高能所CMS组进展成果报告

王锦

中国科学院高能物理研究所

2022年7月15日

高能所CMS组研究队伍

高能所职工8名：

陈国明、陈明水、张华桥、廖红波、卞建国、陶军全、王锦、陈晔

博士后及研究生共30+名：

在学学生：彭娜，郭倩颖(联培)，Aamir，张辰光，王泽炳，王储，苑超辰，华慧玲，郭佳林，张镇轩，侯宵楠，宋邵炜，张杰

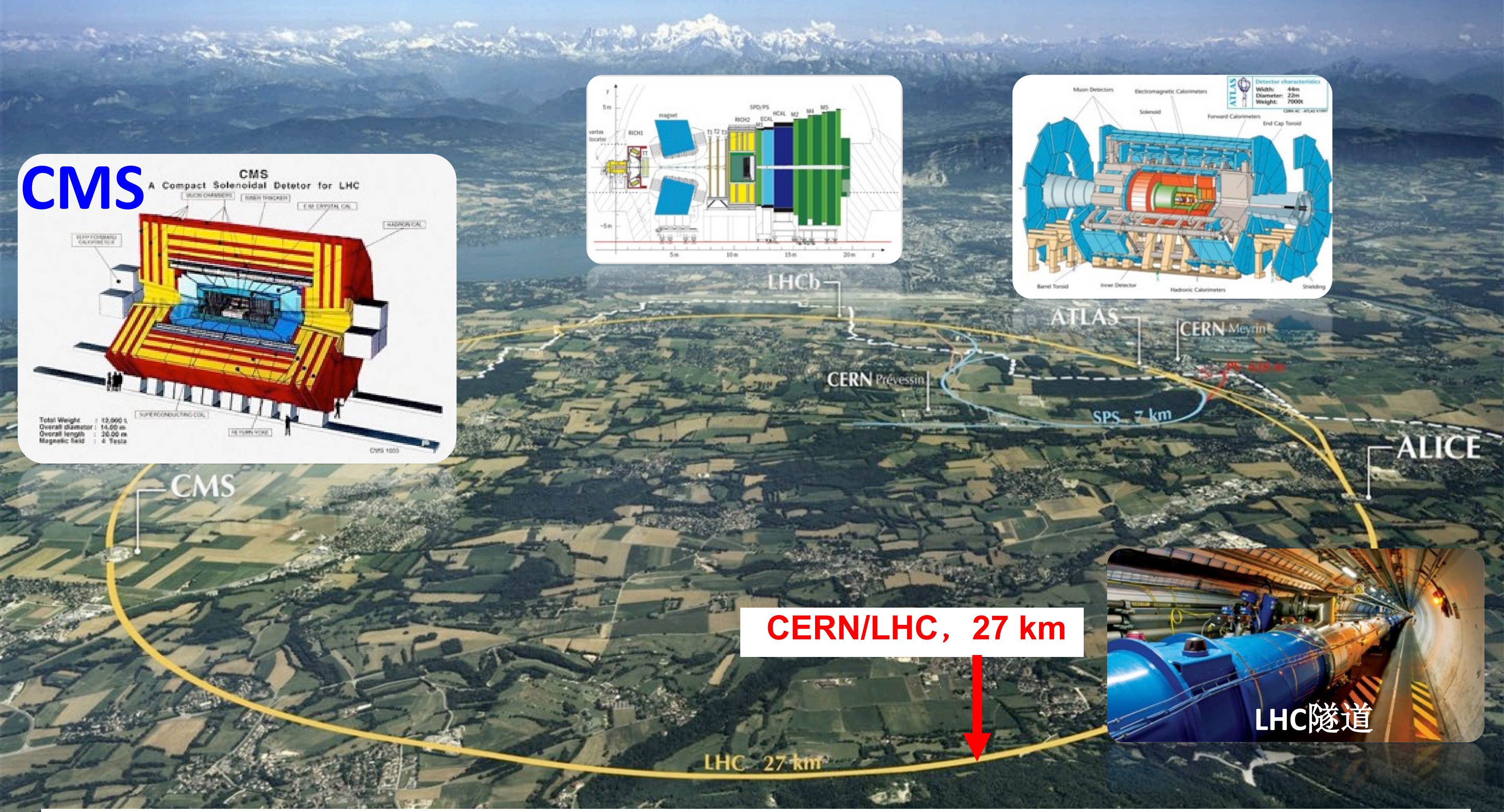
在站博后：Joshuha, Anshul, Ram, Iemmi, Monti, Vukasin, 余涛哲

毕业学生：李秉桓，张思靓，Tahir，余涛哲，程柯源，**张卓林(联培)**

出站博后： Ahmad、Aniello、Efe、Duncan、Emilien (获得法国长期教职)

- **多人次担任CMS二级物理课题组组长**
- **先后有二十多人次担任三级课题组召集人、协调人、联系人**
- **建立了CMS实验HGCal硅模块生产实验室**
- **RPC后端电子学触发**

研究方向



国际高能量最前沿：大型强子对撞机（Large Hadron Collider, LHC）

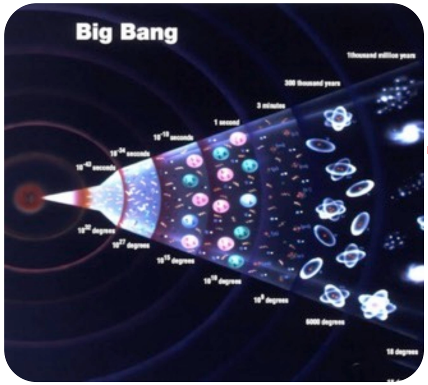
未来十余年，LHC及其后续升级仍将是世界上唯一的希格斯玻色子研究场所以及理想的TeV新粒子的寻找平台

研究方向

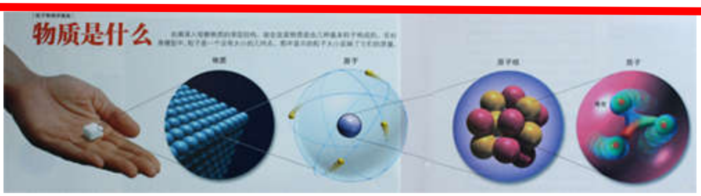
粒子物理标准模型

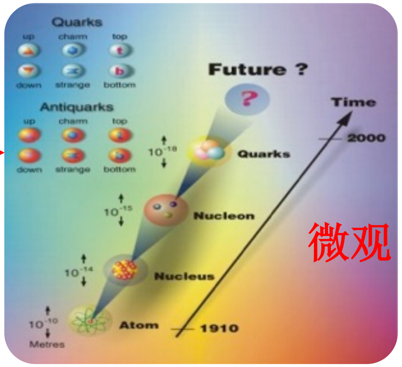
微观

150亿
年前



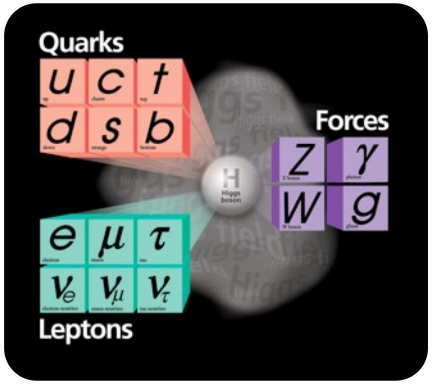
宏观
宇宙





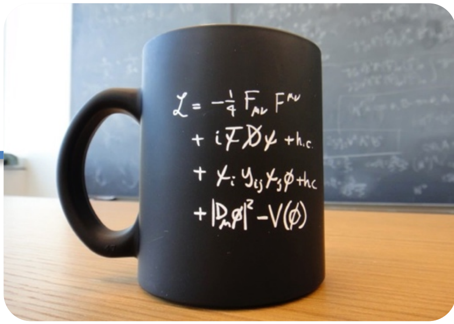
微观

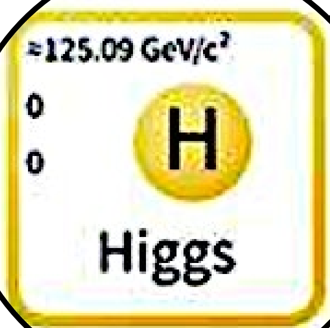
希格斯玻色子的发现表明了粒子物理标准模型取得了巨大的成功



- 粒子物理的关键科学问题亟待回答：
  - 希格斯粒子的质量为什么这么轻？真空是否处于亚稳态？
  - 反物质为什么缺失？暗物质是什么？
  - 。。。
- 高能量前沿是粒子物理的最前沿，是突破标准模型的理想平台
  - **精确测量希格斯粒子性质**
  - **直接寻找超出标准模型的新粒子**

希格斯粒子：基本粒子的质量起源





与玻色子的耦合

希格斯机制，2012年发现希格斯时确认

→ 精确测量希格斯粒子性质的理想衰变道

与费米子的耦合

2018年确认了与第三代费米子的耦合

→ 目标是发现希格斯与费米子的直接相互作用

? 自耦合

全新相互作用，需要HL-LHC

→ 希格斯粒子自身质量来源

? 暗物质

占宇宙物质75%的暗物质质量是如何来的？

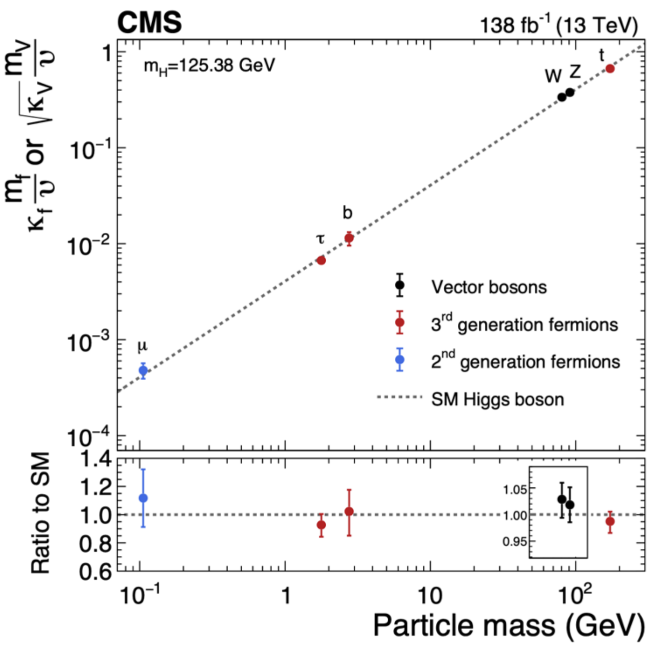
CMS Run2 Higgs联合分析

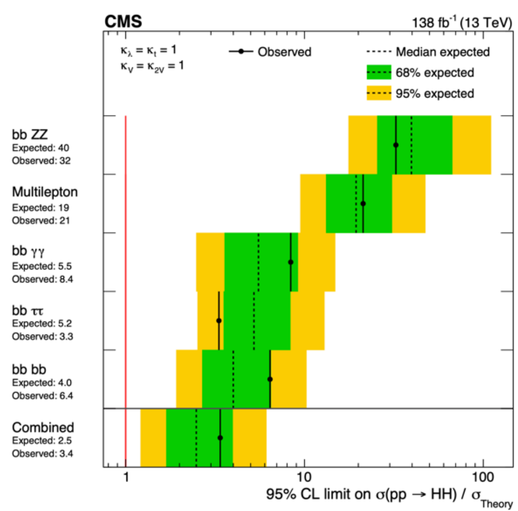
HIG-22-001

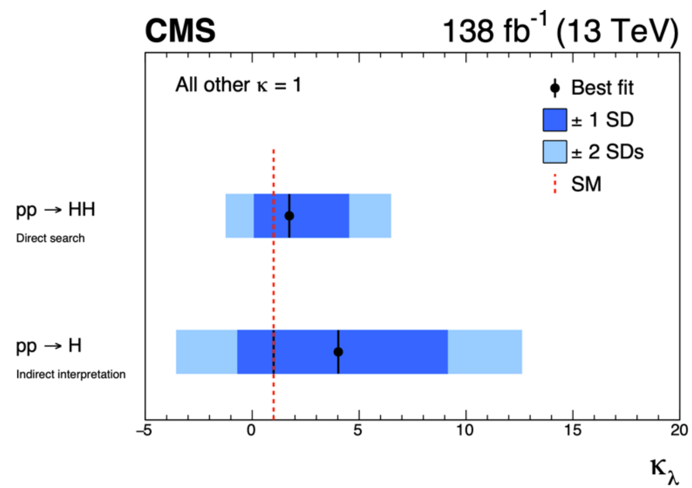
《自然》

- 基于全部Run2数据的最新联合测量 published by Nature
  - 高能所、浙大、科大成员对联合测量做出关键贡献

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

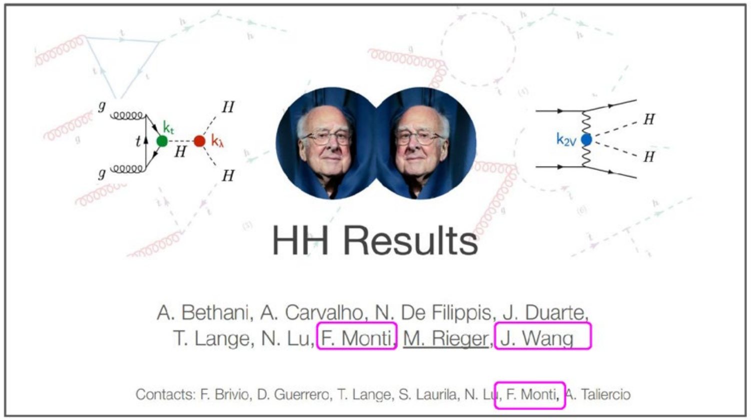
CMS Run2 Higgs联合分析: 双希格斯

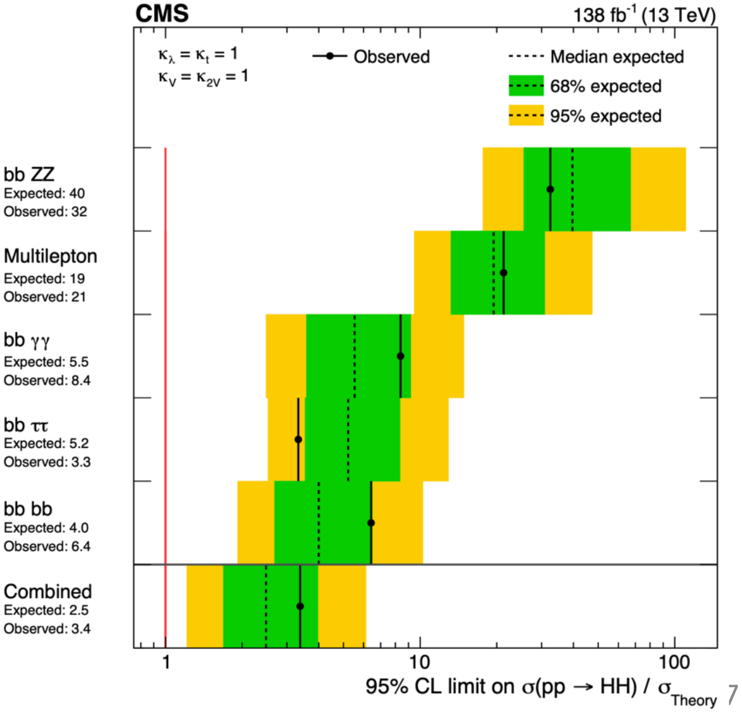
HIG-22-001

《自然》

- 基于已发表的HH衰变道进行联合统计分析以最大化提高HH测量精度
  - 包括$bbbb$, $bb\tau\tau$, $bb\gamma\gamma$, $bbZZ$, multilepton 道
  - HH联合统计分析核心成员，研究工作包含所有的主要任务
    - 联系协调各衰变道的输入
    - HH信号模型研究
    - 统计分析工具的开发
    - SM统计结果产生以及检验
    - EFT参数扫描策略研究
  - 高能所主要贡献，HH Unblinding审核报告

Combination of HH searches



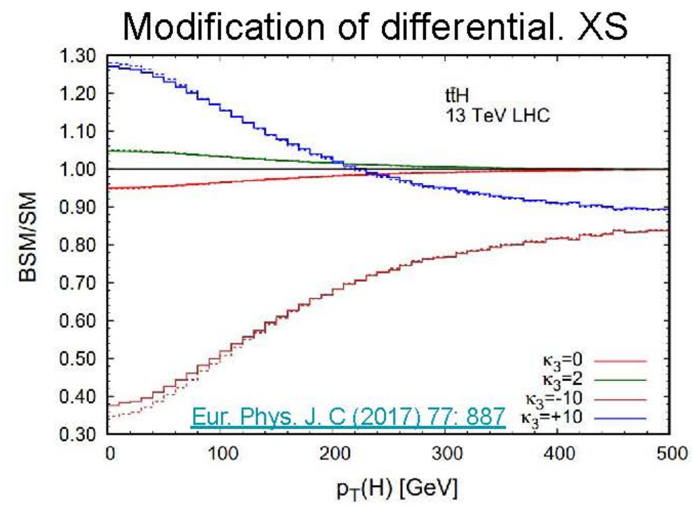


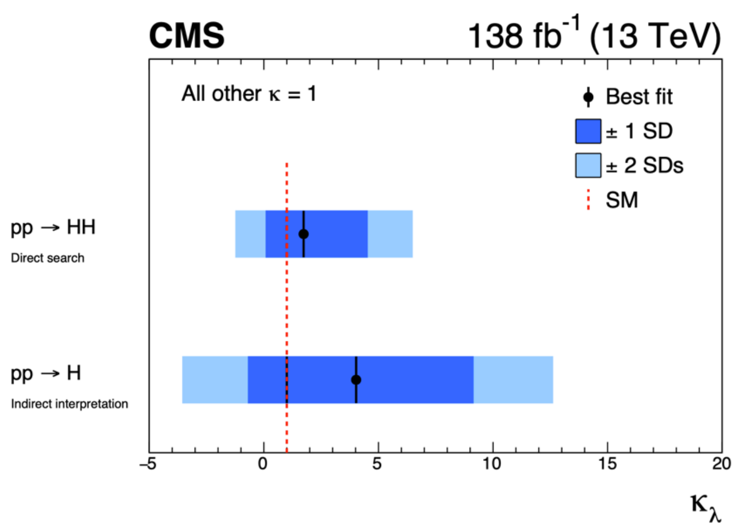
CMS Run2 Higgs联合分析: 单希格斯

HIG-22-001

《自然》

- 利用单希格斯产生来间接约束希格斯自耦合强度k_λ
  - 影响希格斯产生总截面以及微分截面
  - 构建k_λ依赖模型，应用于联合测量
- **高能所主导制定和实施了**研究方案
  - 高能所成员为该方案公开文档**CMS-NOTE-2022-003**的联系人及撰稿人，并做了**审核报告**
  - Nature文章支持文档





CMS Run2 Higgs联合分析: 其它贡献

HIG-22-001

《自然》

- 最新希格斯联合测量结果是基于二十多个分析进行联合测量，高能所也在其中多个分析做出关键贡献

Code	Name	Status	PAS	PAPER	ARC
HIG-22-001 » I ▲show I ▼CDS I ▼NATURE	Higgs Couplings and non-resonant HH Combination	ACCEPT			Andre David Tinoco Mendes

HIG-22-001 (*Mon, 27 Jun 2022 19:52:03*)

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	ACCEPT	**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
Talks	Pre-Approval Talk » I Approval Talk »	**Actions**	Not in Edit Mode
Related Analyses	HIG-21-002 I HIG-20-010 I HIG-19-018 I B2G-21-001 HIG-20-003 I EXO-20-004 I EXO-19-003 I HIG-19-014 HIG-19-006 I HIG-19-008 I HIG-19-003 I HIG-17-022 HIG-17-026 I HIG-19-010 I HIG-20-013 I HIG-19-001 HIG-19-015 I HIG-18-016 I HIG-16-044 I HIG-20-005 HIG-20-004 I B2G-22-003	**Related CMS Notes**	AN-2020/245 I AN-2021/214
Phys			
ARC		**ARC**	Accepted I *hide 5 members* **Name** Andre David Tinoco Mendes (CERN) Christoph Maria Ernst Paus (MIT) Paolo Meridiani (ROMA-1) Roberto Antonio Salerno (POLYTECHNIQUE) Greg Landsberg (BROWN-UNIV)
PAS		**PAS CDS id**	
PAP			
Targ		**Target Date Pub**	
Auth		**IRC**	Accepted I *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
PAP		**PAPER CDS id**	CERN-EP-2022-039
arXi		**DOI**	
Hepl		**Rivet Plugin tar file**	

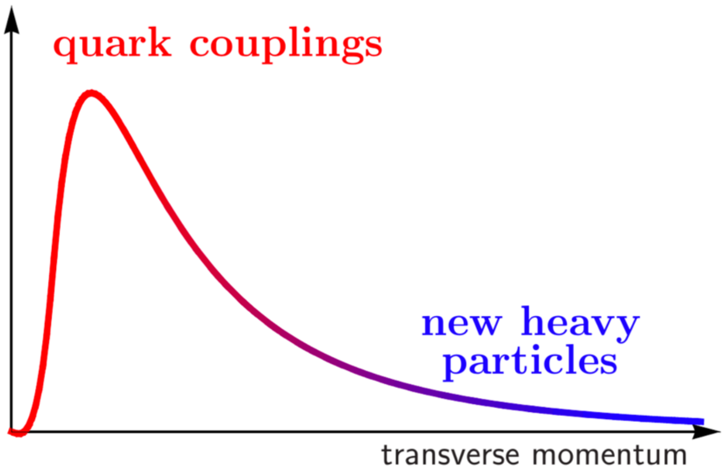
高能所对

- **双光子末态、**
- **四轻子末态、**
- **不可见衰变末态、**
- **ttH多轻子末态、**
- **HH->bbγγ过程**

等多个分析有关键贡献

希格斯产生截面测量

- 对希格斯粒子的性质进行更精细化的研究，深入检验标准模型理论，寻找超出标准模型的迹象
  - 例如，许多新物理的贡献可能对希格斯粒子的总产生截面影响较小，但是对希格斯横动量分布影响较大
  - 同时这些测量也提供给理论界，利于理论家充分利用



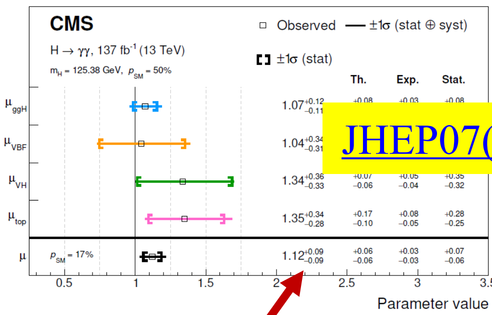
- High p_T region is sensitive to heavy additional particles in the ggF loop
- Low p_T region is sensitive to the Yukawa coupling of the b and charm quark

- 基于Run-2全部数据，进行多类型产生截面测量：
  基准产生截面、微分产生截面、基于简化模式模板产生截面 (Simplified Template Cross Section, STXS)

希格斯产生截面测量: H→$\gamma\gamma$

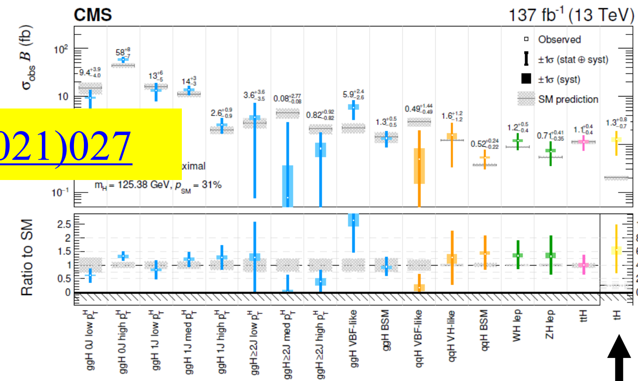
HIG-19-015 发表JHEP
HIG-19-016 发表PAS

- **HIG-19-015**：基于Run-2全部数据，测量了H→$\gamma\gamma$的信号强度和基于简化模式模板产生截面(STXS)
  - **信号强度测量精度~8%**
  - **首次测量了tH的截面**



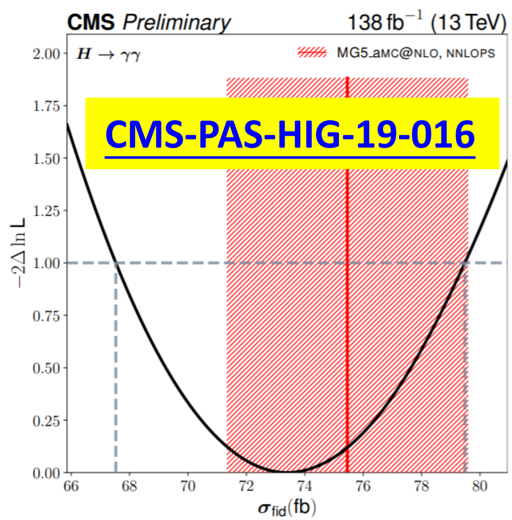
JHEP07(2021)027

8% precision

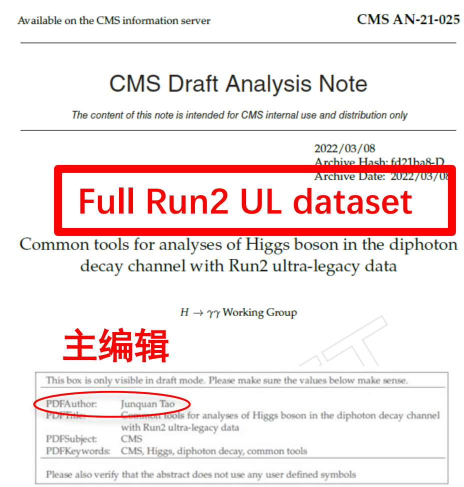


tH : 14obs.(8exp.)×σ_{SM}

- **HIG-19-016**：测量了H→$\gamma\gamma$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



CMS-PAS-HIG-19-016



Full Run2 UL dataset

主编辑

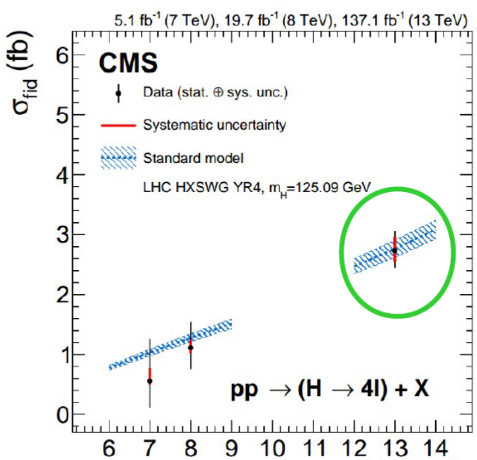
高能所在光子鉴别、MC样本模拟和修正、能量刻度、电子的排除等方面做出直接贡献，是CMS内部文章的编辑人之一和Ultra-legacy数据双光子基础分析内部文章的主编辑

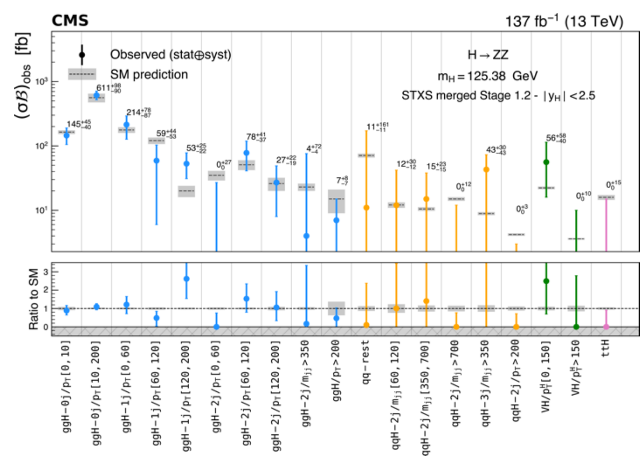
希格斯产生截面测量: H→ZZ→4l

HIG-19-001 发表EPJC

- **HIG-19-001**：基于Run-2全部数据，测量了H→4l的信号强度和基于STXS及部分微分截面
  - **信号强度测量精度~12%**

EPJ.C 81 (2021) 6, 488





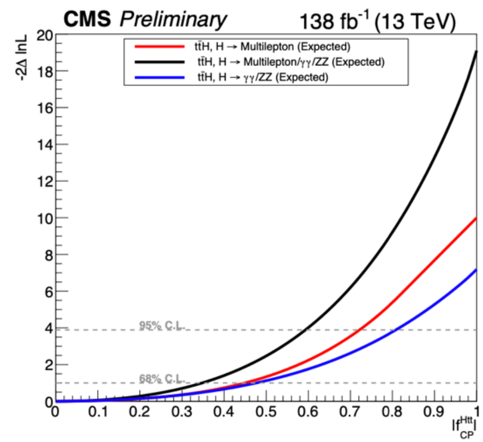
高能所、北航、浙大、清华

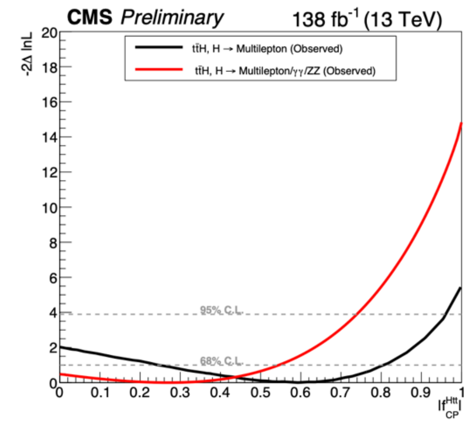
高能所主要贡献：负责轻子的效率测量及蒙卡样本修正、独立分析框架检验、产生截面的全流程分析，并给予HIG-19-001合作组预审核报告

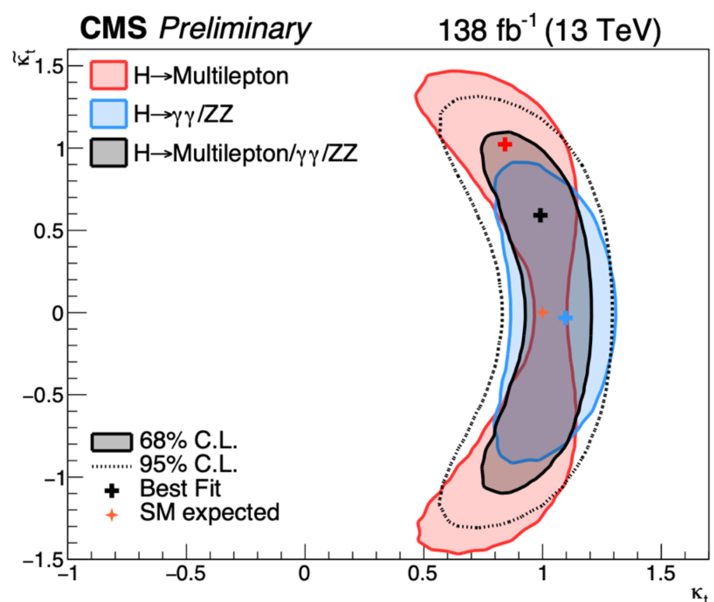
ttH多轻子末态的分析

CMS-PAS-HIG-21-006

- 利用139fb^{-1}的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**
  - PAS发表，文章即将提交JHEP）
- 高能所学生苑超辰做unblinding报告



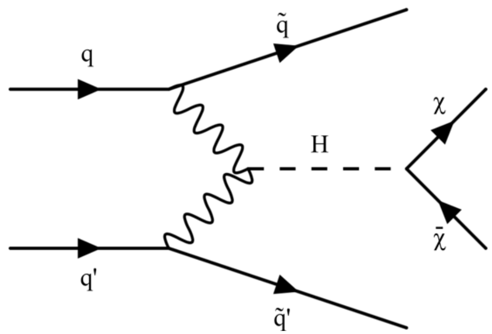


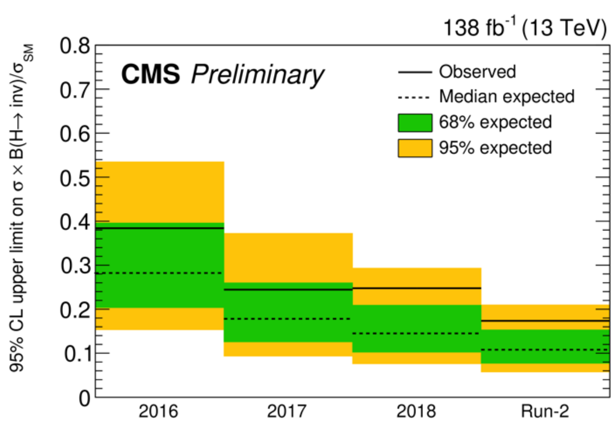


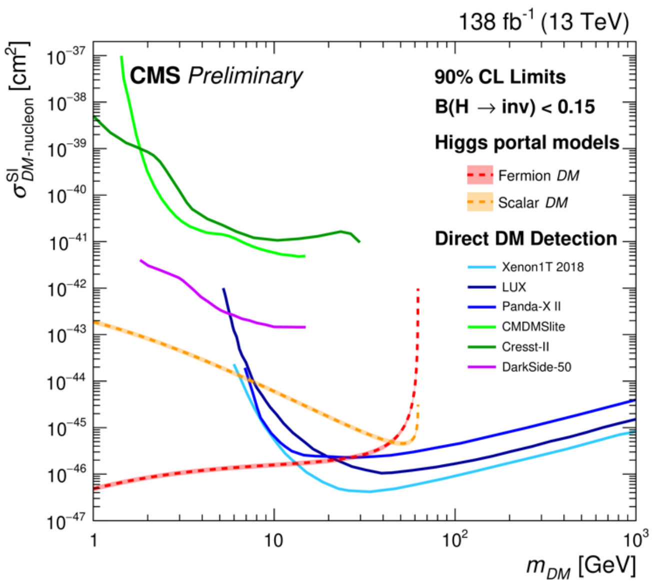
希格斯不可见衰变

CMS-HIG-20-003
Phys.Rev.D 105 (2022) 092007

- 暗物质是否与希格斯相互作用?
  - Higgs boson could be a mediator between SM and DM sector
  - Detection would require it to recoil against a visible system
- 通过VBF产生过程来探测希格斯不可见衰变
- 高能所博后做主要贡献（首任Analysis Contact）







Observed (expected) 95% CL upper limit
Br(H → inv) = 0.17 (0.11)

希格斯质量测量灵敏度@HL-LHC

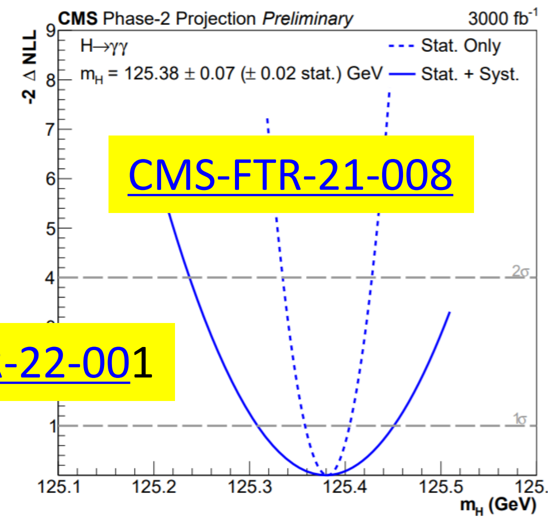
CMS-FTR-21-007
CMS-FTR-21-008
CMS-FTR-22-001

- 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	4μ	4e	$2e2\mu$	$2\mu 2e$	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→ZZ→4l衰变道
m_H测量精度可接近30 MeV
Γ_H上限(@95%CL) ~180 MeV



CMS-FTR-21-008

CMS-FTR-22-001

HL-LHC H→γγ衰变道
m_H测量精度可接近70 MeV

基于全部Run2数据的希格斯质量测量（HIG-21-019）仍在进行中，预计年底能够发表

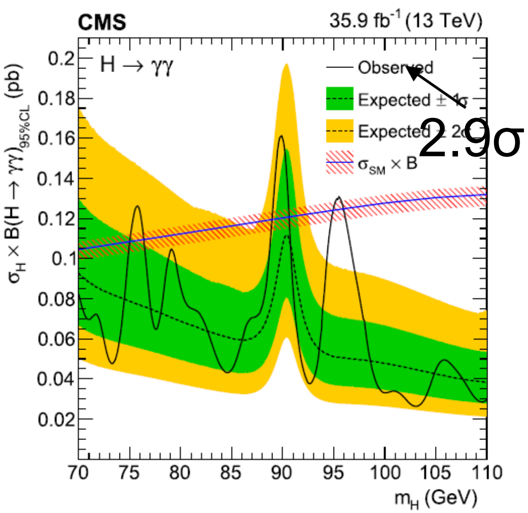
新粒子寻找

低质量双光子共振态寻找

分析联系人、预审核及揭盲报告

PLB 793(2019)320

- CMS实验上双光子末态具有**优异的不变质量分辨率**，是LHC上寻找新共振态的重点过程之一
- 高能所组从CMS Run-1开始持续进行低质量h→γγ的数据分析和相关理论唯象研究工作
  - 主导了2016年的数据分析，在95.3GeV处发现2.9σ超出；
- 目前正在进行Run-2全部数据的分析

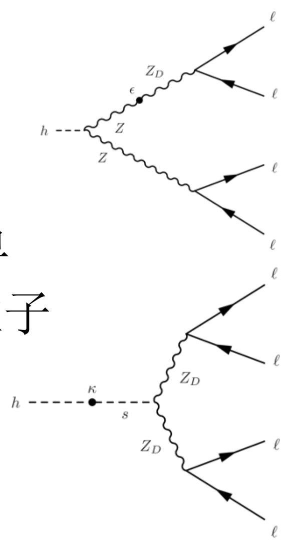


寻找希格斯奇异衰变过程

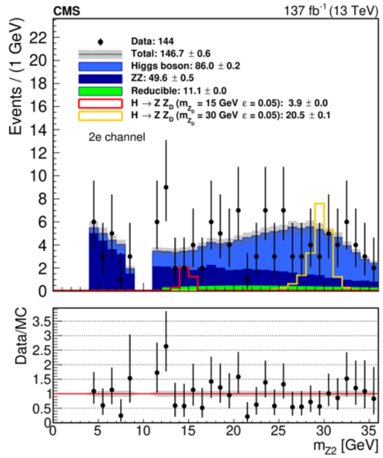
HIG-19-007 EPJC

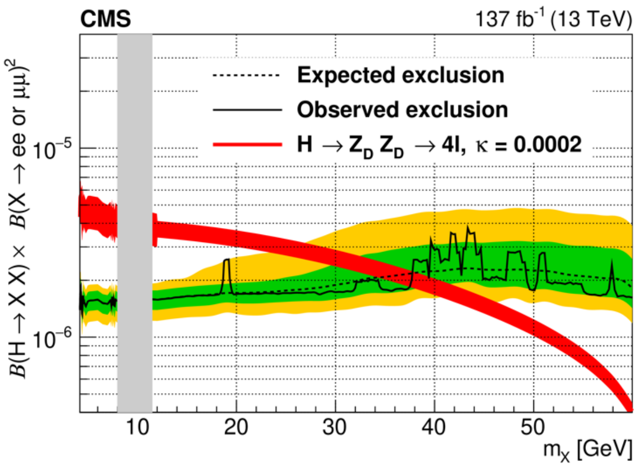
许多新物理模型预测希格斯玻色子可以衰变至**轻玻色子，**其中新玻色子有可能作为暗物质理论隐藏相互作用（hidden sector）的传递子从而解决**暗物质质量来源的问题**，也可以作为轴子模型中的传递子从而解决**强CP破坏的问题**

HIG-19-007：
H->4l末态中寻找中间态新粒子



Eur. Phys. J. C 82 (2022) 290



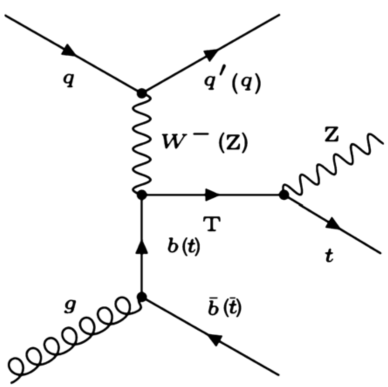


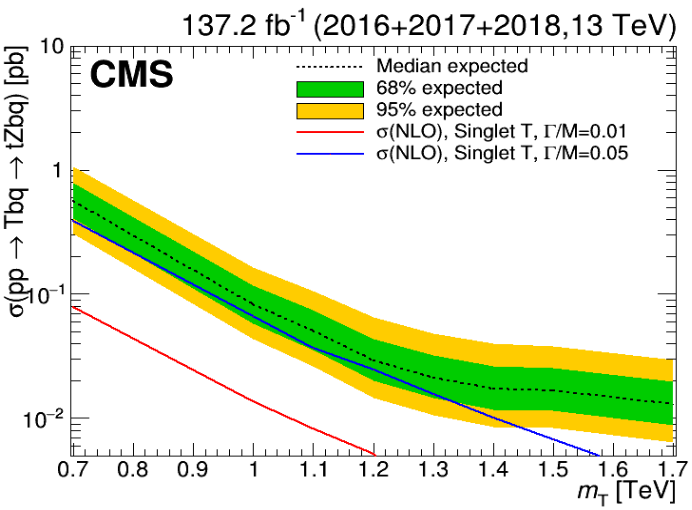
高能所团队在分析框架、轻子鉴别及效率测量和误差处理方面做出主要贡献

类矢量夸克T'->tZ寻找

CMS-PAS-B2G-19-004
JHEP 05 (2022) 093

- 很多新物理模型，如复合希格斯模型等通过**引入质量较大的类矢量夸克，来抵消夸克对希格斯质量二次发散的贡献**，从而解决希格斯质量的不自然性的问题
  - 高能所曾基于2015年和2016年13TeV数据独立完成双轻子末态分析，发表过两篇文章
- **T′ -> tZ (Z->νν) 双中微子新末态的首次分析**正式发表
  - **担任分析联系人，并做预审核及审核报告**

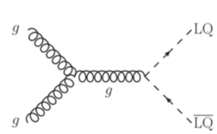


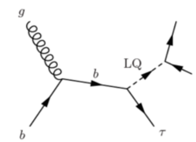


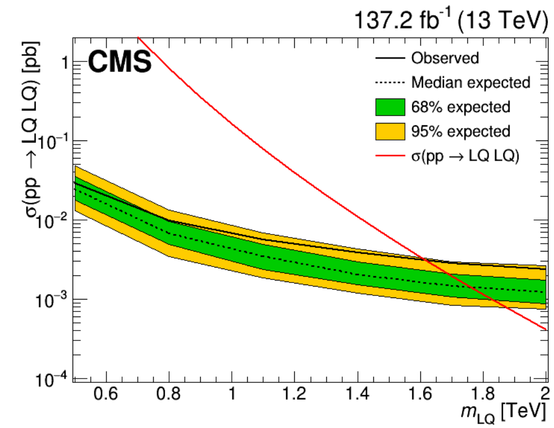
轻子夸克的寻找

CMS-PAS-EXO-19-015
PLB 819 (2021) 136446

- **轻子夸克的存在**被许多新物理模型预言，可以解释当前一些**实验上B介子衰变的反常迹象**
- 基于完整Run2数据，在全新的顶夸克+陶子+中微子末态利用单个产生和对产生模式寻找轻子夸克
  - **迄今最严的第三代轻子夸克的质量限制**
  - **高能所担任分析联系人，并做预审核报告**







SEARCHES FOR NEW PHYSICS | NEWS

Leptoquarks and the third generation

10 November 2020

CERN Courier

A report from the CMS experiment

News · News · Topic: Physics

CERN News

Voir en français

CMS sets new bounds on the mass of leptoquarks

The bounds are some of the tightest yet on the existence of third-generation leptoquarks

18 DECEMBER, 2020 | By Ana Lopes

第三代轻子夸克质量下限设定

至少为0.98—1.73太电子伏特

CMS合作组设定假设的第三代轻子夸克的质量下限。
图片来源：物理学家组织网

科技日报

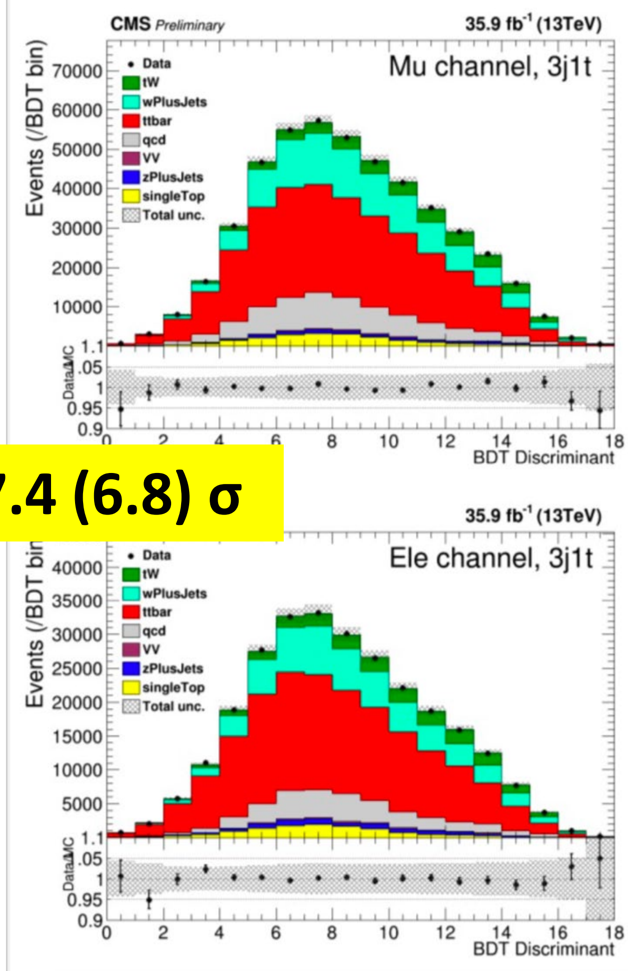
科技日报北京12月21日电 （记者刘霞）据物理学家组织网近日报道，欧洲核子研究中心紧凑渺子线圈（CMS）国际合作组近日发布了其寻找第三代轻子夸克的最新结果：他们未曾在质子-质子对撞中发现第三代轻子夸克的“芳踪”，但对其质量进行了进一步的限定——这种粒子的质量至少为0.98—1.73太电子伏特（TeV，万亿电子伏特），这是科学家迄今对这一粒子进行的最严苛质量限定。

标准模型过程测量及其它

在半轻子道观测到tW

JHEP 11（2021）111

- 单顶夸克过程可以精确测量CKM矩阵元|Vtb|
- 高能所利用2016年13TeV 35.9 fb^{-1}的数据，**独立完成**了tW→b jj lν的信号强度与显著性的测量
  - 系统误差主导，分析难度大
  - **CMS首个tW半轻子道的分析**
  - **LHC首次观测到半轻子衰变的tW**
  - 在LHC top工作组作为CMS亮点工作汇报



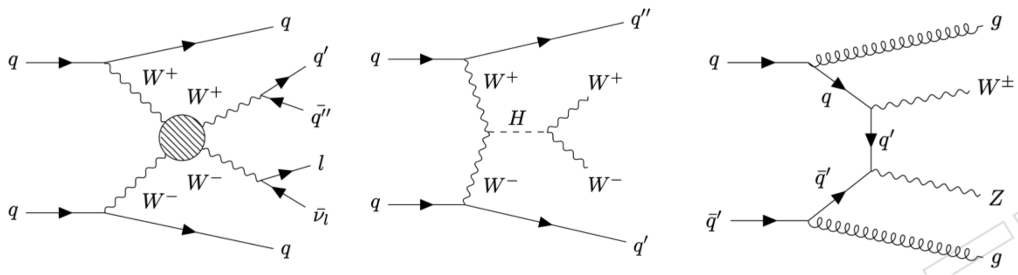
7.4 (6.8) σ

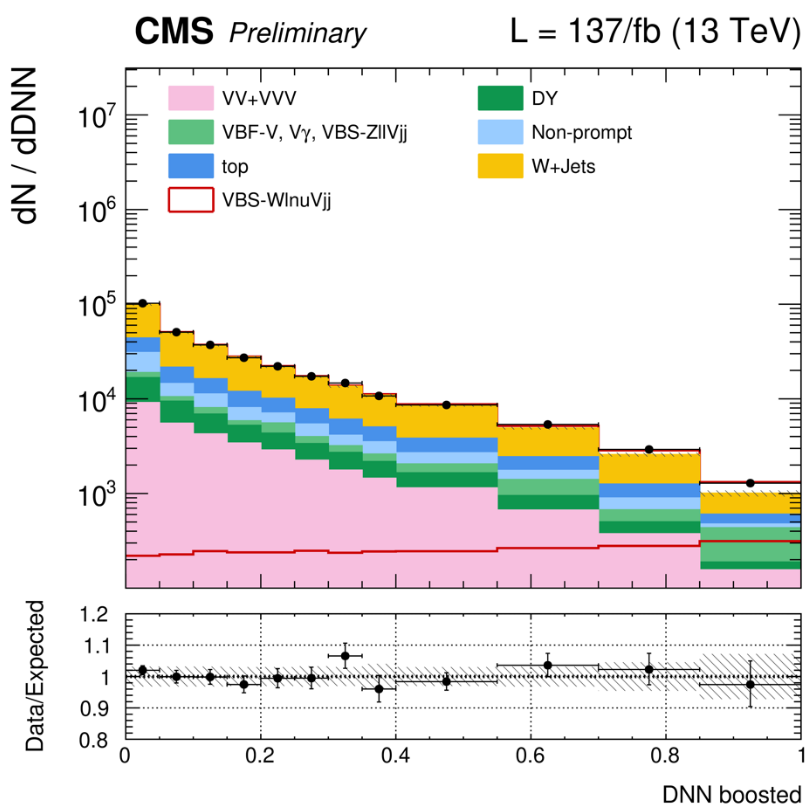
tW cross section:

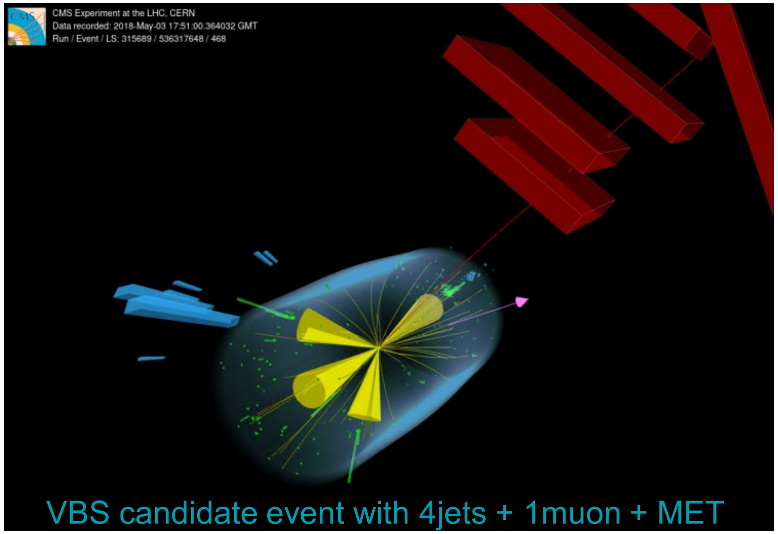
$$89 \pm 4\ (\text{stat}) \pm 12\ (\text{syst})\ \text{pb}.$$

矢量玻色子散射： WW/WZ→lvqq

CMS-PAS-SMP-20-013
提交 PLB (arXiv:2112.05259)







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

高能所博后为主要分析人员之一

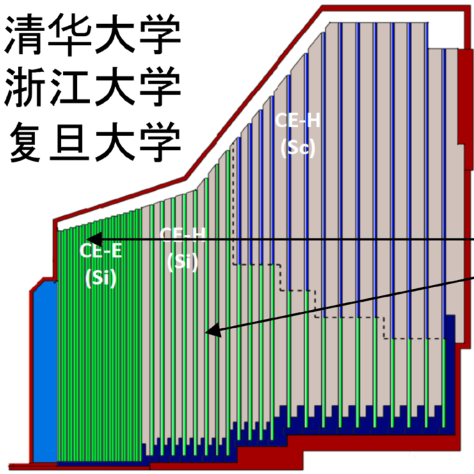
其它正在进行中的物理分析

- 四轻子道、双光子道希格斯质量测量（HIG-21-019等）
- H→ 4l更多的微分基准截面测量及理论诠释(HIG-21-009)
- Higgs -> Invisible 衰变过程的寻找（HIG-21-007）
- HH共振态及非共振态wwgg/bbgg道分析 （HIG-21-014等）
- Run2低质量双光子共振态寻找 （HIG-20-002）
- H->Za->2l+2γ过程寻找类轴子 （HIG-22-003）
- 双J/ψ共振态的寻找(BPH-14-010)
- 继续进行L_μ-L_τ新规范玻色子寻找
  - 利用Z->4μ/W->3μ+ν寻找仅与缪子耦合的Z'
- 希格斯奇异衰变过程中新粒子寻找：ALP(->$\gamma\gamma$) （HIG-22-003）
- X->ZZ大质量共振态寻找
- 激发态底夸克b*寻找（B2G-21-005）
- 四顶夸克过程测量
- Performance studies：EGM-18-002, BTV-18-001, BTV-20-002

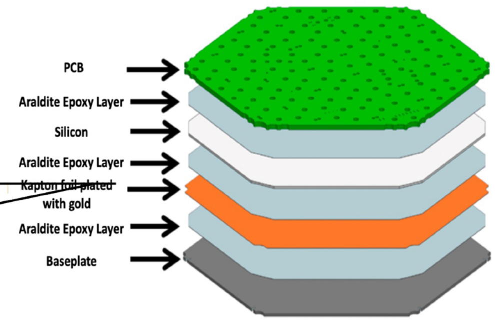
CMS硬件项目

中国高粒度量能器项目主要承担任务

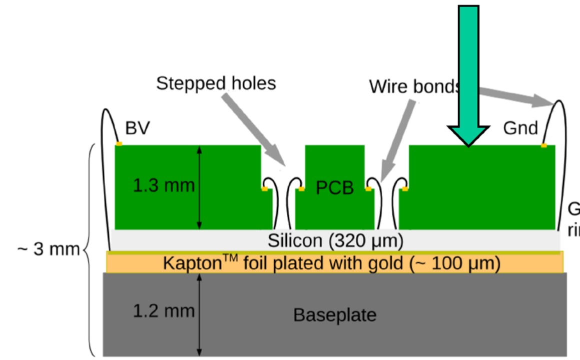
国内参与单位：
- 高能所
- 清华大学
- 浙江大学
- 复旦大学



~31000 硅模块（640平米硅传感器）



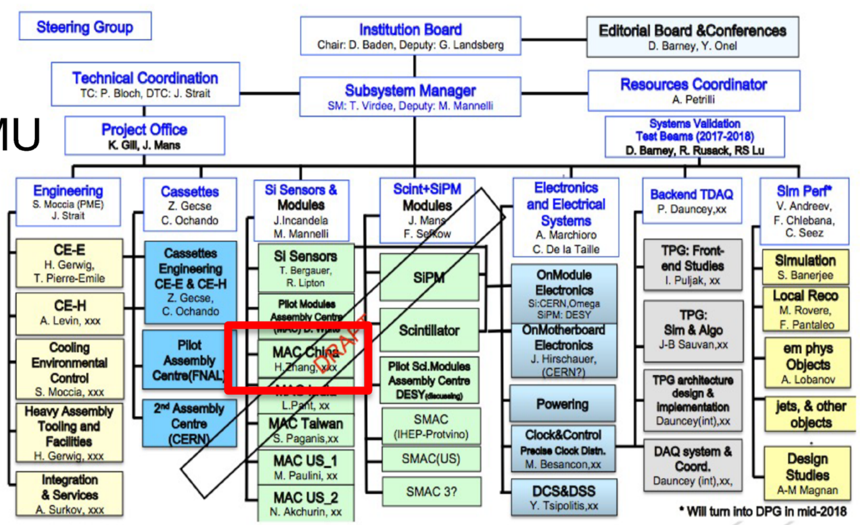
多种前端电子学板



1: 硅模块集成中心：
高能所，台大，印度（？），UCSB，TTU，CMU
平均每个中心承担~5000个硅模块建造
相关元器件以及成品模块的测试

2: 模块前端电子学板设计

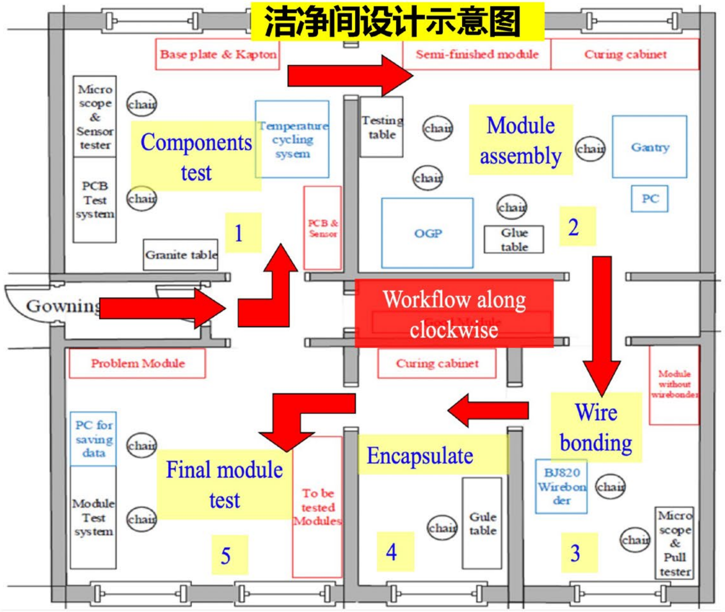
高粒度量能器性能/物理研究

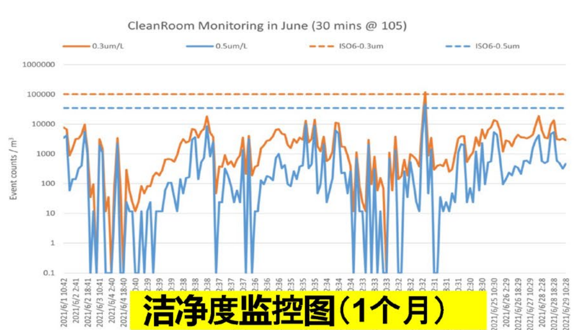


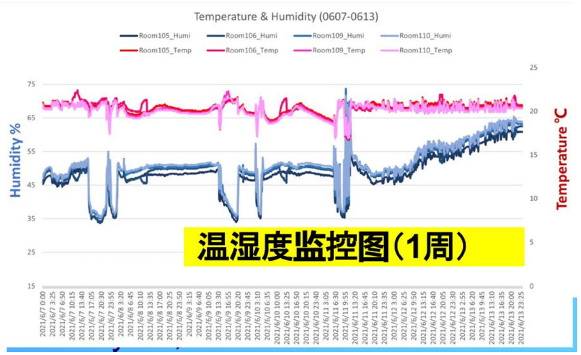
HGCal实验室建设

- 建立了完整的HGCal硅模块生产实验室和流程

新建140m² 千级洁净间：温度：20°C to 22°C，湿度：35%-55%

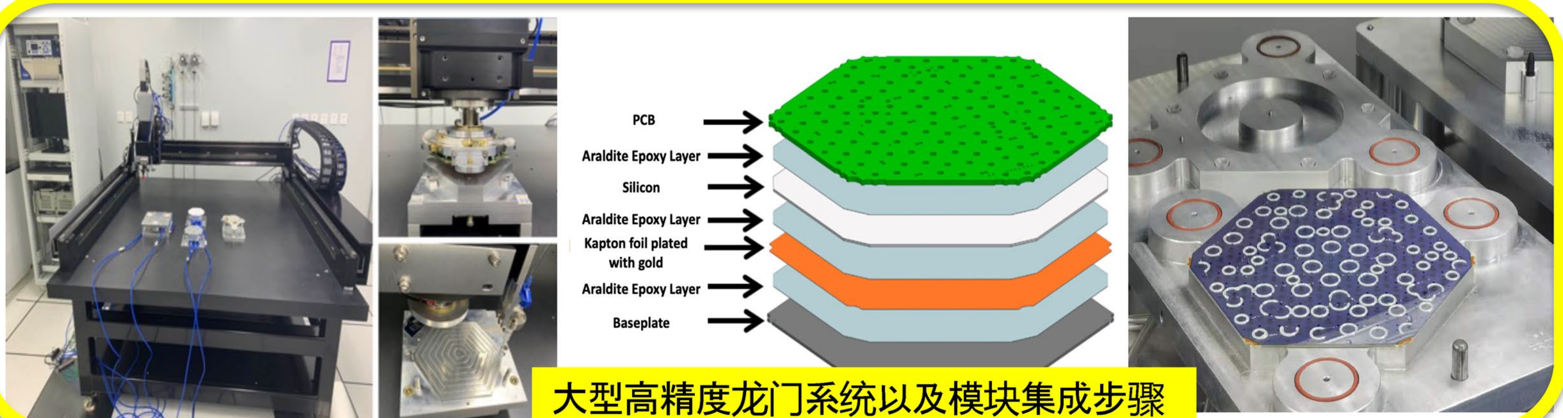




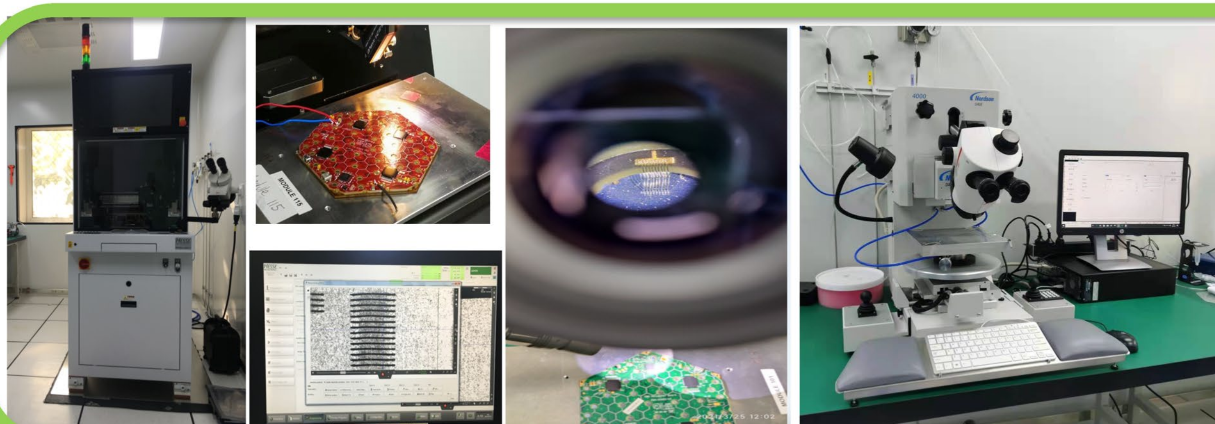


高粒度量能器硅模块生产

- 建立元器件及工艺质量控制系统，建立、培训硅模块生产
- 硅模块组装和绑定

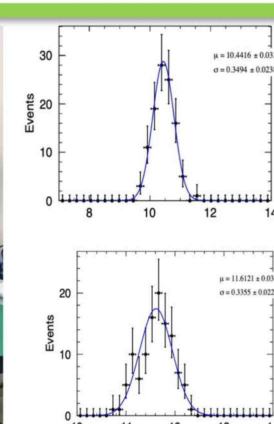


大型高精度龙门系统以及模块集成步骤



全自动绑定机及绑定效果图

拉力测试仪



拉力测试结果

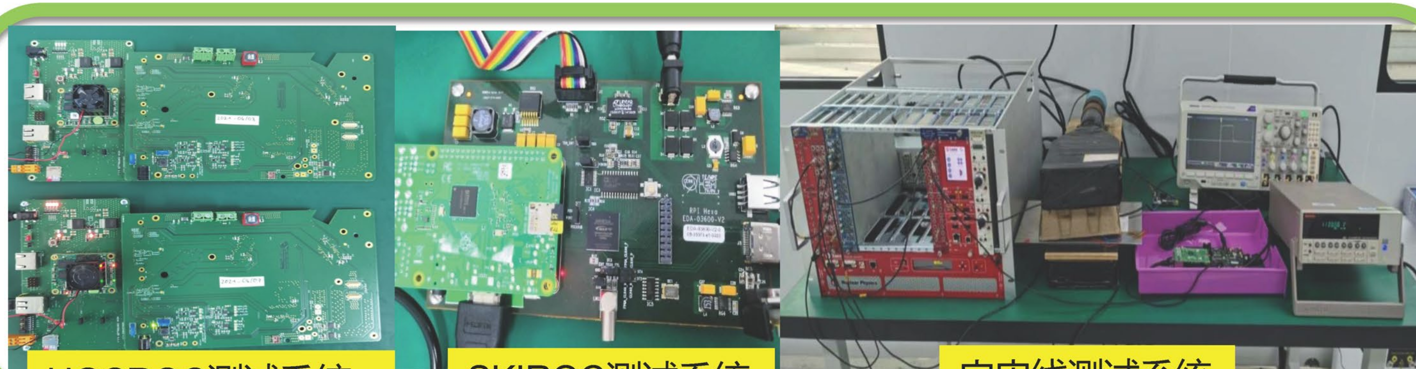
HGCal硅模块制作流程

- 元器件/半成品质量控制
- 硅模块集成
- 绑定
- 封装
- 测试

高粒度量能器硅模块生产

- 硅模块封装和测试

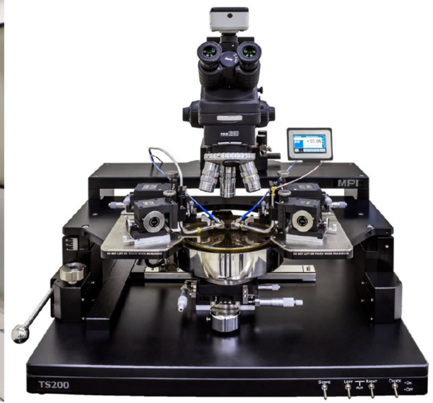
小型龙门点胶系统　离心机　封装效果

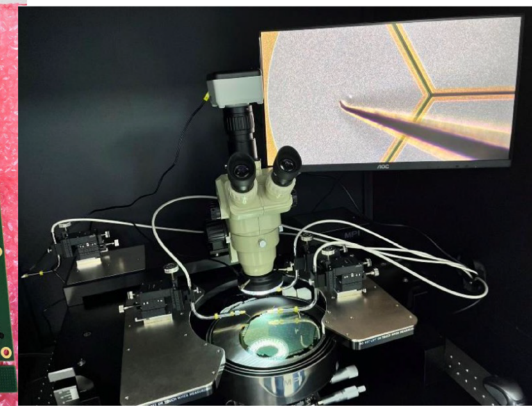

HGCROC测试系统　SKIROC测试系统　宇宙线测试系统

HGCal硅模块制作流程

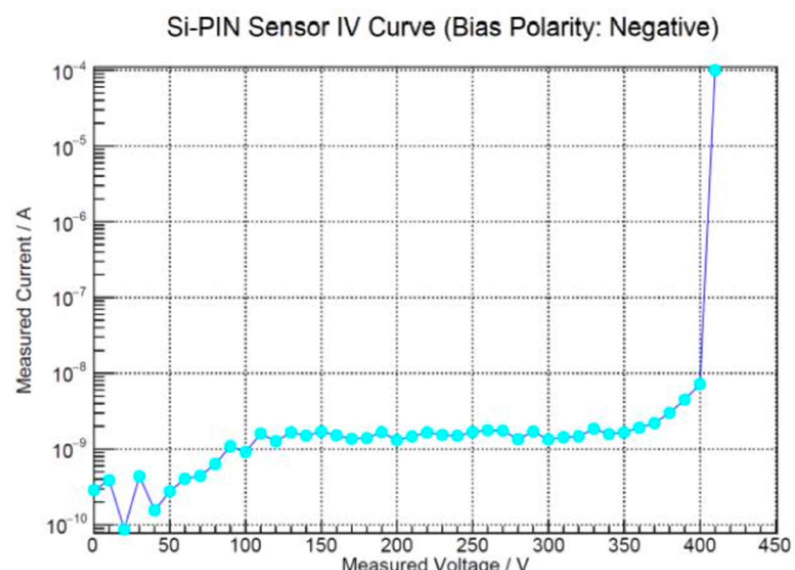
- 元器件/半成品质量控制
- 硅模块集成
- 绑定
- 封装
- 测试

建立了硅传感器测试平台





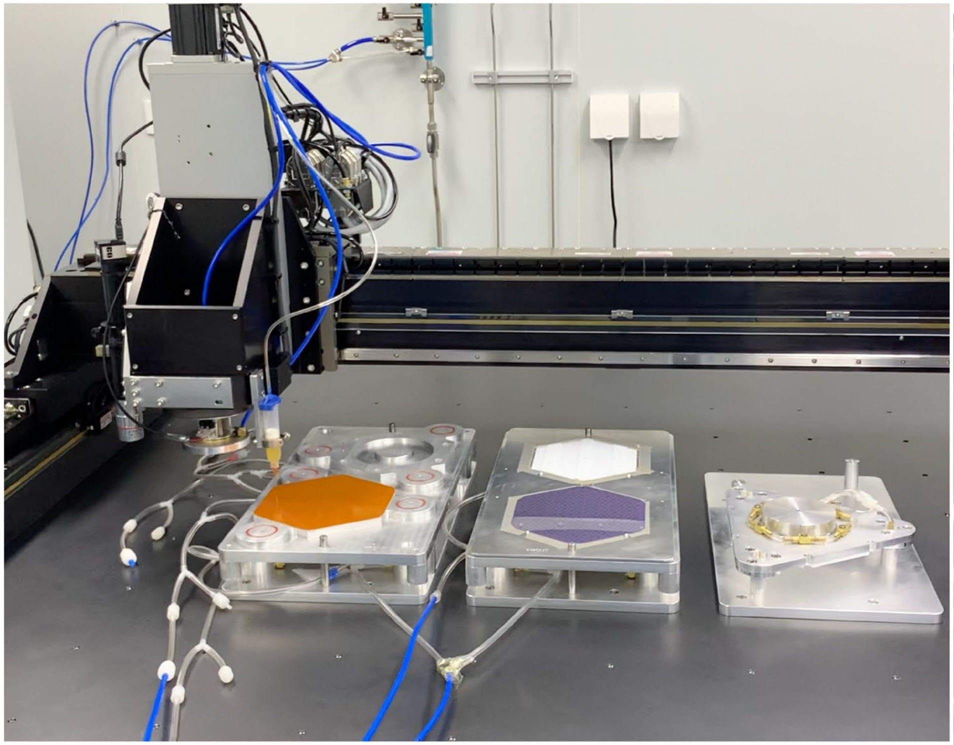
- 参与CERN进行的硅传感器测试
- 在高能所发展了大面积硅传感器的测试平台
  - 探针卡(probe card)
    - 已完成制作，适配6英寸传感器
    - 计划制作匹配8寸传感器探针卡
  - 开关阵列(switch matrix):
    - 已完成制作，共512通道，适用于6寸和8寸传感器
  - 探针台
    - 可用利用探针直接接触传感器完成基本性能测试
  - 已经在国内制作首批6寸硅传感器

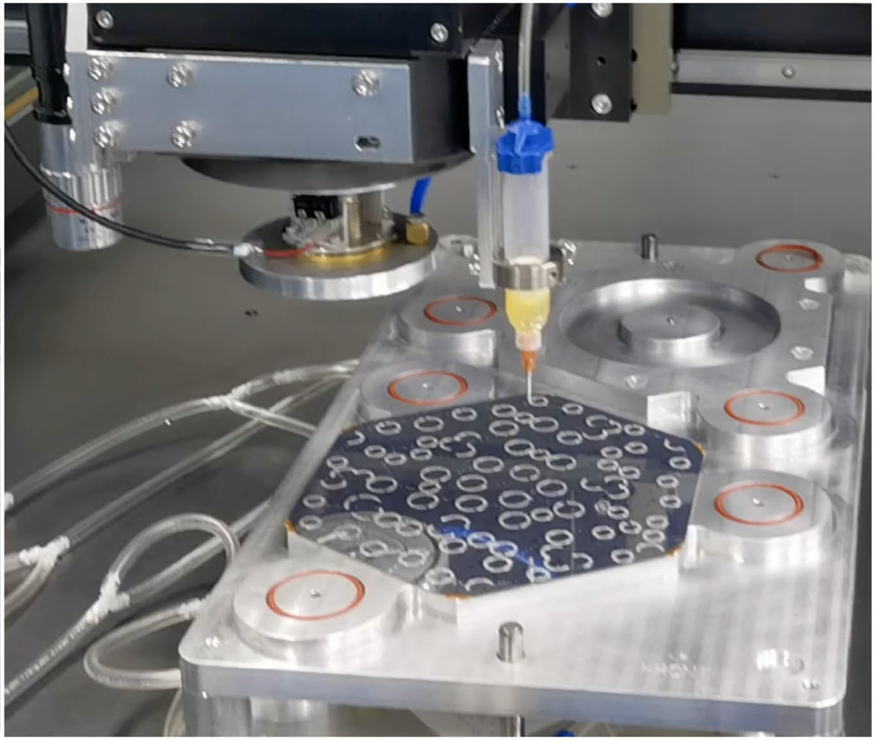


高能所成功生产第一块8寸硅模块

- IHEP成功试制CMS首块8寸硅模块

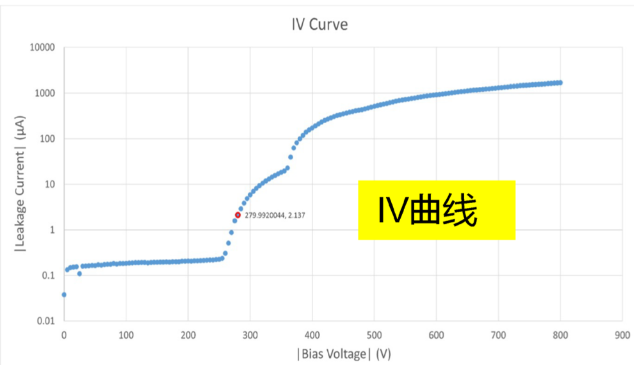
重要性：
1: 高粒度量能器最终安装全部使用8寸硅模块（之前的样机是6寸的）
2: 该8寸样机首次使用CMS专用的前端电子学：HGCROC（之前6寸样机使用SKIROC）
3: 8寸硅传感器的生产工艺与6寸不同(不同的生产线)，需要验证8寸硅传感器的可靠性



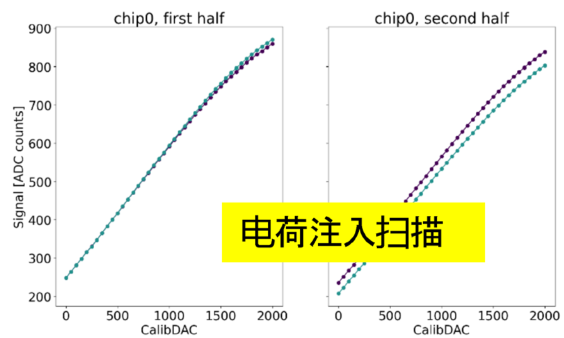


高能所成功生产第一块8寸硅模块

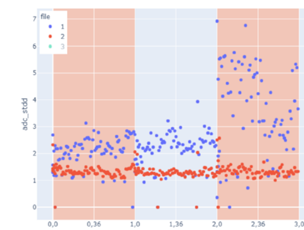
- IHEP成功试制CMS首块8寸硅模块
  - 该模块性能良好，已发送到CERN，2021年9月进行了实验束测试



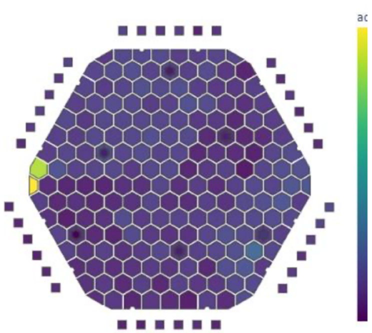
IV曲线



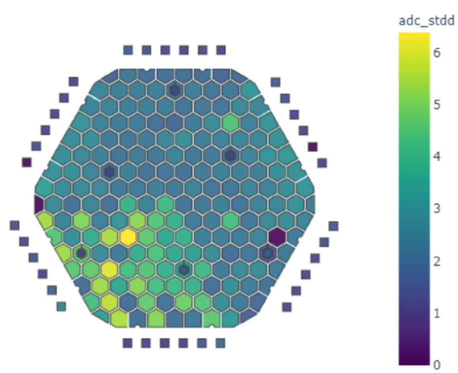
电荷注入扫描



链接传感器前后噪声分布



电子学基线图



模块噪声图

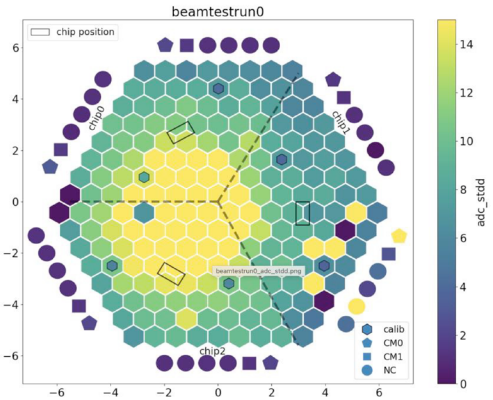
Highlights of Recent Progress

- Please review the **excellent summary by Arnaud Steen** in CMS Week Upgrade Plenary June 24
  - https://indico.cern.ch/event/1045072/
- Since then, a few more highlights
  - Tender bids for the absorber steel opened. Deliberations ongoing
  - ECON-T-P1 submission made
  - ECON-D spec working document released
  - First 8” modules made in IHEP Beijing with V2 (non-stepped-holes) hexaboards
  - Re-optimization report completed
    - See https://edms.cern.ch/document/2594682/1

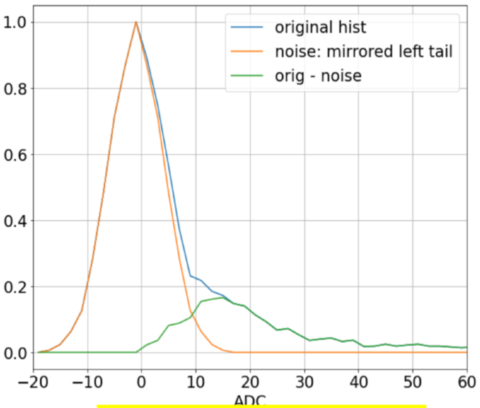
7 July 2021 9

HGC项目负责人在机构委员会上作为亮点汇报

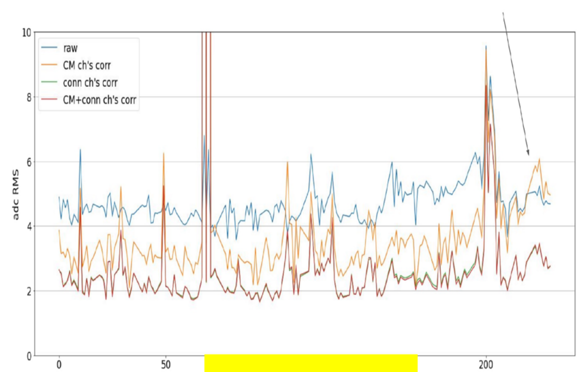
8寸模块实验束测试



测得的束流粒子簇射信号

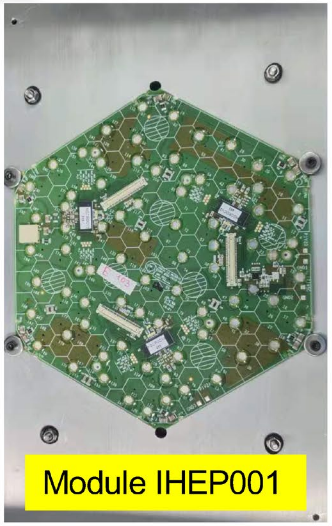


测得的MIP信号

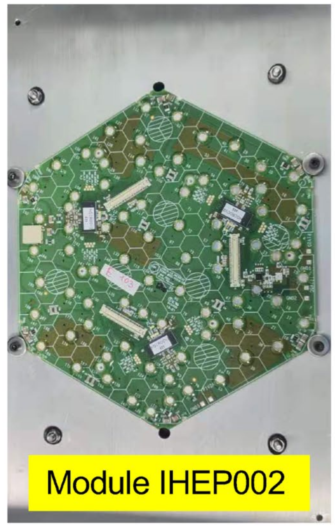


噪声分析

完成了北京硅模块中心站点认证



Module IHEP001



Module IHEP002

高能所硅模块站点成员合影

EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH
COMPACT MUON SOLENOID COLLABORATION
URL : http://cms.cern

Dr. Karl Gill
CMS HGCAL Project Manager
Principal Applied Physicist
CERN - EP Department
CH - 1211 GENEVA 23
Switzerland

Tel. +41 75 411 4712
E-mail Karl.Aaron.Gill@cern.ch

December 15, 2021

Subject: *Certification of qualification the HGCAL Module Assembly Centre at IHEP, Beijing*

To whom it may concern,

I am writing as Project Manager for the CMS endcap calorimeter upgrade project (HGCAL) to certify that the silicon module assembly center (MAC) at IHEP Beijing, led by Prof. Huaqiao Zhang, has been qualified for the HGCAL project as ready to move into the Pre-Series phase of construction.

HGCAL will replace several of the present CMS sub-detectors: the silicon/lead endcap pre-shower detector, the lead-tungstate crystal electromagnetic endcap calorimeter, and the plastic/brass endcap hadron calorimeter. HGCAL is a novel sampling calorimeter, based on a large-scale deployment of silicon modules (a grand total of approximately 26000 installed, plus 5% spares), positioned between dense layers of absorber. The silicon modules will be complemented with plastic scintillator tiles instrumented by silicon photomultipliers (SiPMs) in regions of the detector where particles arrive with lower intensity.

The qualification of the IHEP Beijing MAC has been completed on time to meet the corresponding project milestone. The MAC is set up in a Class 1000 clean room that is dedicated to this facility and all of the equipment for mass production of silicon modules for HGCAL has been installed in the clean room and commissioned. This equipment includes a gantry machine for automated module assembly, a wire-bonding machine, an optical inspection and coordination measurement machine, and a silicon module test-stand. The IHEP Beijing team has been trained in how to use the MAC equipment, and they have practiced extensively on dummy module components before moving onto using live components.

which will be used for the integration of larger prototype assemblies ('cassettes') of the HGCAL detector. The pre-series phase will exercise all the handling, the tooling, and the QA/QC procedures associated with large scale module assembly and testing. It will also permit a deep study and characterization of the robustness of the pre-series modules with large statistics.

We plan to start the pre-series assembly in 2022, once the component parts are all available, and beyond the pre-series, we look forward to ramping up the IHEP Beijing MAC for full-scale mass production.

Yours faithfully,

Karl A. Gill
CMS HGCAL Project Manager

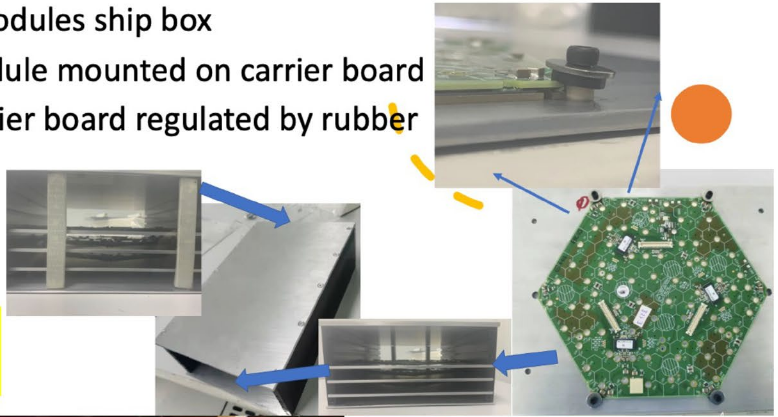
站点认证证明信

为费米实验室小批量生产4块硅模块

2022年
3-4月

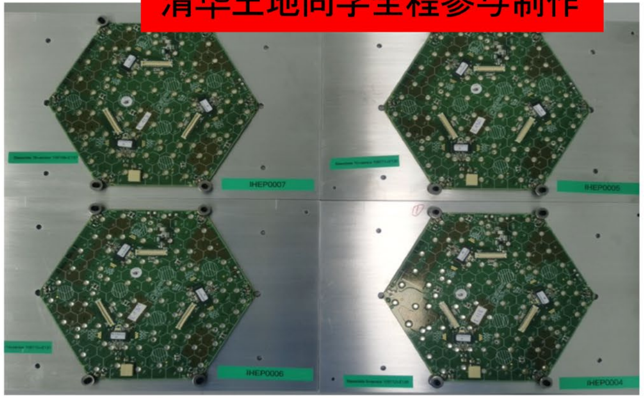
A successed small "mass" pre-production

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

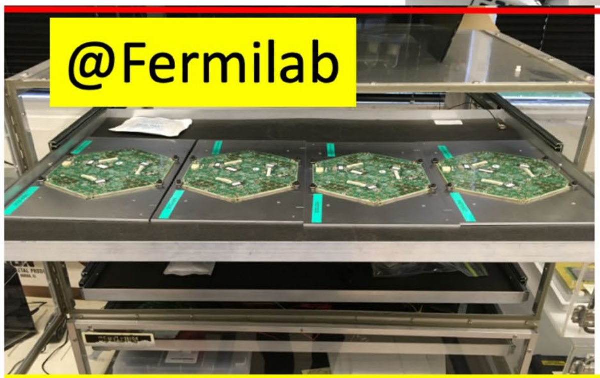


@IHEP

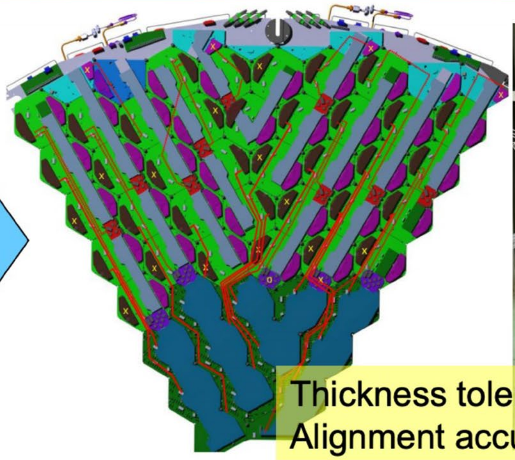
清华王地同学全程参与制作

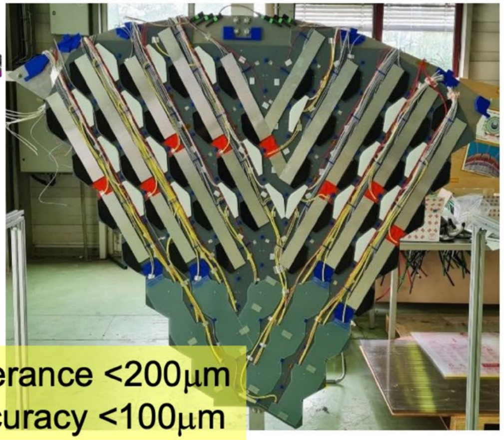


@Fermilab



4 Modules were accepted by Fermilab on 13 Apr. for cassette test



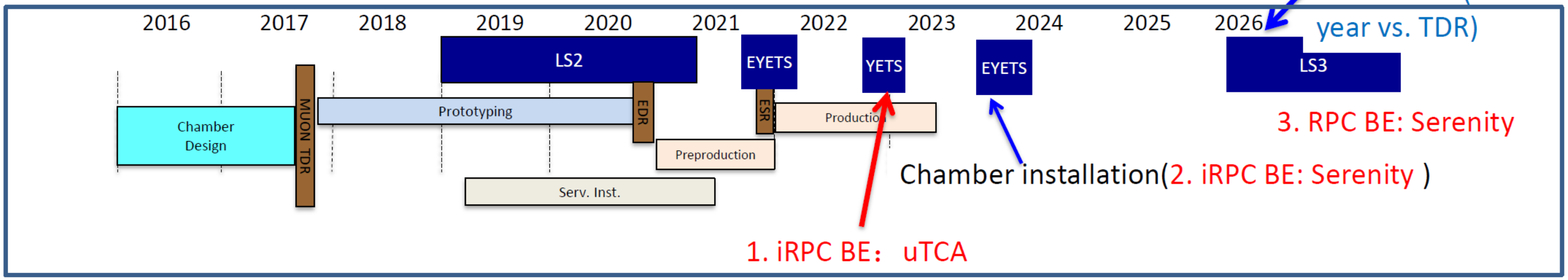


Thickness tolerance <200μm
Alignment accuracy <100μm

RPC后端触发电子学

- **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 端盖后端触发电子学:**
  - 2025-2026: RPC BE ATCA-serenity

- **ATCA-Serenity 设计生产延期**
- **DTH400 和 DAQ800因器件库存缺货生产也会延期。**



进展概括

- 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；
- 课题人员在CERN和北京同步开展联调取数及数据分析，取得了重要进展。
  - 进一步验证了后端触发电子学的功能设计；
  - 同时在联调中发现了前端电子学存在的一些问题，给出了修改建议并被采纳。
- 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。

学术成果及交流

物理分析文章发表8篇、1篇文章投稿中，PAS 6篇

- **参与CMS 物理文章及PAS：正式发表7篇、投稿2篇文章，会议文集6篇**

1. Measurements of Higgs boson production cross sections and couplings in the diphoton decay channel at sqrt{s} = 13 TeV, **HIG-19-015, JHEP07(2021)027** 高能所技术性贡献、内部文章编辑
2. Measurements of production cross sections of the Higgs boson in the four-lepton final state in proton–proton collisions at sqrt{s} =13TeV, **HIG-19-001, EPJ.C 81 (2021) 488** 高能所技术性贡献、内部文章编辑、预审核报告
3. Search for invisible decays of the Higgs boson produced via vector boson fusion in proton-proton collisions at sqrt{s} = 13 TeV, **HIG-20-003, Phys.Rev.D 105 (2022) 092007** 高能所技术性贡献、首任分析联系人
4. **Search for low-mass dilepton resonances in Higgs boson decays to four-lepton final states in proton-proton collisions at √s = 13 TeV, HIG-19-007, EPJ. C 82 (2022) 290** 高能所技术性贡献、内部文章编辑
5. Search for singly and pair-produced leptoquarks coupling to third-generation fermions in proton-proton collisions at sqrt{s} = 13 TeV, **EXO-19-015, PLB 819 (2021) 136446** 高能所成员担任分析联系人，文章编辑，做预审核报告
6. Observation of tW production in the single-lepton channel in pp collisions at √*s* = 13 TeV, **TOP-20-002, JHEP 11 (2021) 111**高能所成员担任分析联系人，文章编辑，做预审核、审核报告
7. Search for single production of a vector-like T quark decaying to a top quark and a Z boson in the final state with jets and missing transverse momentum at sqrt{s} = 13 TeV, **B2G-19-004, JHEP 05 (2022) 093** 高能所成员担任分析联系人，文章编辑，做预审核、审核报告
8. A portrait of the Higgs boson by the CMS experiment, **HIG-22-001, published by Nature** 高能所技术性贡献、内部文章编辑，做揭盲审核报告
9. Evidence for WW/WZ vector boson scattering in the decay channel ℓνqq produced in association with two jets in proton-proton collisions at sqrt{s} = 13 TeV, **SMP-20-013, Submitted to PLB, arXiv:2112.05259** 高能所技术性贡献、内部文章编辑
10. Measurement of the Higgs boson inclusive and differential fiducial production cross sections in the diphoton decay channel with pp collisions at sqrt {s}= 13 TeV with the CMS detector, CMS-PAS-HIG-19-016 高能所技术性贡献、内部文章编辑
11. Search for CP violation in ttH and tH production in multilepton channels at sqrt{s} = 13 TeV, CMS-PAS-HIG-21-006 高能所技术性贡献、内部文章编辑、揭盲审核报告
12. Projection of the Higgs boson mass and on-shell width measurements in H→ZZ→4ℓ decay channel at the HL-LHC, CMS-PAS-FTR-21-007 高能所技术性贡献、内部文章编辑、审核报告
13. A projection of the precision of the Higgs boson mass measurement in the diphoton decay channel at the High Luminosity LHC, CMS-PAS-FTR-21-008 高能所技术性贡献、内部文章编辑
14. Snowmass White Paper Contribution: Physics with the Phase-2 ATLAS and CMS Detectors, CMS-PAS-FTR-22-001高能所技术性贡献、内部文章编辑
15. A Study of the Single Higgs Modelling for Constraining Higgs Boson Trilinear Self-coupling in STXS (1.2) Measurements, CMS-NOTE-2022-003 高能所承担分析联系人、文章编辑、审核报告

另有单独署名文章两篇

E. Chapon et cl, Prospects for quarkonium studies at the high-luminosity LHC, **Prog.Part.Nucl.Phys. 122 (2022) 103906**

C. Wang et cl, Search for a lighter neutral custodial fiveplet scalar in the Georgi-Machacek model, accepted by CPC, arXiv:2204.09198

国际学术会议报告13个（大会报告5个）

- 大会报告

1. Fabio Monti, HH Production at CMS, HiggsPairs2022: Higgs Pairs Workshop 2022, 30 May-3 Jun 2022, Dubrovnik (Croatia)
2. 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)
3. Duncan Leggat, Measurement of tW production in lepton jets channel, TOP2021: 14th International Workshop on Top Quark Physics (TOP2021), 13-17 Sep 2021 (online)
4. 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)
5. Ram Sharma, Standard Model and Electroweak Results from CMS, LISHEP2021: LISHEP Workshop on High Energy Physics, 6-8 Jul 2021, UERJ (online)

- 分会报告

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 Iemmi, Associated production of tt+HF 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. Anshul Kapoor， Performance of electrons and photons with the CMS detector at sqrt(s)=13TeV, ICHEP2022, 6-13 July 2022, Bologna Italy

- Poster

1. Taoze Yu, Search for single T production, in T->tZ(vv) decay mode at CMS, Posters@LHCC: Students' Poster Session at the 2021 November LHCC meeting, 18 Nov 2021, CERN (online)

硬件项目文章及会议报告

- 文章
  - *HGC 实验束测试文章* JINST 17 (2022) 05, P05022
  - 《探索微观世界的眼睛—量能器》科普文章:
    - 现代物理知识，2021，第四卷，22-27页

- 会议报告：
  - ICHEP poster：Measurement of silicon-sensor prototypes for the CMS High-Granularity Calorimeter Upgrade for HL-LHC：Chaochen Yuan
  - 全国高能物理大会：HGCal MAC status， Huaqiao Zhang
  - CLHCP：Hexaboard and DCDC design : Lin Zhen
  - CLHCP: Status of HGCal module assembly center qualification at IHEP: Yong Liu

高能所CMS合作组任职

高能所成员在CMS组任职情况：

1. Emilien Chapon, 2018.09-2020.09 CMS Heavy-Ions Physics Group, L2 convener
2. Joshuha Thomas-Wilsker, 2018.09-2020.9 BTV, L3 convener
3. Jianguo Bian 2018年9月至2019年10月 Thesis Award Committee 成员
4. Duncan Leggat, 2019.11-2021.9 Top group, MC contact
5. Duncan Leggat, 2020/1-2021.9, Gen group, gen operator
6. Anshul Kappor, 2018/4-2020/9, EXOTIC physics group，Electron Object Expert
7. Jin Wang, 2019.10-至今 Higgs diphoton group MC contact
8. Jin Wang, 2019.05-至今 BTV group MC contact
9. Joshuha Thomas-Wilsker, 2019.06-2021.9 LHCHXSWG - ttH contact
10. Ram Krishna Sharma, 2019.12-至今 EXOTIC physics group MC contact
11. Joshuha Thomas-Wilsker, 2020.09-至今, ttX L3 convener
12. Chu Wang, 2020.10-至今Higgs diphoton group MC contact
13. Anshul Kapoor, 2020/9-2021.9, Egamma POG, Egamma ID, L3 convener
14. Ram Krishna Sharma, 2020/10-至今, Egamma POG, EGM HLT, L3 convener
15. Vukasin Milosevic, 2018.9-2021.9, Higgs PAG Trigger L3 Convener
16. Jianguo Bian, 2011.7-2021.8 MC 产生子BCVEGPY 联系人

本年度新任职

陈明水： LHC Higgs Combination group convener

廖红波： CMS Conference Committee member

王锦：CMS 电磁量能器刻度组convener

Anshul：CMS e/g 组convener

Vukasin：CMS L1 Trigger DQM convener

总结

- 高能所CMS组围绕**基本粒子质量起源**的实验研究，在CMS取得的多个希格斯性质测量重要成果中做出主要贡献，并主导多个新粒子寻找分析，取得了优异成果
  - **在希格斯联合分析中做出主要贡献，发表于《自然》**
  - 深入检验希格斯与玻色子、费米子的相互作用性质，发表多篇文章
  - 探索希格斯与暗物质的可能联系，对相关分支比做出严格限制
  - 半轻子衰变的tW的**首次观测**，电弱产生的WV+2jets 半轻衰变过程的**首个实验证据**
- **中国CMS高粒度量能器项目进展顺利，高能所建立了HGCAL实验室**
  - 洁净间运行稳定，满足需求，主要设备完成调试和人员培训
  - **率先通过了CMS高粒度量能器硅模块中心认证**
  - **已经成功生产7块硅模块**
  - 在CERN参与硅模块相关的测试
  - 准备高粒度量能器硅模块量产
- **RPC后端触发电子学**
  - 高能所开发了FEB仿真器，为后端触发电子学的设计验证工作发挥了重要作用。
  - 2021年7月开始进行与前端板联调测试，验证了后端触发电子学的设计。
  - 2022年初开始探测器宇宙线联调，取得重要进展。

备用资料