

北大CMS实验组介绍

周辰

北京大学物理学院技术物理系

基于HIAF-HFRS装置的缪子散射实验小型研讨会

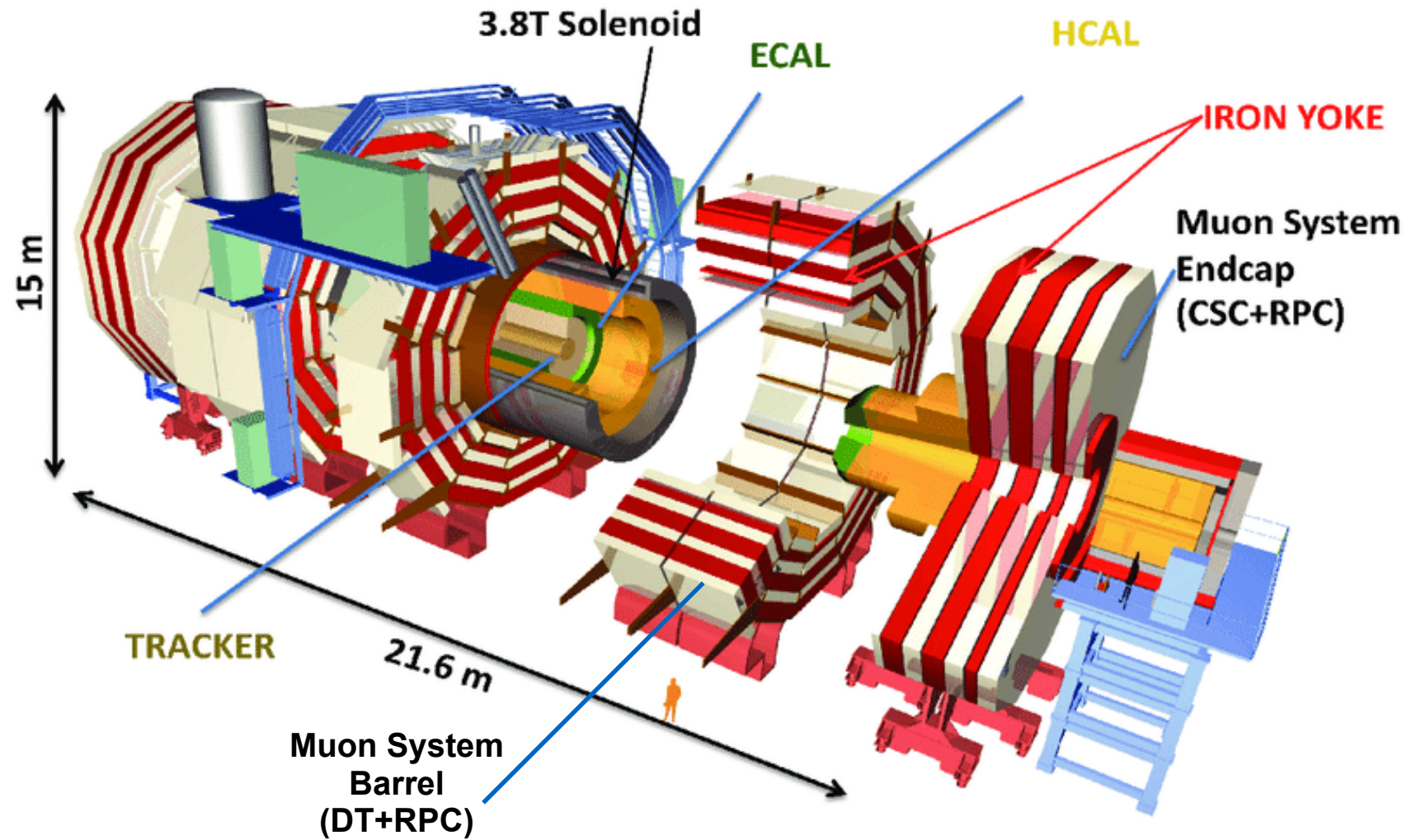
2025年4月25日

大型强子对撞机 (LHC)

- 欧洲核子研究中心(CERN)的大型强子对撞机(LHC)进行高能粒子(质子-质子、质子-铅核、铅核-铅核) 对撞
 - 位于一个周长27公里、地下约100米的环形隧道
 - 是当今世界上能量最高的粒子对撞机、规模最大的科学装置
- LHC上的ATLAS, CMS, LHCb, ALICE等探测器研究对撞产物, 从而理解基本粒子及它们的相互作用



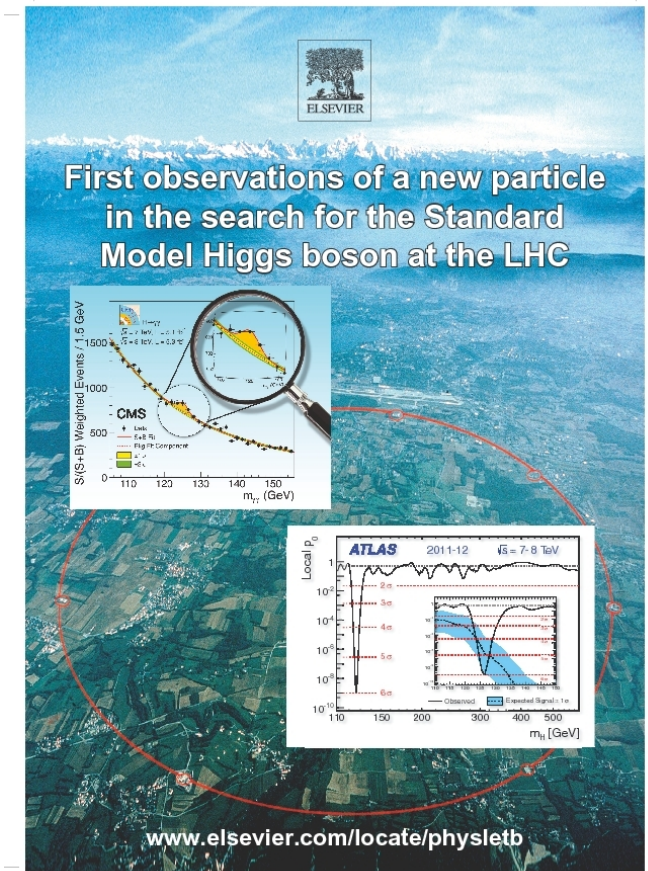
CMS探测器



- CMS探测器是大规模、多功能探测器
- 它由若干子探测器组成：径迹探测器（tracker）、量能器（calorimeter, ECAL+HCAL）、缪子探测器（muon system）
- CMS可以重建对撞产生的光子、电子、缪子、喷注（jet）等

CMS物理结果

- CMS实验和ATLAS实验在2012年发现了希格斯玻色子
 - 验证了P. W. Higgs和F. Englert的预言。他们被授予2013年诺贝尔物理学奖
- CMS的物理目标还包括检验标准模型和寻找新物理，已发表1000多篇科学论文
 - 希格斯玻色子成为这些研究的一个重要工具



北大CMS组

北大CMS组现成员



冒亚军



班勇



王大勇



李强



孙小虎



周辰

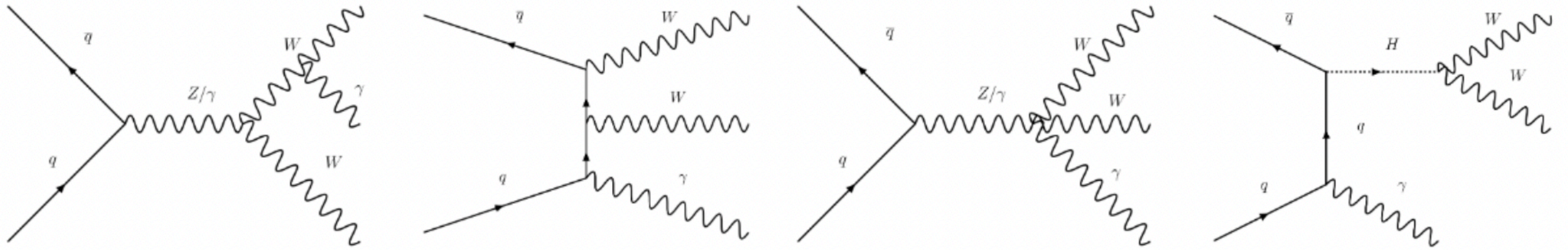
- 现北大CMS组由6名老师、2名工程师、4名博士后以及30多名博士生组成，是CMS国际合作组的中流砥柱
- 我们在探测器研发建造（包括RPC缪子阻性板探测器、GEM微结构气体探测器和MTD超快时间探测器）、希格斯粒子的探寻和测量、多玻色子物理、味物理和新物理探索等方面做出重要且独具特色的贡献

- 北大也大力参加BESIII（冒亚军、王大勇）、PandaX（王思广）等高能物理实验



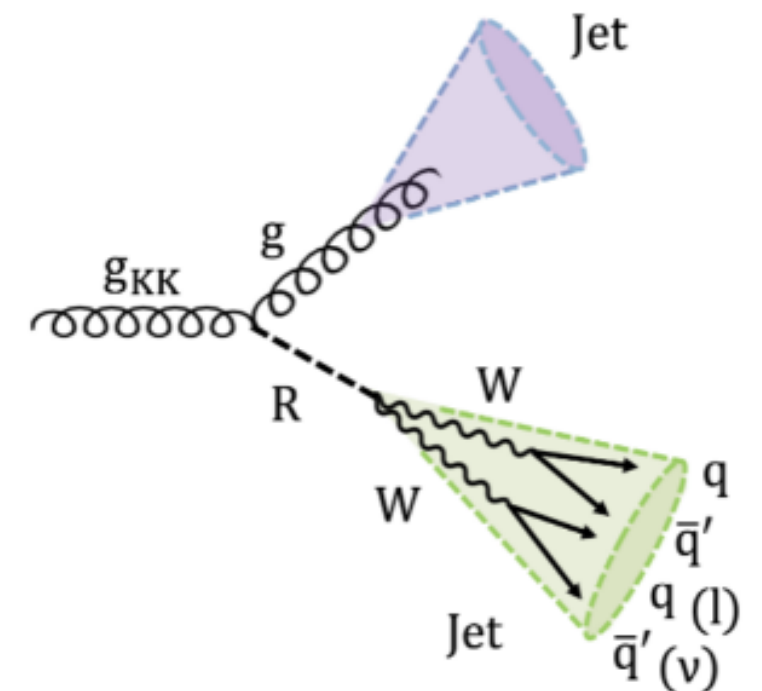
王思广

近期部分工作：多玻色子物理



北大**李强**团队主导多玻色子物理的一系列结果，包括

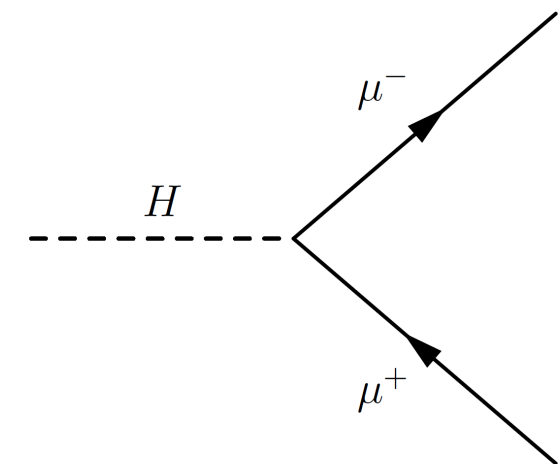
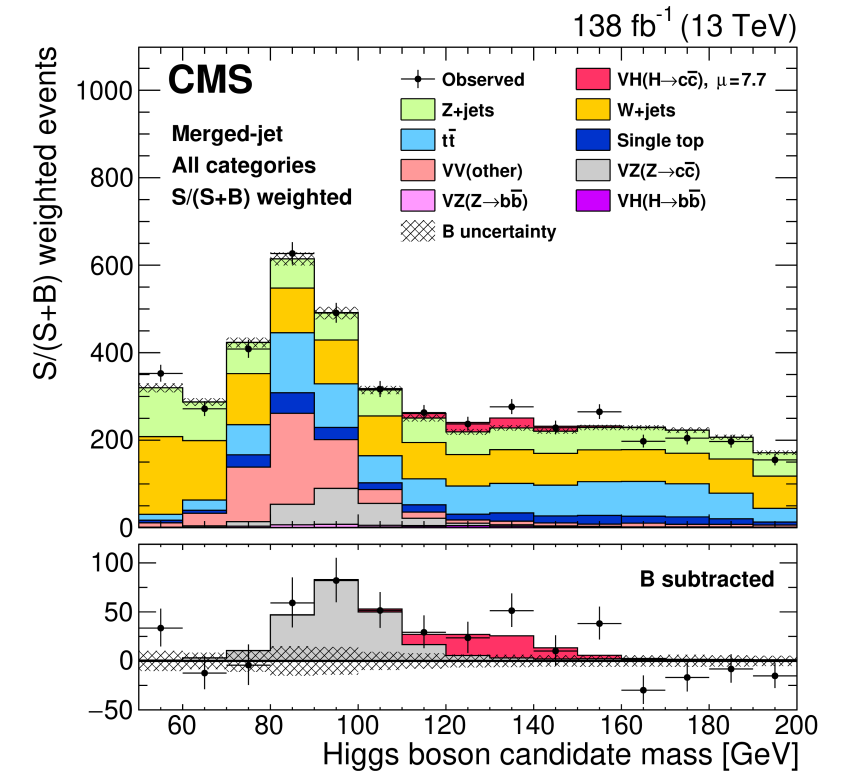
- 在5sigma水平实现对 $WW\gamma$ 联合产生过程的首次观测
- 从而对Higgs与轻夸克的汤川耦合给出世界最灵敏的探测结果
- PRL发表、Nature报道
- 新的共振态探寻： **$KK\text{gluon}$** $\rightarrow$ gluon+WW



近期部分工作：希格斯粒子与费米子的耦合

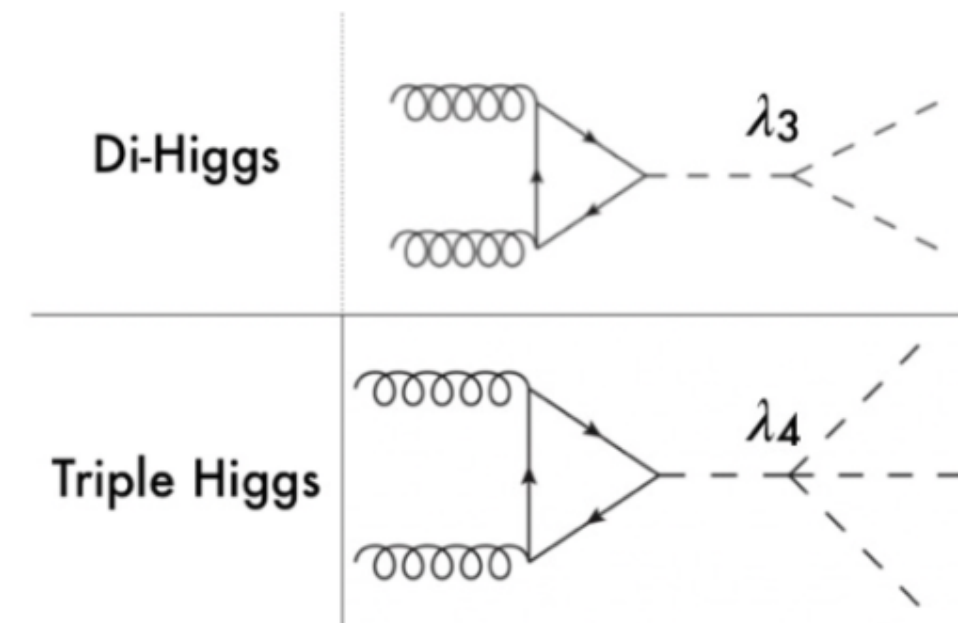
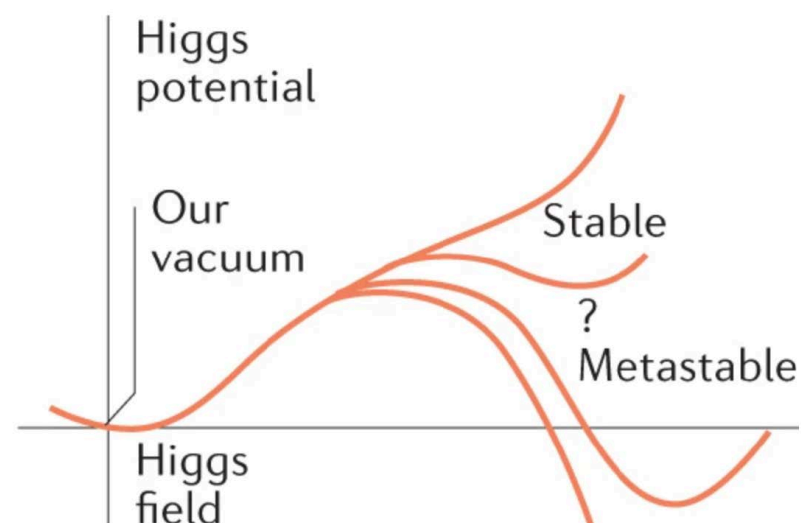
汤川耦合是一种新相互作用

- 研究希格斯玻色子与粲夸克间的相互作用目前主要是通过寻找 **$\text{Higgs} \rightarrow c\bar{c}$** 衰变
- 北大**李强**团队在CMS上使用图神经网络，获得了目前最强的实验结果
- $\text{Higgs} \rightarrow \mu\mu$** 衰变提供了在LHC上发现希格斯玻色子与缪子耦合的最好机会
- 北大**周辰**团队与**孙小虎**团队在CMS上改进 $\text{Higgs} \rightarrow \mu\mu$ 过程的物理分析



近期部分工作：希格斯粒子自耦合

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{2}m_h^2 h^2 - \lambda_3 \frac{m_h^2}{2v} h^3 - \lambda_4 \frac{m_h^2}{8v^2} h^4$$



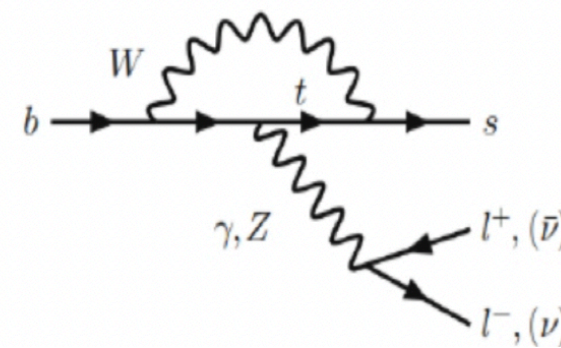
- 希格斯玻色子的自耦合是粒子物理的一个最深刻的问题，对于研究希格斯场的势能、电弱对称破缺机制、真空稳定性、早期宇宙演化等有重要意义。
- 北大孙小虎团队在CMS上完成矢量玻色子伴随产生的双希格斯粒子产生(HH)的首次寻找：该产生模式提高了对希格斯粒子三线自耦合的灵敏度。
- 北大周辰团队在CMS上首次进行三希格斯粒子产生(HHH)的寻找，从而探测希格斯粒子四线自耦合。

近期部分工作：稀有衰变

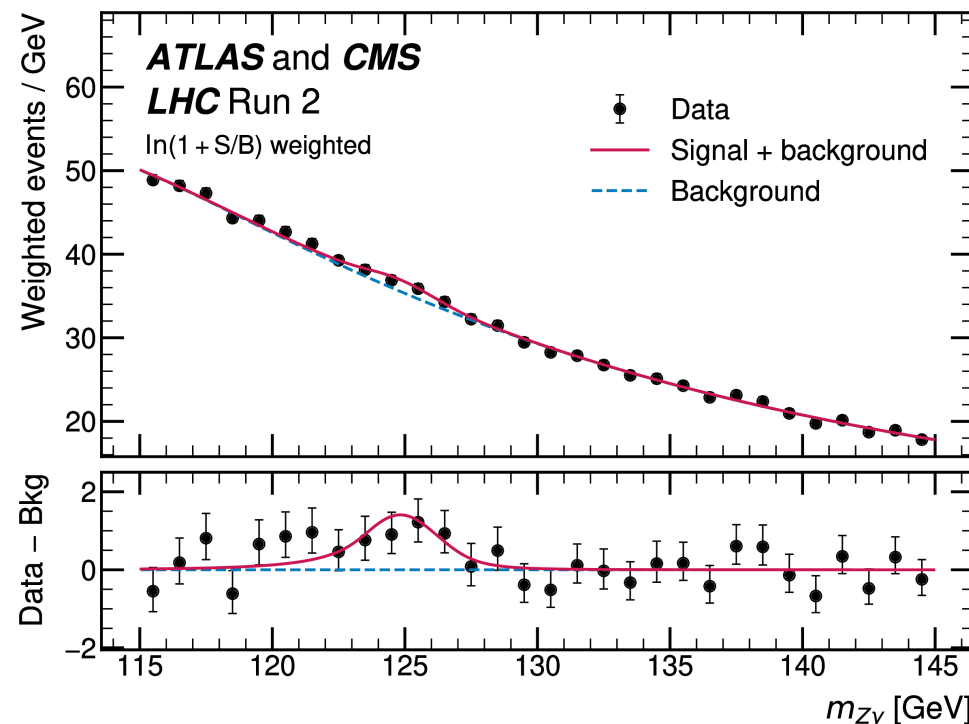
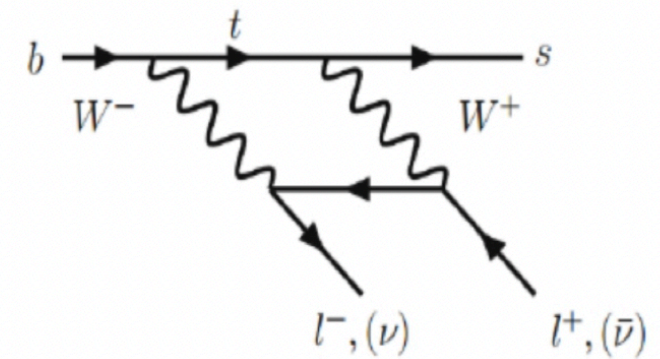
稀有衰变蕴含着丰富的物理信息

北大**王大勇**团队通过测量
 $B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-$ 等强子稀有衰变
过程的角分布，寻找量子圈
中的新物理现象

Z/γ penguin



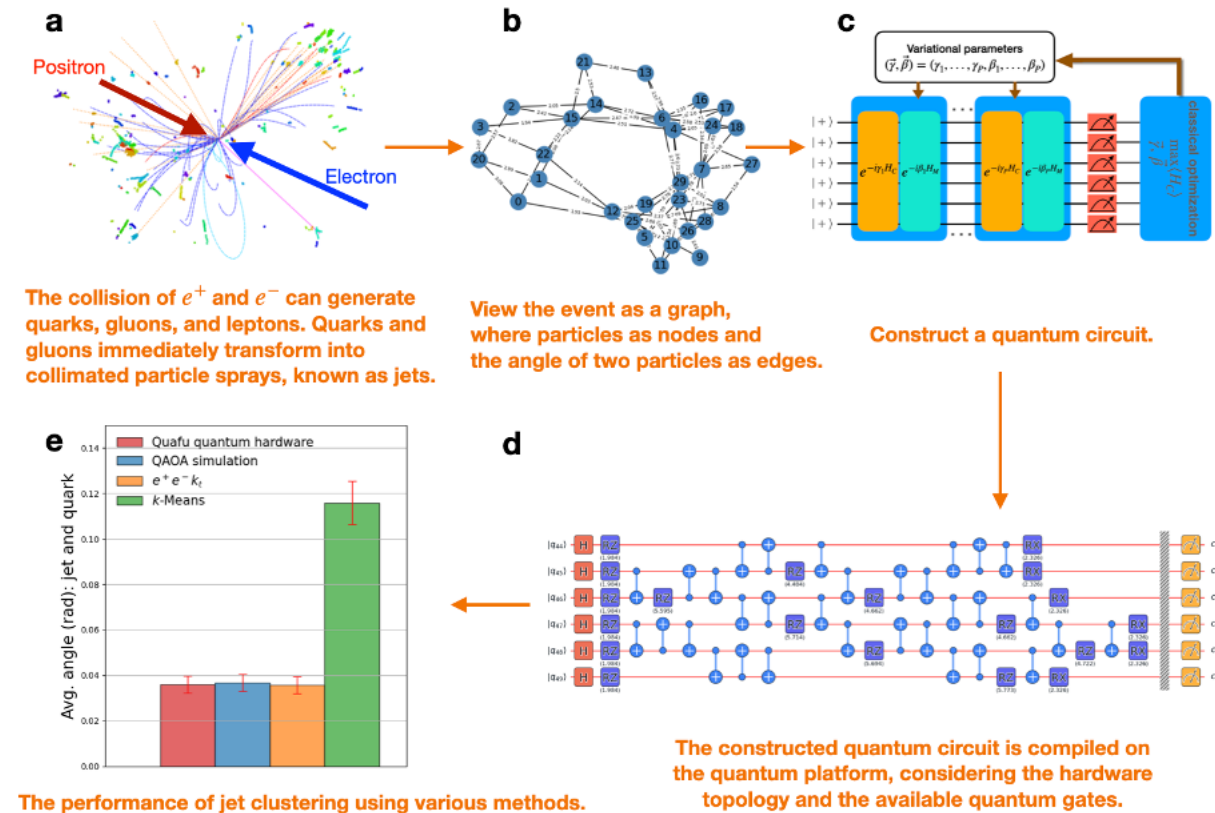
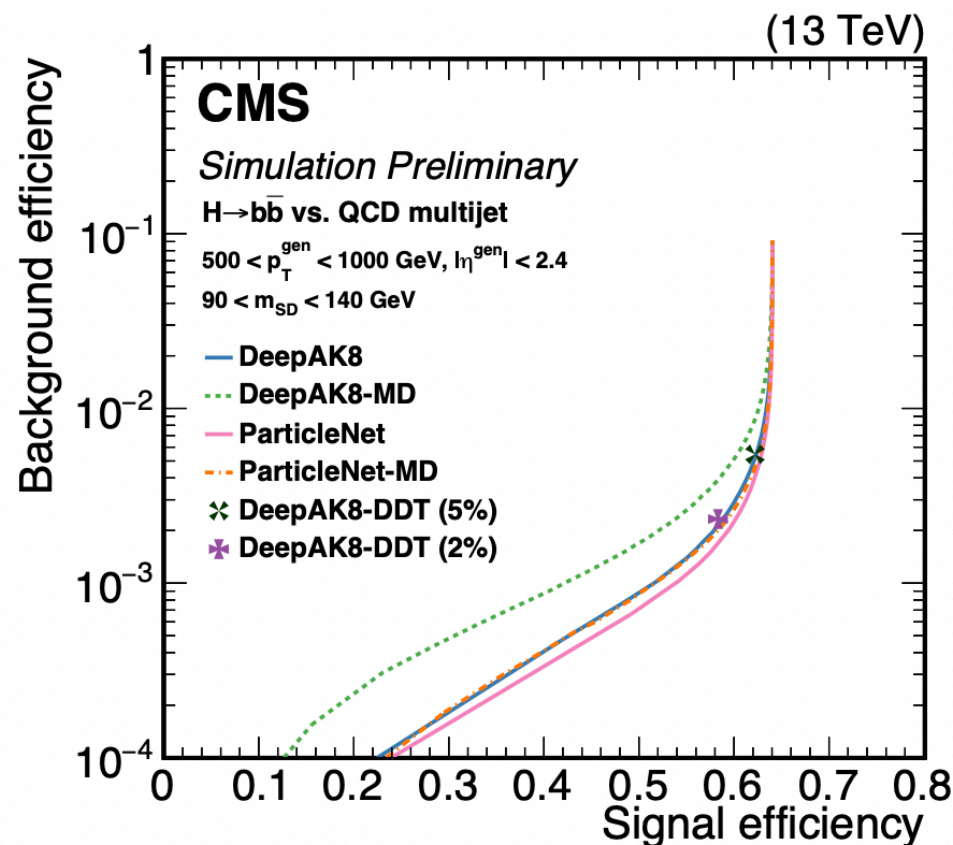
$W^+ W^-$ box



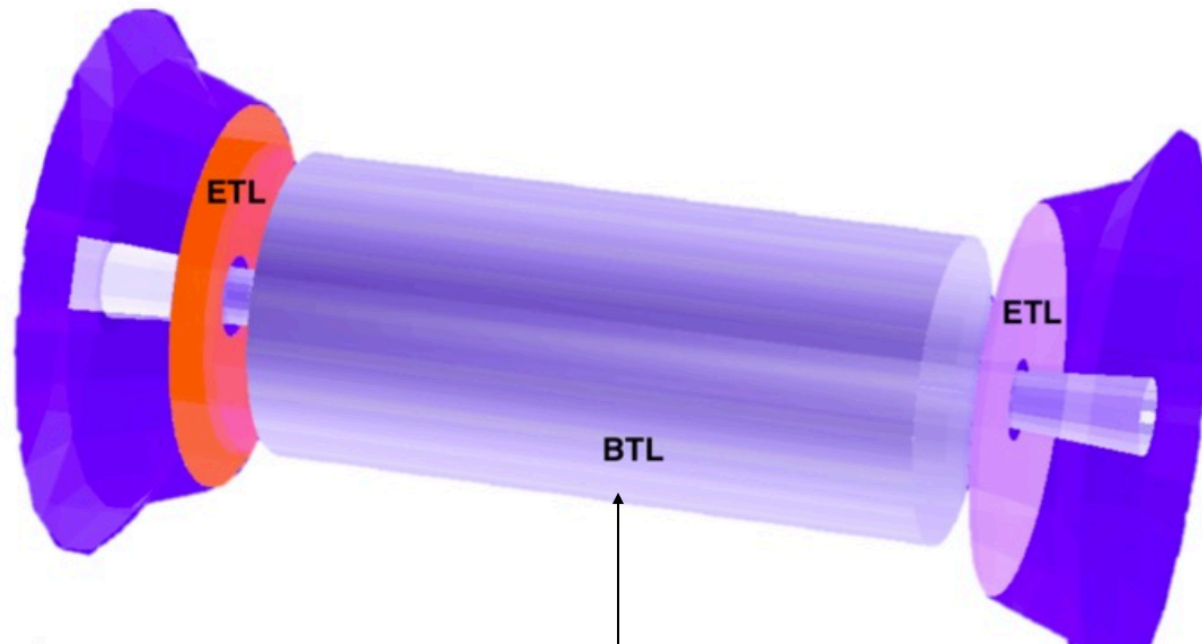
- 希格斯玻色子到Z玻色子+光子的
衰变的量子圈中可能存在新粒子。
北大**周辰**团队得到 $H \rightarrow Z\gamma$ 的**首个证据**（**PRL年度亮点专辑**），正在使用机器学习等手段改进分析

近期部分工作：人工智能和量子计算的应用

- 北大**李强**团队与欧洲核子研究中心合作，开发了基于图神经网络的深度算法标记技术ParticleNet，已经成为CMS物理分析的标准方法
- 北大**周辰**团队与本源量子、北京量子院展开合作，在希格斯物理分析中开发、应用量子机器学习算法，并尝试使用本土量子计算机硬件



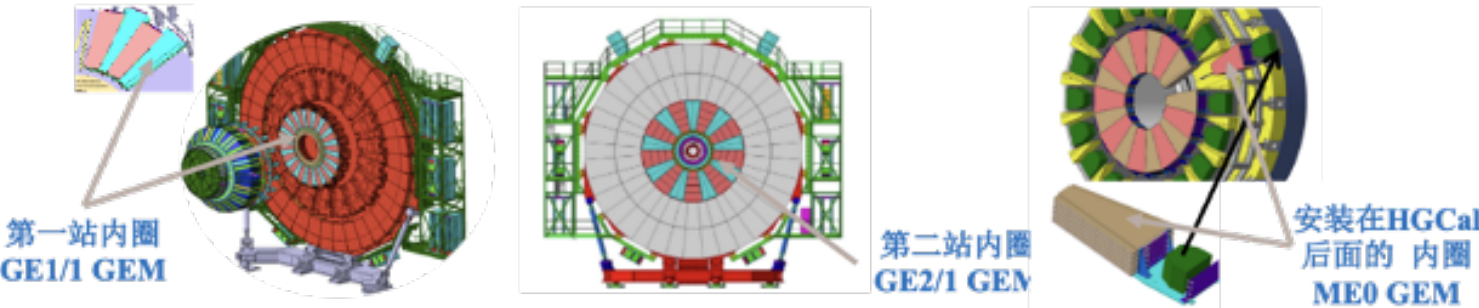
近期部分工作：CMS-MTD 探测器升级



- 最小电离粒子时间探测器MTD是CMS升级中的**全新**探测器，将时间分辨率提高三个量级，是**CMS实验在HL-LHC运行中保持物理敏感度的核心部件**
- 中国CMS于2021年正式加入MTD项目
 - 北大、清华、北航、科大
- 我们迅速建立了MTD实验室SiPM测试平台，并输出重要的前期R&D研究工作，获得了合作组的认可，获批在北京建立组装中心（已有组装中心：意大利一个、美国两个）
 - 已展开工作包括SiPM特性测试、sensor组装流程和测试、test beam、冷却集成等
 - 正在积极建设MTD的组装中心
 - 组装时间线：2023年夏，开始批量组装；2026年夏，结束组装；2026秋，安装在径迹室的冷却腔内

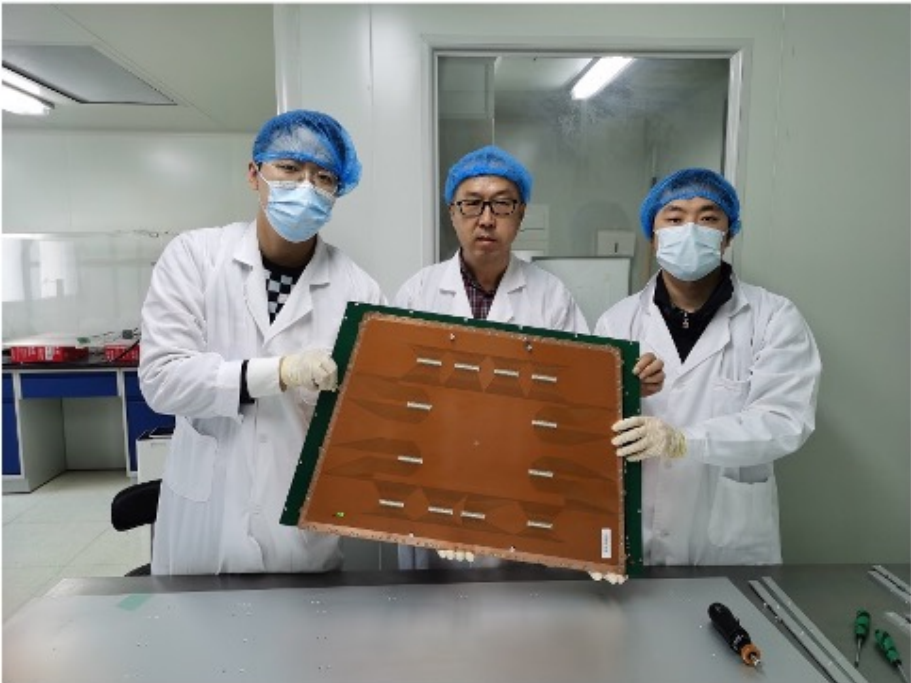
近期部分工作：CMS-GEM 探测器升级

- 大面积GEM技术在高能物理实验中的首次大规模应用, 保证 μ 子触发效率且大大提高新物理发现潜能。
- 中国参加单位有北京大学（牵头）、清华大学、中山大学、北京航空航天大学等；
- 中国组承担GEM研发和组装测试、结构部件生产、电子学研制和生产等任务。



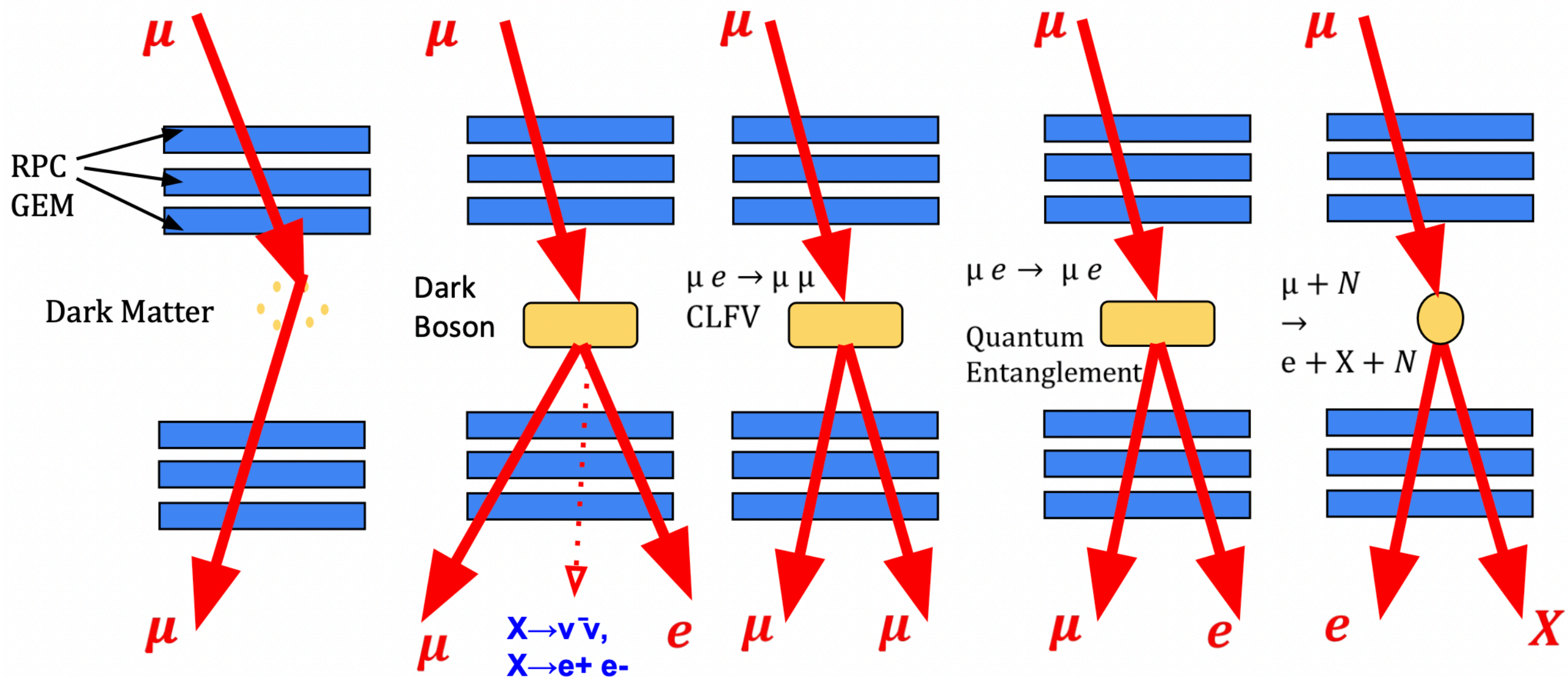
升级探测器		GE1/1	GE2/1	ME0
探测器个数*		288 (=2×36×4)	288 (=2×18×8)	216 (=2×18×6)
计划	预研	2013-2017	2014-2021	2014-2024
	批量生产	2017-2019	2022-2024	2024-2027
	安装调试	2018-2020	2023-2026	2026-2028
中国组任务		全部前端电子板GEB生产测试, 在CERN的探测器组装测试、安装调试	设计研发及生产测试全部GEB, 在北大生产1/8 GEM探测器, 在CERN进行组装测试、安装调试	设计研发及生产测试全部GEB, 在北大生产~1/5 GEM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)



近期部分工作：PKMuon 缪子散射实验项目

使用宇宙线缪子或束流缪子，物理目标丰富



谢谢大家！