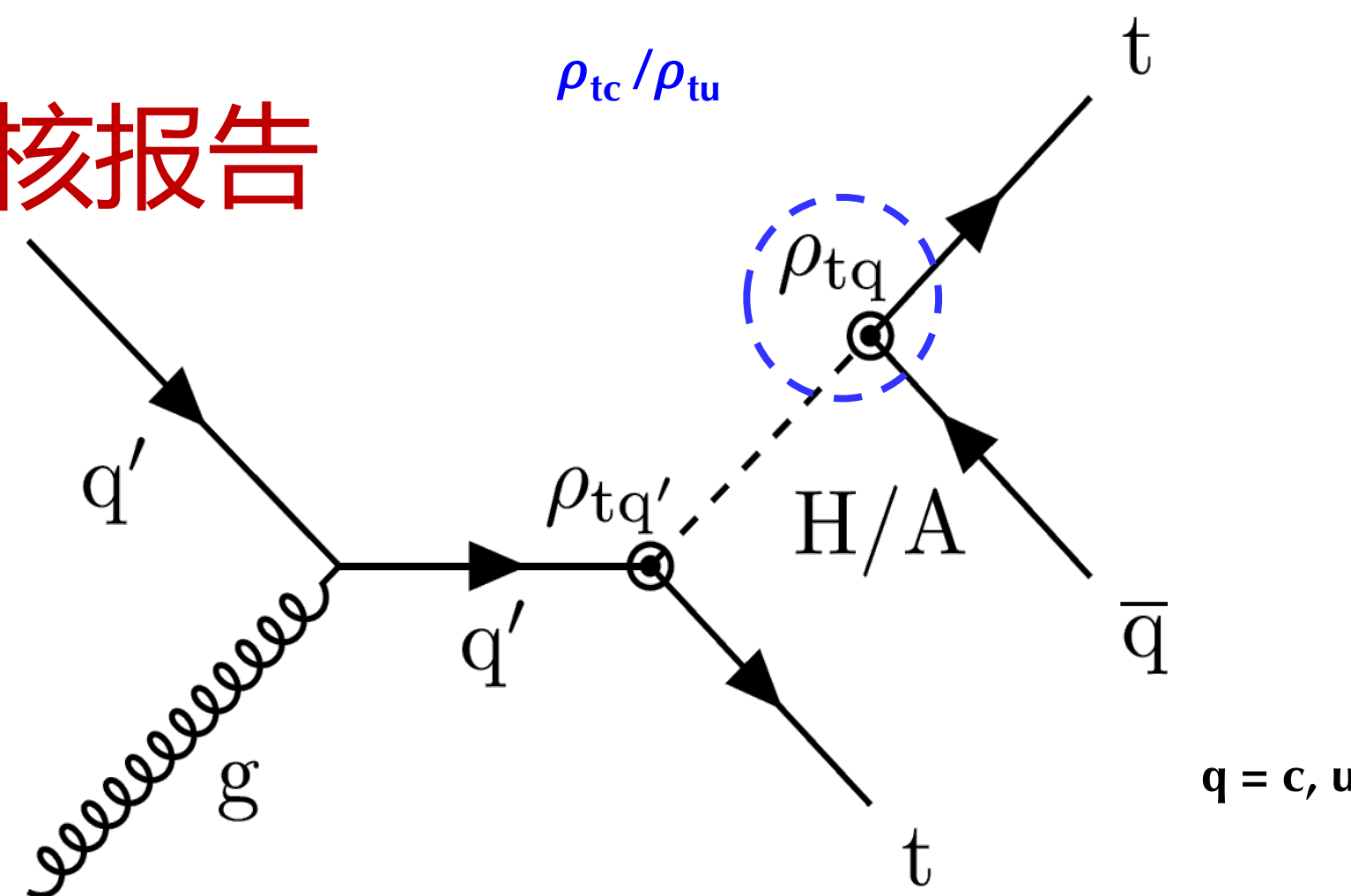
Expected 95% upper limit

Observed 95% upper limit

$m_X = 650$ GeV、 $m_\gamma = 90$ GeV处
观察到 3.8σ 的超出

在 ttq 中寻找新的希格斯

- 2HDM等模型预言额外希格斯可能存在
- 使用CMS全部Run2数据, 在 $pp \rightarrow tH/A \rightarrow tt\bar{q}$ ($q = u, c$) 过程寻找H/A的耦合 ρ_{tc}/ρ_{tu}
- 考虑H/A在有/无干涉下的 ρ_{tc}/ρ_{tu} 上限
- 中山大学博士后卢梦做**审核报告**



Phys. Lett. B 850 (2024) 138478

Contents lists available at ScienceDirect

Physics Letters B

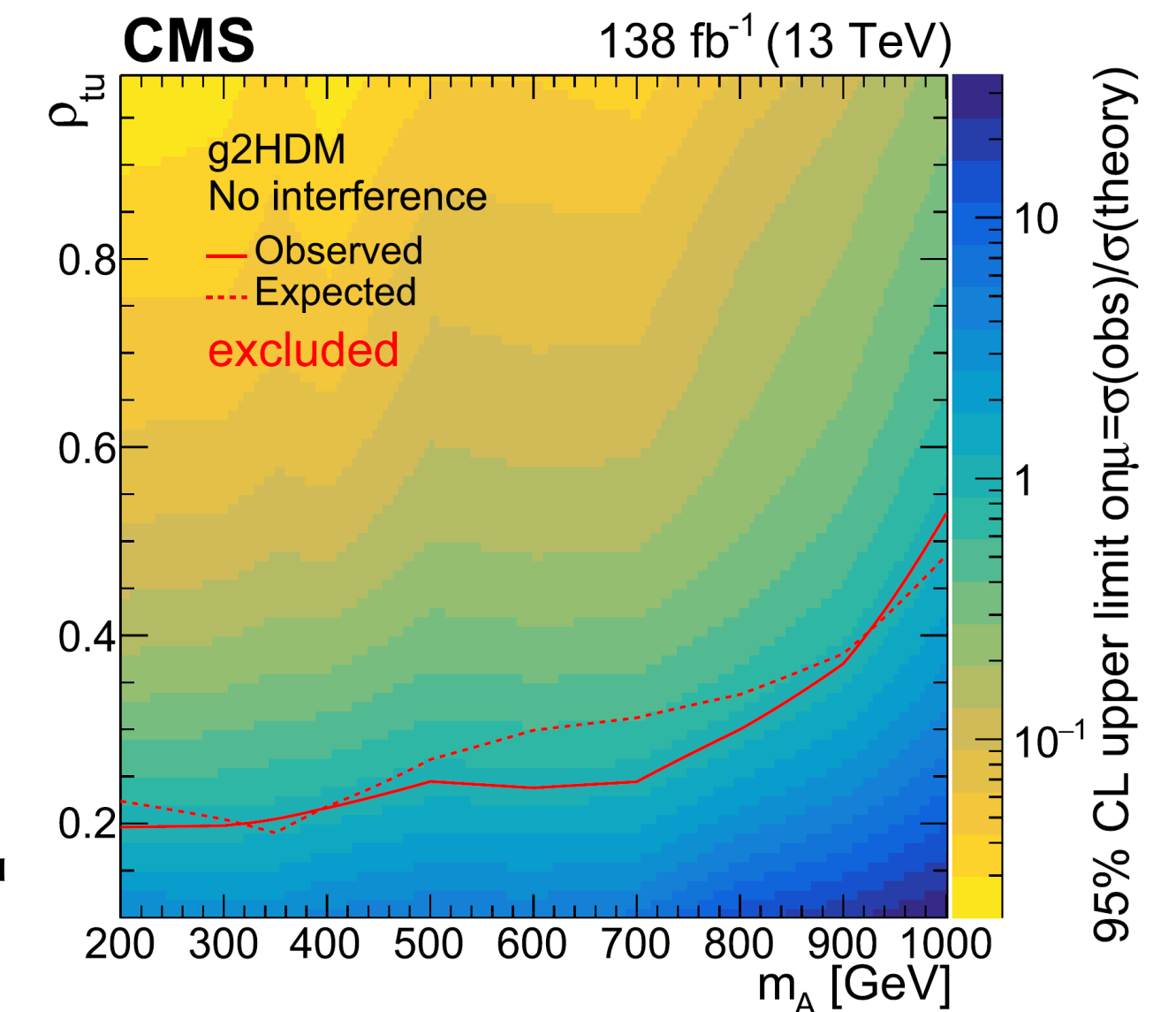
journal homepage: www.elsevier.com/locate/physletb

Letter

Search for new Higgs bosons via same-sign top quark pair production in association with a jet in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV

The CMS Collaboration *

CERN, Geneva, Switzerland



高质量双光子道新物理寻找

- 共振态及非共振态的探寻
- 对大额外维物理及RS引力子给出最强的限制
- 北大博士后Antonis Agapitos担当分析联络人

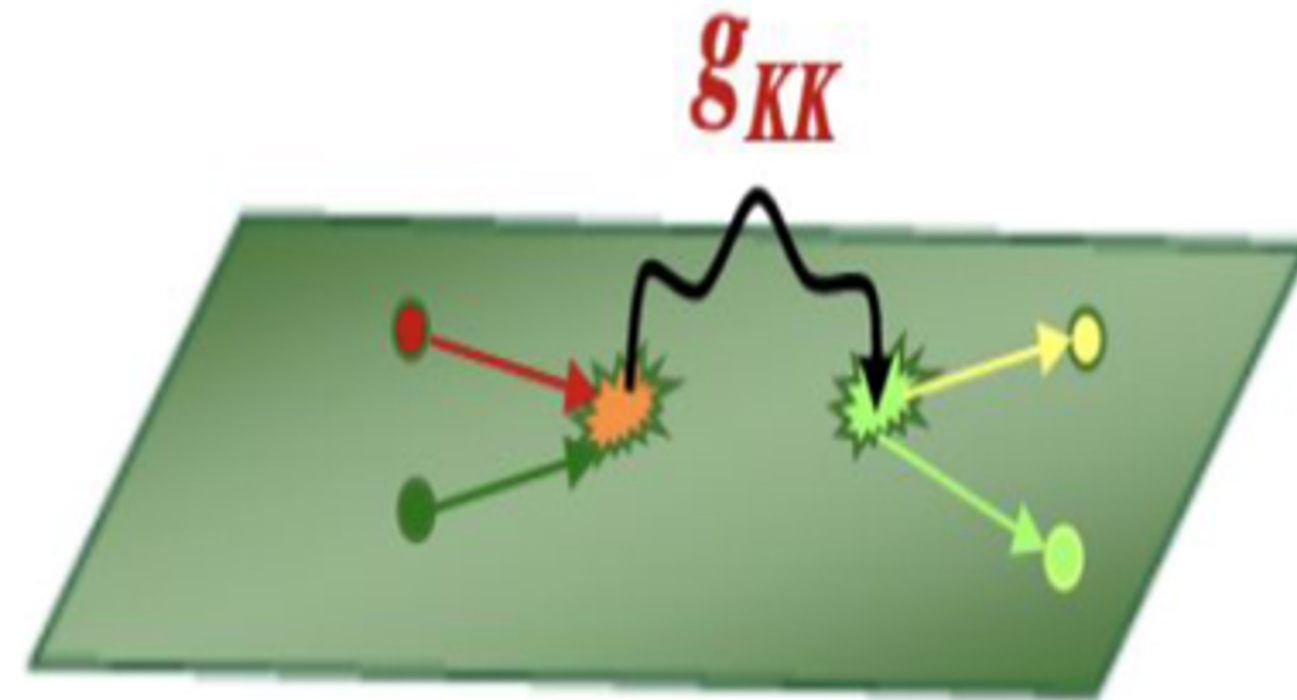
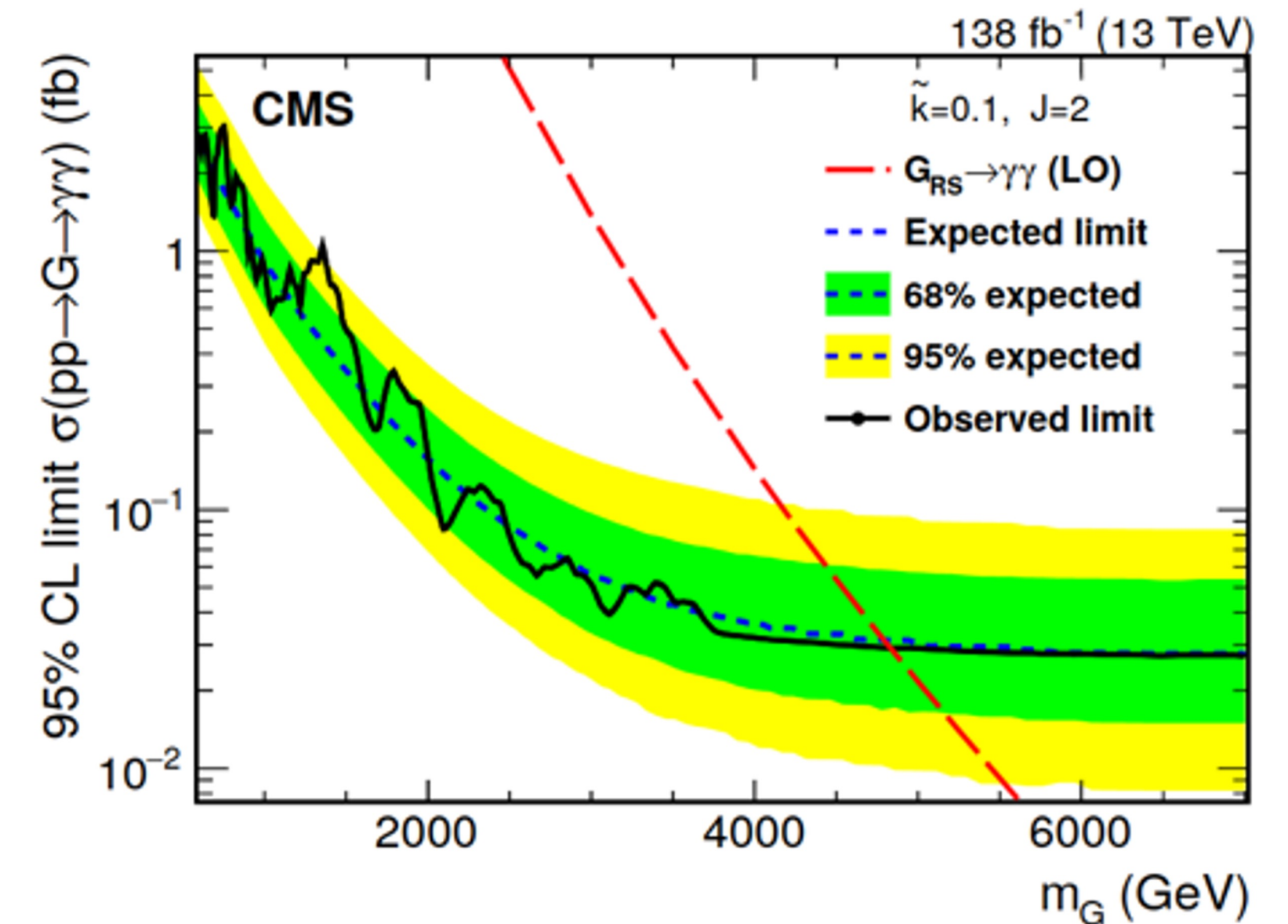


Table 1: The observed and expected lower limits on M_S in TeV at the 95% CL for different theoretical conventions of the ADD extra dimension model.

Signal:	GRW	Hewett		HLZ				
		negative	positive	$n_{ED} = 3$	$n_{ED} = 4$	$n_{ED} = 5$	$n_{ED} = 6$	$n_{ED} = 7$
Expected:	$8.7^{+0.7}_{-0.6}$	$7.3^{+0.3}_{-0.3}$	$7.8^{+0.6}_{-0.5}$	$10.3^{+0.8}_{-0.7}$	$8.7^{+0.7}_{-0.6}$	$7.9^{+0.6}_{-0.5}$	$7.3^{+0.6}_{-0.5}$	$6.9^{+0.6}_{-0.5}$
Observed:	9.3	7.1	8.3	11.1	9.3	8.4	7.8	7.4



CMS中国组物理分析结果

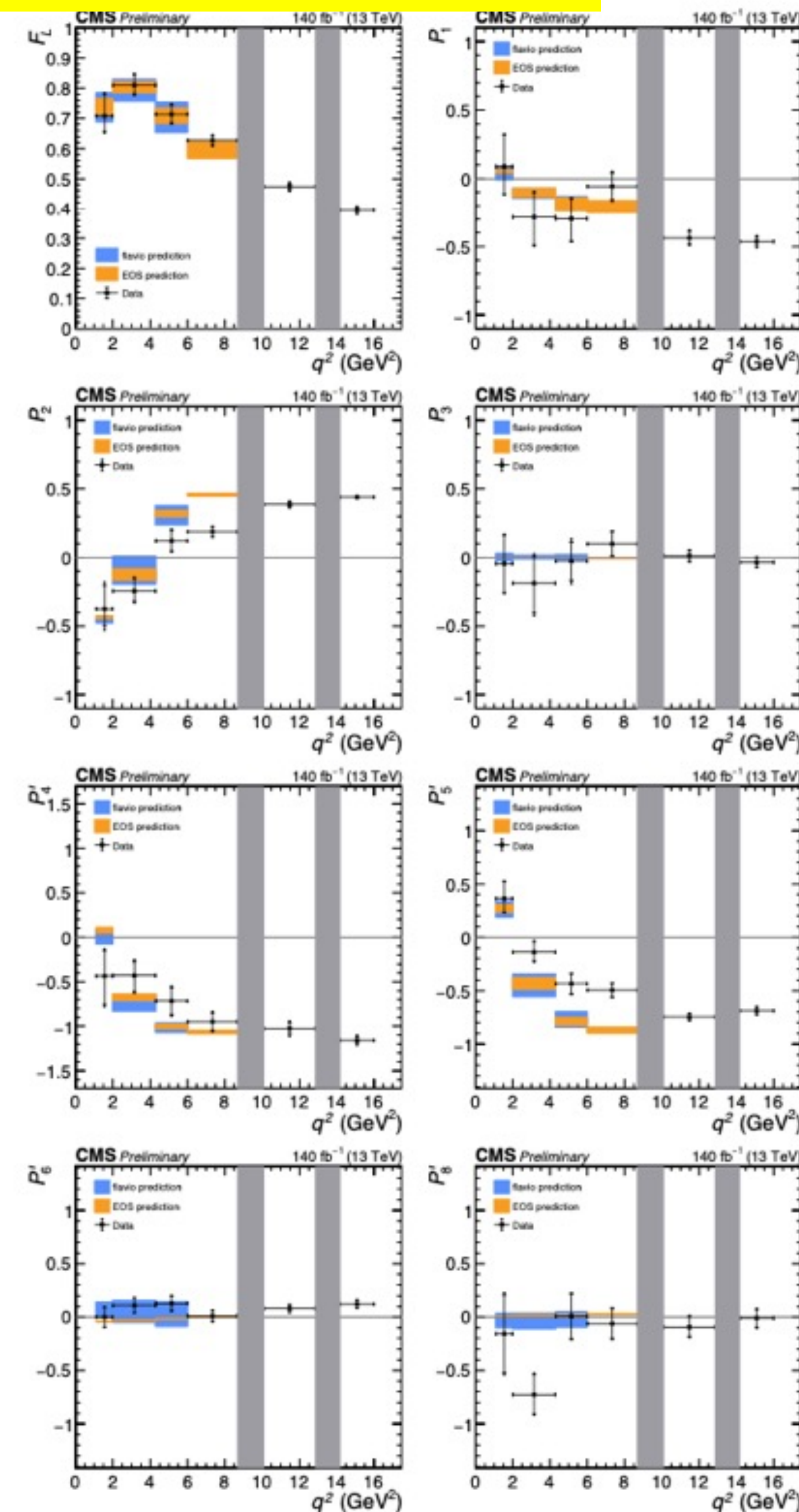
2023.11至今公开的物理结果 (22个)

- 希格斯性质测量: 2篇文章, 2篇arXiv, 2篇PAS
- 标准模型精确测量: 3篇文章, 1篇arXiv, 2篇PAS
- 新物理直接寻找: 5篇文章 (2篇刚accepted), 1篇arXiv
- **B物理: 1篇文章, 1篇PAS**
- 重离子对撞: 2篇PAS

总计: 11篇文章, 4篇arXiv, 7篇PAS

Run-2 $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$ 全角度分析

- $b \rightarrow sll$ 是味改变的中性流 (FCNC) 过程,在标准模型中树图水平是禁戒的, 通过更高阶的圈图发生
- 在许多超出标准模型的理论中得到增强: 新的粒子在树图或圈图水平有贡献.新物理会改变角参数, 衰变率.....
- 使用13 TeV, 积分亮度为139.5 fb⁻¹的数据在不同 q^2 区间内, 对 $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$ 衰变道进行全角度分析, 与标准模型的理论值进行对比
- 获得了该衰变过程观测量的**最精确测量**
- LHCP2024公开结果, 即将投稿
- **北大**博士生秦雪龙做**预审核报告**

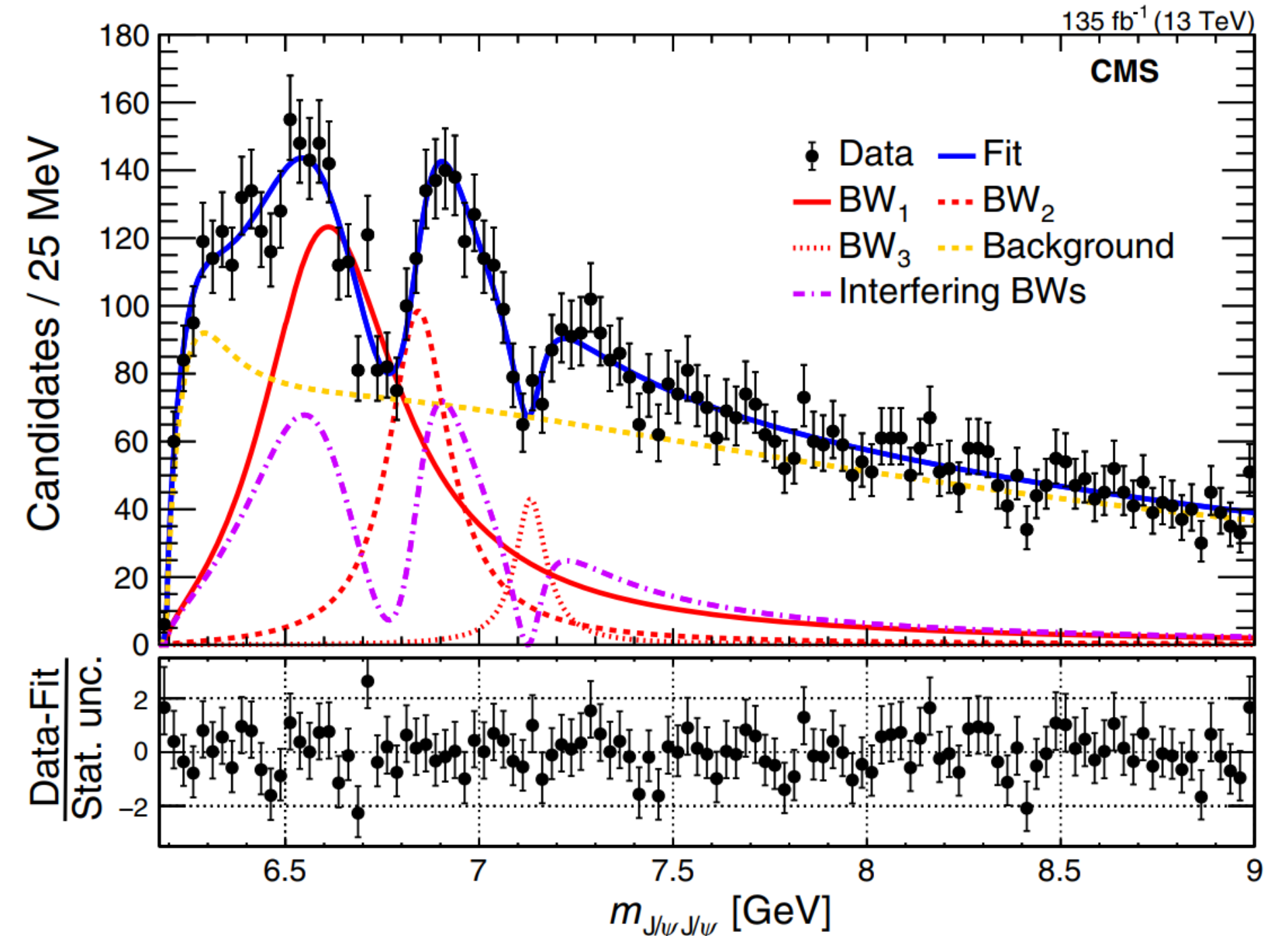


J/ψ J/ψ 质量谱发现新粒子

Phys. Rev. Lett. 132 (2024) 111901
PRL编辑推荐

南师、清华、复旦

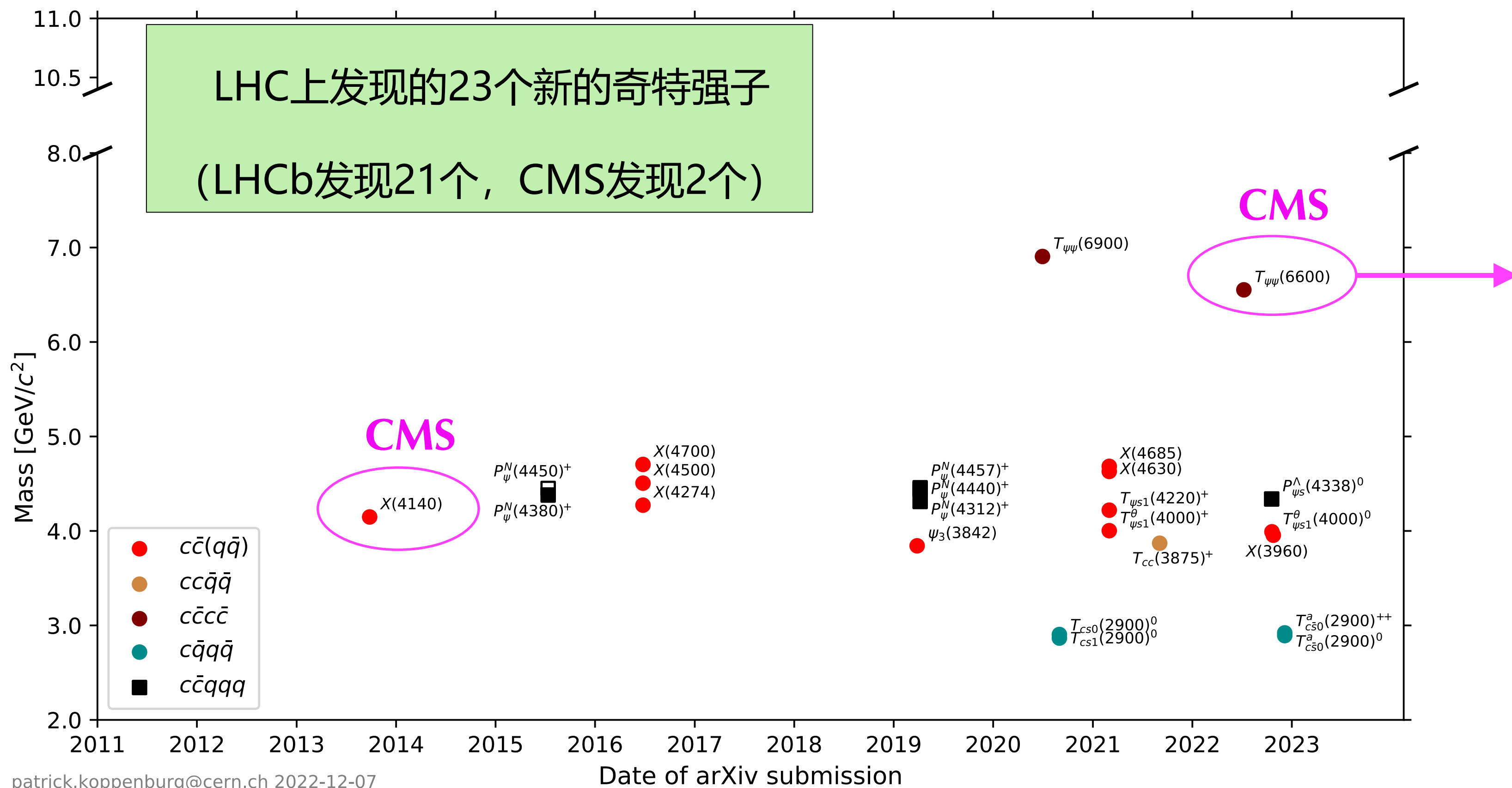
- 观测到3个可能的全粲四夸克态
 - X(6600) ($>5\sigma$) : 新共振态 (等待其他实验的检验)
 - X(7300) ($>3\sigma$) : Evidence
 - X(6900): 确认了LHCb实验2020年发现
- 3个峰干涉后更好地符合实验数据: 可能具有相同的“自旋宇称”量子数, 来自于同一家族
- 中国团队的原创主导贡献
 - 南师易凯分析联络人、张敬庆做预审核和审核报告、清华博士后Muhammad Ahmad做审核报告
 - 陈和生院士 “.....30年以来, 这是第一次由一个中国CMS团队主导发现新粒子, 而且是意料之外的粒子。”



		BW ₁	BW ₂	BW ₃
No interference	m (MeV)	$6552 \pm 10 \pm 12$	$6927 \pm 9 \pm 4$	$7287^{+20}_{-18} \pm 5$
	Γ (MeV)	$124^{+32}_{-26} \pm 33$	$122^{+24}_{-21} \pm 18$	$95^{+59}_{-40} \pm 19$
	N	470^{+120}_{-110}	492^{+78}_{-73}	156^{+64}_{-51}
Interference	m (MeV)	6638^{+43+16}_{-38-31}	6847^{+44+48}_{-28-20}	7134^{+48+41}_{-25-15}
	Γ (MeV)	$440^{+230+110}_{-200-240}$	191^{+66+25}_{-49-17}	97^{+40+29}_{-29-26}

正在进行自旋、宇称、截面测量

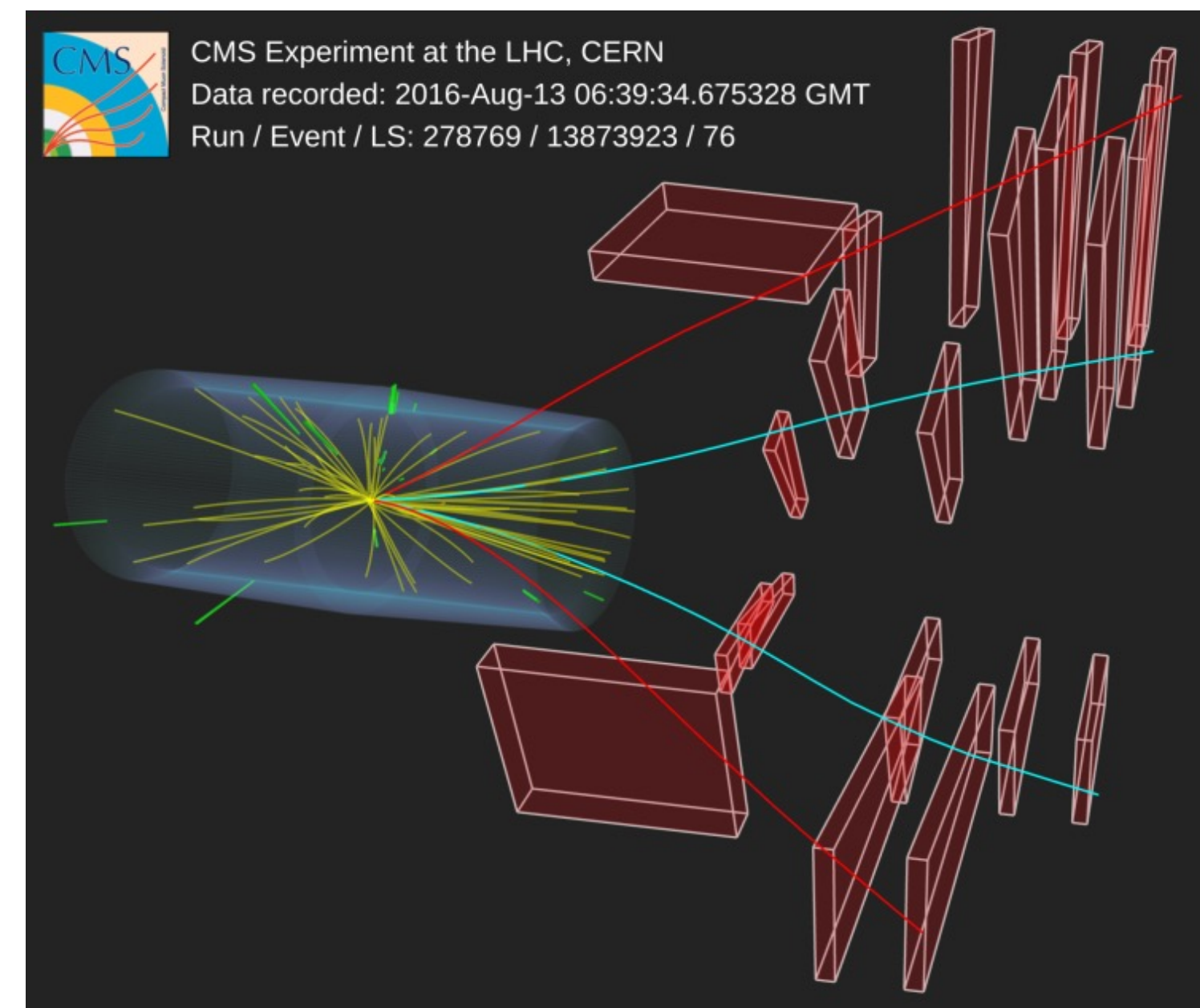
LHC上新发现的奇特强子



CMS合作组新闻

<https://cms.cern/news/cms-observes-potential-family-tetra-quark-states-composed-only-charm-quarks>

CMS X(6600) event display



CPL撰写特邀综述

“Experimental Road to a Charming Family of Tetraquarks...and Beyond”

Feng Zhu, Gerry Bauer, Kai Yi

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0256-307X/41/11/111201>

详见[朱峰报告](#)

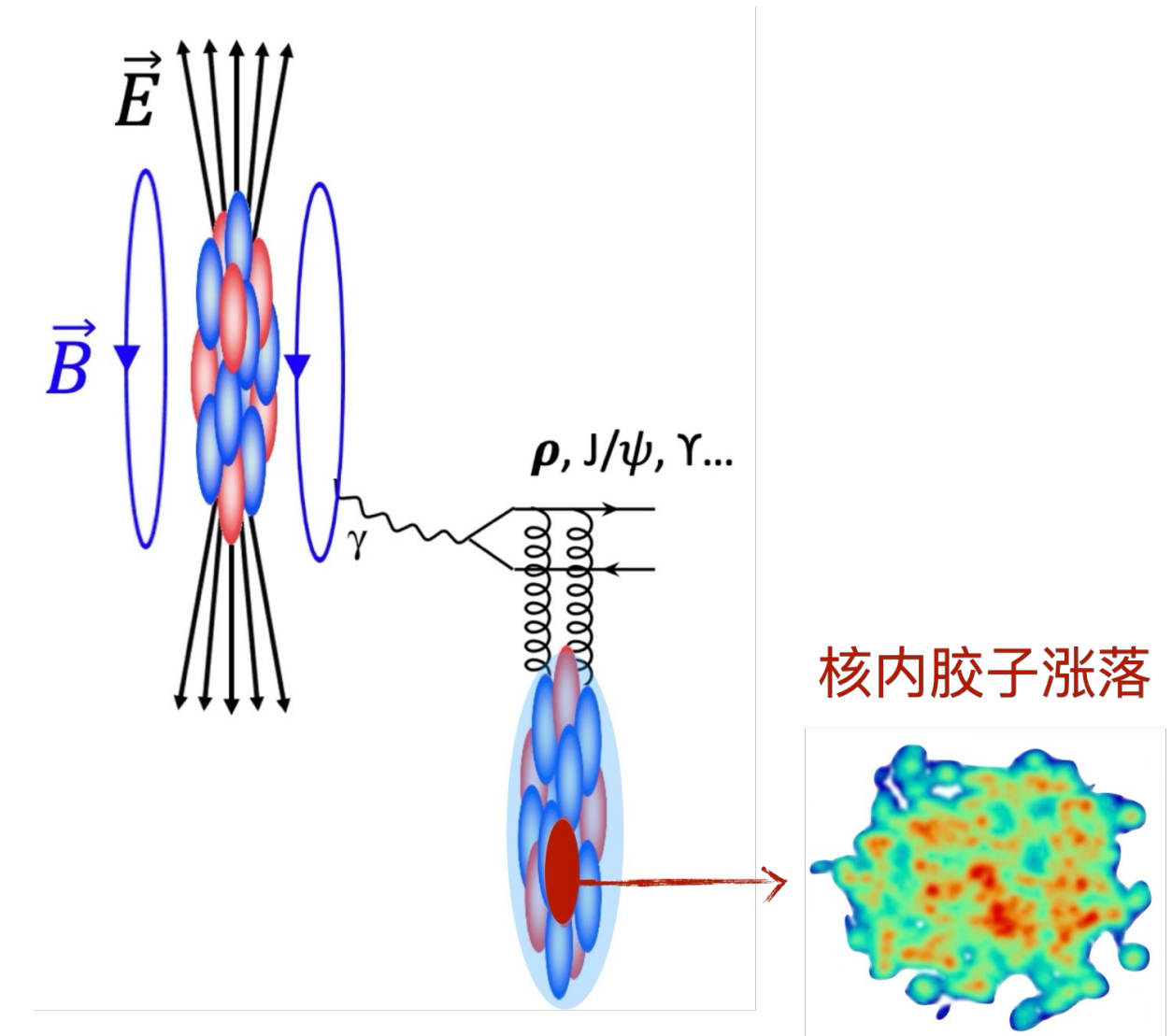
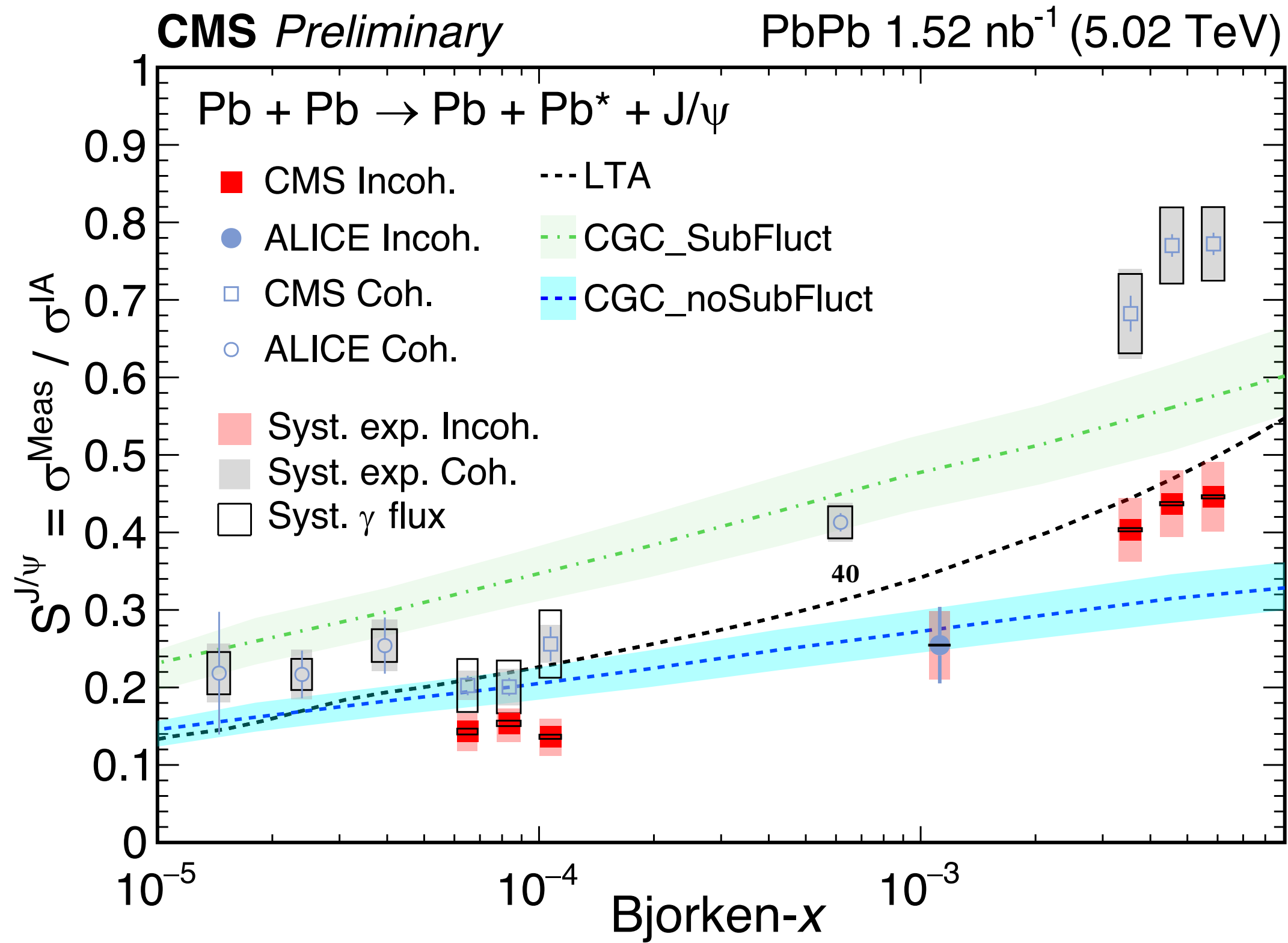
CMS中国组物理分析结果

2023.11至今公开的物理结果 (22个)

- 希格斯性质测量: 2篇文章, 2篇arXiv, 2篇PAS
- 标准模型精确测量: 3篇文章, 1篇arXiv, 2篇PAS
- 新物理直接寻找: 5篇文章 (2篇刚accepted), 1篇arXiv
- B物理: 1篇文章, 1篇PAS
- **重离子对撞: 2篇PAS**

总计: 11篇文章, 4篇arXiv, 7篇PAS

非相干光致 J/ψ 产生

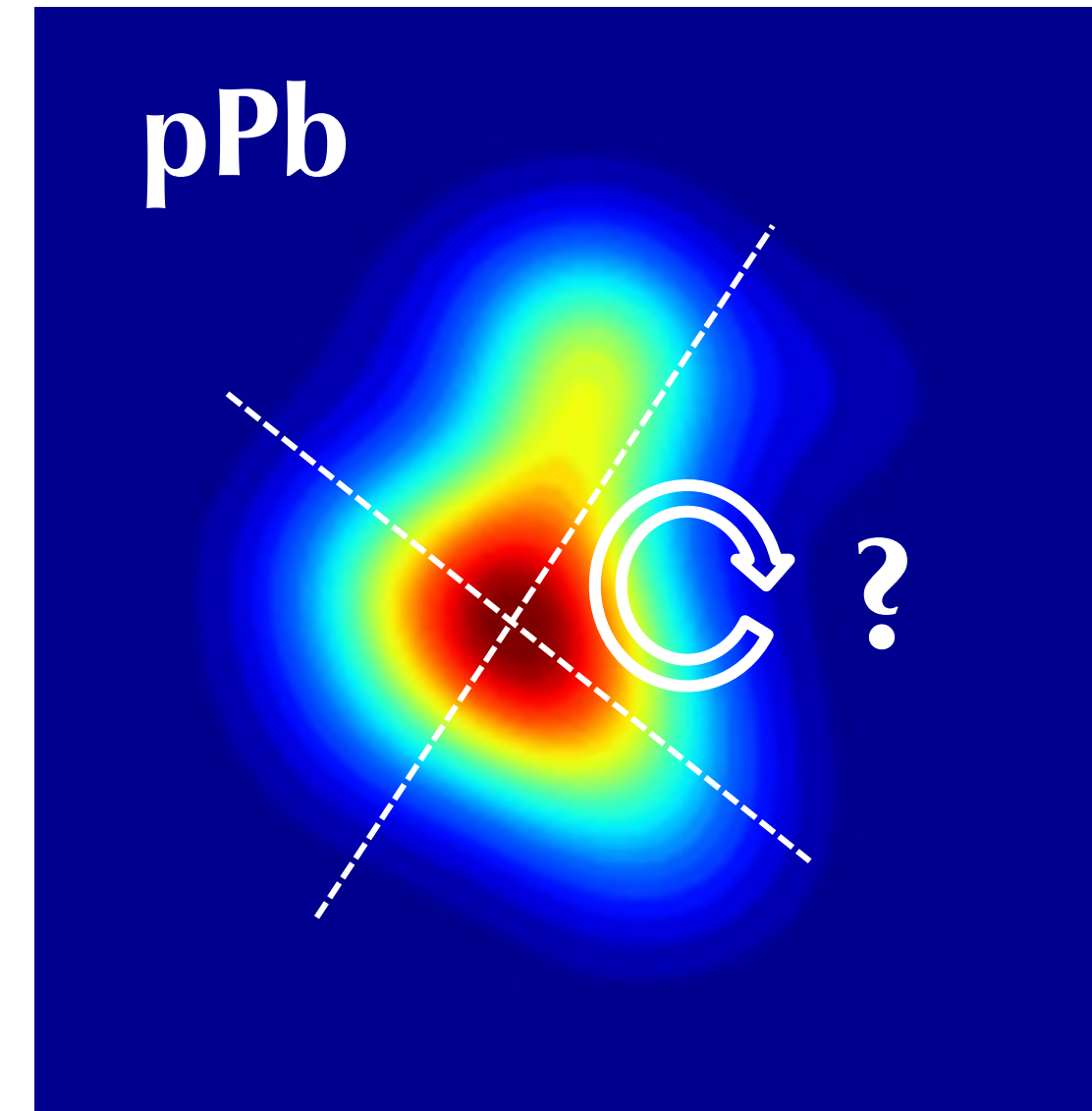
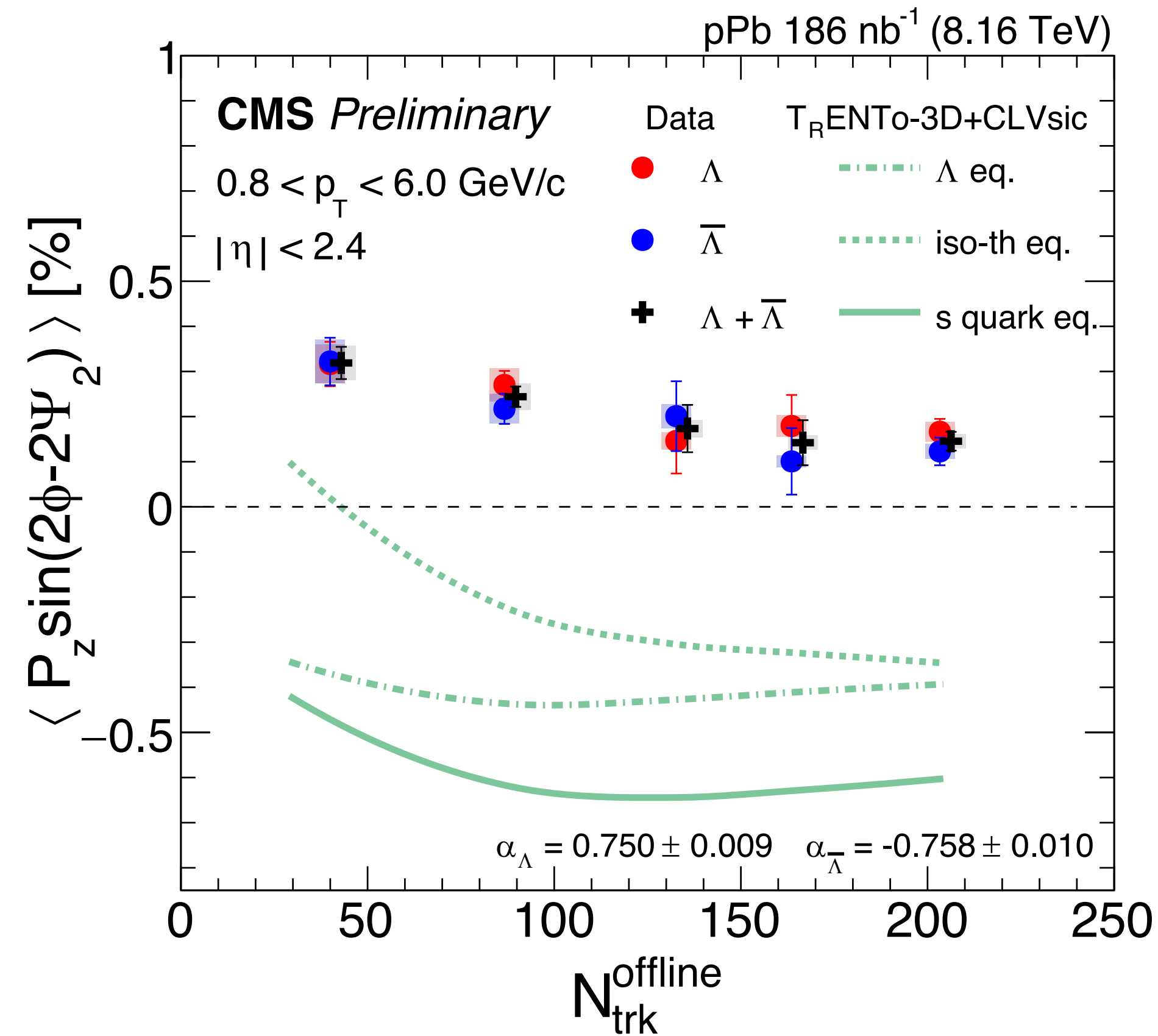


- 华南师大主要贡献作者: 叶早晨, 杨帅。叶早晨担任分析联络人, 做预审核、审核报告

首次观察到非相干光致产生J/ψ截面的能量依赖性

- 非相干光致产生J/ψ与相干光致产生J/ψ的比值无明显能量依赖性
- 在大x (低能量) 区间, 非相干光致产生J/ψ比相干光致产生J/ψ压低更大
- 在小x (高能量) 区间, 非相干光致产生J/ψ与相干光致产生J/ψ具有相当的压低程度

小碰撞系统中的超子极化



- 山东大学主要贡献作者: 陈震宇, 张金龙, 李辰艳。李辰艳担任分析联络人, 做预审核、审核报告

首次观测到质子-铅核碰撞中超子沿束流方向的局域极化现象

- Lambda超子沿束流方向的局域极化强度随事例多重数降低而升高
- 现有重离子碰撞涡旋极化理论模型无法解释测量结果



探测器性能、算法

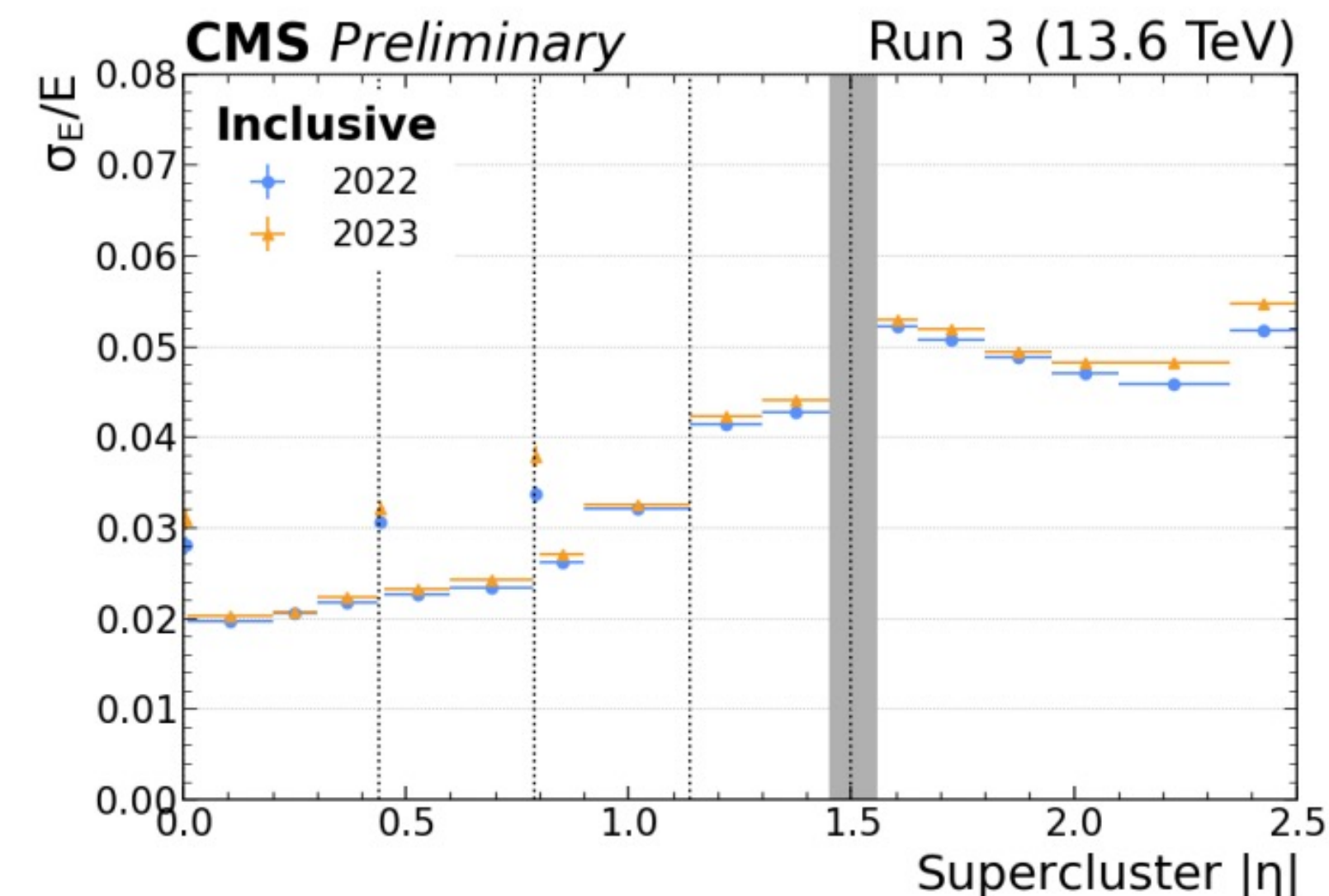
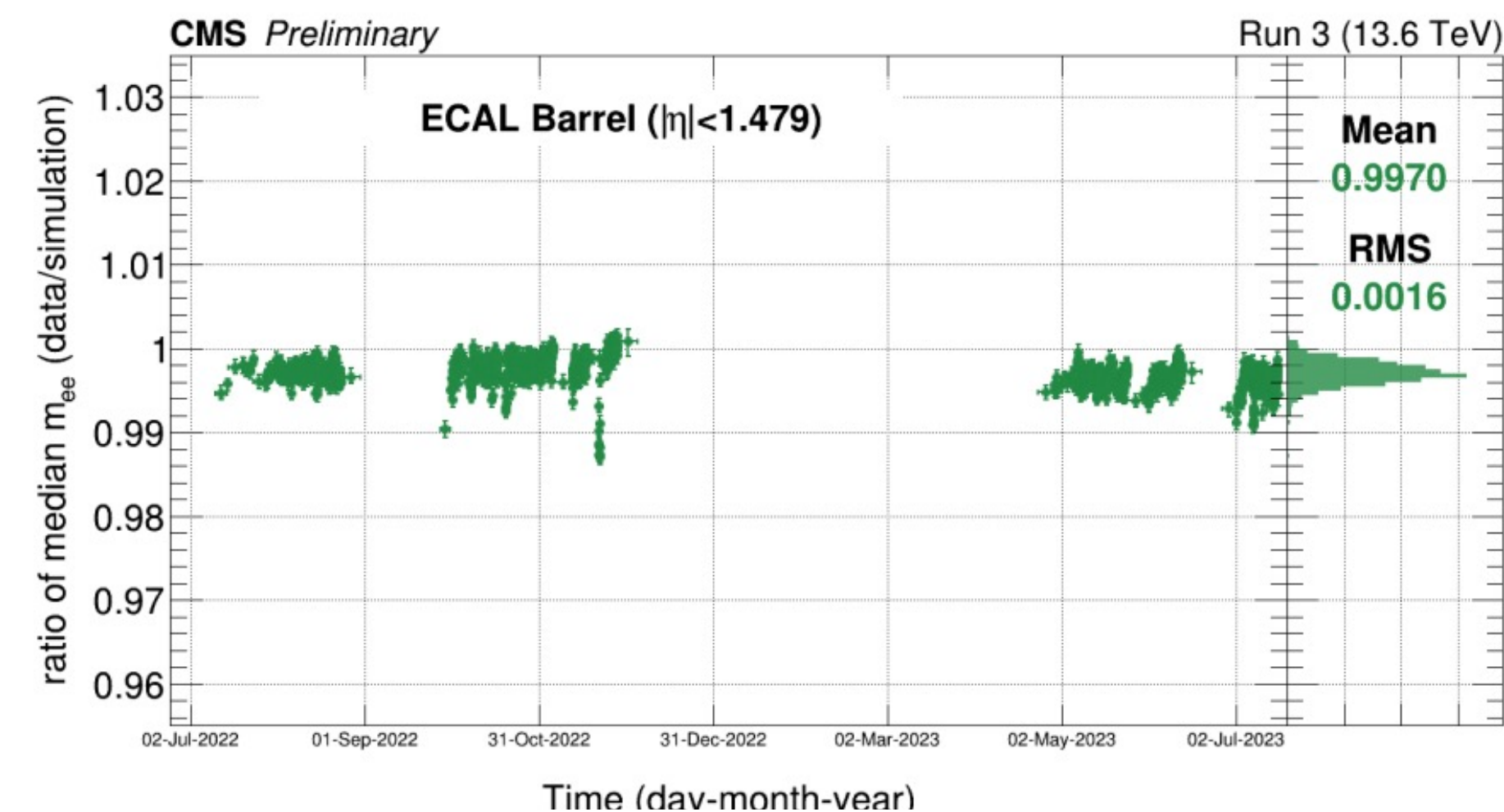
Run3 探测器性能研究

CMS DP-2024/022
作为SCINT会议的Proceeding投稿到IEEE-
Transactions on Nuclear Science

高能所

详见张杰报告

- 探测器刻度与性能研究
 - 改进电子/光子能量分辨率, 稳定探测器的时间响应
 - 精确测量希格斯、顶夸克等粒子性质的先决条件
- CMS实验电磁量能器性能组主要贡献者
 - 王锦担任CMS电磁量能器性能组L2总召集人 (2023至今)
 - 负责CMS Run3电磁量能器在线和离线刻度关键任务
 - 开发在线电磁量能器性能监控工具及自动化探测器刻度软件
 - 更新维护CMS探测器数据库
- CMS电磁量能器最新发表了Run 3性能研究
 - 主要贡献: 高能所审核报告
- 相关结果在第十七届国际闪烁体材料与应用会议 (SCINT2024) 上做了汇报



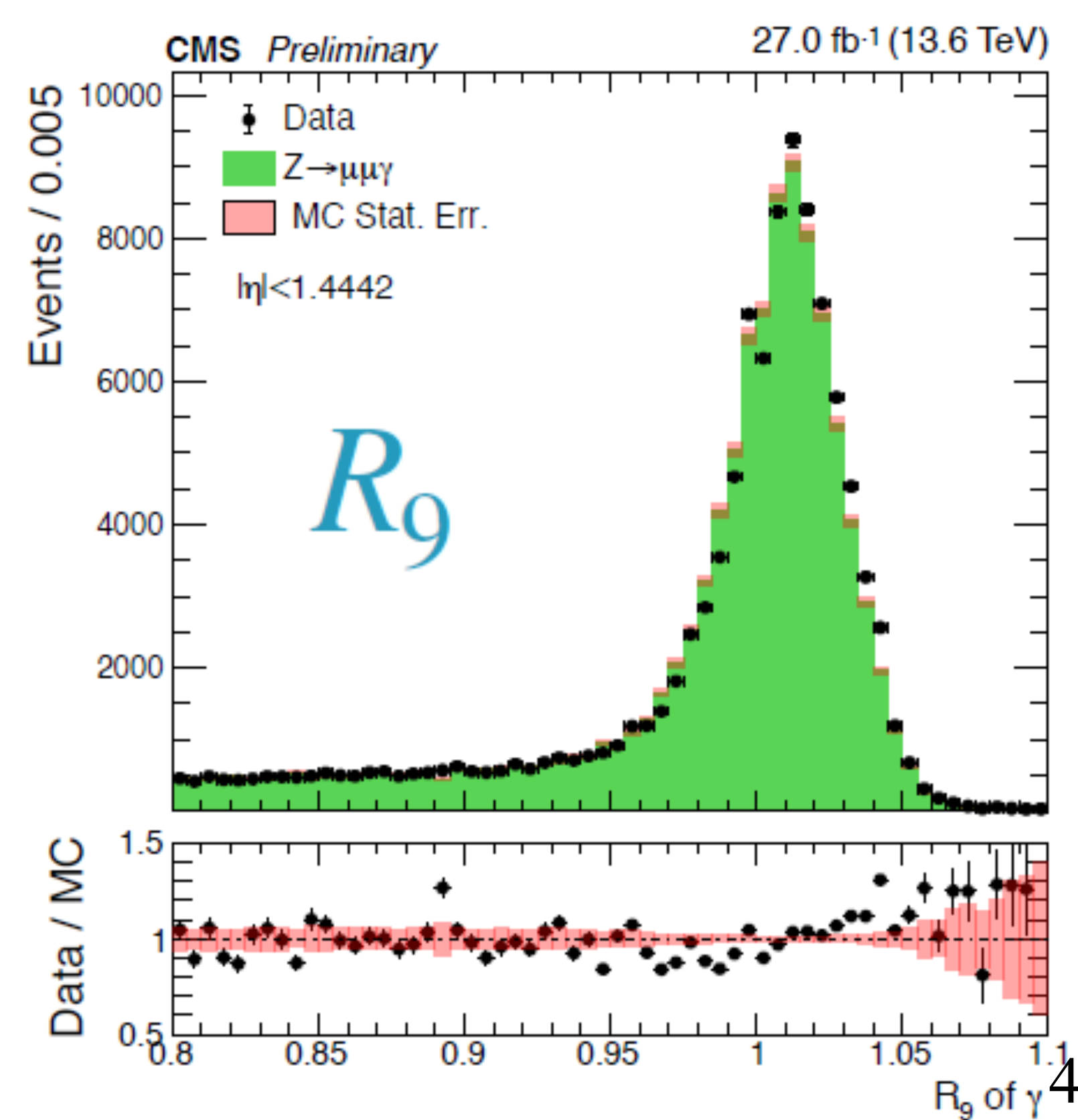
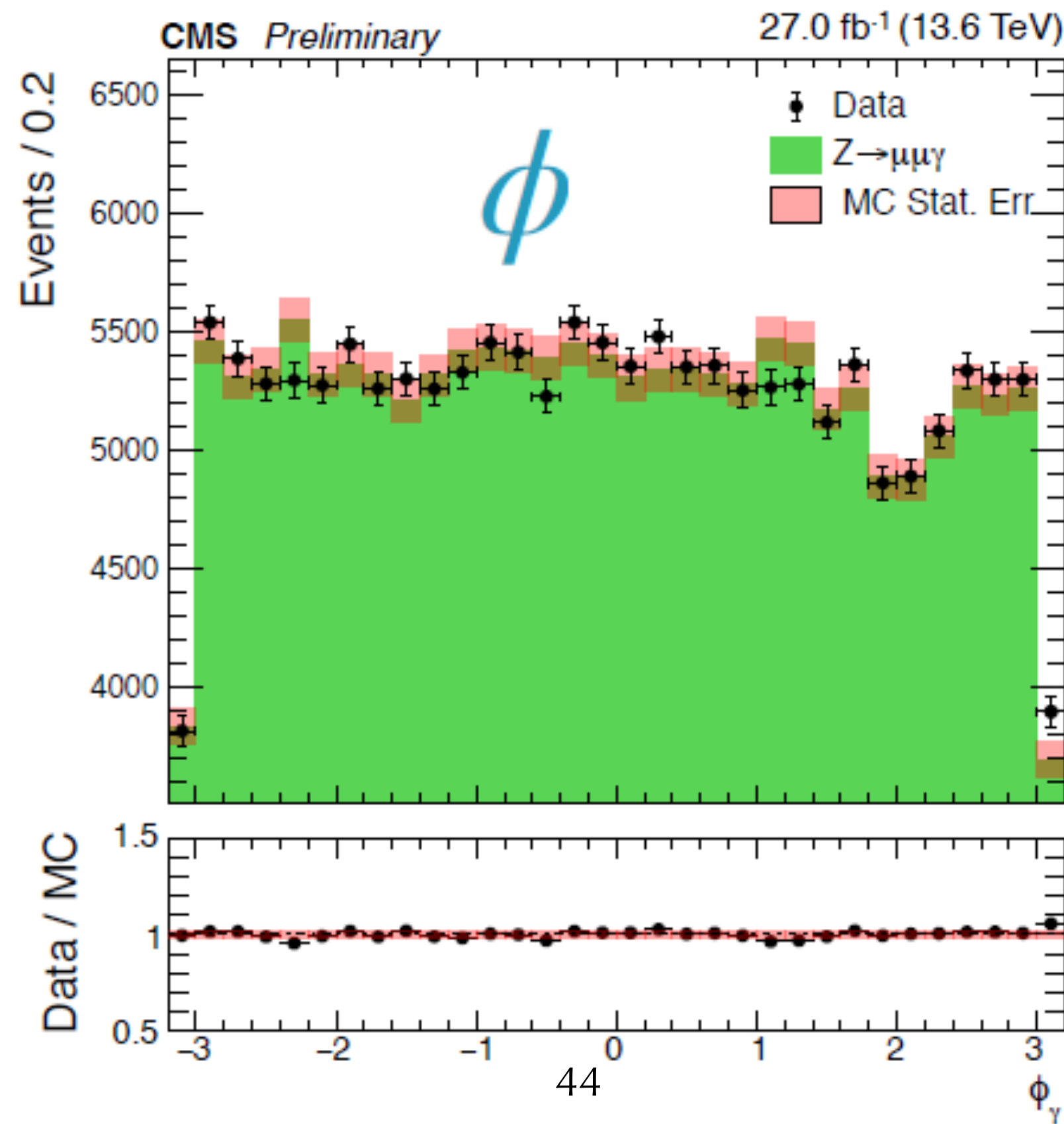
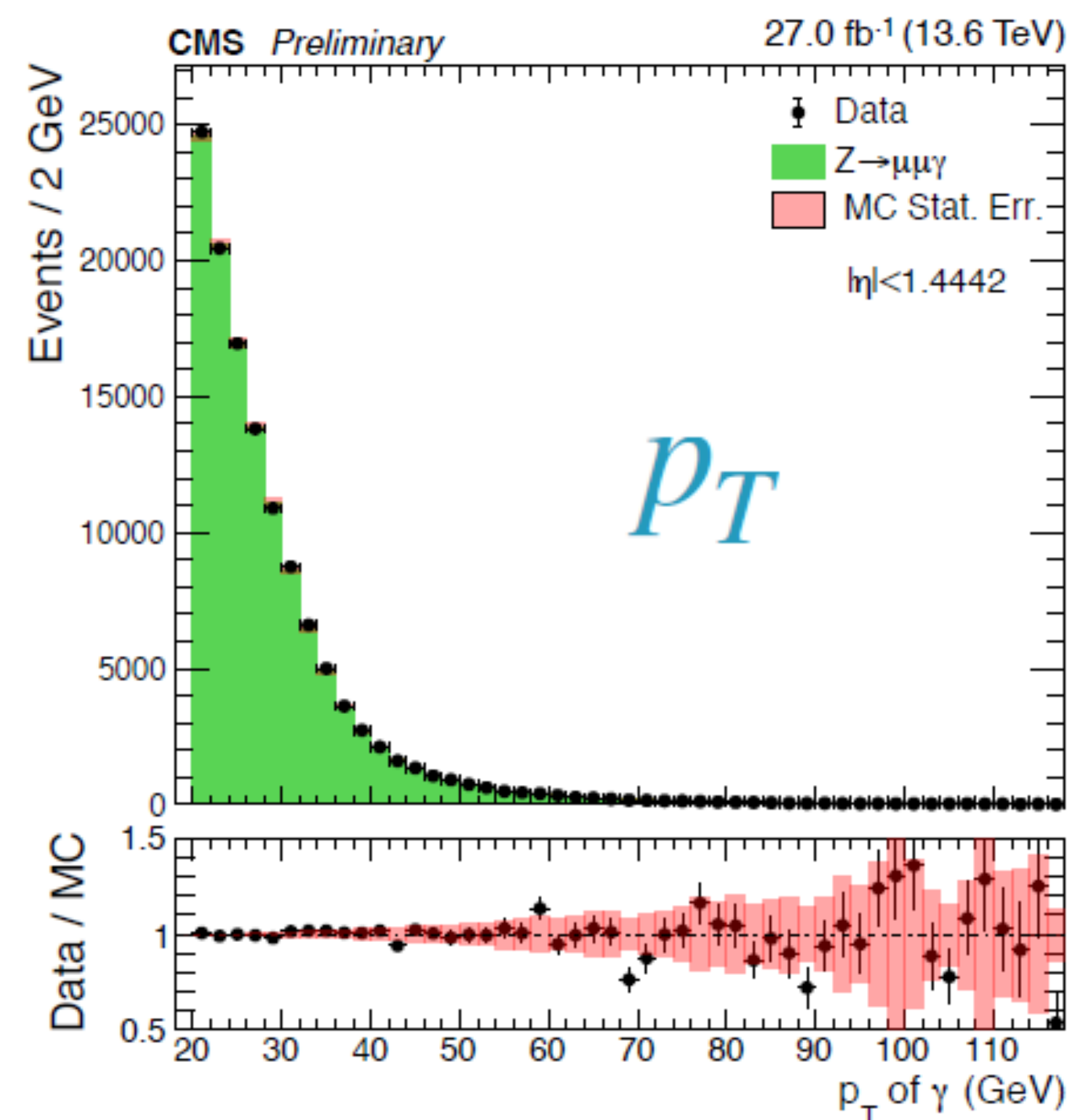
Run3 电子和光子的性能研究

CMS DP-2024/052
ICHEP2024公开

高能所

详见[宋绍炜报告](#)

- 高能所团队成员贡献于Run3电子和光子重建和鉴别等性能研究
 - 利用来自 $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$ 的真实光子验证光子的重建和鉴别以及经典变量MC模拟和真实数据的对比、光子刻度和鉴别的验证等

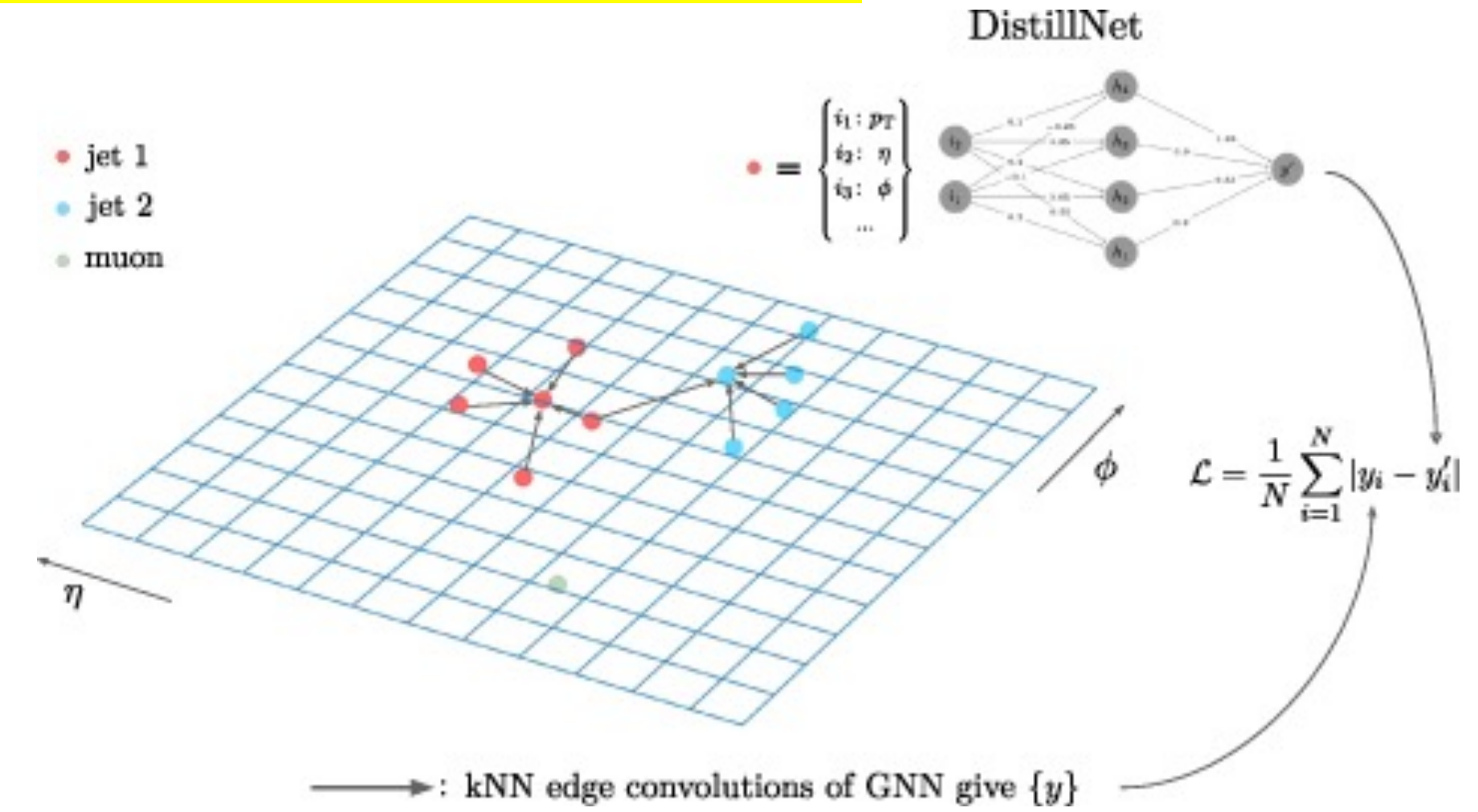


高能物理实验中粒子快速重建

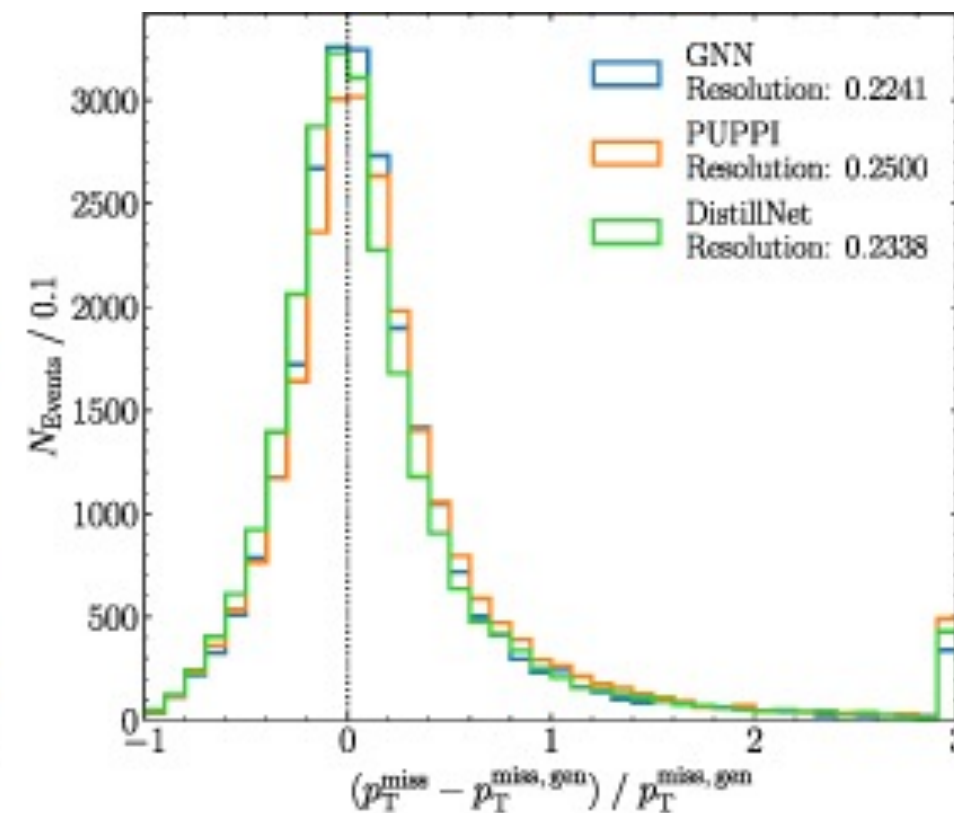
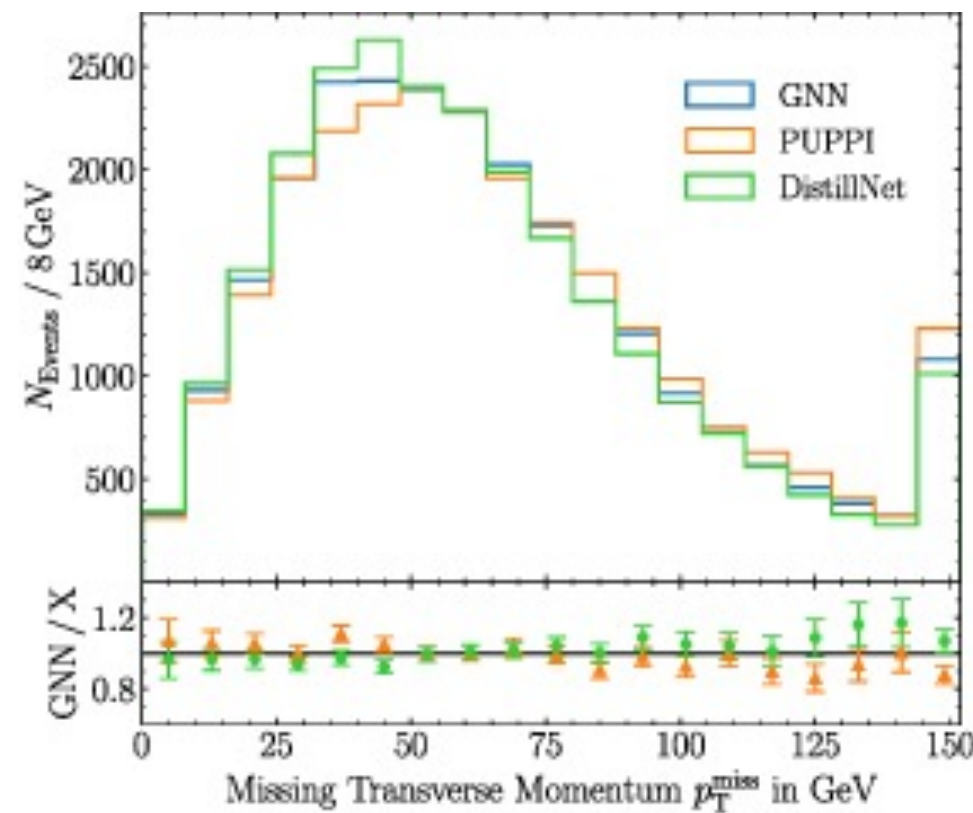
Mach. Learn. Sci.
Tech. 5 (2024) 025033

高能所

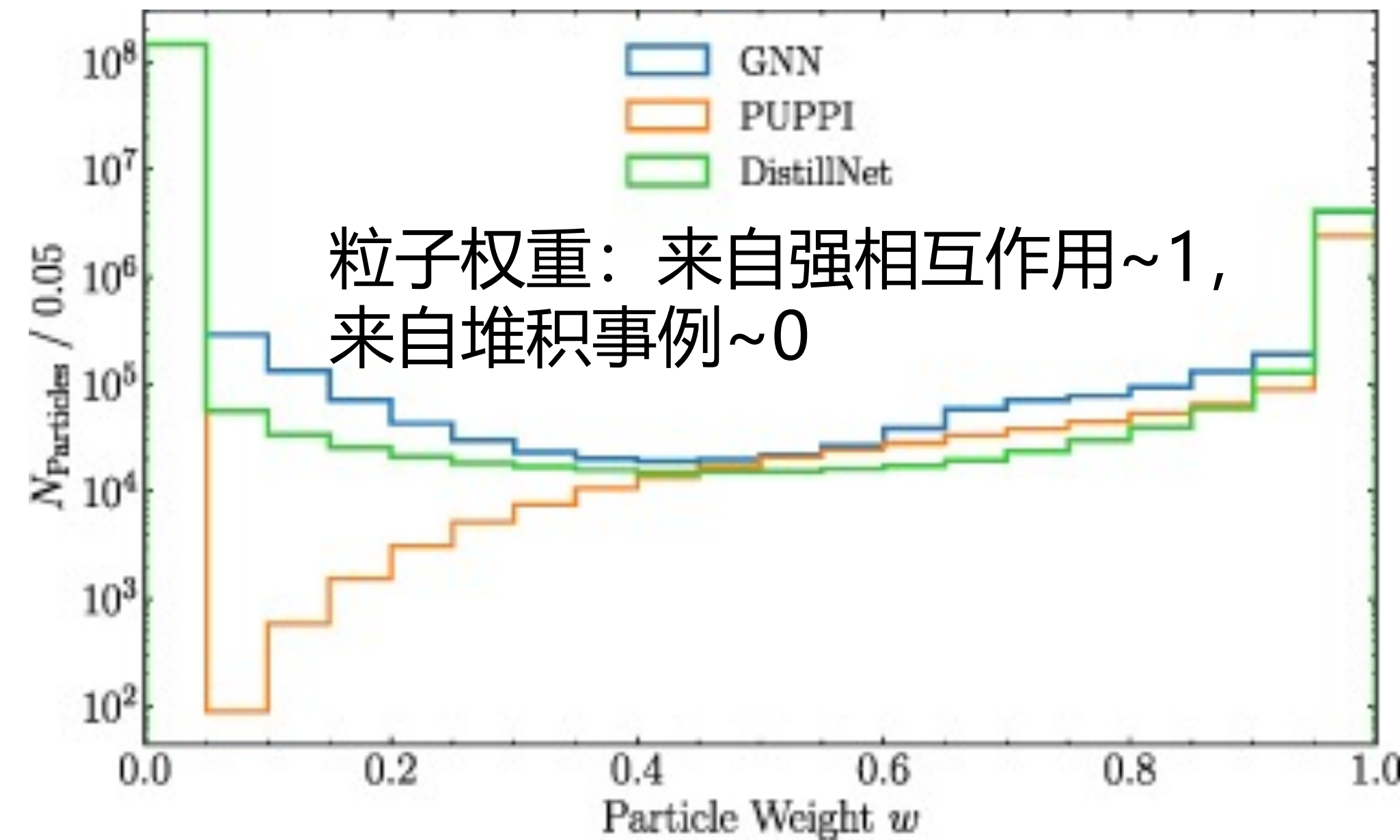
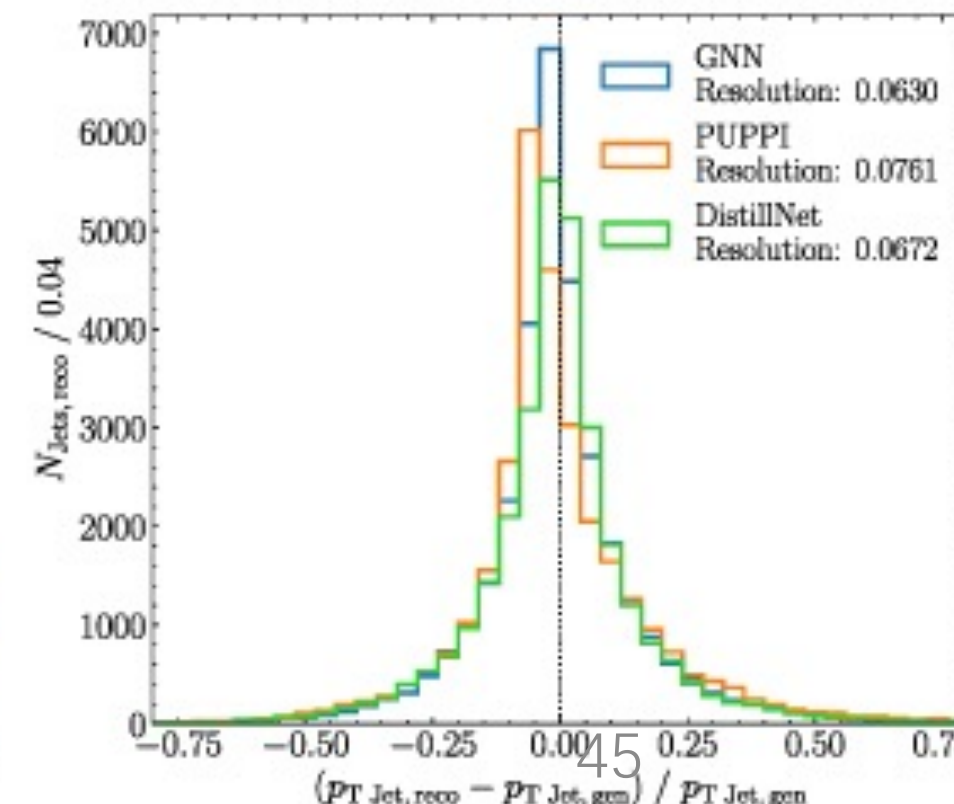
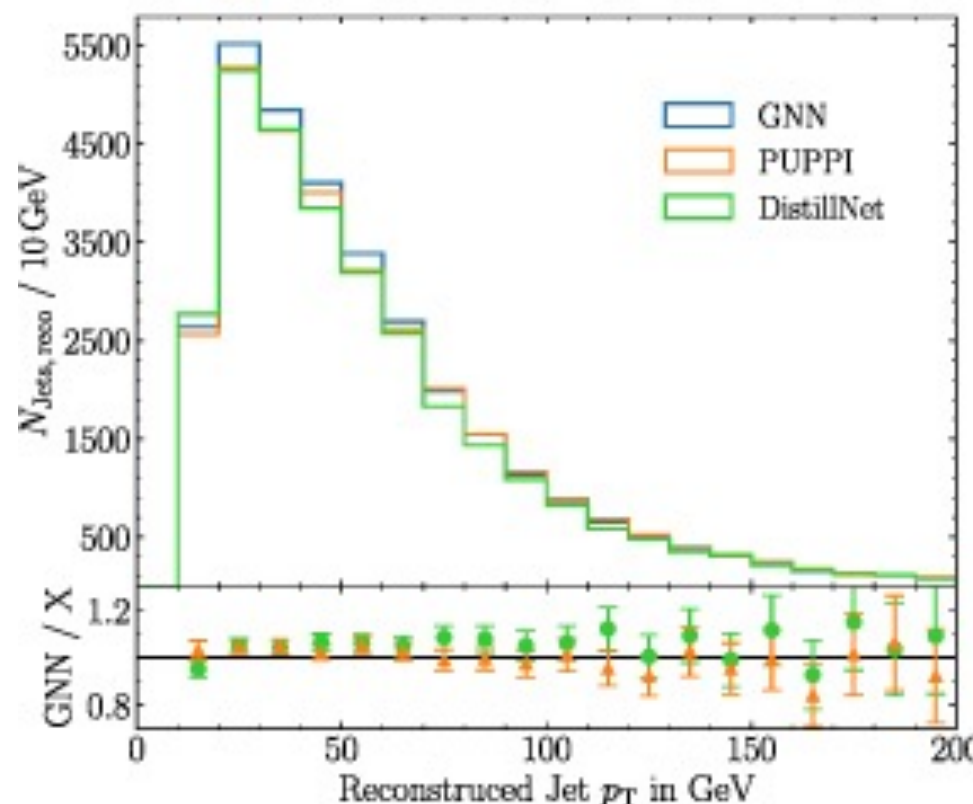
高能所博士后Fabio Lemmi与同行发展了一种基于深度神经网络的机器学习方法“DistillNet”，来对粒子进行快速重建，提升了粒子重建的能力和计算速度



MET重建性能

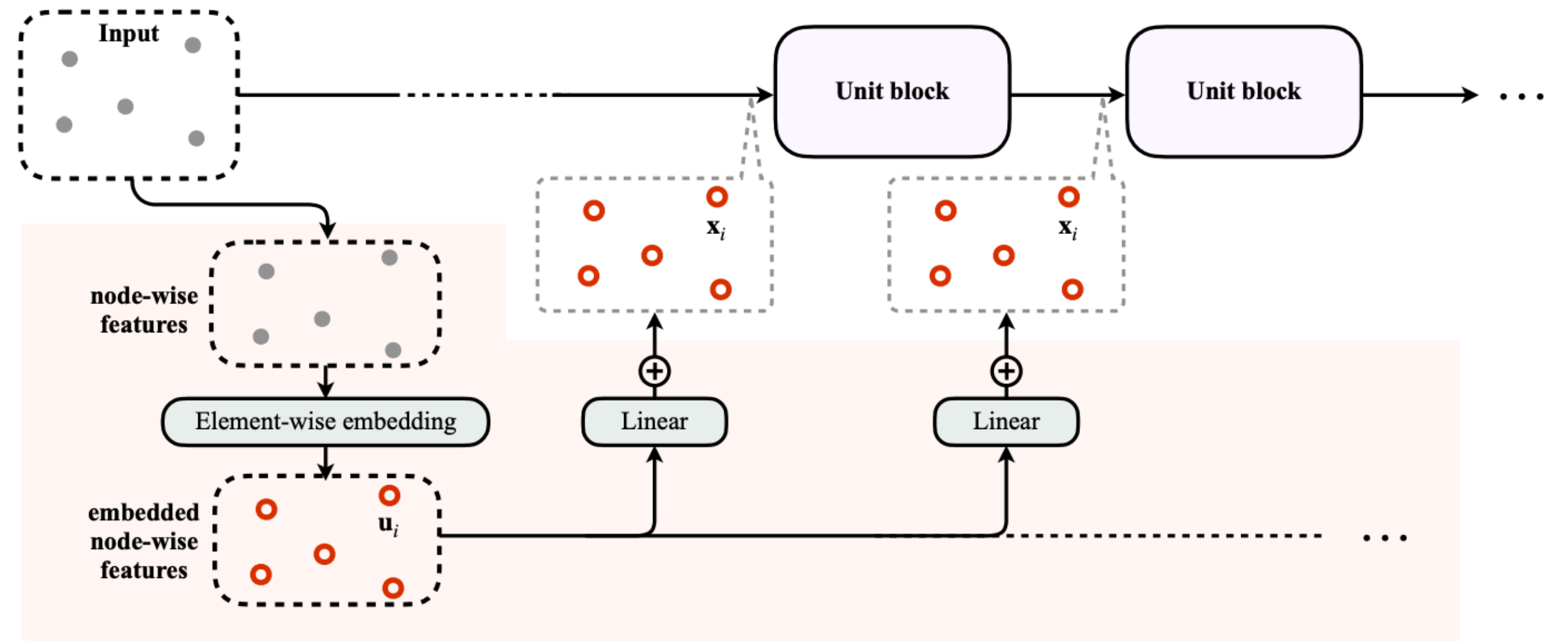
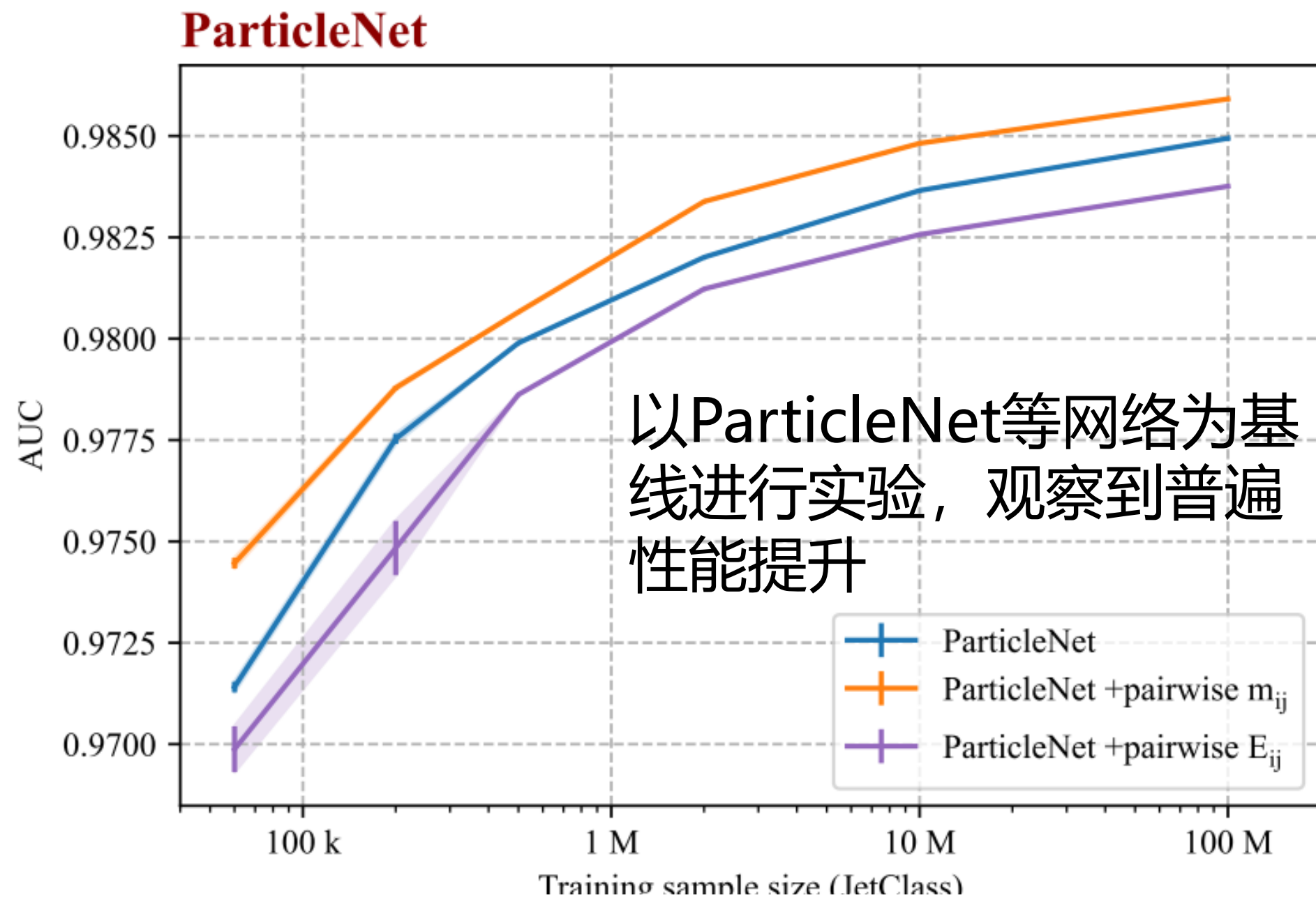


Jet重建性能



高能物理实验中喷注标记算法

北大团队与CERN、微软亚研院同行发现了一类可提升喷注标记神经网络性能的“通用方法”：在网络中添加遵守洛伦兹对称性或其子对称性的变量



Pairwise variable	$z-t$ boost	$x-y$ rotation	$y-z$ rotation ($y_{y,z} \sim o(1)$)	$x-t$ boost ($y_{y,z} \sim o(1)$)	z tilt ($y_{y,z} \sim o(1)$)	y tilt ($y_{y,z} \sim o(1)$)
m_{ij}^2	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ΔR_{ij}	✓	✓	✓			
$\Delta R_{ij}(p_{T,i} + p_{T,j})$	✓	✓	✓	✓		
E_{ij} (ablation study)		✓	✓			

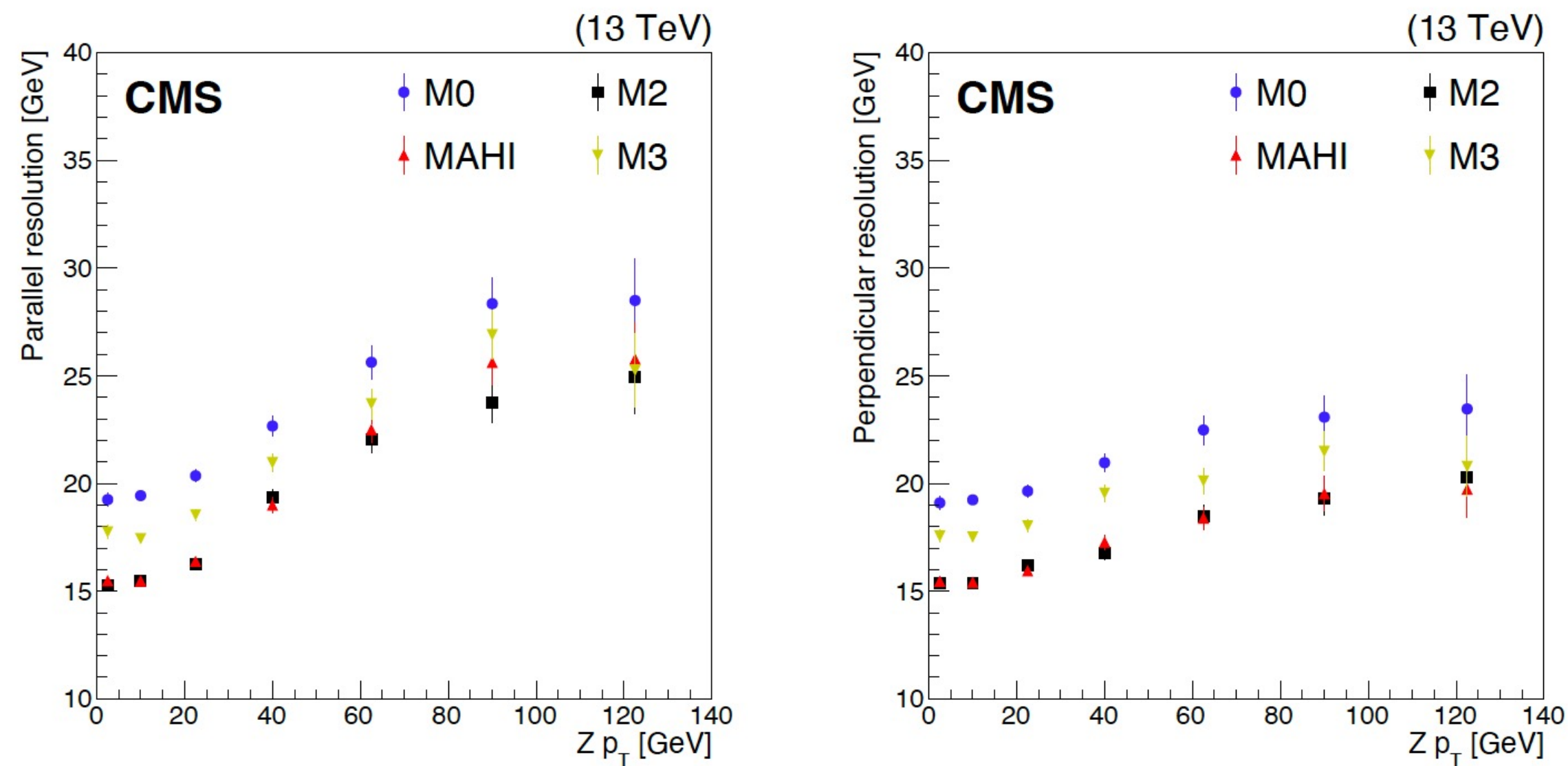
遵守洛伦兹对称性的变量 (m_{ij}) 与子对称性的变量

强子量能器的探测器性能

JINST 18 (2023) P11017

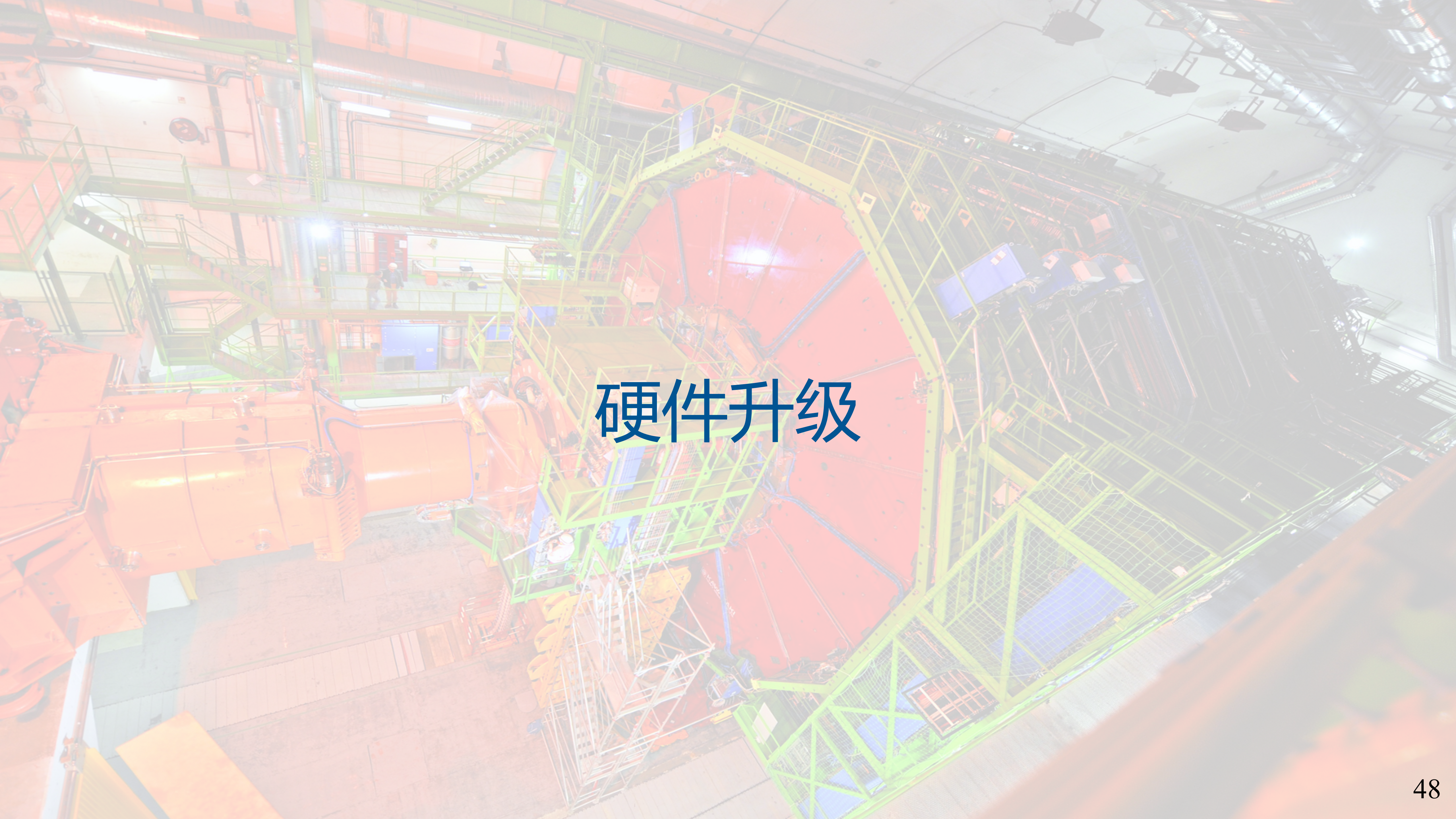
南师

详见王徽报告



- CMS强子量能器的重建算法
 - 多种算法的原理介绍
 - 重建算法的性能研究
- 南师王徽为分析联络人，并做审核报告

- 王徽在强子量能器组从事领导工作多年
 - 2020-2022: L3 召集人
 - 2022-2024: L2 召集人
- 于今年获得 CMS Award

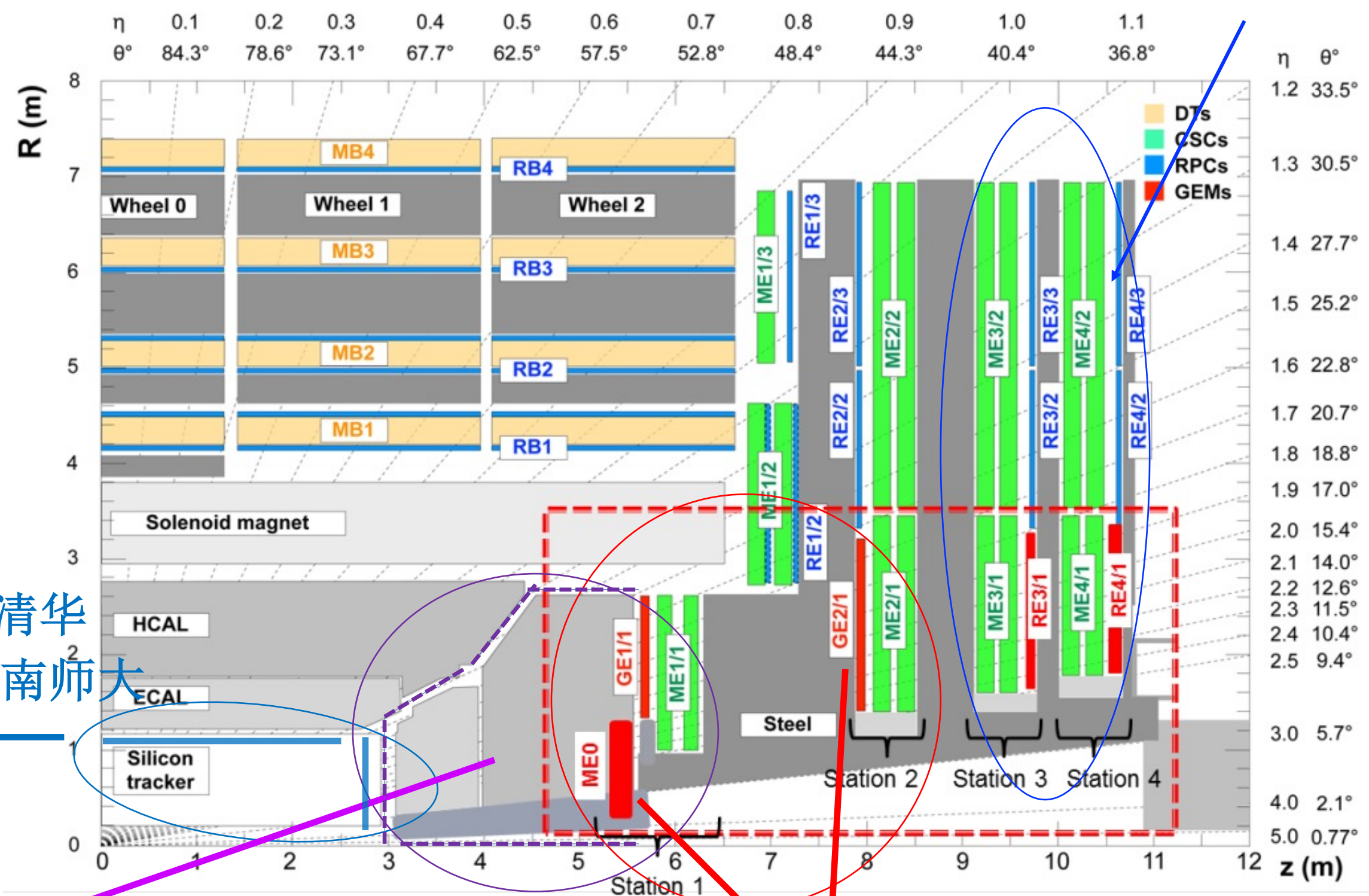


硬件升级

硬件升级

详见班勇报告

高能所
RPC/iRPC BE/TRG



北大/北航/清华
/科大/山大/华南师大

MTD

高能所/清华/浙大/复旦/南师
HGCal

北大/中山/北航/清华
GEM

CMS中国组承担的四个硬件项目

- 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

HGCal 硅模块年度进展：2024

详见[王峰](#)、[崔志鹏](#)、[侯宝瑞](#)报告

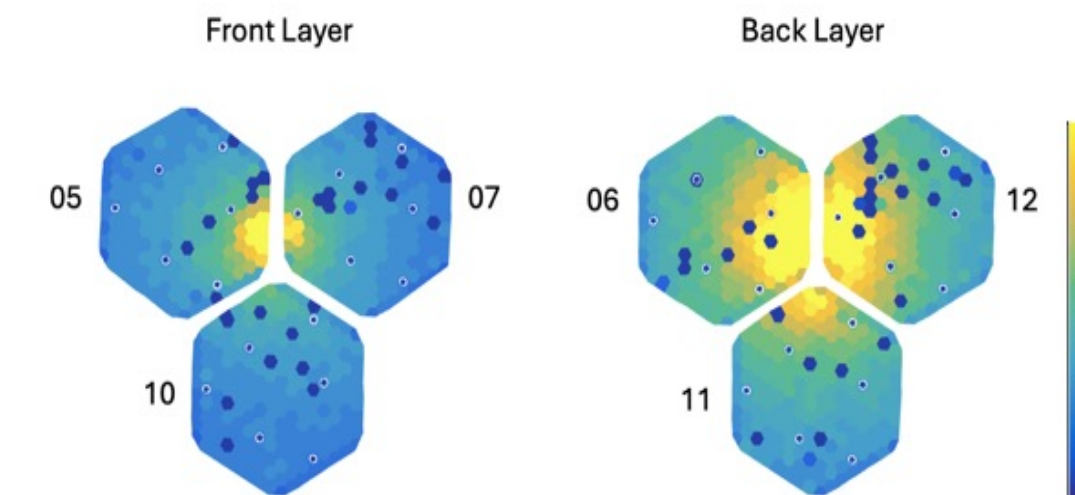
高能所、清华
浙大、复旦、南师

- IHEP: ~0.8 m² silicon module produced with different processes since 2023/1

	Module produced	Type	Grade A	Not Grade A		
				Bad IV	Bad Readout	Bad placement
CMU	20	LD FULL	12	2	1	7
IHEP	40	LD FULL	31	4	5	1
NTU	36	HD FULL LD LEFT	27	5	5	1
TTU	11	LD FULL	7	3	1	0
UCSB	40	LD FULL HD FULL LD RIGHT	23	6	7	5



First 7 Pre-production module at IHEP



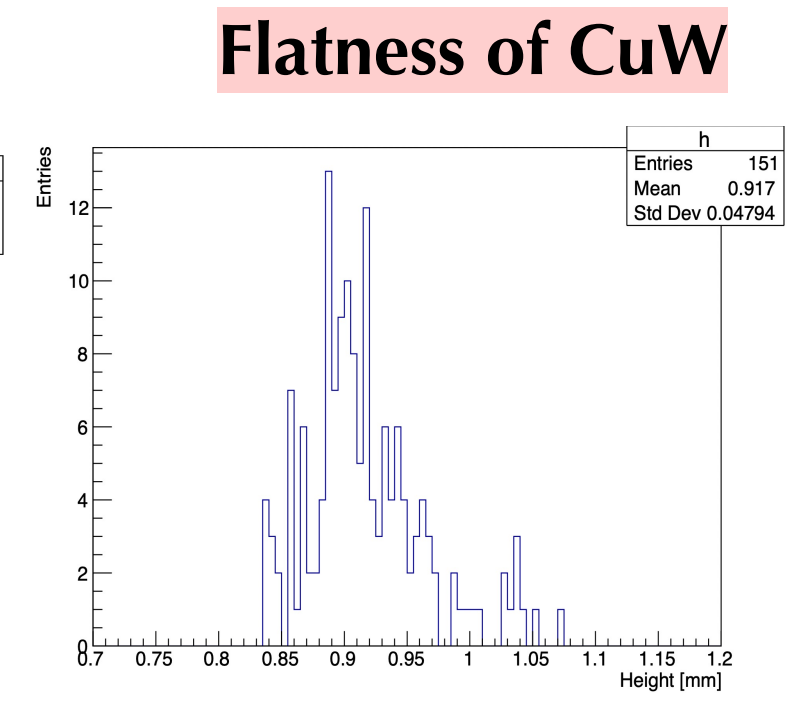
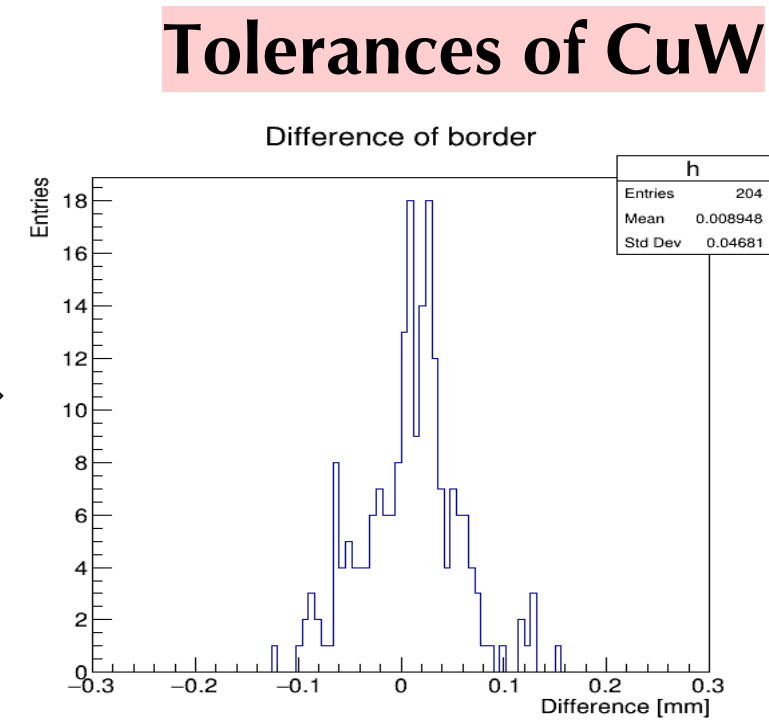
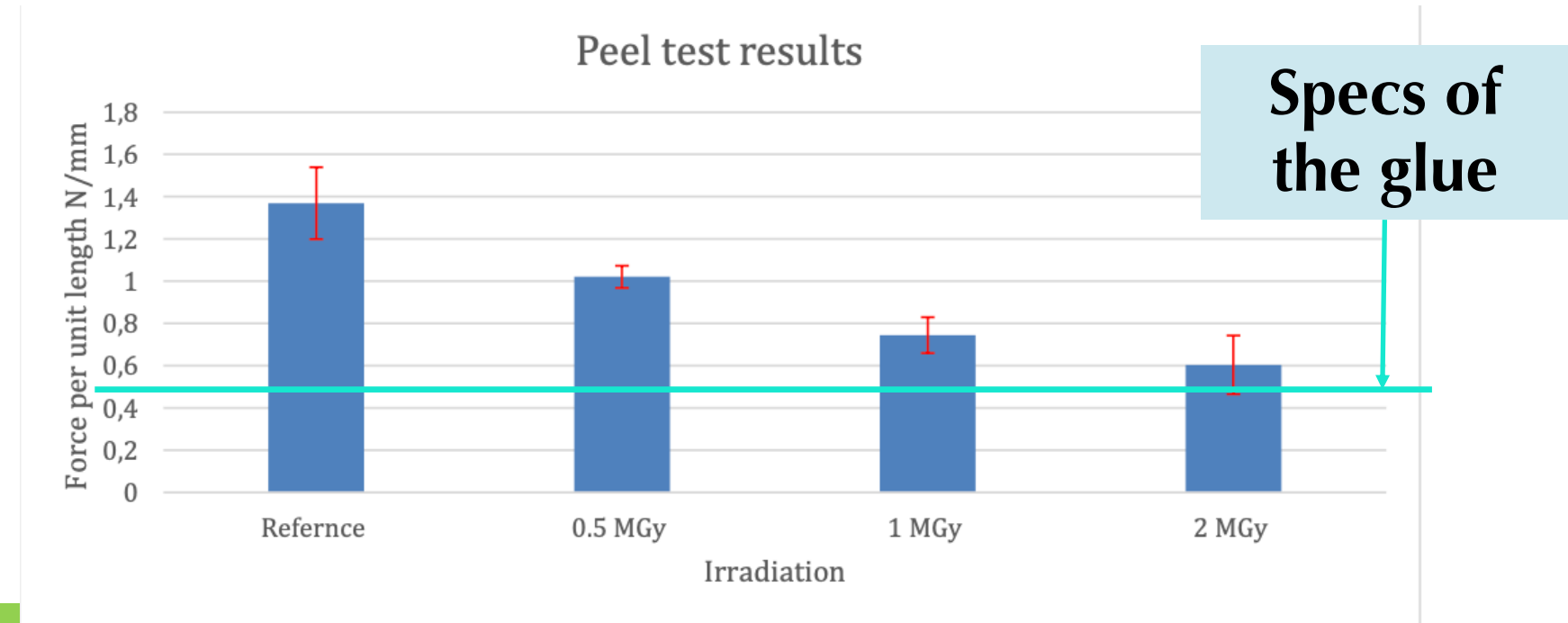
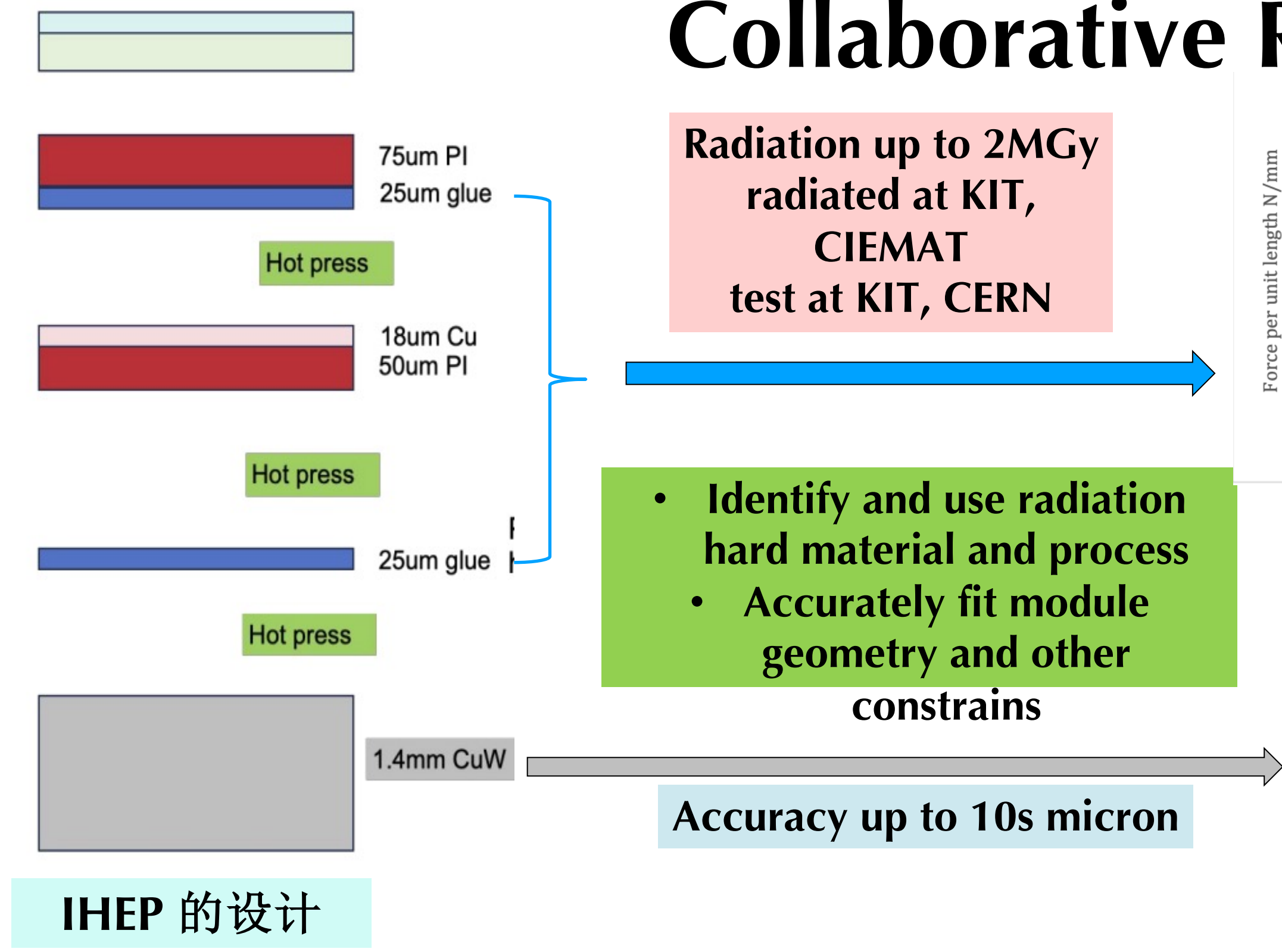
Performance in July 2024 beam test at CERN

7 modules with pre-production components: First production

- 无论是最近1年还是2年，高能所生产的硅模块数量和质量都是第一
- 2024年CERN 两次束流测试，使用的硅模块全部来自高能所

HGCal 抗辐照CuW底板

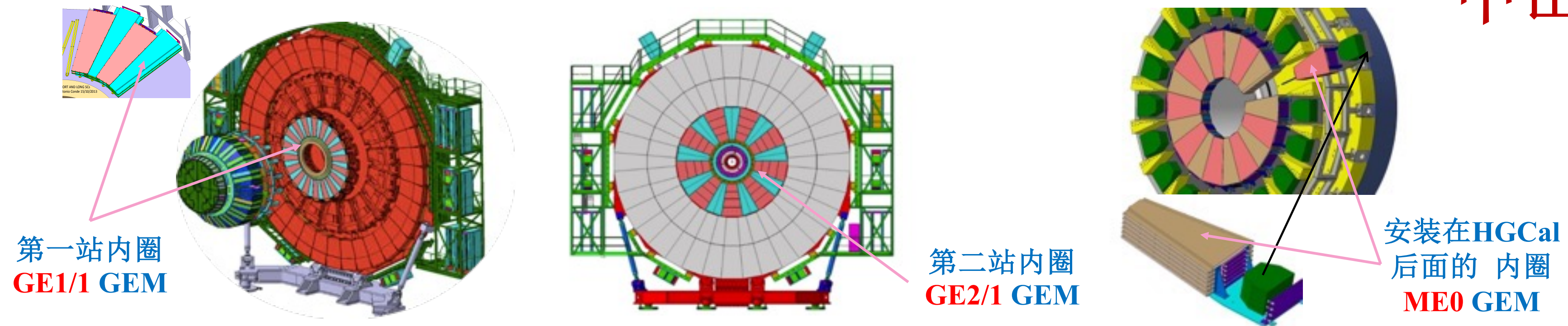
Collaborative R&D



- 高能所设计的CuW底板通过了各项测试，拿到了~90%(面积)的订单，k-contract合同已经签订
- 2024年10月增加张华桥为硅模块底板组的共同协调人 (L3)

GEM项目：升级计划

北大、清华
中山、北航



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	2014-2022	2014-2023
	批量生产	2017-2019	2022-2026	2024-2025
	安装调试	2018-2020	2026-2027	2025-2027
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

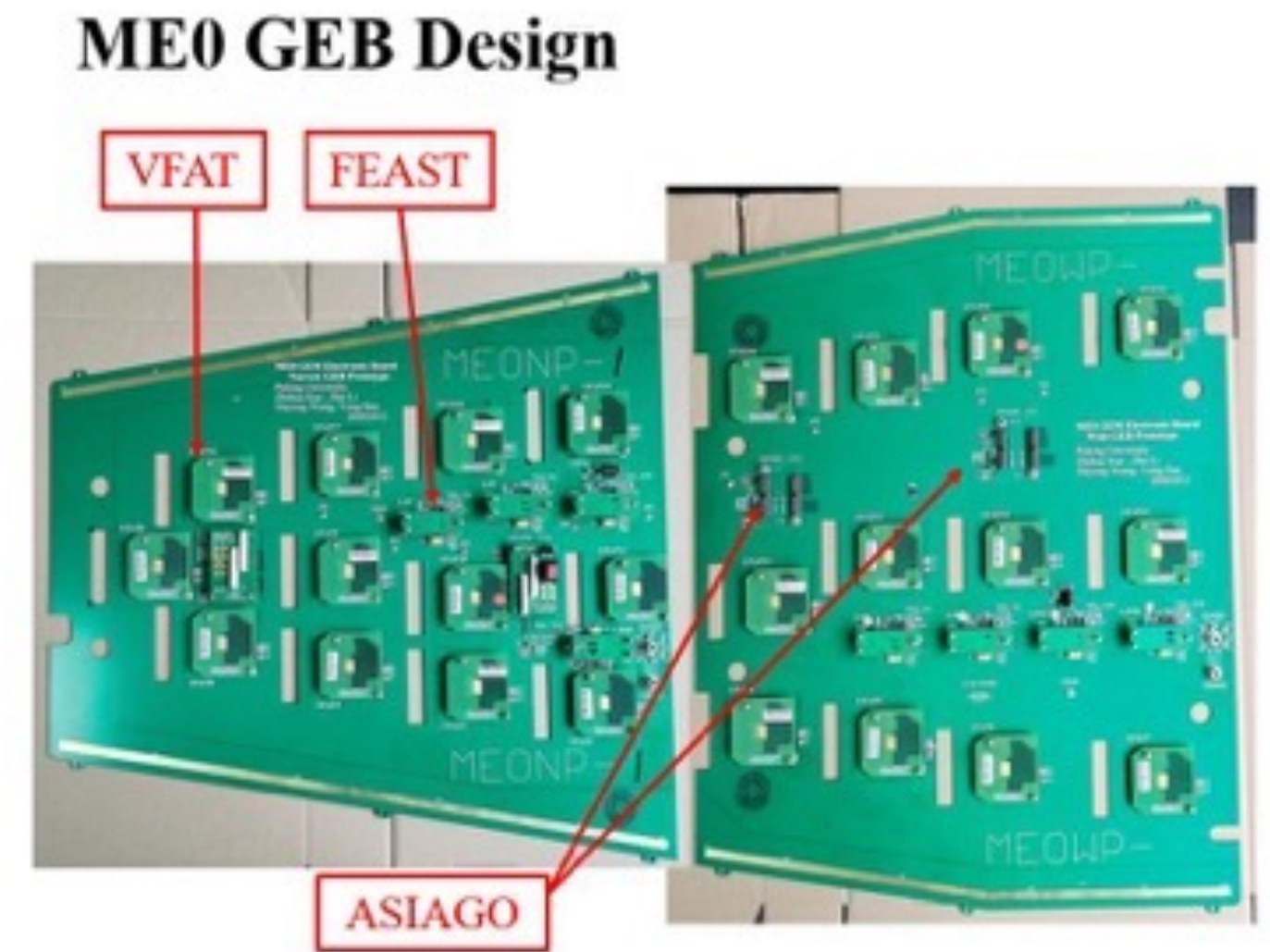
* (总探测器个数=端部数×每个端部module数×每个module探测器个数)

GEM年度进展：2024

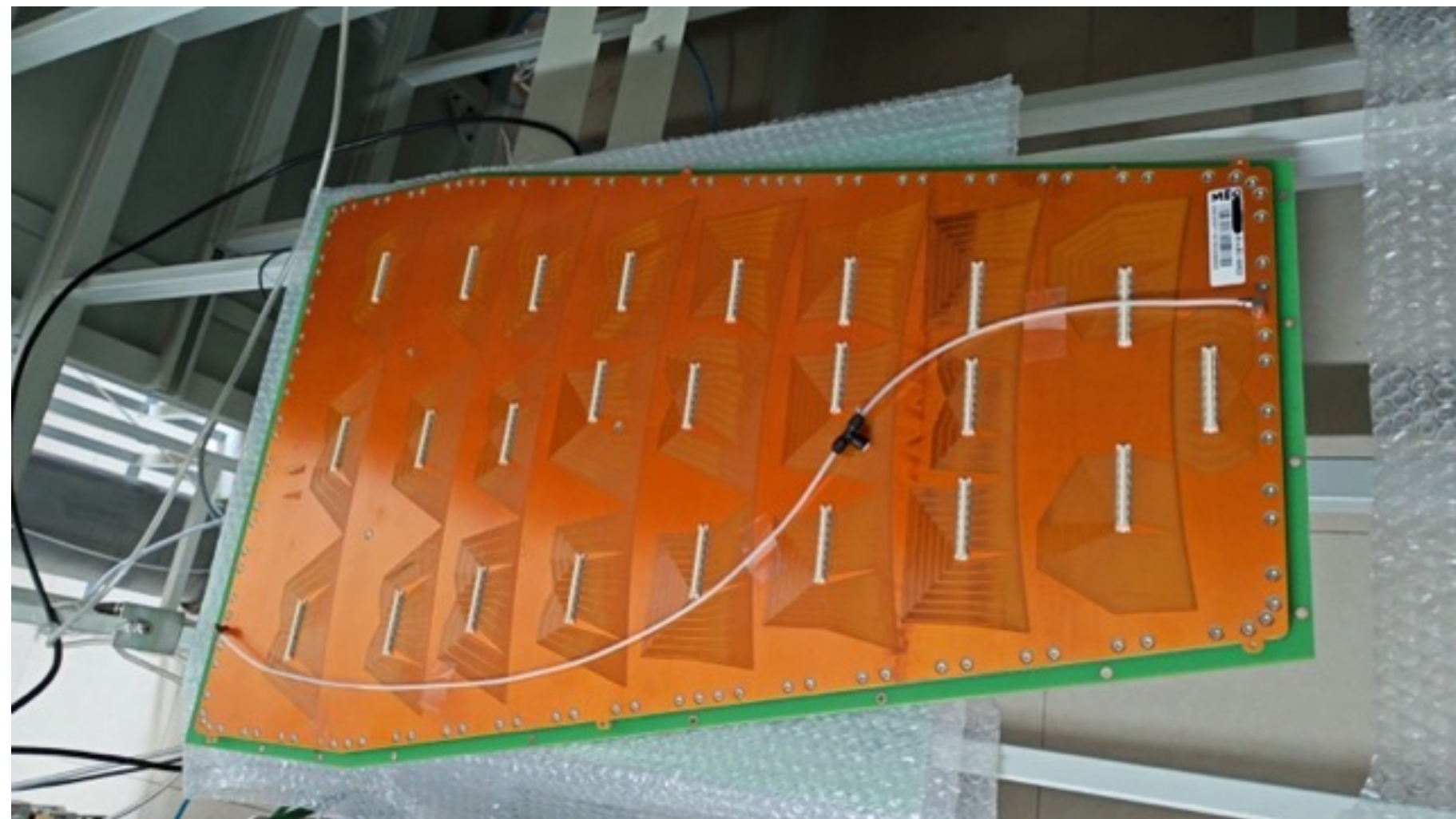
详见[李哲](#)、[何宗晟](#)报告

北大组负责两种型号的**GEM前端电子学板**ME0-GEB的研发设计、样机测试、量产，中山、清华参加量产和测试

- 2024年1月在深圳鑫诺捷公司开始生产，3月完成了**全部~520块GEB的裸板生产**并经验合格
- **GEB板元器件安装**分批次进行。2024年4月先完成了15套（30块）GEB板元器件安装。2024年7月完成了第一批~170个GEB板元器件安装，第二批预计2024年底进行元器件安装测试



8层电路板，总厚度~1mm，12X12个读出芯片



ME0-GEM探测器外框架生产

- **新要求**：框架要求做两次表面涂胶处理以改善电性能
- 2024年5月全部218套探测器FR4-外框架的生产检测,合格后已运达CERN

ME0-GEM探测器组装

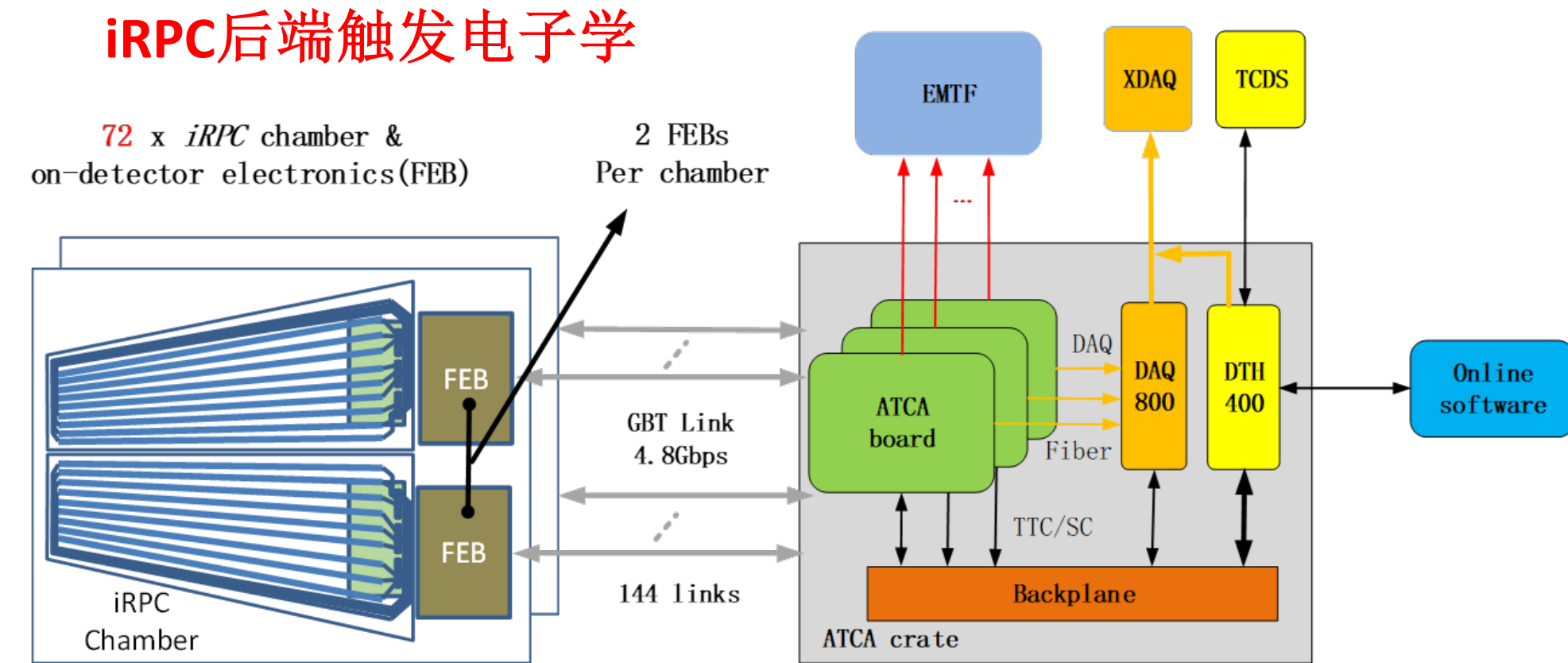
- 用全尺寸ME0 GEM探测器样机完成了组装测试程序的设定和检测准备完毕
- 10月份完成第一批ME0 GEM探测器的组装测试

RPC触发电子学方案设计通过CMS评审

详见[班勇报告](#)

高能所

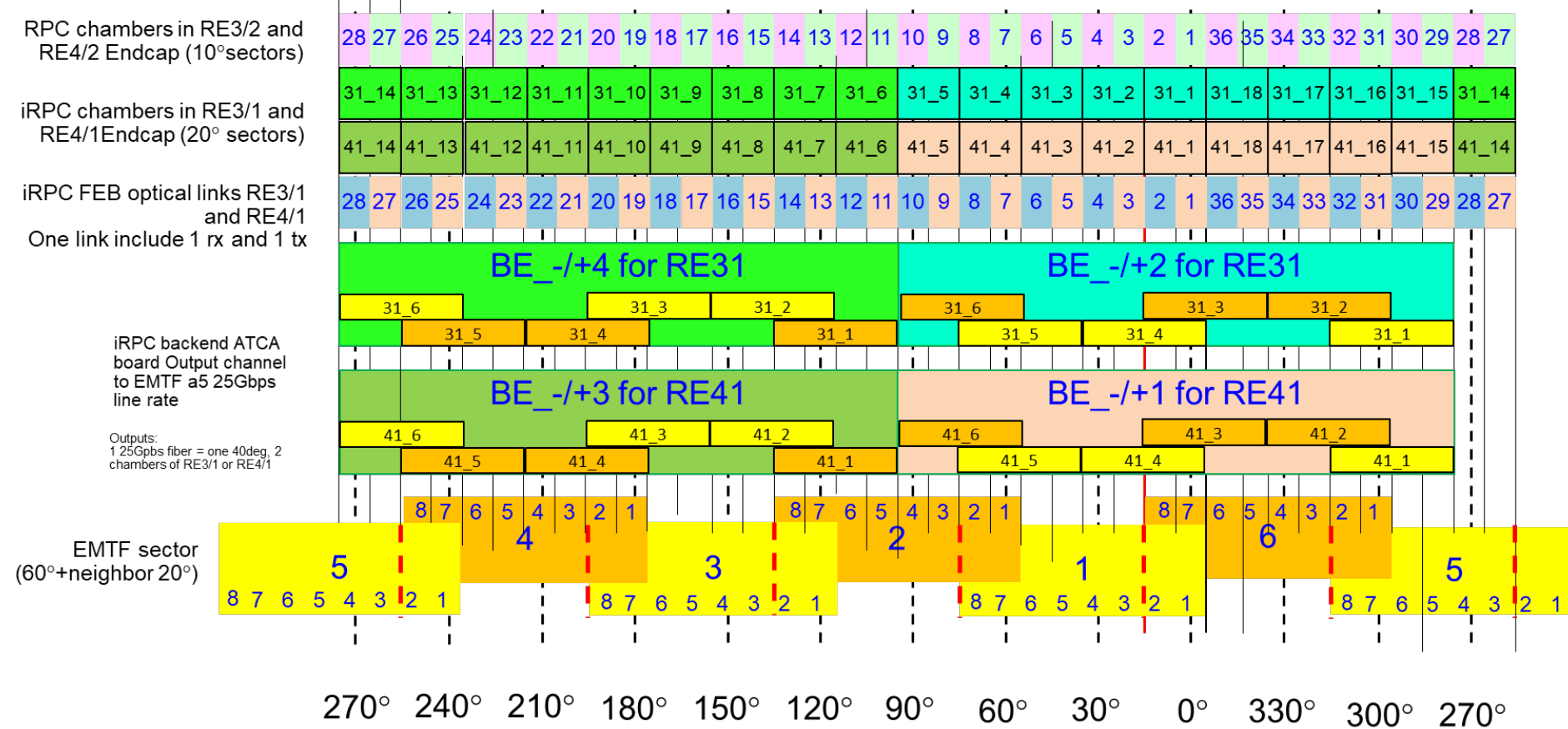
- 完成基于ATCA架构的系统方案设计及前端电子学-后端触发电子学的连接映射。



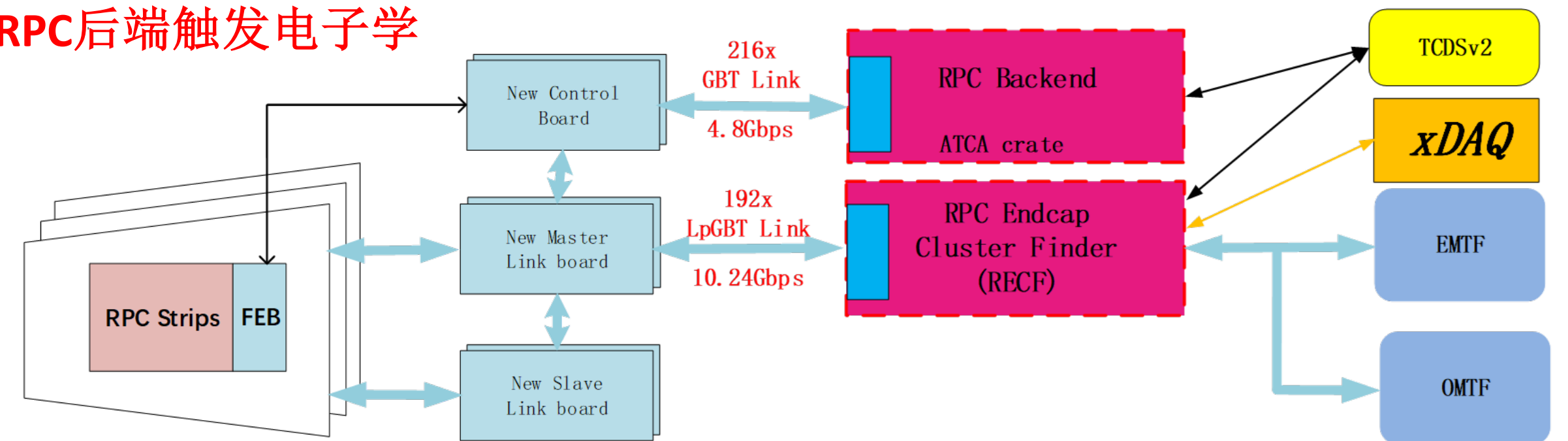
1 link including 1 tx and 1 rx

iRPC FEB-BE-EMTF mapping(update)

20240213 version for 2024 CMS ESR

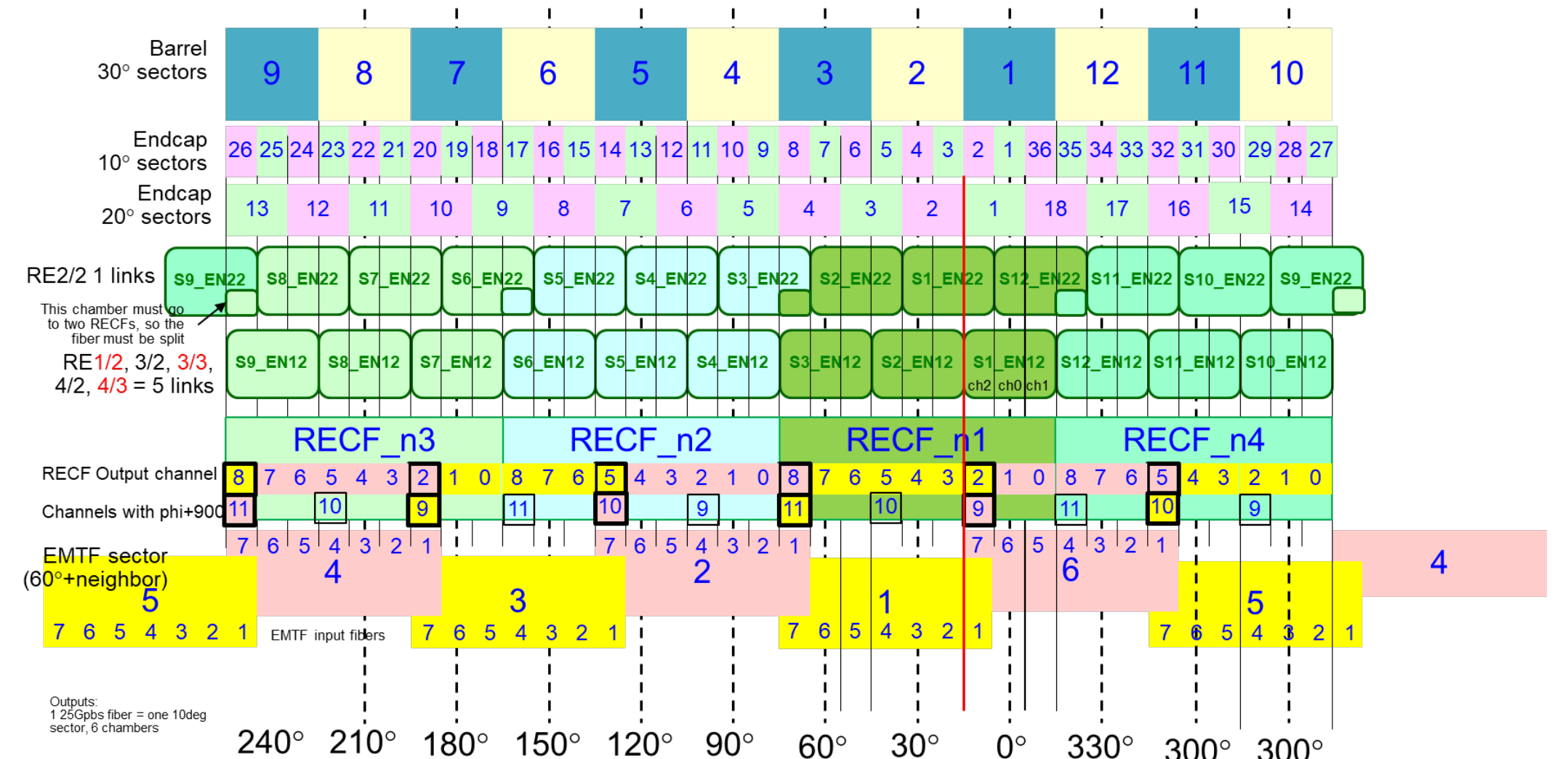


RPC后端触发电子学



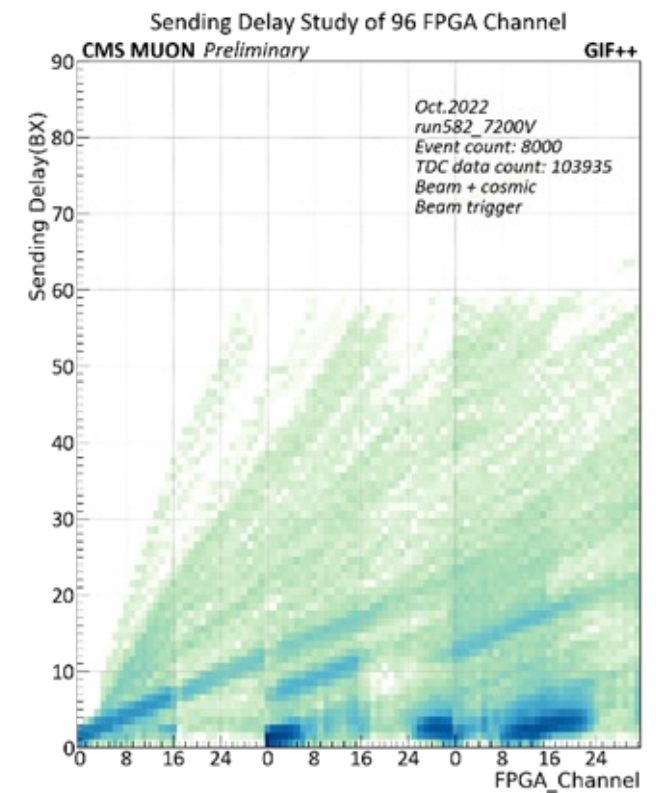
Phase-II one side RPC-RECF-EMTF connection(update)

20240130 version for 2024 CMS ESR

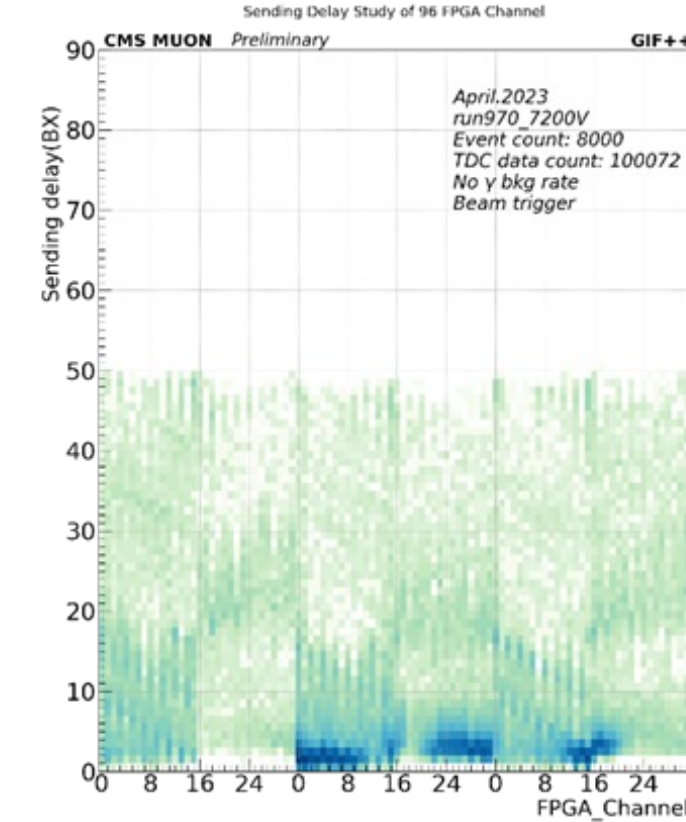


iRPC后端触发电子学系统进展

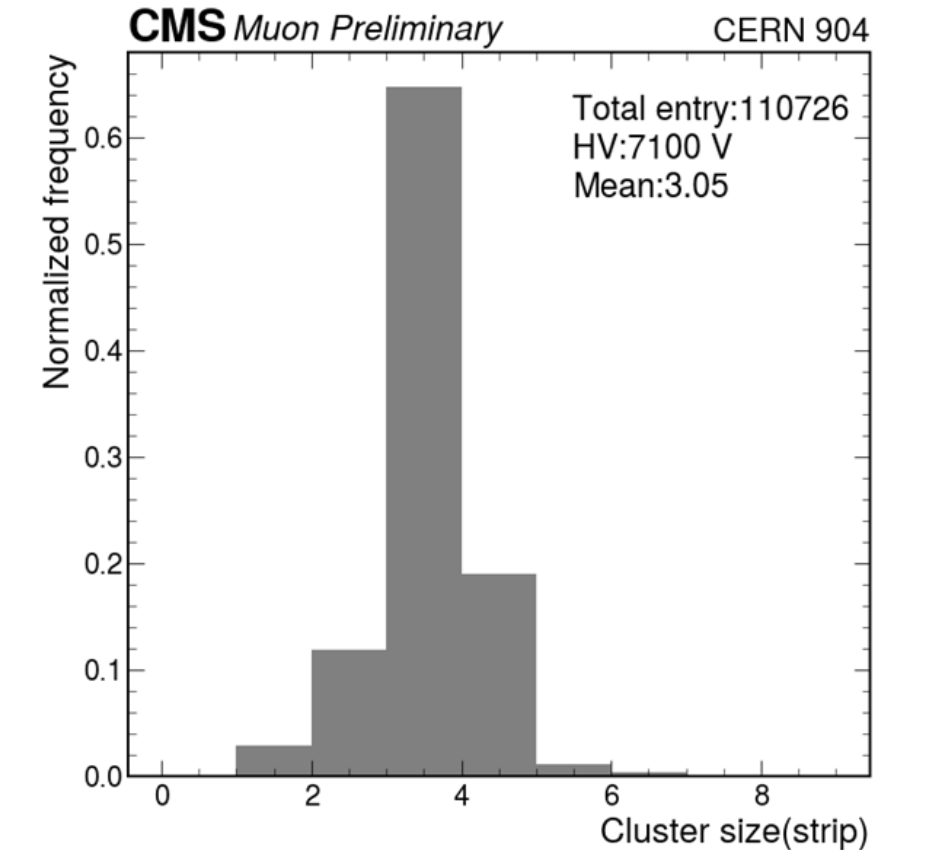
- 在ATCA硬件生产出来前，开发了基于MTCA的iRPC后端触发电子学Demo系统，用于后端触发电子学的原理验证。
 - 采用高能所触发团队设计的基于MTCA的触发电子学板（BE）
- 基于该系统为探测器质量控制开发了两套后端电子学系统，利用该系统已完成了50个探测器室的质量监测。
- 在合作组提出了高能所基于时间优先的数据传输方案（Check-Sort-Push, CSP方案），并被合作组接收。
- 簇查找算法的研究有了重要进展：依据宇宙线实验和束流实验，对iRPC簇特性进行了研究，并基于研究特性开发了簇查找算法。



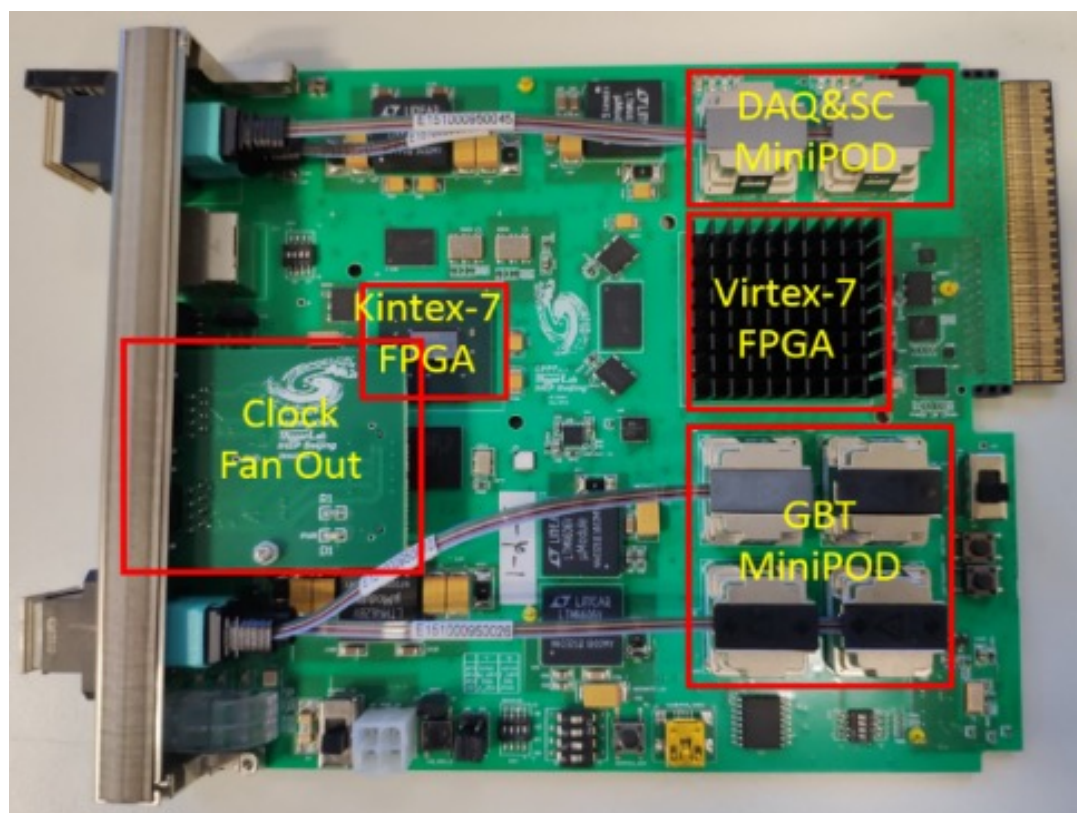
采用CSP前数据传输通道延时分布



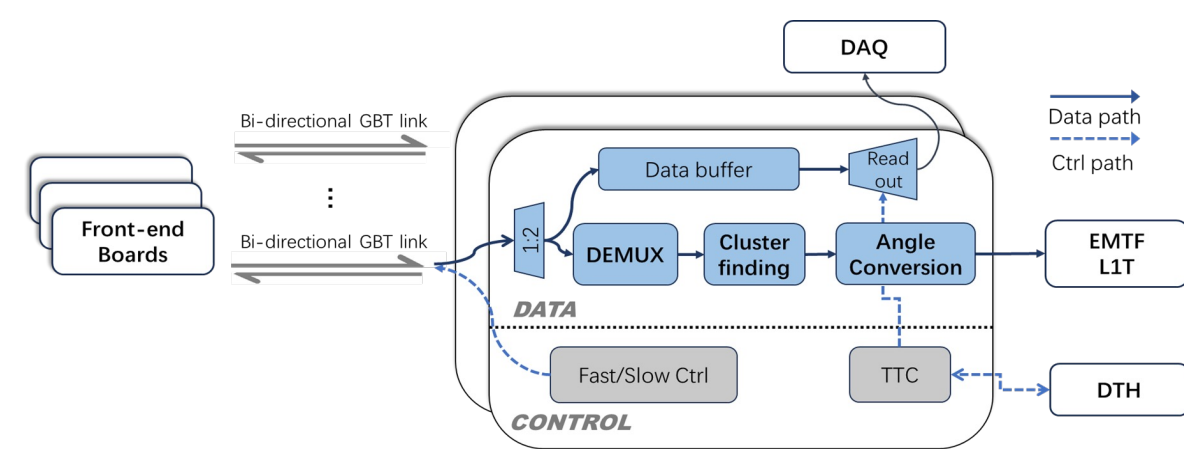
采用CSP后数据传输通道延时分布



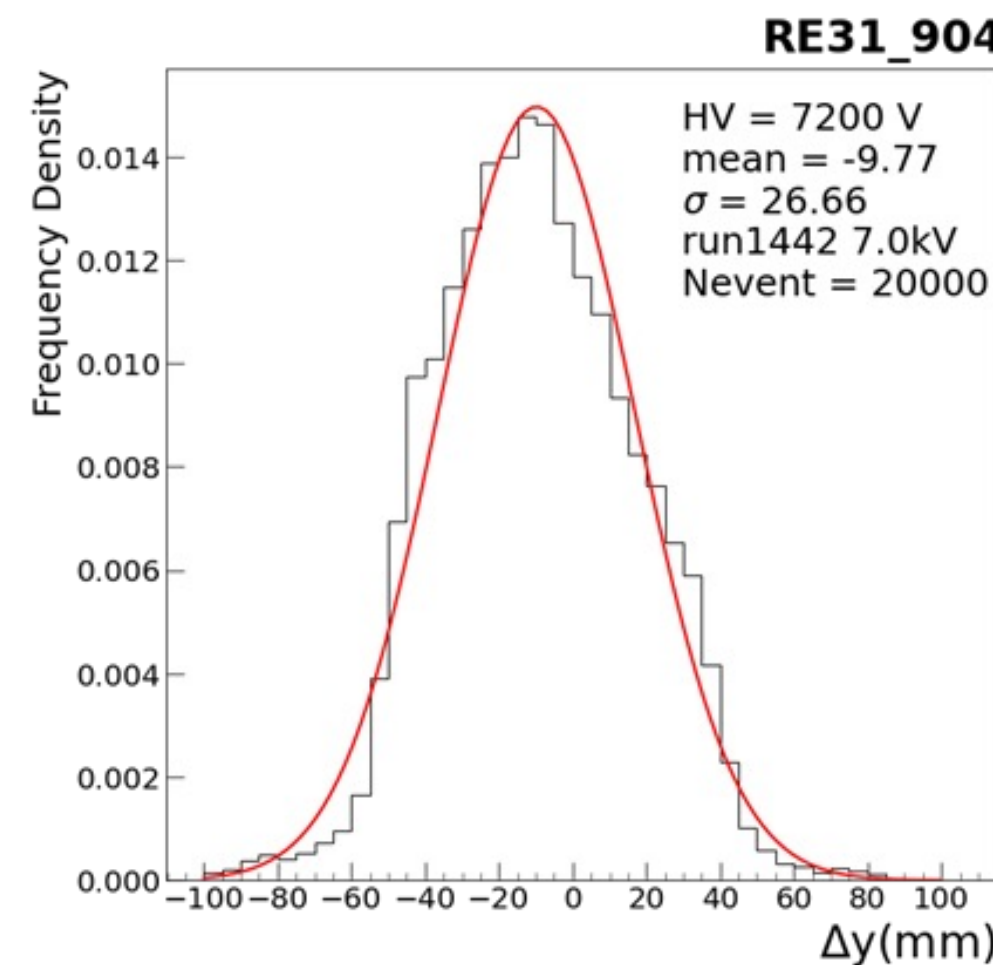
宇宙线事例中簇团大小分布



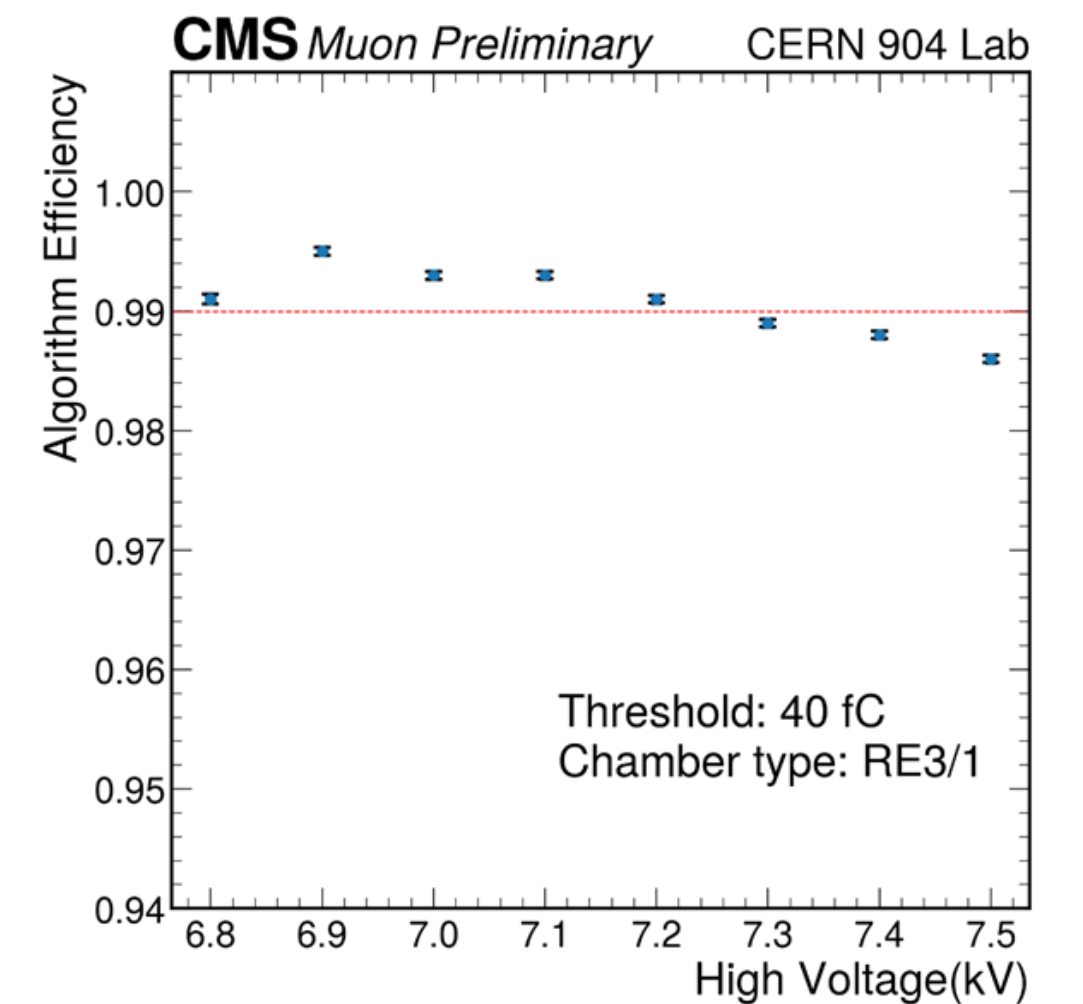
高能所触发团队开发触发电子学板



iRPC后端触发电子学固件架构



径向分段数为16时位置准确度



宇宙线实验中簇查找算法效率

MTD-BTL 探测器升级项目

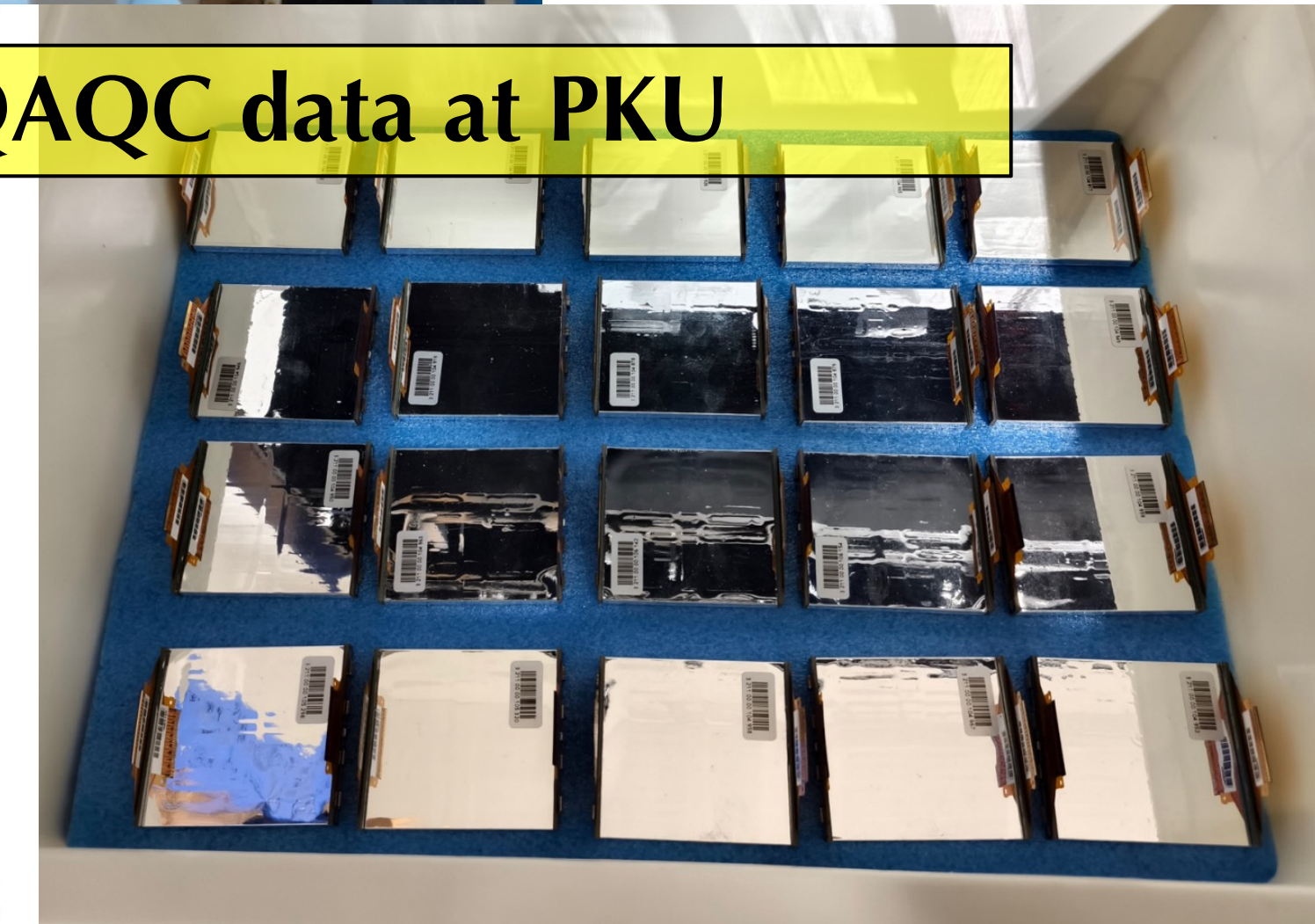
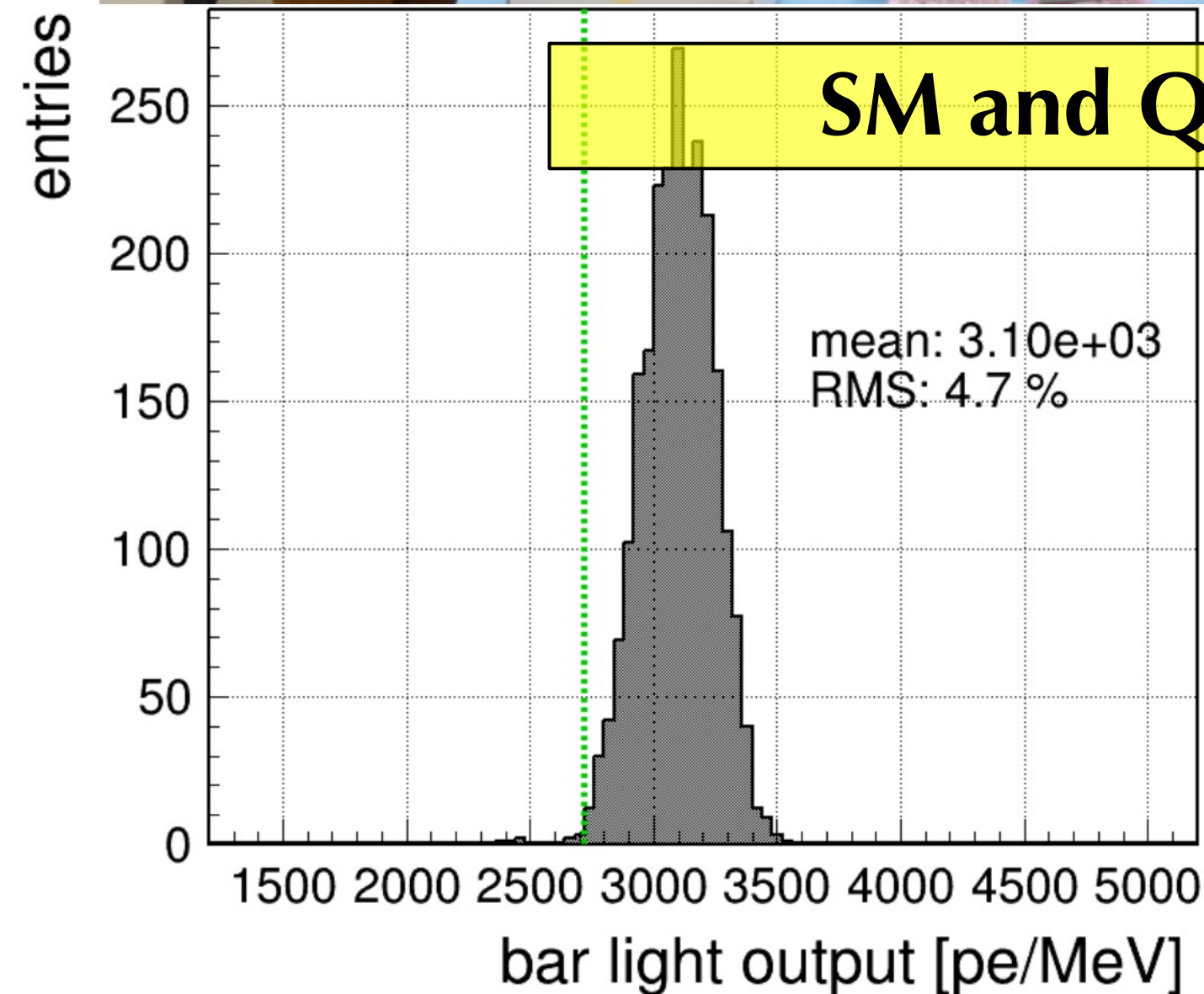
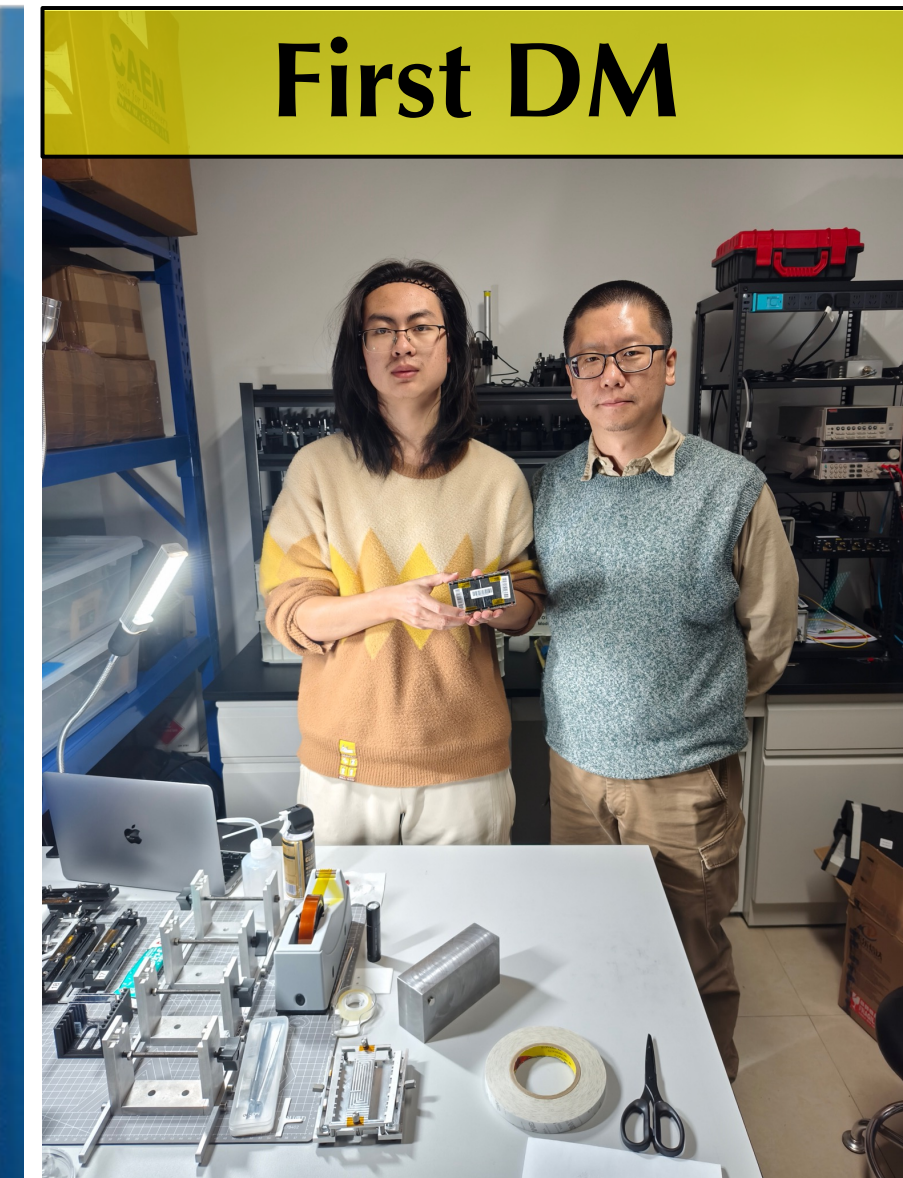
北大、清华、北航

- 时间分辨率为**30皮秒**，在大型粒子探测器中为**国际领先**
- **北大牵头国内合作单位**深度参与探测器的R&D、组装工艺设计、质控设计以及承担官方组装中心（北大、清华）
- MTD BTL设计基本定稿，逐步**进入批量生产阶段**
 - 2023年底完成第一批小批量生产
 - 2024年9月开始大批量组装
 - 2024年10月完成224个sensor module的建造和质控，并完成首个detector module的建造

2023年底在欧洲核子研究中心联合建造探测器模块



First DM

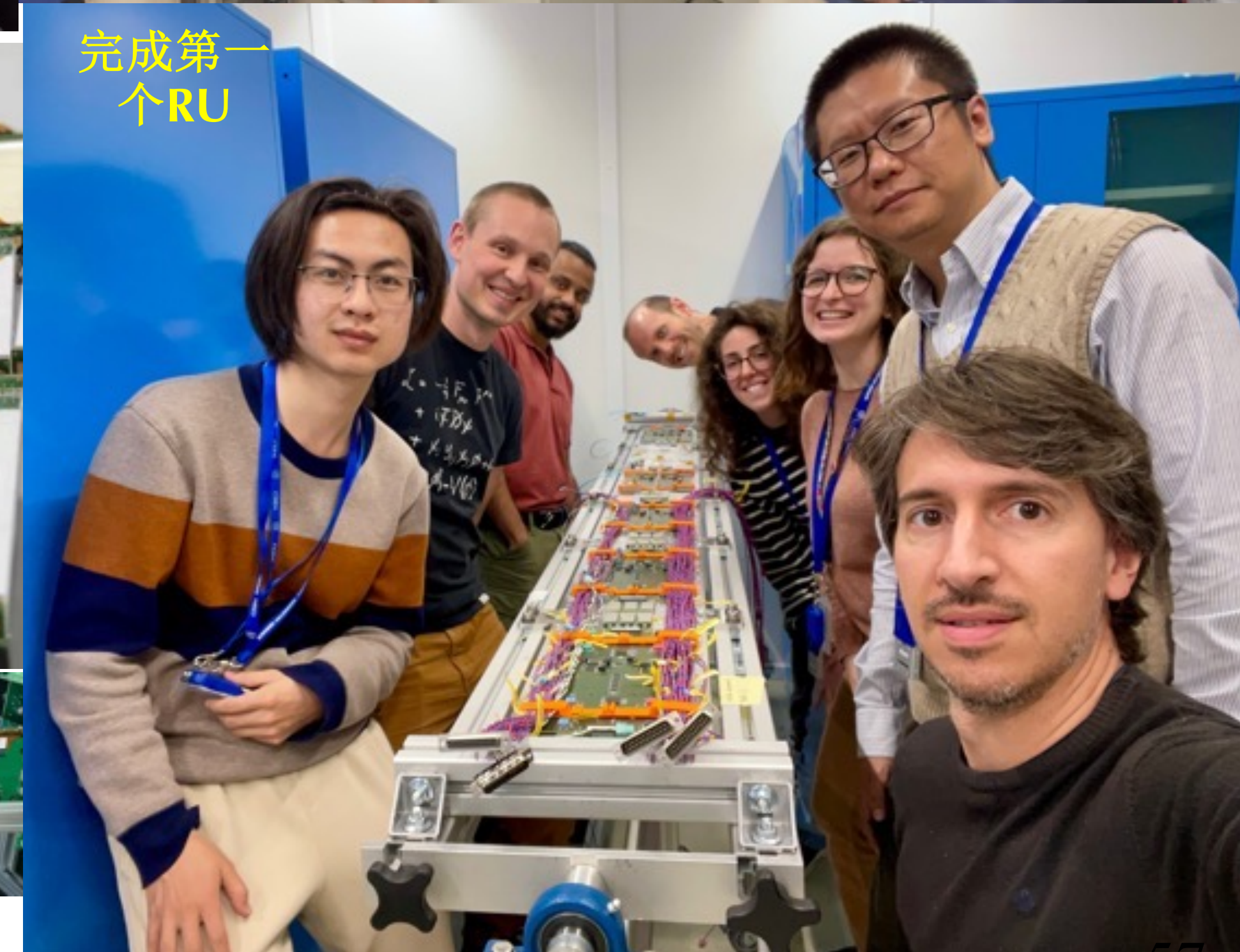
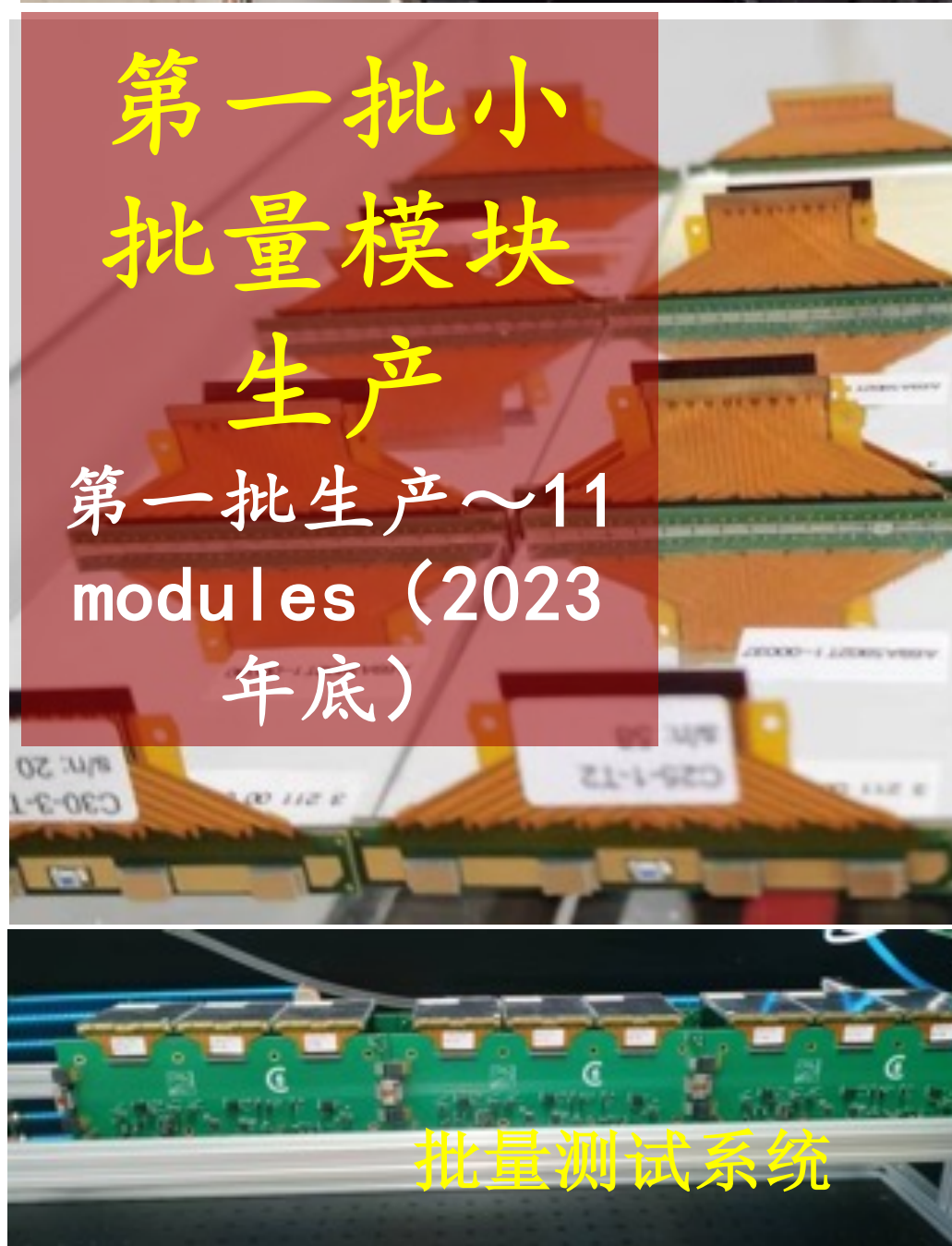
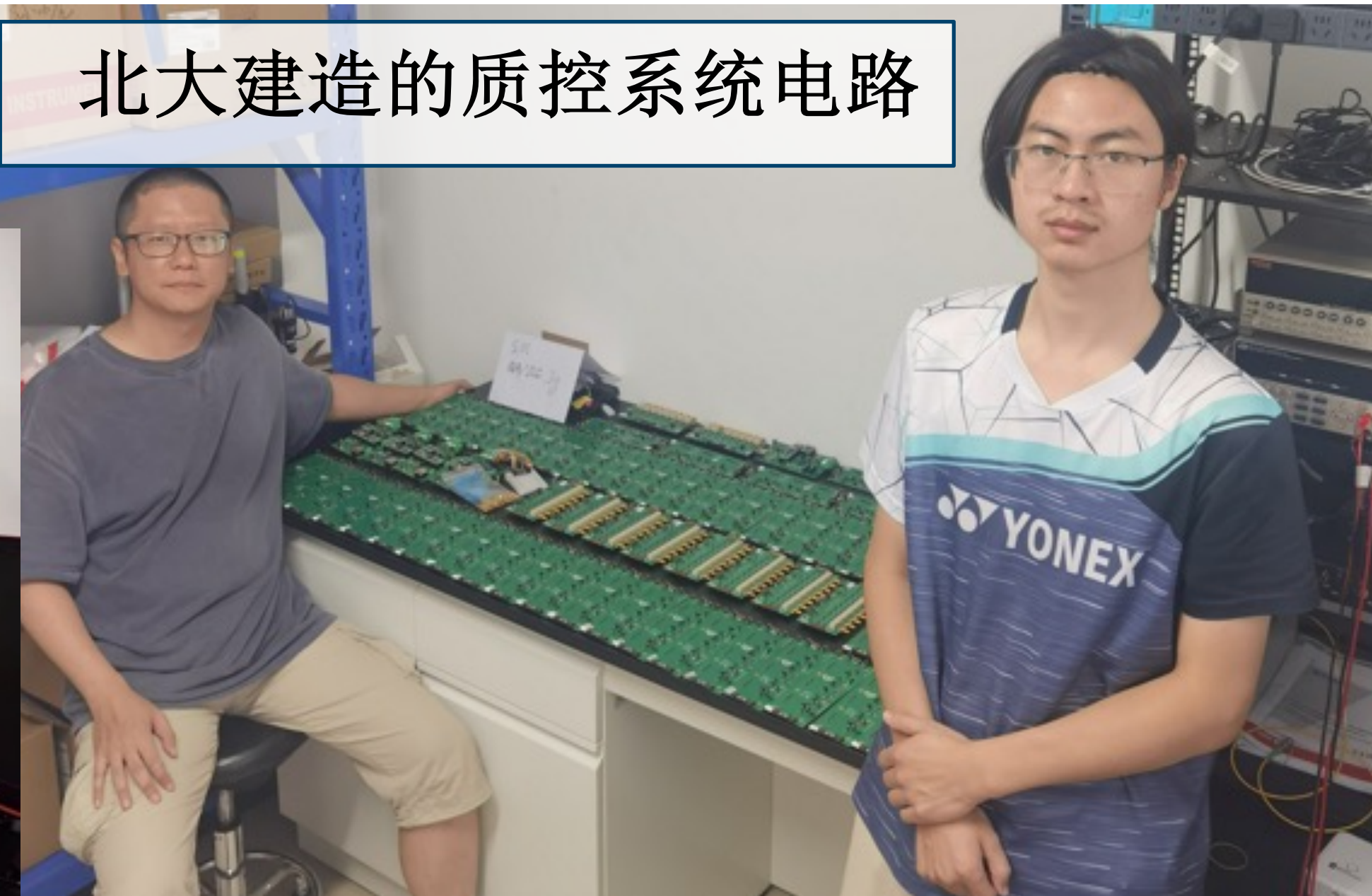


BTL年度进展：2024

详见王锦、李乐言报告

北大建造的质控系统电路

- Sensor设计优化
 - 完成硅光电倍增器SiPM设计参数优化
 - 完成晶体LYSO参数优化
- Sensor模块的制造工艺设计
 - 完成LYSO+SiPM耦合所需专用机械工件的设计和制造
 - 完成首批小批量生产 (~10个)
- Sensor模块质控QAQC系统研制
 - 完成质控系统设计搭建
 - 完成质控系统生产, 并提供给合作组其它组装中心
- Detector模块制造工艺及质控
 - 初步搭建热学质控系统
- 探测器整机Tray组装工艺研制及质控
 - 正在打磨Tray组装工艺
 - 正在建立基于Serenity板的质控系统



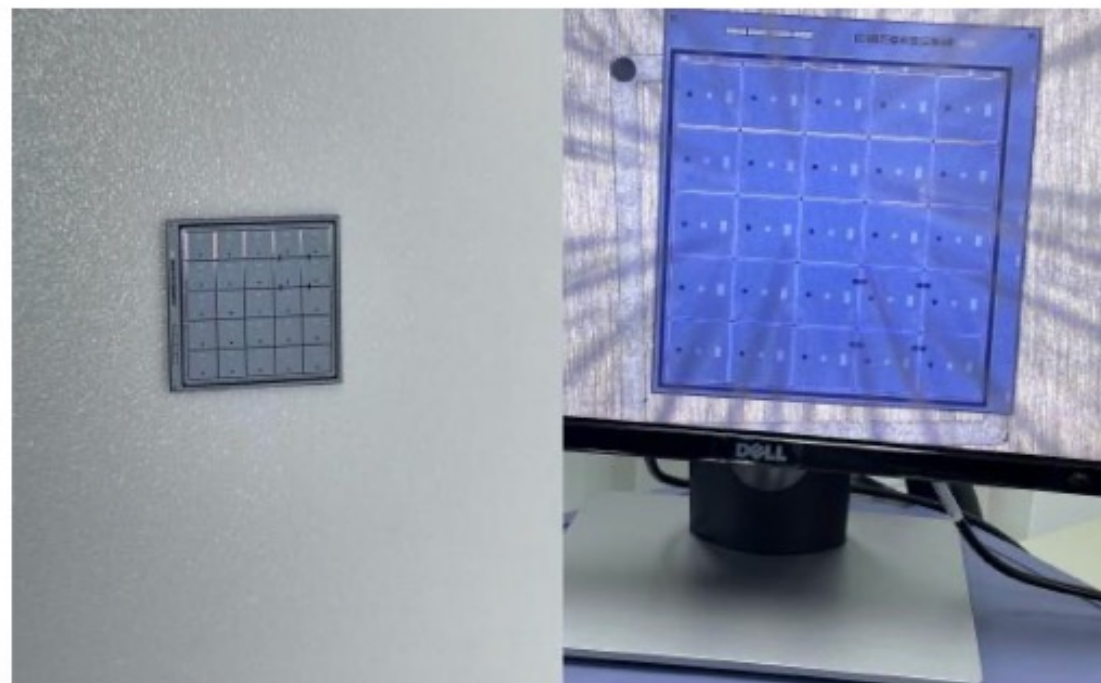
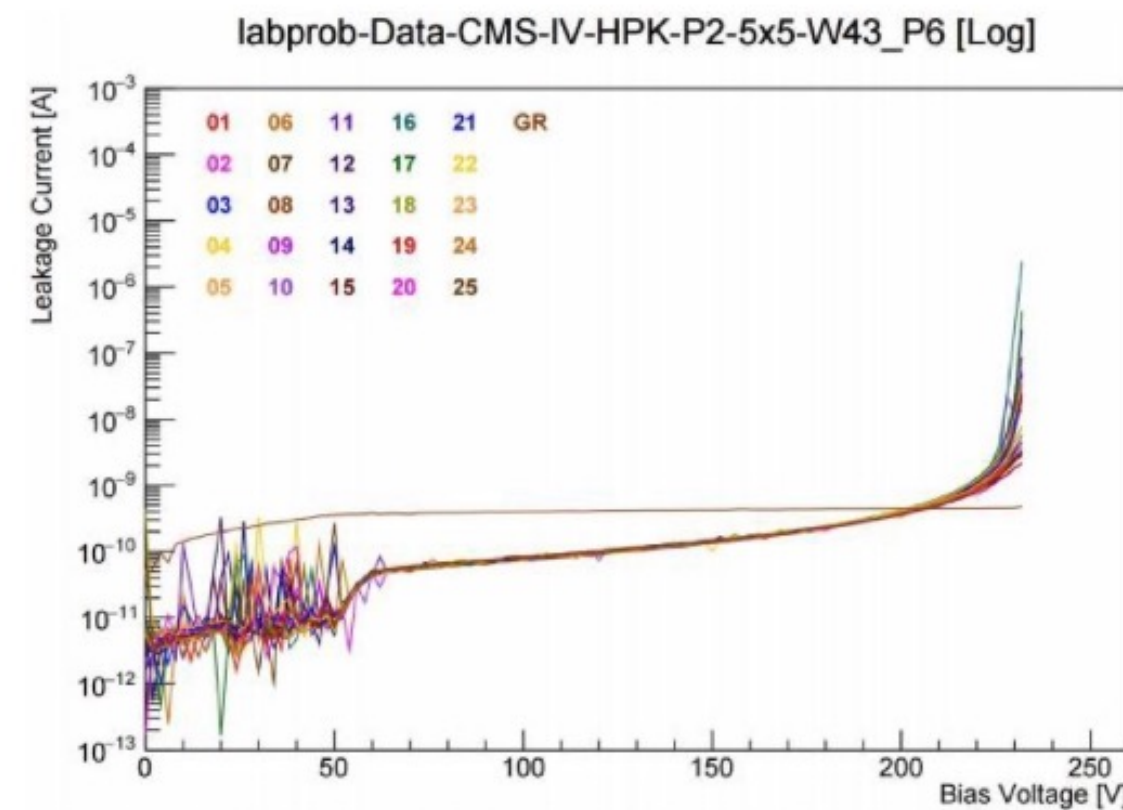
MTD-ETL年度进展：2024

详见于[承君报告](#)

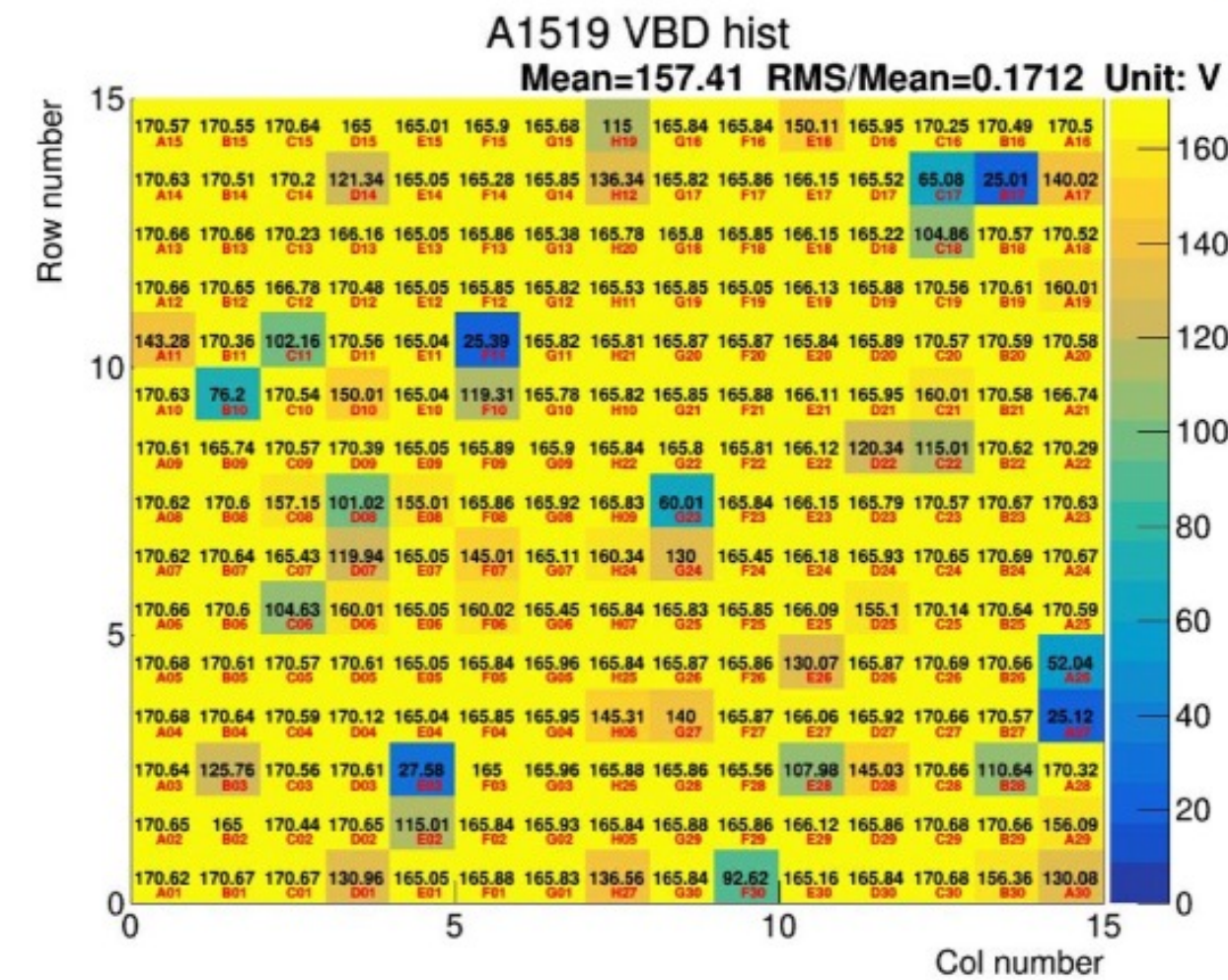
中科大、华南师大、山大

- prototyping阶段LGAD大阵列性能测试
- CMS ETL提供CNM和HPK sensors 在科大进行IV测量，以研究LGAD的性能和均匀性

HPK 5x5 sensor IV曲线



CNM 15x15 sensor breakdown voltage分布图



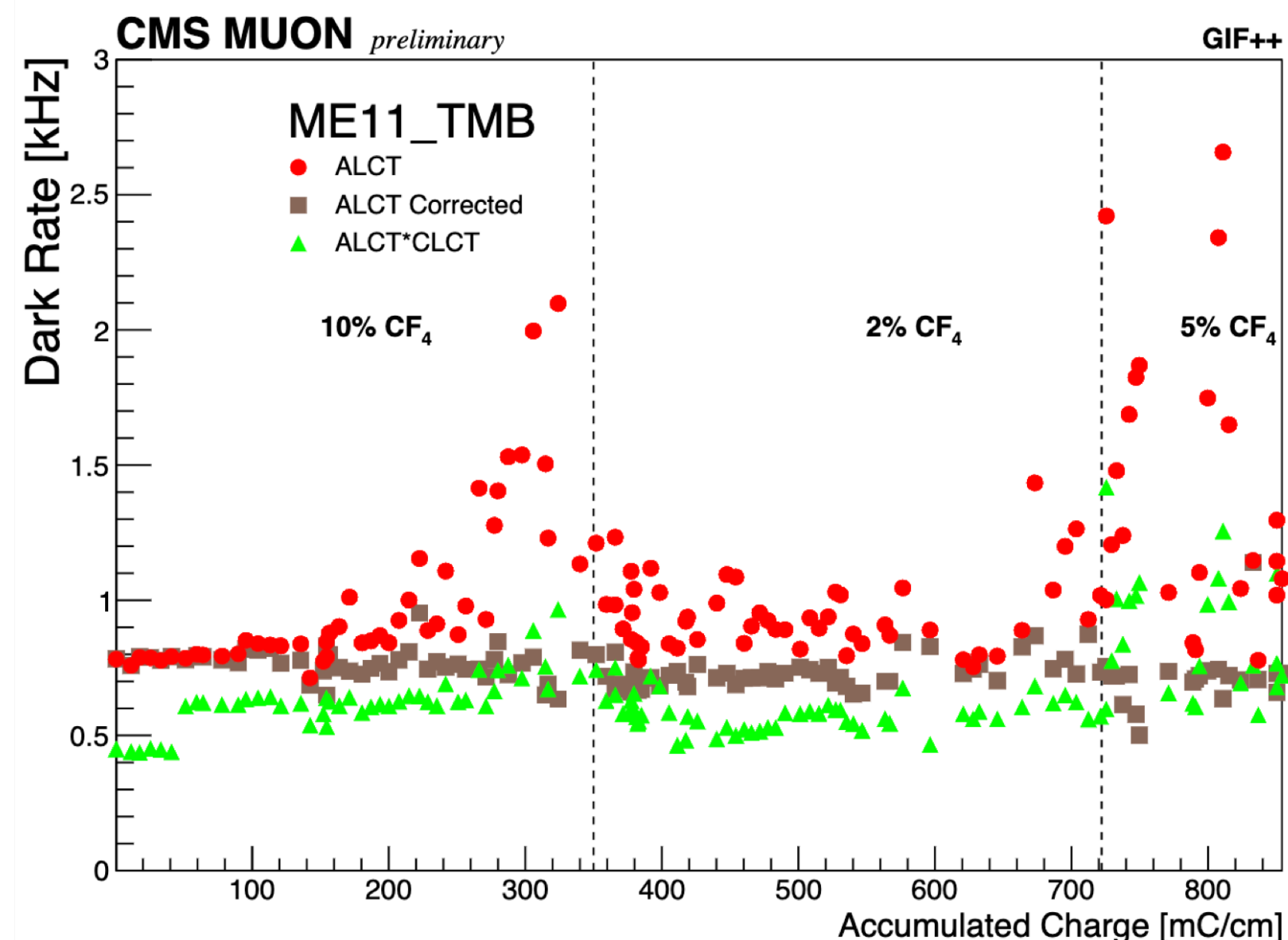
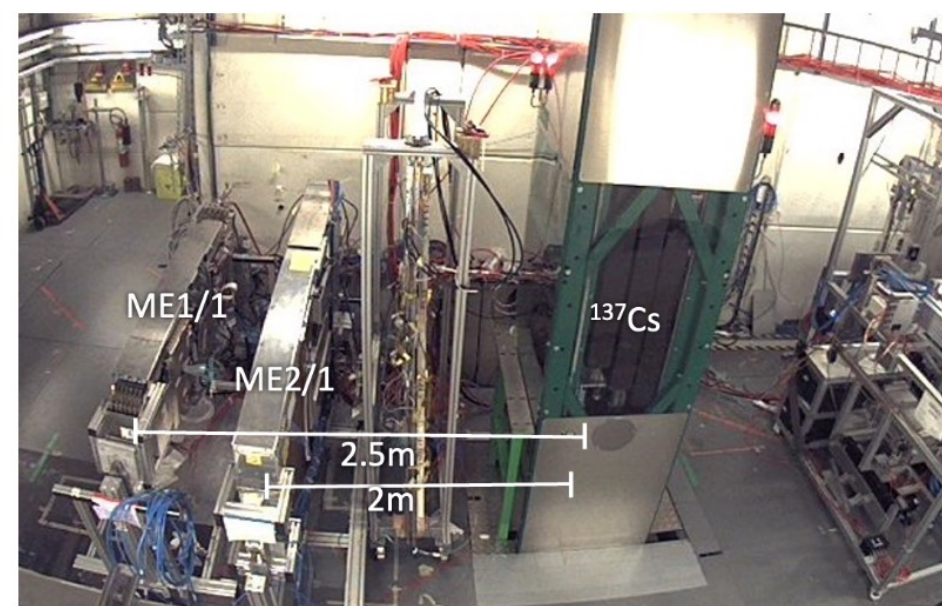
- CNM 15x15 sensors (ATLAS conditions)
- Tests with 16x16 FBK sensor to validate QC procedure to start soon

CSC Longevity and EcoGas

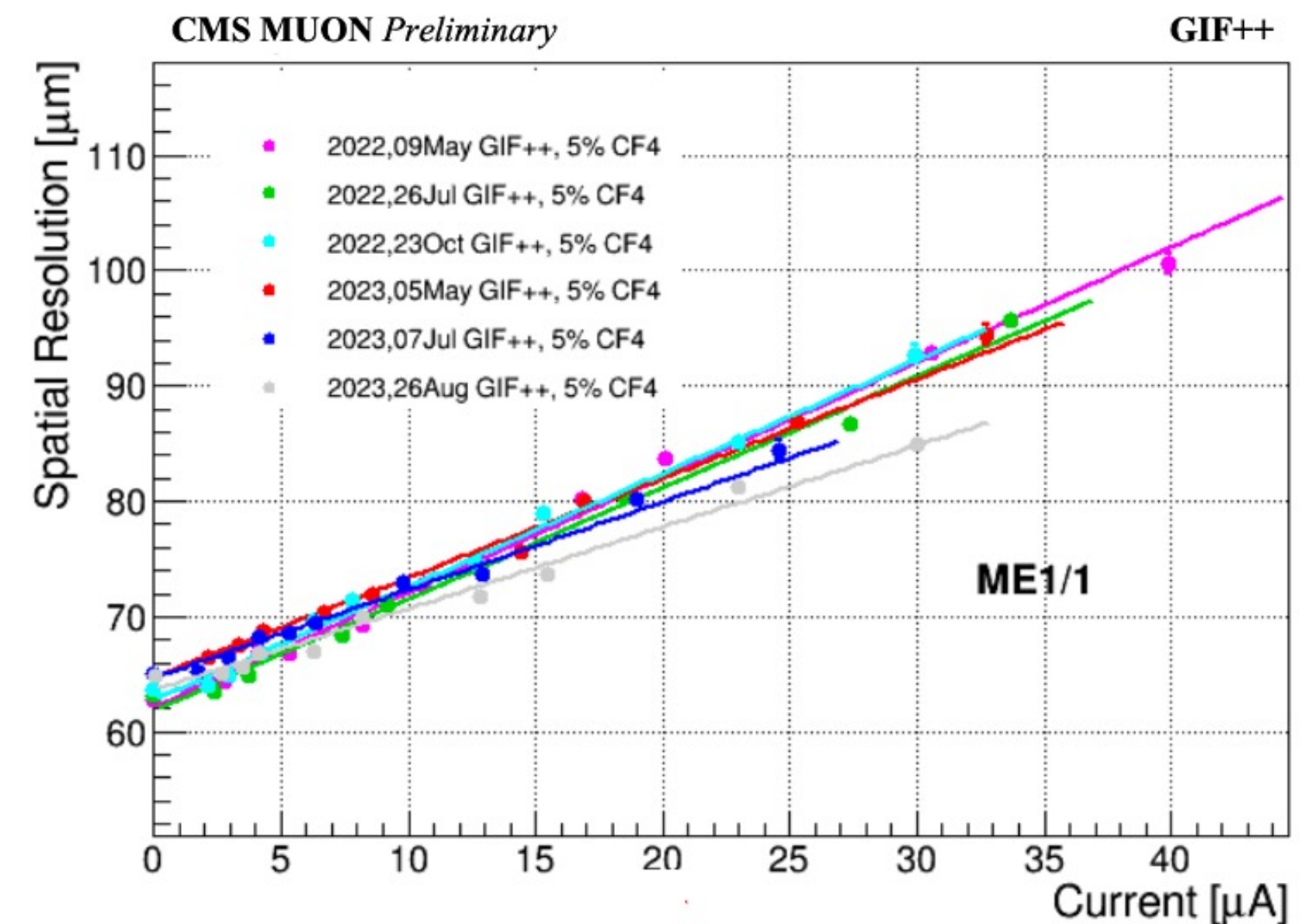
详见[宋绍炜报告](#)

高能所

- 高能所在CMS建造时期承担了约三分之一CSC探测器的研制
 - 气体组分 40%Ar + 50%CO₂ + 10%CF₄; CF₄ 抗老化, 但是是温室气体而且贵
 - CERN 承诺在Run 5开始之前, 将温室气体排放量减少70% (相对2016年)
- 高能所王泽炳、郭佳林、宋绍炜等参与CSC at GIF++ 的束流实验, 评估HL-LHC辐照条件下CSC的longevity, 寻找更环保的气体组分
 - 研究不同比例CF₄ (10%、5%、2%) 情况下探测器、电子学性能
 - 研究CSC随着层电流 (正比与亮度) 增加的性能退化



ME1/1不同比例CF₄情况下电子学暗电流测量



ME1/1空间分辨随层电流变化情况

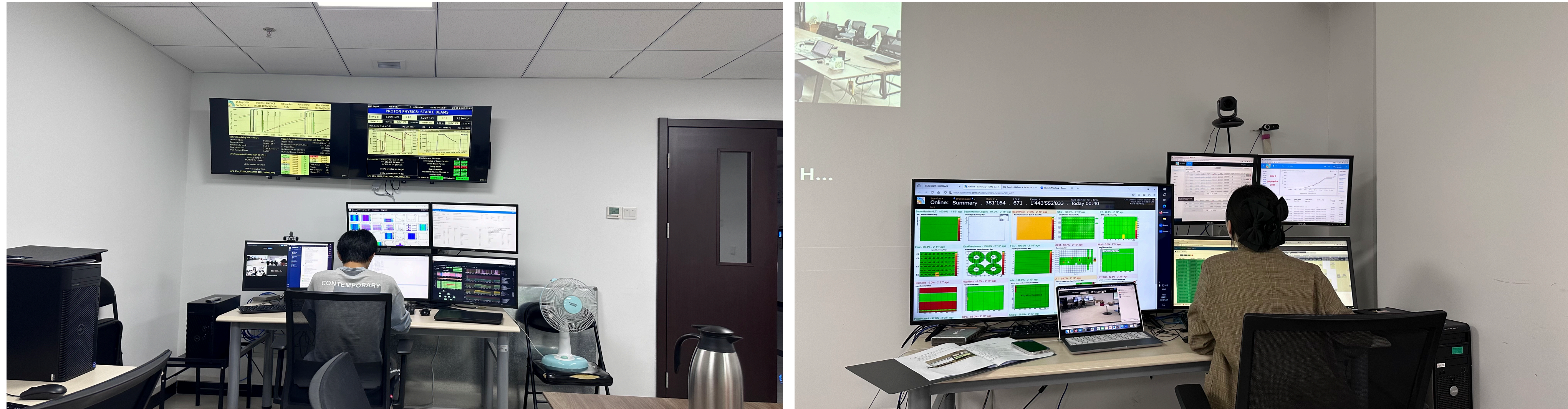
CMS计算站点进展

- T2 站点资源扩展计划
 - 经过多年努力，获批2023年度中科院修购项目！
 - CMS资源升级计划，**预算为150万元人民币**
 - 采购和设备将在**2024年12月底前完成**

Resource Type	Current	Purchased Time	Plan to Extent to	Notes
T2 CPU cores	420 cores	2011, 2015 (2 batches)	1560 cores (3.7x)	Old resources will be all replaced
T2 Disk Storage	673.5 TB	2020	1.8 PB (2.6x)	Old resources will be kept

- 自2024年8月起，IHEP lxlogin和集群迁移至Alma9。
 - IHEP的CentOS 7环境仍将存在，但仅通过容器提供。
- ROC支持
 - 完成ROC房间建设
 - IHEP-CC提供：24小时待命支持，8小时工作时间上门服务。
- T2-T3连接
 - 允许用户在T3上访问T2数据， 允许用户在T2上访问T3数据。

高能所 Remote Operation Center (远程操作中心)



2024/05/25 清华陈诗洋（触发）、北航高红（DQM）在 高能所远程操作中心并行值班

- IHEP ROC是在2009年建立起来的。是高能所计算中心和CMS实验组共同努力的结果。
- 早期主要参与计算值班，在LHC实验LS1后停止运行。2023年我们重新启动远程操作中心，远程参加CMS实验物理取数的核心班组值班工作。
- 2024年负责触发值班50余班次,数据质量监测班50余班次。接待并培训了来自兄弟单位的数位值班人员。近期升级部分设备，**完成了CMS官方重启认证**。
- 我们做为**CMS实验三个远程操作中心之一**，将在2025物理取数年继续承接CMS值班任务。

国际会议 CMS大会报告 22个

会议	时间	报告人	报告题目
Light ion collisions at the LHC (CERN)	2024.11	陈震宇	Small systems: CMS highlights
Extended Scalar Sectors From All Angles (CERN)	2024.10	鲁楠	Higgs Combinations & EFT interpretation
Advances, Innovations, and Prospects in High-Energy Nuclear Physics (中国)	2024.10	杨帅	Experimental insights from CMS in ultra-peripheral collisions
Advances, Innovations, and Prospects in High-Energy Nuclear Physics (中国)	2024.10	陈震宇	CMS Highlights
Higgs Hunting 2024 (法国)	2024.9	Fabio Lemmi	Mass, width and CP measurements at CMS
Higgs Hunting 2024 (法国)	2024.9	周辰	Higgs rare and exotic decays at CMS
FTAG2024 (意大利)	2024.9	Fabio Lemmi	Boosted top/W/Z tagging in CMS
LHC-EW general meeting (CERN)	2024.7	肖朦	Energy-energy correlation measurements (CMS+ATLAS)
The 4th EIC-Aisa Workshop (中国)	2024.7	杨帅	The recent measurements of two-photon interactions with the CMS experiment
Boost2024 (意大利)	2024.7	周辰	AI-based event classification at CMS
PASCOS2024 (越南)	2024.7	李强	SM Physics Overview

国际会议 CMS大会报告 22个

会议	时间	报告人	报告题目
Chirality2024(罗马尼亚)	2024.7	李辰艳	Hyperon polarization along the beam direction in pPb collision at CMS
CHiP Cross-Strait 2024 (中国台北)	2024.6	鲁楠	CMS MTD
NSTAR2024 (英国)	2024.6	胡震	Observation of multiple structures in the J/ψ mass spectrum at CMS
FCPPL2024 (法国)	2024.6	陶军全	CMS collaboration within FCPPL
FCPPL2024 (法国)	2024.6	王储	Searches for heavy resonances decaying to a Higgs and another boson ($X \rightarrow YH/VH$) at CMS
IEEE-RT2024 (越南)	2024.4	刘振安	Check-Sort-Push and its application in CMS/iRPC subsystem
Alphas-2024 (意大利)	2024.2	肖朦	Determination of α_S from energy correlators in jets at CMS
QPT2023 (中国)	2023.12	陈震宇	CMS highlights (heavy-ions)
Higgs2023 (中国)	2023.11	周辰	Higgs boson couplings and EFT constraints from Higgs boson measurements
Higgs2023 (中国)	2023.11	成瞳光	CP properties and searches
ICFA2023 (德国)	2023.11	李强	Electroweak physics [incl. top mass/properties]

国际会议 CMS分会报告 18个

会议	时间	报告人	报告题目
Blois2024	2024.11	Tahir Javaid	Higgs differential cross-section and STXS measurements at CMS
Extended Scalar Sectors From All Angles	2024.10	Khawla Jaffel	Unlocking the 2HDM Phase Space: Recent Experimental Insights and Discovery
Hard Probes 2024	2024.9	叶早晨	Detecting fluctuating gluonic structure via energy-dependent incoherent J/ψ photoproduction in PbPb at 5.02 TeV with the CMS experiment
PASCOS2024	2024.7	Zongsheng He	Recent tau g-2 measurement at CMS
SQM2024	2024.6	陈震宇	Physics of heavy flavors and strangeness with a time-of-flight PID upgrade at CMS in the high-luminosity LHC era
SQM2024	2024.6	李辰艳	Hyperon polarization along the beam direction in pPb collision at CMS
FPCP2024	2024.5	胡震	Double Quarkonium Studies at CMS
FPCP2024	2024.5	易凯	Observation of multiple structures in the J/ψ mass spectrum at CMS

国际会议 CMS分会报告 18个

会议	时间	报告人	报告题目
CALOR2024	2024.5	王徽	Review of energy reconstruction algorithms in the CMS Hadron Calorimeter
IAS Program on HEP	2024.1	周辰	LHC Higgs Highlights
Higgs2023	2023.11	杨楚雪	Combined measurements of Higgs boson cross sections and couplings at CMS
Higgs2023	2023.11	卢梦	Searches for exotic Higgs boson decays at CMS
Higgs2023	2023.11	Fabio Lemmi	Measurement of Higgs boson mass using bosonic decay channels with the CMS detector
Higgs2023	2023.11	Muhammad Shahzad	Search for a standard model-like Higgs boson in the mass range between 70 and 110 GeV in the diphoton final state
Higgs2023	2023.11	Chuxue Yang	Combined measurements of Higgs boson cross sections and couplings at CMS
Higgs2023	2023.11	Khawla Jaffel	Searches for additional heavy Higgs bosons at CMS
Higgs2023	2023.11	关喆	Searches for rare Higgs boson production modes at CMS
Higgs2023	2023.11	郭正良	Prospects for Higgs measurements and HH/HY searches at the HL-LHC with CMS

另有多国内会议的大会报告、分会报告

现任CMS二级管理职位统计表 (二级8人次)

分组 (二级)	人员	管理级别	服务期限
物理性能以及数据集	Tahir Javaid	二级	2023.2-2024.9
RPC 触发组	刘振安	二级	2019.09-
ECAL DPG	王锦	二级	2023-
Higgs物理	肖朦	二级	2024.09-
HeavyIon触发组	陈震宇	二级	2023.12-
HCAL DPG	王徽	二级	2022-2024
产生子组	卢梦	二级	2022.6-2025.6
PPD PDMV	钱思天	二级	2024.9-2026.8

现任CMS三级管理职位统计表 (三级19人次)

分组 (二级)	人员	管理级别	所属三级分组	服务期限
HGCal	张华桥	三级	MAC Beijing	-
RPC电子学	赵京周	三级	-	2020.9-
Generator	杨天一	三级	Validation	2024.7-2026.7
Run Coordination	陈晔	三级	IHEP ROC manager	2024.1-
SUS PAG/PPD	陈晔	三级	MCIT/MC Convener	2024.9-2026.9
HIN	陈震宇	三级	集体流分析	2023.9-
HIN	杨帅	三级	Dilepton	2024.7-
HIN	叶早晨	三级	Forward/UPC	2024.7-
B physics	胡震	三级	Spectroscopy	2023.9-2024.8
B physics	胡震	三级	Production & Properties	2024.9-2026.8
Jet MET	Fabio Lemmi	三级	JMAR	2023.9-
JME/BTV	李聪乔	三级	JMAR	2024.9-2026.8
BTV	邓森	三级	BTV Algorithm	2023.9-2024.8
Tau	孙小虎	三级	Tau Trigger	2023.9-2025.9
EXO	钱思天	三级	EXO M&I	2022.9-2024.8
HIG	周辰	三级	LHC Higgs Combination	2023.9-2025.9
HIG	鲁楠	三级	DiHiggs	2022.9-2024.8
HIG	王锦	三级	DiHiggs	2024.9-2026.8
B2G	Alexandra Carvalho	三级	B2G M&I	2023.4-2025.4

CMS中国组成员现任合作组职务 (8人次)

- CMS Spokesperson Advisory Committee, Management board: 陈明水 (高能所, 24-)
- CMS Serenity Steering Committee: 刘振安 (高能所, 19-)
- Conference Committee: 廖红波 (高能所, 21-) , 袁丽 (北航, 21-)
- CB Advisory Committee: 李强 (北大, 24-26)
- CMS School Committee: 李强 (北大, 24-26)
- CMS Thesis Award Committee: 周辰 (北大, 22-24)
- CMS regional representative for OSA states: 鲁楠 (中科大, 24-)

总结

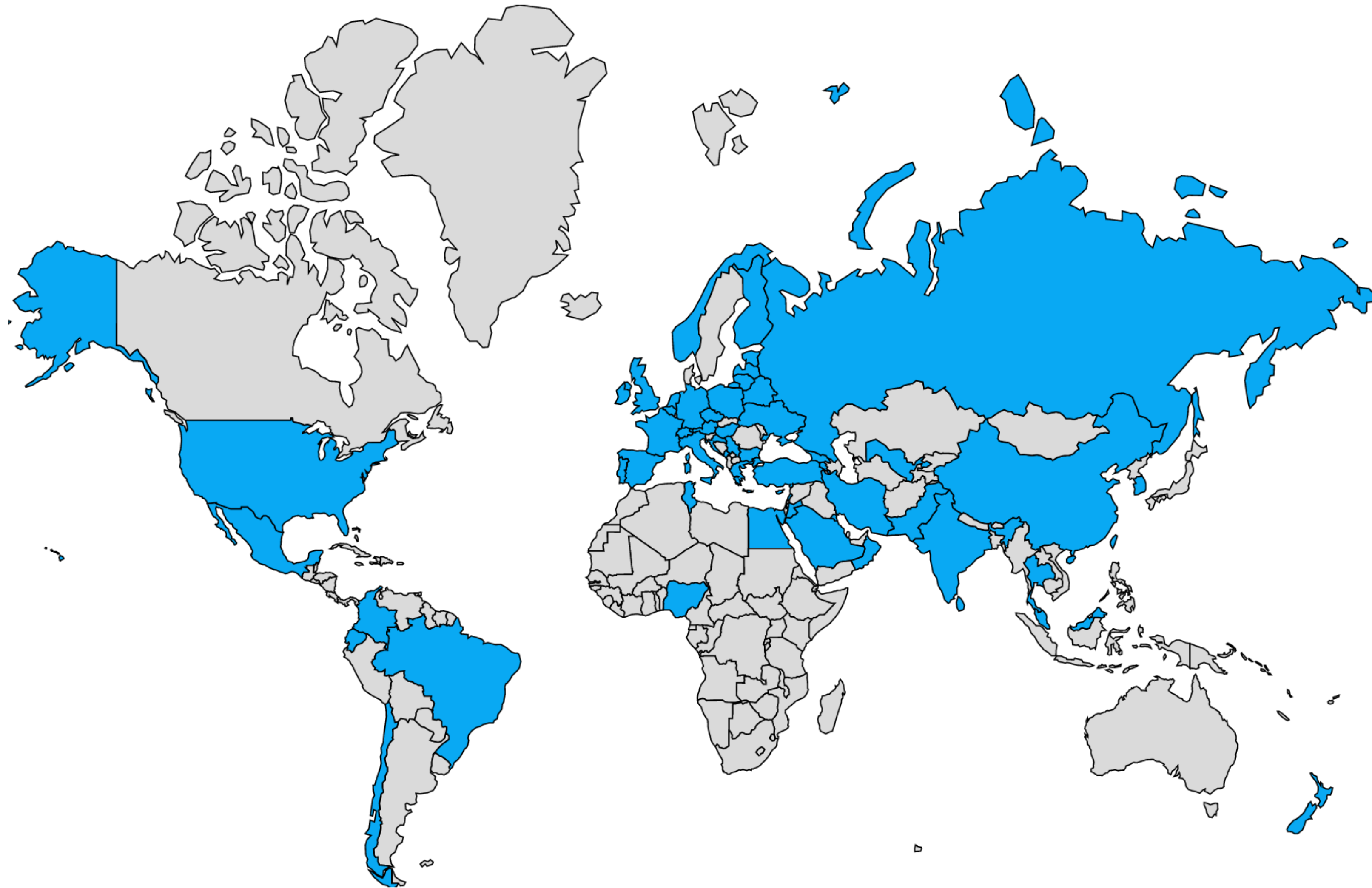
- 近一年CMS中国组队伍继续壮大（作者数量比去年增长~27%）
- 在希格斯物理、标准模型检验、新物理寻找、B物理、重离子物理等方面都做出了很有特色的工作（新结果数量比去年增长~38%）
- 硬件升级进展良好
- 感谢基金委、科技部、国内外同行、兄弟院校和实验的长期支持

Backup

The CMS experiment has **6029** active members from **255** institutes coming from **57** countries.



中国CMS
11个单位
45 教师
~20 博士后
~100 博士生



2121

Phd Physicists

(396 women 1725 men)

1150

Physics Doctoral Students

(308 women 842 men)

1290

Non Doctoral Students

(354 women 936 men)

1078

Engineers

(157 women 921 men)

269

Technicians

(22 women 247 men)

113

Administratives

(68 women 45 men)

CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 28.7 m
Magnetic field : 3.8 T

STEEL RETURN YOKE
12,500 tonnes

SILICON TRACKERS
Pixel ($100 \times 150 \mu\text{m}$) $\sim 16\text{m}^2 \sim 66\text{M}$ channels
Microstrips ($80 \times 180 \mu\text{m}$) $\sim 200\text{m}^2 \sim 9.6\text{M}$ channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID
Niobium titanium coil carrying $\sim 18,000\text{A}$

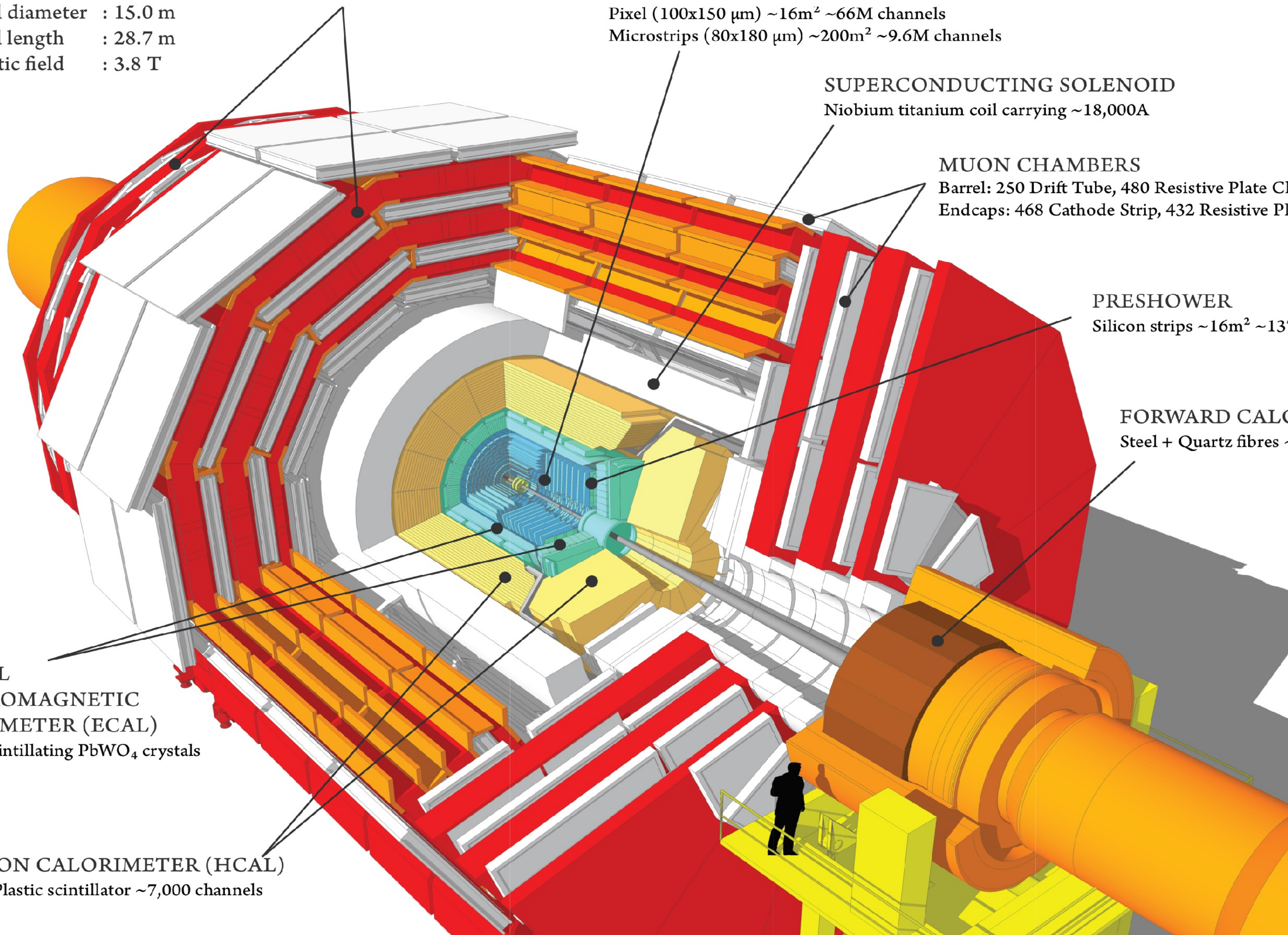
MUON CHAMBERS
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers
Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER
Silicon strips $\sim 16\text{m}^2 \sim 137,000$ channels

FORWARD CALORIMETER
Steel + Quartz fibres $\sim 2,000$ Channels

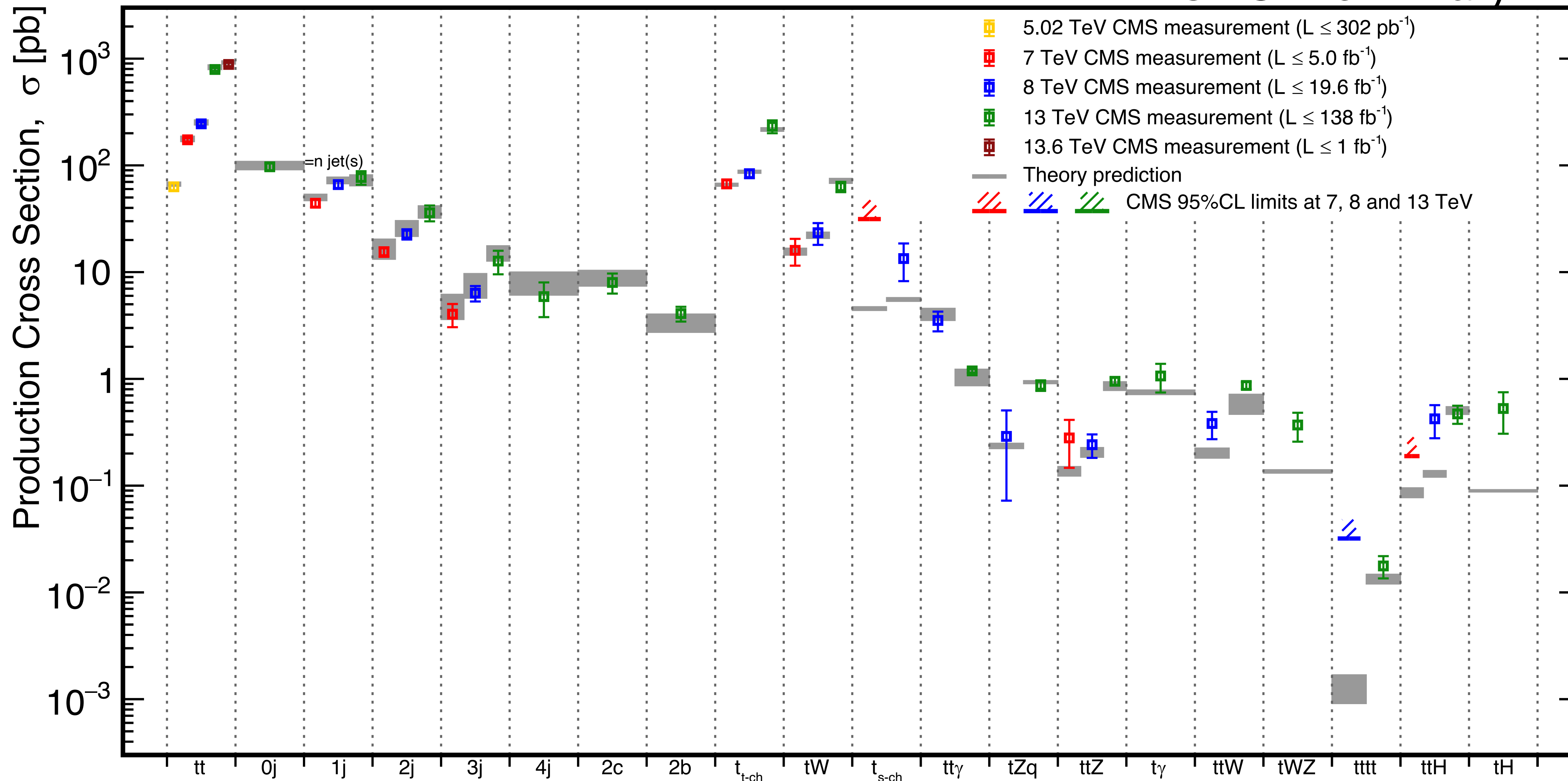
CRYSTAL
ELECTROMAGNETIC
CALORIMETER (ECAL)
 $\sim 76,000$ scintillating PbWO_4 crystals

HADRON CALORIMETER (HCAL)
Brass + Plastic scintillator $\sim 7,000$ channels



Aug 2023

CMS Preliminary

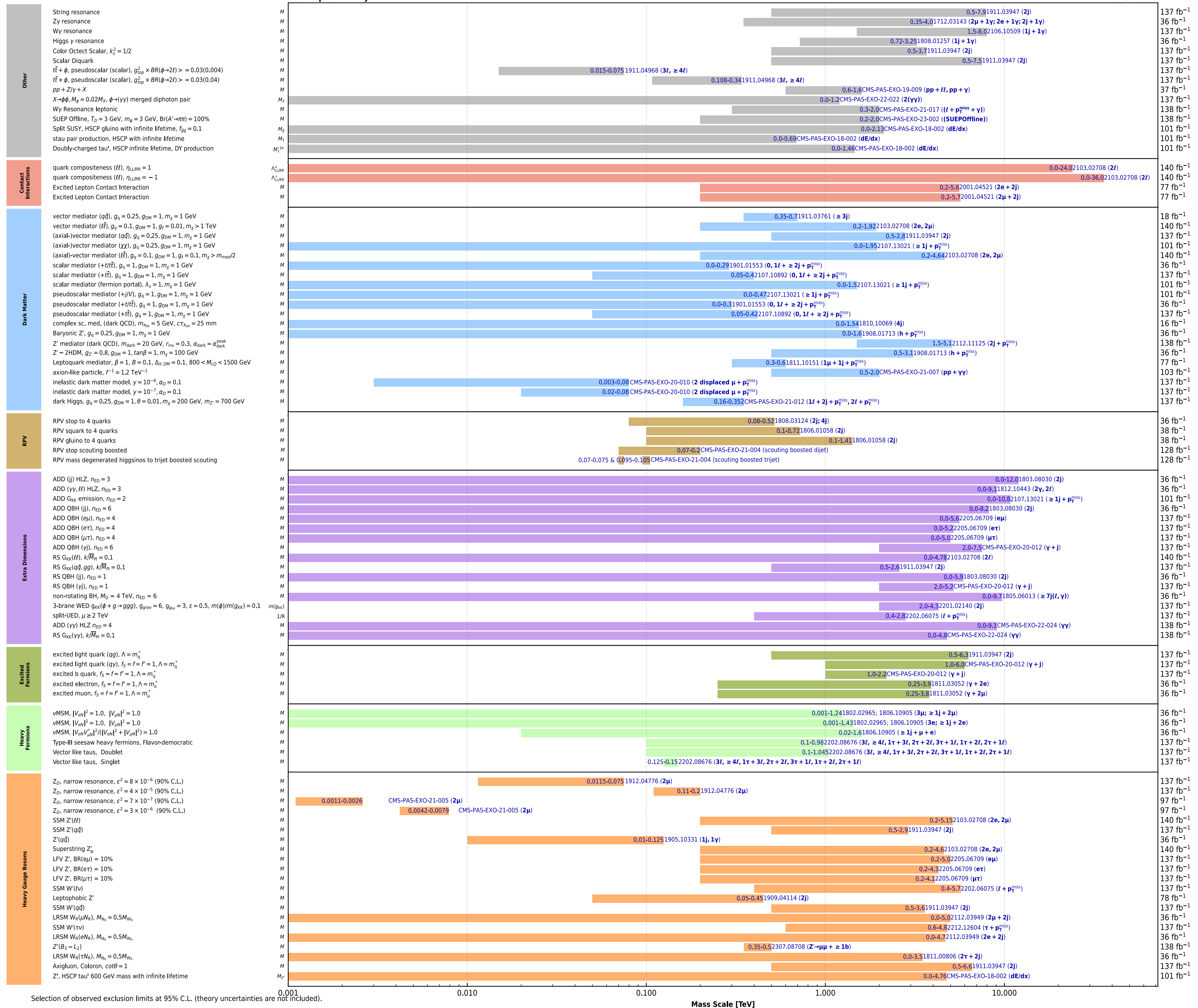


All results at: <http://cern.ch/go/pNj7>

Overview of CMS EXO results

CMS preliminary

March 2024



Selection of observed exclusion limits at 95% C.L. (theory uncertainties are not included).

Mass Scale [TeV]

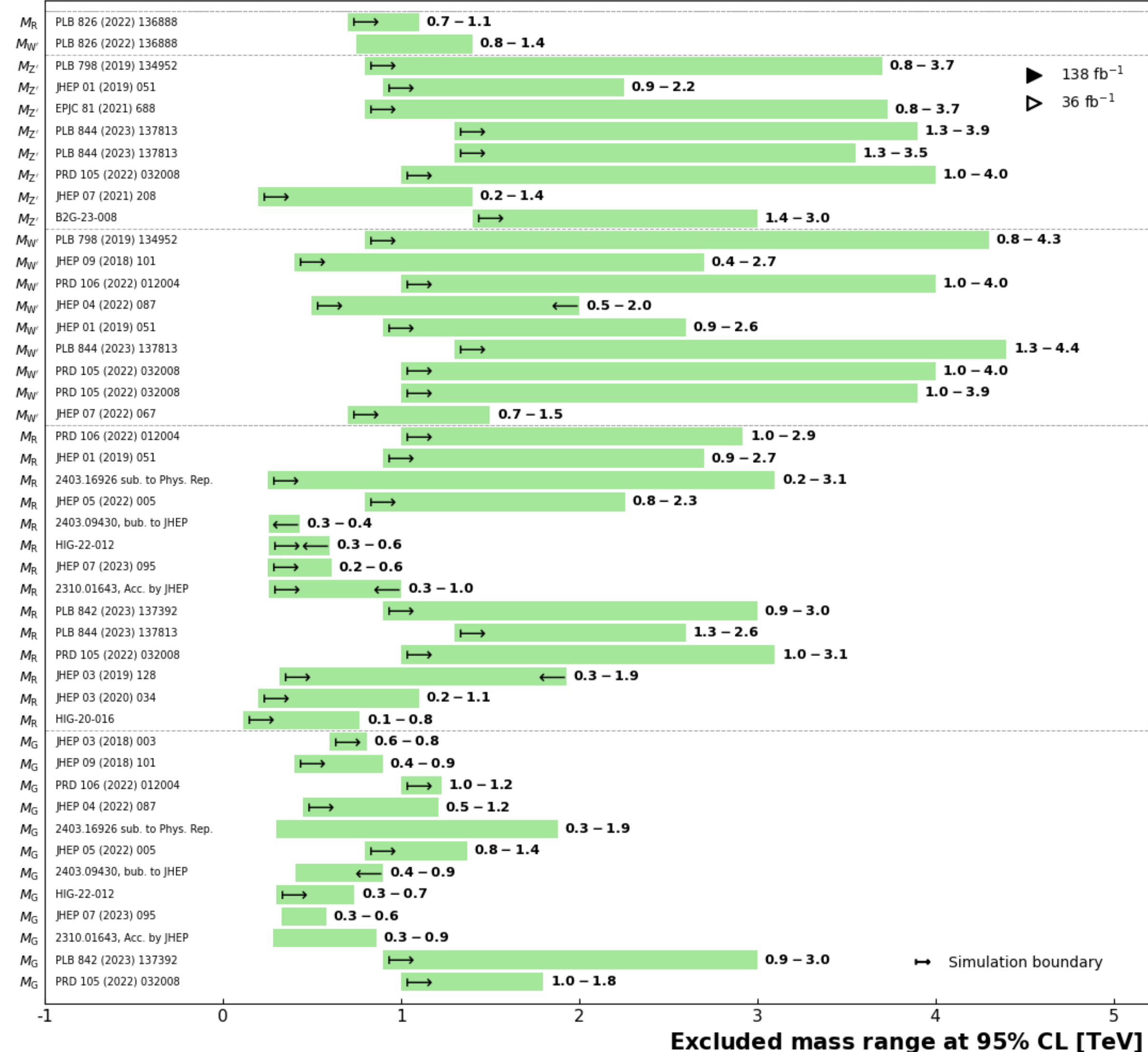
Overview of CMS B2G Results

36 – 138 fb⁻¹ (13 TeV)

W/VH/HH/V resonances

- HST**
 - ▶ R → q \bar{q} γ → Wγ (g_m = 0.1, Λ = 4M_X)
 - ▶ W' → q \bar{q} γ → Wγ (g_m = 0.1, Λ = 4M_X)
- Z', HVT B**
 - ▷ Z' (2016 combination)
 - ▷ Z' → ZH → q \bar{q} τ $\bar{\tau}$
 - ▶ Z' → ZH → (ll, νν)b \bar{b}
 - ▶ Z' → ZH → q \bar{q} q \bar{q}
 - ▶ Z' → WW → q \bar{q} q \bar{q}
 - ▶ Z' → WW → lνq \bar{q}
 - ▶ Z' → ll
 - ▶ Z' → ZH → llνν, cc/4q
- W', HVT B**
 - ▷ W' (2016 combination)
 - ▷ W' → WZ → llq \bar{q}
 - ▶ W' → WZ → ννq \bar{q}
 - ▶ W' → WZ → llq \bar{q}
 - ▷ W' → WH → q \bar{q} τ $\bar{\tau}$
 - ▶ W' → WZ → q \bar{q} q \bar{q}
 - ▶ W' → WH → lνq \bar{q}
 - ▶ W' → WZ → lνq \bar{q}
 - ▶ W' → llν
- Radion, Λ_R = 3 TeV**
 - ▶ R → ZZ → ννq \bar{q}
 - ▷ R → HH → q \bar{q} τ $\bar{\tau}$
 - ▶ R → HH (combination)
 - ▶ R → HH → b \bar{b} WW (lep.) merged-jet
 - ▶ R → HH → b \bar{b} WW (lep.)
 - ▶ R → HH → ττγγ (not in HH Comb.)
 - ▶ R → HH → multi-leptons
 - ▶ R → HH → γγb \bar{b}
 - ▶ R → HH → b \bar{b} b \bar{b} merged-jet
 - ▶ R → VV → q \bar{q} q \bar{q}
 - ▶ R → WW → lνq \bar{q}
 - ▷ R → ZZ
 - ▷ R → WW
 - ▷ R → WW
- Bulk G_κ/M_{Pl} = 0.5**
 - ▷ G → ZZ → llνν
 - ▷ G → ZZ → llq \bar{q}
 - ▶ G → ZZ → ννq \bar{q}
 - ▶ G → ZZ → llq \bar{q}
 - ▶ G → HH (combination)
 - ▶ G → HH → b \bar{b} WW (lep.) merged-jet
 - ▶ G → HH → b \bar{b} WW (lep.)
 - ▶ G → HH → ττγγ (not in HH Comb.)
 - ▶ G → HH → multi-leptons
 - ▶ G → HH → γγb \bar{b}
 - ▶ G → HH → b \bar{b} b \bar{b} merged-jet
 - ▶ G → WW → lνq \bar{q}

CMS Preliminary



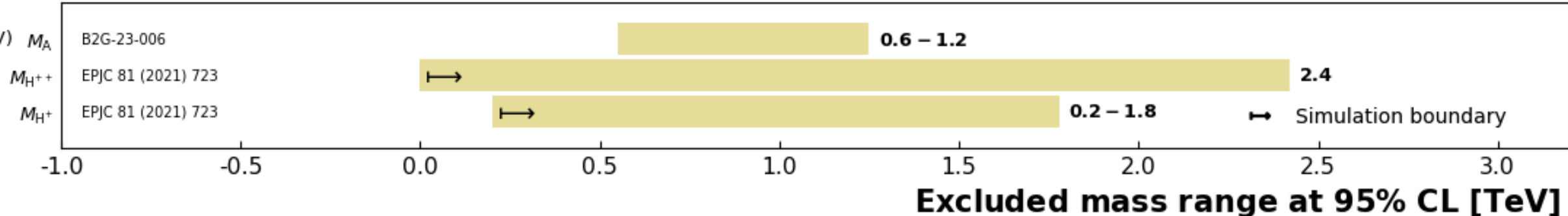
Overview of CMS B2G Results

138 fb⁻¹ (13 TeV)

H-ext.

- ▶ A → ZH → ll t \bar{t} (2HDM T-II, tanβ = 1, m_H = 400 GeV)
- ▶ H⁺⁺ → WW → multi-leptons (H⁺, σ_{GM}^{H⁺}, SH = 1)
- ▶ H⁺ → WZ → multi-leptons (H⁺, σ_{GM}^{H⁺}, SH = 1)

CMS Preliminary



CMS Preliminary

LEP combination
Phys. Rep. 532 (2013) 119

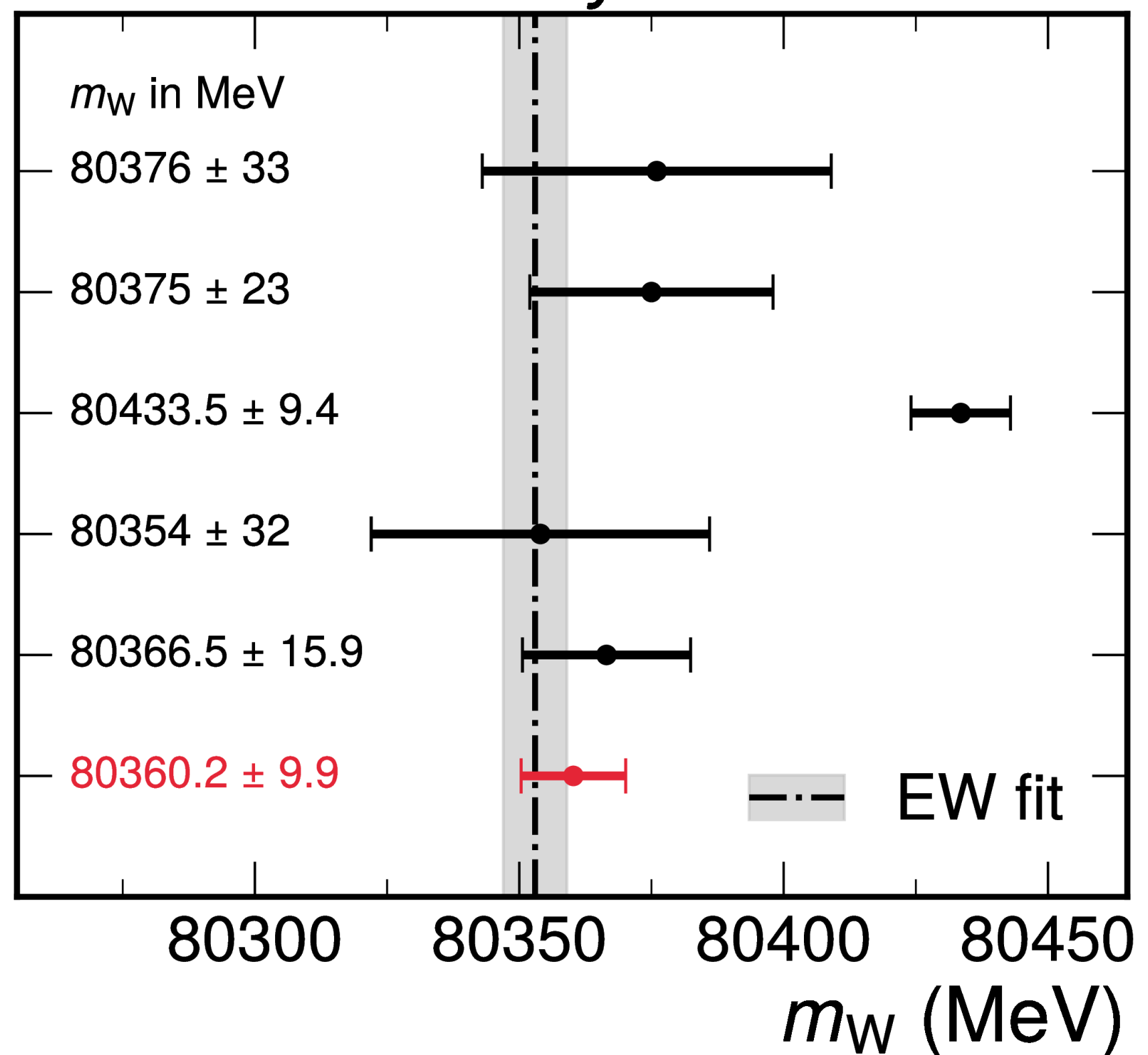
D0
PRL 108 (2012) 151804

CDF
Science 376 (2022) 6589

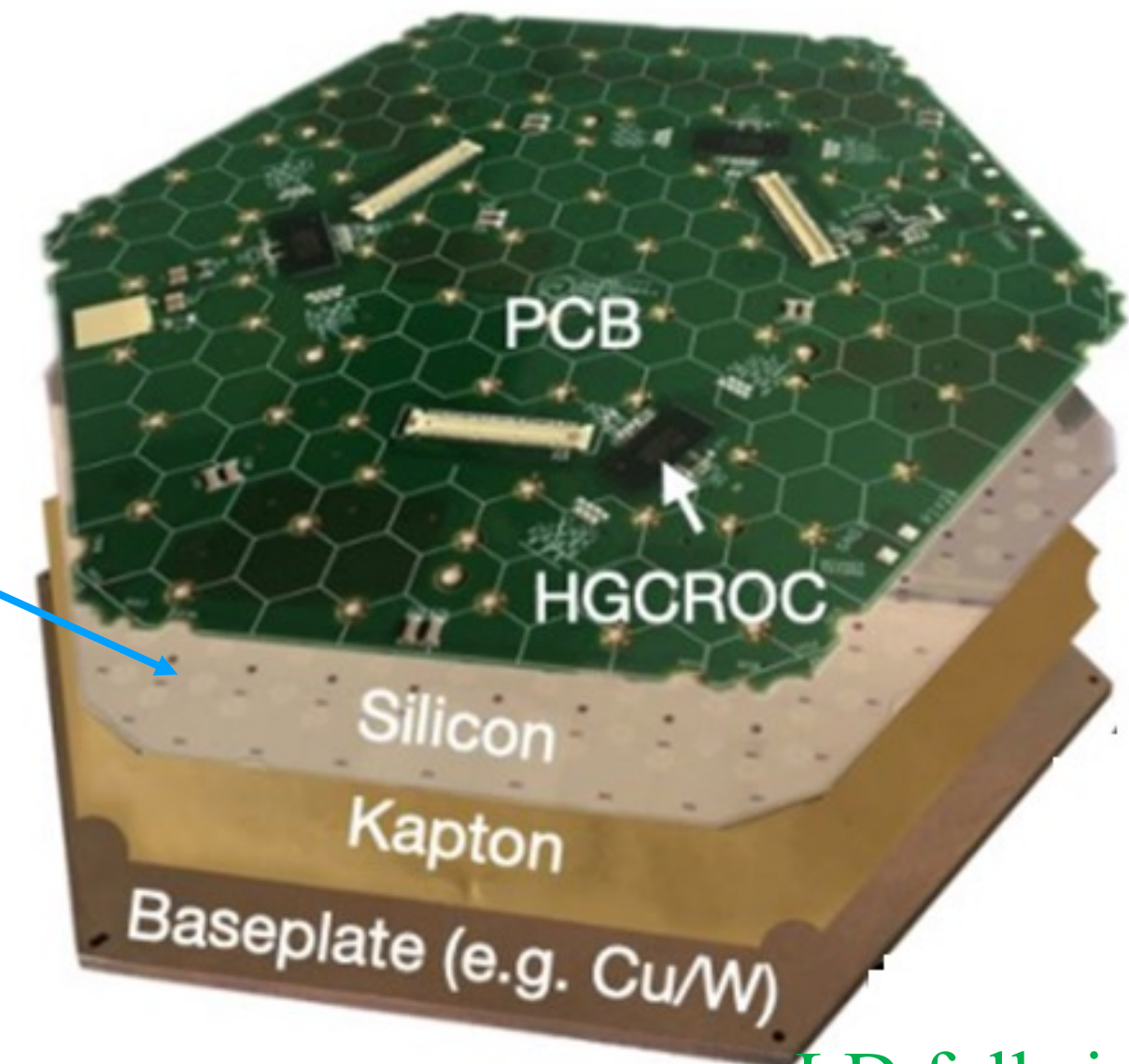
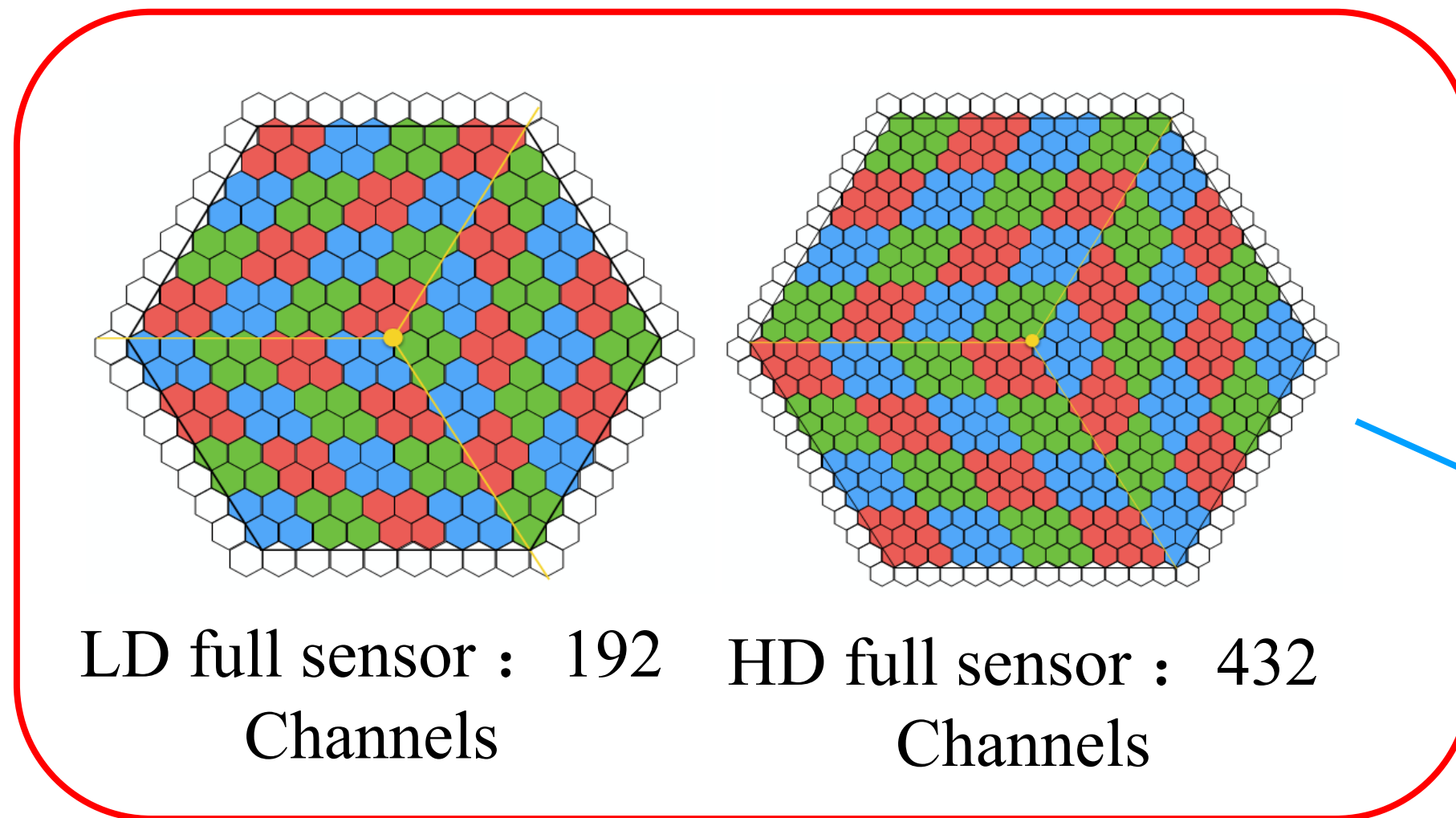
LHCb
JHEP 01 (2022) 036

ATLAS
arxiv:2403.15085, subm. to EPJC

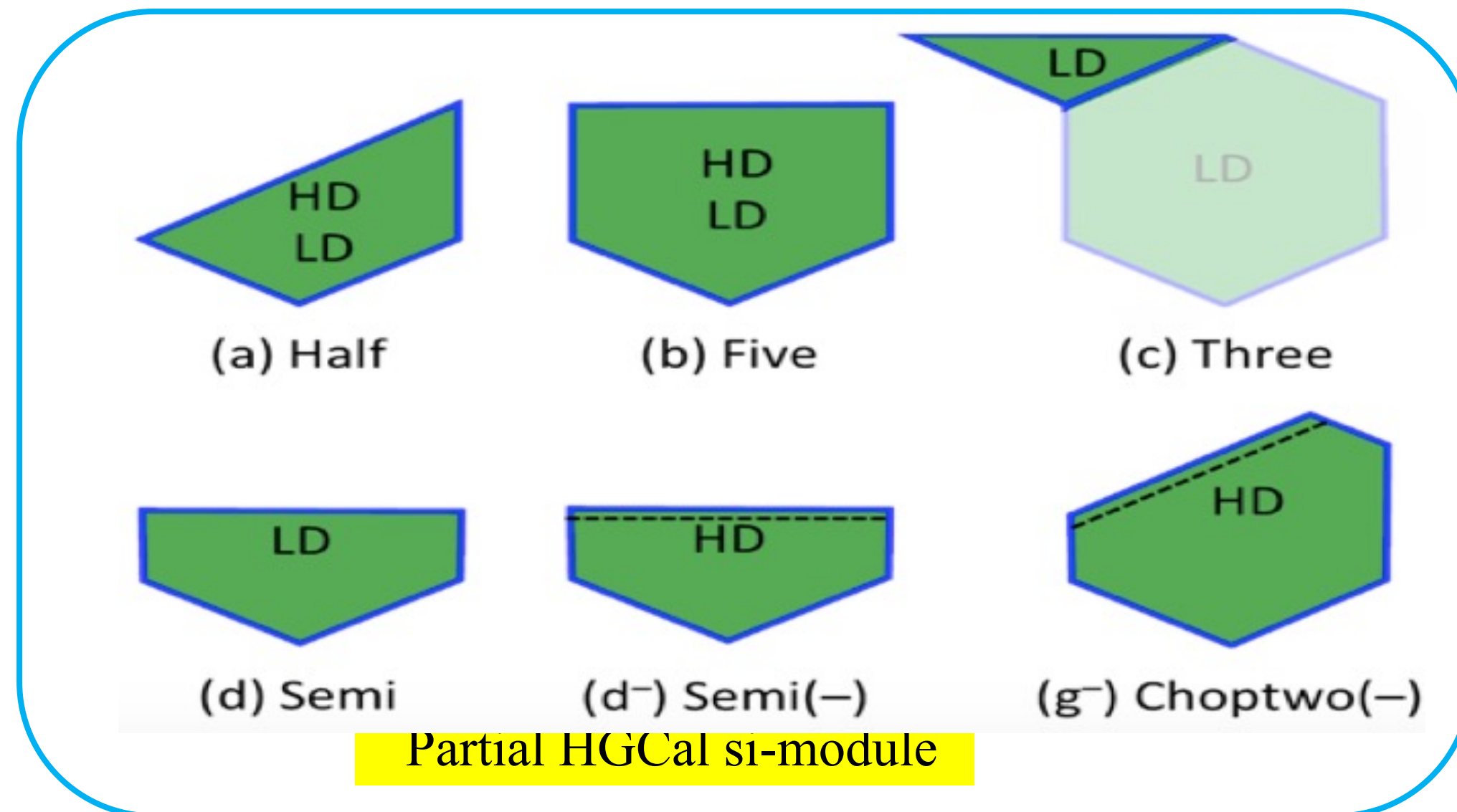
CMS
This Work



CMS-HGCal: 中国组承担任务



LD full si-module



- ❑ 1/5 (~5000) Low density (LD) full模块生产
 - Core contribution
- ❑ 钨铜合金底板和Kapton膜生产
 - In-kind contribution
- ❑ Sensor质量控制(SQC)
- ❑ 电子学版设计

合作单位: 高能所+清华+浙大+复旦+南京师范

CMS-HGCal: 进展总结

□ CuW baseplate生产

- ◆ Key-contract 已经通过CERN和高能所双方的审核，目前正在等待CERN方面的签字
- ◆ CuW baseplate采购的招标正在筹备中，预计11月完成
- ◆ 今年共生产30块CuW baseplate
- ◆ 完成了Kapton贴膜工艺的研发，厚度平整度控制满足要求
- ◆ 其中2块于6月寄往KIT作抗辐照测试，7块寄往NTU制作模块
- ◆ 高能所站点模块生产所用的CuW baseplate全部是有中国公司生产

□ HGCal模块生产

- ◆ 去年底今年高能所站点共完成40个HGCal LD full模块生产
- ◆ 其中7块为pre-production模块（7月份已经送到CERN），高能所是CMS合作组内第一个也是目前唯一承担并完成该任务的站点
- ◆ 33块pre-series模块（24 已经寄往CERN，另外9块已经通过测试准备发送）

□ 束流测试

- ◆ 今年7月和9月共进行了2次HGCal束流测试
- ◆ 这两次束流测试所用的模块全部由高能所生产，共13块
- ◆ 所有13个模块在束流测试中表现良好

CMS-HGCal: CuW baseplate的生产

高能所

CuW baseplate: CuW+Kapton+3M



中国生产的CuW baseplate

- 中国组计划提供大约11000块CuW baseplate作为In-kind贡献
 - ◆ Key-contract已经通过CERN和高能所双方的审核，目前正在等待CERN方面的签字。
 - ◆ CuW baseplate采购的招标正在筹备中，预计11月完成
- CuW baseplate R&D
 - ◆ 今年共生产30快CuW baseplate
 - ◆ 完成了Kapton贴膜工艺的研发，厚度平整度控制满足要求
 - ◆ 其中2块于6月寄往KIT作抗辐照测试，7块寄往NTU用于制作模块
 - ◆ 其余21块在高能所用于HGCal模块生产

Batch	Date	Design	Number	Kapton Laminate method	Use fixture	3M tape on Surface	Status
1	May. 2024	V4_CuW_Baseplate	2	Pure adhesive	Yes	Yes	寄往KIT
			7	Pure adhesive	Yes	Yes	寄往NTU
			21	Pure adhesive	Yes	Yes	IHEP

CMS-HGCa1: 模块生产总结

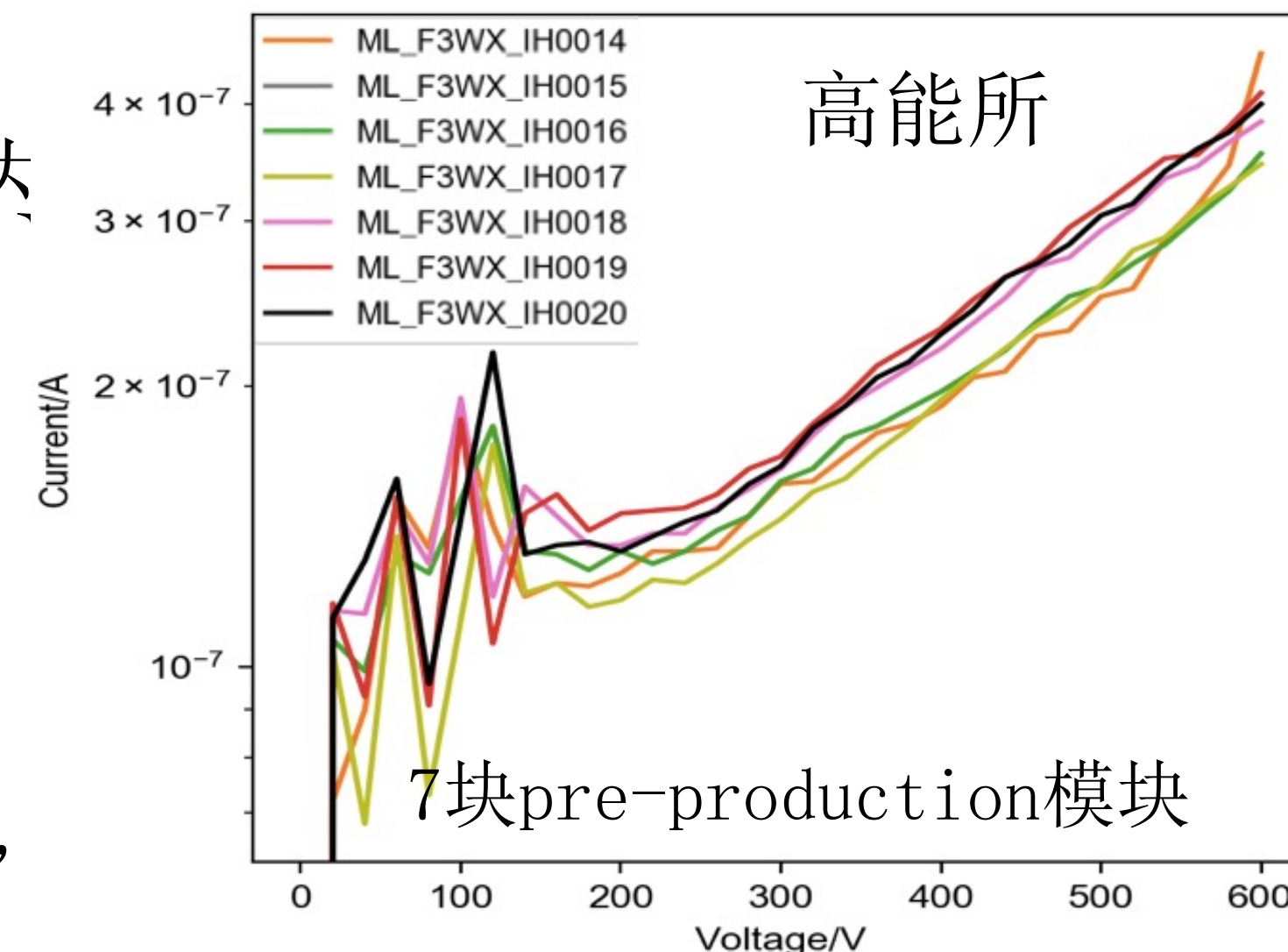
Module Production: 1/23-4/24

	Numbers	Types	"Grade A"	Not "Grade A"		
				Bad IV	Bad Readout	Bad Placement
CMU	10	LD FULL	5	1		4
IHEP	23	LD FULL	18	3	3	
NTU	21	HD FULL / LD LEFT	16	5	2	
TTU	11	LD FULL	7	3	1	
UCSB	27	LD FULL / HD FULL / LD RIGHT	18	6	4	2

Module Production: 4/24 - 10/24

	Numbers	Types	"Grade A"	Not "Grade A"		
				Bad IV	Bad Readout	Bad Placement
CMU	12	LD FULL	8	1	1	3
IHEP	17	LD FULL	13	1	2	1
NTU	15	HD FULL	11		3	1
TTU	16	LD FULL				
UCSB	10	HD FULL / LD RIGHT	5		3	3

IV Curve

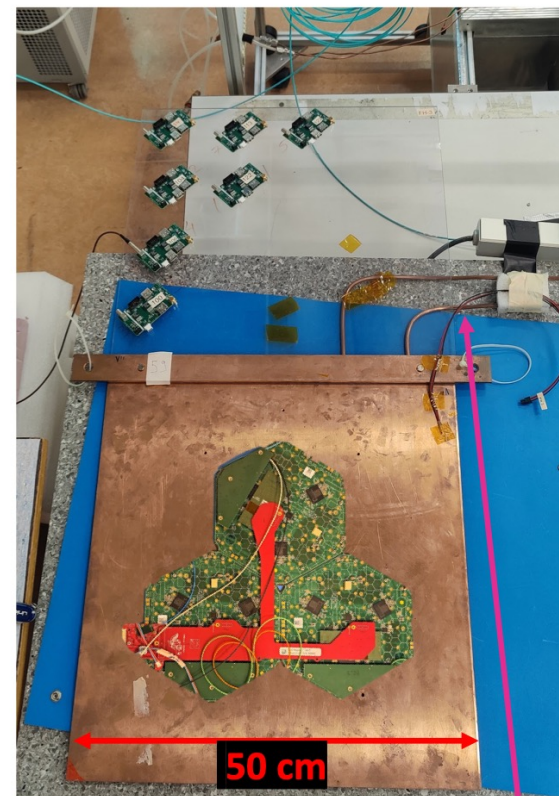


- ❑ 模块生产所用到的钨铜合金底板全部由国内企业制作
- ❑ 高能所自去年底一共生产了40个HGCa1模块
 - 在合作组内第一个也是目前唯一一个承担并完成7块pre-production模块 (7月份已经送到CERN)
 - 33块pre-series 模块 (24 已经寄往CERN, 另外9块已经通过测试准备发送)
 - 其中31个模块的质量为grade A。目前对比其他单位, 高能所生产的模块数量和质量都是处于领先地位

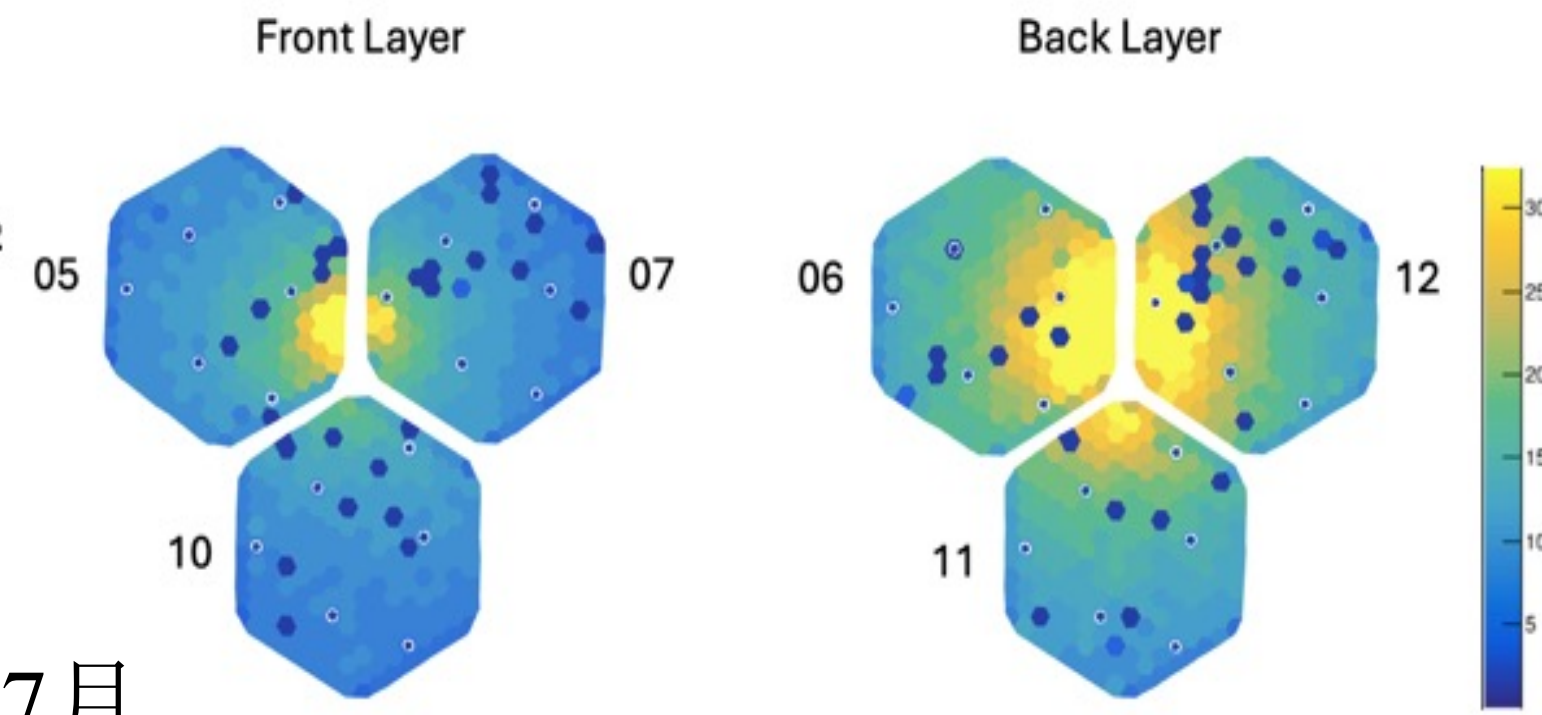
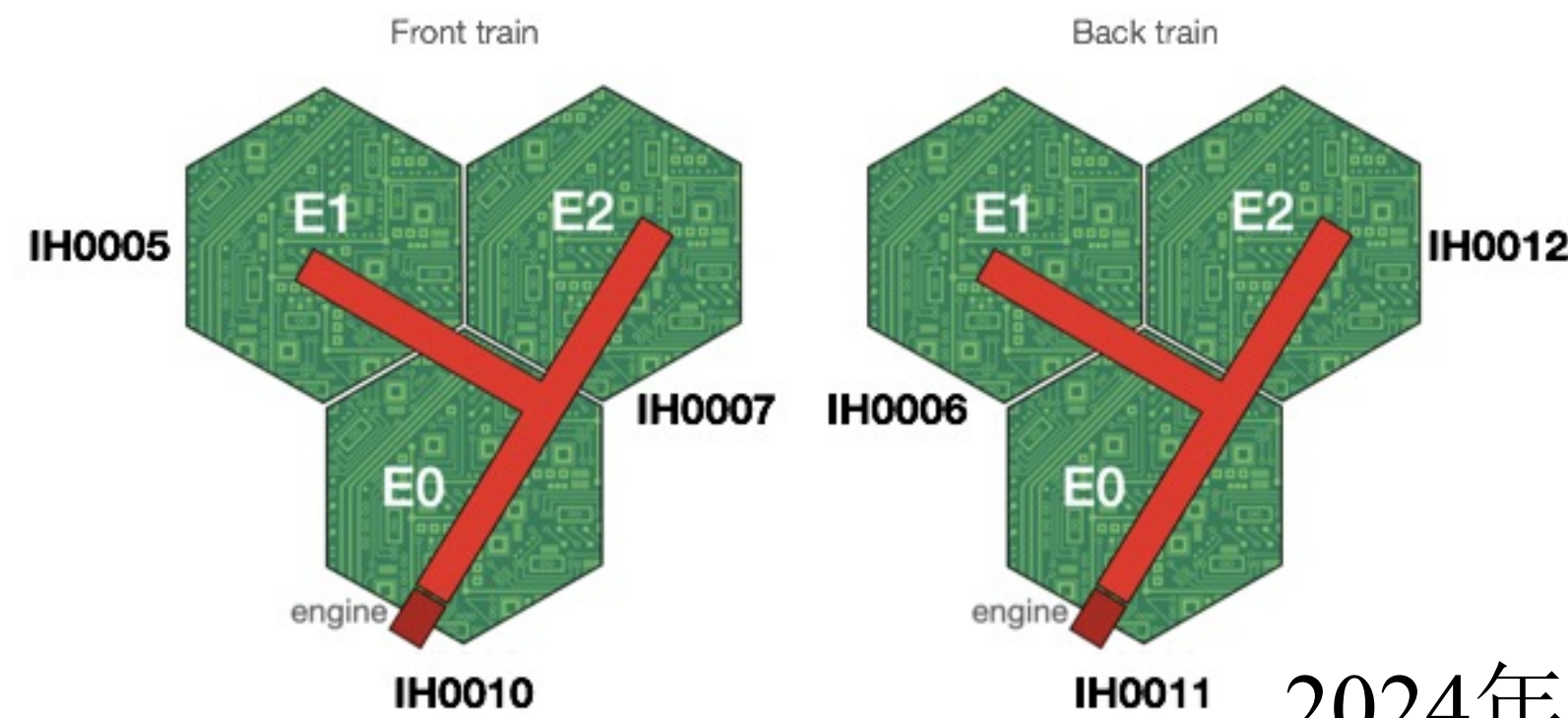
CMS-HGCa1: 束流测试

高能所

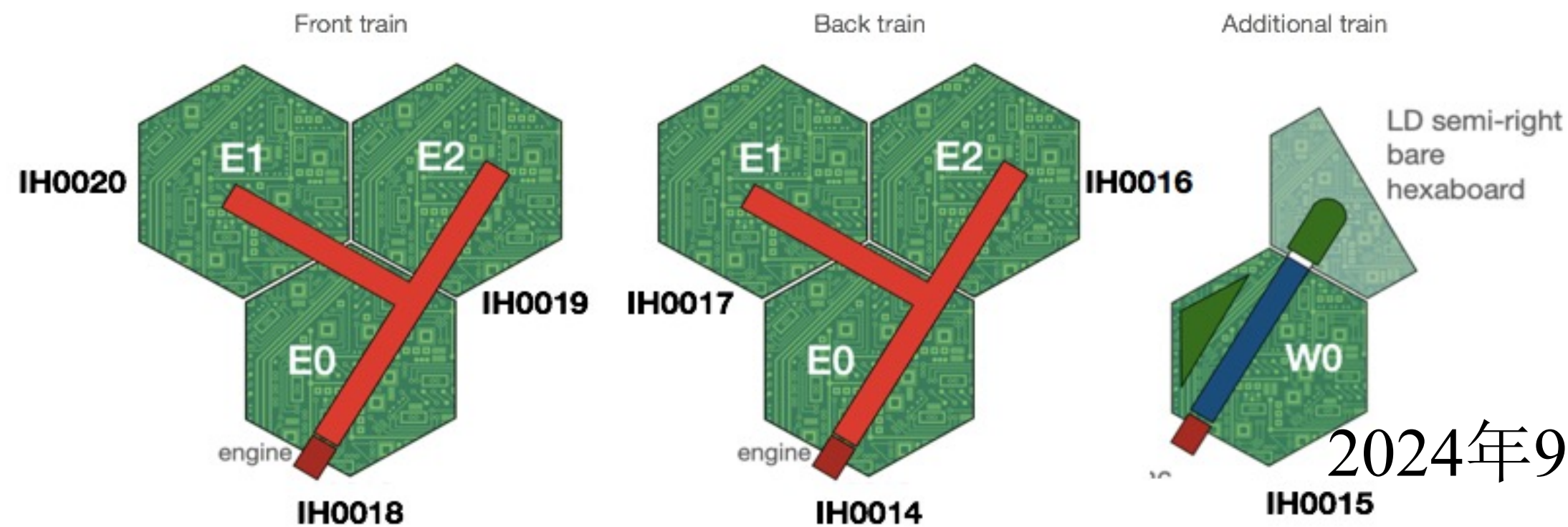
- 今年7月和9月共进行了2次HGCa1束流测试
 - ◆ 这两次束流测试所用的模块全部由高能所生产，共13块。
 - ◆ 7块pre-production模块用于前端电子学芯片HGROCV3B设计验证
- 所有13个模块在束流测试种表现良好



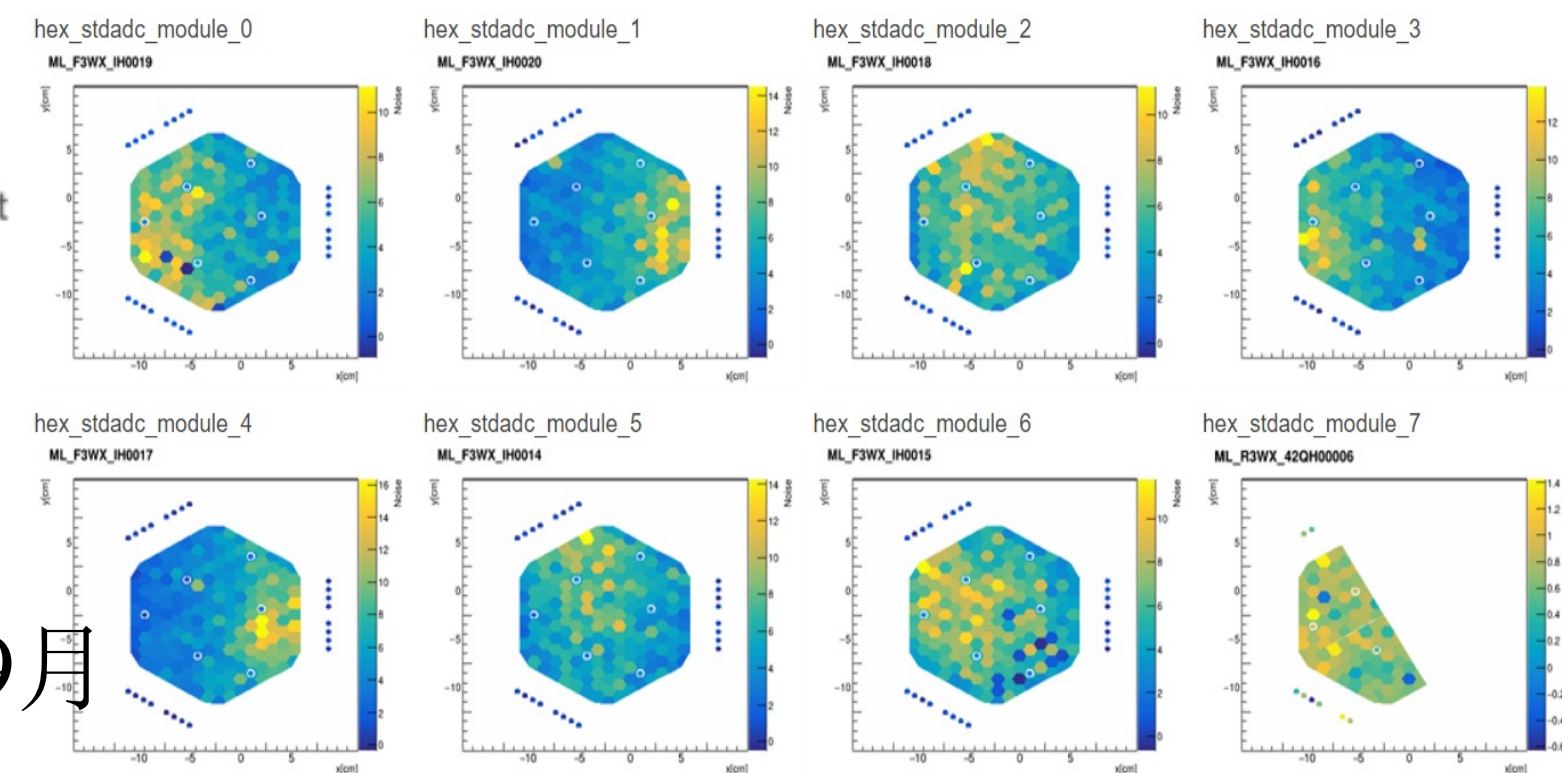
Water cooling



2024年7月

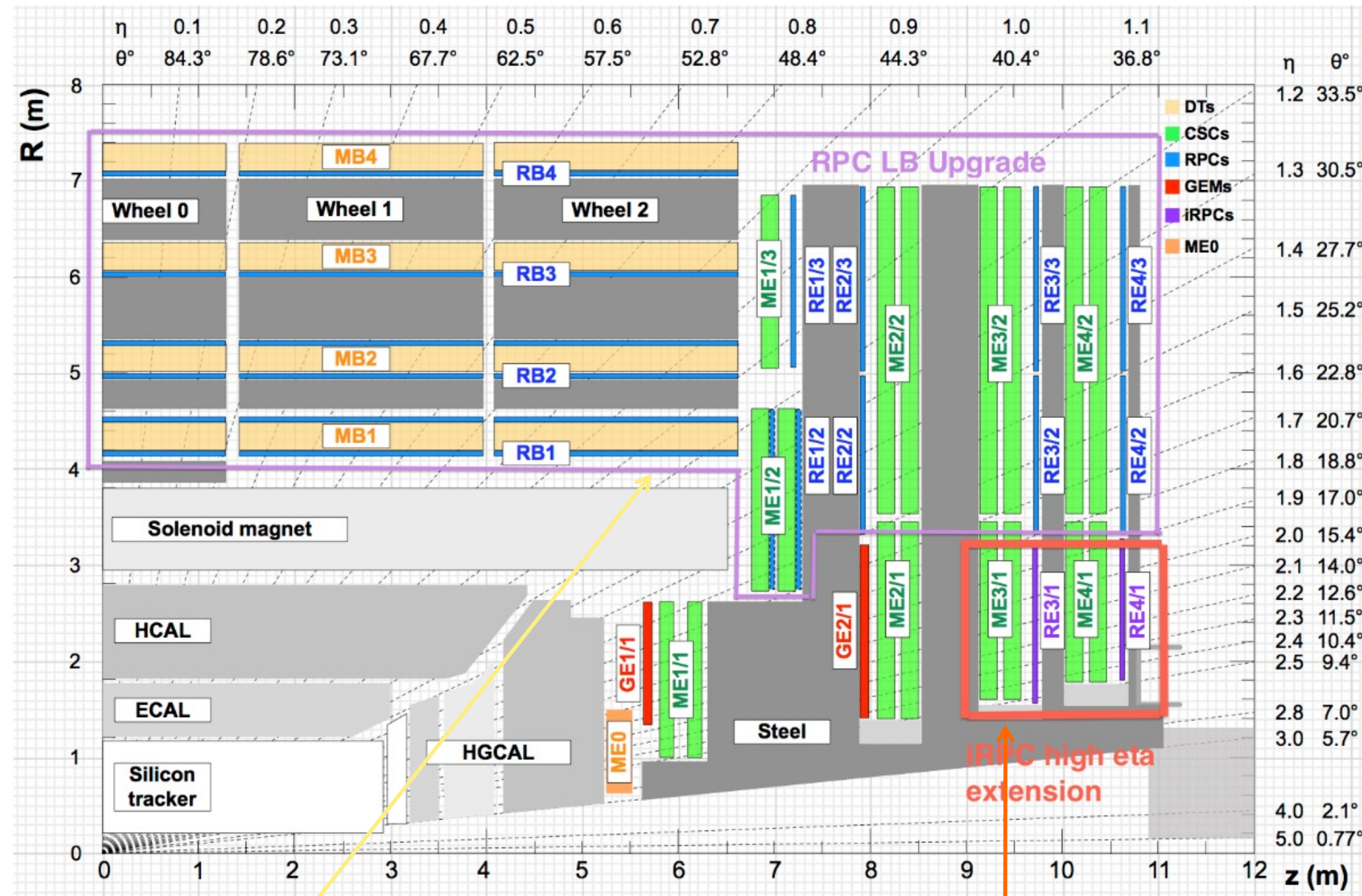


2024年9月



RPC触发电子学进展

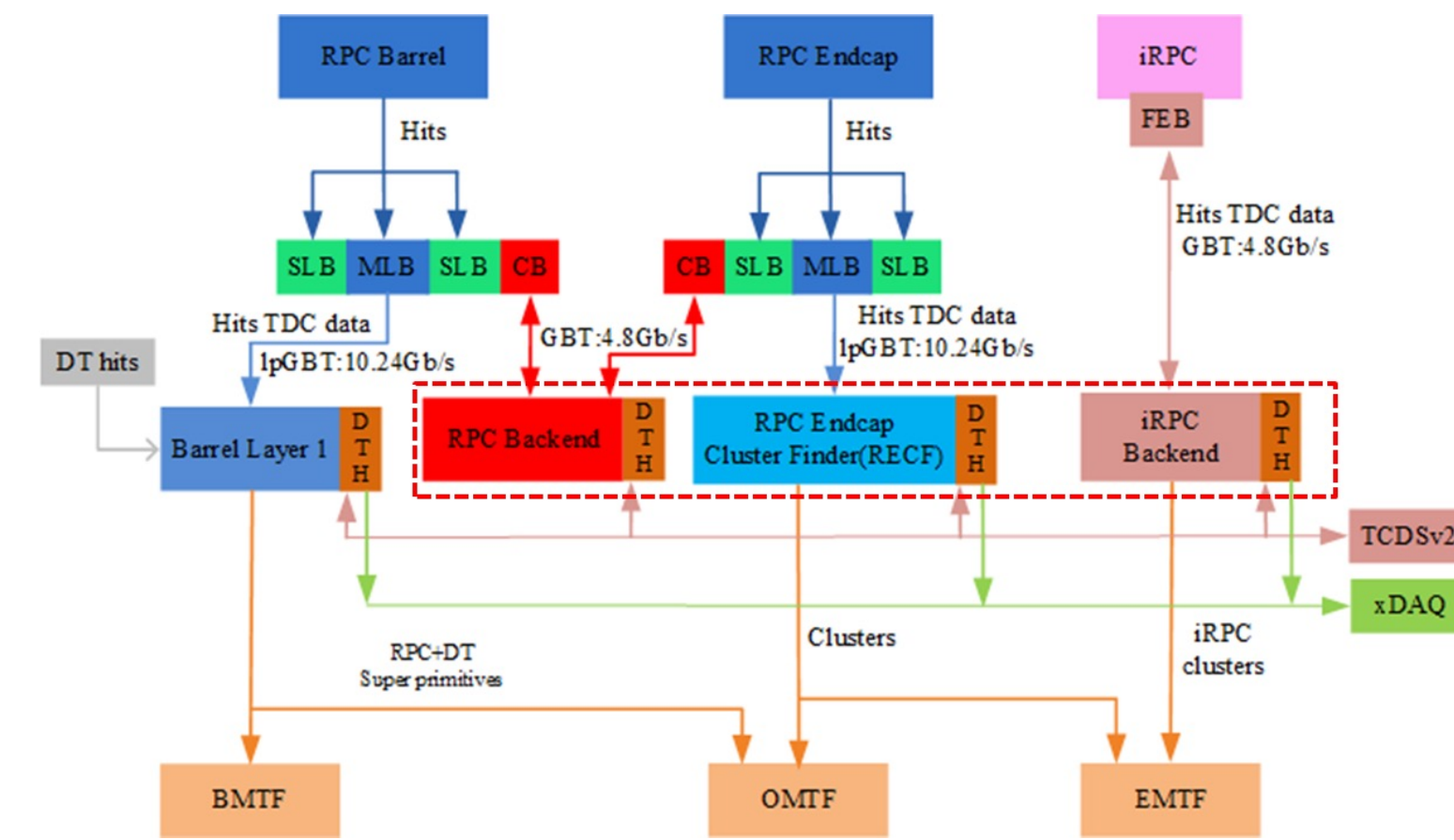
高能所



升级已有RPC的 Linksystem系统, 提高时间分辨

在端盖3/1和4/1新安装 iRPC探测器, 覆盖更前端的空间

RPC任务: 为以上两个系统新设计后端触发电子学



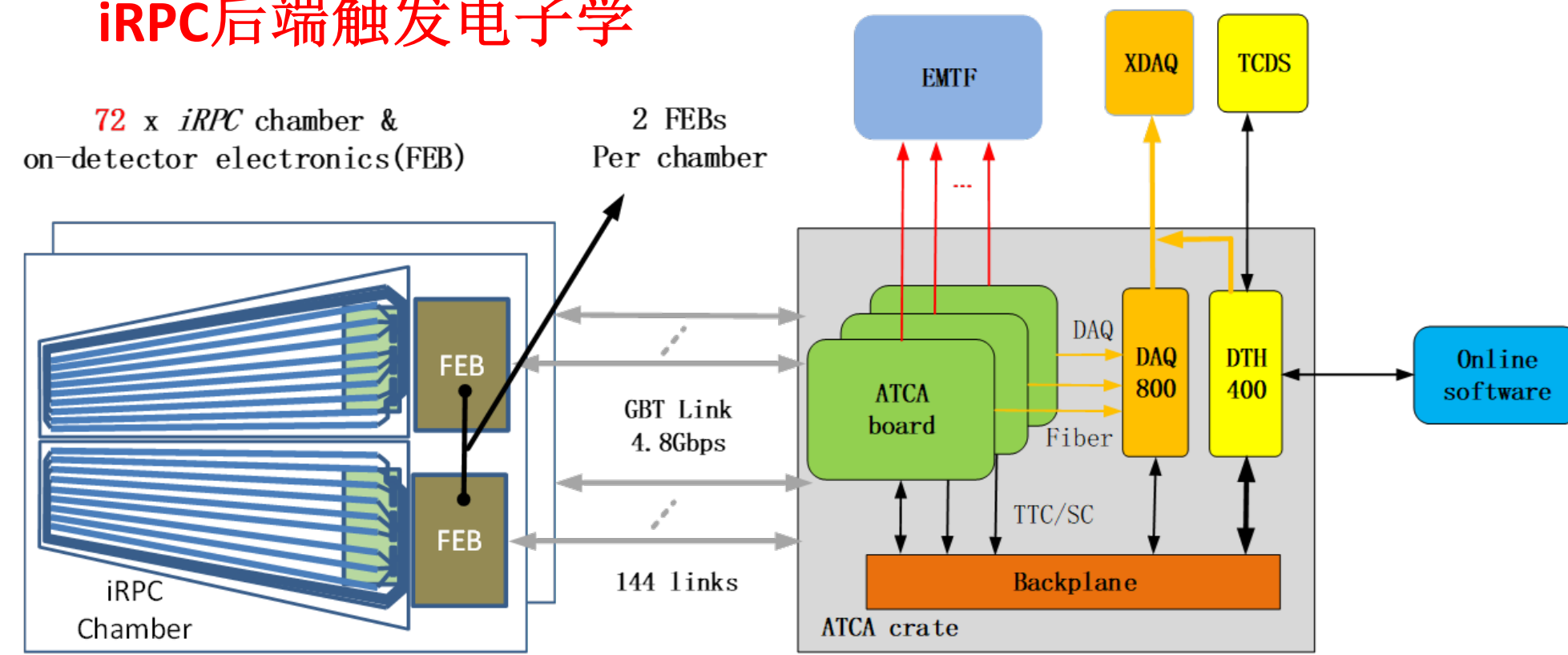
◆ RPC 3部分任务

- iRPC 后端触发电子学
- 端盖RPC粗查找系统
- RPC后端电子学

RPC触发电子学方案设计通过CMS评审

- 完成基于ATCA架构的系统方案设计及前端电子学-后端触发电子学的连接映射。

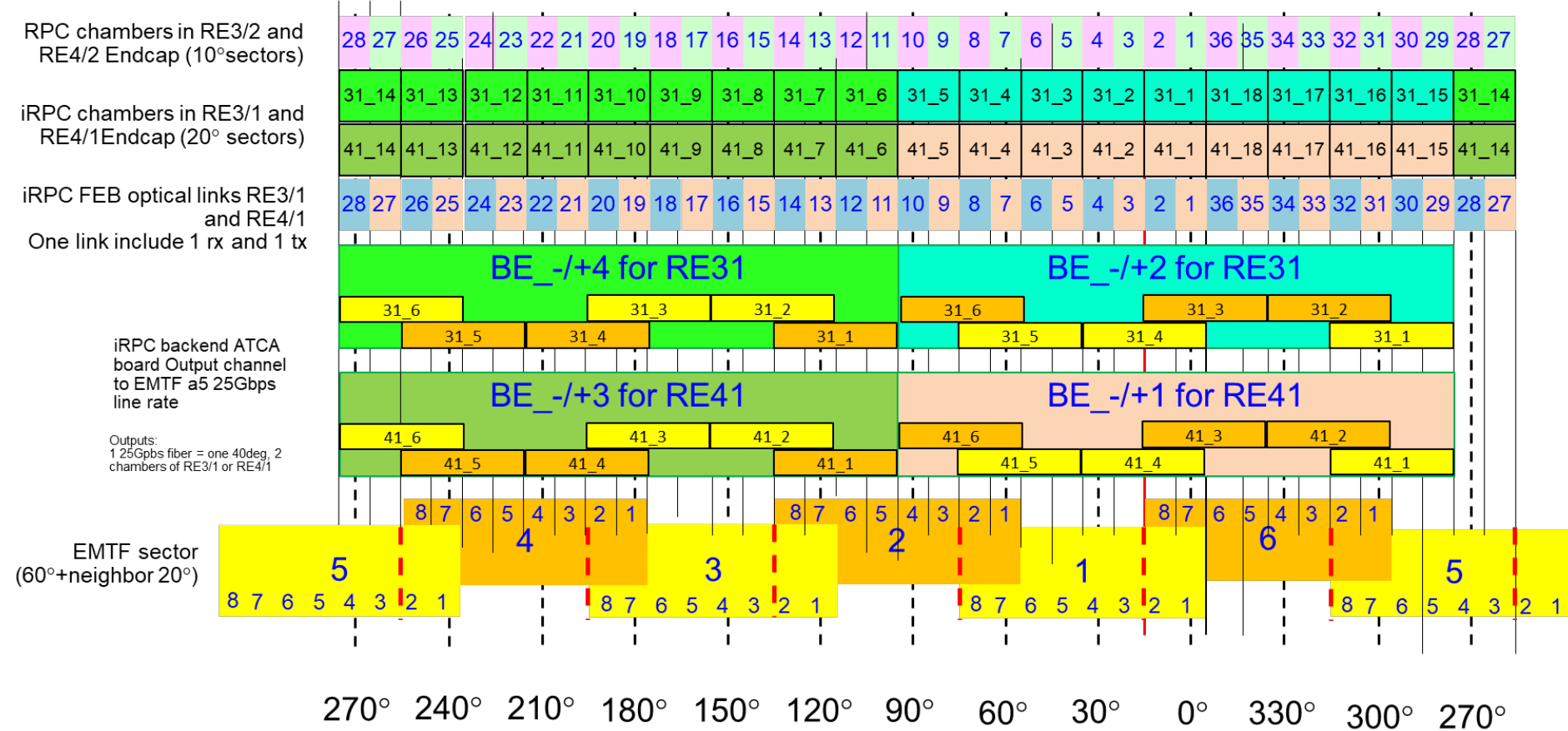
iRPC后端触发电子学



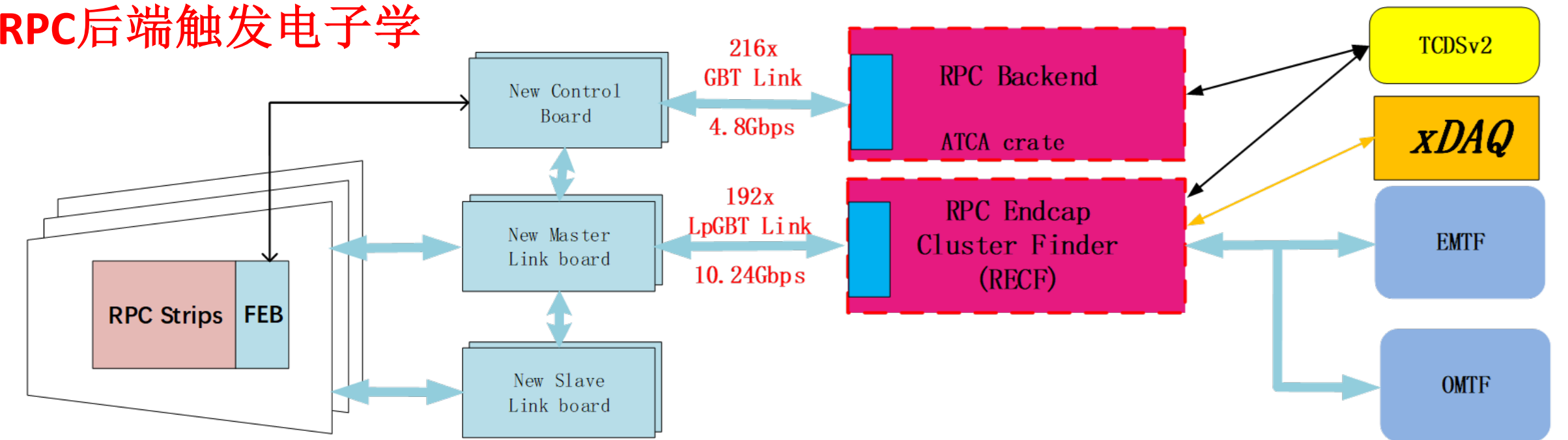
1 link including 1 tx and 1 rx

iRPC FEB-BE-EMTF mapping(update)

20240213 version for 2024 CMS ESR

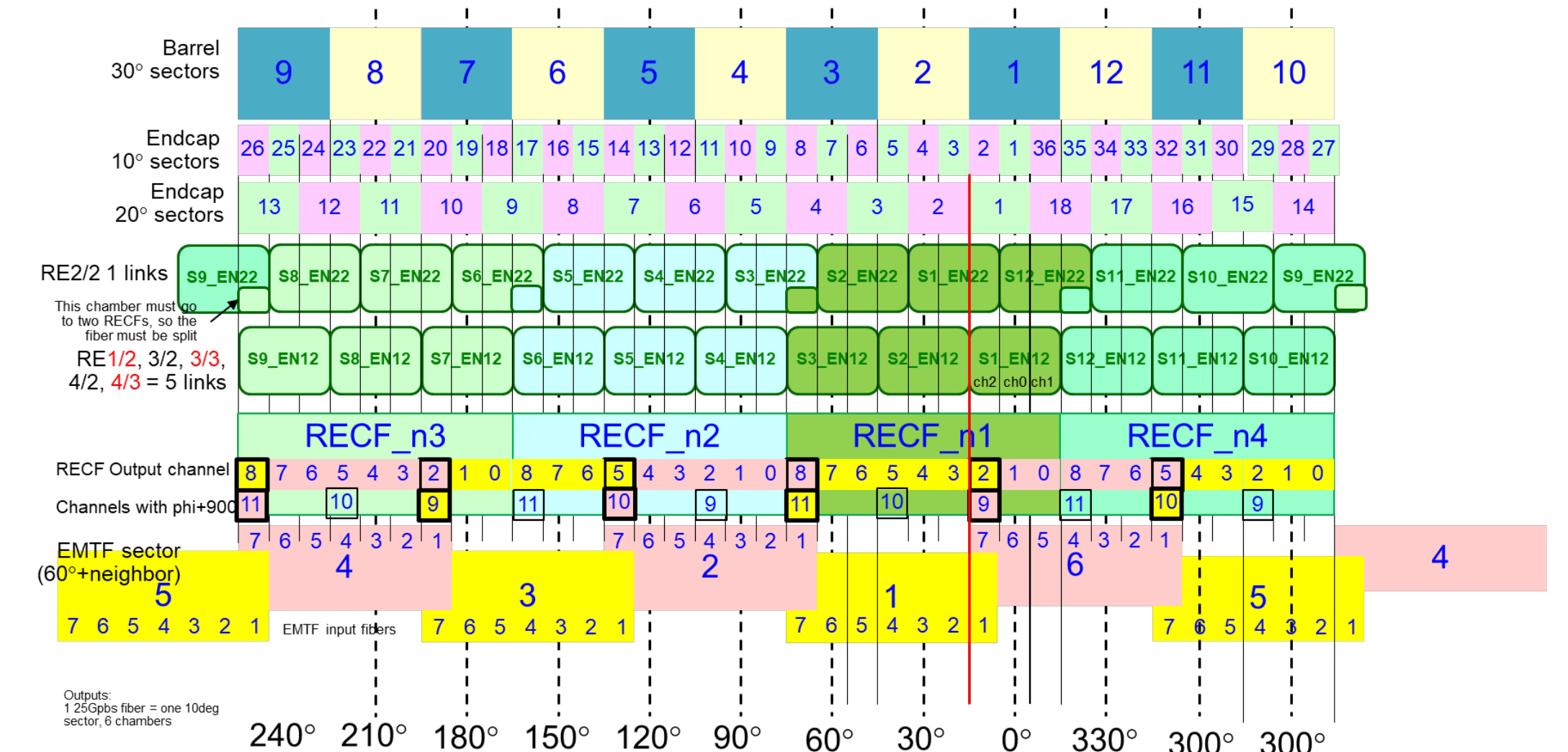


RPC后端触发电子学



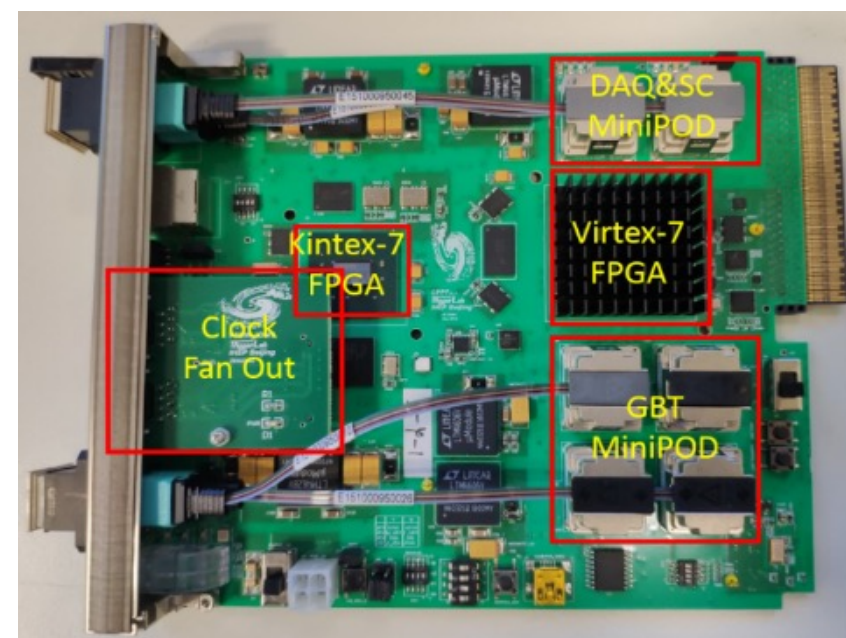
Phase-II one side RPC-RECF-EMTF connection(update)

20240130 version for 2024 CMS ESR

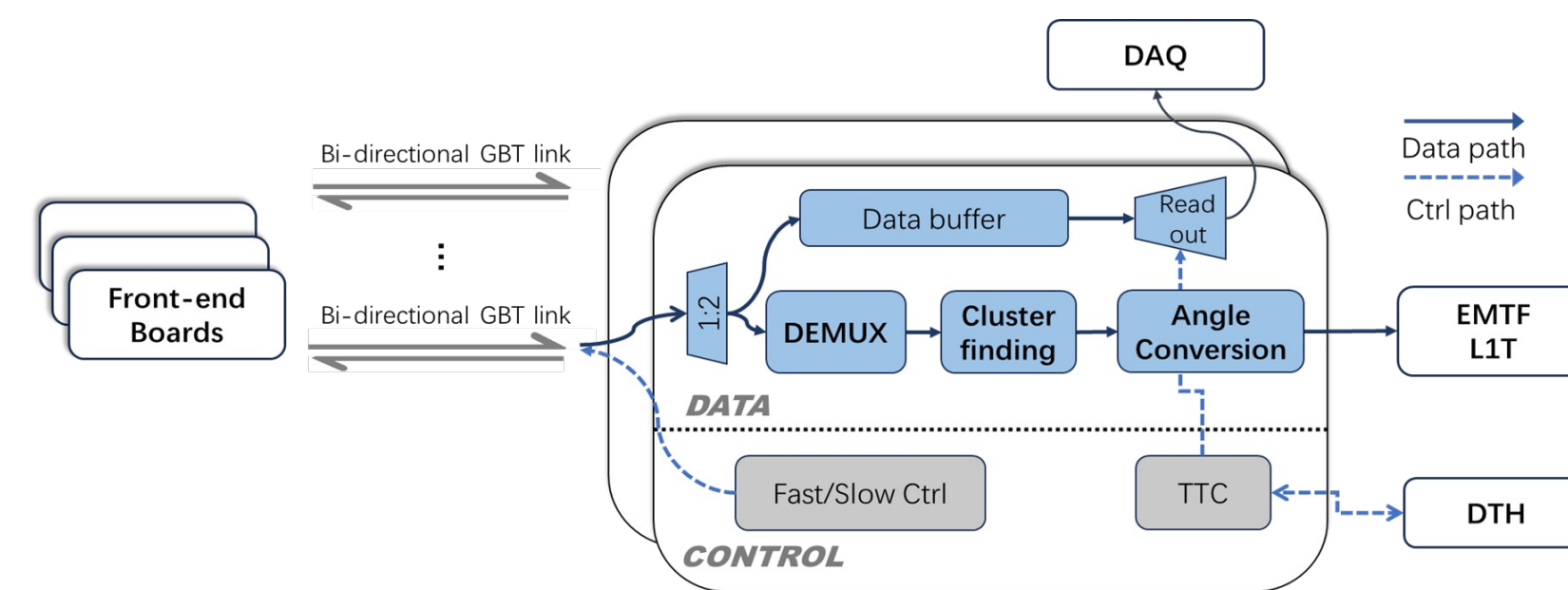


iRPC后端触发电子学系统重要进展

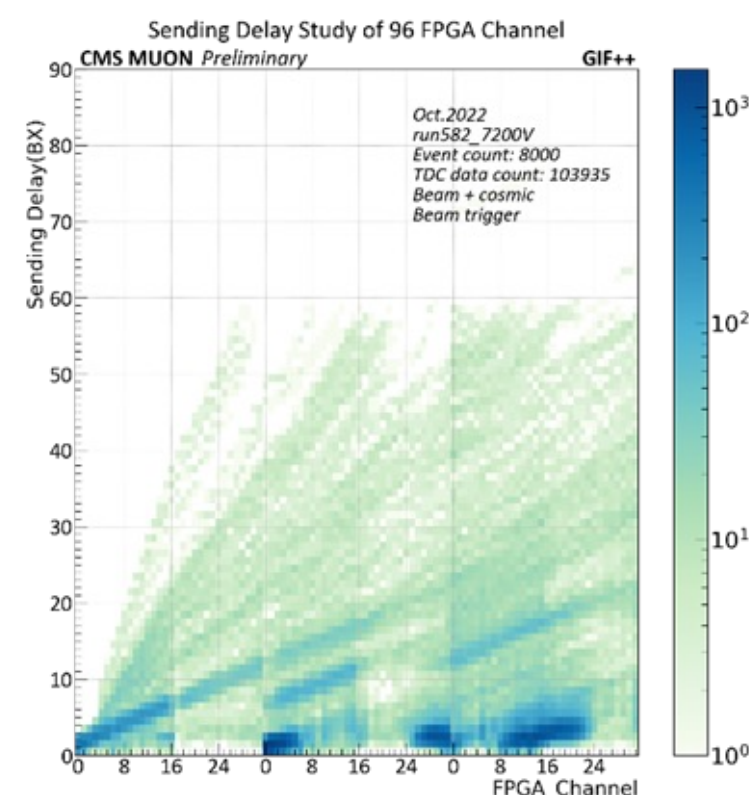
- ◆ 在ATCA硬件生产出来前，开发了基于MTCA的iRPC后端触发电子学Demo系统，用于后端触发电子学的原理验证。
 - 采用高能所触发团队设计的基于MTCA的触发电子学板 (BE)
- ◆ 基于该系统为探测器质量控制开发了两套后端电子学系统，利用该系统已完成了50个探测器室的质量监测。
- ◆ 在合作组提出了高能所基于时间优先的数据传输方案 (Check-Sort-Push, CSP方案)，并被合作组接收。
- ◆ 依据宇宙线实验和束流实验，对iRPC簇特性进行了研究，并基于研究特性开发了簇查找算法。



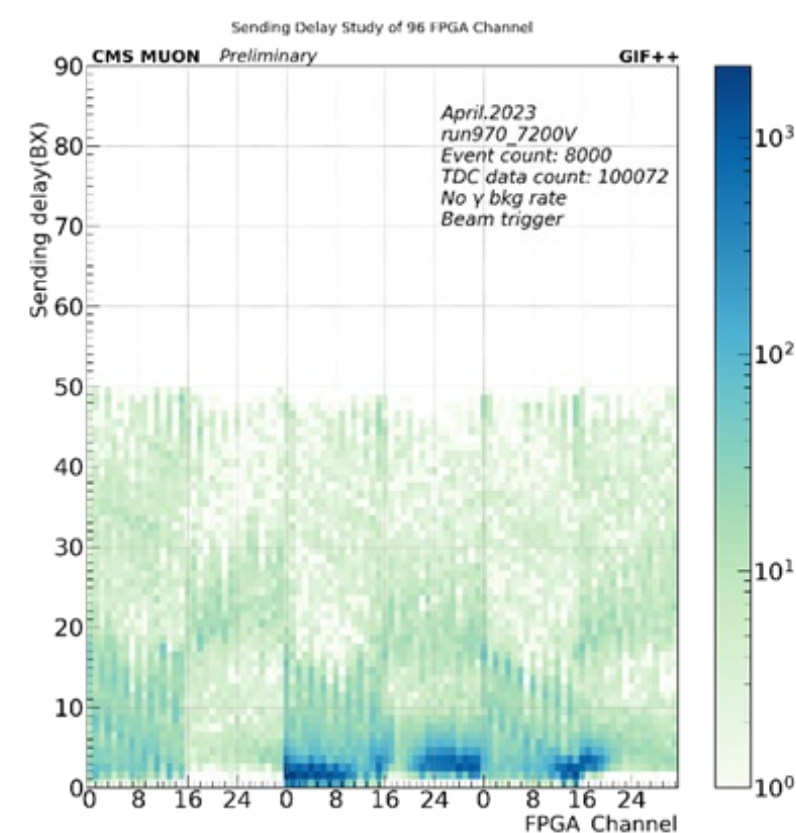
高能所触发团队开发触发电子学板



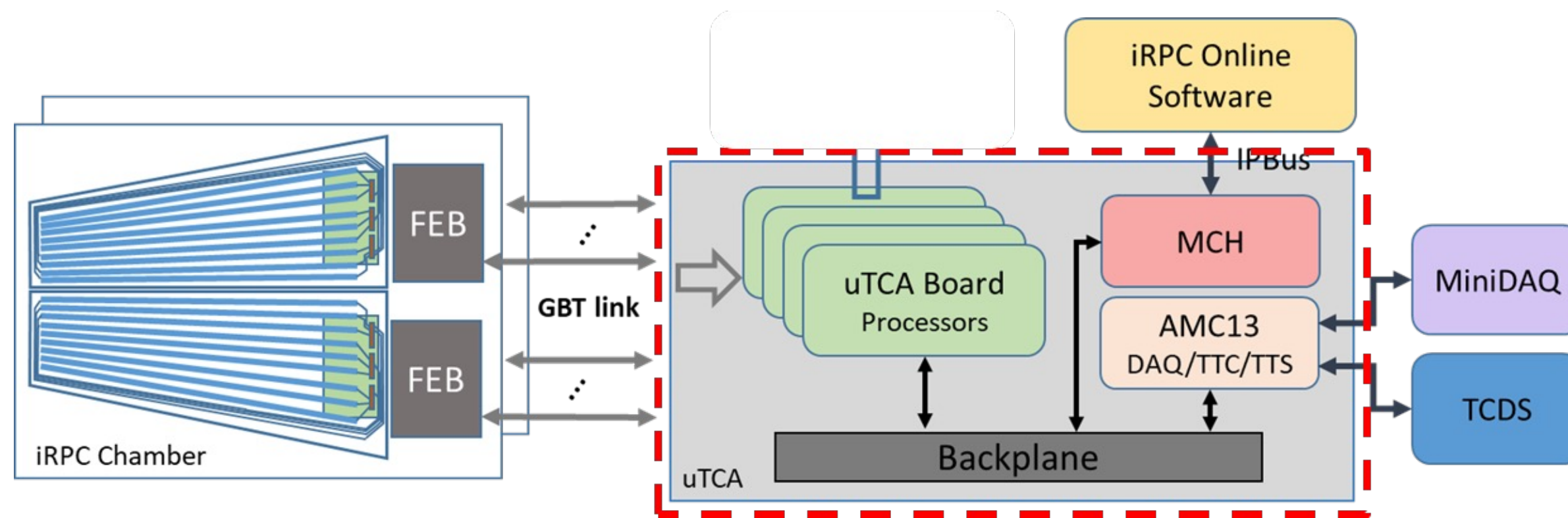
iRPC后端触发电子学固件架构



采用CSP前数据传输通道延时分布



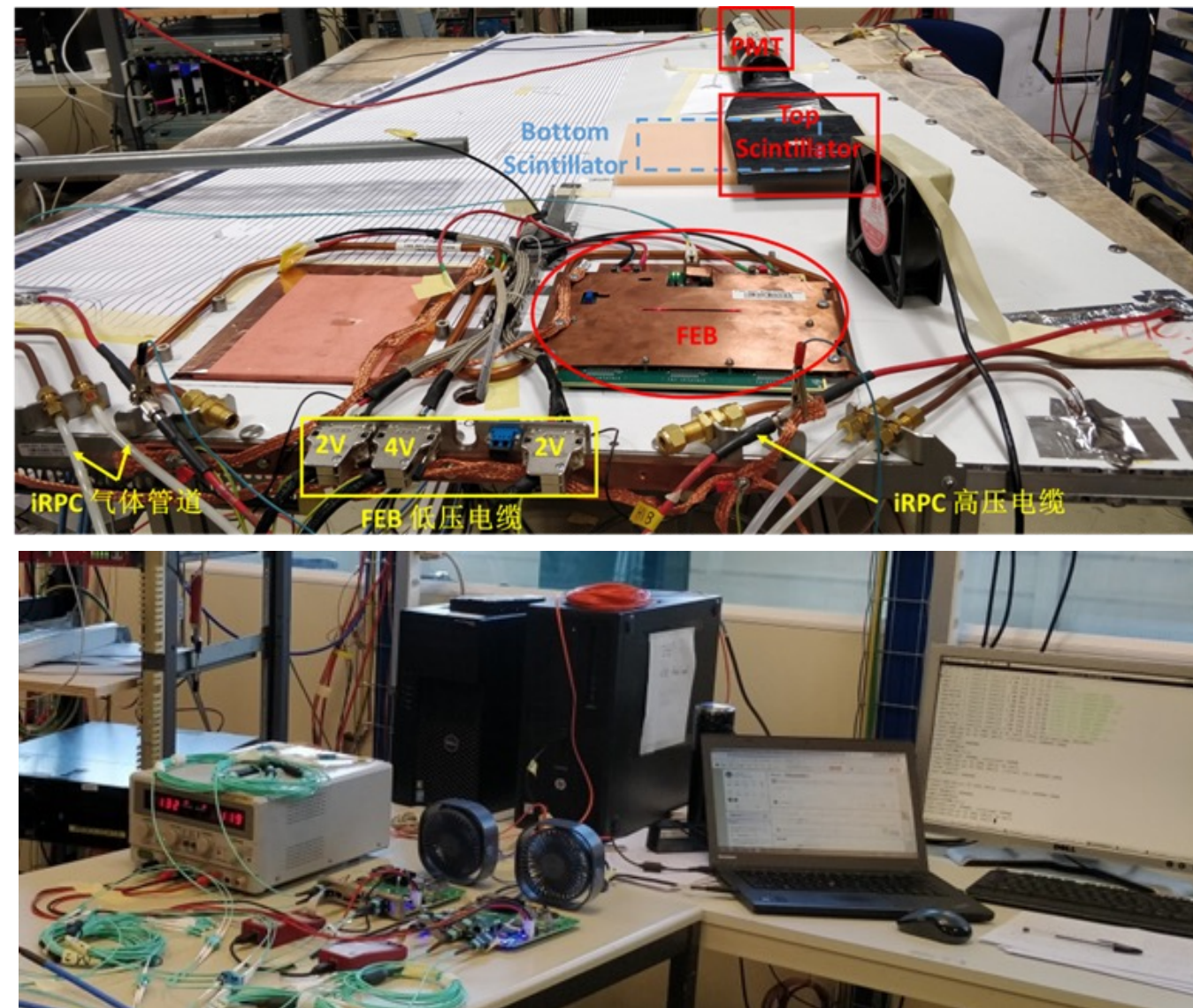
采用CSP后数据传输通道延时分布



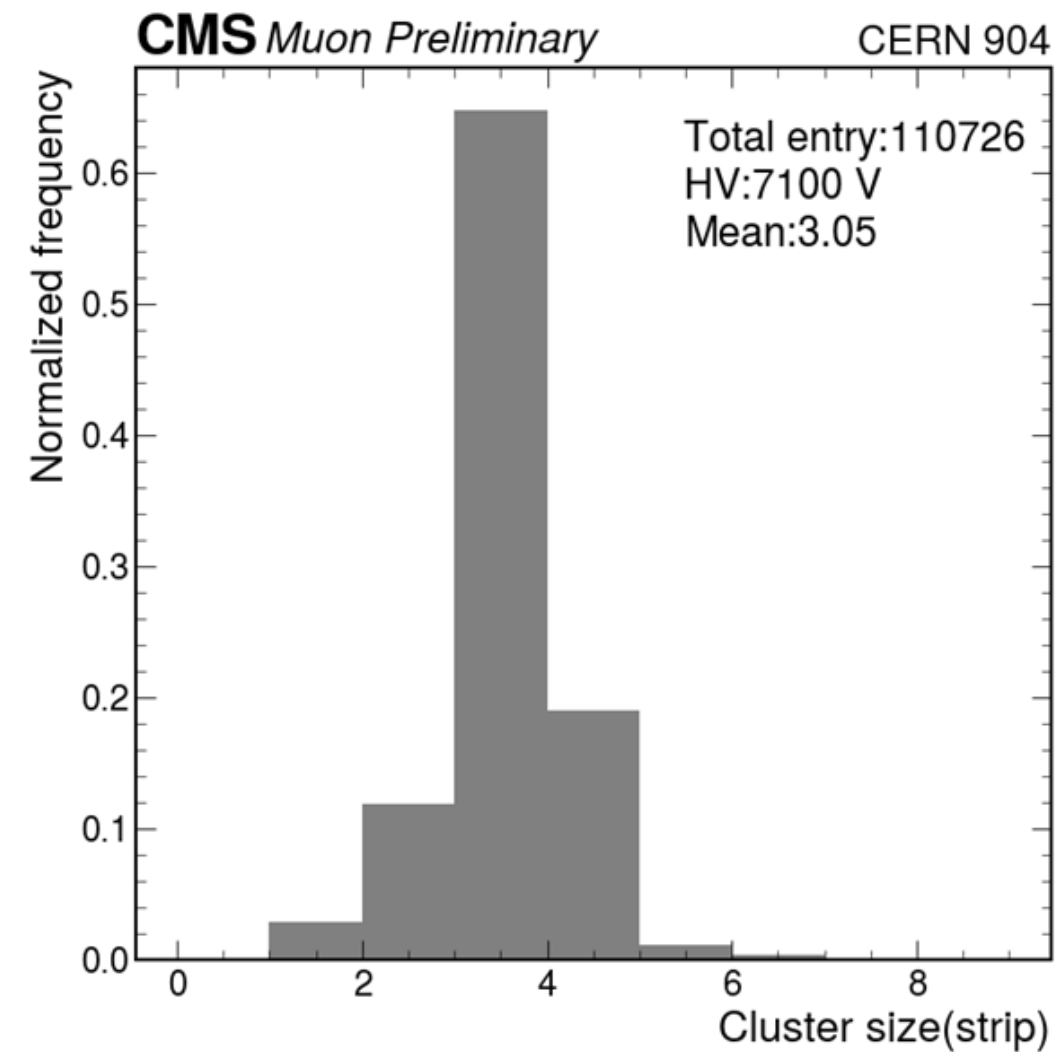
基于MTCA的后端触发电子学Demo系统架构图

簇查找算法研究取得了重要进展

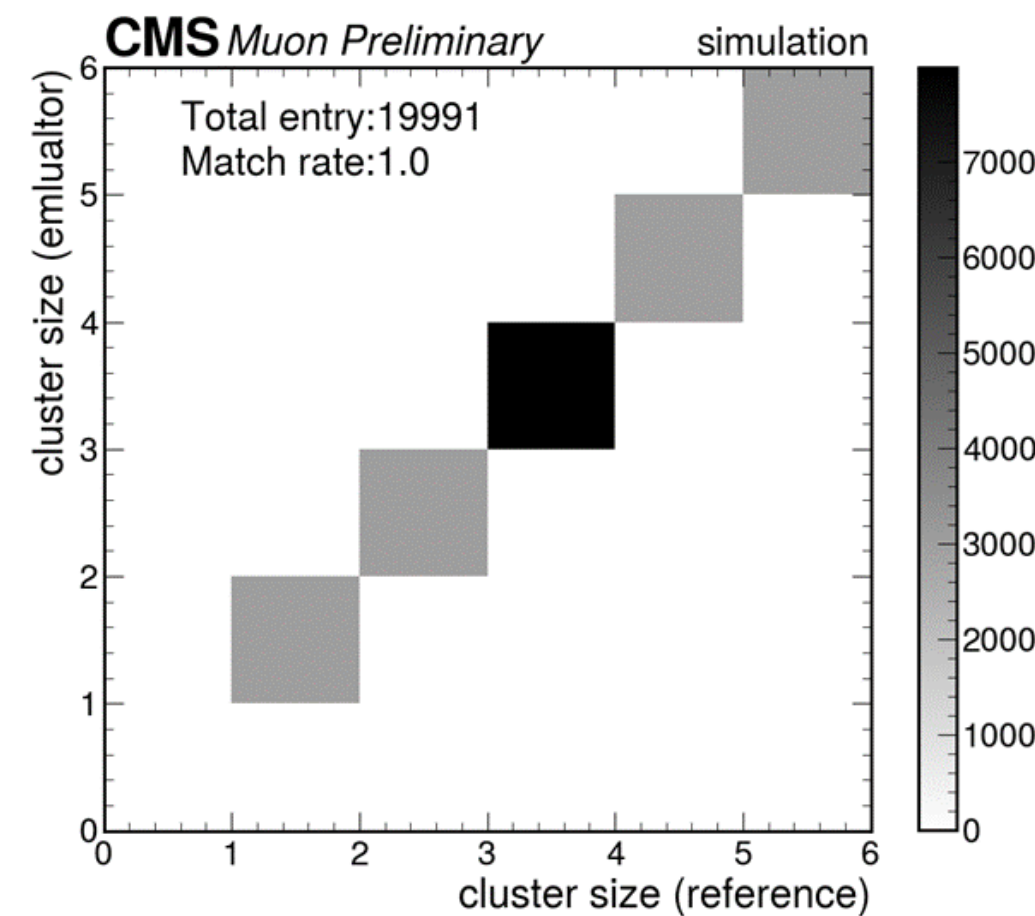
- 系统关键问题之一：簇查找算法的研究有了重要进展
- 通过对簇特性的研究，簇查找实现算法的对比，确定了算法的方案，并通过宇宙线及束流实验得到了初步的结果。



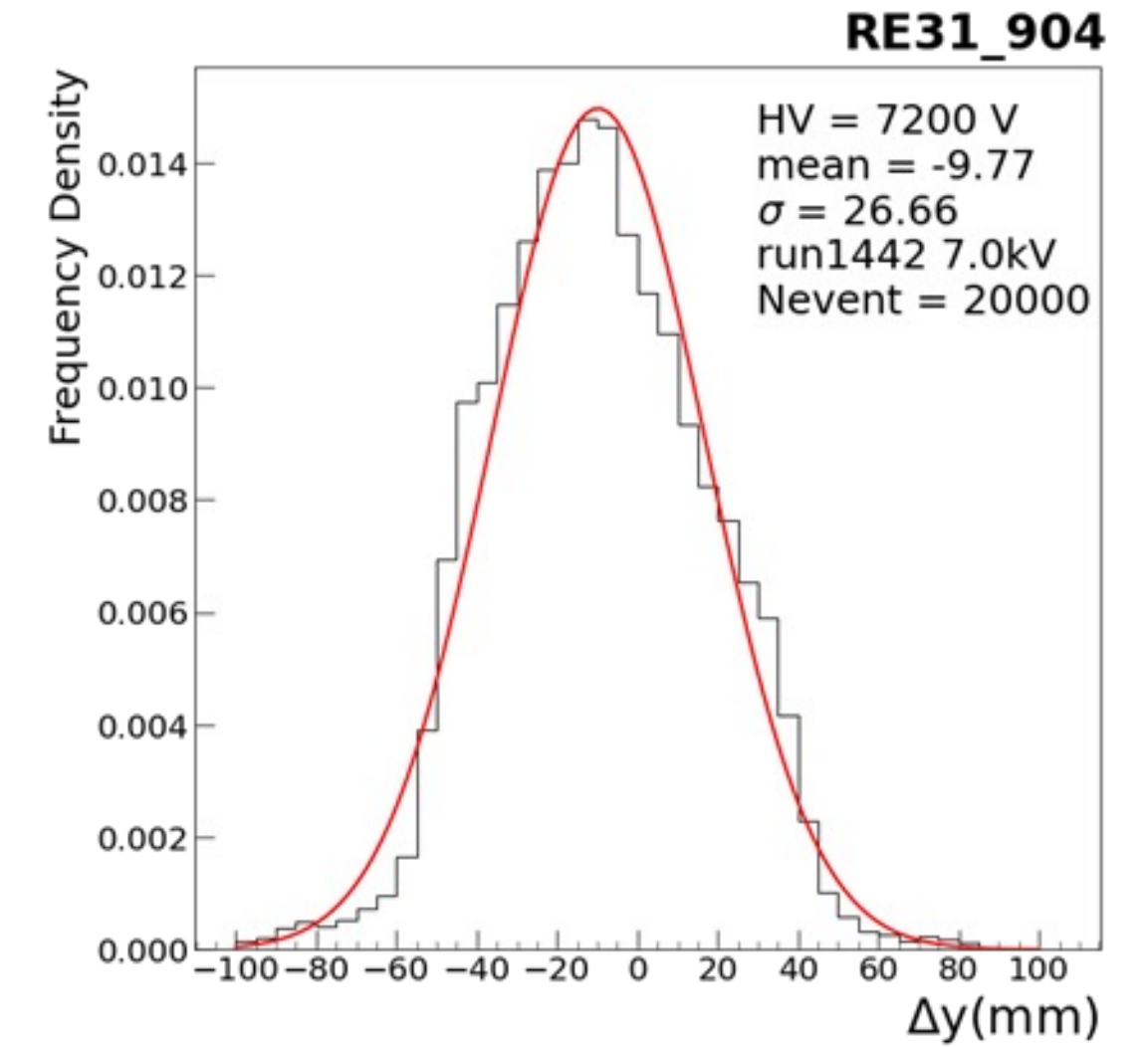
簇（团）宇宙线研究平台



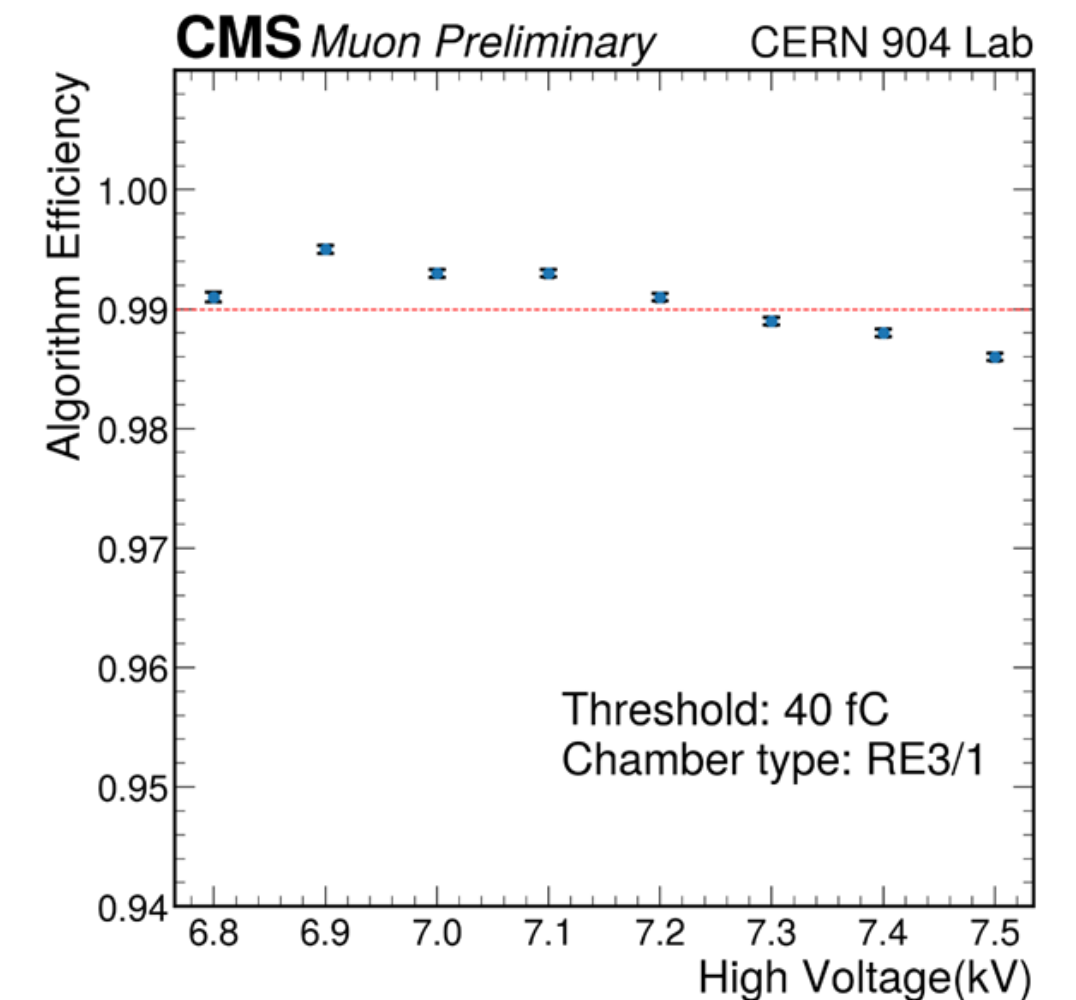
宇宙线事例中簇团大小分布



软件簇大小与数据源的匹配图



径向分段数为16时位置准确度



宇宙线实验中簇查找算法效率

MTD探测器升级

- MTD超快时间探测器是为应对HL-LHC高pileup的严苛环境而提出
- 时间分辨率为30皮秒，在大型粒子探测器中为**国际领先**
- 北大牵头国内合作单位深度参与探测器的R&D、组装工艺设计、质控设计以及承担官方组装中心
- 桶部时间探测器MTD BTL项目**按科技部重点研发计划如期进展**，同时也符合CMS整体时间线，是P2UG近期升级评审会议中唯一“**没有被督促**”的子探测器项目

Experiment	r (m)	σ_T (ps)
STAR-TOF	2.2	80
ALICE-TOF	3.7	56
CMS-MTD	1.16	30
BESIII-TOF	0.81	68

