探测器与电子学分会报告总结

张云龙，徐来林（USTC）

探测器与电子学分会概况

- 议程委员会
  - 刘 倩（中国科学院大学）
  - 董明义（中国科学院高能物理研究所）
  - 千 奕（中国科学院近代物理研究所）
  - 赵 雷（中国科学技术大学）
  - 徐来林（中国科学技术大学）
  - 秦家军（中国科学技术大学）
- Conveners
  - 张亮 (山东大学)
  - 杨贺润 (近代物理所)
  - 刘凯（兰州大学）
  - 朱自安（中国科大）
  - 赵雷（中国科大）
  - 千奕（近代物理所)

探测器与电子学分会概况

- 总共26个报告

邀请报告（9个）：

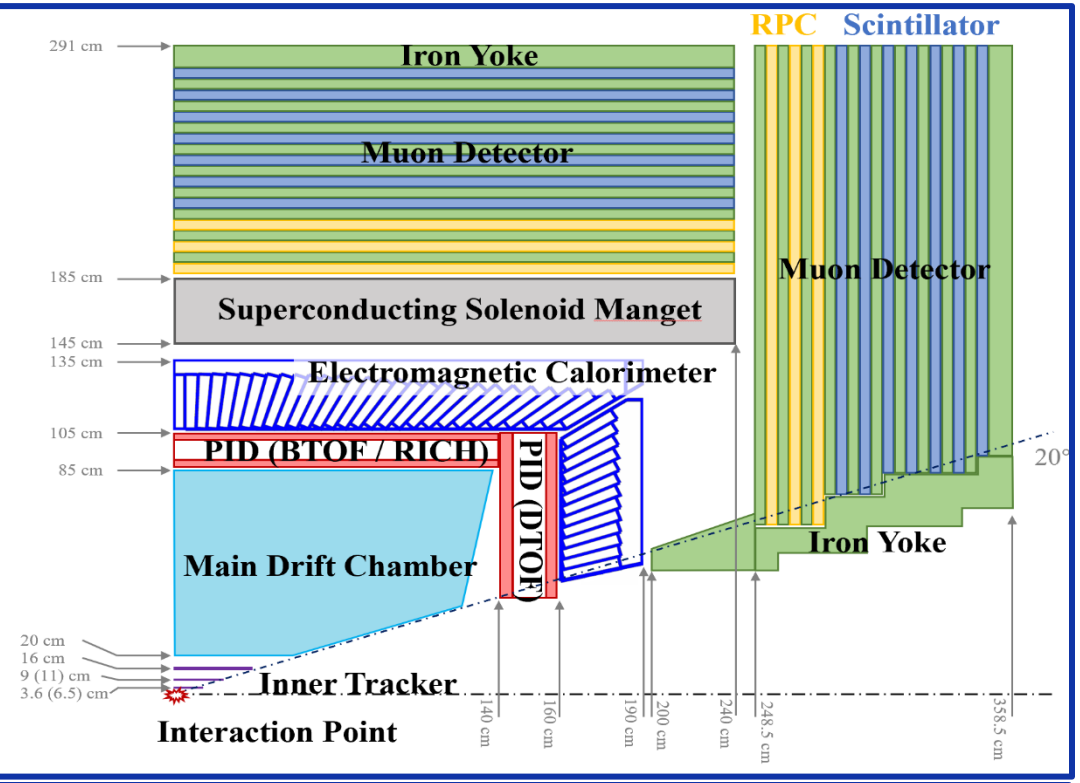
- EicC探测器设计与预研，李昕（近物所）
- 粒子物理实验用闪烁晶体的现状与展望，陈俊锋（上海硅酸盐所）
- CEPC LumiCal探测器设计和进展，张雷（南大）
- BESIII Muon，谢宇广（IHEP）
- LHCb触发与数据获取系统，刘国明（华南师范）
- Belle2触发，殷俊昊（南开）
- 高能物理数据处理可计算存储系统设计与实现，程耀东（IHEP）
- 复杂分布式电子学系统的调试诊断及慢控制接口的探索与实践，薛涛（清华）
- CEE实验控制系统的研制，李敏（近物所）

STCF进展报告（17个）：

- ITKM，宾心瑜（USTC）
- ITKW，李嘉铭（USTC）
- MDC，曹喆（USTC）
- 本底模拟与MDI设计，刘明依（USTC）
- PIDB，张慧斌（UCAS）
- EMC，张云龙（USTC）
- DTOF样机束流测试，林雪森（USTC）
- 长寿命MCP-PMT研究进展，赵鑫楠（西安光机所）
- MUON，李锋（USTC）
- 亮度监测，秦丽清（广西师范）
- 超导磁铁，张小涛，
- 机械设计，沈刚（安理工）
- DAQ，杨俊峰（USTC）
- 触发，方竹君（USTC）
- MDC HLT，彭亮（湖南科大）
- 时钟与数据传输，王进红（USTC）
- 慢控，胡东栋（USTC）

STCF探测谱仪进展报告

详见刘倩的大会报告（link）



Major Performance Requirements

Acceptance: $94\% \times 4\pi$

Momentum res.: $\sigma_p/p \sim 0.5\%$ @ 1 GeV

Energy res. : $\sigma_E/E \sim 2.5\%$ @ 1 GeV

Hadron ID: π/K ~4σ @ 2 GeV

Muon ID: eff. >95%, mis-rate <3% @1 GeV

- Inner Tracker
  - MPGD: cylindrical uRGroove, σ_x ~100 μm
  - Silicon: low-mass MAPS, <0.3%X_0/layer
- Central Tracker (σ_p/p~0.5% @ 1GeV)
  - Drift chamber with super-small cells, σ_x <130 μm
- PID System (π/K ~4σ @ 2GeV)
  - Endcap: DIRC-like TOF - DTOF (σ_t~30 ps)
  - Barrel: RICH (<4mrad) or DTOF (σ_t~30 ps)
- EMC
  - pCsI + APD: (σ_E/E~2.5%, σ_x~5 mm, σ_t~300 ps @ 1GeV)
- Solenoid： 1 T
- Muon Detector (eff. >95%, mis-rate <3% @1GeV)
  - inner layers : glass RPC， > 300 Hz/cm^2
  - outer layers : scintillator strip + SiPM, ~ 2.4 m
- Trigger, DAQ, Clock and Data Transmission

Beam background at the inner most layer

~1 Mrad/y, ~1×10^{11} 1MeV n-eq/cm^2/y, ~1 MHz/cm^2

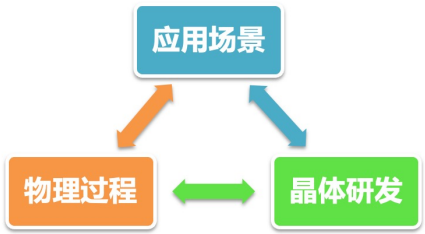
闪烁晶体的现状与展望

陈俊锋（上海硅酸盐所）（link）

几种常见的高密度闪烁晶体性能比较

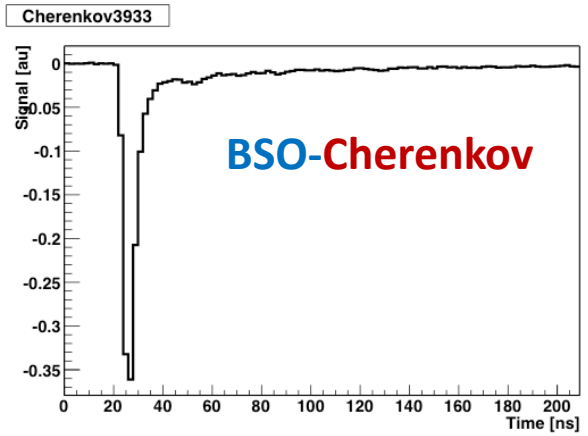
晶体	CsI:Tl	CsI	BaF_2	BGO	BSO	LYSO:Ce	PWO/PWO:Y
密度 (g/cm³)	4.51	4.51	4.89	7.13	6.8	7.40	8.3
熔点 (°C)	621	621	1280	1050	1030	2050	1123
辐射长度 (cm)	1.86	1.86	2.03	1.12	1.15	1.14	0.89
莫里哀半径 (cm)	3.57	3.57	3.10	2.23	2.33	2.07	2.00
作用长度 (cm)	39.3	39.3	30.7	22.8	23.4	20.9	20.7
折射率@发光峰值	1.79	1.95	1.50	2.15	2.68	1.82	2.20
潮解性	Slight	Slight	No	No	No	No	No
发光峰值 (nm)	550	420, 310	300, 220	480	470	402	425, 420
衰减时间 (ns)	1220	30, 6	650, 0.9	300	100	40	30,10
光输出 (ph/MeV)	63,000	1,400 420	13,680 1,560	8,000	2000	32,000	114 40
温度系数 (%/ °C)	0.4	-1.4	-1.9, 0.1	-0.9	/	-0.2	-2.5
高能物理实验应用	BaBar BELLE BES III	KTeV, Mu2e, BELLE	TAPS Mu2e-II	L3, EGG, EIC, CEPC, FCC-ee	EIC, CEPC, FCC-ee	COMET, CMS, PIONEER	CMS, ALICE, PANDA, EIC, FCC-ee

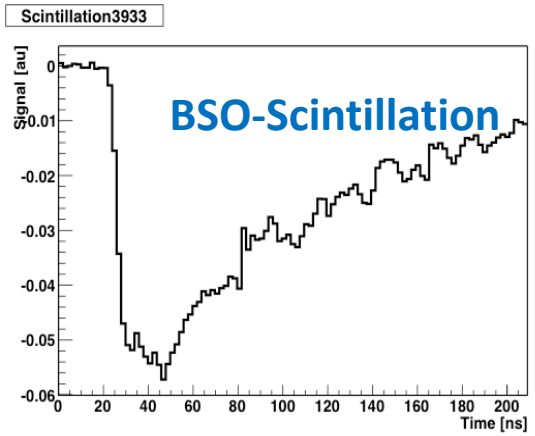
- 没有最好的材料，只有最合适的应用；改性和发现材料体系同样重要，甚至更重要；
- 闪烁晶体的研发需要材料、物理过程与应用场景等领域的跨界合作和交流



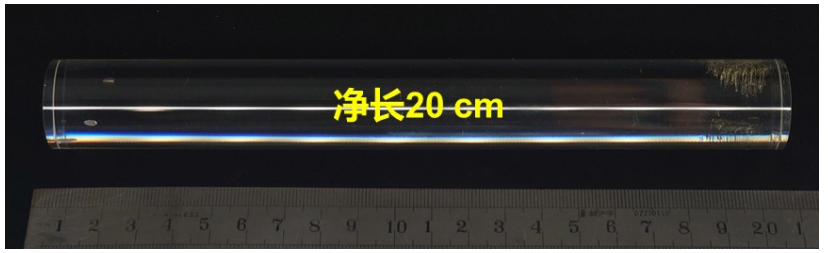
近年来的主要进展highlight:

- 发光波长位移，增强传统闪烁晶体pCsI性能
- 切伦科夫与闪烁光双读出晶体: BGO、BSO和PWO





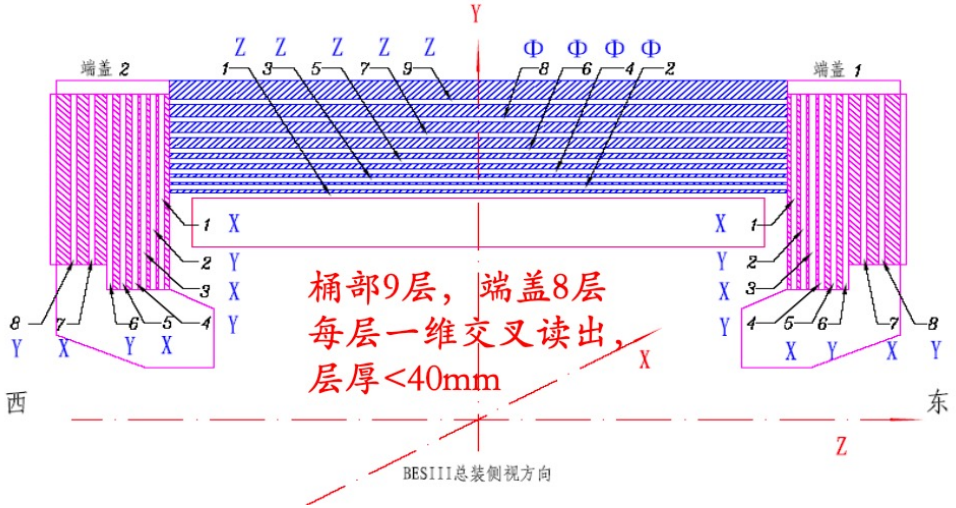
- 超快闪烁晶体BaF_2：慢成分Y掺杂抑制
- 成功生长出净长20cm的BSO晶体（更快衰减，更耐辐照、更低成本、光产额合适）

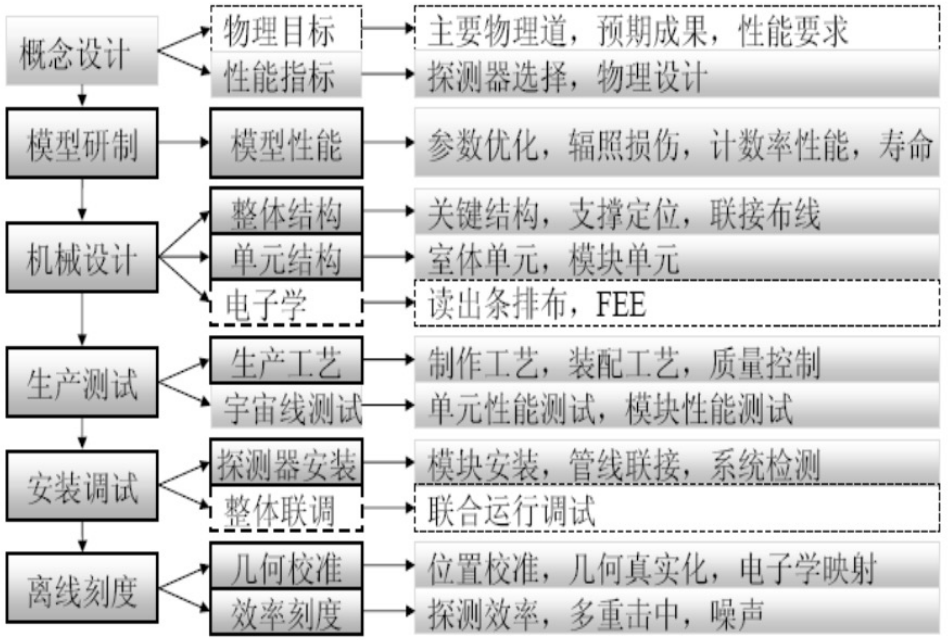


BESIII缪子探测器

谢宇广（IHEP）(link)

- BESIII μ子探测器采用了完全国产化的无油酚醛树脂RPC，实现了大面积的成功应用，性能良好，一直运行到现在，已经17年
- 总结了从R&D到量产、安装、运行全流程的宝贵经验





- 并对STCF缪子探测器提出了很好的参考建议

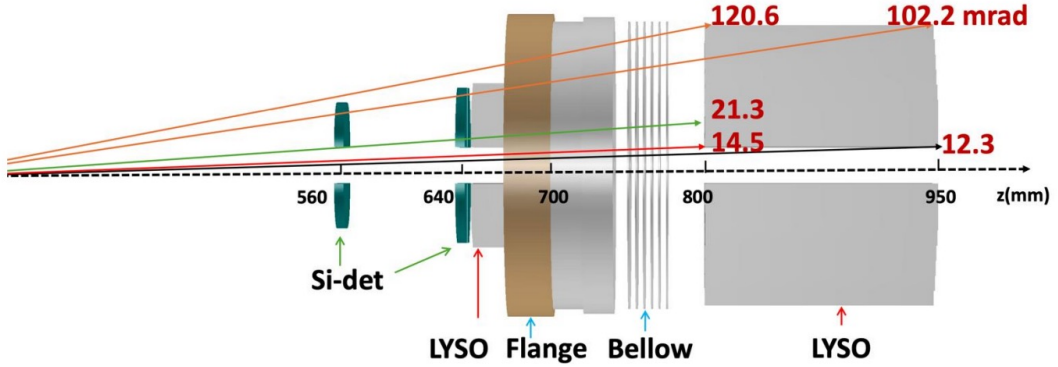
➢ 参考建议

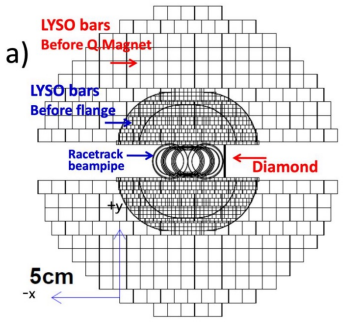
1. 可考虑桶部和端盖最内层加中子屏蔽层，全采用闪烁体方案。
2. 若考虑全RPC方案，内层条宽可适当减小，外层条宽可适当增大，并优化工作气体。
3. RPC方案建议用大尺寸裸室减小死区。模块采用抗弯结构增加强度减少弯曲变形。
4. 对比BESIII的单一维读出，STCF的单层二维读出模拟中没有看到明显作用，建议结合重建进一步验证模拟结果。

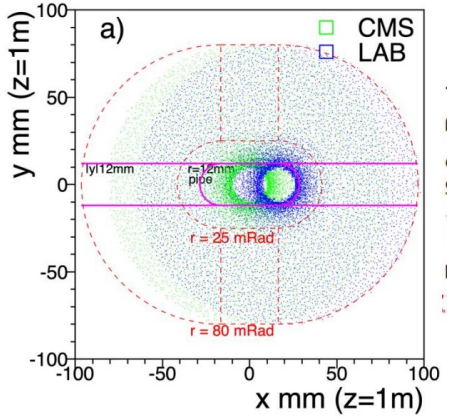
CEPC LumiCal探测器

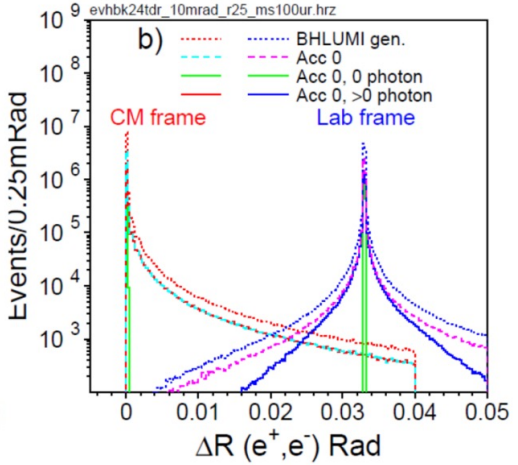
张雷（南大）（link）

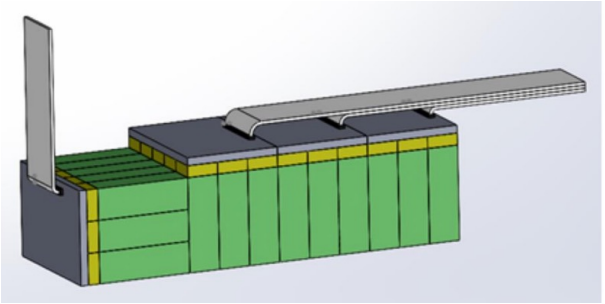
- 基于小角度 Bhabha 散射过程 Small-angle Bhabha scattering (SABS): (e +e – → e +e –)
- 对撞点两端各两个亮度探测器
- z = 560~700 mm, before Flange:
  - Two Si detectors for e± impact θ, 2 X0 LYSO
- z= 900~1100 mm: after Bellow
  - LYSO: 150 mm, 13X0
- 正在开展相关R&D
- 针对BESIII和STCF开展了零角度量能器ZDC的R&D
  - BESIII ZDC: LYSO+SiPM array and modular design
  - STCF ZDC: 10cm x 10cm x 20cm LYSO at Z = 4 m

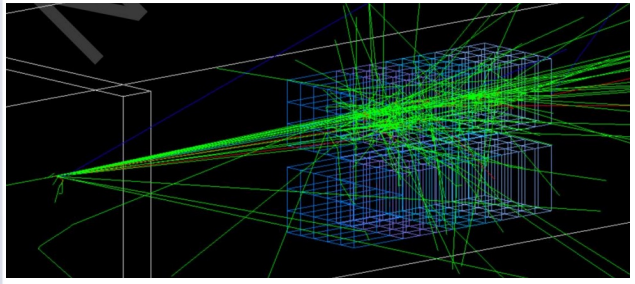


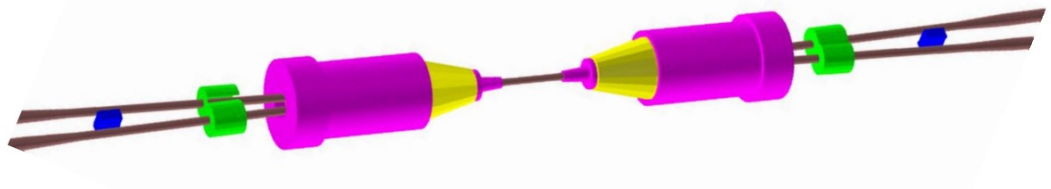












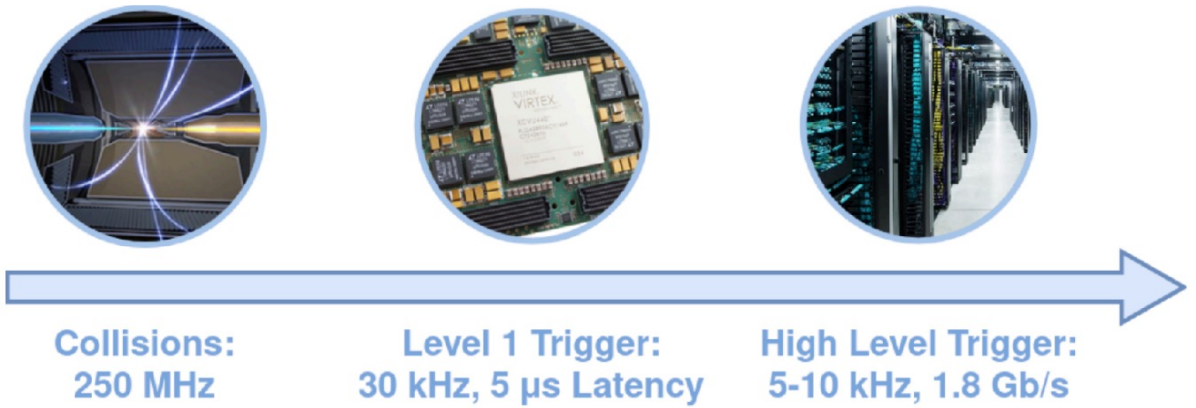
Belle2触发

殷俊昊（南开）(link)

- Belle2触发系统

  Main triggers: CDC, ECL
  Supplementary triggers: TOP, KLM

- Neural network technologies now firmly established on the first trigger level
- Many novel developments ongoing

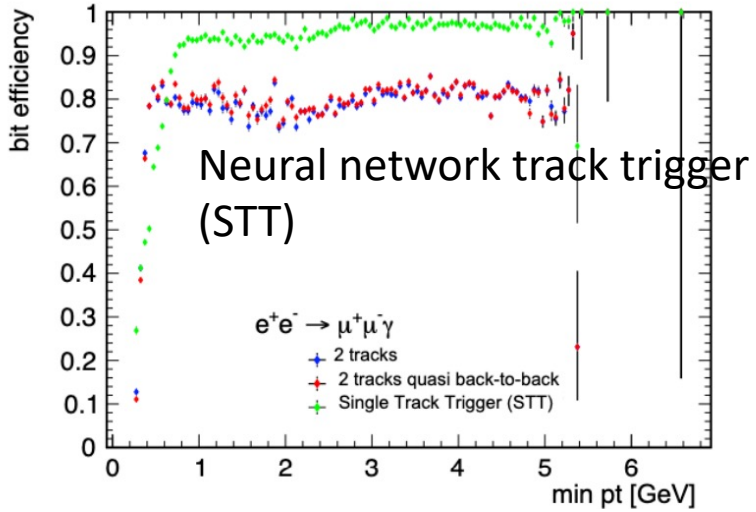


Expected trigger rate @ $\mathscr{L}_{\rm ins} = 6.0 \times 10^{35}\ {\rm cm}^{-2}/{\rm s}$

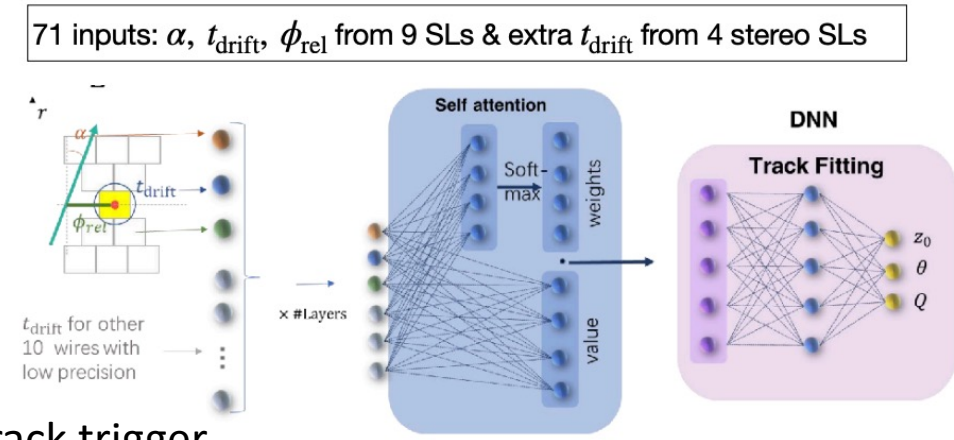
bhabha	B-physics	qq-bar	two photon	di-muon	di-tau	di-gamma	dark sector
> 50 kHz	1 kHz	2 kHz	10 kHz	0.6 kHz	0.6 kHz	2 kHz	??

dominate

Physics Target ~ 15 kHz, ~100% efficiency of $B\bar{B}$ events



Neural network track trigger (STT)



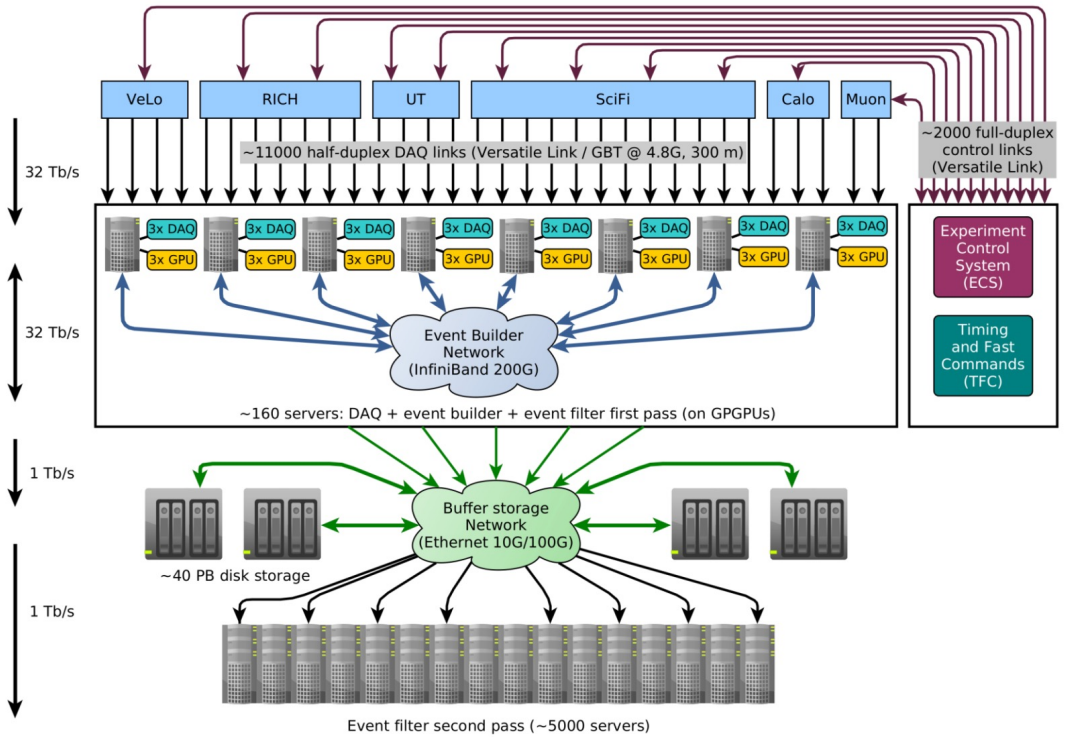
DNN track trigger

LHCb触发与数据获取系统

刘国明（华南师范）(link)

- Trigger-less readout: read full event at bunch-crossing rate (40MHz)

- Event rate: 30 MHz non-empty bunch crossing
- Event size: ~ 100 kB
- Event Building (EB) **bandwidth: ~ 32 Tbit/s**
- PCIe40 readout boards
- **Dedicated** event builder network InfiniBand 200 Gbit/ s



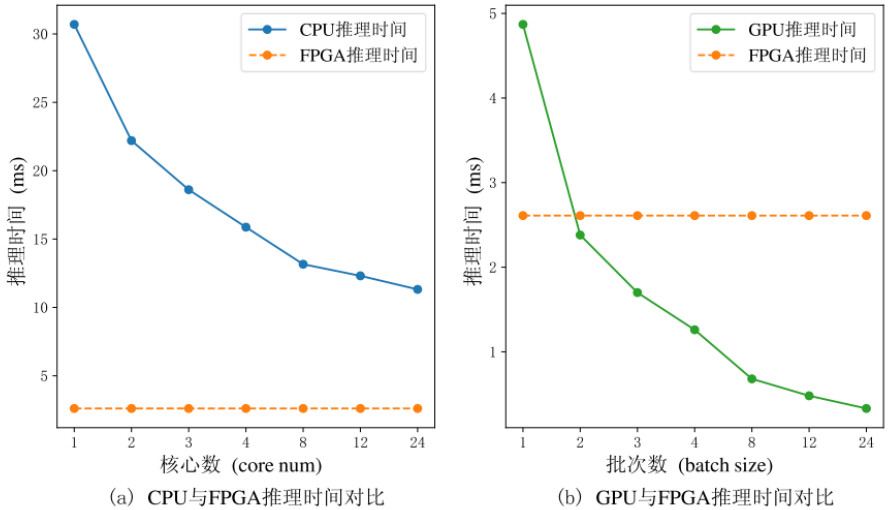
Flexibility and scalability are essential

- R&D for Run 5 ongoing: Network-attached DAQ, follow the latest developments of HPC/AI, etc

可计算存储系统

程耀东（IHEP） （link）

- 可计算存储（Computational Storage ）作为一种“存算一体”技术，将部分计算能力下沉到数据存储部分，减少数据移动，提高计算效率
  - 主要实现方式：在存储设备中嵌入FPGA或者多颗ARM核
- 可计算存储技术应用到数据处理中将带来重大突破
- 已完成高能物理可计算存储软硬件系统原型研制及相关验证



（a）CPU与FPGA推理时间对比　（b）GPU与FPGA推理时间对比

典型应用-ParticleNet：
采用FPGA技术，推理时间是CPU的1/10，
功耗只有1/8

复杂分布式电子学系统的调试诊断及慢控制接口

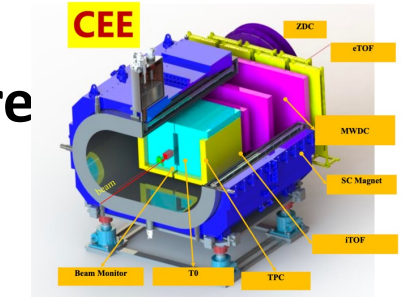
薛涛（清华） (link)

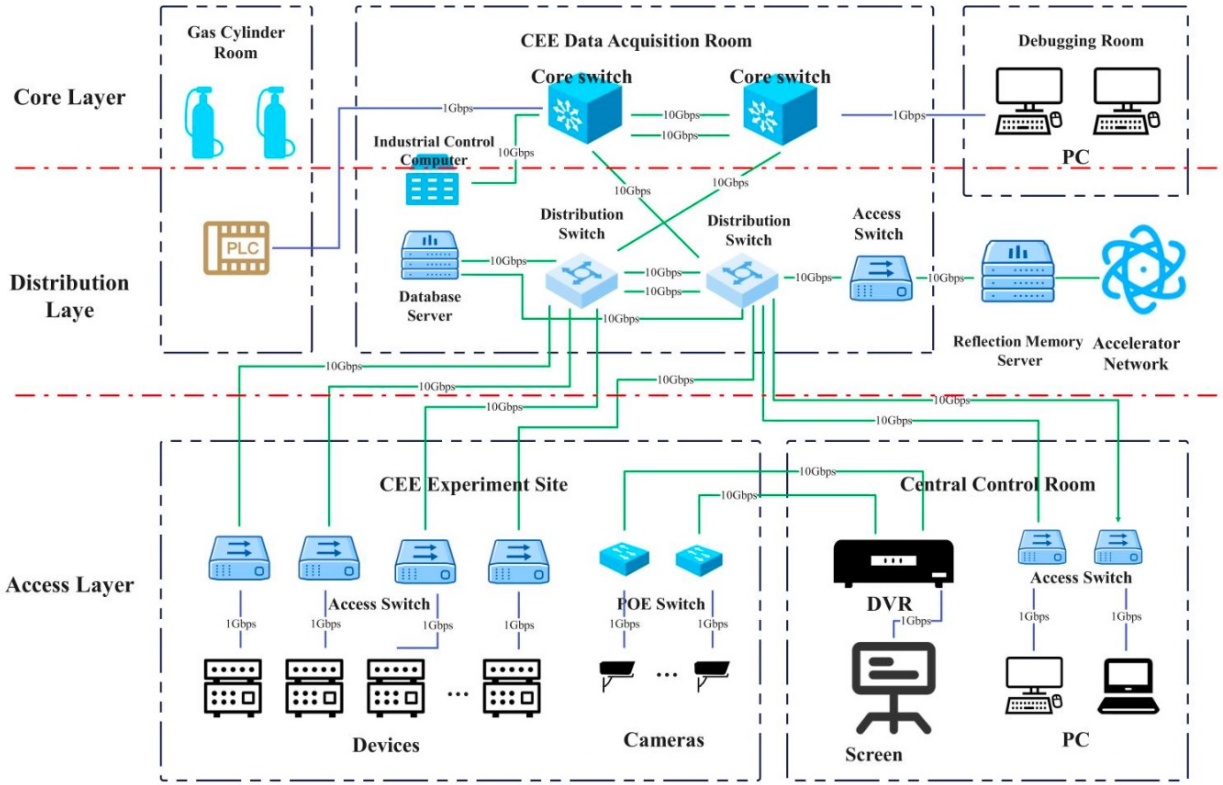
- 锦屏暗物质探测实验和锦屏中微子观测实验大规模电子学系统
- 使用ZYNQBee1 运行Embedded Linux，实现Debug Bridge，能够实现远程JTAG调试、编程接口
  - 实现大规模、复杂、分布式电子学系统的调试
- 使用Chip2Chip（SelectIO/Aurora）实现ZYNQ/ZYNQMP与大规模FPGA的互联和慢控制
  - 能够将其他大型FPGA的控制、数据接口映射到ZYNQBee1 运行的Embedded Linux中，非常有利于大规模、复杂、分布式电子学系统控制和维护

CEE实验控制系统

李敏（近物所）（link）

- DCS系统：
  - **3-tiers hardware architecture**
  - **EPICS-based architecture**
  - **Open-source software**
  - **Database GUI**
  - **Web-based Data Visualization**
  - **Mobile APP/WeChat Mini Program Monitoring Interface**
  - **CI/CD workflow**
- 所有DCS模块已经开发、测试完成
- 进一步优化升级
  - 数据库
  - JSROOT在线监测
  - Scalibality





对STCF慢控系统提供了极好的借鉴

Summary

- 探测器电子学分会：9个邀请报告，17个STCF谱仪子系统报告
- 感谢议程委员会、主持人、报告人和LOC志愿者
- 感谢大家参与富有成效的讨论