

超子-核子谱仪

Hyperon-Nucleon Spectrometer at HIAF

赵宇翔
中国科学院近代物理研究所

7月20日项目所内评审

Non-Official Note:

1. The IMP will encourage the more matured design to start national campaigning for the project and secure the necessary funding for the project;
2. The other project should continue its needed R&D. When any of the detectors is ready, it should be installed in to the more advanced one.

Two key points to note:

1. The timeliness and the urgency of the project
2. How to take the advantage of the high intensity offered by HIAF

H-NS项目的必要性和紧迫性

一、重子自旋起源：抢占科学前沿的窗口期

在标准模型中，宇宙中可见物质的性质由强相互作用（QCD）主导（>90%），但重子质量和自旋的起源至今仍是未解之谜。

H-NS实验的一个重要物理目标是在HIAF能区系统测量质子与 Λ 超子的极化，揭示重子自旋的起源机制。

关键时间节点：美国电子-离子对撞机（EIC）计划于2034年投入运行。我们必须在此之前完成H-NS在HIAF上的9.3 GeV（ $\sqrt{s_{NN}} = 4.5 \text{ GeV}$ ）p+p实验，抢占重子极化研究的科学前沿，同时为未来实验提供HIAF能区的实验结果。

二、人才储备：五年窗口期的战略意义

国家“十五五”发展规划中，高能物理对撞机实验暂未入围。

我们利用宝贵的5年窗口期：一方面建设H-NS并在HIAF上开展世界一流实验，另一方面维持高水平的实验队伍，为未来高能实验物理发展储备核心人才。

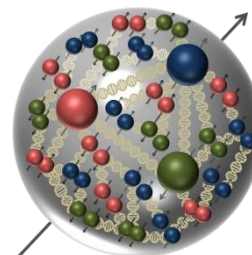
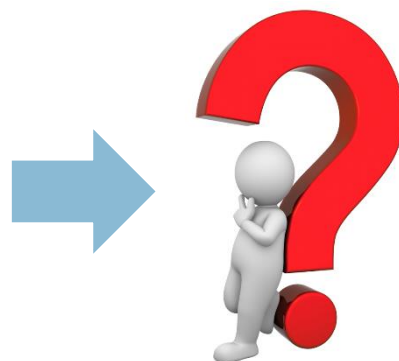
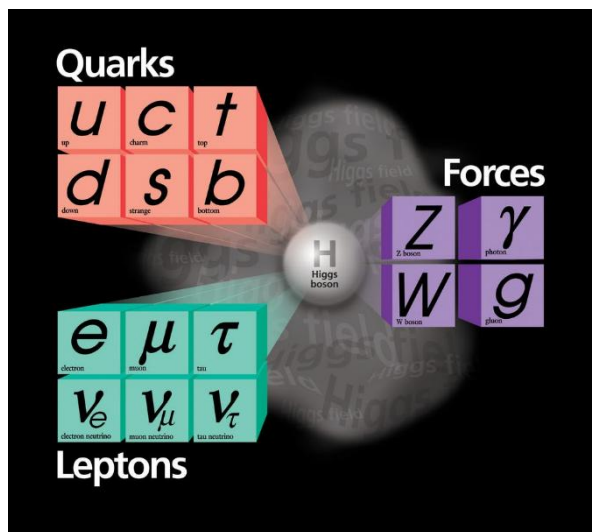
充分利用HIAF提供的高亮度束流

- 1) HIAF可以提供世界一流的**高亮度束流**， 10^{12} ppp 9.3 GeV的质子束流。H-NS需要慢引出的束流，3 – 5 s/bunch。
- 2) 第一阶段：无极化p+p，p+A，A+A碰撞。为了保护像素探测器，首次完成全像素径迹探测器的刻度，早期的反应率将控制在 $\leq 1\text{MHz}$ 。正常运行后，逐步提高到10MHz；
- 3) 第二阶段：极化束流。反应率需要保证在 $1 \leq 10\text{MHz}$ ；
- 4) 第三阶段：待高精度电磁量能器研制完成，我们需要 10^9 ppp的pion次级束流

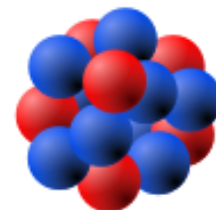
汇报内容

1. H-NS物理亮点
2. H-NS探测器谱仪设计
3. 发展规划
4. 造价估算
5. H-NS团队
6. 总结

可见物质深层次结构



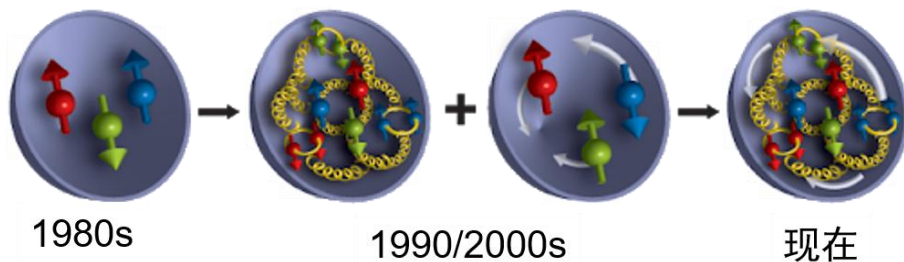
质子自旋结构?



质子质量来源?

质量

Gell-Mann
夸克模型



自旋

Dynamics of gluons

~99%
质子质量

Higgs mechanism

轻味夸克质量
~1%质子质量

自旋起源的两个基本问题：质子自旋与超子极化

核子自旋结构研究-1988年

质子自旋危机

EMC at CERN - J. Ashman et al., NPB 328, 1 (1989)

$$\Delta\Sigma = \Delta u + \Delta d + \Delta s = 12 \pm 9(\text{stat}) \pm 14(\text{syst})\%$$

**A crisis in the parton model:
where, oh where is the proton's spin?**

E. Leader¹ and M. Anselmino²

Birkbeck College, University of London, London, UK

Dipartimento di Fisica Teorica, Università di Torino, I-10125 Torino, Italy

Received 18 March 1988

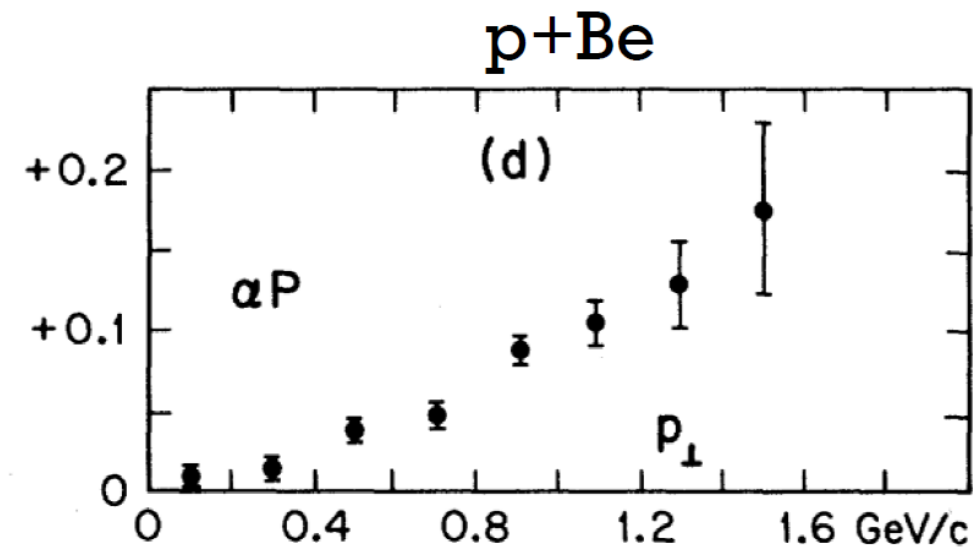
Z. Phys. C - Particles and Fields 41, 239-246 (1988)

Zeitschrift
für Physik C
**Particles
and Fields**
© Springer-Verlag 1988

Λ 横向极化的首次观测-1976年

超子极化之谜

费米实验室：300 GeV质子打Be靶，初态均为非极化
末态产生的 Λ 观测到明显的横向极化现象

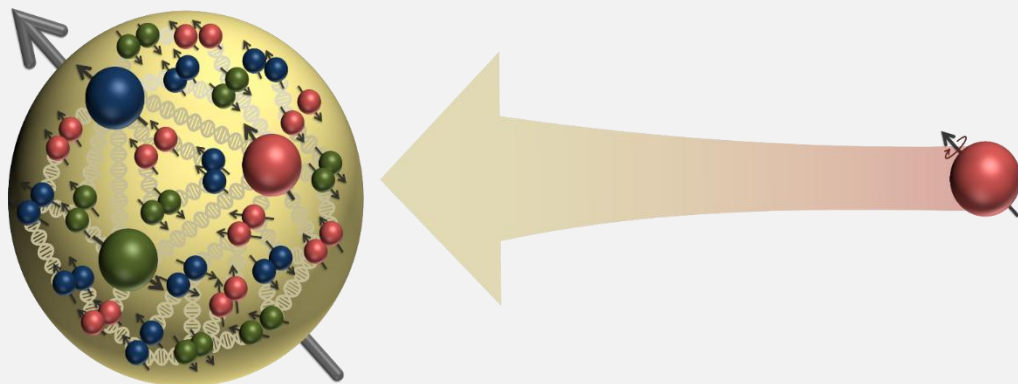


G.Bunce, et al.: Phys.Rev.Lett. 36, 1113-1116 (1976)

强相互作用物质的自旋起源

EIC: Initial state is polarized

-How do partons form up a polarized nucleon?

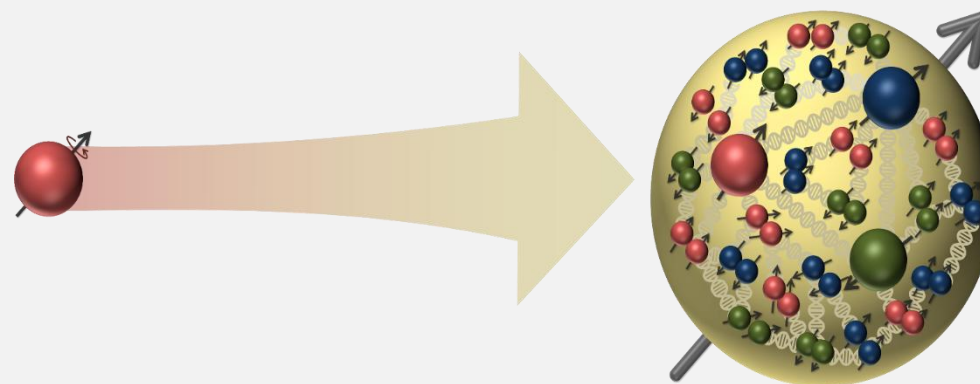


Initial state

Polarized by device

Λ polarization: Final state is polarized

-How do partons form up a polarized Λ ?



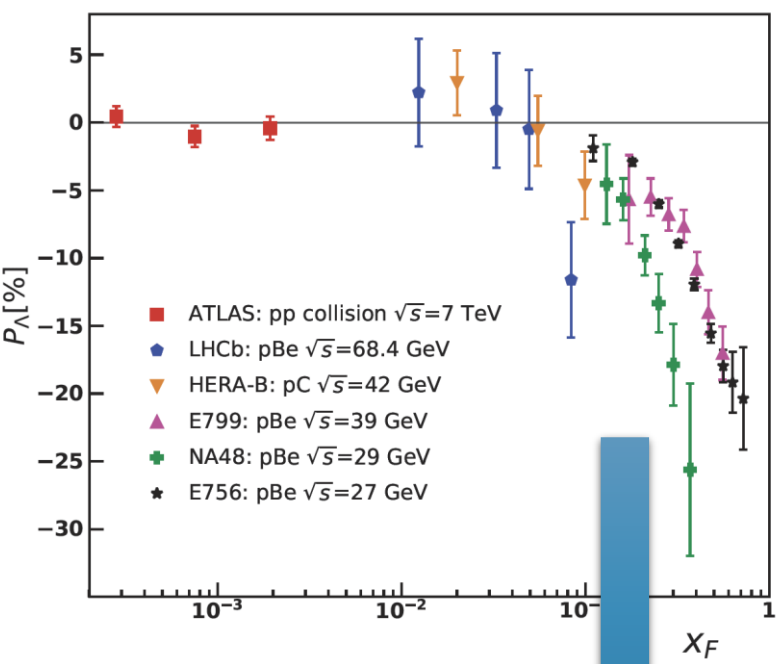
Final state

Λ serves as its own spin analyzer through the decay $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$

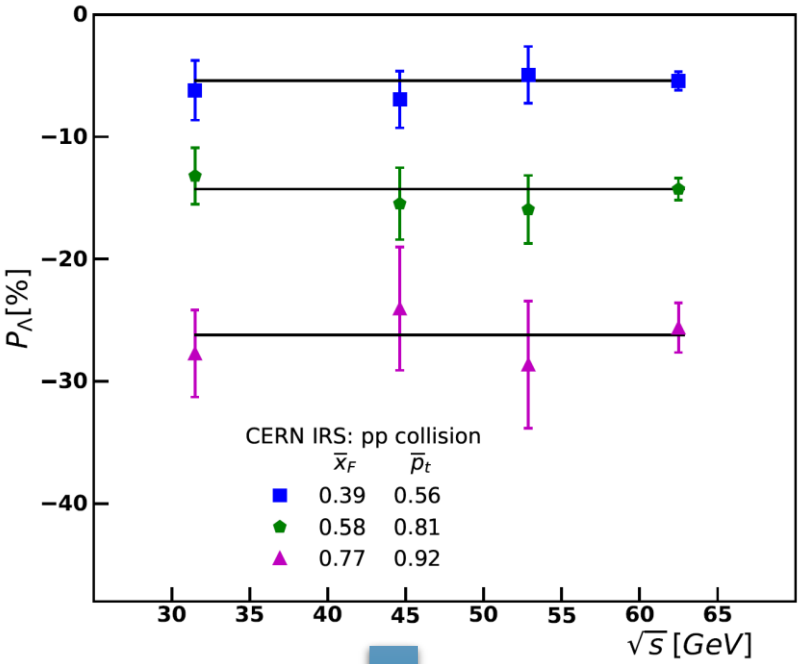
origin of nucleon spin **VS** origin of Λ polarization
物理上紧密相连 (Liang-Boros Model)

已有 Λ 极化实验研究

Λ 产生平面的观测

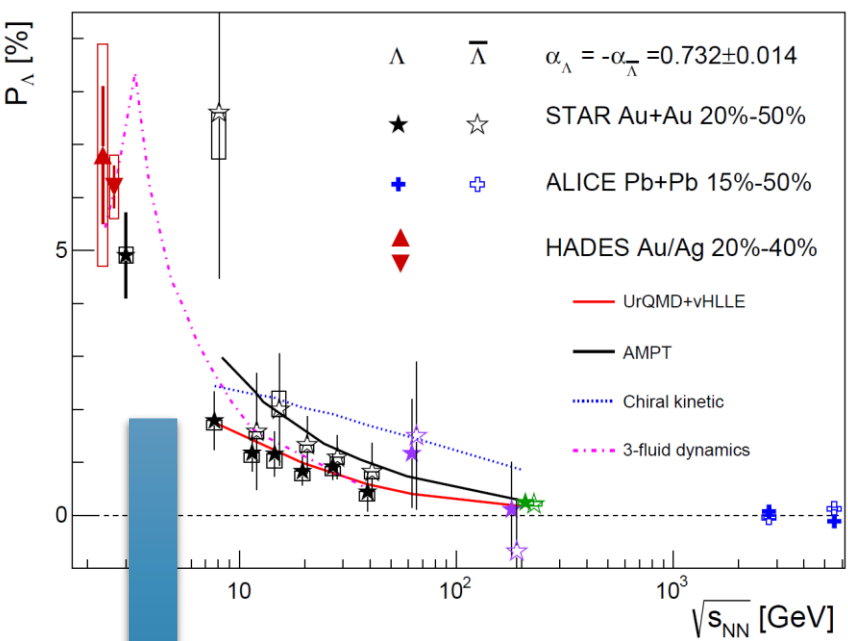


极化信号显著
正好是HIAF覆盖的区域



能量依赖展现出“scaling”现象？

事件反应平面的观测

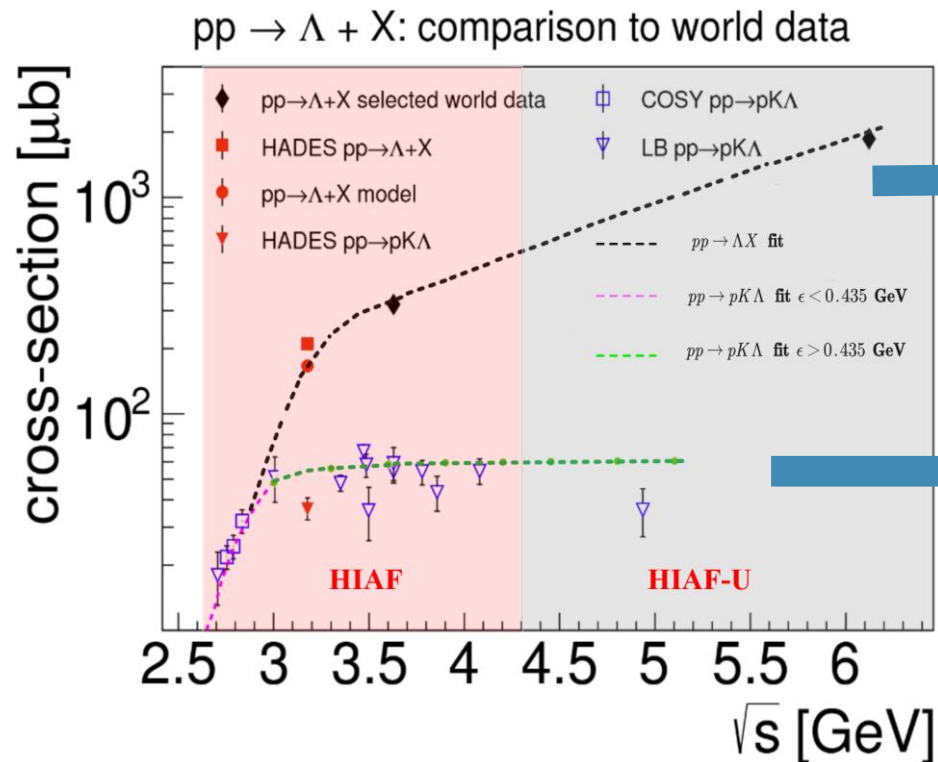


重离子反应中的整体极化效应
HIAF覆盖能区信号显著

整体研究现状：实验数据少、系统性研究缺乏（运动学覆盖范围、能区、不同反应过程）

HIAF：在大的信号区域提供高的统计量

丰富的强子物理与重离子物理：跨能区、跨反应过程



$$pp(A) \rightarrow \Lambda + X$$

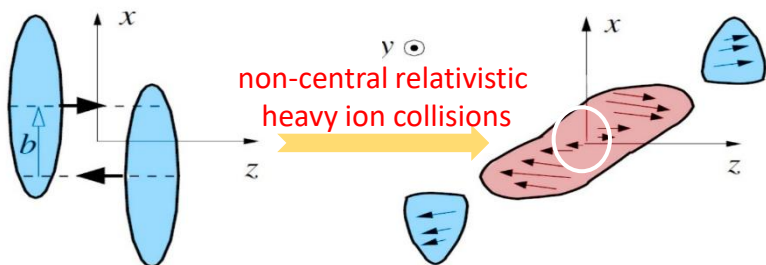
polarization through
hadronization

Zuo-tang Liang, and C. Boros, *Phys. Rev. Lett.* 79, 3608 (1997); *PRD* 61, 117503 (2000).
H. Dong and Zuo-tang Liang, *PRD* 70, 014019 (2004); *PRD* 72, 033006 (2005).

$$pp \rightarrow p + K + \Lambda$$

polarization through
intermediate state

R. Machleidt, K. Holinde and C. Elster, *Phys. Rept.* 149, 1 (1987).
B. C. Liu, B. S. Zou, *PRL* 96, 042002 (2006).



$$AA \rightarrow \Lambda + X$$

global polarization

Zuo-Tang Liang, Xin-Nian Wang, *PRL* 94, 102301 (2005); *PLB* 629, 20 (2005).
Jian-Hua Gao, Shou-Wan Chen, Wei-tian Deng, Zuo-Tang Liang, Qun Wang, Xin-Nian Wang, *PRC* 77, 044902 (2008).

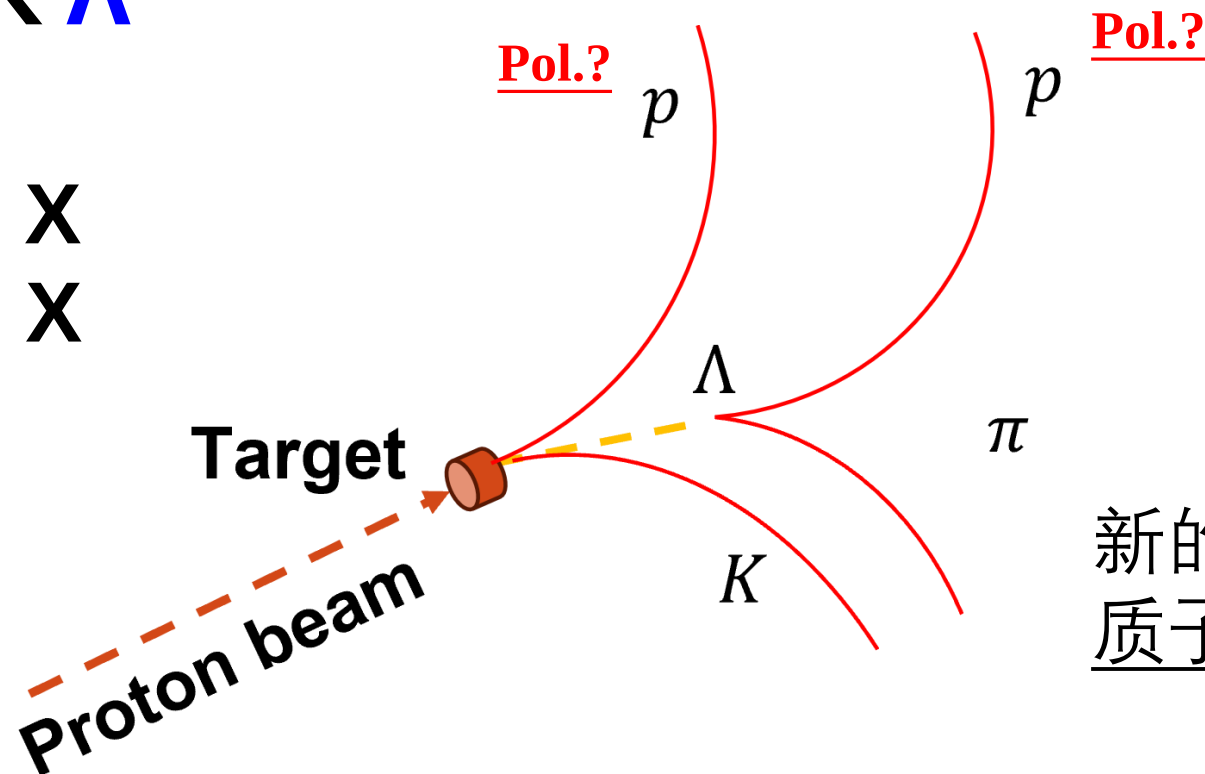
新问题：末态质子是否极化？

首次在通用谱仪中进行直接测量
质子 VS $\Lambda \rightarrow s$ 夸克对 Λ 自旋结构的贡献

$$pp \rightarrow \textcolor{red}{p} K \textcolor{blue}{\Lambda}$$

$$pp \rightarrow \textcolor{red}{p} + X$$

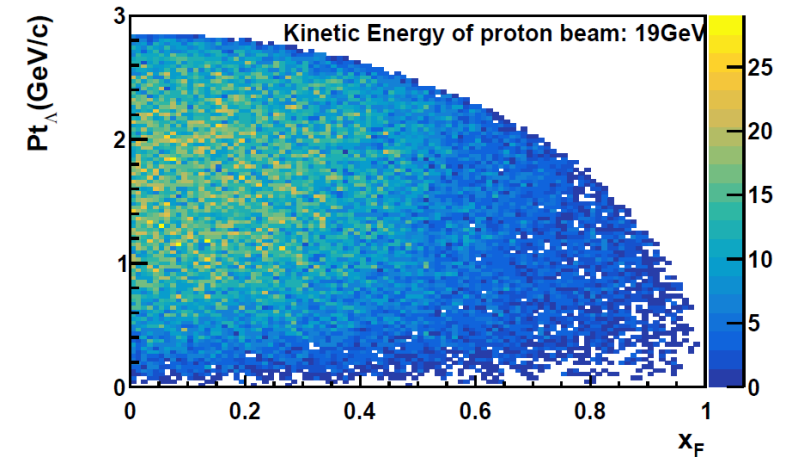
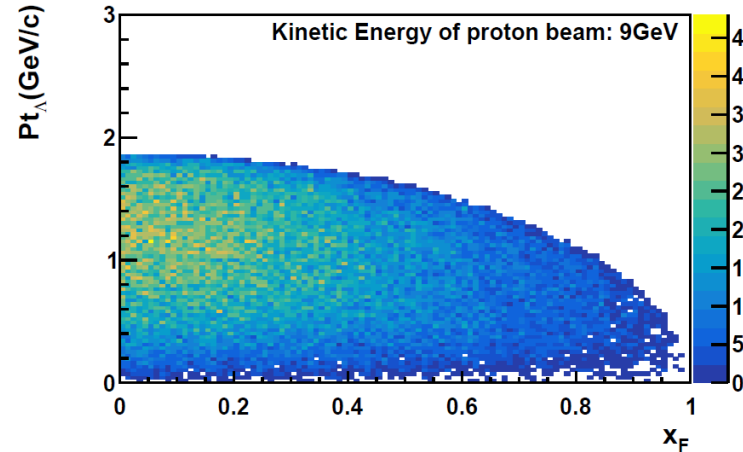
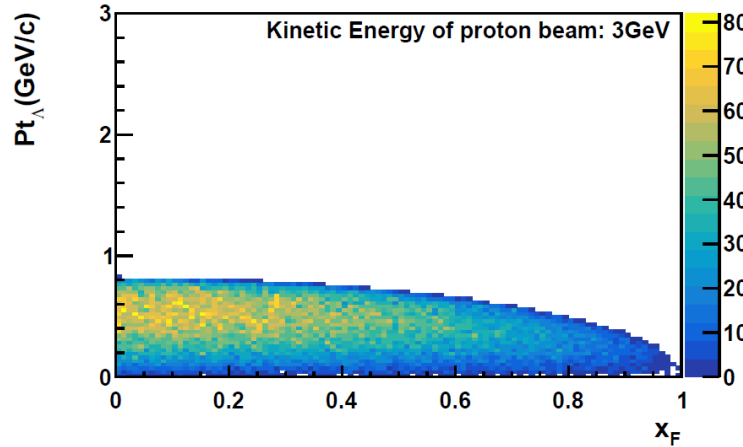
$$pp \rightarrow \textcolor{blue}{\Lambda} + X$$



新的理论研究表明：
质子是极化的

H-NS上专门设计了相关的探测器进行直接测量

H-NS提供了绝佳的机会



3 GeV $\rightarrow$ 9 GeV $\rightarrow$ 20 GeV $\rightarrow$ 32 GeV (?)

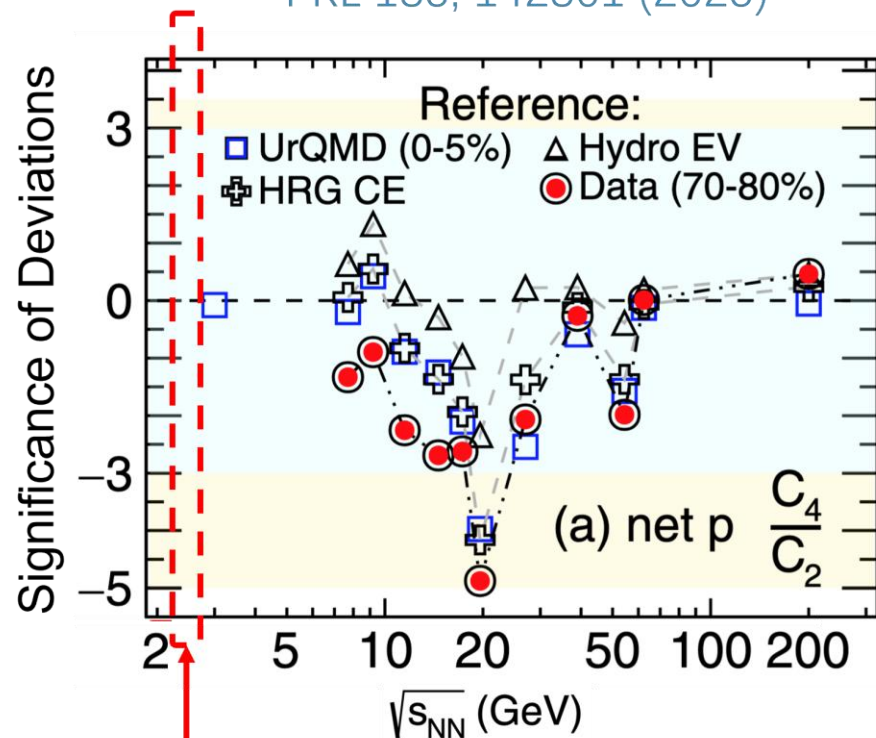
Allow for a multi-dimensional mapping of the Λ^0 polarization and production

1. Beam energy scan
2. $p \rightarrow p$, $p \rightarrow \Lambda$, $\Lambda \rightarrow \Lambda$ data taking

重离子物理

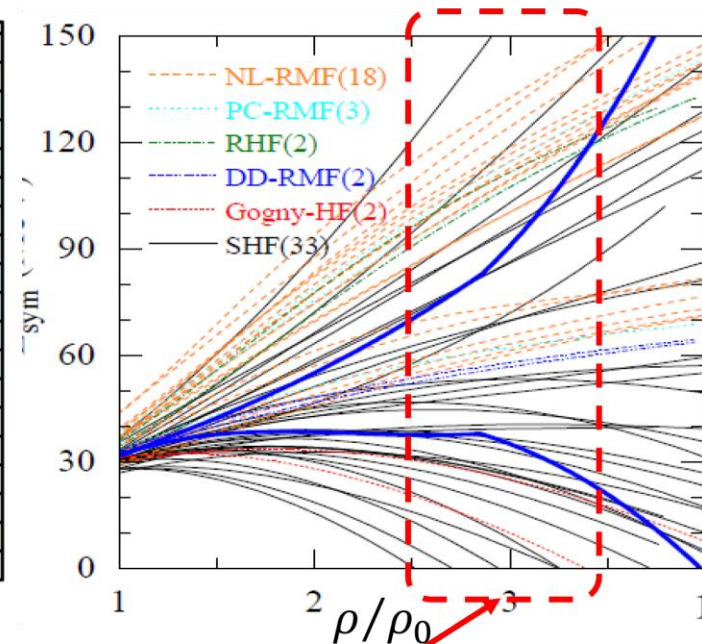
QCD Critical Point

PRL 135, 142301 (2025)



Equation of State

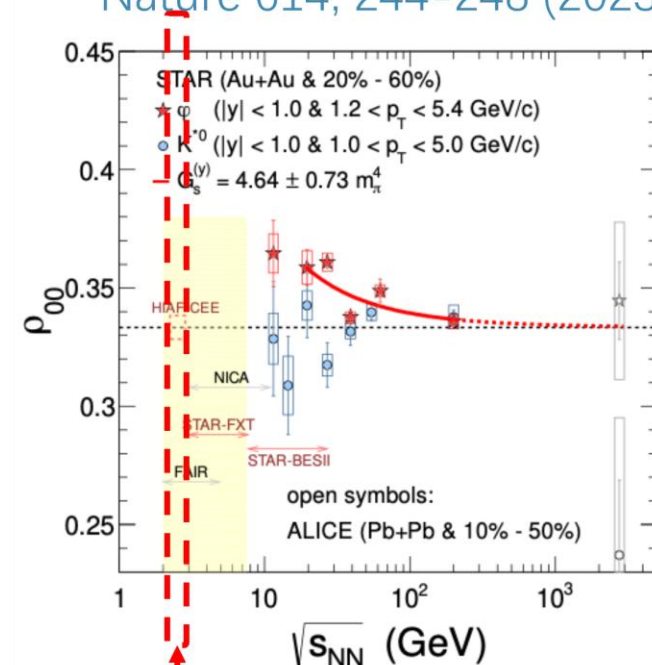
Universe 7, 182 (2021)



H-NS @ HIAF

Global Spin Alignment

Nature 614, 244-248 (2023)



HIAF: 一流的加速器提供一流的高能核物理实验平台

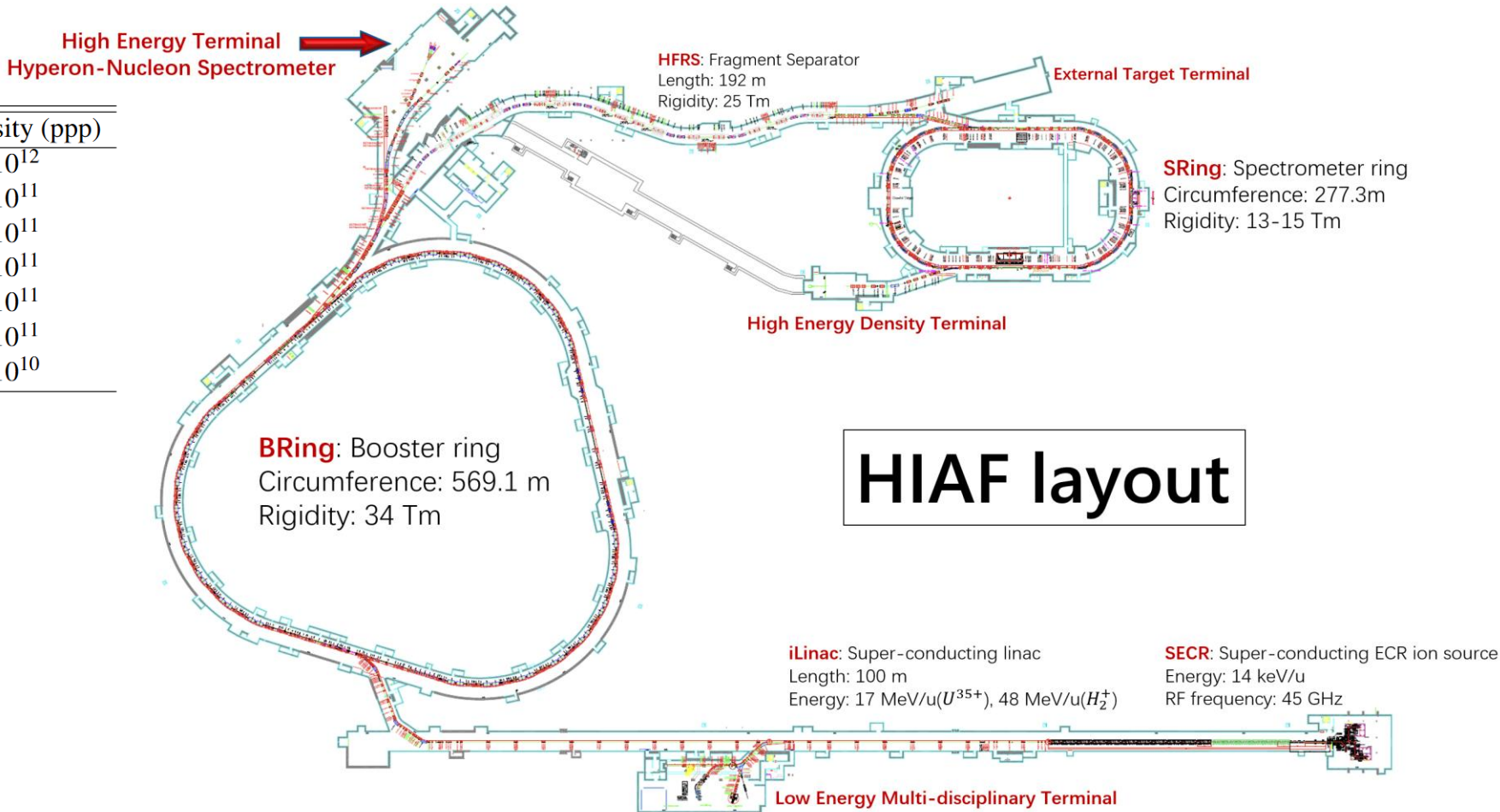
Ion species	Kinetic Energy (GeV/u)	Beam intensity (ppp)
p	9.3	6.0×10^{12}
$^{16}\text{O}^{8+}$	4.25	6.0×10^{11}
$^{18}\text{O}^{6+}$	2.6	6.0×10^{11}
$^{78}\text{Kr}^{19+}$	1.7	3.0×10^{11}
$^{209}\text{Bi}^{31+}$	0.85	1.2×10^{11}
$^{238}\text{U}^{35+}$	0.835	1.0×10^{11}
$^{238}\text{U}^{78+}$	2.6	1.0×10^{10}

p 束流 → p 靶
p 束流 → A 靶
A 束流 → A 靶

开辟新的研究维度



目前R&D: 极化靶、极化束流
长远的规划: EicC → 高能核物理未来发展方向



汇报内容

1. H-NS物理亮点

2. H-NS探测器谱仪设计

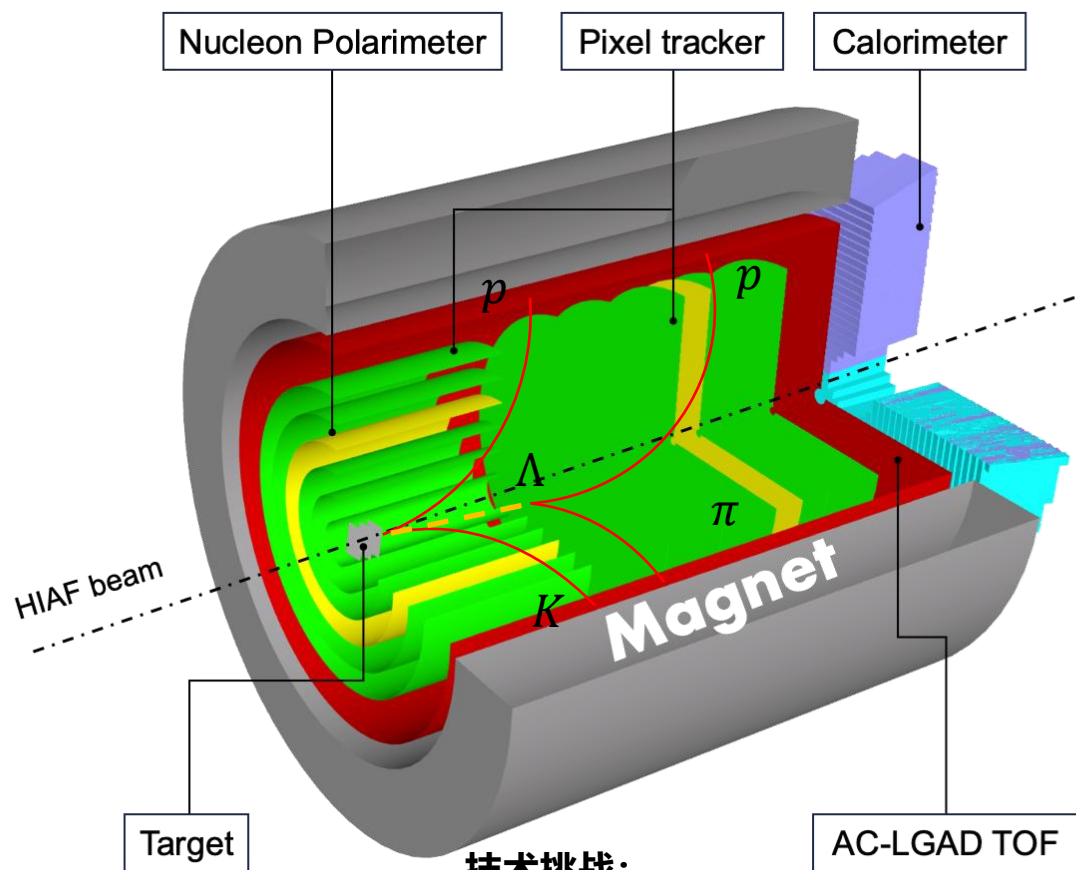
3. 发展规划

4. 造价估算

5. H-NS团队

6. 总结

H-NS物理需求及技术挑战

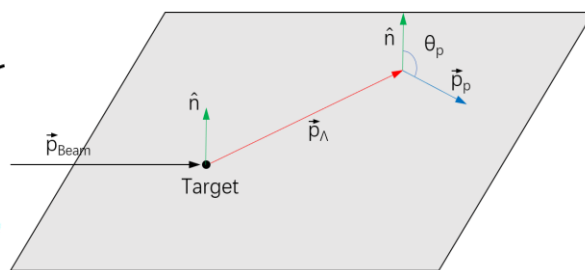


技术挑战:

- 快速响应: 事例率~MHz水平
- 高动量分辨, 高位置分辨, 低物质质量
- K, π , proton, 粒子鉴别
- 抗辐照

超子极化

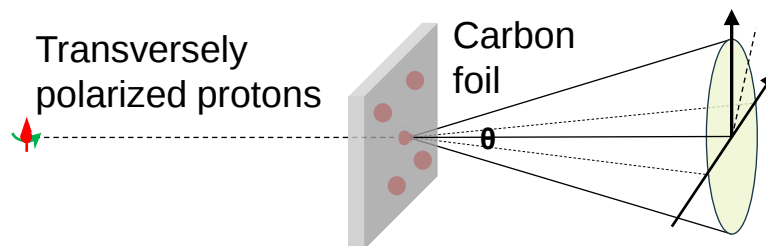
$pp \rightarrow p K^+ \Lambda;$
 $\Lambda \rightarrow p \pi$



$$\frac{dN}{d\Omega} = N_0(1 + \alpha P \cos\theta),$$

质子极化

$$\frac{d\sigma}{d\phi d\cos\theta} = \frac{1}{2\pi} \frac{d\sigma_0}{d\cos\theta} [1 + P_y A_N(\theta) \cos\phi]$$



➤ 紧凑设计: $R < 1\text{m}$

➤ 大接收度:

- 5 to 100 degree

➤ 高事例率

- 100kHz-1MHz (pp, pA)

➤ 重子极化测量

- 确定最末态质子的极化

➤ 动量分辨率: $\sim 2\% @ 1\text{GeV} (\eta < 2.5)$

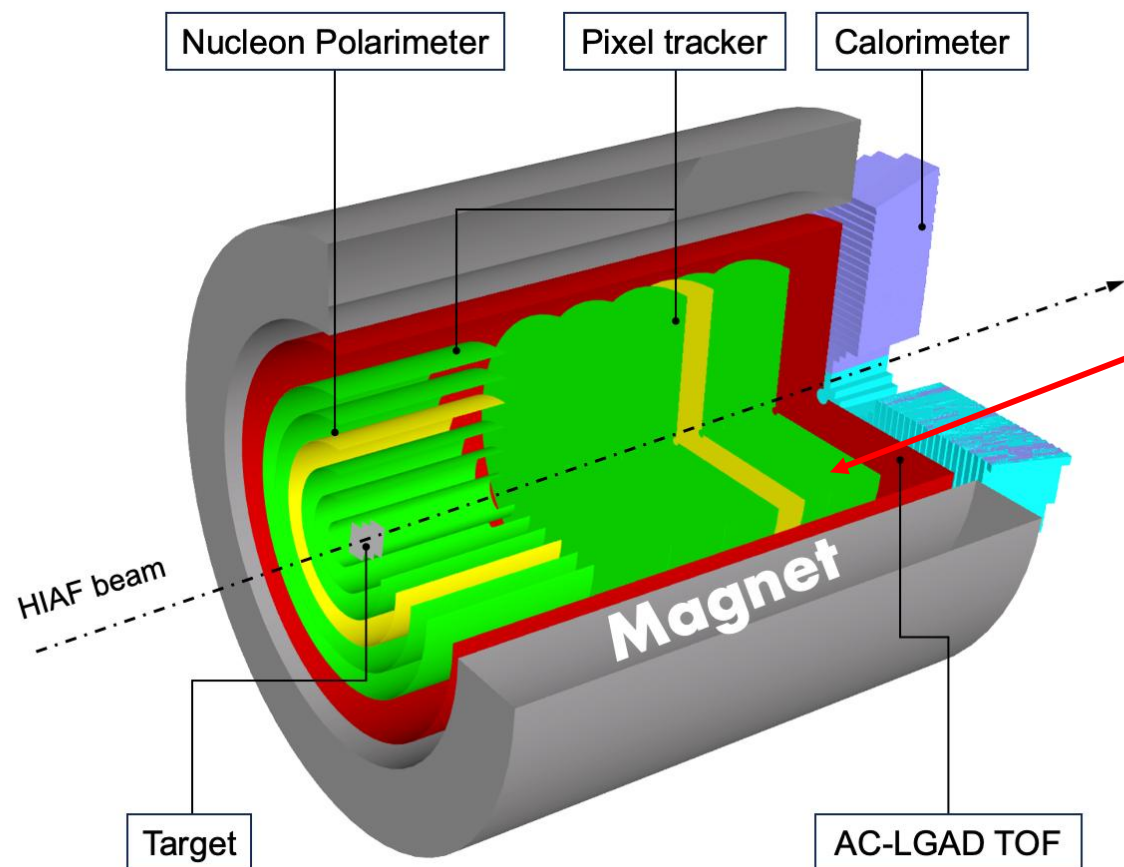
➤ PID:

- K, π 分离 ($\sim 3\sigma$) up to 2 GeV/c
- K, p 分离 ($\sim 3\sigma$) up to 5 GeV/c

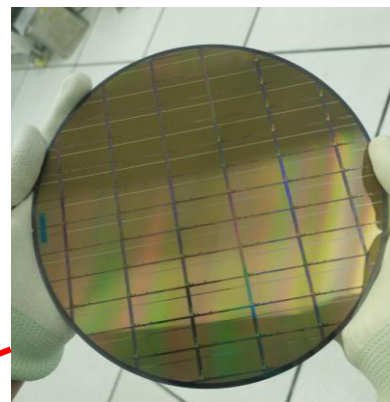
➤ 顶点分辨率:

- 顶点分辨率极佳 ($< 500\mu\text{m}$)
- 低物质质量 ($< 10\% X/X_0$)

H-NS径迹探测器系统



MIC6 V3晶圆

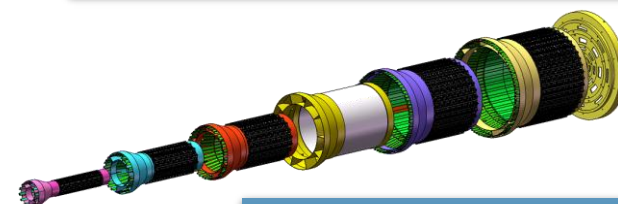


MIC6 V3测试系统

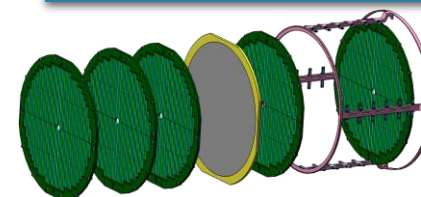
连接线
MIC6芯片载板
转接板
RU板



桶部径迹探测器



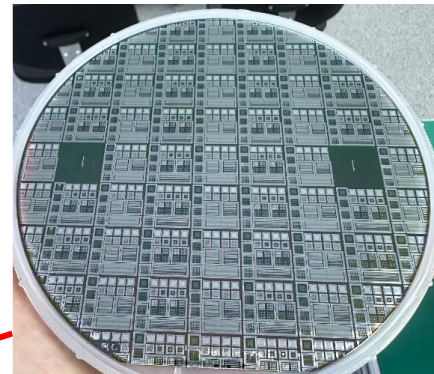
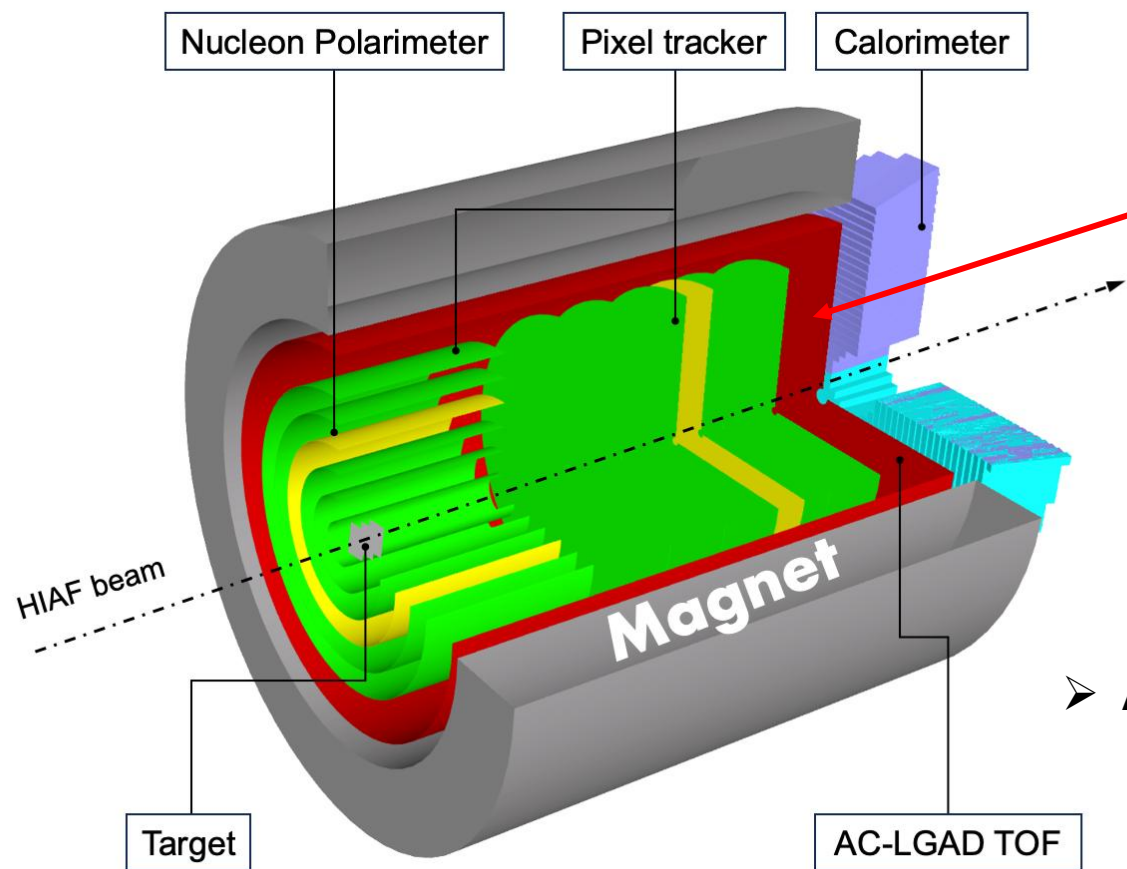
端盖径迹探测器



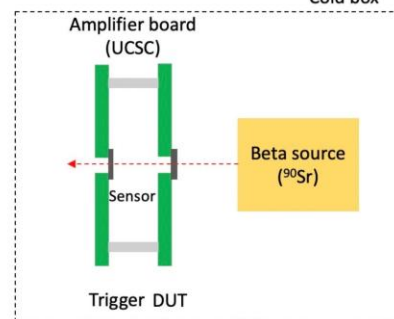
- MIC6 MAPS像素芯片:
采用国产工艺开发与制造
- 像素尺寸: $30\ \mu\text{m}$
 - 物质量: $0.8\ \% X/X_0$
 - 积分时间: $5\text{-}10\ \mu\text{s}$

华中师范大学 + 中科大 + 近物所 + 西工大

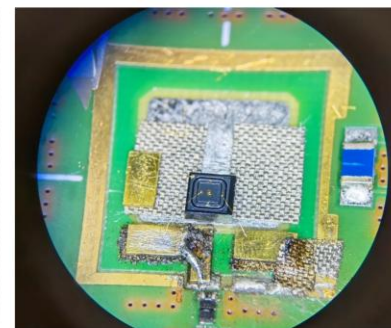
H-NS粒子鉴别系统



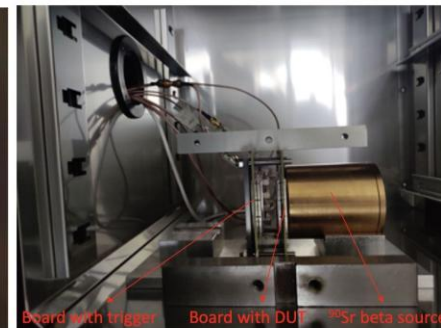
Cold box



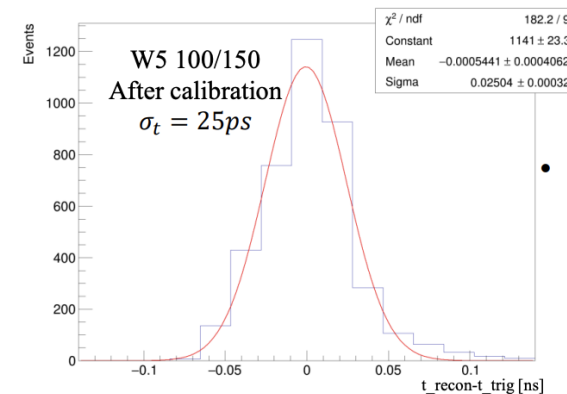
(a)



(b)

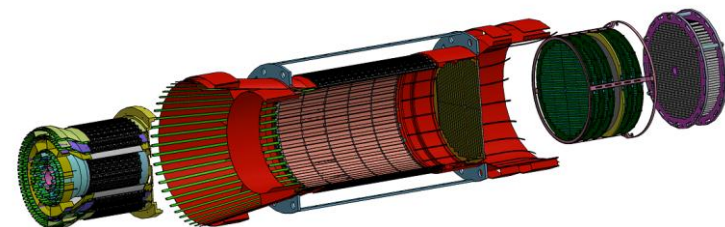


(c)



➤ AC-LGAD

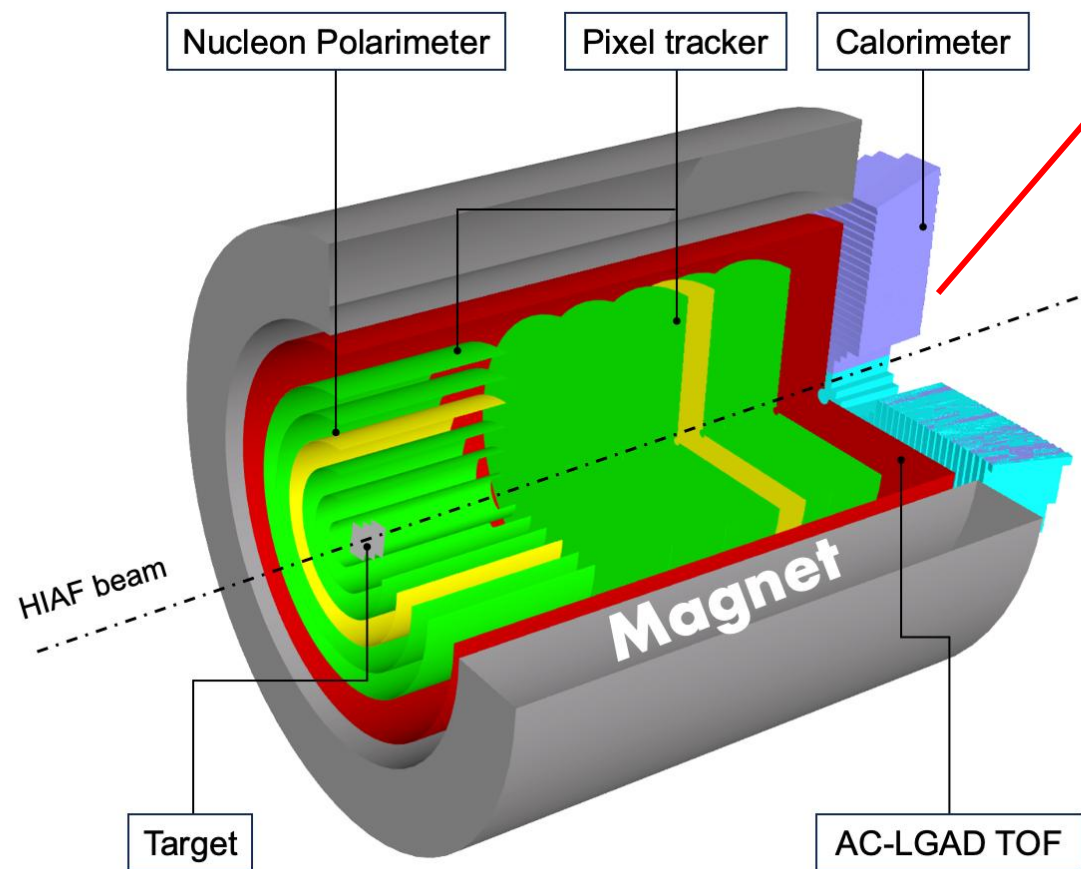
- 结构紧凑
- 时间分辨率: ~ 30 ps
- 空间分辨率: $\sim 100 \mu m$



AC-LGAD飞行时间探测器

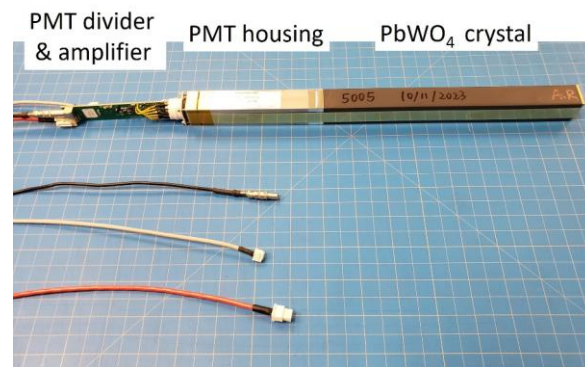
中科大 + 山东大学 + 近物所 + 清华大学

H-NS量能器系统



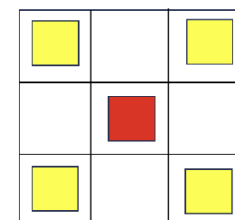
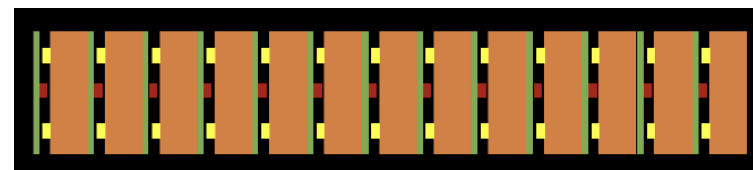
量能器系统双重功能:

1. 重建中性粒子 γ, π^0 等, 服务物理研究
2. 高性能量能器R&D平台, 支撑未来实验



➤ **PbWO₄晶体:** 体积紧凑, 能量分辨率良好

- 能量分辨: $3\%/\sqrt{E}$
- 空间分辨: $\sim 3\text{mm}$



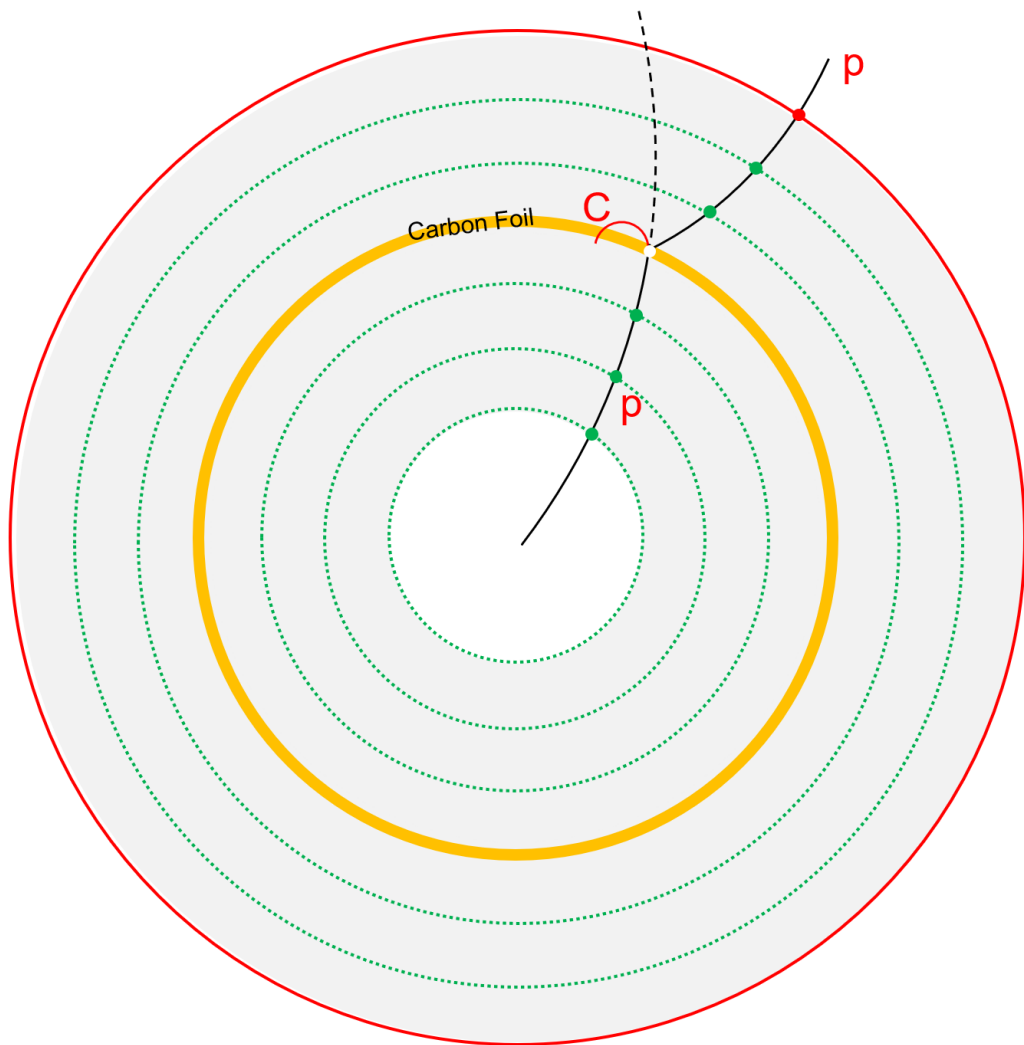
铅玻璃 SiPM

塑闪 SiPM

切伦科夫光和闪烁光双读出量能器预研

清华大学 + 复旦大学 + 近物所

H-NS重子极化仪



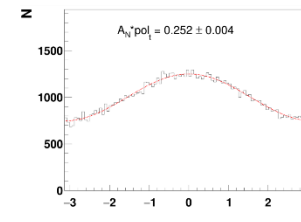
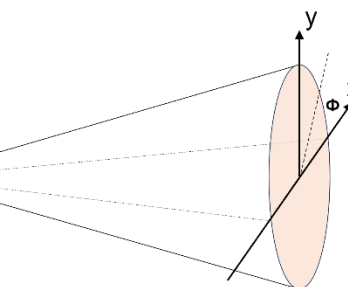
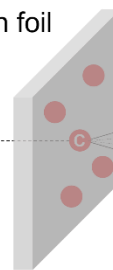
通过弹性散射确定质子极化

$$\frac{d\sigma}{d\phi d\cos\theta} = \frac{1}{2\pi} \frac{d\sigma_0}{d\cos\theta} [1 + \underline{P_y A_N(\theta)} \cos\phi]$$

Transversely polarized protons



Carbon foil



More protons to the left:
Left-right asymmetry

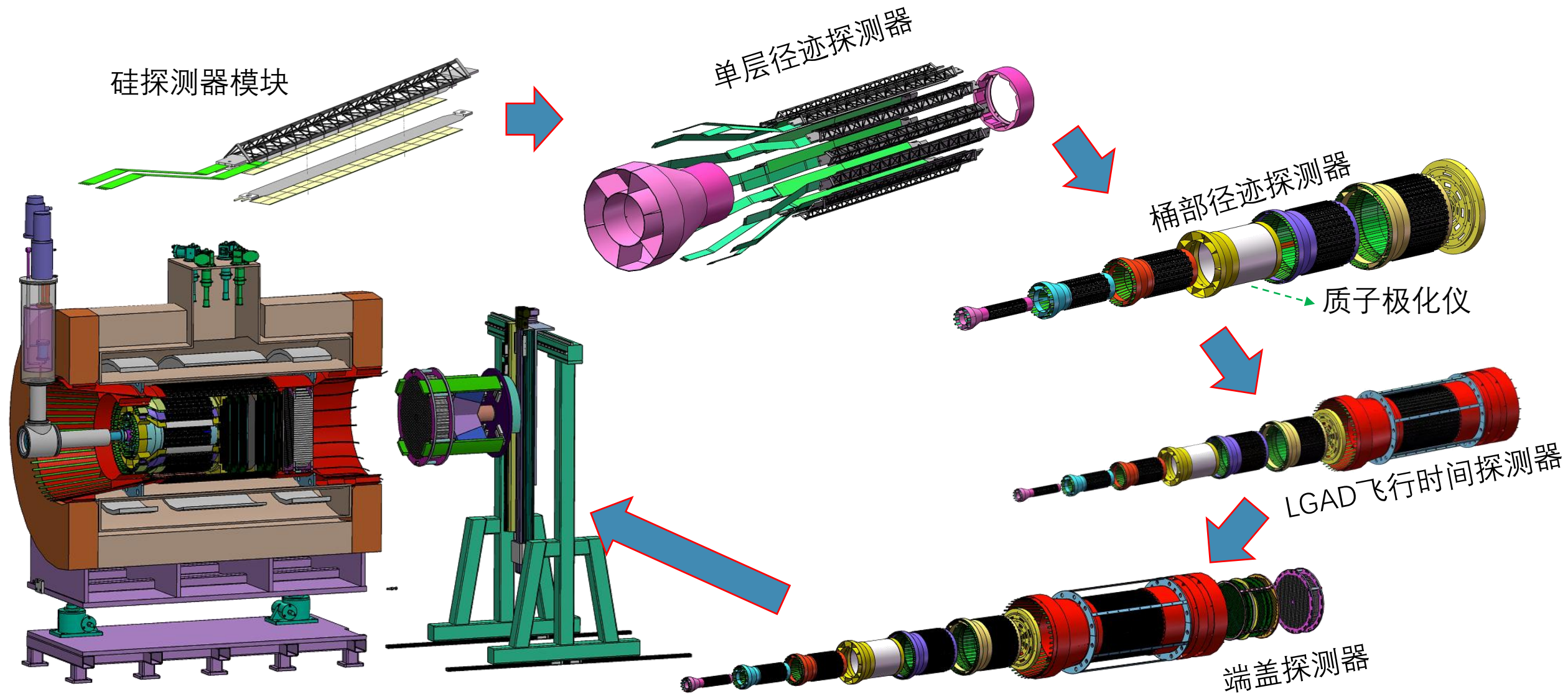
➤ 碳靶层

- ~1 mm thickness
- 物质质量: **<1% X/X₀**
- 反应几率: **pC (1E-3)**

➤ 位置: 径迹探测器中间

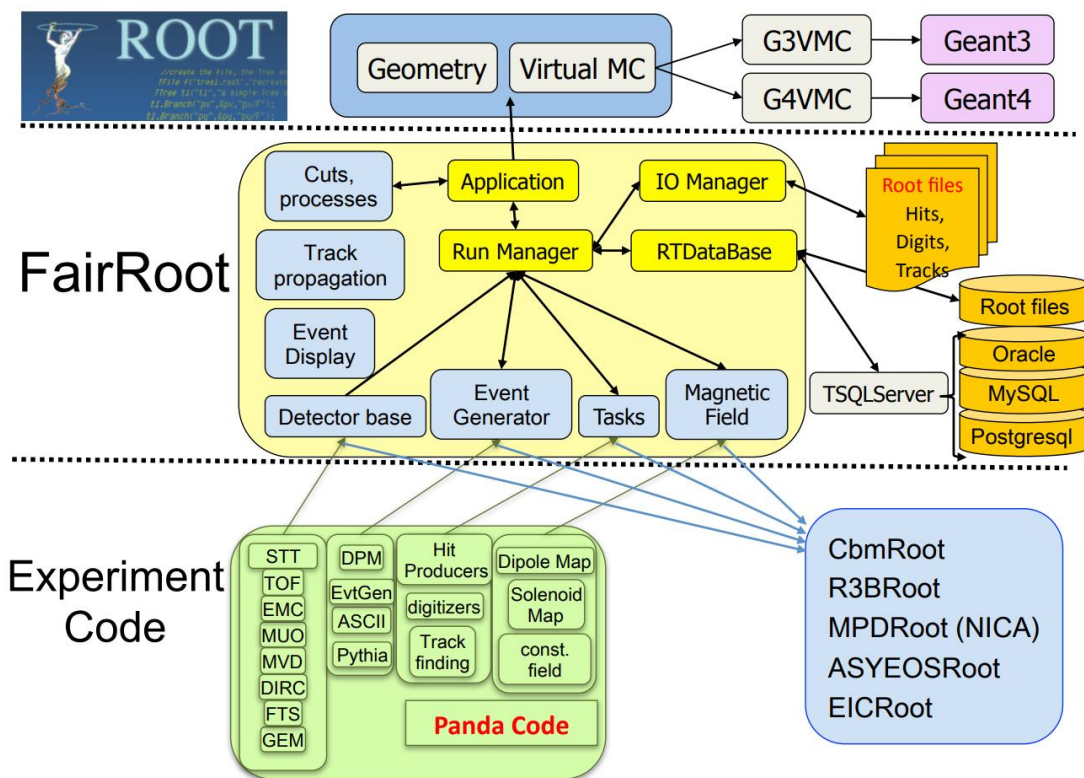
Y. T. Liang et. al. Phys. Rev. D 112, L031502 (2025)

H-NS探测器集成



H-NS软件框架

基于FairRoot开发适用于H-NS谱仪的软件框架，开发事例模拟、重建及分析的专用算法，**实现高效的粒子重建**

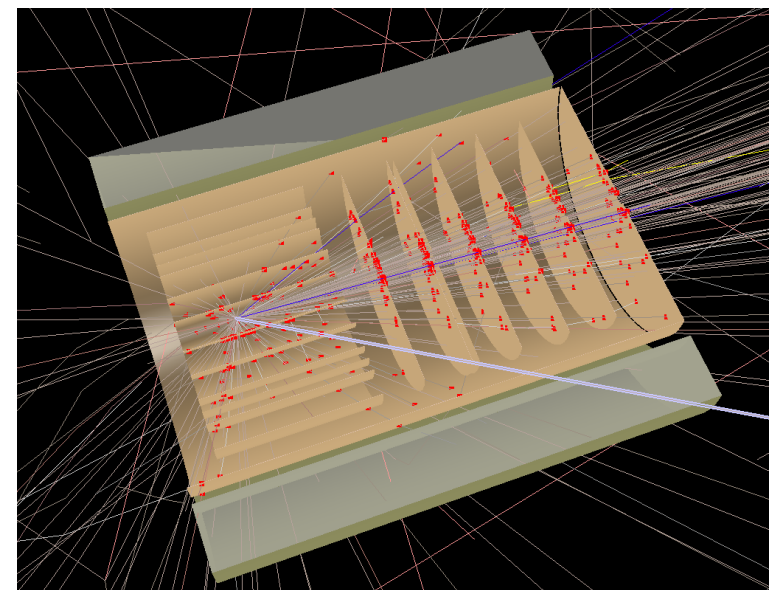


底层: ROOT, Virtual MC, etc.

中间层: FairRoot框架负责管理模拟 (simulation) 与任务 (task) 的通用基础设施

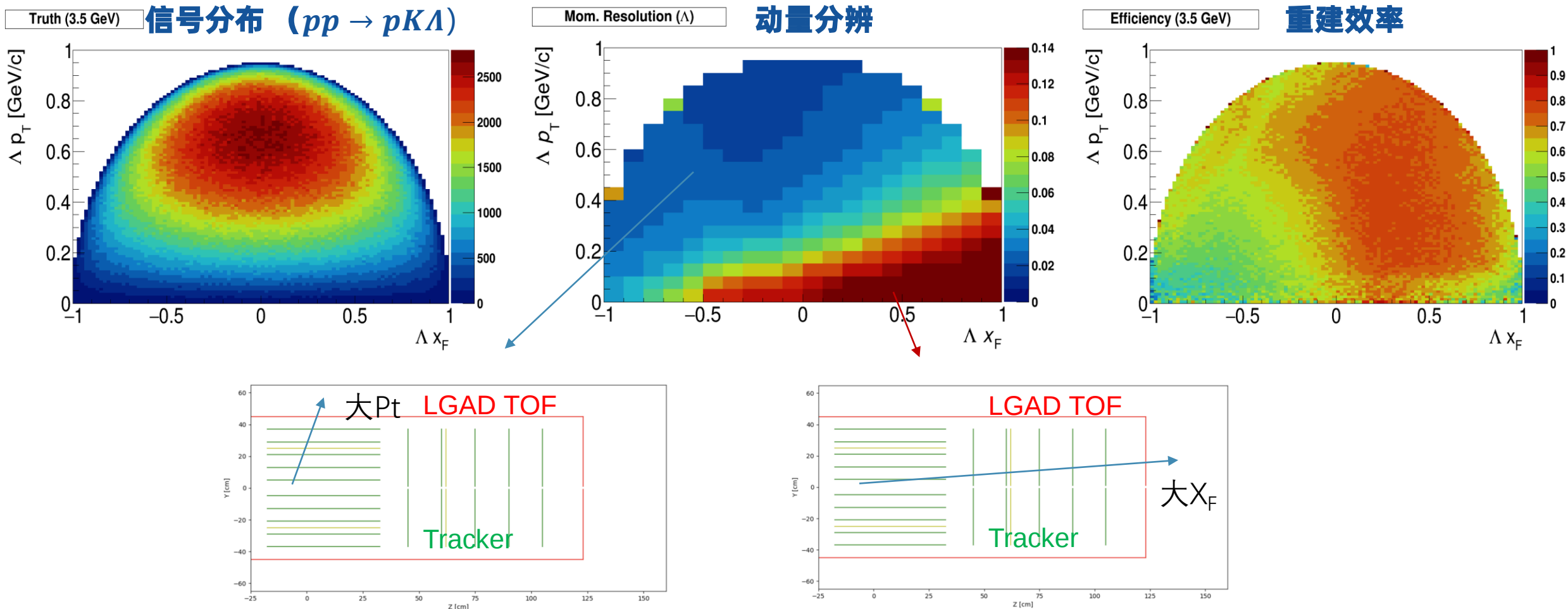
HnsRoot: 在FairRoot框架内实现H-NS探测器的模拟与重建

重离子碰撞事例模拟演示
 $O+C @ E_k=2.6\text{GeV}$



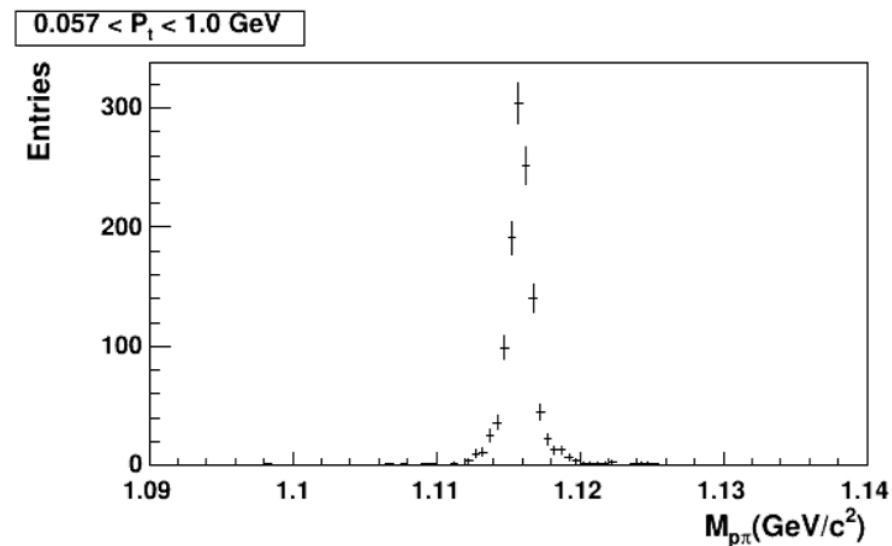
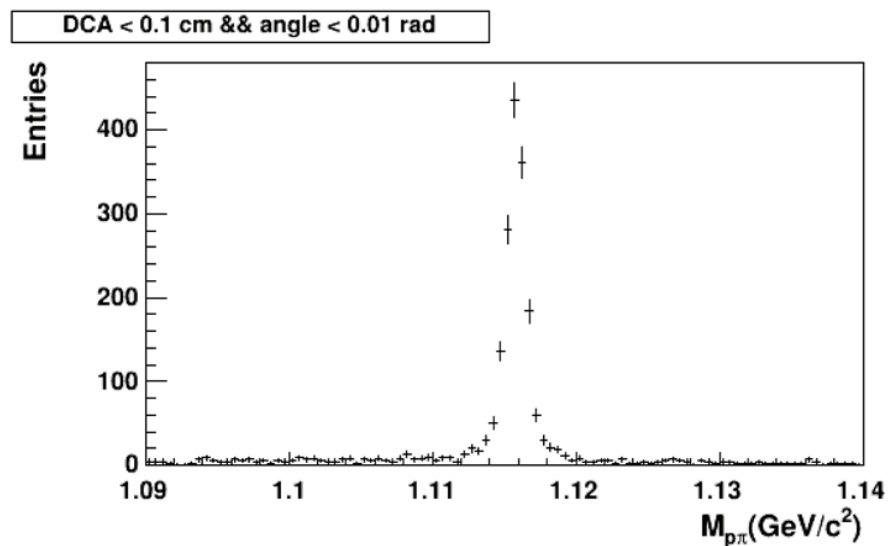
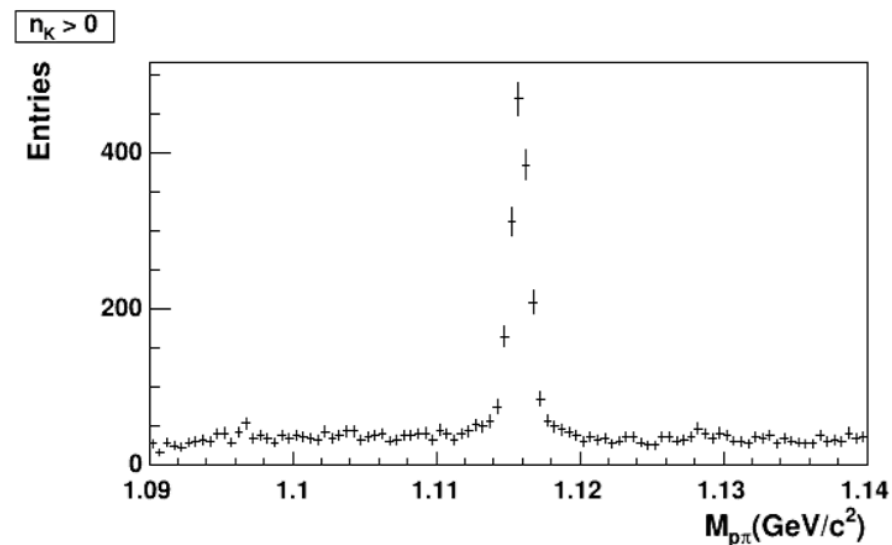
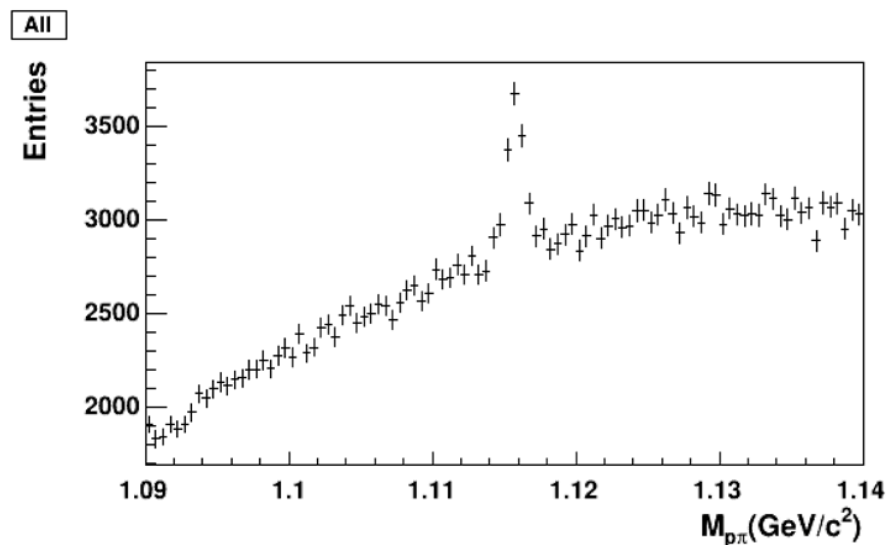
H-NS性能模拟研究

利用GEANT4等成熟模拟软件并结合数值计算方法进行探测器设计和优化，并通过蒙特卡洛模拟验证其性能



物理过程模拟及重建

实现 $pp \rightarrow pK\Lambda$ 中 Λ 极低本底的重建



Λ 极化测量的精度研究

H-NS projection

Reaction: p+p

Beam time: 3 months

$pp \rightarrow \Lambda + X$ $N \sim 10^{11}$

$pp \rightarrow p + X$ $N \sim 10^{13}$

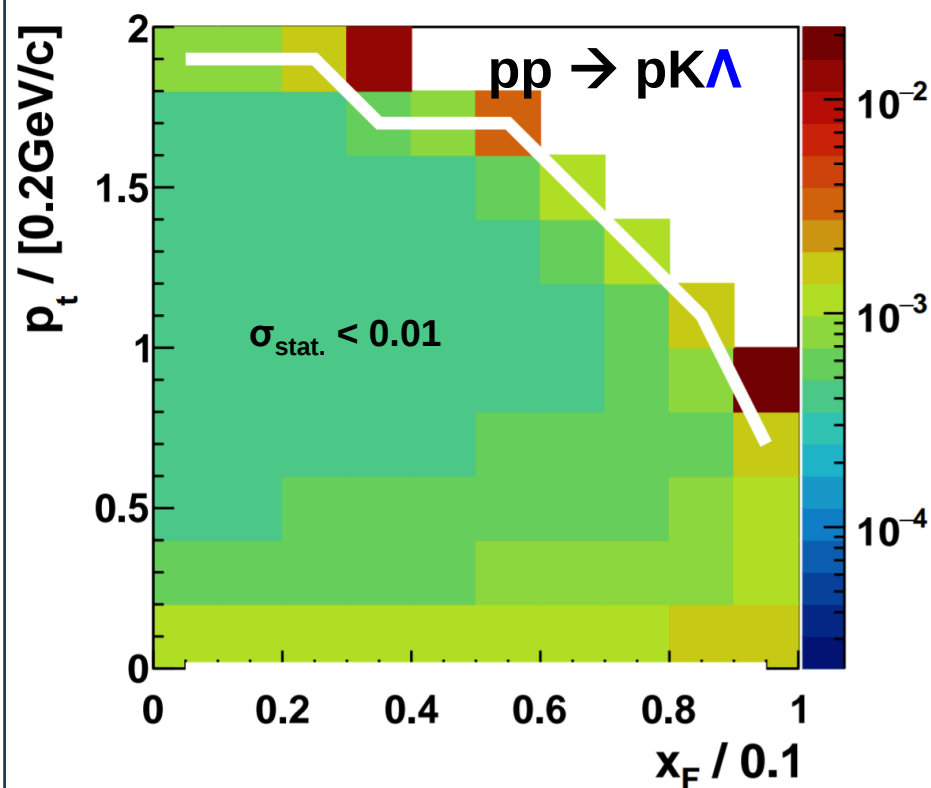
$pp \rightarrow pK\Lambda$ $N \sim 10^{10}$

注意：H-NS会进行束流
能量和束流种类扫描

$\sigma_{\text{stat.}} < 0.01$ for Λ 100 bins

Exclusive measurement

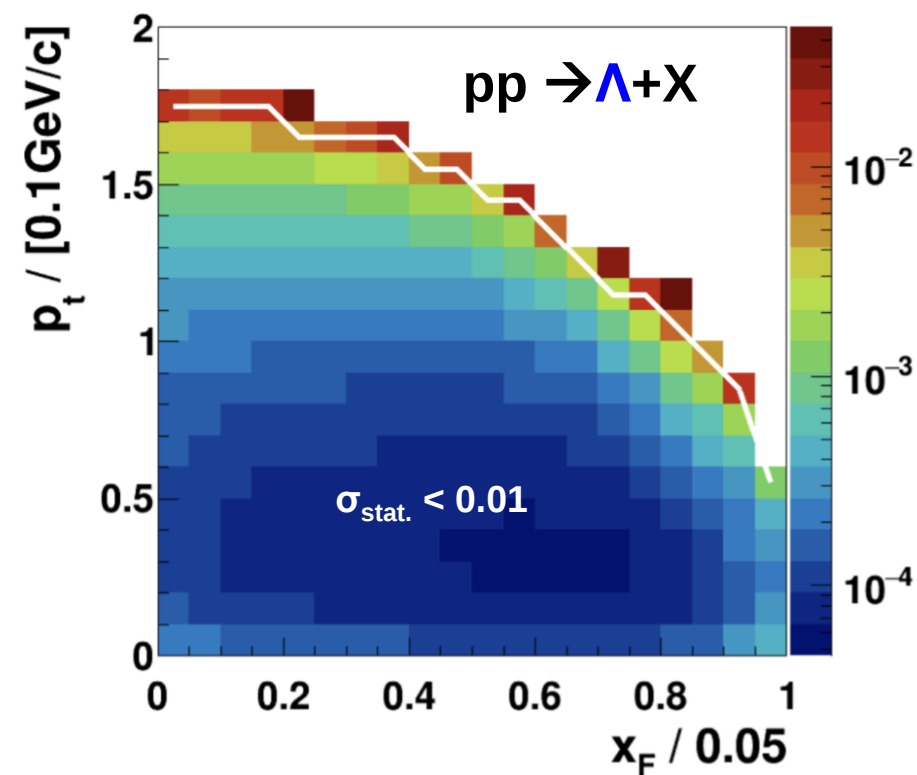
Uncertainty of Λ polarization



$\sigma_{\text{stat.}} < 0.01$ for Λ 400 bins

Inclusive measurement

Uncertainty of Λ polarization



质子极化测量的精度研究

H-NS projection

Reaction: p+p

Beam time: 3 months

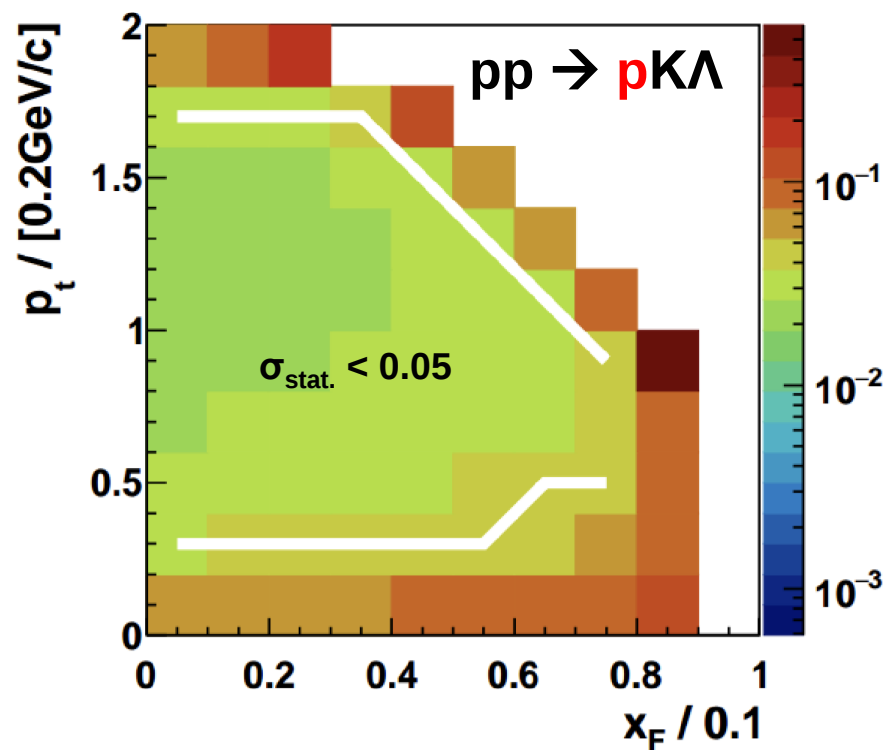
- $pp \rightarrow \Lambda + X$ $N \sim 10^{11}$
- $pp \rightarrow p + X$ $N \sim 10^{13}$
- $pp \rightarrow pK\Lambda$ $N \sim 10^{10}$

注意：H-NS会进行束流
能量和束流种类扫描

$\sigma_{\text{stat.}} < 0.05$ for p 100 bins

Exclusive measurement

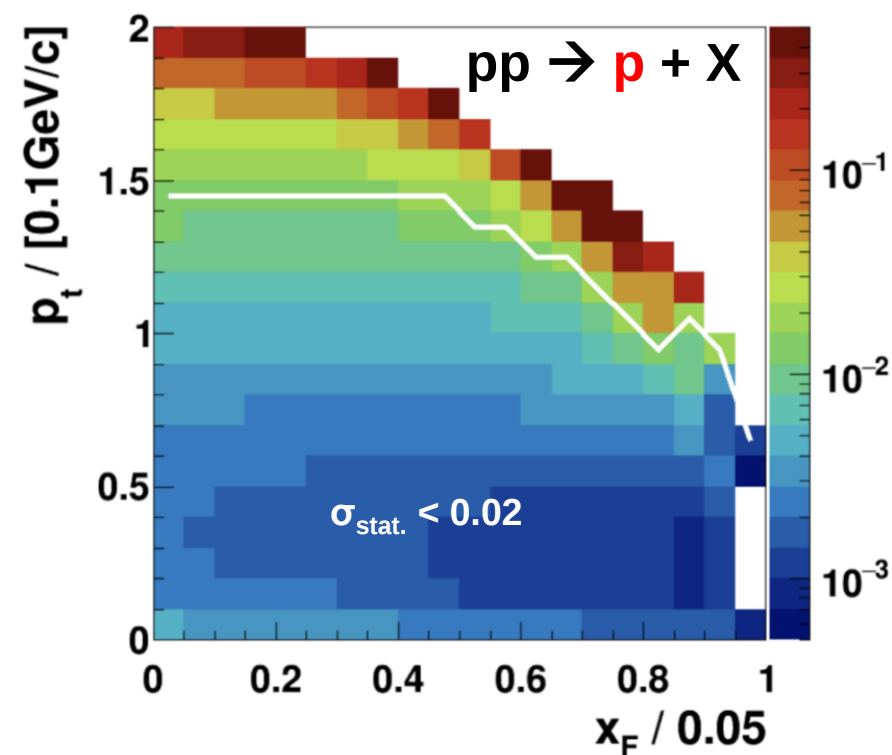
Uncertainty of proton polarization



$\sigma_{\text{stat.}} < 0.02$ for p 400 bins

Inclusive measurement

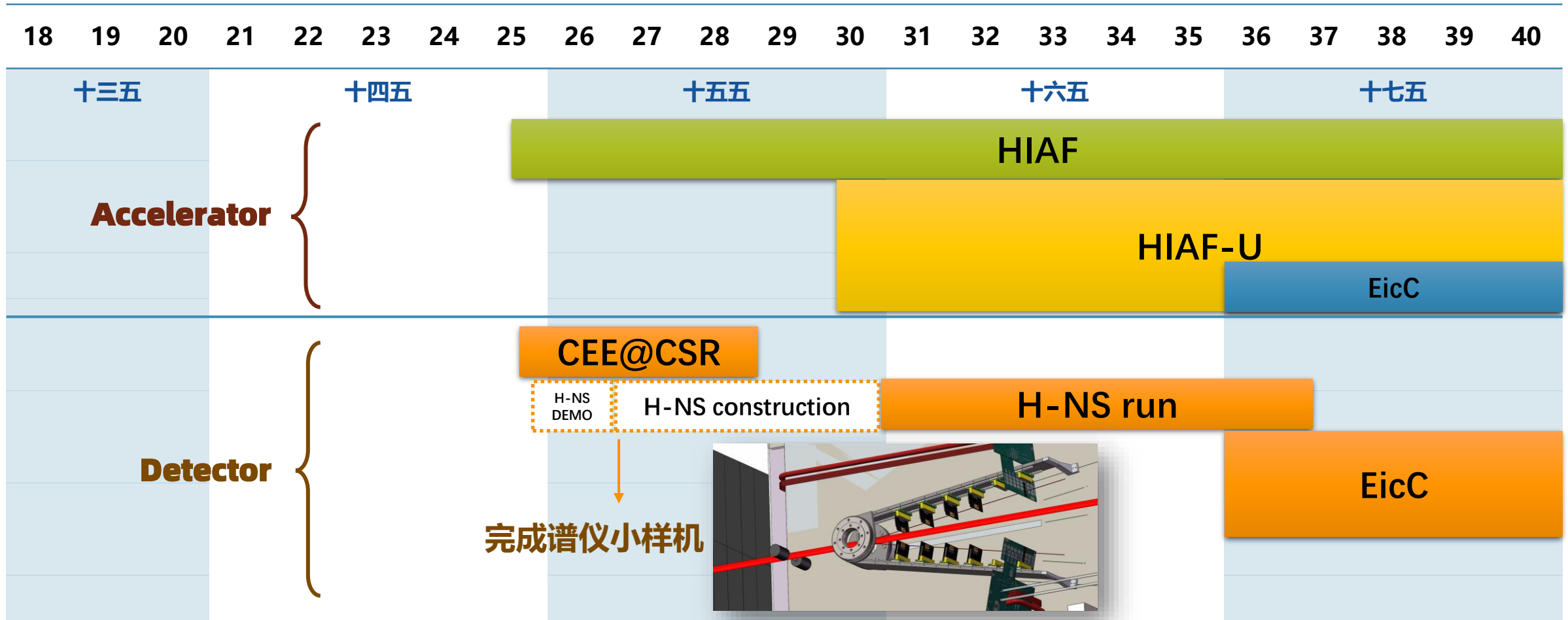
Uncertainty of proton polarization



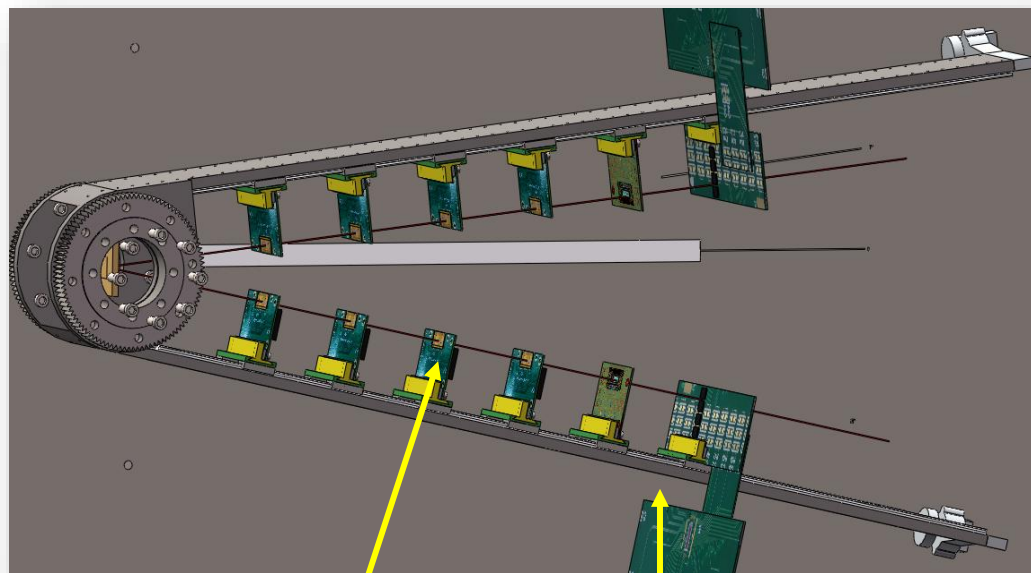
汇报内容

1. H-NS物理亮点
2. H-NS探测器谱仪设计
3. 发展规划
4. 造价估算
5. 现有基础（团队建设、人员配置、经费状态等）
6. 总结

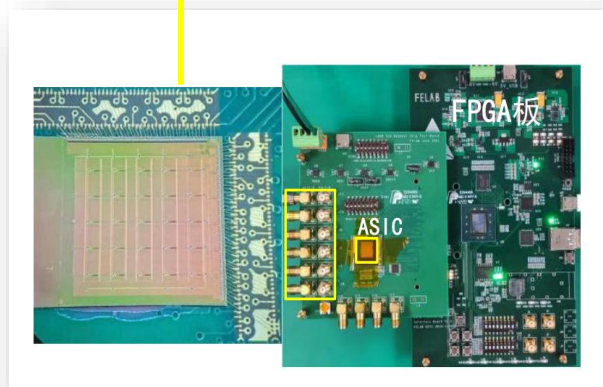
Hyperon-Nucleon Spectrometer → EicC



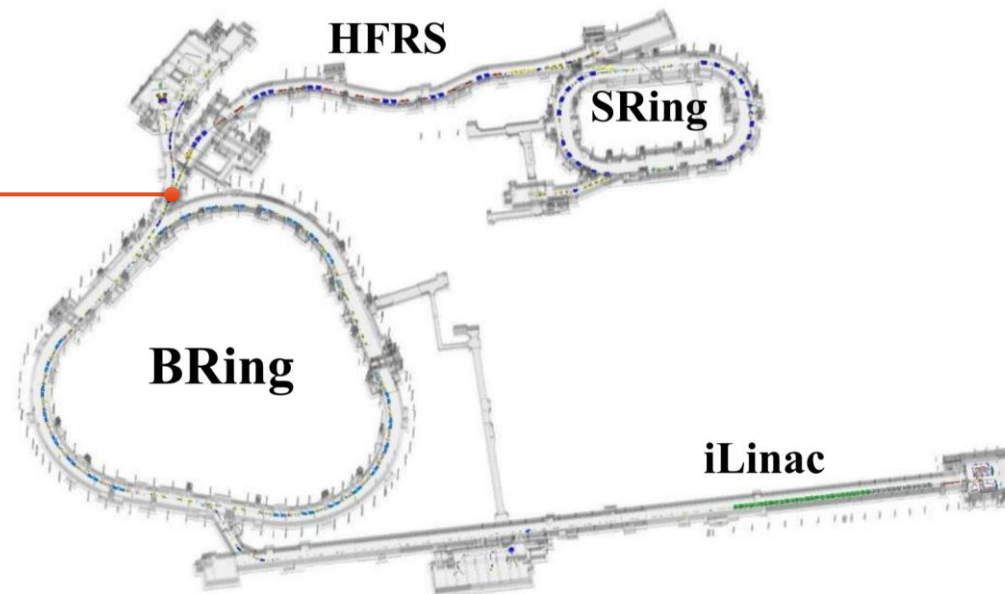
H-NSO设计与研制



MAPS



LGAD



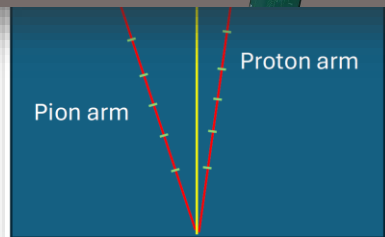
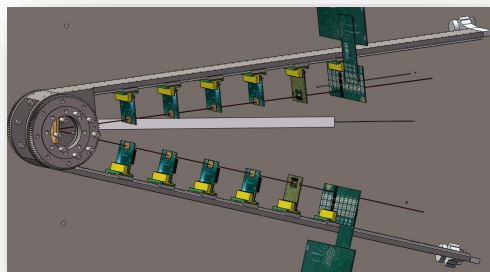
目前正在惠州整体集成，2026年完成！

H-NSO: DEMO 验证关键技术
detector + electronics + DAQ + control system

三步走策略实现H-NS

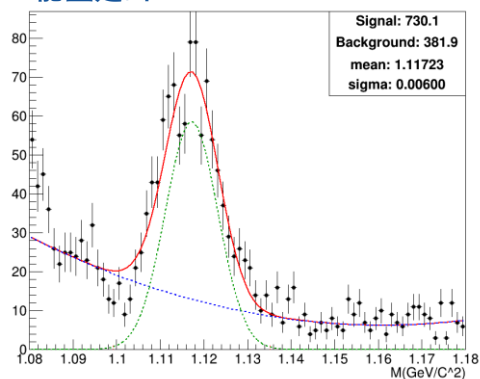
2026

**H-NS0: 探测器+电子学+DAQ
核心技术验证**



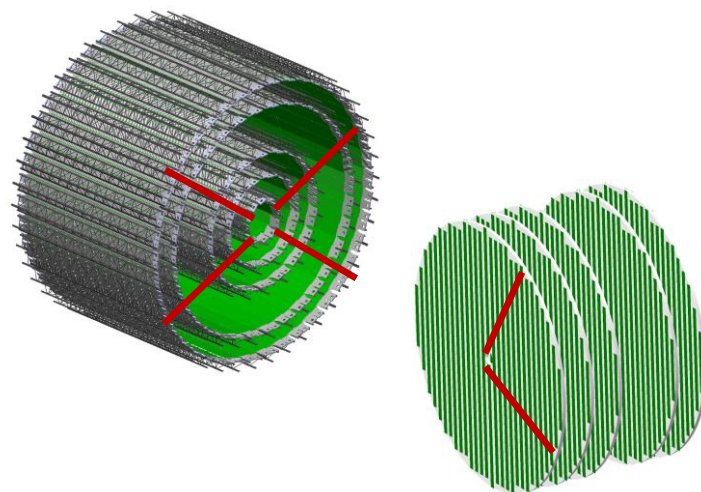
MIC6/LGAD芯片验证

能重建出 Λ

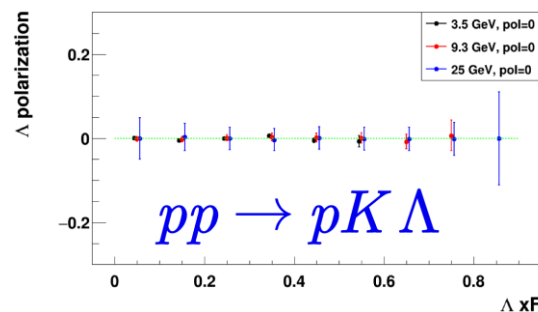


2026-2029

部分探测器，可扩展性



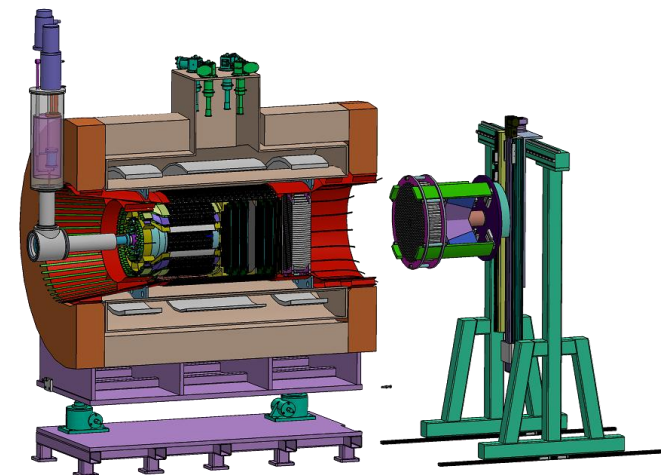
**全尺寸磁铁，部分立体角覆盖的
探测器：可运行，用于物理产出**



部分经费支持

2029-

全尺寸探测器



丰富的物理：

- 高精度、多维度超子/质子极化测量
- 轻强子物理、奇特强子态...
- 核介质效应
- 超核物理
- 核物质相结构

全额支持

汇报内容

1. H-NS物理亮点
2. H-NS探测器谱仪设计
3. 发展规划
4. 造价估算
5. H-NS团队
6. 总结

造价估算

H-NS子系统	造价估计 (万元)
硅径迹探测器	6420
LGAD飞行时间探测器	7615
电磁量能器	3849
超导螺线管磁铁	1834
数据获取系统	1958
探测器控制系统	805
支撑系统	873
固定靶系统	311
总和	23665
劳务费、差旅费、不确定因素和风险预备金 (保守估计)	50%
更新后的总和	35498

汇报内容

1. H-NS物理亮点
2. H-NS探测器谱仪设计
3. 发展规划
4. 造价估算
5. H-NS团队
6. 总结

超子 - 核子谱仪 (H-NS) 合作组

Spokesperson Office

赵雷 (USTC)
赵宇翔 (IMP)

Advisory Committee

高原宁、季向东、梁作堂、马余刚、
孙志宇、赵红卫、赵政国、邹冰松...

PHYSICS WORKING GROUP

PWG1 Simulation

郭爱强 (IMP)
梁羽铁 (IMP)
孙叶磊 (BHU)
张金龙 (SDU)

PWG3 A-A

罗晓峰 (CCNU)
孙旭 (IMP)
谢冠男 (UCAS)

PWG2 p-p

梁羽铁 (IMP)
徐庆华 (SDU)
赵宇翔 (IMP)

。 。 。 。 。

support

DETECTOR WORKING GROUP

Detector Control System

李敏 (IMP)
郭艳蓉 (HFUT)
魏晓娟 (XBMU)

Baryon Polarimeter

梁羽铁 (IMP)
熊伟志 (SDU)

Pixel Tracker

王亚平 (CCNU)
孙向明 (CCNU)
王博群 (IMP)
徐来林 (USTC)

LGAD

刘衍文 (USTC)
刘佩莲 (SDU)
王贤刚 (THU)

EMCal

张卫斌 (IMP)
何万兵 (FDU)
叶志鸿 (THU)

Target

刘红娜 (BNU)
李夏卿 (SDU)
Norihiro (IMP)
勾伯兴 (IMP)

Integration

康新才 (IMP)
余玉洪 (IMP)

Magnet

陈玉泉 (IMP)
朱自安 (USTC)
张展 (HMFL)

DAQ

陈凯 (CCNU)
杨俊峰 (USTC)
李敏 (IMP)

Electronics

秦家军 (USTC)
干奕 (IMP)
张亮 (SDU)
胡坤 (SDU)
郑然 (NWPU)

近代物理研究所内部队伍

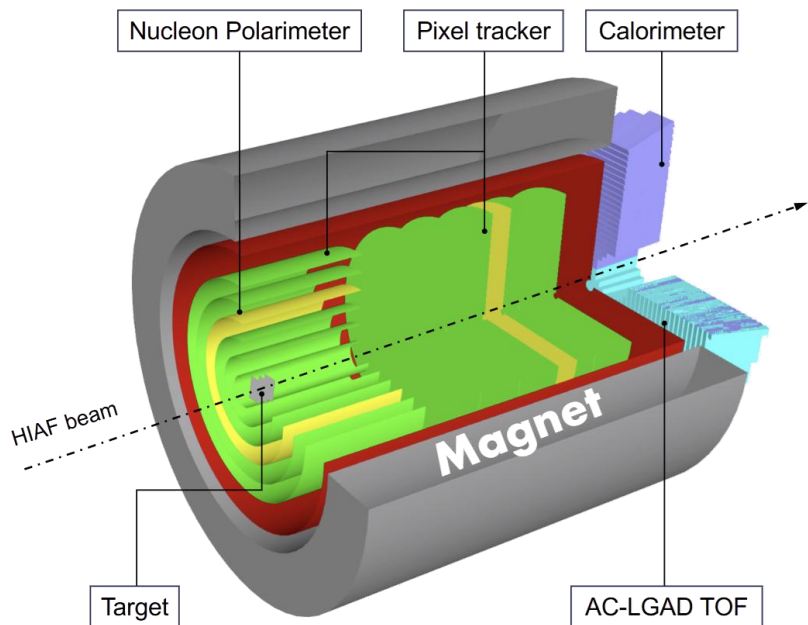
近物所内部跨中心、跨研究室协同合作

- **核子结构室：**曹须、杜东硕、勾伯兴、管颖慧、郭爱强、黄麟钦、李昕、梁羽铁、林德旭、林创新、刘柳明、Norihiro Muramatsu、沈晓民、孙鹏、田野、王博群、谢亚平、张卫斌、张哲、赵宇翔、周一雨
- **核物质相结构室：**何熊宏、申迪宇、孙旭、许怒、张亚鹏
- **硅像素探测器室：**韩维佳、牛晓阳、杨海波、张洪林
- **放射性束物理研究室：**章学恒
- **核电子学室：**付肖丰、孔洁、陆伟健、蒲天磊、干奕、余乾顺、宋源、孙志朋、田静、王长鑫、颜俊伟、赵红赞
- **医用探测技术室：**康新才、李敏、李维龙、毛瑞士、颜小雨、游科杰、张雨樵、周凯、宗心语
- **核探测器室：**段利敏、何志轩、侯婷婷、李荣华、唐述文、苏子赫、王秀华、魏向伦、文湘杰、杨贺润、杨远胜、余玉洪
- **磁铁技术室：**陈玉泉、冯文天、梅恩铭、倪东升、欧贤金、童玉锦、王旭东、杨通军
- **离子源：**李吉波、李立轩、钱程、孙良亭、王鑫宇
- **加速器中心：**封安辉、葛良、葛文文、李武元、刘通、冒立军、申国栋、盛丽娜、万亚鹏、吴凤军、许小伟、杨博、杨建成、张金泉、张翔、赵贺、郑亚军

汇报内容

1. H-NS物理亮点
2. H-NS探测器谱仪设计
3. 发展规划
4. 造价估算
5. H-NS团队
6. 总结

总结



参与单位（目前22家单位）：北京大学、北京航空航天大学、北京师范大学、复旦大学、高能物理研究所、国科大、河南师范大学、湖州师范学院、华东师范大学、华南师范大学、华中师范大学、近代物理研究所、理论物理所、南开大学、清华大学、山东大学、香港中文大学（深圳）、中国原子能研究院、郑州大学、中科大、中山大学...

I. 物理：重子自旋起源

- Λ 产生和极化 ($p+p$)
 - ◆ 核介质效应 ($p+A$)
 - ◆ 整体极化 ($A+A$)
- 强子物理与强子谱 ($p+p$)
 - ◆ s - $\bar{s}$ 系统 (与BESIII及更高能产生 c - $\bar{c}$ 互补)
 - ◆ 极化作为重要额外自由度

II. 对领域贡献：

- 支撑强子物理与重离子物理两个领域
- 国际合作 (日本, 德国)

III. 探测器技术：

- 核心关键技术CEPC, EicC, H-NS, STCF相似
- $H-NS = \frac{1}{2} EicC$

总结

物理：重子自旋起源

1. 基于HIAF提供的世界领先的束流条件，利用 p - p , p - A , A - A 过程研究**重子(包括超子和质子)极化**现象，以自旋为抓手探索物质深层次结构，直接连接未来国际高能核物理大方向电子-离子对撞机物理
2. 在HIAF能区开展能量扫描，研究高重子密度区**核物质相图**并寻找**液-气相变**临界点

探测器技术：自主研发，突破瓶颈

1. 采用**全国产工艺**的硅像素探测器+LGAD飞行时间探测器，将成为首个基于全硅径迹探测器的通用谱仪，领先世界
2. 首次提出具备末态**质子极化测量**功能的新型探测器谱仪概念，并应用于H-NS，确定质子极化

加速器技术：

1. 非极化束流已世界领先
2. 极化束流研发已展开，不仅为H-NS极化实验，更为将来的EicC实验打下坚实基础

明确的物理方向、自主可控的先进探测器技术、优秀的物理队伍

让HIAF成为世界一流的高能核物理研究中心！

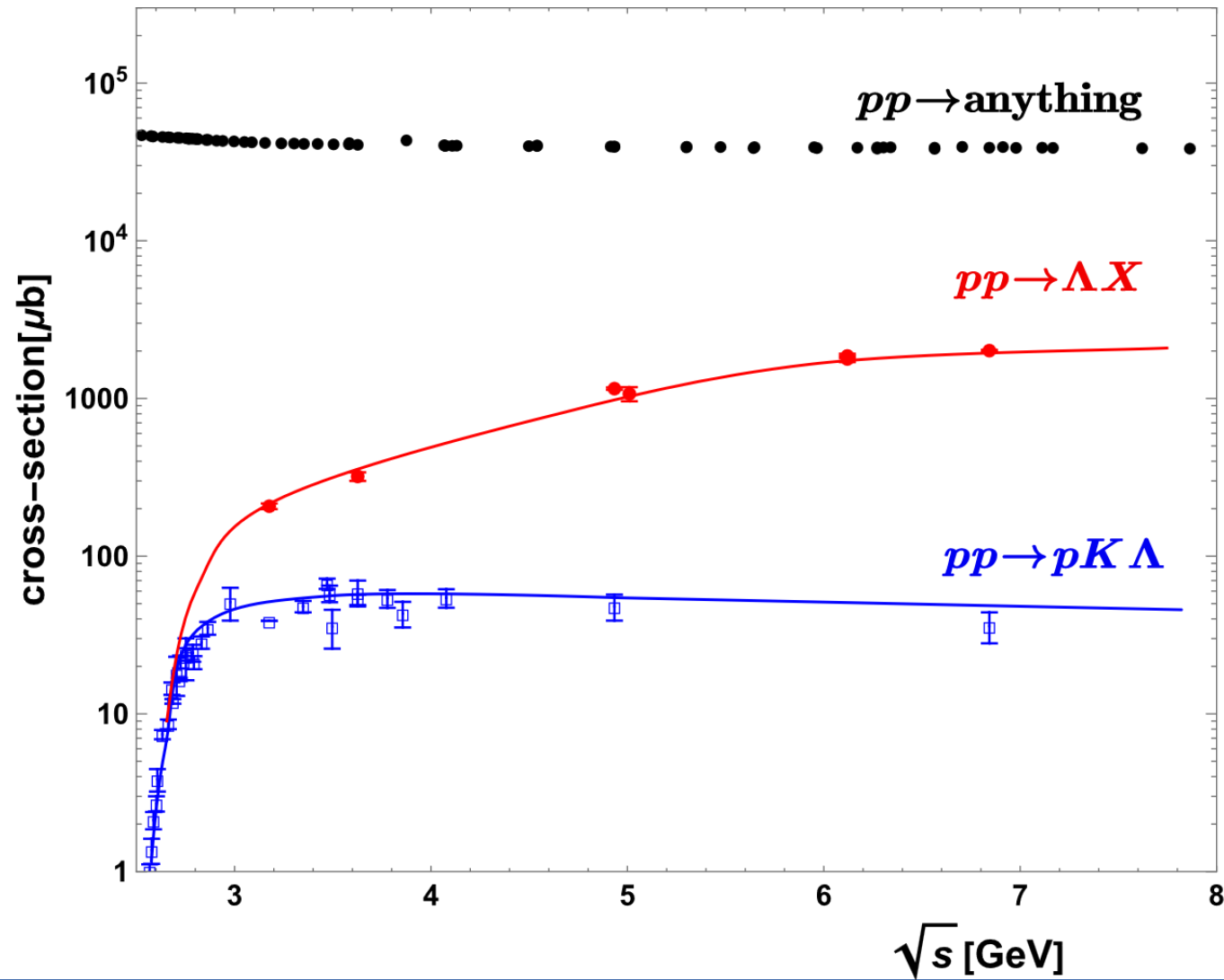
项目相关的文章发表

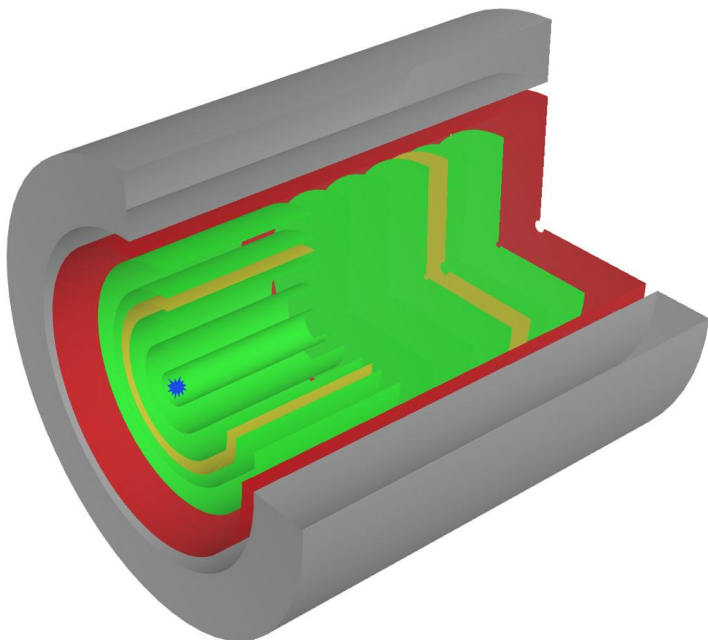
EicC	H-NS
EicC白皮书: Frontiers of Physics, Volume16, Issue 6 (2021)	H-NS 白皮书: 2606.06553 (投稿NST)
科普专题: 《物理》第49卷, 第8期 (2020)	H-NS重子极化仪: Phys. Rev. D 112, L031502 (2025), 2512.02804, 2601.21325
中文白皮书: 《核技术》第43卷, 第2期 (2020)	
中文综述: 《中国科学》第50卷, 第11期 (2020)	
EicC概念设计报告: Frontiers of Physics (Volume-I: 加速器 Volume-II: 物理和探测器), 待发表	
英文综述: Progress in Particle and Nuclear Physics, 待发表	

backups

Beam intensity 千分之一靶

$$10^9 \text{ particle/s} * 0.02 \text{ g/cm}^2 * 100000 * 10^{-30} \text{ cm}^2 * 6.02 * 10^{23} = 1 \text{ MHz}$$



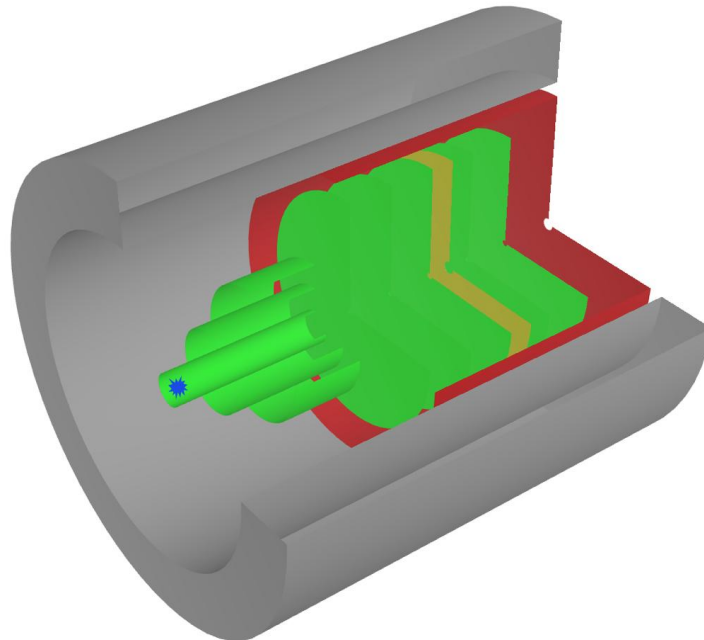


Default:

Silicon: 54491 cm²

LGAD: 48773 cm²

Total: 100%

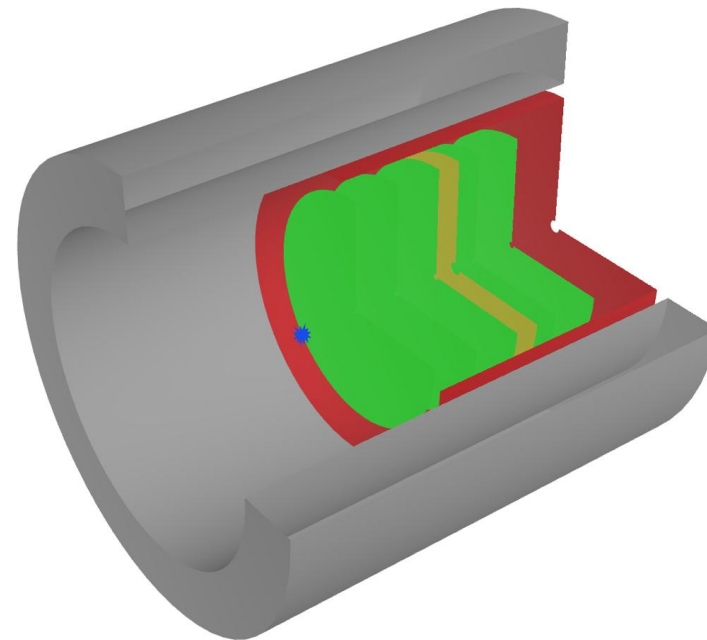


Few barrel+disks:

Silicon: 33756 cm²

LGAD: 31808 cm²

Total: default * 63.5%



Only disks:

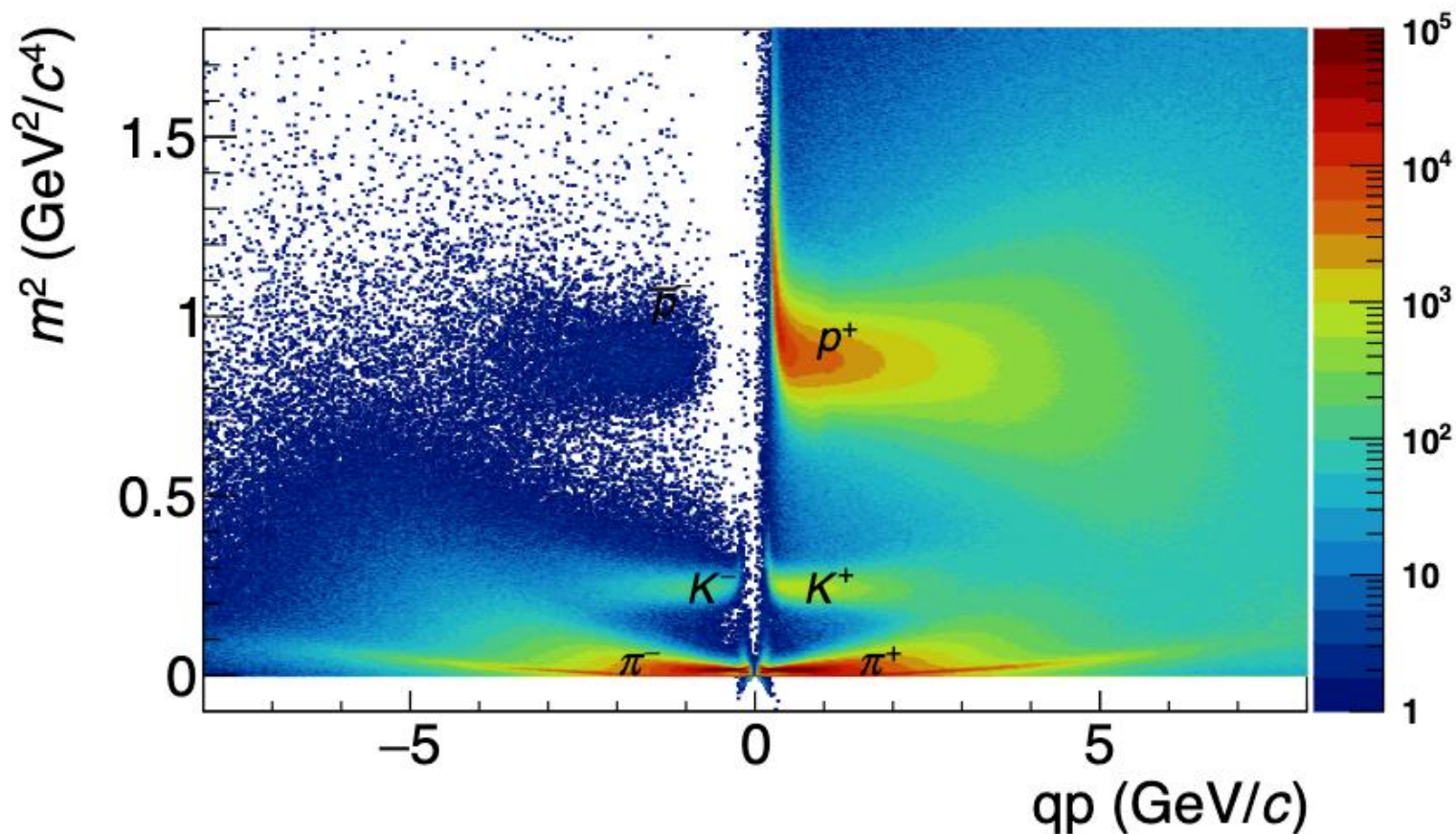
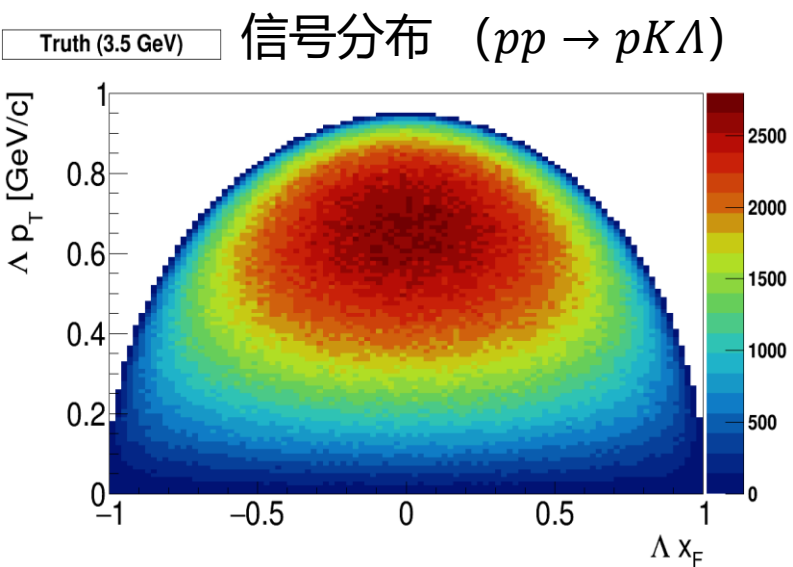
Silicon: 21504 cm²

LGAD: 31808 cm²

Total: default * 51.6%

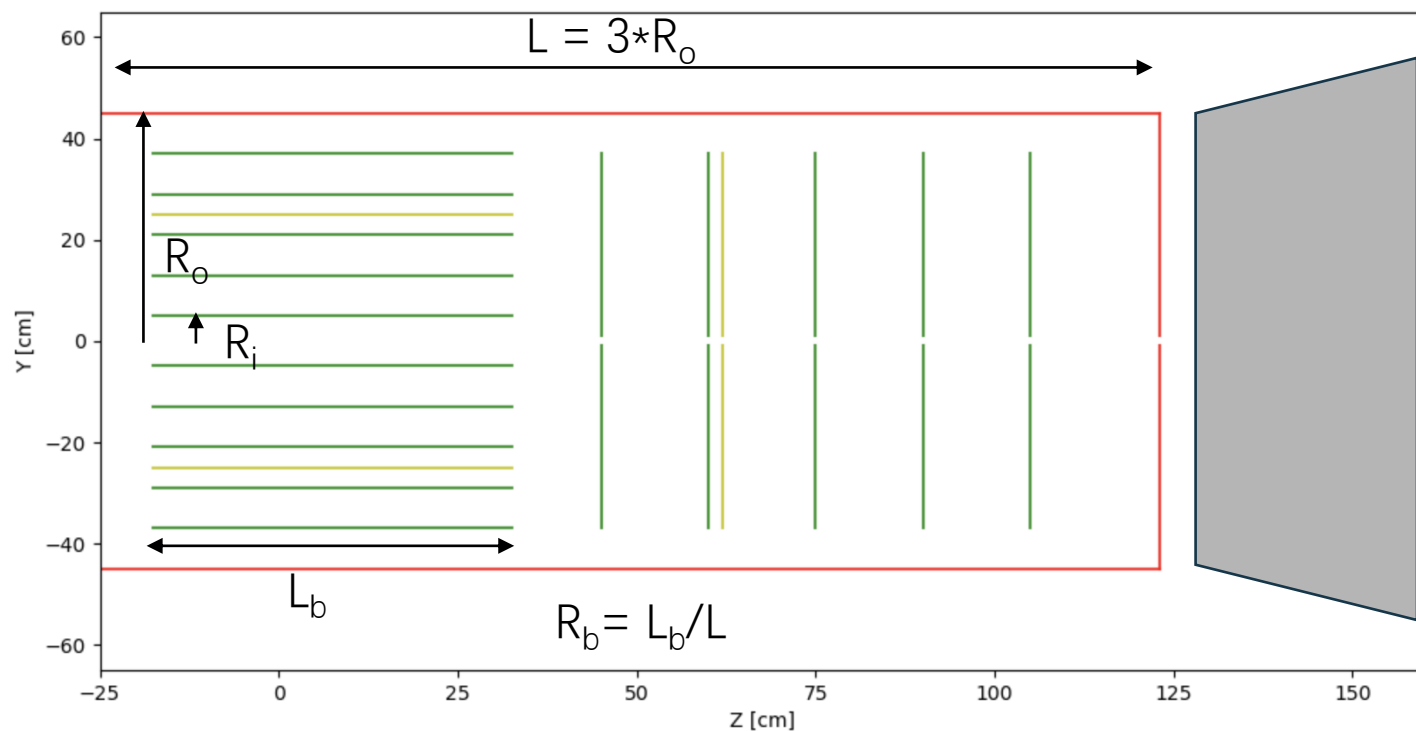
H-NS 性能研究

利用GEANT4等成熟**模拟软件并结合数值计算方法**进行探测器设计和优化。并通过蒙特卡洛模拟验证其性能



谱仪几何结构优化

为了提高谱仪对物理过程探测器效率，我们对谱仪的几何结构进行系统的优化



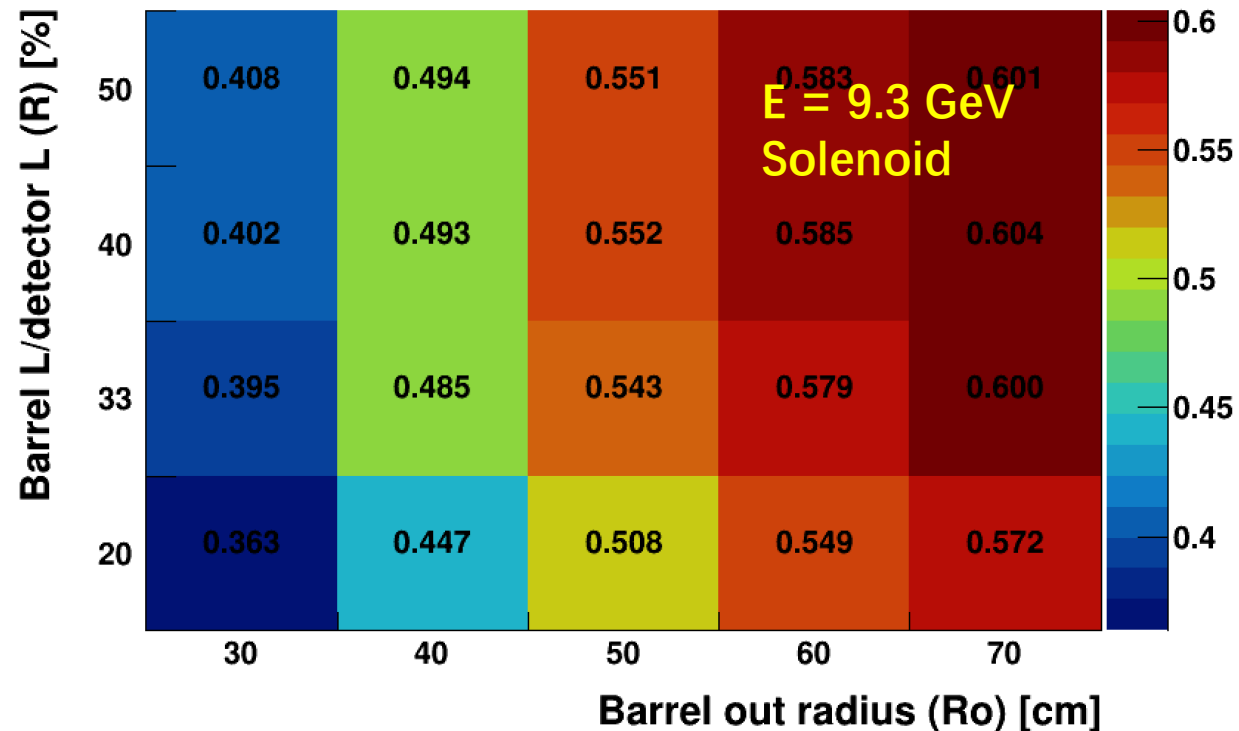
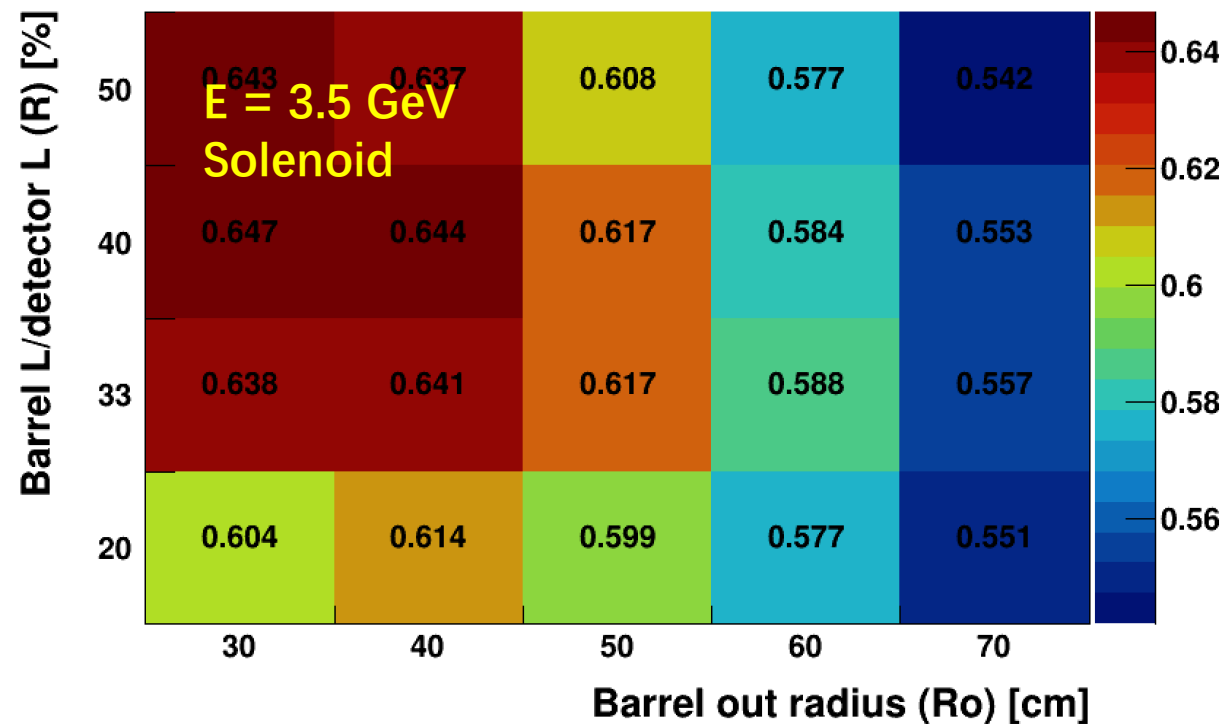
优化参数:

1. 变化 **R_o , R_b** = 桶部与总长度的比值
2. **LGAD**的长度设置为 R_o 的3倍
3. 研究Lambda重建的分辨率和效率
4. 扫描 R_o 和 R_b 以获得最优值

$R_o (L)/R_b$	0.2	0.33	0.4	0.5
30 (90)	$R_o_{30_L_90_R_20}$	$R_o_{30_L_90_R_33}$	$R_o_{30_L_90_R_40}$	$R_o_{30_L_90_R_50}$
40 (120)	$R_o_{40_L_120_R_20}$	$R_o_{40_L_120_R_33}$	$R_o_{40_L_120_R_40}$	$R_o_{40_L_120_R_50}$
50 (150)	$R_o_{50_L_150_R_20}$	$R_o_{50_L_150_R_33}$	$R_o_{50_L_150_R_40}$	$R_o_{50_L_150_R_50}$
60 (180)	$R_o_{60_L_180_R_20}$	$R_o_{60_L_180_R_33}$	$R_o_{60_L_180_R_40}$	$R_o_{60_L_180_R_50}$
70 (210)	$R_o_{70_L_210_R_20}$	$R_o_{70_L_210_R_33}$	$R_o_{70_L_210_R_40}$	$R_o_{70_L_210_R_50}$

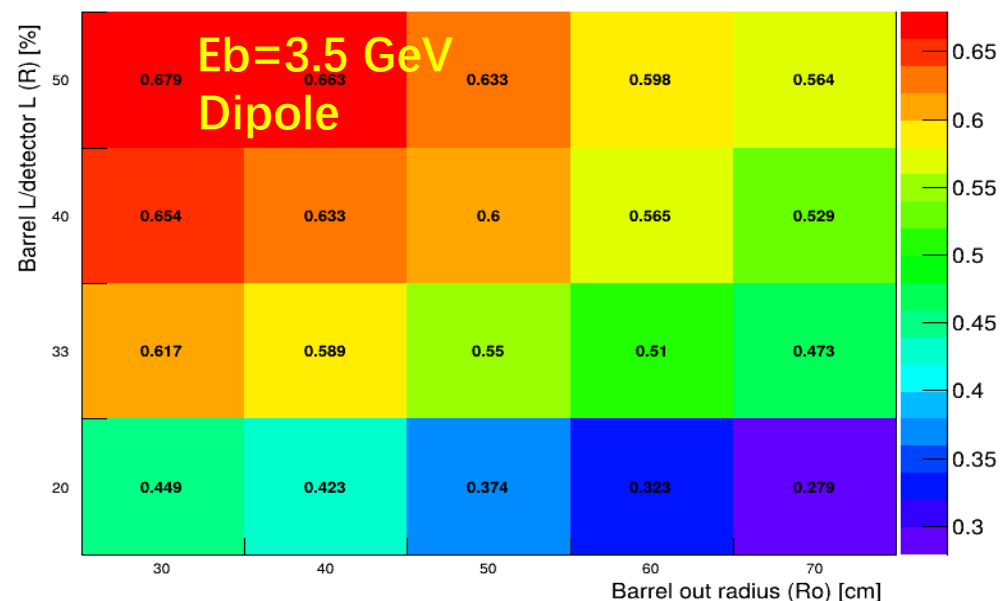
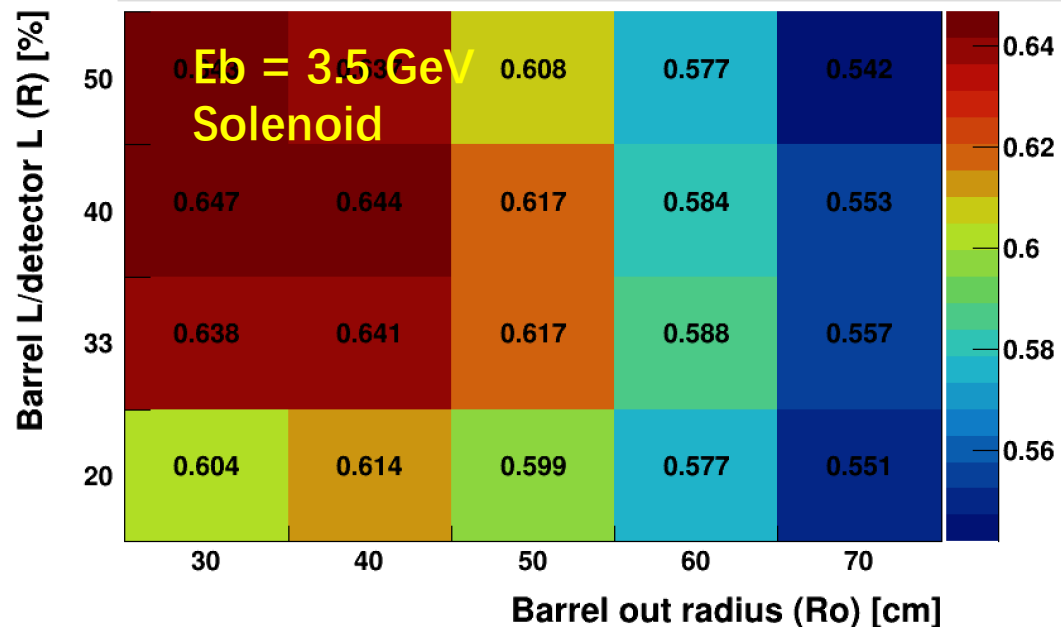
二、实施进度：谱仪几何优化

- 信号过程重建效率随几何参数L和Ro的分布
- 对于不同能量质子束流，最优结构不同



二、实施进度：谱仪几何优化

- 不同B场配置下的效率比较
- 螺线管由于其相对成熟工艺及较小引入系统误差为最优选择



	Solenoid	Dipole
Pros	- 设计和制造更为便捷 - 在ϕ方向对称	效率略高
Cons	效率略低	- 设计和制造困难 - 在ϕ方向不对称 - 低Pz的径迹低效率

同加速器团队保持密切的沟通与合作→极化束流



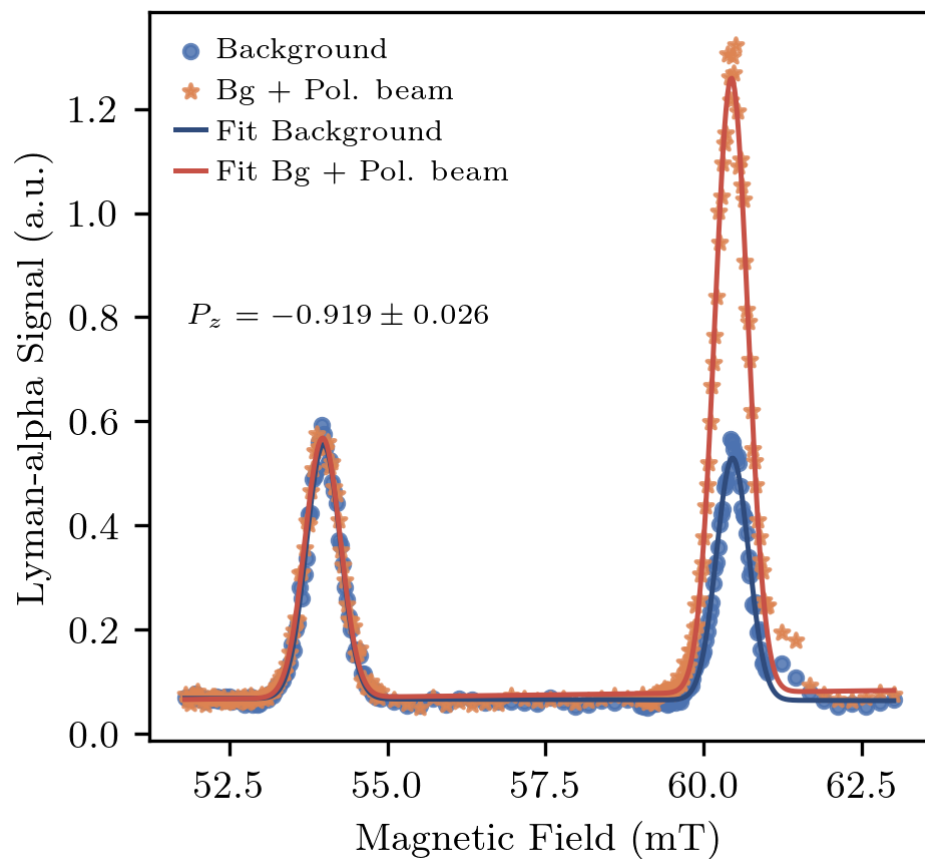
极化离子源团队

科技部重点研发项目支持

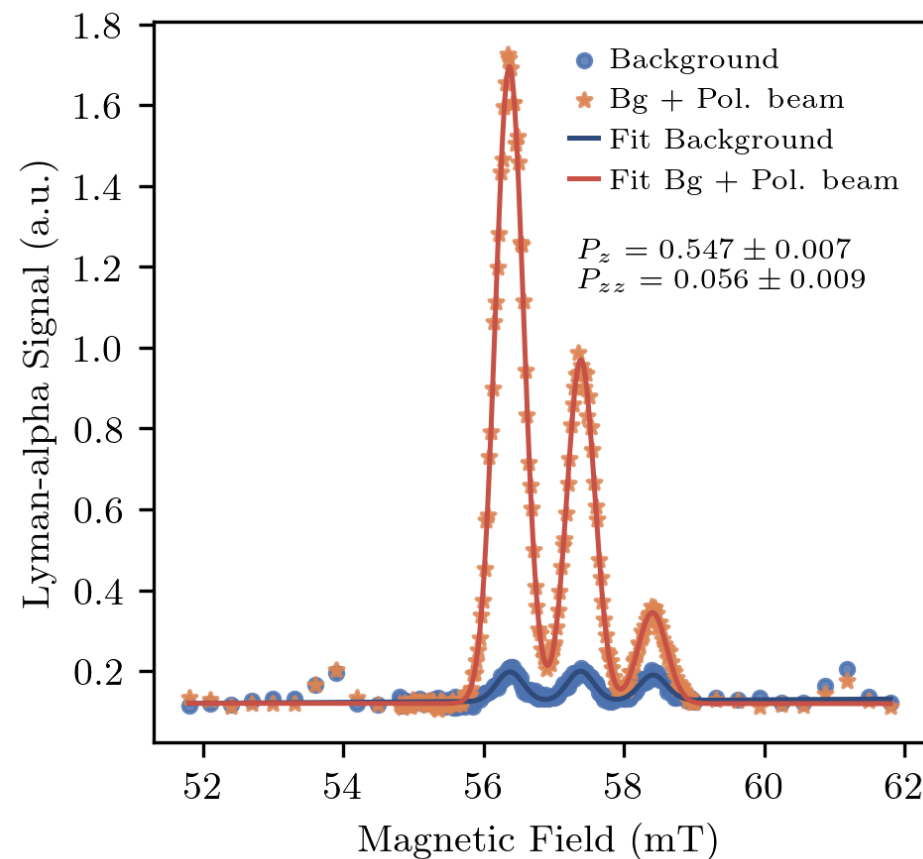
自主研发首台
高极化度强流 ($H^+/D^{+\uparrow}$) 离子源

极化离子源研发进展

高级化度 H^+/D^+



质子束流极化度 92%

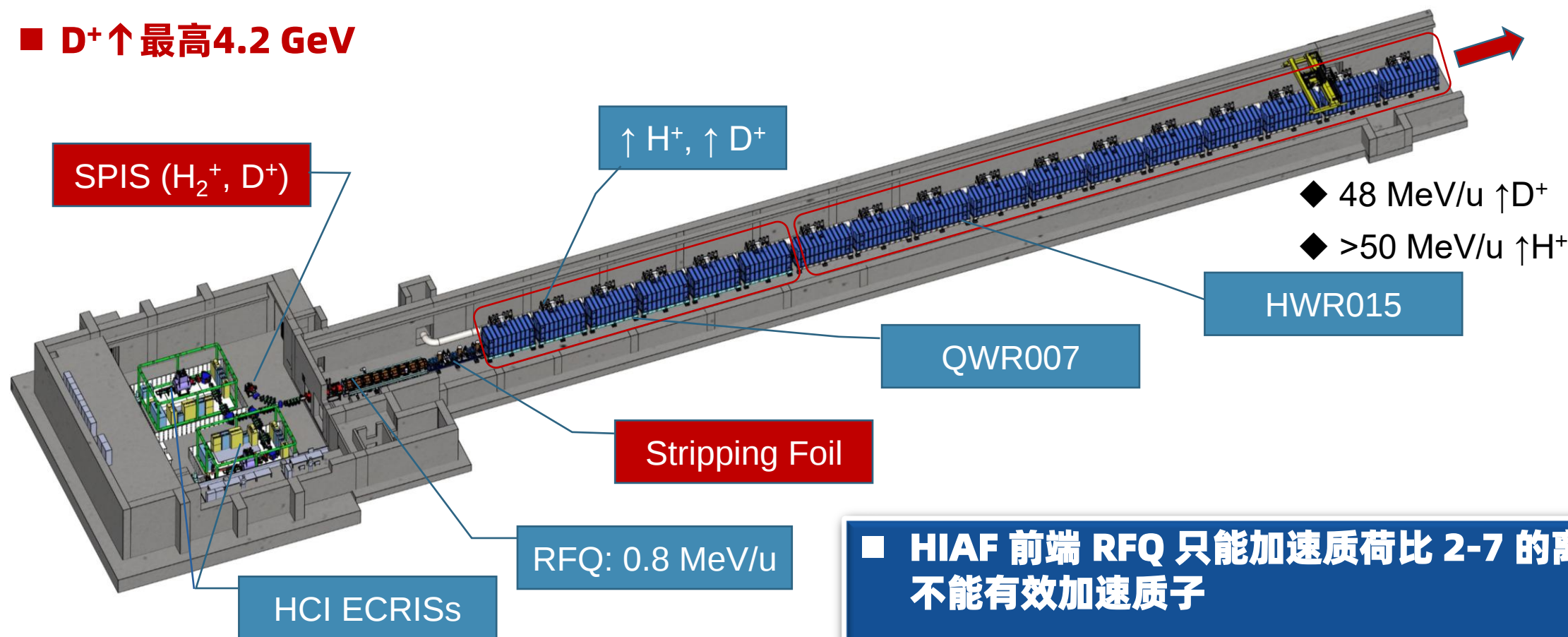


氘离子束流极化度 82%

未来规划：HIAF极化离子源

■ H^+ ↑ 最高9.3 GeV

■ D^+ ↑ 最高4.2 GeV



■ HIAF 前端 RFQ 只能加速质荷比 2-7 的离子，不能有效加速质子

■ 可能的方案：极化 H_2^+ 离子源 & 剥离靶

未来规划：HIAF极化束加速

■ 极化离子产生

- 极化离子源

■ 极化离子加速

- Siberian Snake
- Spin Rotator

■ 束流极化度测量

- Lamb-shift Polarimeter
- pC大角度散射 @ 48 MeV
- pC小角度散射 @ BRing
- pp散射 @ BRing

