



课题1:超核谱仪的设计仿真及 软件框架搭建

报告人：郭爱强

负责单位：中国科学院近代物理研究所

合作单位：北京航空航天大学



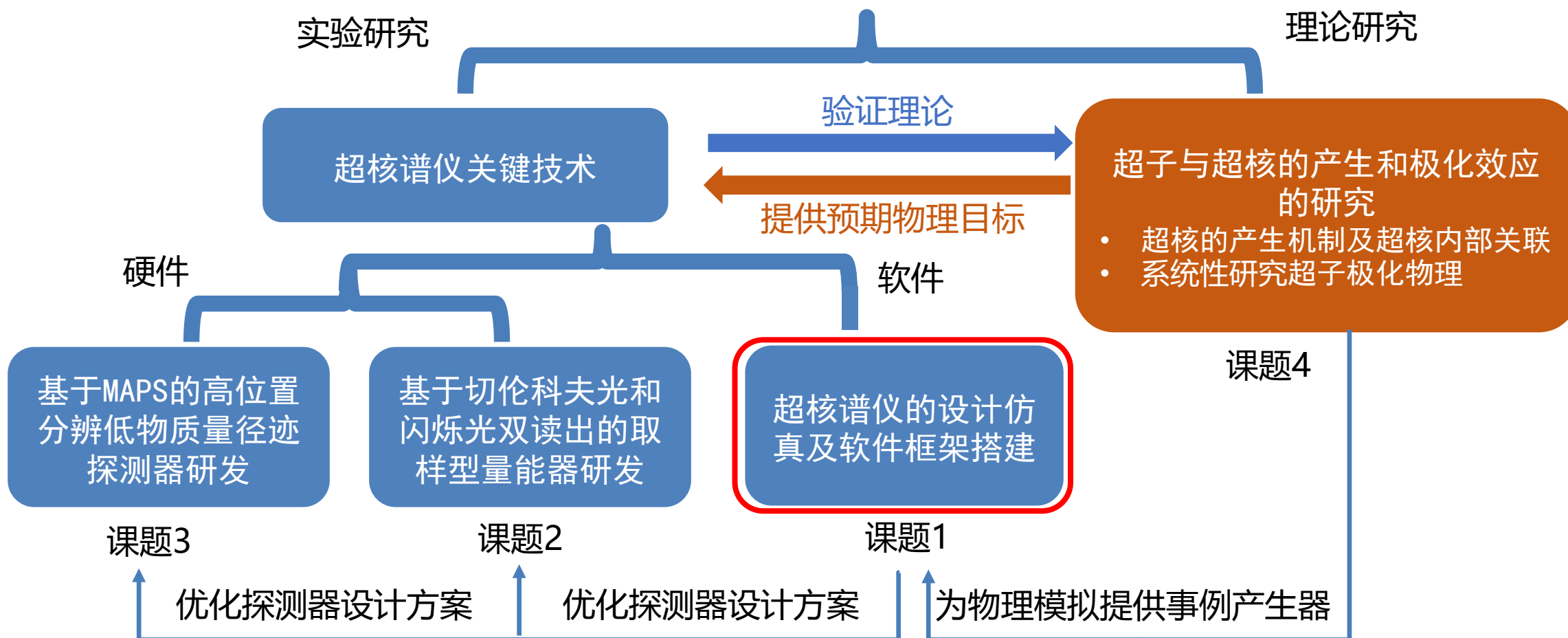
提纲



- 一 课题承担任务和目标
- 二 技术方案及实施进度
- 三 研究课题及组织框架
- 四 总结及展望

一、课题1承担项目任务

基于HIAF的超核谱仪



一、任务分解：课题1任务

课题一：超核谱仪的设计仿真及软件框架搭建

超核谱仪设计

利用先进模拟软件完成构型设计
完成关键指标性能研究，
如动量分辨，顶点分辨等

超核谱仪软件开发

基于FairRoot完成超核谱仪软件框架
完成事例产生重建算法开发

提供优化思路  提供模拟参数  提供模拟工具 

超核物理模拟

利用得到的探测器性能参数进行关键物理模拟，明确物理目标
通过模拟结果为探测器设计优化提供思路

课题承担单位：中国科学院近代物理研究所

课题参与单位：北京航空航天大学

一、任务分解：课题1任务

课题一：超核谱仪的设计仿真及软件框架搭建

超核谱仪设计

利用先进模拟软件完成构型设计
完成关键指标性能研究，如动量分辨，顶点分辨等

超核谱仪软件开发

基于FairRoot完成超核谱仪软件框架
完成事例产生重建算法开发

提供优化思路  提供模拟参数  提供模拟工具

超核物理模拟

利用得到的探测器性能参数进行关键物理模拟，明确物理目标
通过模拟结果为探测器设计优化提供思路

课题一主要考核指标

超核谱仪设计：完成结构设计及性能研究，提交设计报告

超核谱仪软件开发：完成软件框架搭建，及事例产生重建算法开发，提交软件包及使用手册

超核物理模拟：实现关键物理过程的模拟，明确超核谱仪物理目标

课题承担单位：中国科学院近代物理研究所

课题参与单位：北京航空航天大学

二、技术挑战

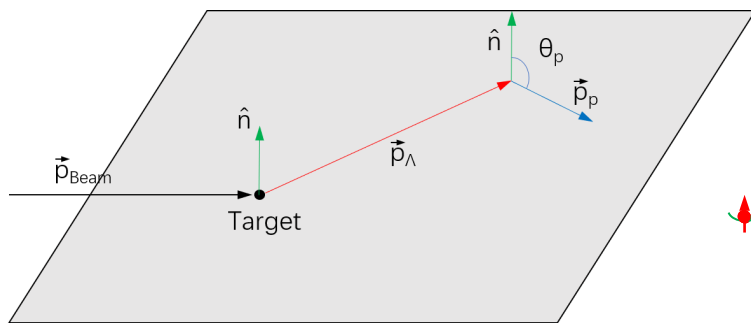
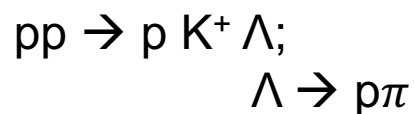
超子-核子极化

- 通过p-p, p-A, AA过程研究超子及核子极化现象
- 寻找极化来源, 理解非微扰QCD

重离子碰撞实验特点:

高事例率, 高噪声, 强辐照

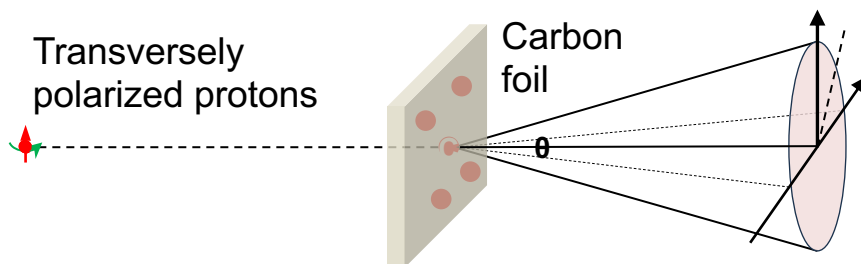
超子极化



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

核子极化

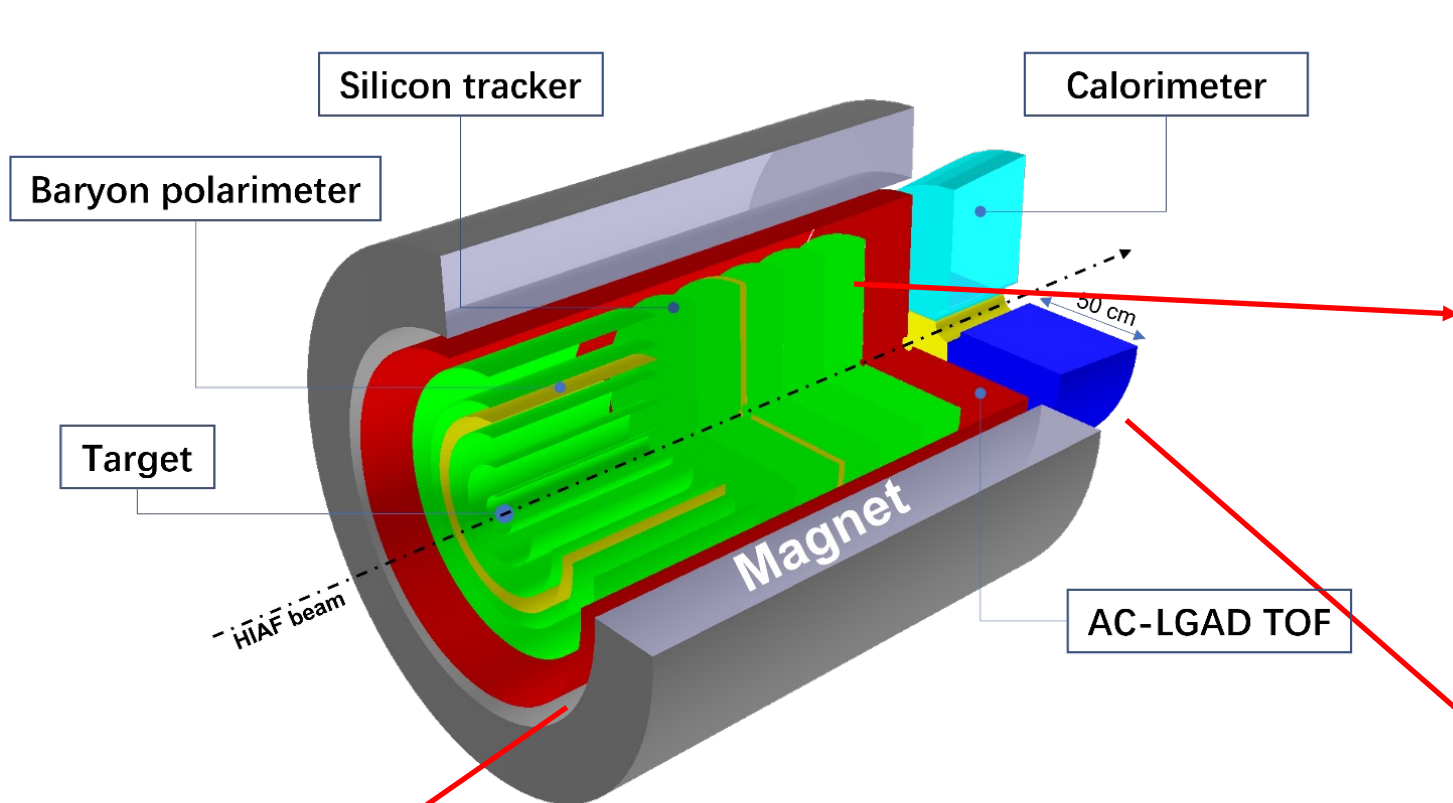
$$\frac{d\sigma}{d\phi d\cos\theta} = \frac{1}{2\pi} \frac{d\sigma_0}{d\cos\theta} [1 + \underline{P_y A_N(\theta)} \cos\phi]$$



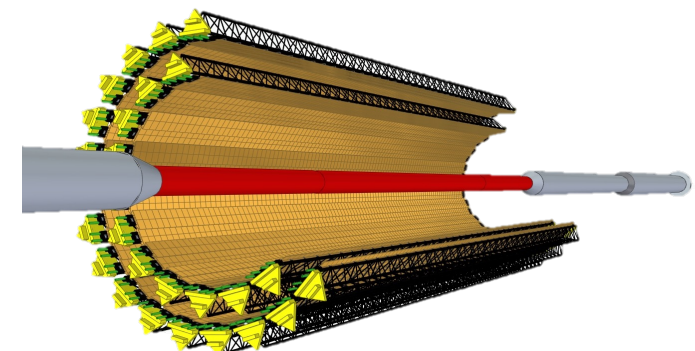
技术挑战:

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

二、技术路线及解决方案



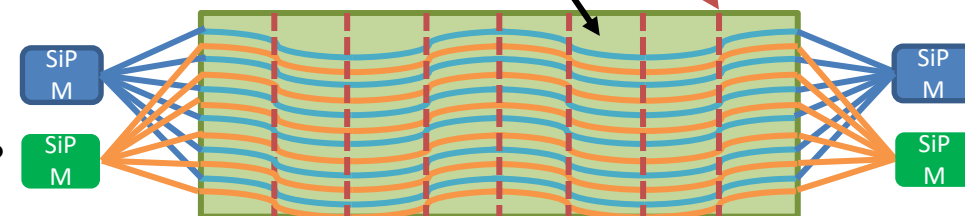
基于国产工艺的硅像素探测器



空间分辨: $\sim 5 \mu\text{m}$ @ 像素尺寸: $30 \mu\text{m}$, 物质质量: $< 0.35\% X/X_0$

高精度双读出型量能器

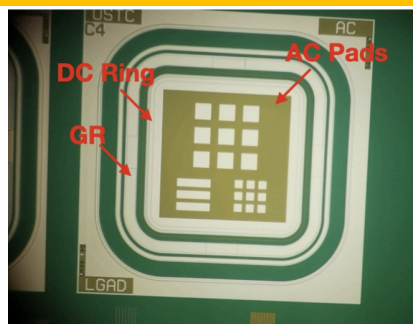
环氧树脂与金属微颗粒 铜网



闪烁光纤

切伦科夫光纤 (塑料/石英)

低增益雪崩探测器



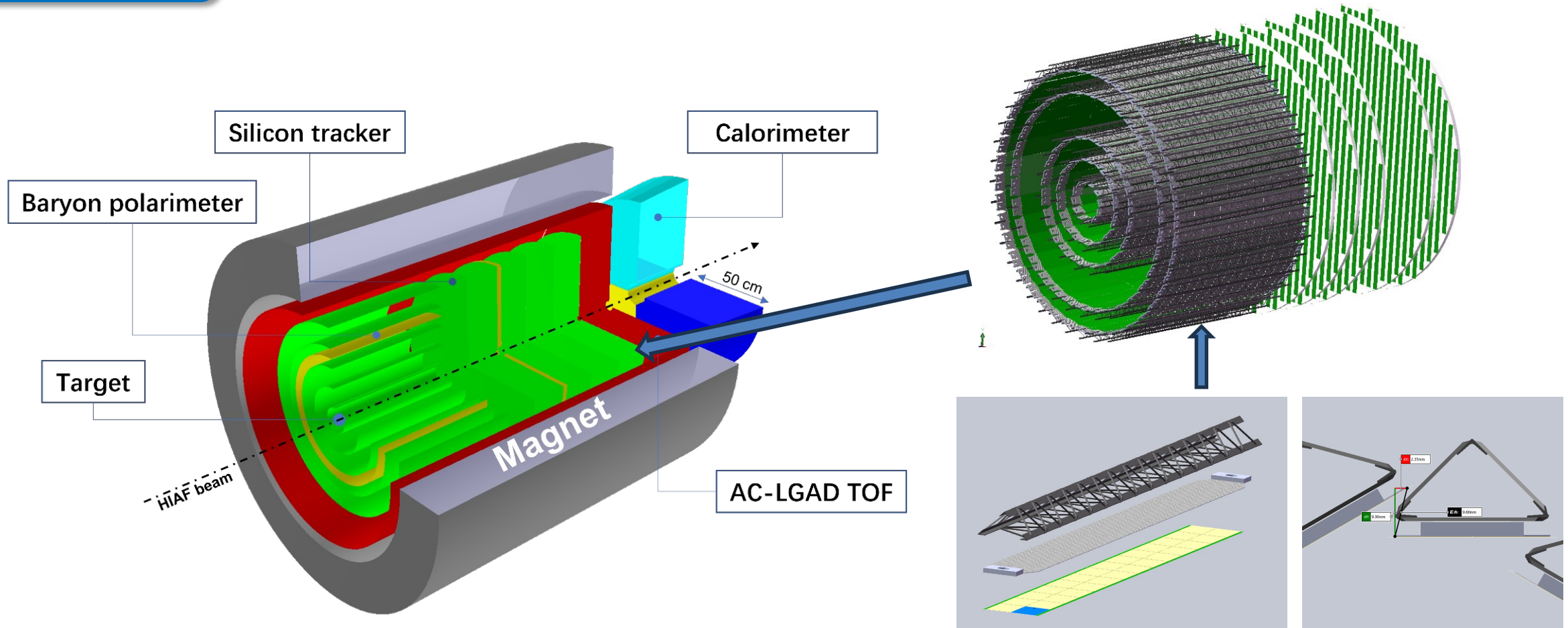
像素/微条尺寸:
大Pad: $100/150 \mu\text{m}$,
小Pad: $50/75 \mu\text{m}$.
时间分辨: $20 \sim 30$ 皮秒

能量分辨 $\sim 5\%/\sqrt{E[\text{GeV}]}$
电磁/强子簇射区分 $> 95\%$

二、实施进度：谱仪设计仿真

谱仪设计仿真

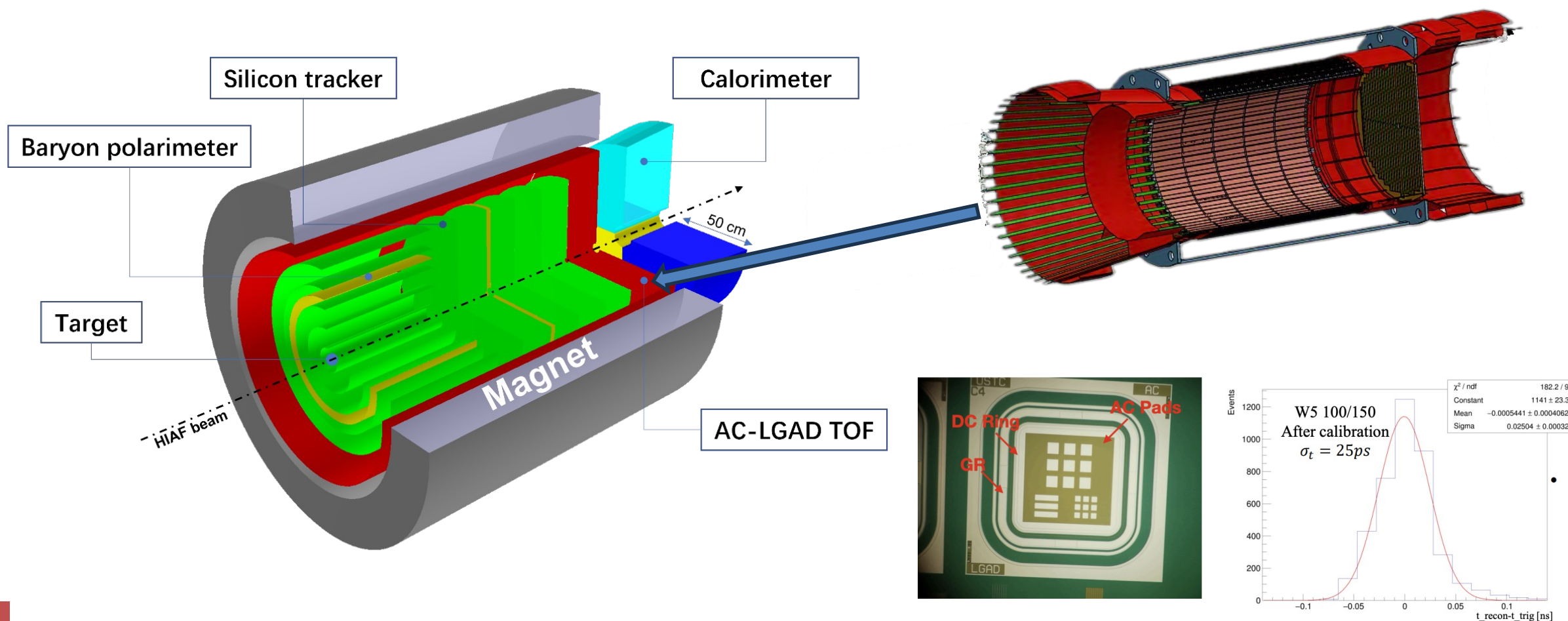
技术路线：利用GEANT4等成熟**模拟软件并结合数值计算方法**进行探测器设计和优化。并通过蒙特卡洛模拟验证其性能



二、实施进度：谱仪设计仿真

谱仪设计仿真

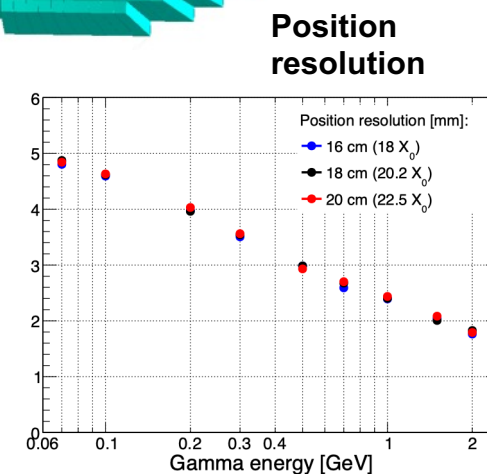
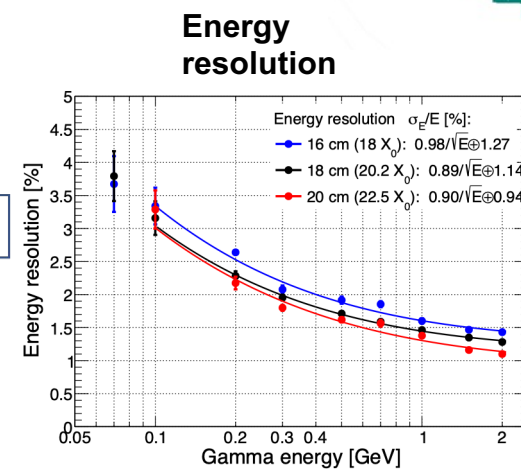
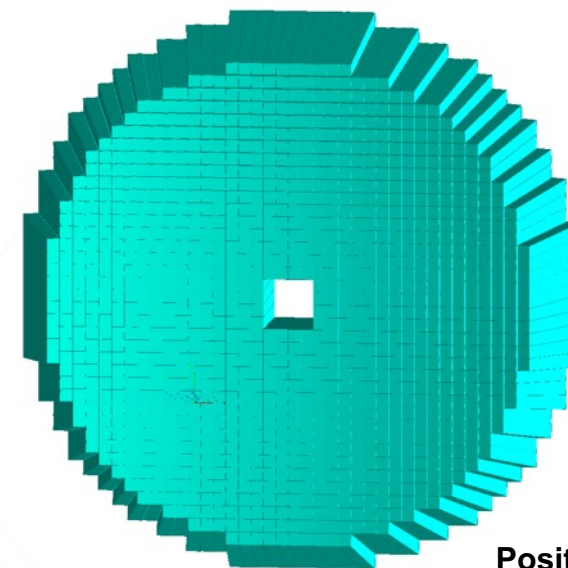
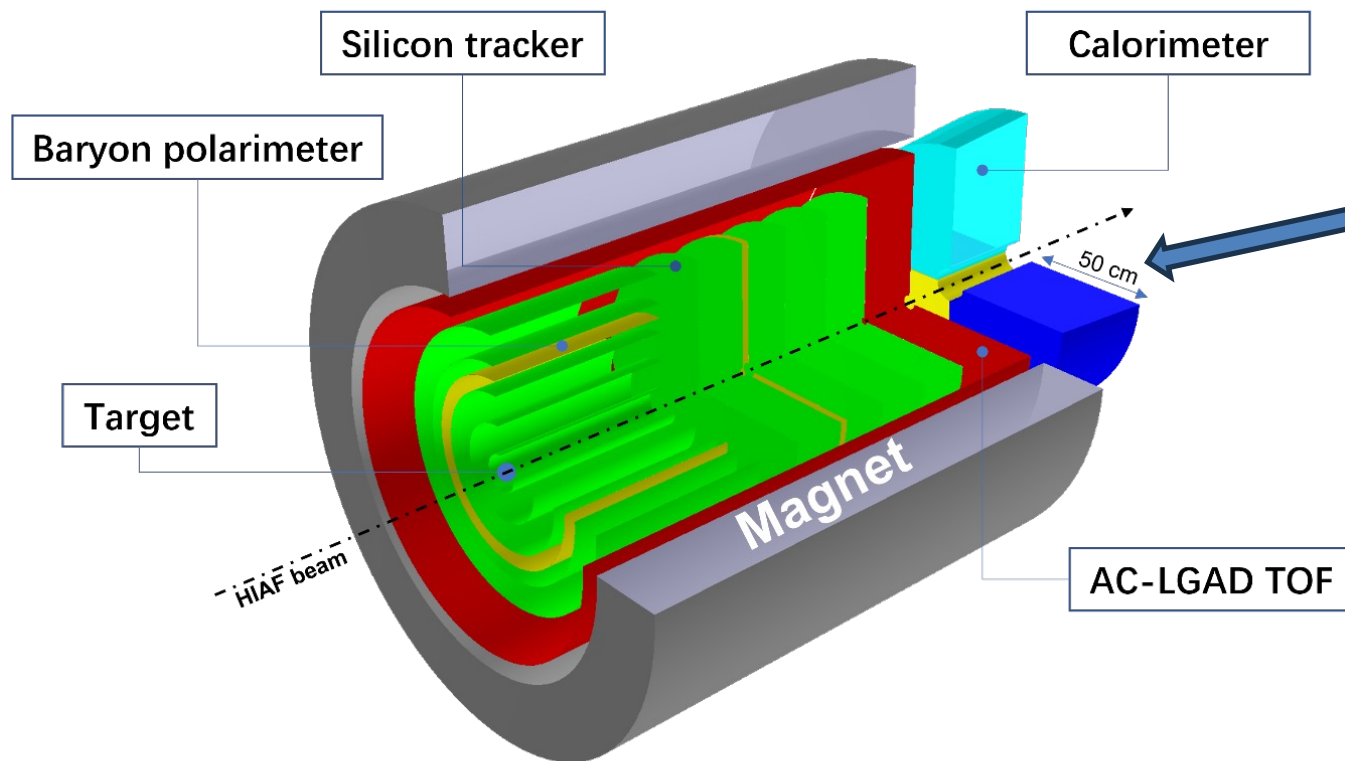
技术路线：利用GEANT4等成熟**模拟软件并结合数值计算方法**进行探测器设计和优化。并通过蒙特卡洛模拟验证其性能



二、实施进度：谱仪设计仿真

谱仪设计仿真

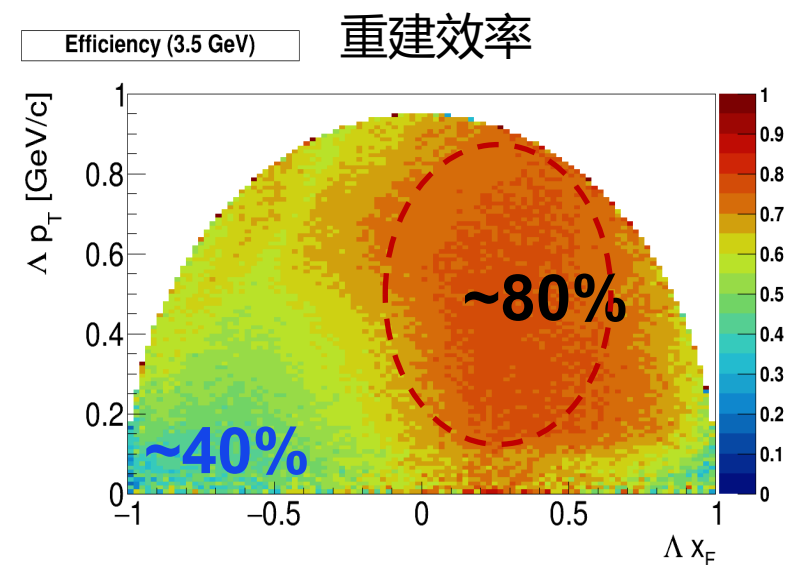
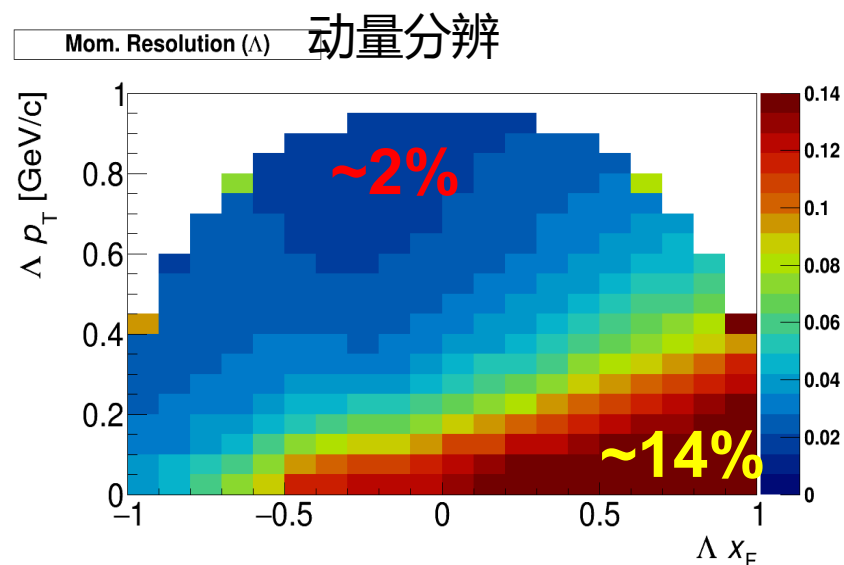
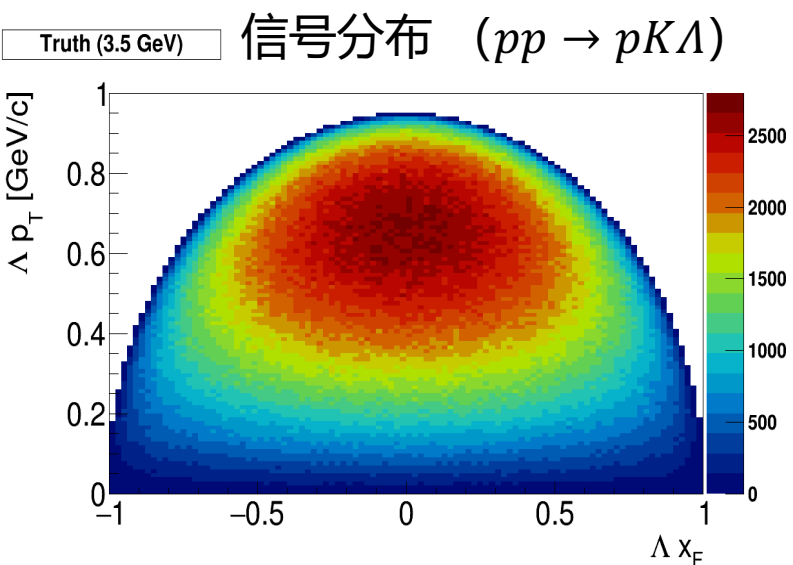
技术路线：利用GEANT4等成熟**模拟软件**并结合**数值计算方法**进行探测器设计和优化。并通过蒙特卡洛模拟验证其性能



二、实施进度：谱仪设计仿真

谱仪设计仿真

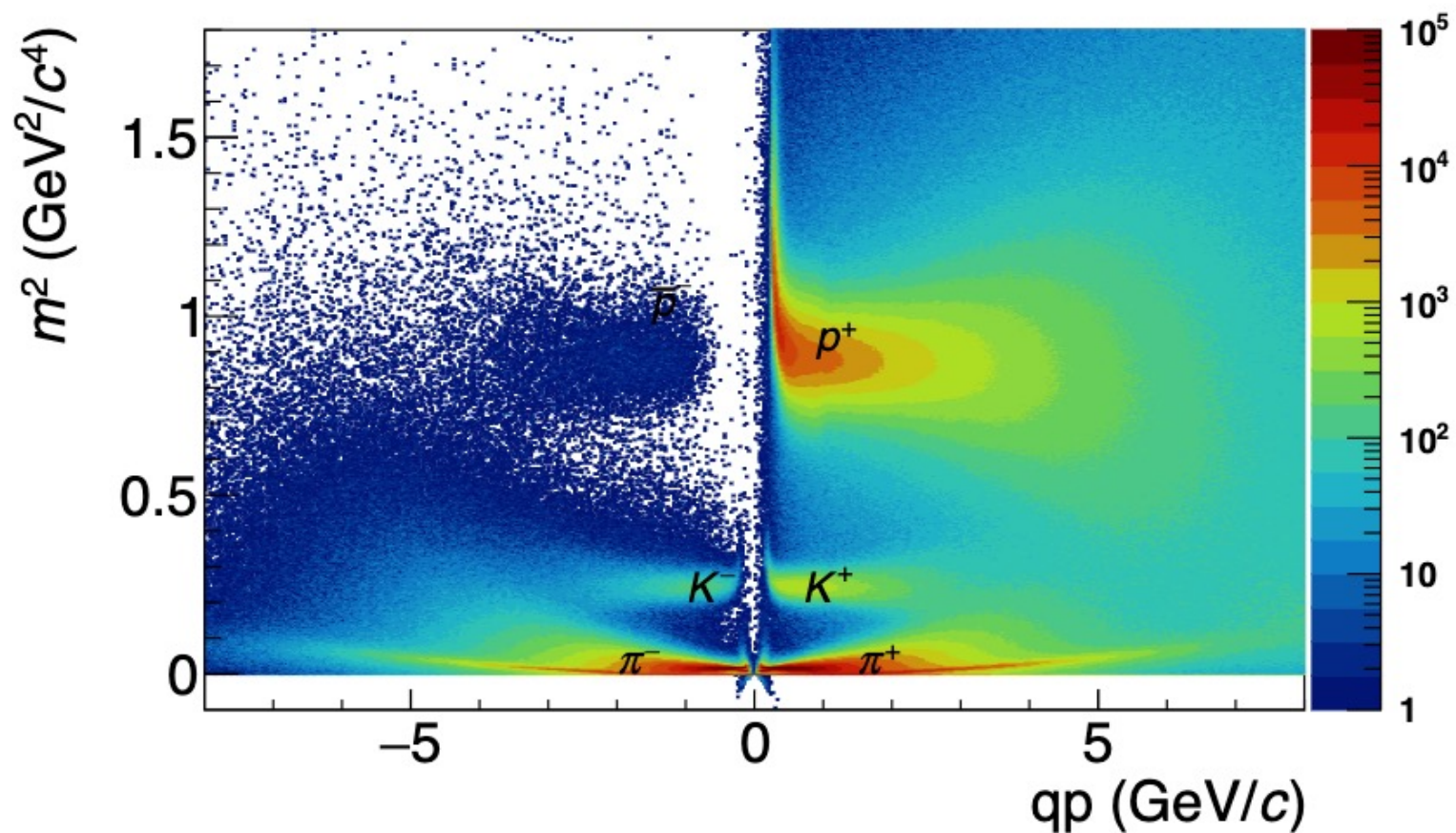
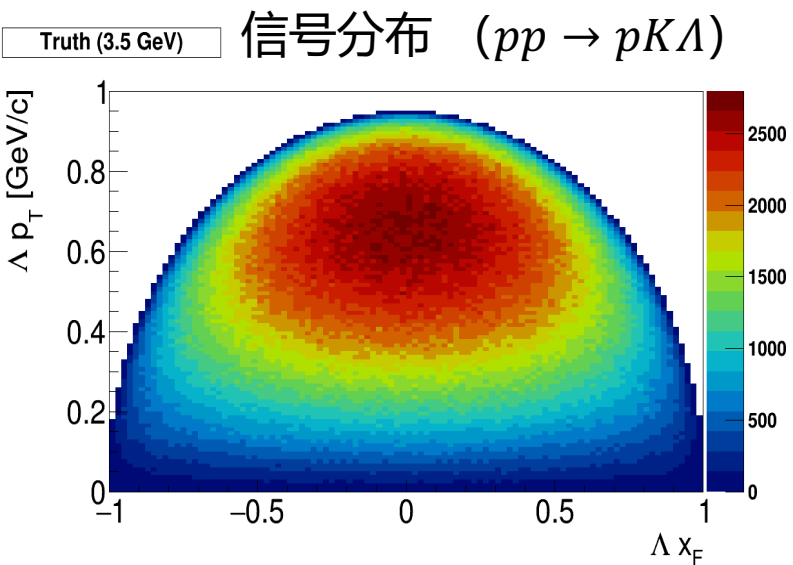
技术路线：利用GEANT4等成熟**模拟软件**并结合**数值计算方法**进行探测器设计和优化。并通过蒙特卡洛模拟验证其性能



二、实施进度：谱仪设计仿真

谱仪设计仿真

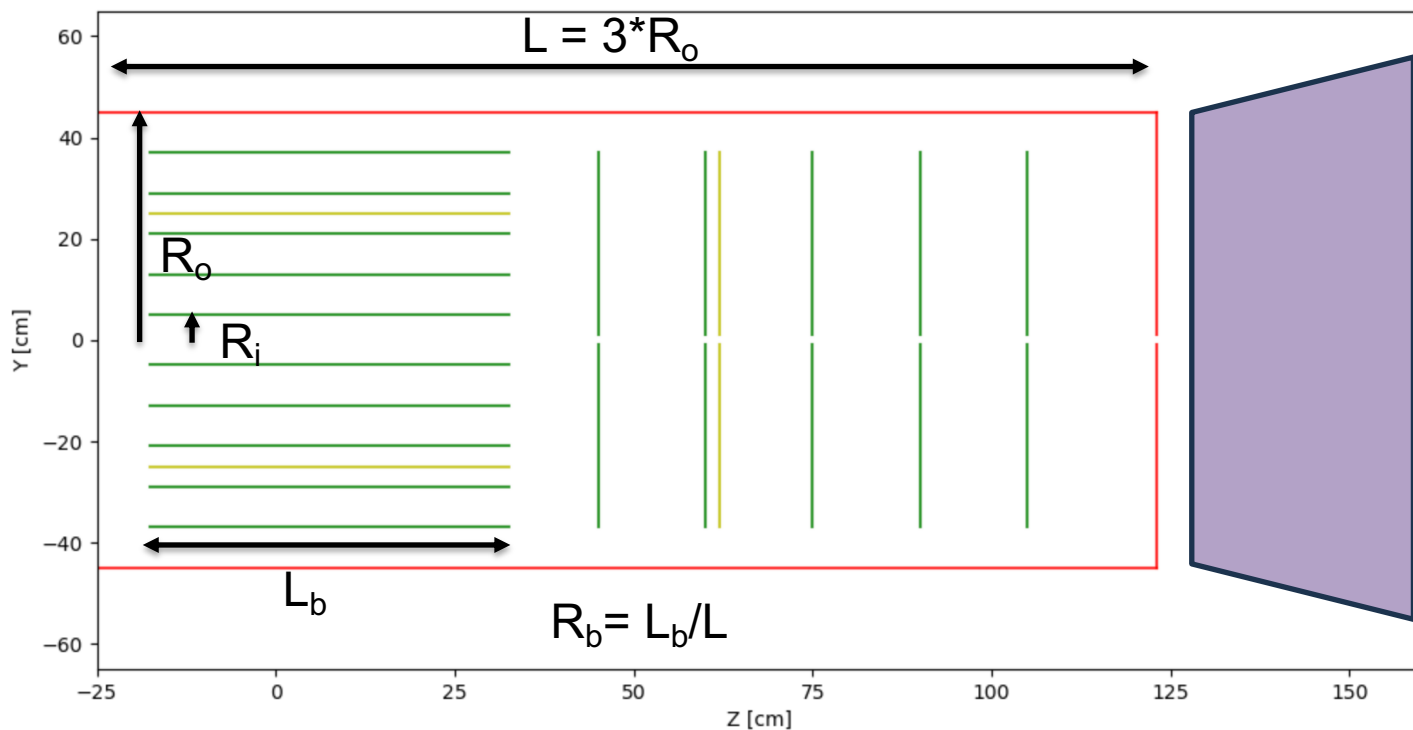
技术路线：利用GEANT4等成熟模拟软件并结合数值计算方法进行探测器设计和优化。并通过蒙特卡洛模拟验证其性能



二、实施进度：谱仪几何优化

谱仪设计仿真

技术路线：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



The parameters are optimized:

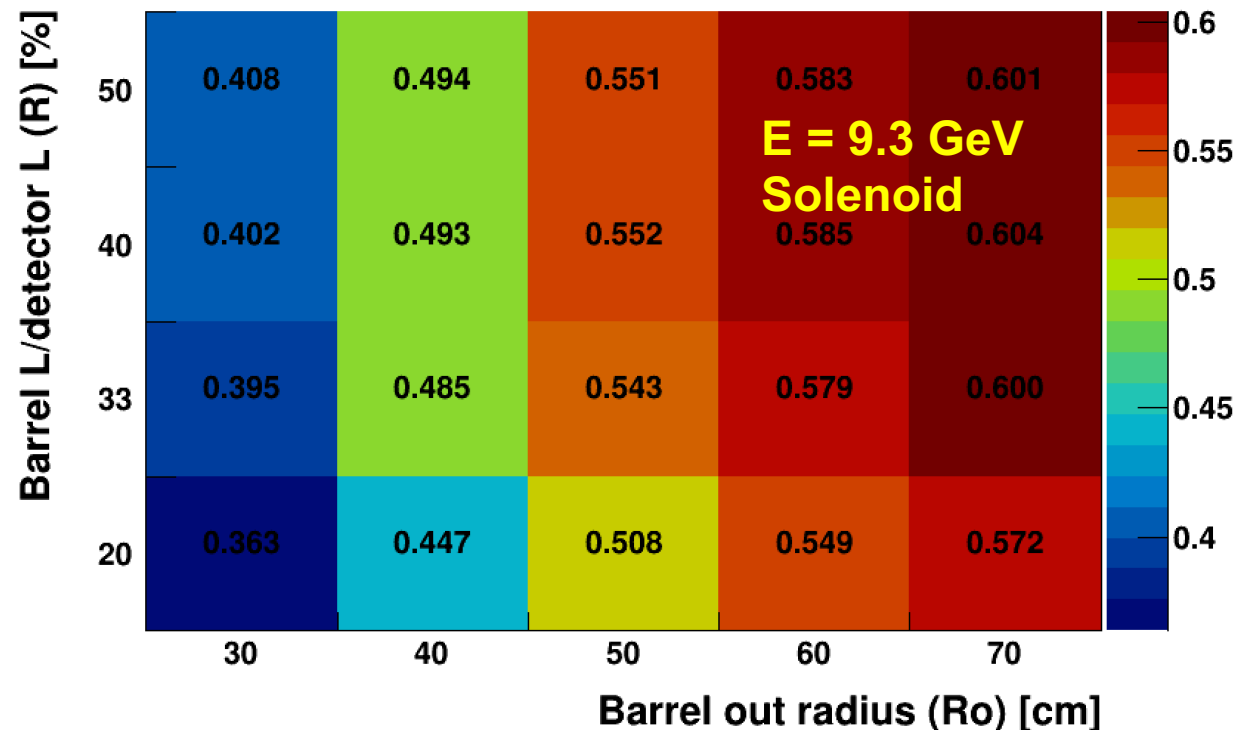
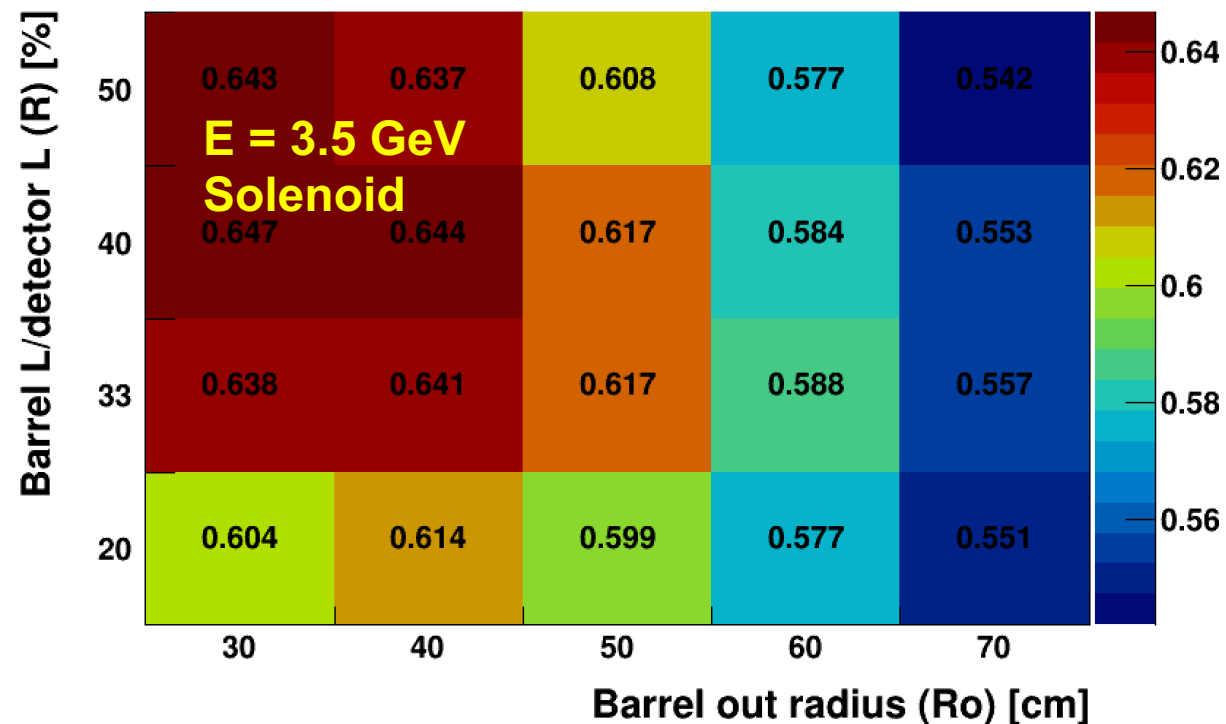
1. Change **Ro, Rb = Ratio of barrel over total length**
2. The length of LGAD is set to 3 times of Ro
3. Investigate the **resolution** and **efficiency** for Lambda reconstruction
4. Scan the Ro and Rb to obtain the optimal values

Ro (L)/Rb	0.2	0.33	0.4	0.5
30 (90)	Ro_30_L_90_R_20	Ro_30_L_90_R_33	Ro_30_L_90_R_40	Ro_30_L_90_R_50
40 (120)	Ro_40_L_120_R_20	Ro_40_L_120_R_33	Ro_40_L_120_R_40	Ro_40_L_120_R_50
50 (150)	Ro_50_L_150_R_20	Ro_50_L_150_R_33	Ro_50_L_150_R_40	Ro_50_L_150_R_50
60 (180)	Ro_60_L_180_R_20	Ro_60_L_180_R_33	Ro_60_L_180_R_40	Ro_60_L_180_R_50
70 (210)	Ro_70_L_210_R_20	Ro_70_L_210_R_33	Ro_70_L_210_R_40	Ro_70_L_210_R_50

二、实施进度：谱仪几何优化

谱仪设计仿真

技术路线：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



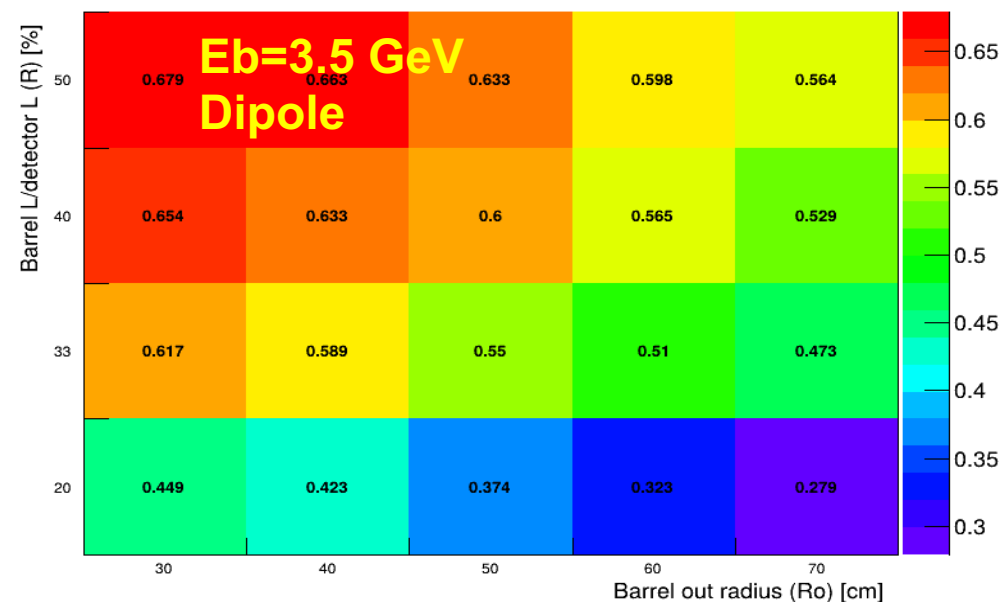
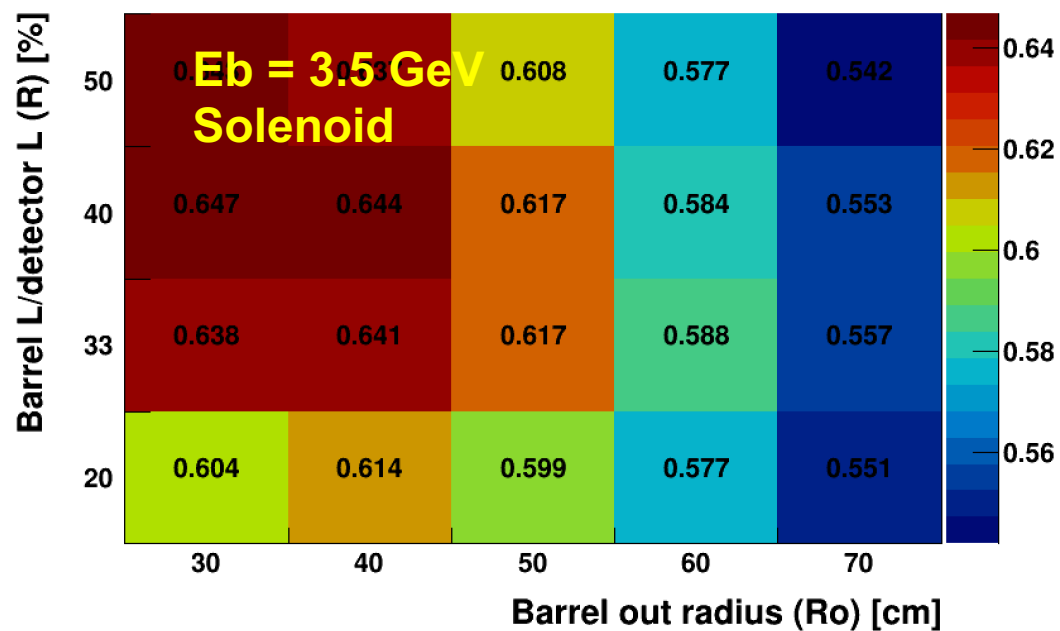
Efficiency comparison at different beam energy

二、实施进度：谱仪几何优化

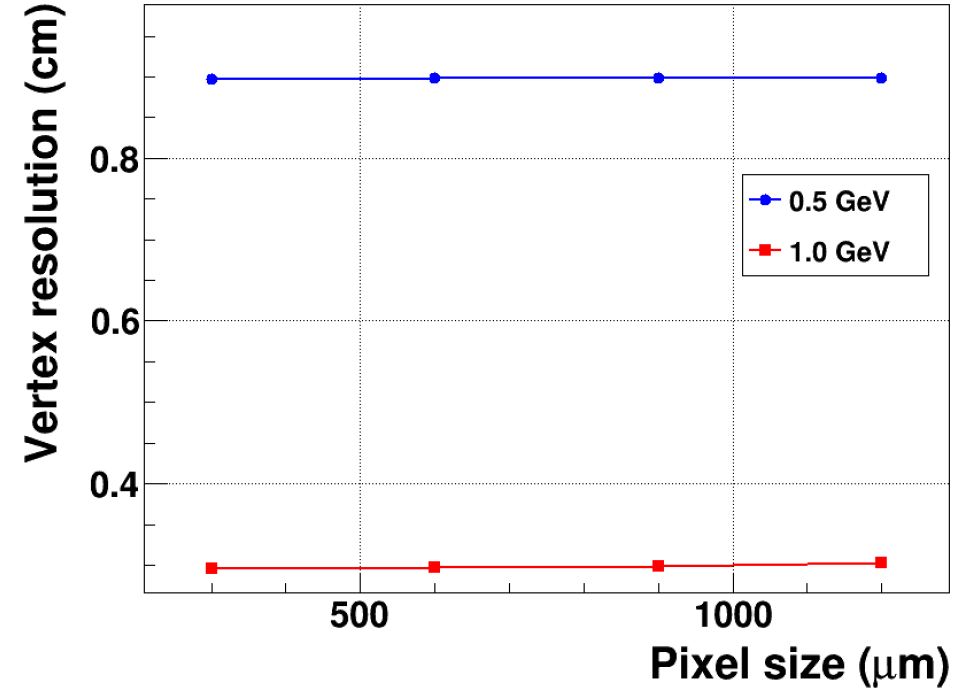
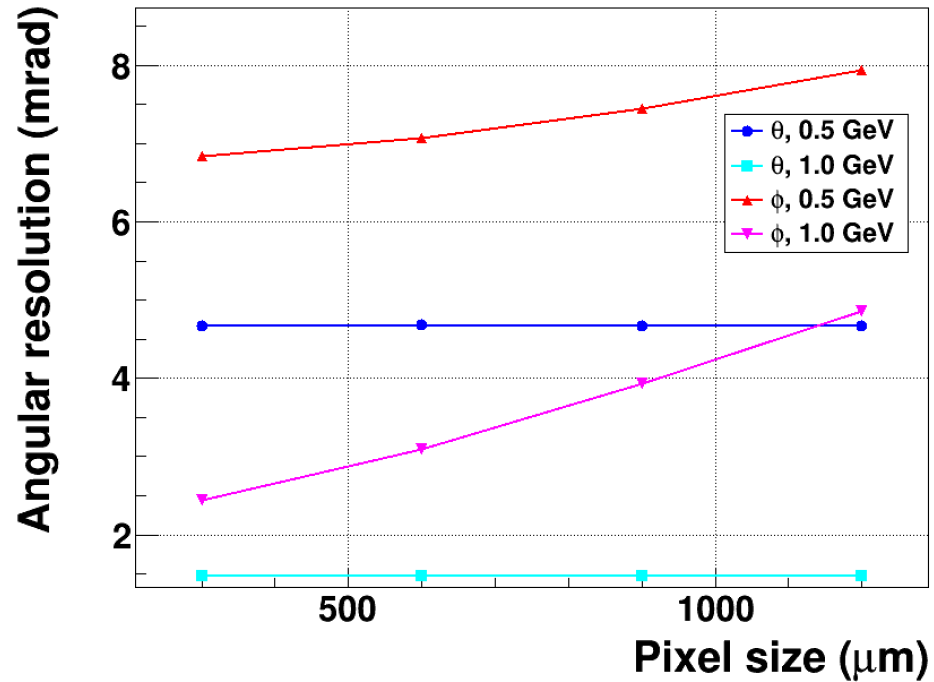
谱仪设计仿真

技术路线：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

Efficiency comparison at different B field configuration



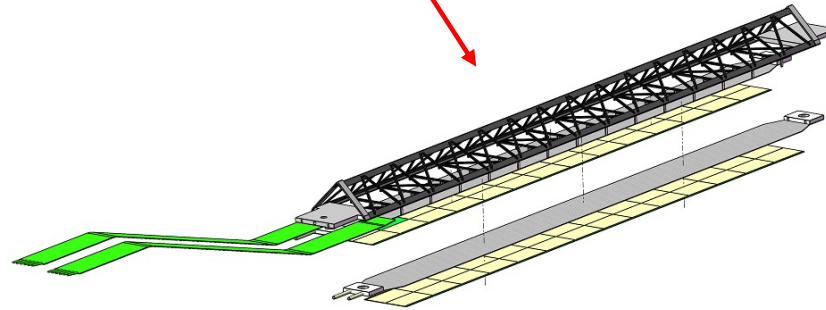
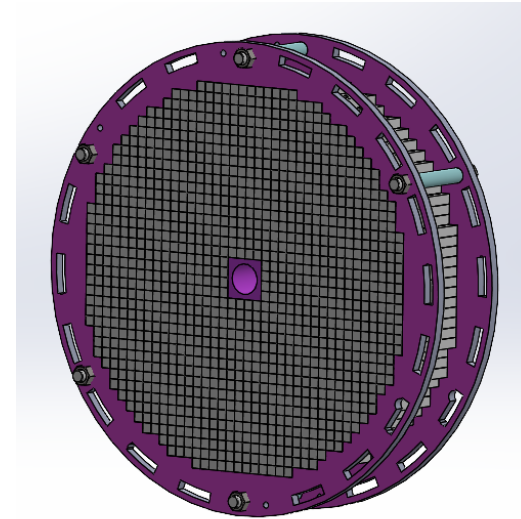
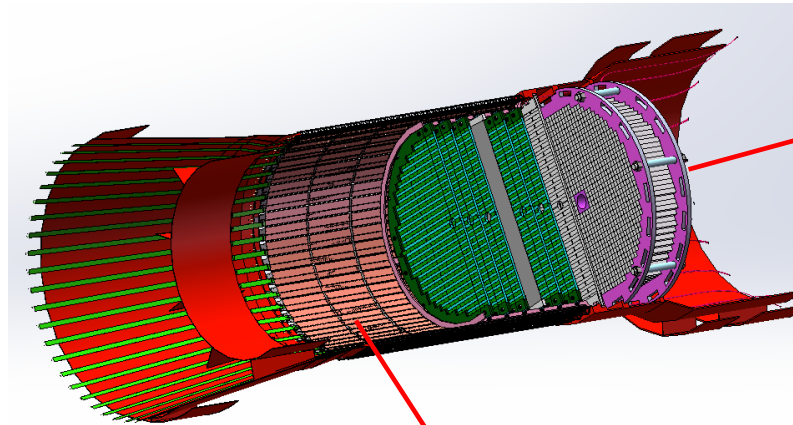
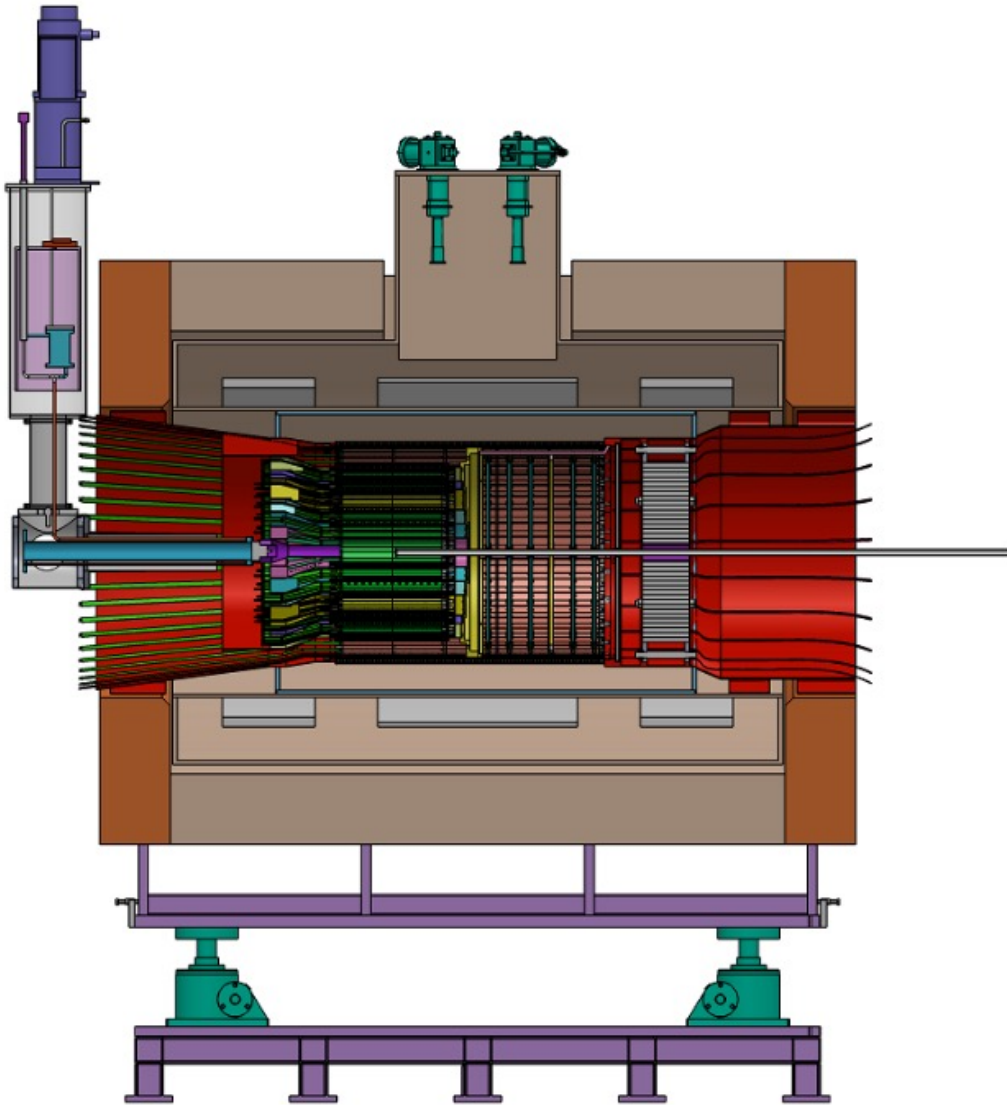
	Solenoid	Dipole
Pros	- Easier for design and manufacture - Symmetric in ϕ	Slightly higher efficiency
Cons	Slightly lower efficiency	- Difficult for design and manufacture - Asymmetric in ϕ - Low efficiency for low P_z track



- 通过模拟研究了LGAD的像素大小对质子极化测量中，散射粒子的角分辨和顶点分辨的影响
- 1mm的像素大小可以满足对于质子极化测量的要求

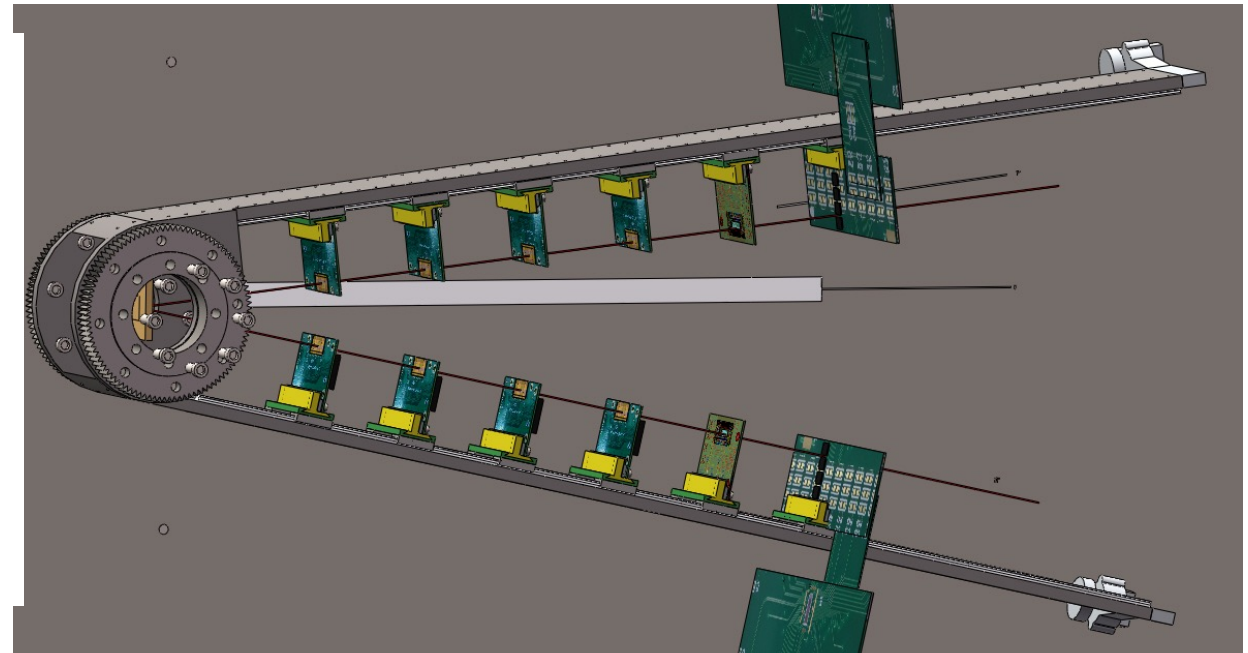
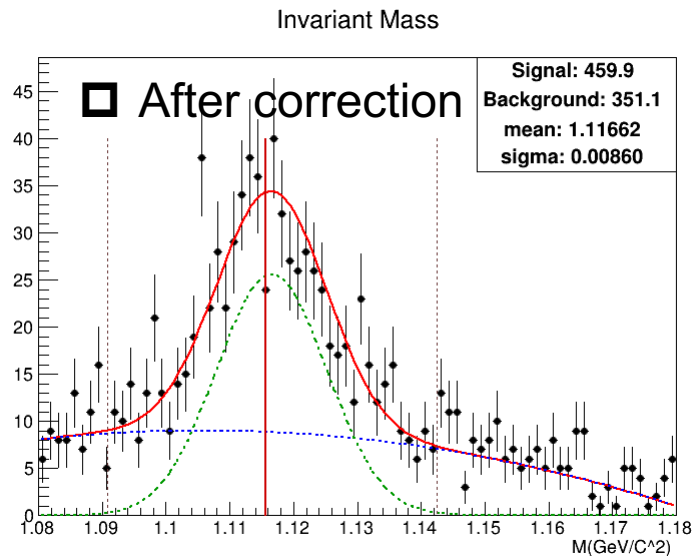
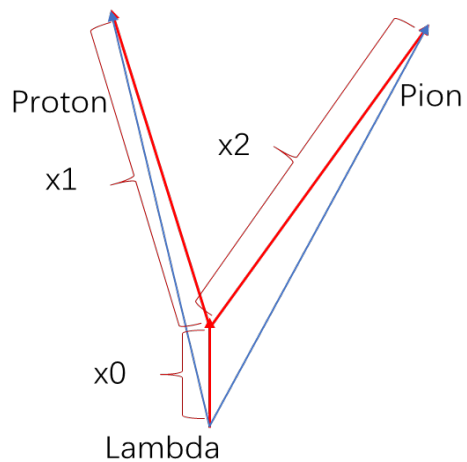
二、实施进度：谱仪支撑结构设计 new

康新才



二、实施进度： – H-NS原理样机(H-NS0) (周江鹏) **new**

- ✓ 为了验证包含MAPS径迹探测器在内的H-NS径迹探测系统的各个关键探测器技术可行性，设计了其原理样机H-NS0
- ✓ H-NS0将在HIAF上使用束流能量2.6/4.25 GeV氧束+碳靶进行实验，验证MAPS系统和LGAD系统正常运行并尝试重建 Λ 超子
- ✓ H-NS0成两臂结构，每支臂上安装5层MAPS芯片和一层LGAD芯片。每层MAPS探测器仅包含一枚芯片，而每层LGAD探测器则由12枚芯片构成

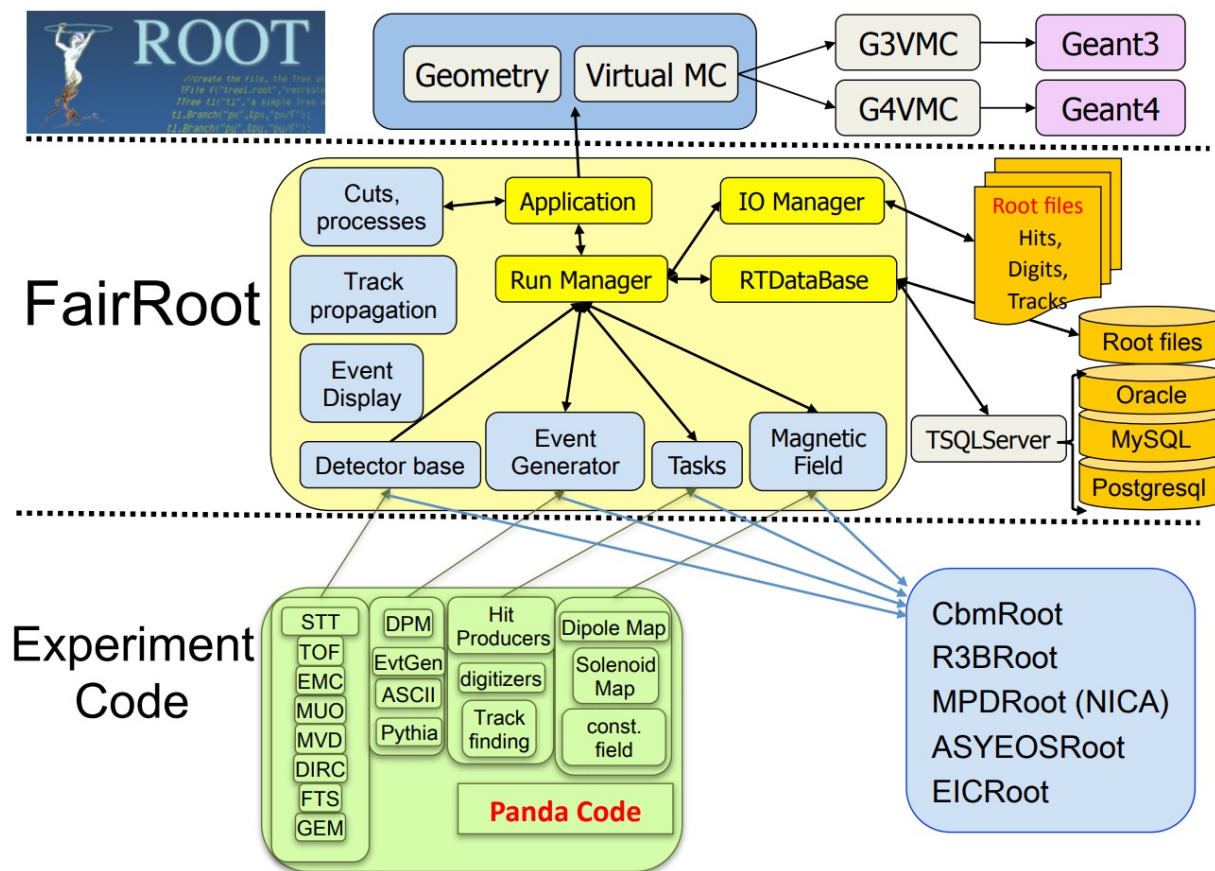


H-NS0结构设计图，两臂张角对应 $\Lambda \rightarrow p\text{-}\pi$ 对产额最高的角度

二、实施进度：谱仪软件框架

谱仪软件框架

技术路线：基于FairRoot开发适用于超核谱仪的软件框架，开发事例模拟、重建及分析的专用算法，**实现高效的粒子和顶点重建。**



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。

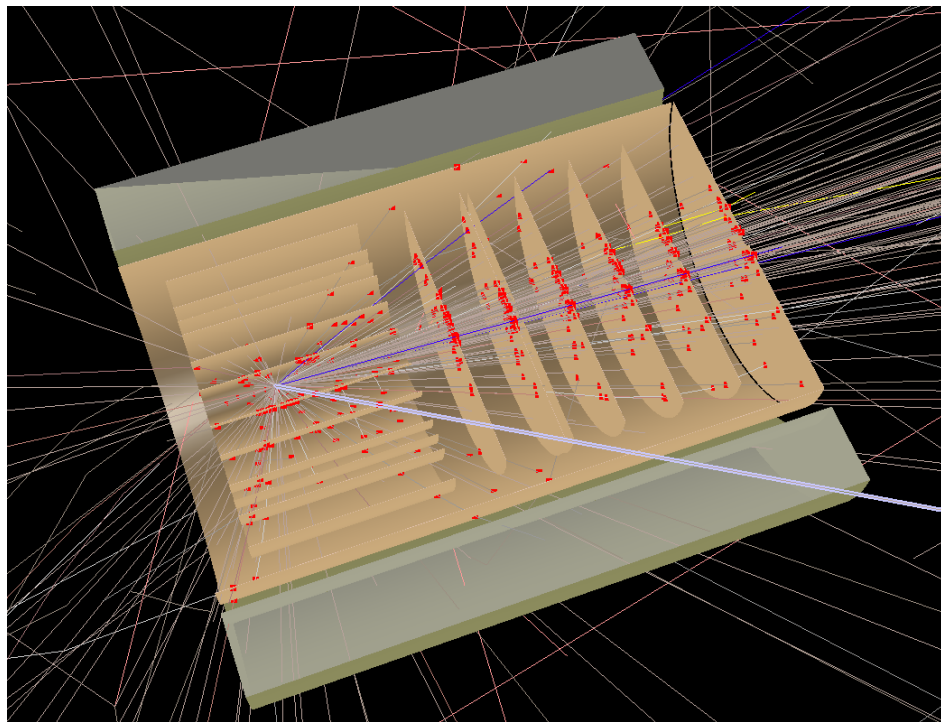
HnsRoot: 在FairRoot框架内实现HNS探测器的模拟与重建。

二、实施进度：谱仪软件框架

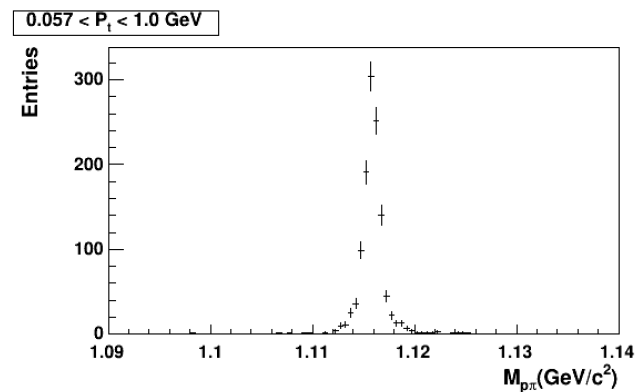
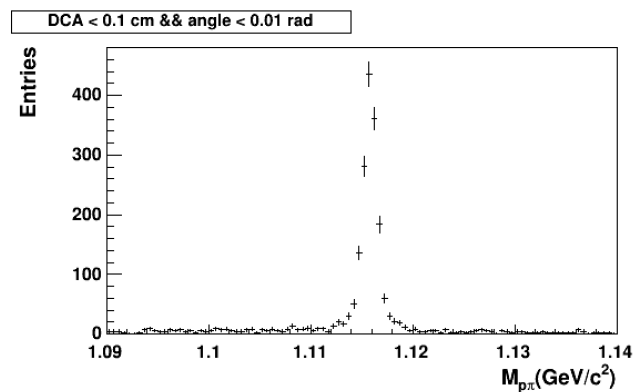
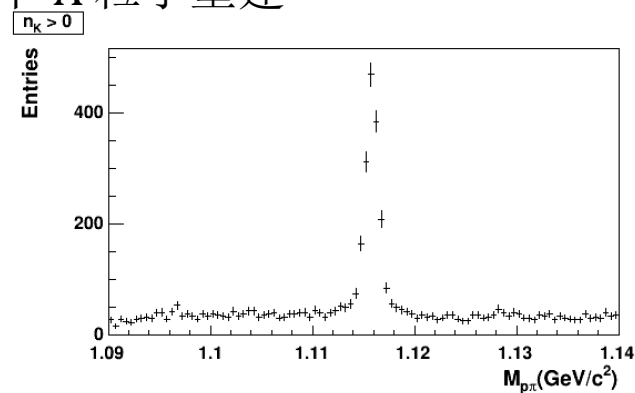
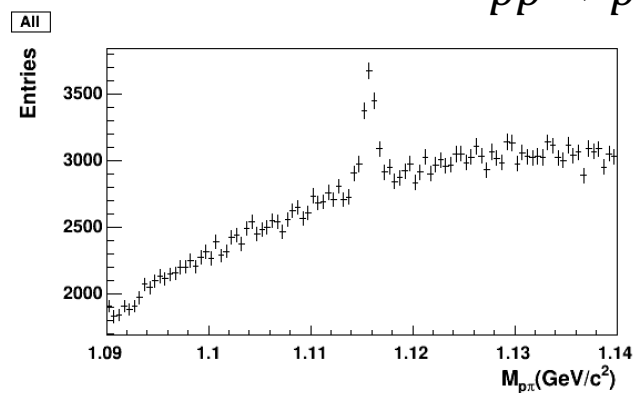
谱仪软件框架

技术路线：基于FairRoot开发适用于超核谱仪的软件框架，开发事例模拟、重建及分析的专用算法，**实现高效的粒子和顶点重建。**

重离子碰撞事例模拟O+C @ $E_k=2.6\text{GeV}$



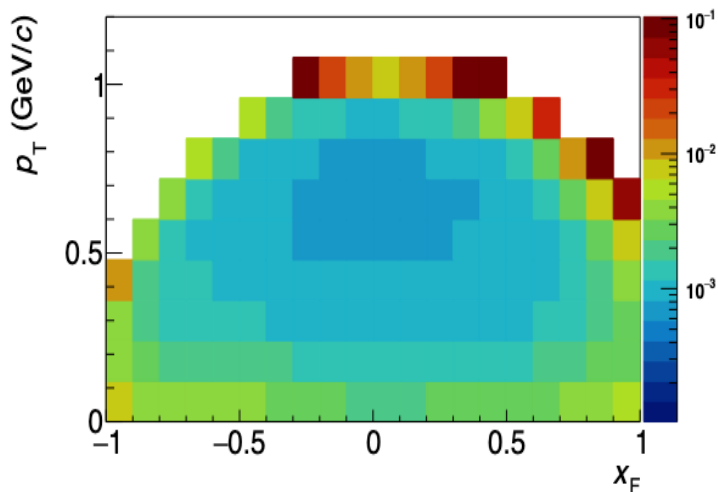
$pp \rightarrow pK\Lambda$ 中 Λ 粒子重建



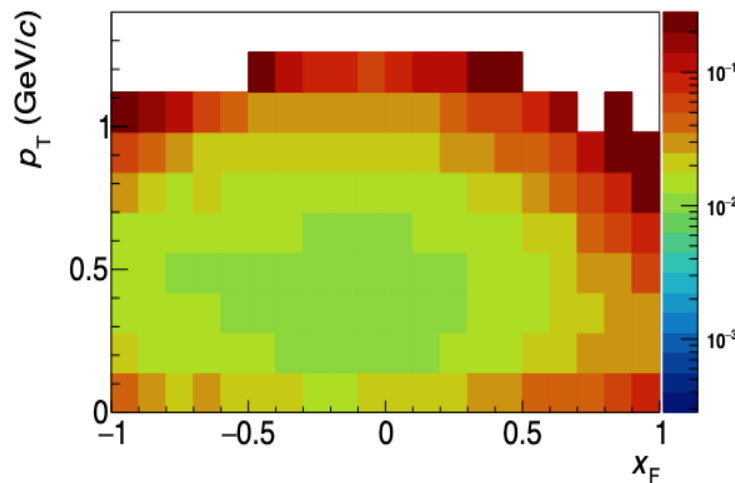
二、实施进度：关键物理过程模拟

谱仪软件框架

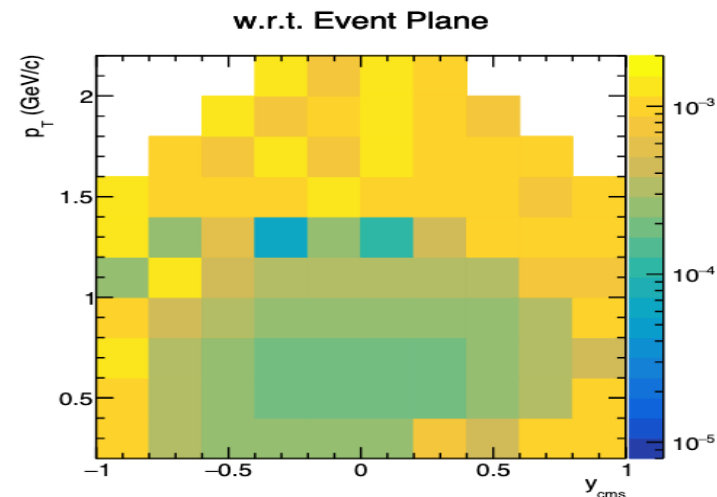
技术路线：基于FairRoot开发适用于超核谱仪的软件框架，开发事例模拟、重建及分析的专用算法，**实现高效的粒子和顶点重建。**



2D uncertainty of Λ polarization



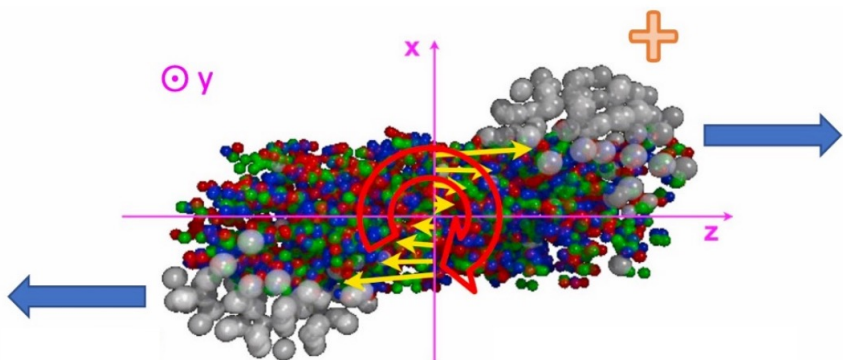
2D uncertainty of p polarization



2D uncertainty of Λ global polarization

二、实施进度：关键物理过程模拟 new

DCM级联碰撞模型



弹核: ^{12}C (4.2 GeV/A)

靶核: ^{12}C

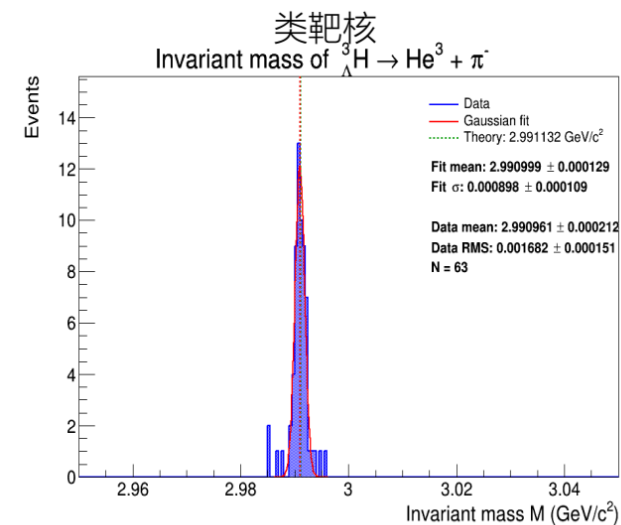
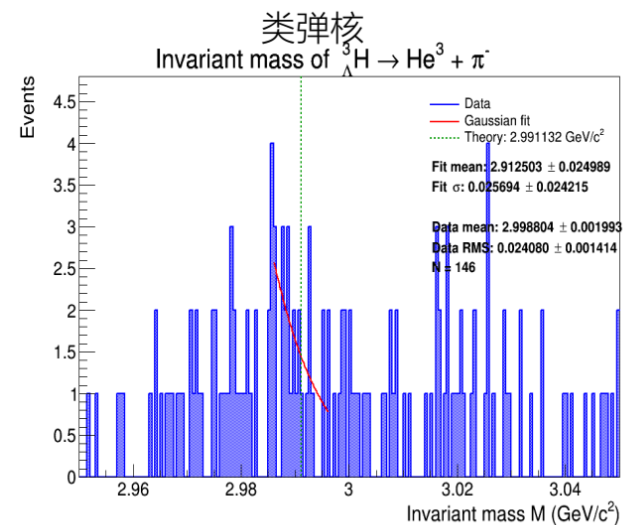
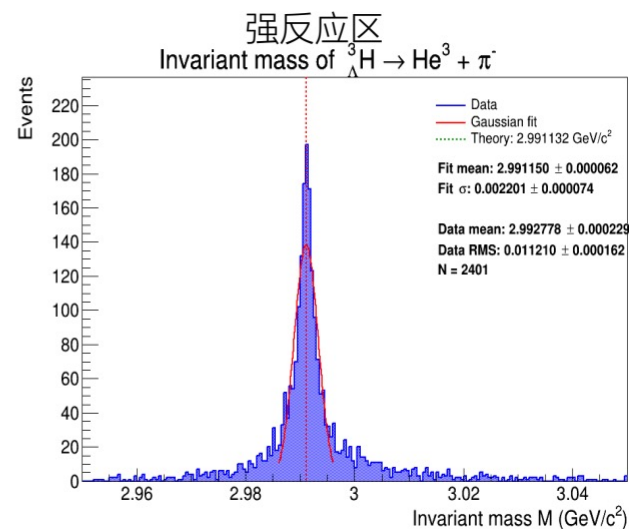
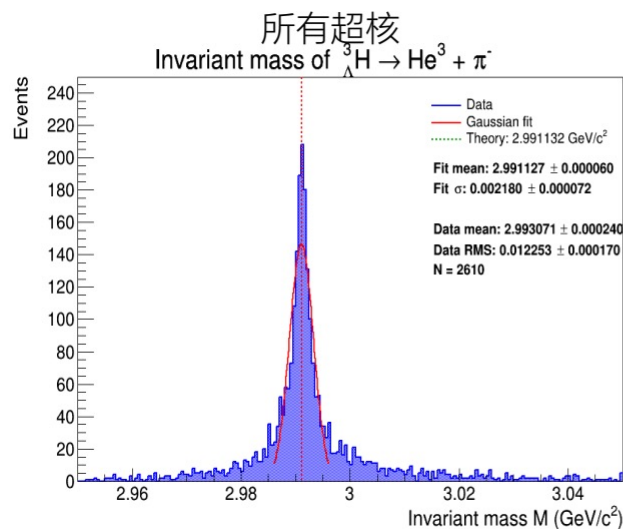
产生超核: 超氦核 $^3_\Lambda\text{H}$

衰变道: $^3_\Lambda\text{H} \rightarrow ^3\text{He} + \pi^-$ (分支比26%)
 $\rightarrow d + p + \pi^-$

寿命: 237 ps

非弹碰次数: 10^8

非弹碰截面: 0.395 mb



叶磊, 智阳 (BUAA)

三、课题及组织

new

Contents

1 Physics

- 1.1 Associated strangeness production and hyperon polarization . . . ✓
- 1.2 Hyperon-nucleon interactions . . . 进行中
- 1.3 Energy dependence of hyperon polarization . . . ✓
- 1.4 Emergence of baryon spin from QCD dynamics
- 1.5 Parity violation, CP violation and rare processes
- 1.6 Global polarization of hyperon ✓
- 1.7 Global polarization of light (hyper-)nucleus

更多的课题将要开展:

- QCD相图 (UCAS, IMP)
- 强子物理 (UCAS, IMP, Nankai?)

Production of exotic hadrons in pp and nuclear collisions*

Jinhui Chen^{1,2}, Feng-Kun Guo^{3,4,5,6}, Yu-Gang Ma^{1,2}, Cheng-Ping Shen^{1,2},
Qiye Shou^{1,2}, Qian Wang^{7,8,6}, Jia-Jun Wu⁴ and Bing-Song Zou^{9,3,5,6}

Nucl.Sci.Tech. 36 (2025) 4, 55

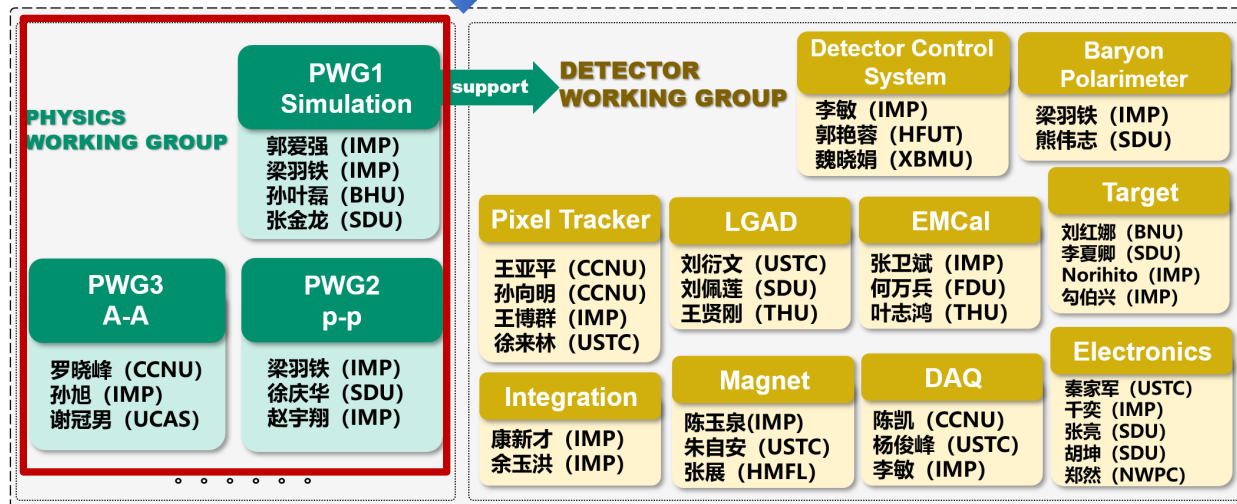
超子 - 核子谱仪
(H-NS) 合作组

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...



超子-核子谱仪 (H-N...
Institute of Modern Physics, Chin...

飞书



扫描群二维码，立刻加入该群
该二维码 1 年内 (2027/8/14前)有效

腾讯会议



周二上午10:00

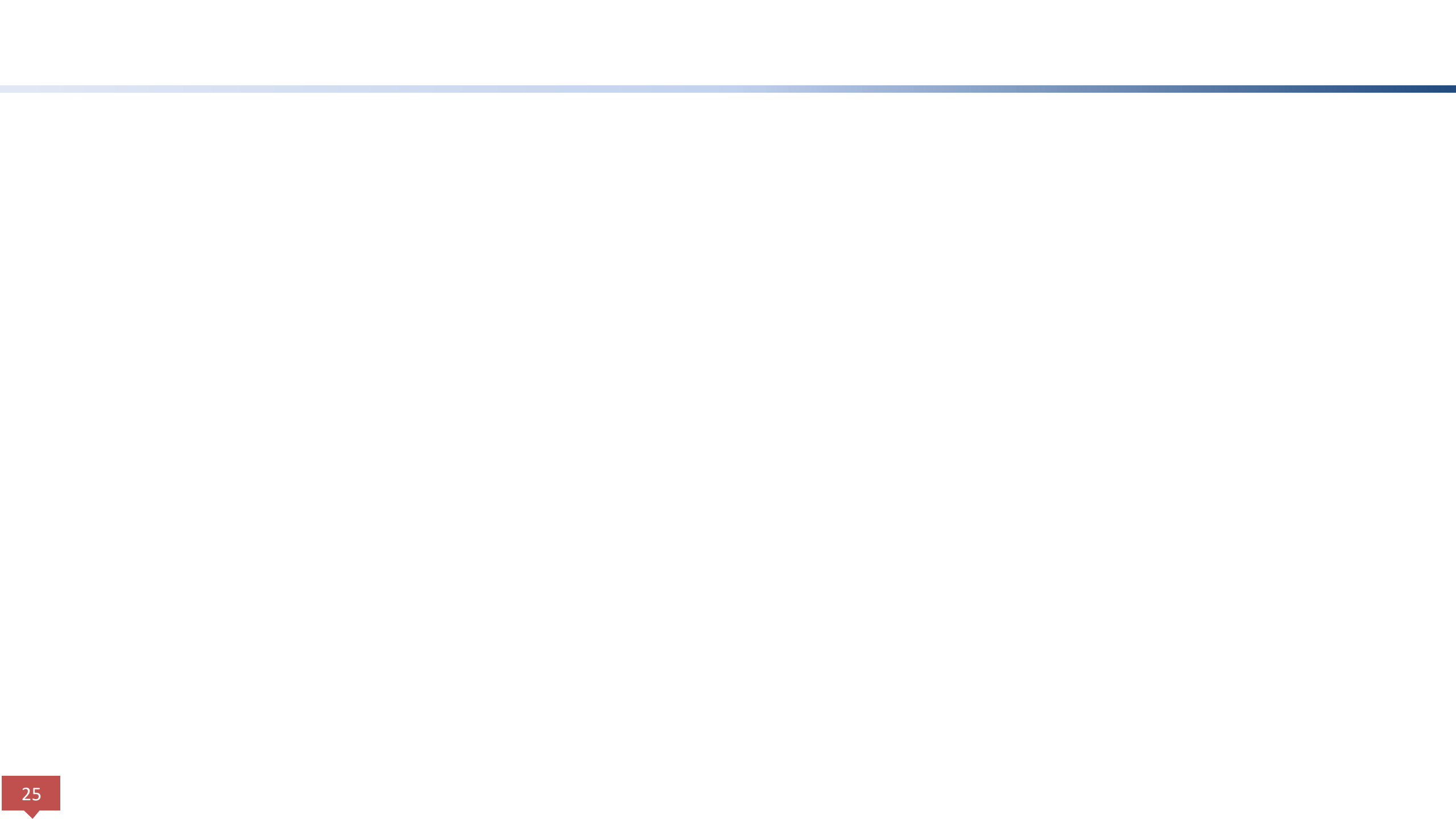
四，总结及展望

- 实施进度：
 - 基于GEANT4等仿真平台，优化探测器几何结构与材料配置。
 - 基于FairRoot开发适用于超核物理研究的软件框架，得到探测器性能参数
 - 利用快模拟框架完成初步的物理模拟结果。

- 2026年计划：
 - 根据优化几何构造探测器真实几何
 - 深入量能器模拟
 - 开展全模拟软件模块开发
 - 拓展物理课题模拟

考核指标 ²				考核方式 (方法) 及 评价手段 ⁴
指标 名称	立项时已有指 标值/状态	中期指标 值/状态 ³	完成时指标 值/状态	
指标 1.1 超核谱仪 仿真软件开发	初步仿真结果	完成基本 架构和基 础仿真	完成探测器 仿真及软件 开发	提交超核谱 仪仿真软件 和使用手册
指标 1.2 超核谱仪 设计报告	无	阶段 性 成 果	完成设计报 告	提交超核谱 仪设计报告

感谢大家！



三、进度安排

任务	第一年度		第二年度		第三年度		第四年度		第五年度	
项目启动：首先基于 GEANT4 和 Garfield 仿真平台，优化探测器几何结构与材料配置。	模拟验证									
中期目标：完成探测器概念设计及关键部件的 GEANT4 性能验证报告，交付软件基础框架； 考核方式：谱仪探测器设计报告。					中期考核★					
			软件框架开发							
FairRoot 基础框架与事例生成模块的验证，进行全系统联合仿真，提交动量/角度/顶点分辨率的量化评估数据；						系统集成测试				
终期目标：完成最终设计报告与软件文档，组织专家组对探测器参数是否达到国际同类装置水平进行评审。 考核方式：谱仪探测器设计报告。软件包及使用手册。									项目验收★	
									总结	

三、实施进度：谱仪性能估计

谱仪设计仿真

技术路线：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

