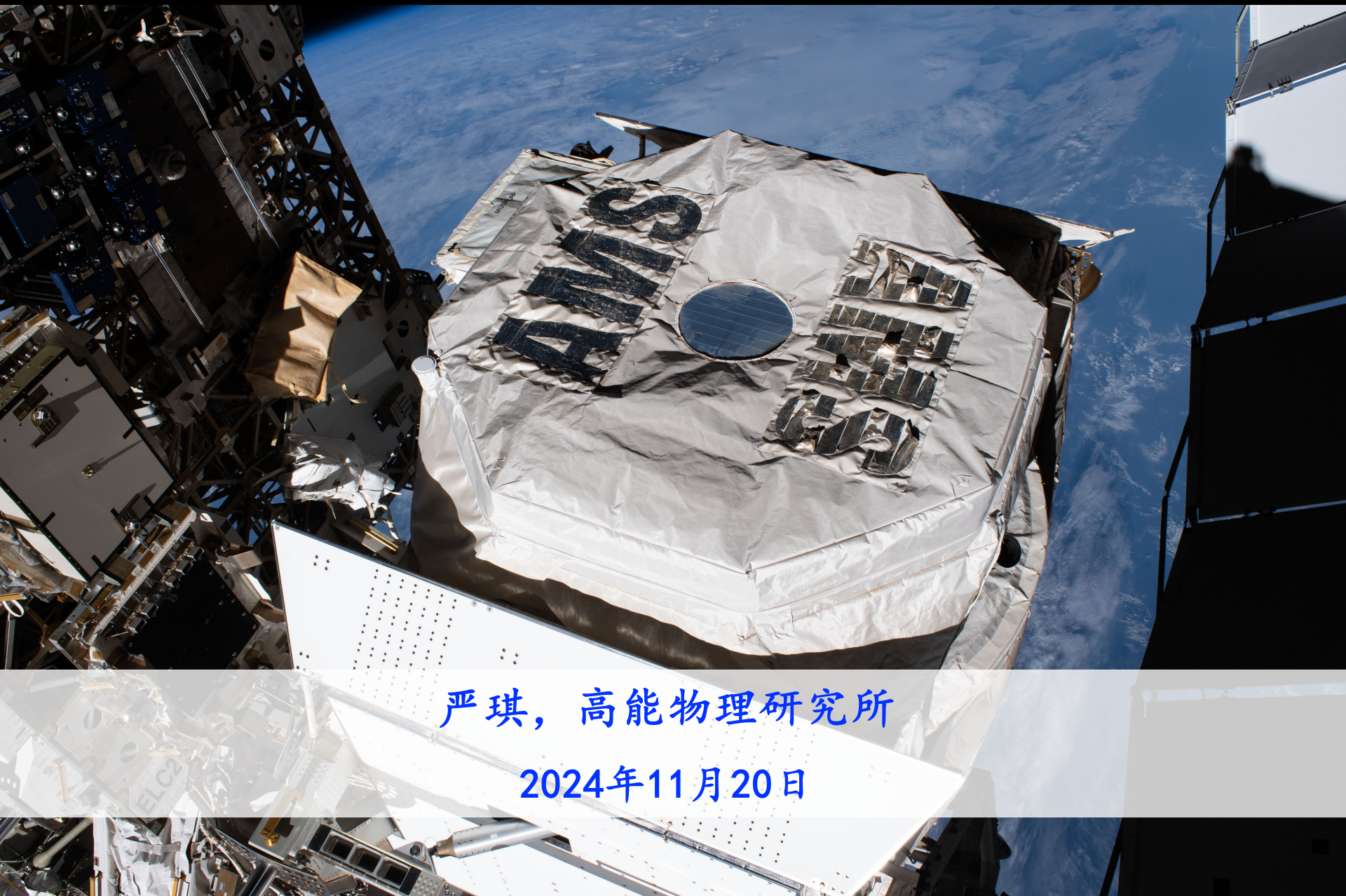


2024年年终考核：新的AMS & CEPC组



严琪，高能物理研究所

2024年11月20日

工作简介

- 之前13年主要从事位于国际空间站上的阿尔法磁谱仪（AMS）的实验研究。2024年4月18日，我从工作了10年的麻省理工学院离职，回国加入高能所。

- 回国后承担的主要任务：

1：6月28号起，开始接任CEPC硅径迹探测器项目负责人。

从那时候起至10月份CEPC探测器国际评审前，带领CEPC硅径迹探测器团队完成了Ref-TDR探测器基线方案的设计和评审答辩，目前正在进行Ref-TDR的撰写工作。

2：作为AMS团队的核心成员，继续AMS的探测器开发和物理分析工作。

定期维护AMS飞行时间探测器的标定、硅径迹探测器的Alignment、Pass8新数据和MC的生产、AMS探测器算法和软件的开发、……

AMS对宇宙线原子核能谱的精确测量、原子核同位素的成分测量、反物质（反氦核和其他反原子核）寻找、……

根据和丁先生的约定，将高能所建设成除CERN之外另一个经常召开AMS会议的站点。今年10月26号，组织了第一次在中国举行的AMS物理分析方面的研讨会。

3：牵头成立了硅探测器CMOS微条项目组（CSC），正在为年底的第一次流片做准备。目前参与的国内成员单位包括12家研究单位和大学：

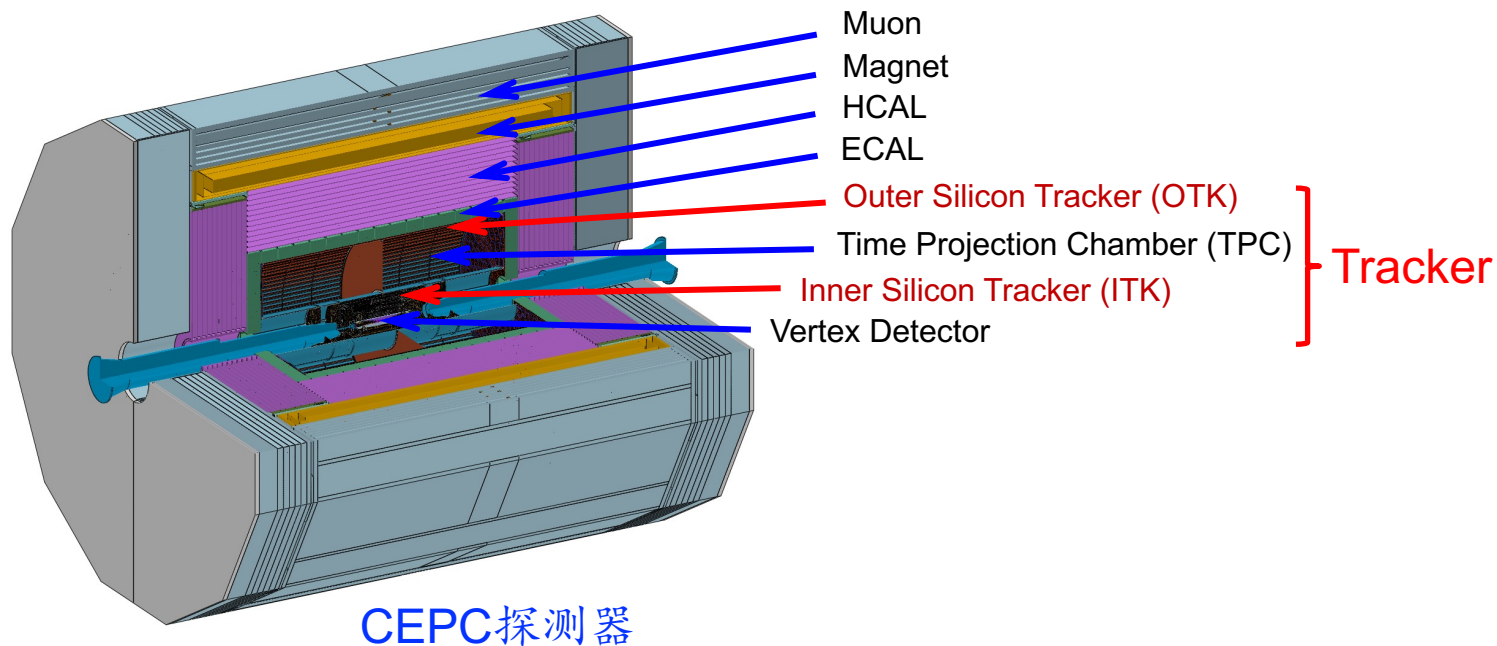


CONVe-YI
北京科维泰信科技有限公司



负责CEPC硅径迹探测器

CEPC径迹系统包括顶点探测器、内层硅径迹探测器（ITK）、时间投影室（TPC）和外层硅径迹探测器（OTK）。自2024年6月28号以来，我开始接任CEPC硅径迹探测器（ITK和OTK）负责人。过去这段时间，我的主要工作是完成CEPC硅径迹探测器的基线设计，应对10月份底的国际评审，并在年底前完成Ref-TDR的撰写工作。



经过过去几个月的努力，和团队一起基本完成了CEPC硅径迹探测器的整体基线方案的设计。并在探测器设计中，融合了相较于现有实验的许多独特设计。

CEPC硅径迹探测器系统的责任和任务

硅径迹探测器负责人
严琪
副负责人
李刚

内径迹硅探测器 (ITK)
李一鸣 (高压CMOS像素)
史欣 (CMOS微条)

电子学系统
严雄波

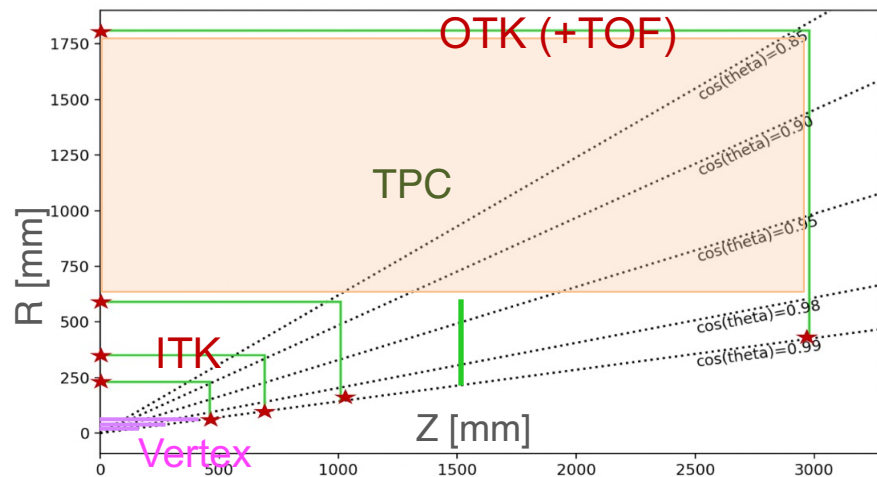
探测器排布和软件模拟
李刚, 傅成栋

机械和冷却
纪全, 付金煜

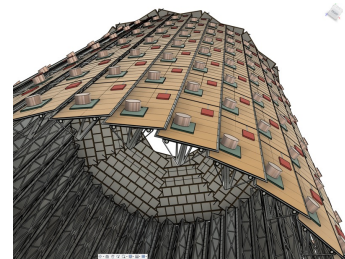
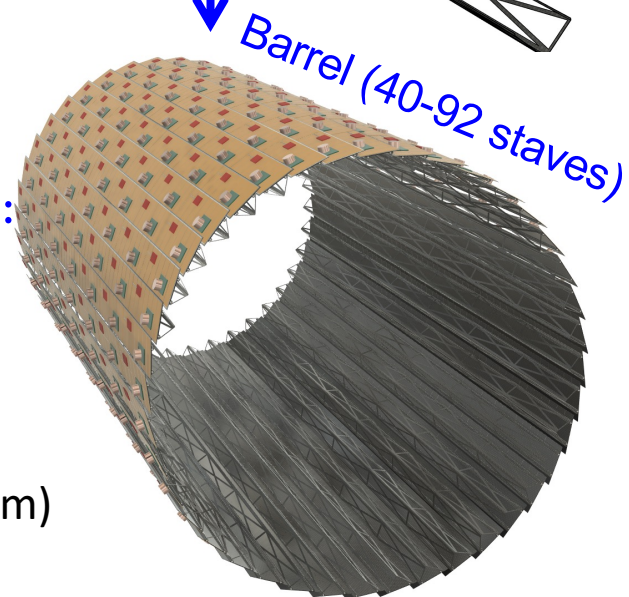
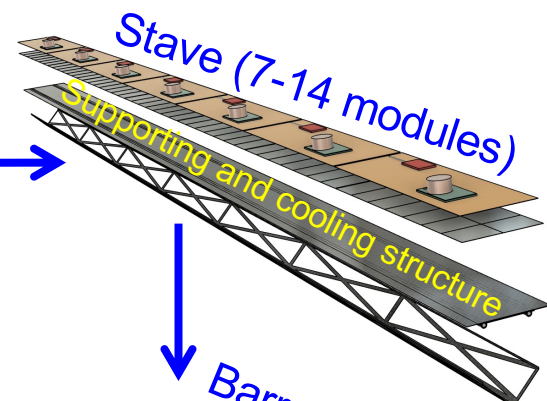
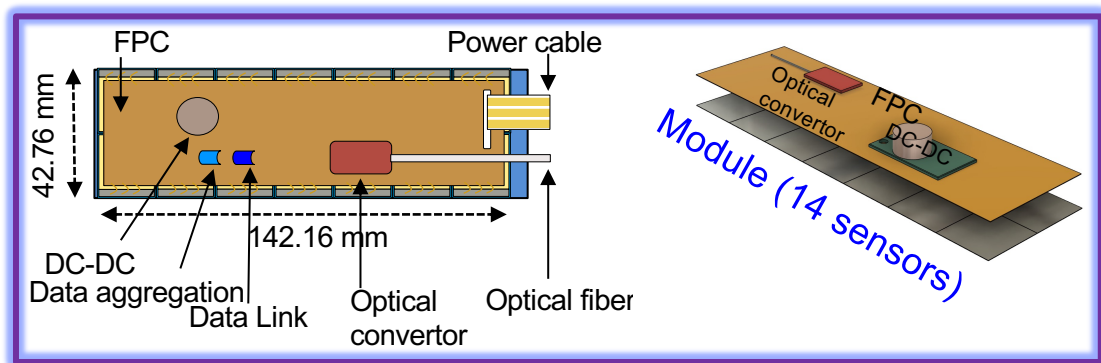
外径迹硅探测器 (OTK)
樊云云 (LGAD微条)

CEPC硅径迹探测器TDR设计方案的具体工作任务:

- 1) 传感器和探测器模块的设计
- 2) 桶部探测器的2D和3D设计
- 3) 端盖探测器的2D和3D设计
- 4) 读出电子学的设计
- 5) 机械和冷却的设计和计算
- 6) 桶部和端盖的计数率估计
- 7) 排布优化和性能研究
- 8) 成本估计
- 9) 其他



CEPC内层硅探测器桶部设计(高压CMOS像素)



■ 使用高压CMOS像素芯片 (COFFEE、已完成两轮流片):

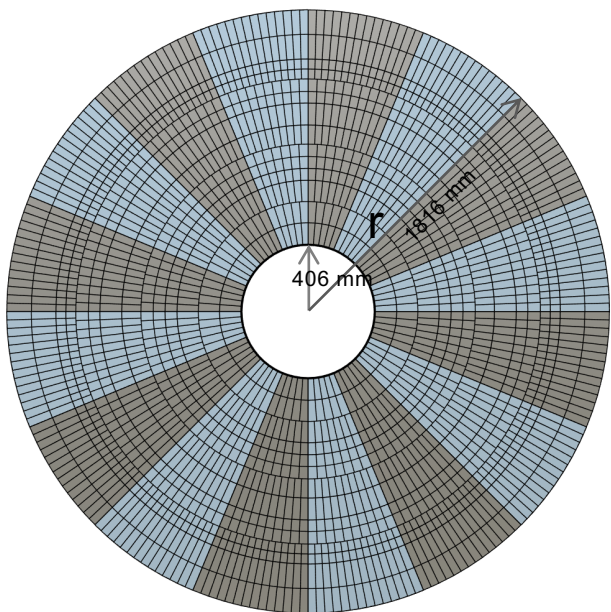
- 使用55纳米节点工艺: 集成更多功能、功耗更低
- 晶圆电阻率: $1\text{k}-2\text{k } \Omega \cdot \text{cm}$
- 芯片尺寸: $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$
- 阵列大小: $512\text{行} \times 128\text{列}$
- 像素尺寸: $34\text{ }\mu\text{m} \times 150\text{ }\mu\text{m}$ (位置分辨: $8\text{ }\mu\text{m} \times 40\text{ }\mu\text{m}$)
- 时间分辨: $3-5\text{ ns}$
- 功耗: $\sim 200\text{ mW}/\text{cm}^2$

CEPC外层硅探测器端盖设计 (AC-LGAD微条)

端盖 (16个扇形区域, 10 m²):

1/16扇形区域设计:

Sensor: 8" 晶圆 (group C sensors)

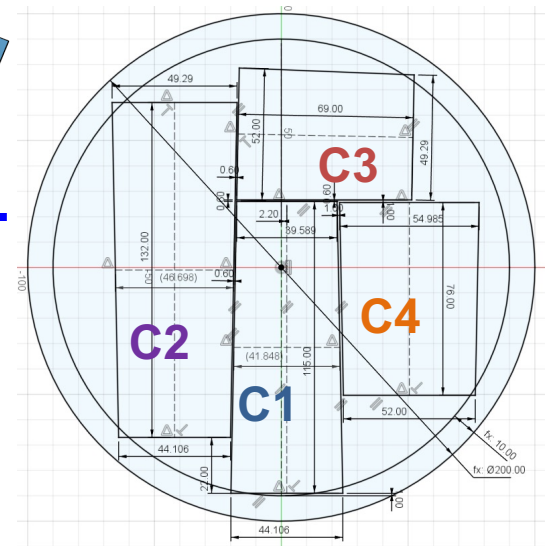
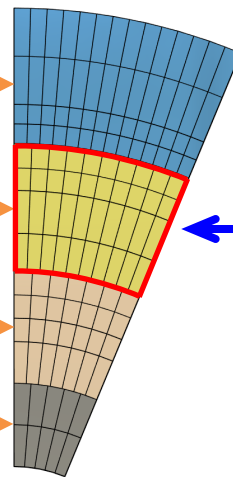


Group D: 1400 mm-1816 mm

Group C: 1008 mm-1400 mm

Group B: 662 mm- 1008 mm

Group A: 406 mm- 662 mm

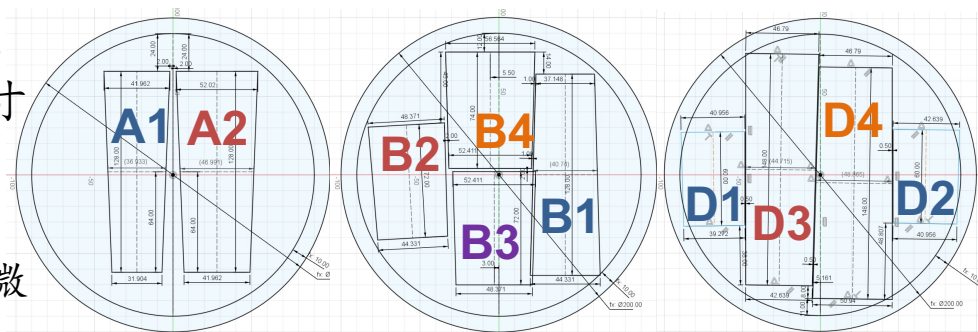


- OTK端盖被设计成由14个环组成, 分成4组。
- 每组包含2-4种梯形传感器, 由同一片8英寸晶圆切割而来。
- 每组传感器排布在1/16的扇形上对齐。
- 长传感器包含4组微条, 短传感器包括2组微条:

微条间距: 80.7-113.8 μm

微条长度: 28.38-37.61 mm

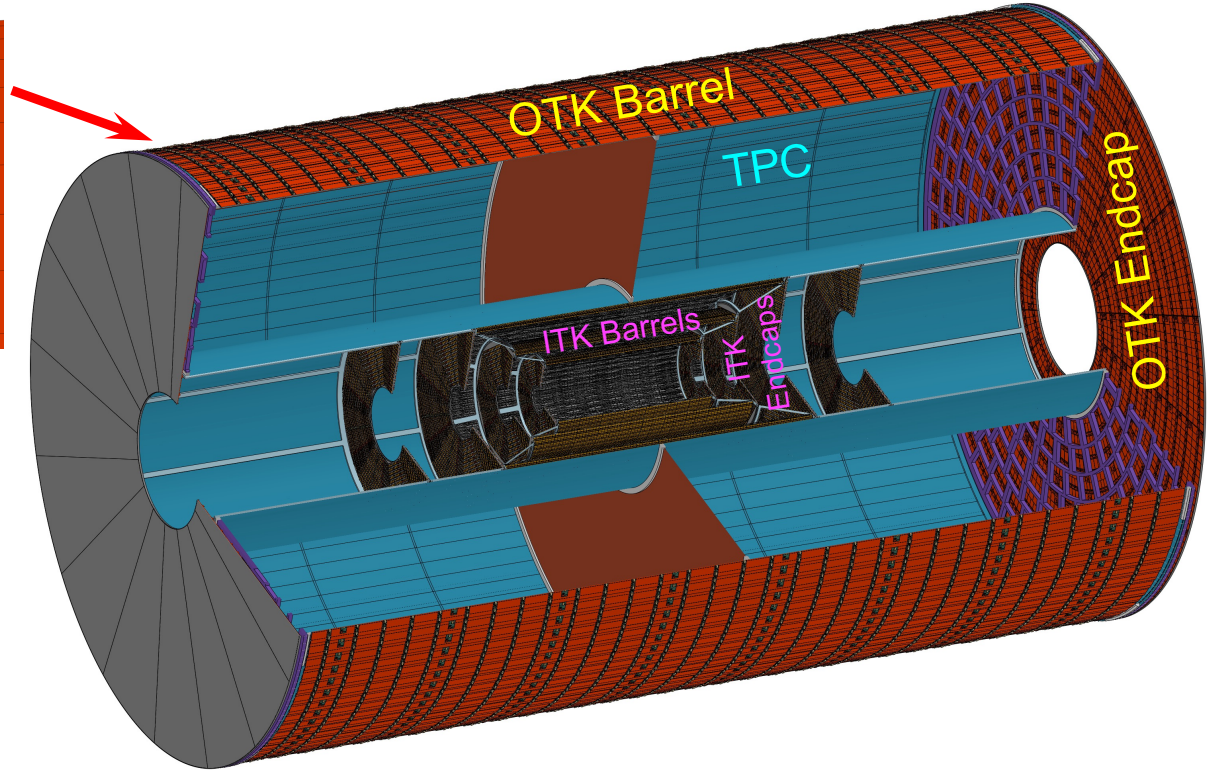
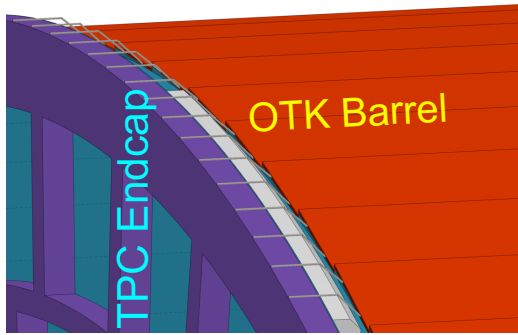
时间分辨: 50 ps



8" 晶圆 (group A, B, D sensors)

最大化晶圆的使用效率, 并便利化探测器的组装

负责CEPC硅径迹探测器的设计和Ref-TDR的撰写



Chapter 5 Silicon Trackers

- 5.1 Requirements
- 5.2 Overview of ITK and OTK
 - 5.2.1 Tracker system layout optimization
- 5.3 Inner silicon tracker (ITK)
 - 5.3.1 CMOS chip R&D
 - 5.3.1.1 HV-CMOS pixel R&D
 - 5.3.1.2 CMOS strip R&D
 - 5.3.2 ITK design
 - 5.3.3 Readout electronics
 - 5.3.4 Mechanical and cooling design
 - 5.3.5 Prospects and plan
- 5.4 Outer silicon tracker (OTK) with TOF
 - 5.4.1 AC-LGAD sensor and ASIC R&D
 - 5.4.1.1 AC-LGAD Sensor R&D
 - 5.4.1.2 AC-LGAD ASIC R&D
 - 5.4.2 OTK design
 - 5.4.3 Readout electronics
 - 5.4.4 Mechanical and cooling design
 - 5.4.5 Prospects and plan
- 5.5 Performance

设计的CEPC硅径迹探测器 (ITK+OTK)，包括电子学、机械安装

The CEPC International Detector Review Committee Meeting in 2024
Oct 21, 2024, 9:00 AM → Oct 23, 2024, 7:00 PM Asia/Shanghai
124 (IHEP Multi-subject Building)

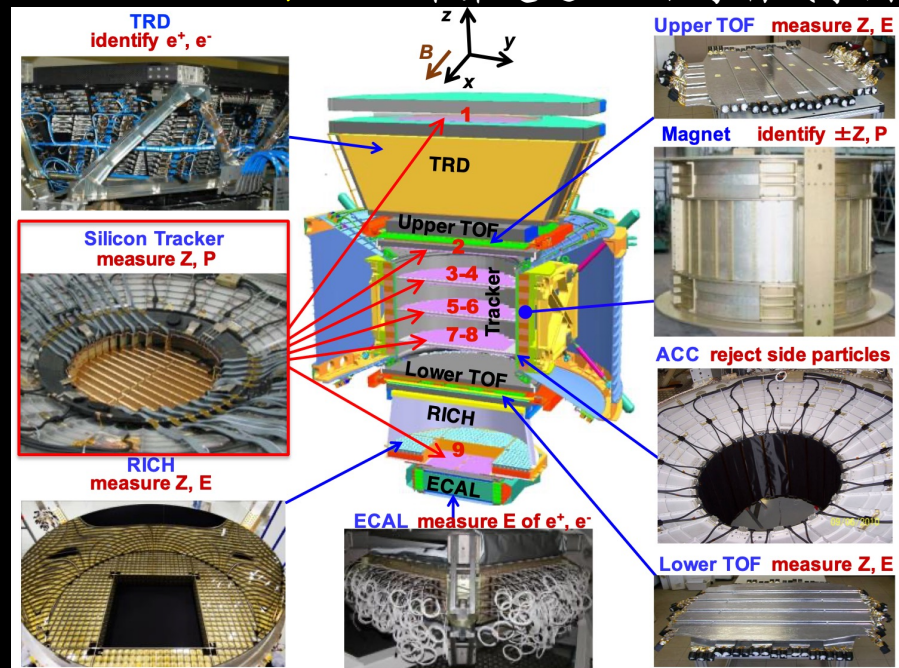
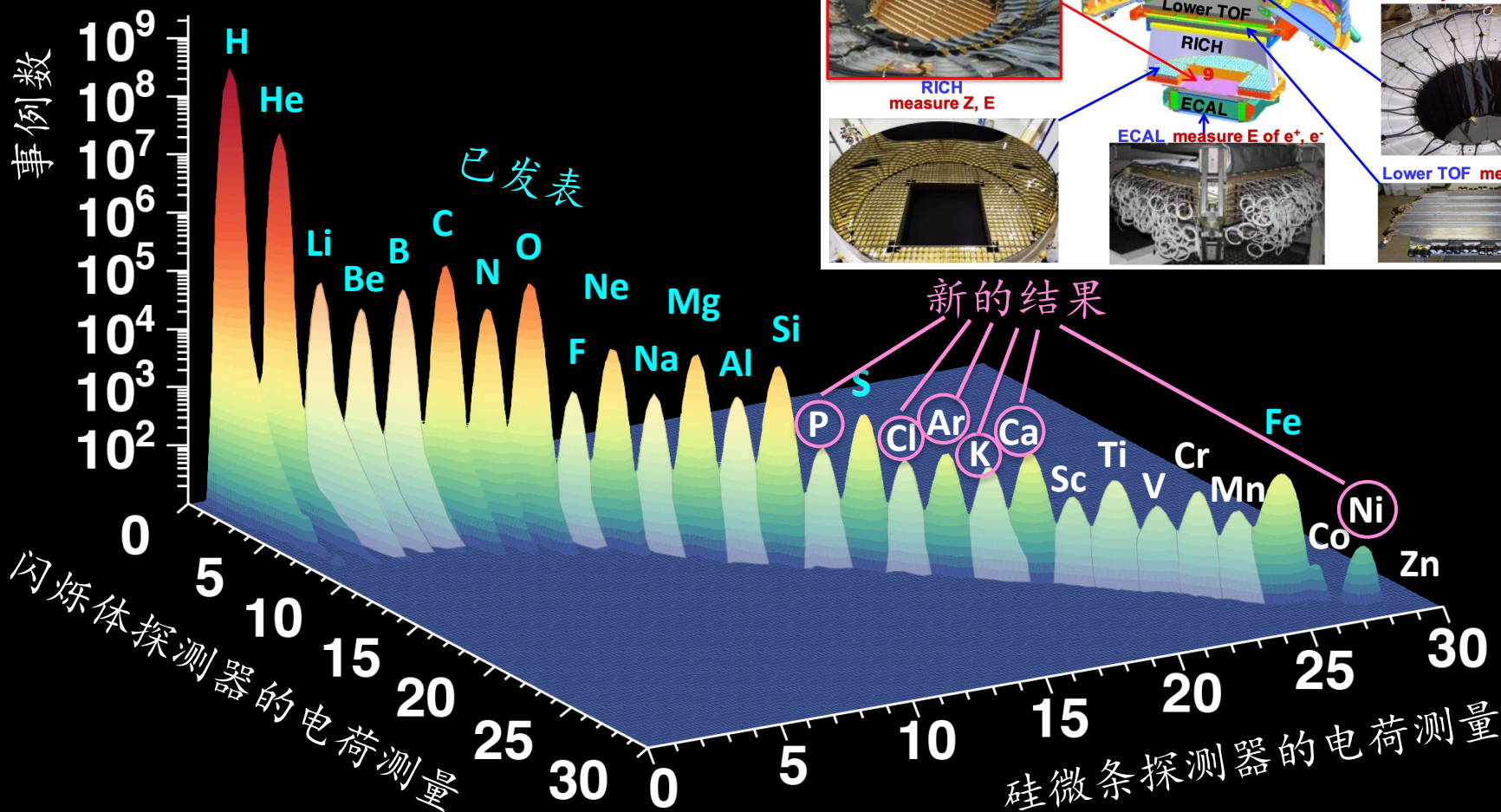
CEPC Silicon tracker (20'+20')
Speaker: Qi YAN (IHEP)
TrackerRefTDR_qy8...

完成了10月21号CEPC探测器的国际评审。Ref-TDR的撰写工作正在进行，希望11月底前能完成初稿。

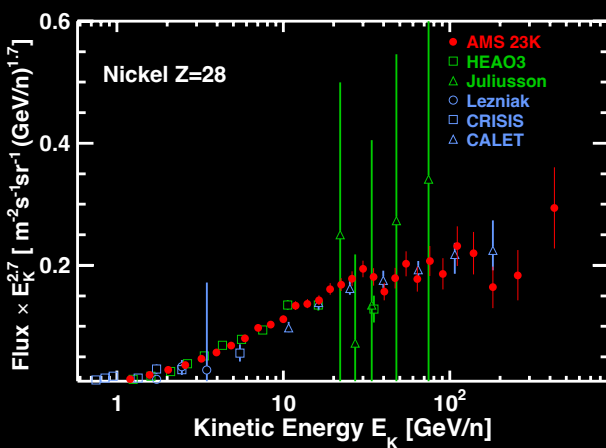
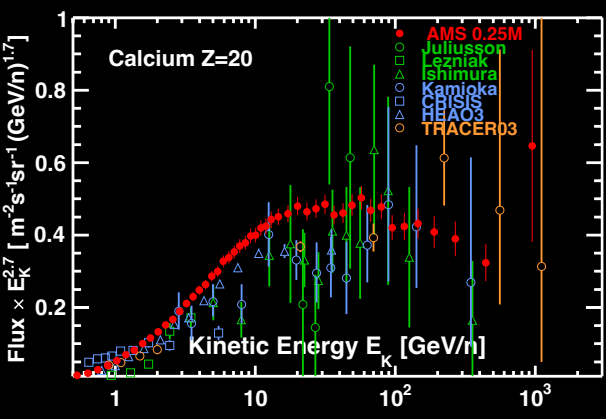
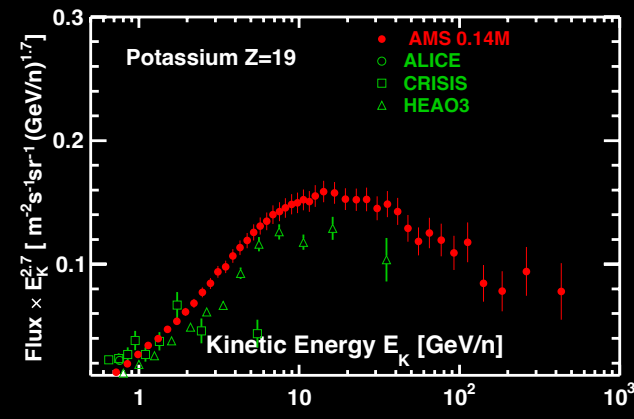
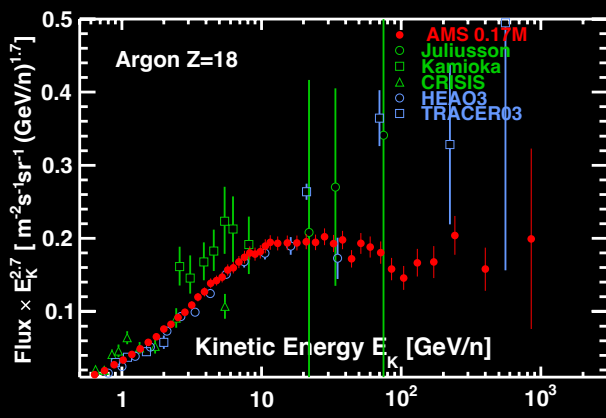
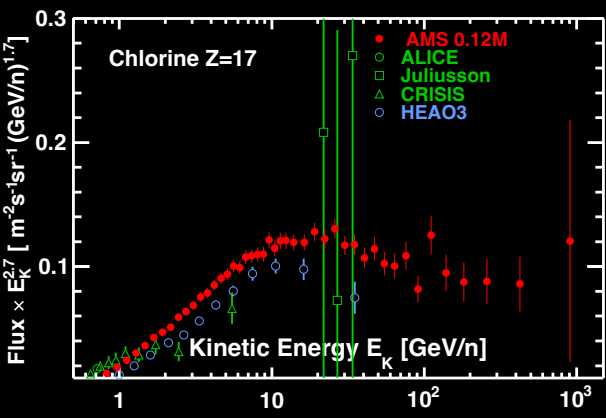
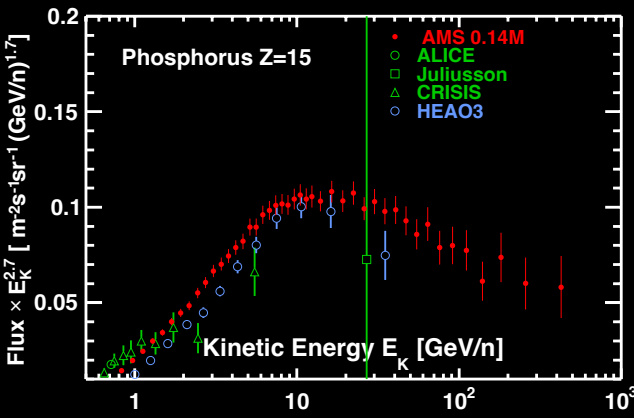
主导的AMS物理分析

AMS已采集超过2300亿宇宙线事例

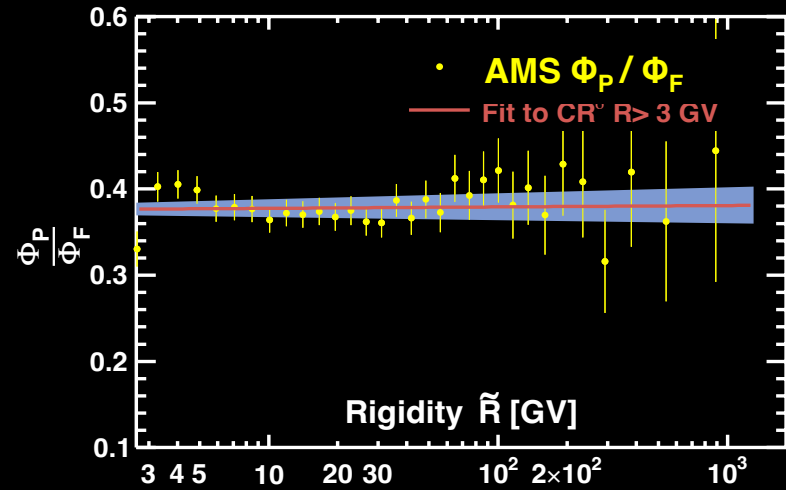
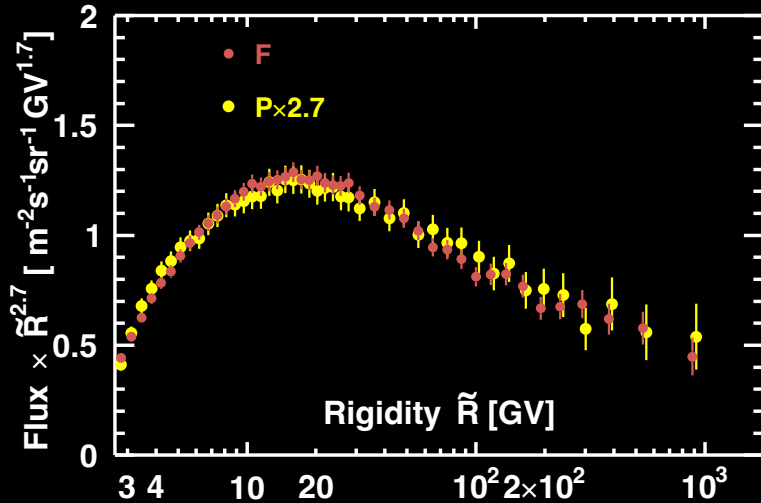
在AMS目前发表的27篇物理文章中，有10篇的研究结果出自我的物理分析：除了我不参与的宇宙线电子、正电子、反质子以及低能段随时间变化的能谱研究外，几乎所有其他宇宙线的AMS物理测量结果均来自我的分析，其中包括6种待发表的新宇宙线能谱测量：P、Cl、Ar、K、Ca、Ni



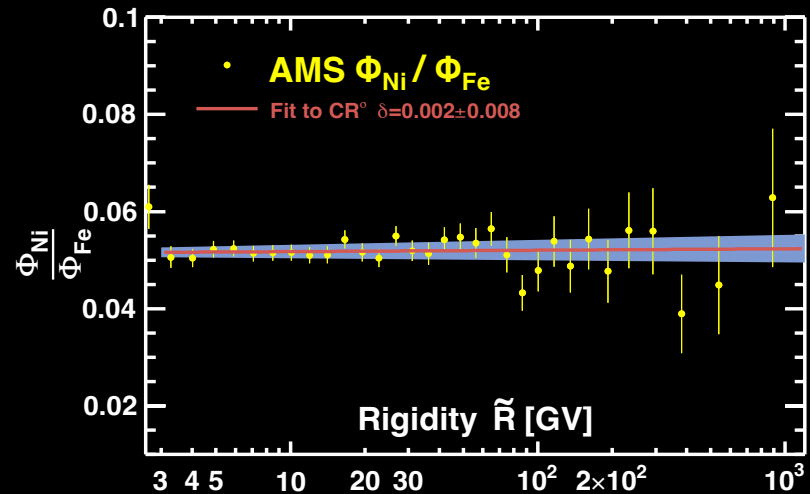
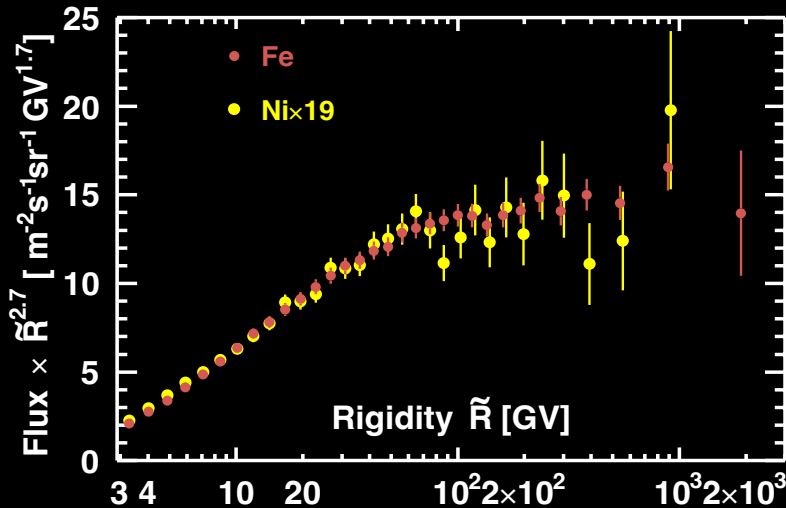
最新的AMS宇宙线原子核能谱测量结果 (P、Cl、Ar、K、Ca、Ni): 均出自我的分析



AMS重次级宇宙线P和重初级宇宙线Ni的特性

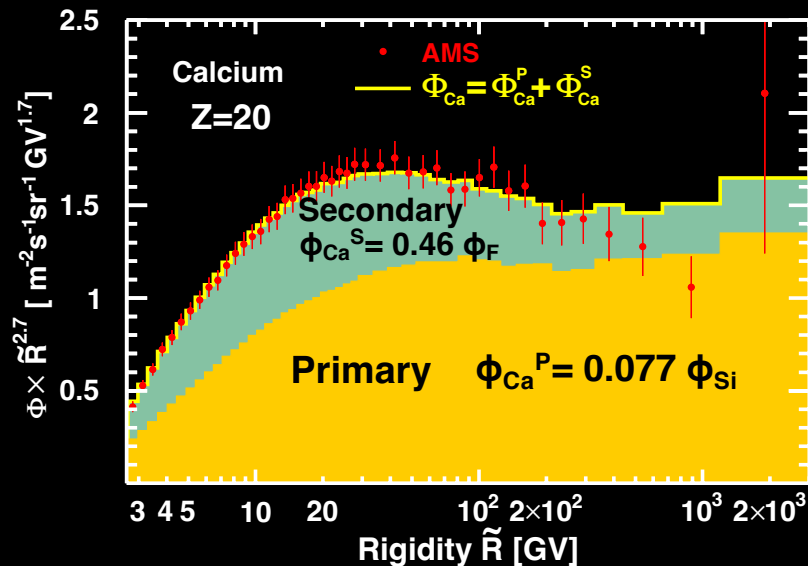
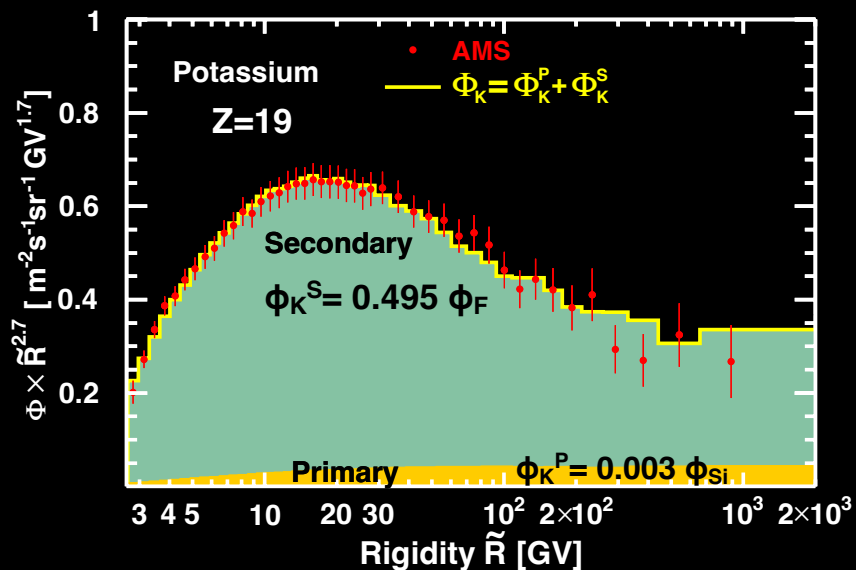
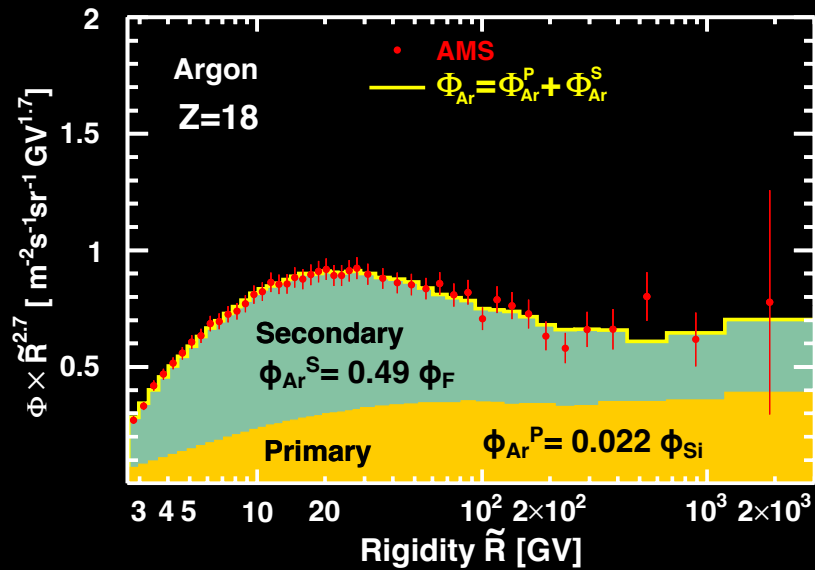
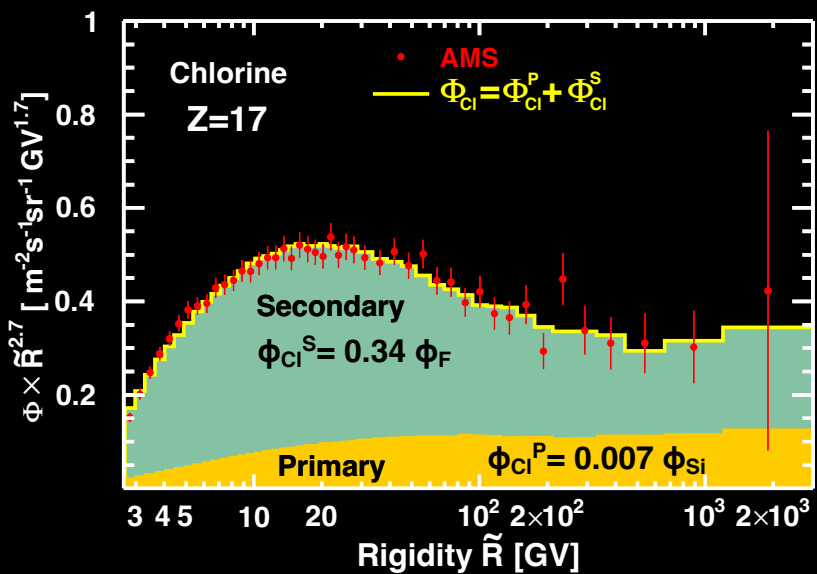


The AMS result shows that heavy secondary cosmic rays P ($Z=15$) and F ($Z=9$) fluxes exhibit an identical rigidity dependence.

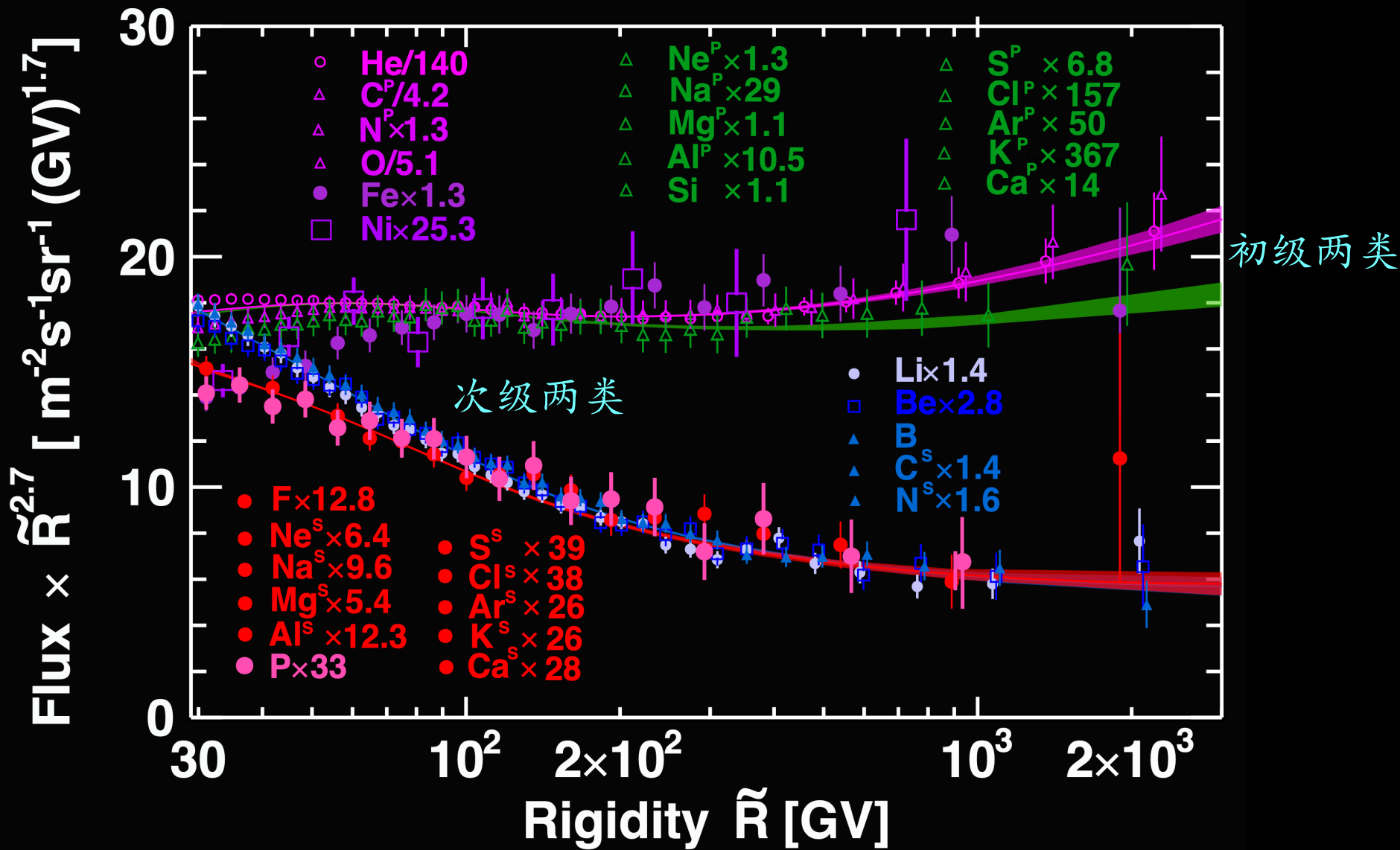


Ni ($Z=28$) and Fe ($Z=26$) belong to the same class of primary cosmic rays.

Cl、Ar、K、Ca的能谱特性：初级宇宙线(Si)和次级宇宙线(F)的线性叠加，并予以精确测量



对 $2 \leq Z \leq 20$ 、 $Z=26$ 、 $Z=28$ 的所有 AMS 宇宙线测量能谱进行分解：初次和次级宇宙线有且仅有两类



发起成立的CEPC硅探测器CMOS微条 (CSC) 项目

无锡上华0.18um BCD工艺

No.	Characteristics		
1	生长方法	Growth Method	FN
2	型号	Type	P
3	掺杂类型	Dopant	Boron
4	电阻率	Resistivity	>2000Ω.cm
5	晶向	Crystal Orientation	<100>
6	晶向偏离度	Off Orientation	±0.5°
7	直径	Diameter	200±0.2mm
8	V槽位置	Flat Location	<110>±1°
9	边缘轮廓	Edge Profile	深度: 1-1.25mm 角度: 89-95° R值: 22±2%SEMI
10	厚度	Thickness	725±25μm
11	总厚度变化	Thickness Variation(TTV)	±10
13	弯曲度	Bow	≤30
14	翘曲度	Warp	≤60
15	颗粒	Particle	0.3 < 10
16	正面	Surface Condition	抛光
17	背面	Backside Condition	酸腐
18	碳含量	Carbon Concentration (Cs)	≤2E16
19	氧含量	Oxygen Concentration(NEW ASTM)	≤2E16
20	金属沾污	Surface Metal Contamination(Al, Na, K, Ca, Fe, Ni, Cu, Zn, Cr)	<5E10

天津中环硅片

Platform	0.18μm s-BCD G3(7-40V)	
HV device	7V	10-40V
Total mask/photo (5V+LDMOS,1P3M, no option)	19	20
EPI Process	P-EPI Buried N for BJT (V/NPN) and Isolated Device	
Process Complexity	High (NBL, Epi, more implants)	
LV Device Support	5V/1.8V	
LV CMOS Gate length (μm)	5V N/PMOS: 0.6μm/0.5μm	
Low Rdsn NLD MOS	7V/10V/12V/16V/18V/20V/24V/30V/35V/40V	
Low Rdsn PLD MOS	7V/10V/12V/16V/20V/24V/30V/35V/40V	
Full Isolated NLD MOS	7V/10V/12V/16V/20V/24V	
HV Logic Devices	18V/23V/35V/45V	
FEOL / BEOL (μm)	0.18 μm/0.153μm	
Metal layers (Max)	6	
Interconnect	WCVD & WCMP	
Top metal thickness (μm)	AlCu/Ti_TiN 8K or Thick Metal (12K/ 25K/35K)	
Passivation	PEOX / HDP / PESIN	

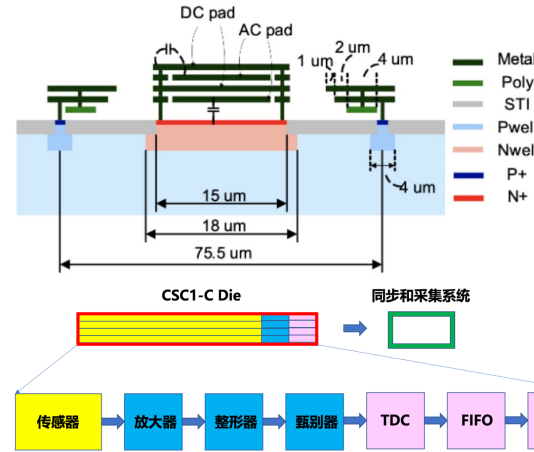
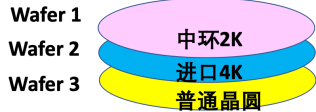
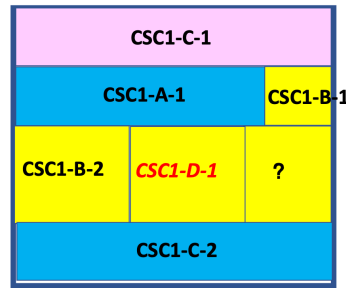
硅片厂商:

1. 天津中环: 2K高阻片/8-inch
2. 进口晶圆: 4K高阻片/8-inch
3. 上华: 正常阻抗片/8-inch

CSC1的实施方案- RETICAL设计

同样掩膜版可以用于加工不同种wafer

CSC1项目光罩排版



- 发起成立CMOS微条芯片 (CSC) 项目, 旨在探索单片CMOS半导体探测器新的研发路径。该项目采用国内高电阻硅片 (天津中环2K) 和CMOS代工厂 (无锡上华), 结合研究机构和产业界的力量 (目前已有12家单位参与), 目标在年底前进行第一次流片。
- 11月1号, 组织了对CSC项目的第一次评审, 邀请了所内电子组参与。评审具有建设性, 包括了技术方案、开发细节、项目组织等的详细讨论。计划近期再组织一轮更大范围的评审。
- 在探测器研发过程中, 将尝试新技术的应用 (例如RISC-V), 欢迎志同道合的同事加入。

其他成果、组织会议、经费情况

其他成果：

M. Aguilar *et al.* (AMS Collaboration), Properties of Cosmic Deuterons Measured by the Alpha Magnetic Spectrometer, *Phys. Rev. Lett.*, **132**, 261001 (2024).
编辑推荐 物理特别关注

Q. Yan *et al.*, Unique Properties of Primary Cosmic Rays Measured by the Alpha Magnetic Spectrometer, PoS (ICHEP2024).

组织会议（第一次在国内举行的AMS物理分析会议）：

阿尔法磁谱仪宇宙线原子核研讨会 (AMS Nuclei Meeting)

经费情况：

1：科学院百人计划A类（学术领军）人才项目经费：

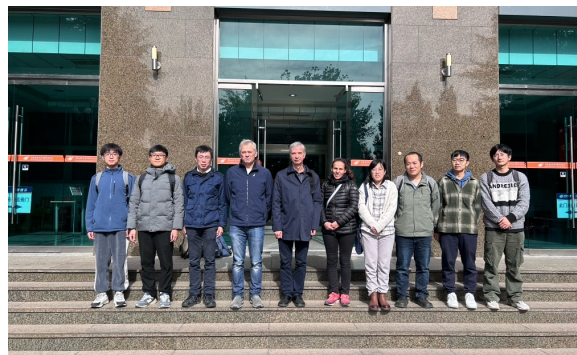
科学院直接下拨800万，政策上所里需匹配另外800万科研经费。

由于我入职高能所的时间4月18号晚于今年3月份，错过了科学院该年度的人才经费划拨。这一部分经费原则上应会在2025年3月份左右下发（2025、2026、2027）。今年使用的经费主要借用所里人才项目的经费49万，课题名：

大型环形正负电子对撞机CEPC的探测器设计研制和阿尔法磁谱仪AMS的探测器开发及物理分析项目（49万）

2：作为CEPC硅径迹探测器负责人，负责河南经费（课题负责人）：

半导体径迹探测器（2170万）



团队建设

受资助团队成员名单：

- 博士后2名： 崔宇鑫（AMS物理分析、芯片研发）、陈娇龙（电子学）
- 科研助理1名： 张奕晗（AMS物理分析、CEPC径迹探测器研发）
- 联培研究生2名： 骆首栋（AMS物理分析、CEPC径迹探测器研发）、李宇杰（CEPC机械）
- 联培研究生1名未进组： 鲍晨涛
- 秘书1名： 田蕾

无资助团队成员名单（本科科创项目及其他来源）：

- 冼澍、张理凯、王乙涵、李瞻、吴崇昊、许创杰、……

下年团队建设计划：

- 海外人才项目引进（百人B类或海外优青）至少1名： 半导体探测器硬件研发（目前已有合适人选）
- 招收研究生（所内）、博士后至少各1名

下一年的工作计划

- 完成CEPC硅径迹探测器Ref-TDR的撰写。
- 后面将自己的重心放在CEPC探测器硬件研发上。
- 接管AMS新一层硅径迹探测器L0的Alignment和其他相关配套开发。继续支持AMS探测器的运行以及物理分析。
- 完成学生和博士后的初步培养。除了部分时间在CEPC探测器开发上，能开始接任部分的AMS物理分析工作。在科创项目中寻找有潜力的好苗子，从本科阶段开始训练。
- 团队和实验室建设，以及人才引进。

感谢所领导、实验物理中心对我回国后在生活和工作上提供的支持和帮助，谢谢各位！