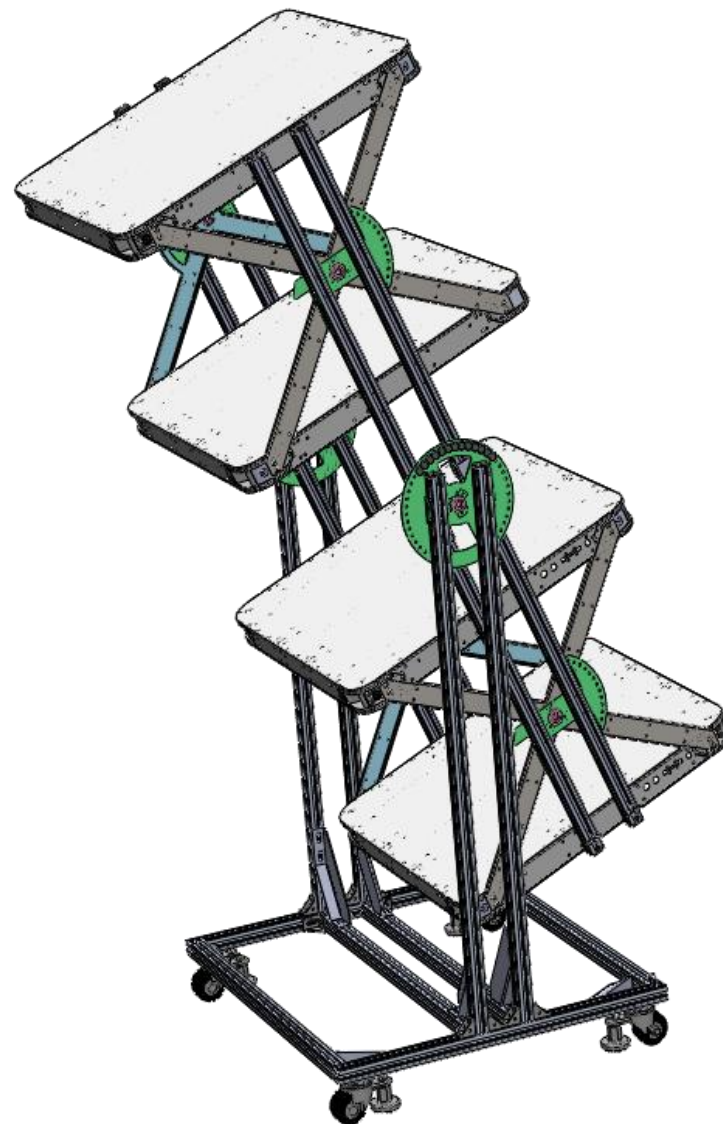
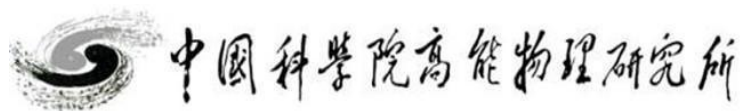


基于液体闪烁体的 大面积 μ 子探测器

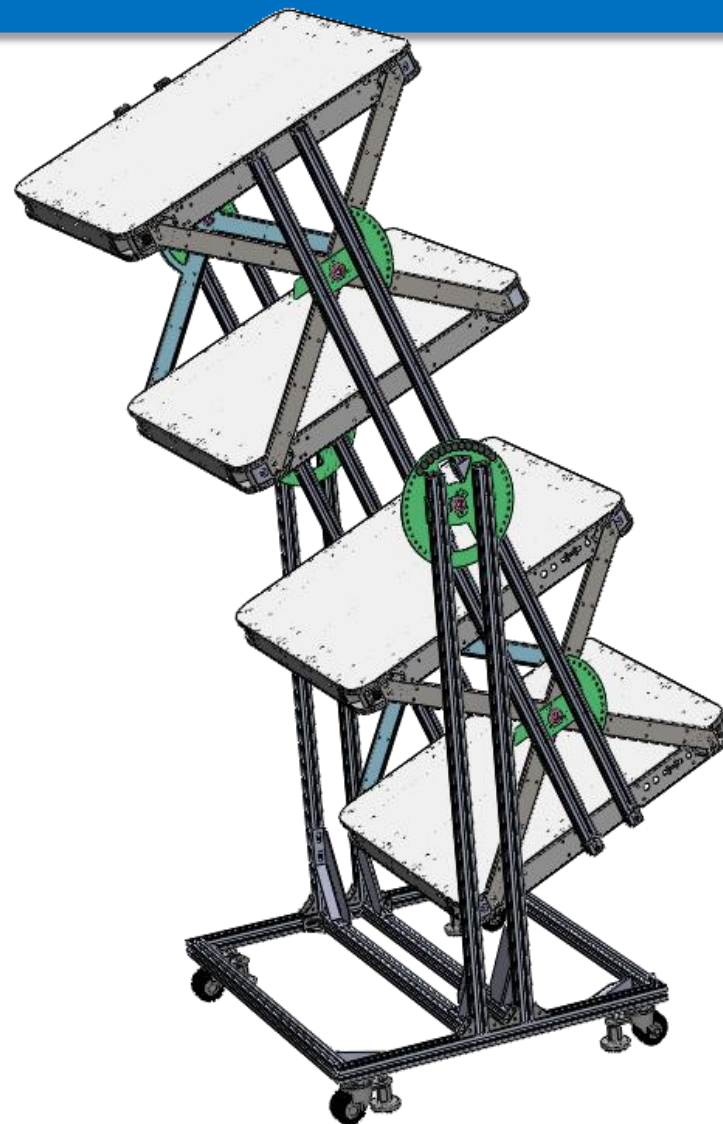
樊星明 fanxm@ihep.ac.cn

翟佳佳 潘彬 魏龙



目录

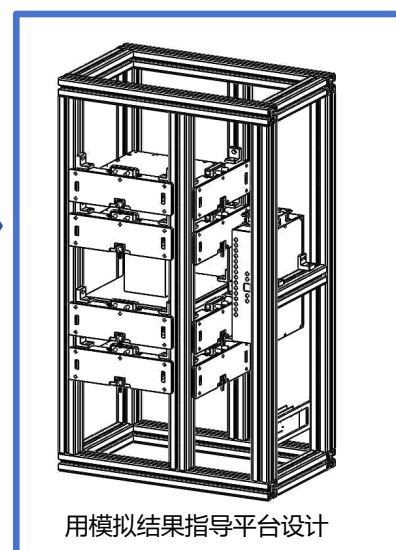
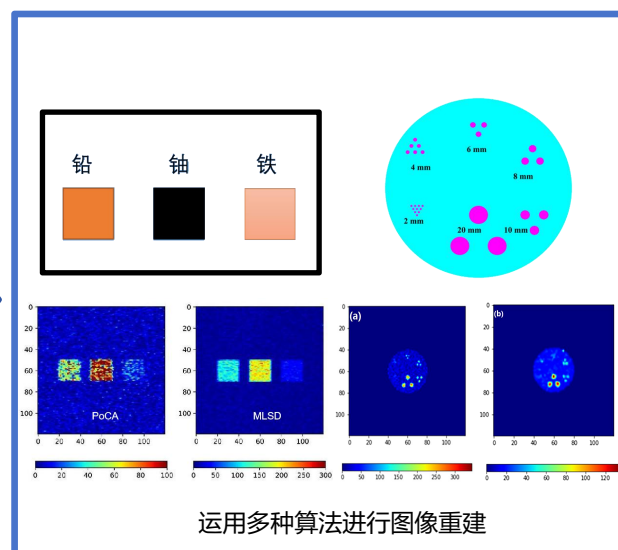
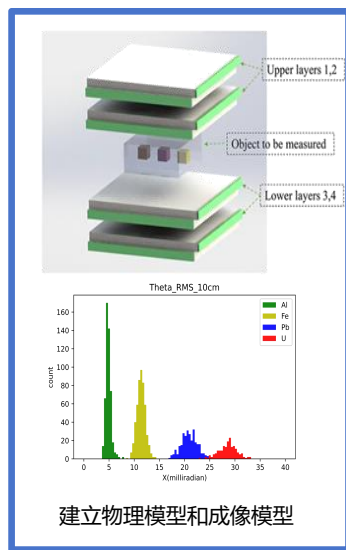
- 背景介绍：在 μ 成像领域的研究概况，及本报告的聚焦点
- 研究内容：讨论实验及开发（R&D）中的主要方面
- 方案设计：将研究成果转变为探测器方案并部署
- 总结及展望：从整体及技术两方面进行分析



背景介绍：前期工作

■ 前期工作概述：

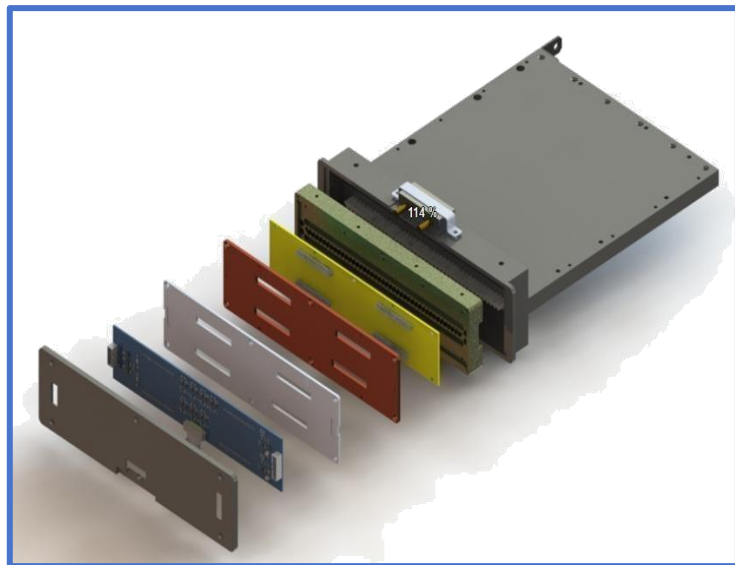
- 国内外有多家院所、高校开展宇宙线成像研究。（本会议都是专业人士，不再赘述）
- 高能所的宇宙线成像技术研究从2019年开始，内容包含数值模拟、成像算法、平台搭建、实验研究，与多家单位展开有效的合作。



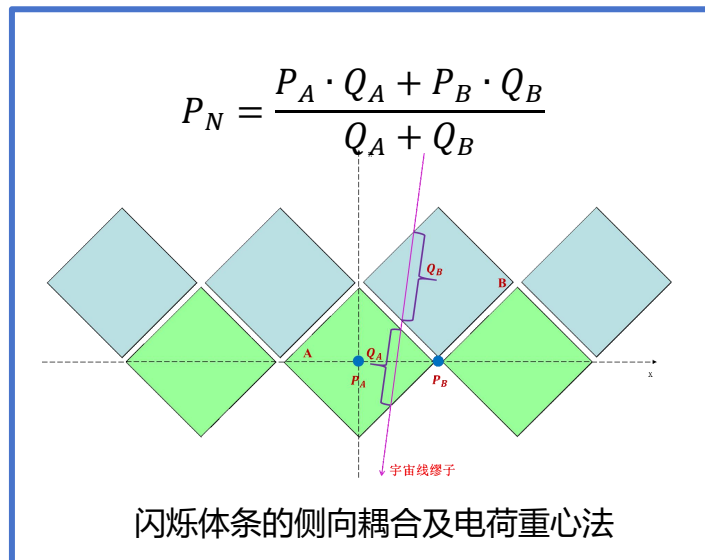
背景介绍：实验平台

■ 实验平台：

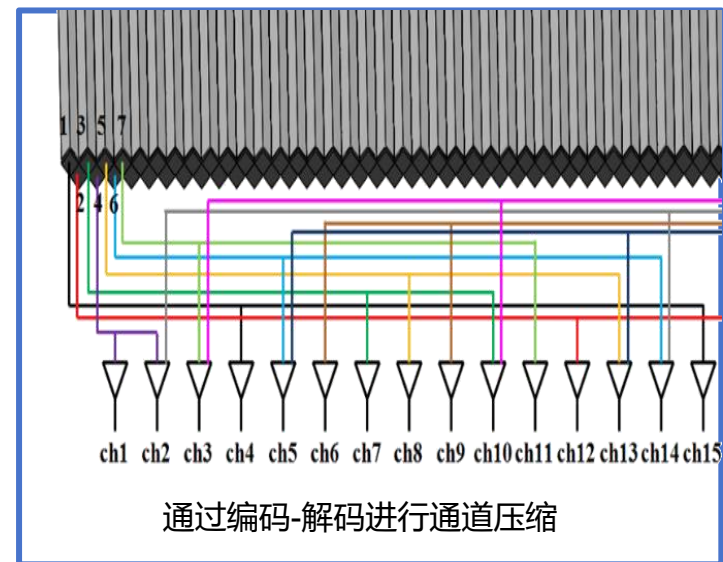
- 共四层位置探测器，每层具备X、Y方向；
- 边长3mm的方形闪烁体条，45°侧向组成阵列；
- 电子学采用编码成像的方式实现信号压缩；
- 位置分辨0.6mm，灵敏面积20×20cm²。



=



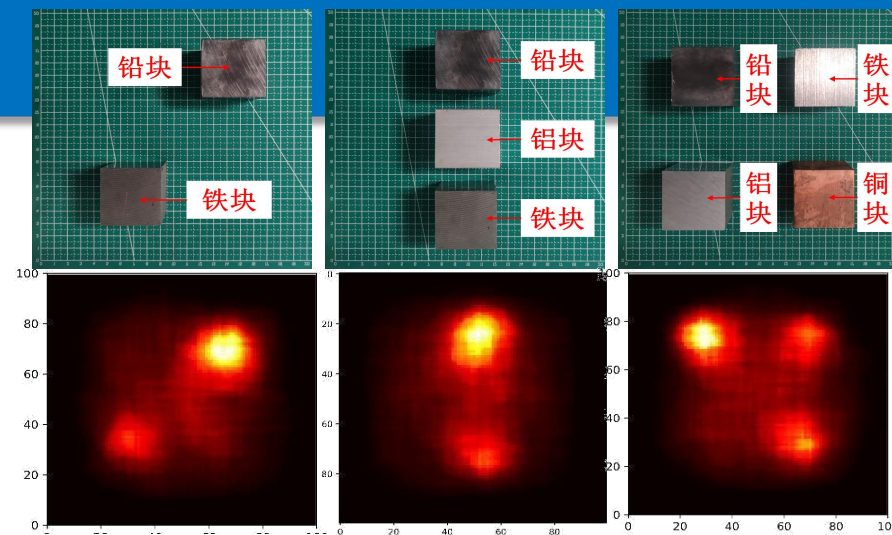
+



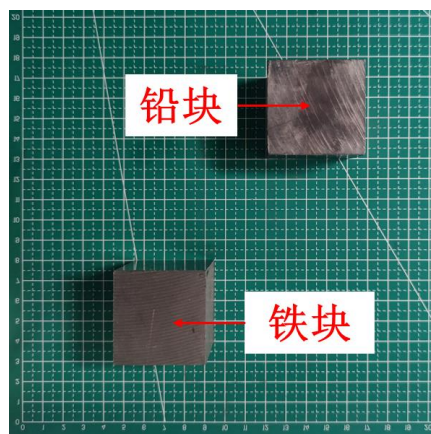
背景介绍：成像研究

■ 部署多种实验：

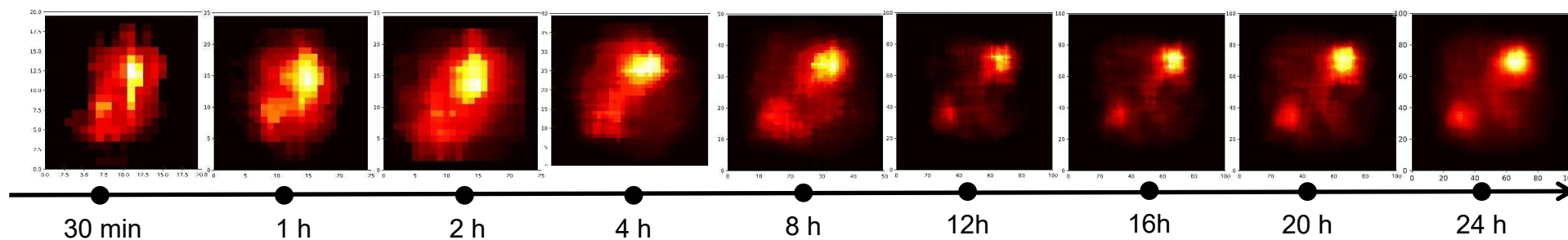
- 对不同材料的成像特点；（右图）
- 基于时序（数据量）的成像；（下图）
- 等等.....



- 利用铅、铜、铁、铝块进行成像实验，证实在此系统（角分辨约12mrad）条件下，可以实现铁以上原子序数物质的鉴别



边长为 4 cm 的铅铁块



- 成像“时序图”，可划分多个节点，例如30min粗成像，1-4h材料分辨，12h进入“平台”
- 尚没有准确的定义及评价方法；

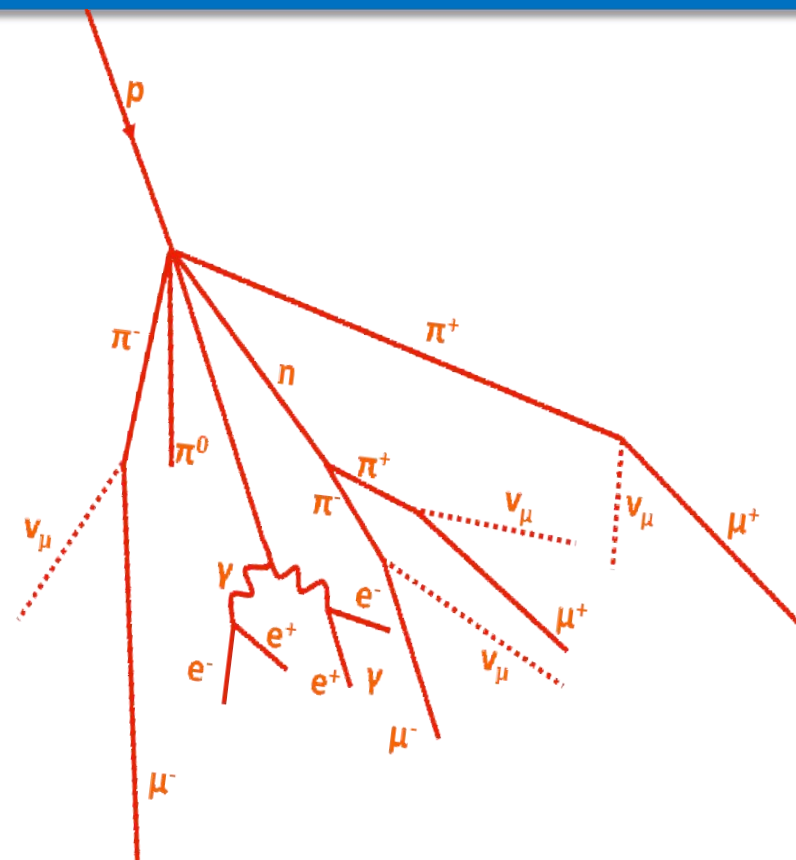
背景介绍：分析及讨论

- 进行了初步探究
 - 研究了成像的基本特点，数据处理方法；
 - 与国内其他研究组的结果可以互相呼应、印证；
- 将成像面积作为主要研究方向：

成像质量与角分辨率存在较大关联；
缪子通量（事例数量）太少，是较大制约因素之一；

需要大面积、低成本探测器的技术

本文探索其中一种可行的技术：液体闪烁体



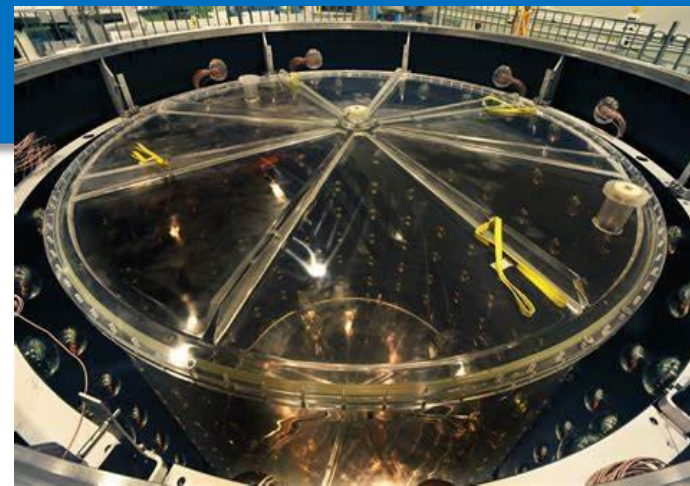
研究内容：液体闪烁体

■ 概况介绍

- 高能所承担大亚湾、江门中微子实验并研究液体闪烁体已有20年，所用液闪分别为185吨和2万吨。
- 液体闪烁体是由溶质和多种溶剂配置而成，在电离辐射下受激发射光子，配方可以非常不同。

■ 两个主要的应用范围：

- 大型中微子实验的靶：例如日本KamLand、法国CHOOZ，采用吨级液体闪烁体；
- 核放射成分分析：将与待测液体混合后测量放射性的方法，广泛应用于环境、生物、医学、考古等领域。



大亚湾中微子实验所用液闪



江门中微子实验30米液闪球

研究内容：液闪的性质

■ 成分：

- 液闪溶剂为线性烷基苯
- 发光物质为PPO(2, 5-二苯基氧佐尔)
- 波长位移剂为bis-MSB(1,4-双(2-甲基苯乙烯基)苯)

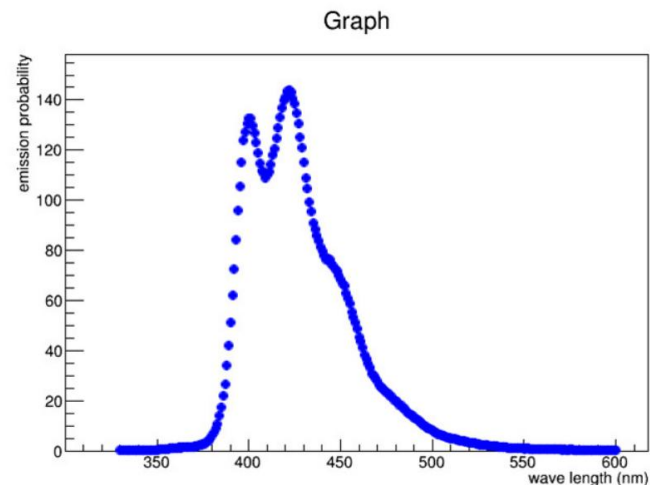
■ 物理性质：

- 疏水油性液体
- 无色，无味，透明

■ 基本概述：

- 目前使用的液闪已经经过多年的谱学研究、成分研究，比较成熟。
- 大亚湾实验中同配方液闪的发射谱光产额大约为1000个/MeV；江门实验约为1200个/MeV。

发射谱



制作时的照片



研究内容：探测单元的封装

- 为了实现高位置分辨，需要使用小体积封装；
- 测试多种方案，最终采用PMMA作为外壳，并且增加光窗、膨胀体等，实现长期安全使用。
- 形状为长度不固定的矩形长条形。



大批量化工装



自动灌封



流水线生产及拣选

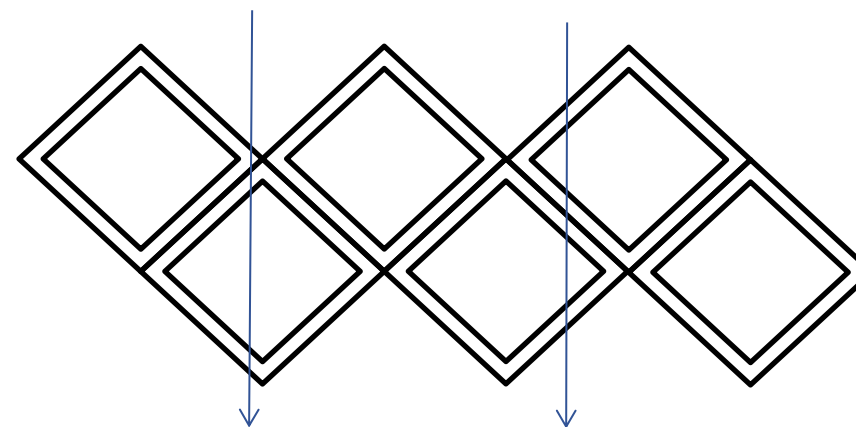
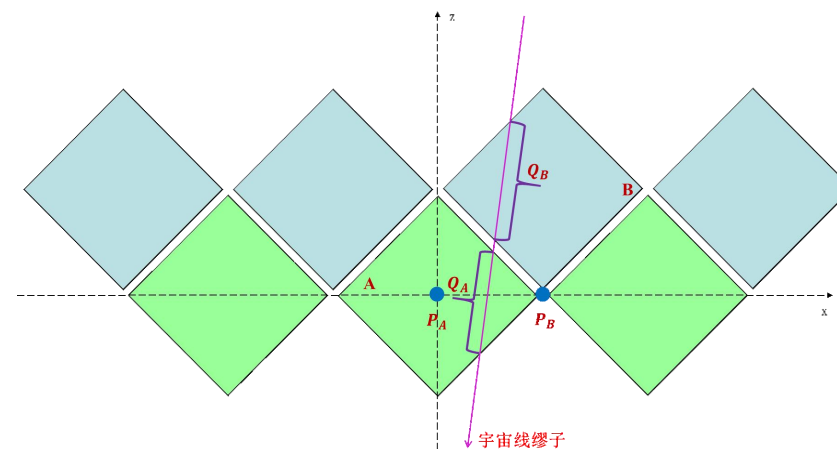
研究内容：位置分辨方法分析

■ 侧向耦合方法分析：

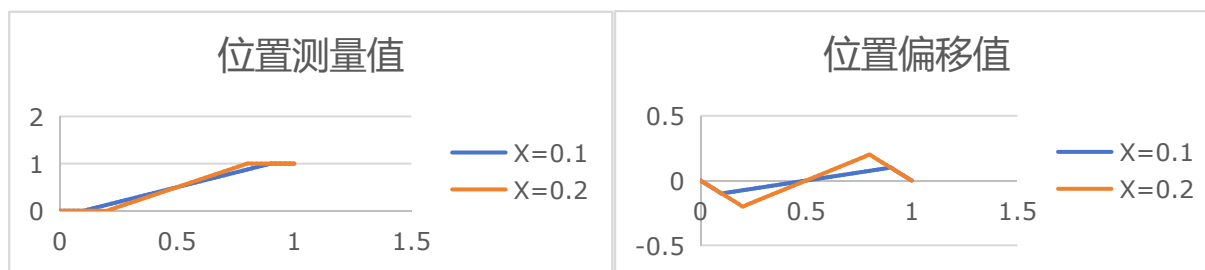
- 参考已经取得成功的“小系统”，仍然可以采用侧向耦合的方式排列。
- 由于外壳的存在，从而存在死区问题（右侧图）

■ 由结构产生的死区问题：

- 经过研究，如果产生光子的概率均衡，产生的位置偏移与壁厚相当。（下图，其中X是壁厚占据总边长的比例）
- 可以做一些校正，减少对位置分辨的影响。

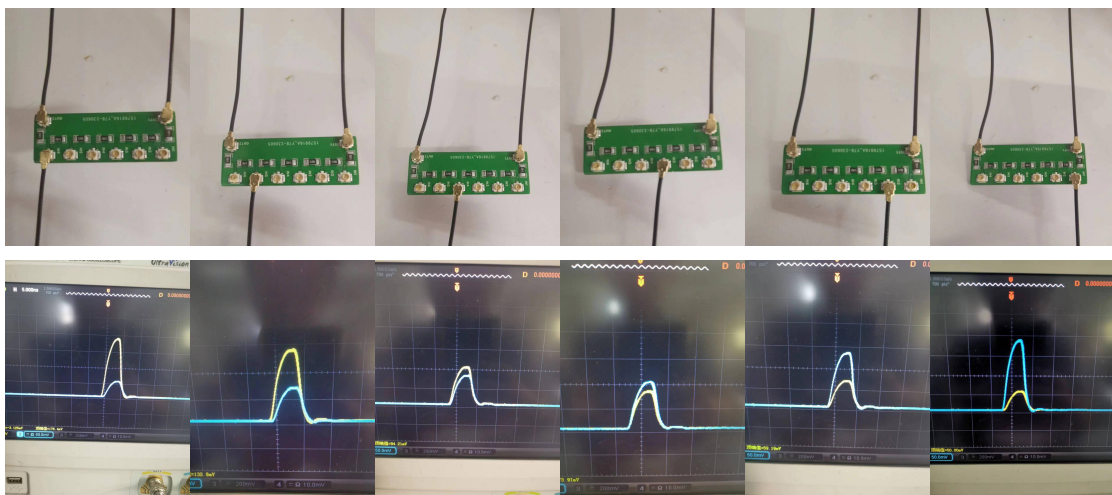


比较：塑闪具有均一的内部，而液闪有外壳存在

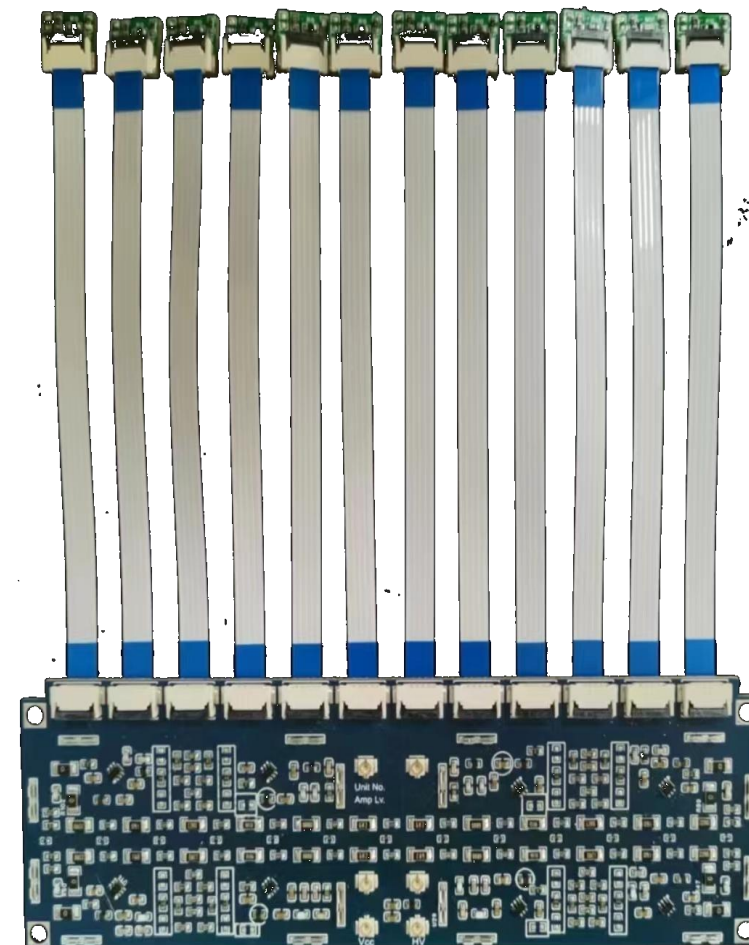


研究内容：模块化光电前端

- 采用柔性连接方式，将SiPM与电子学板之间分离；
- 多级放大器，实现低噪声和高灵敏度；
- 采用相连的电阻阵列，实现左右分压，压缩通道数；

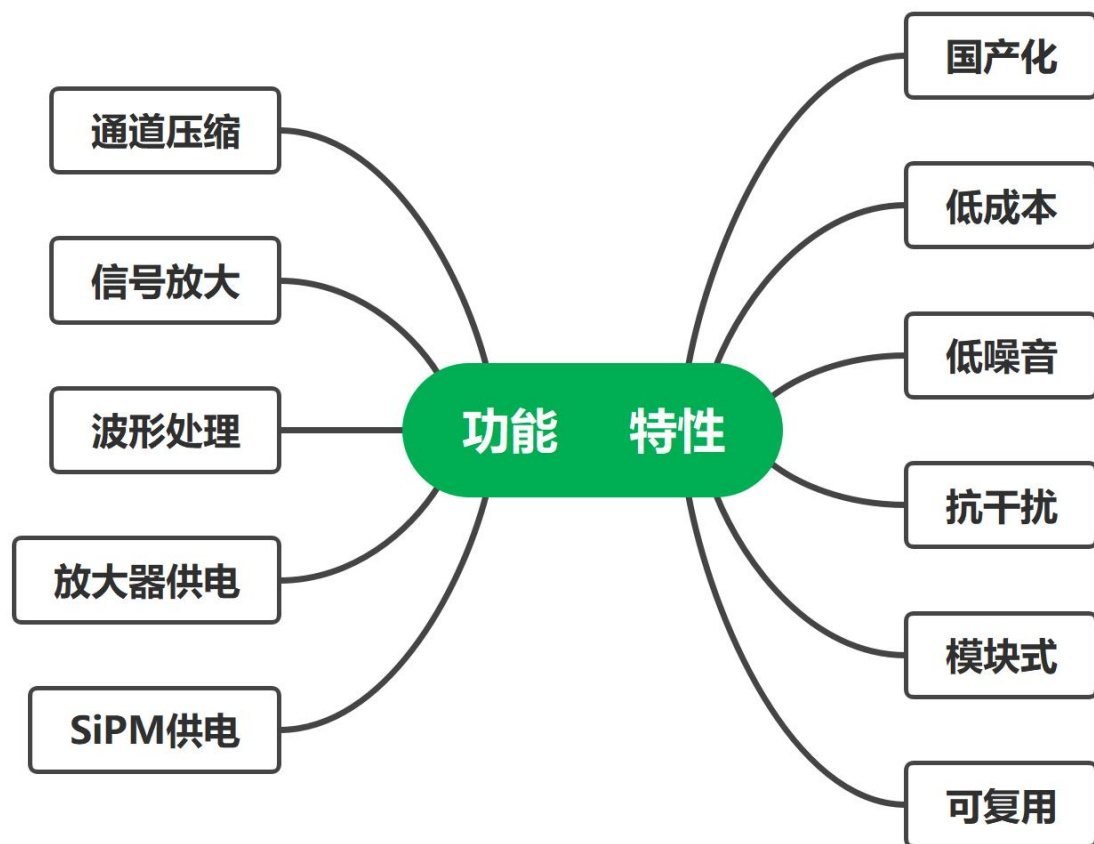


电荷分配法原理



电子学板与SiPM组成的模块

研究内容：模块化光电前端

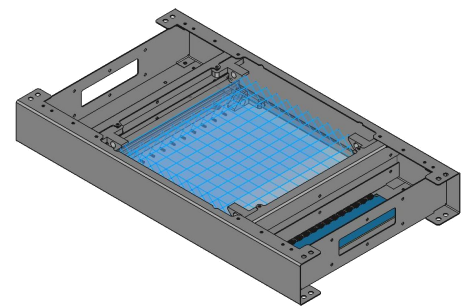


■ 基本设计思想：

- 粒子能量-光信号-电信号，传输至后端电子学。研究并且比较以往的类似的系统，认为SiPM与前端电子学作为整体的方案更优，并且与液闪探测器的开发严格分开。
- 充分利用选频功能，在本实验中覆盖SiPM输出信号的全频段。
- 具有柔性部分，可以嵌入系统中的小空间，信号可以从缝引出。
- 拥有丰富的调试口。可以作为一种开盖即用式晶体/闪烁体测试装备。给两合作单位使用，反馈良好。

方案设计：20cm位置灵敏探测器

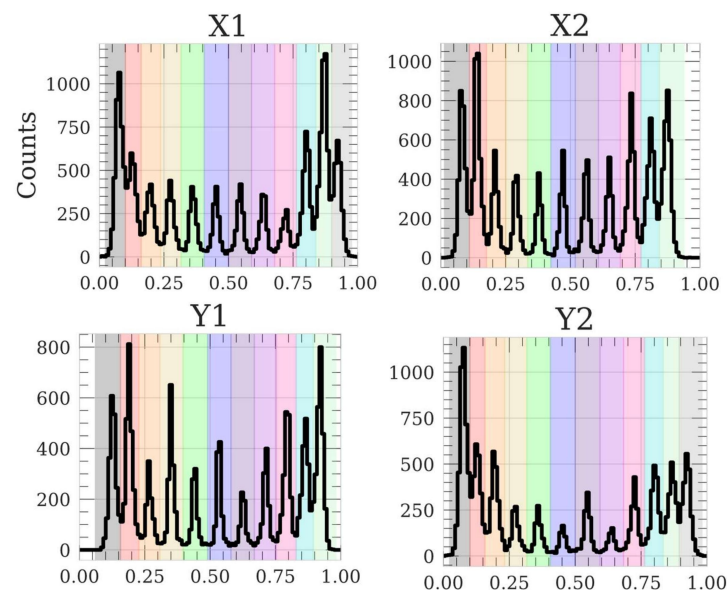
- 由于其他实验的需求，采用模块化液闪探测器方案：
 - 采用液闪条方案，实现了具有XY方向的粒子探测器；
 - 20×20cm²灵敏面积，99%以上效率，位置分辨好于2mm；



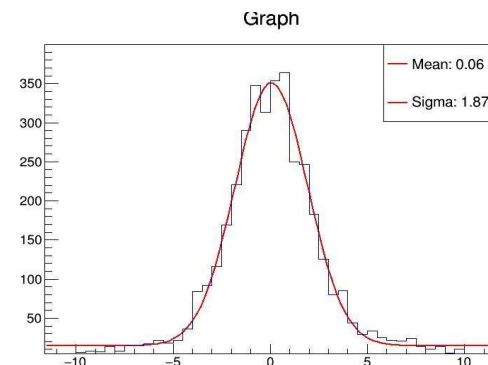
方案设计



探测器的组装



基于电荷分配法的刻度、校正及位置重建



位置分辨：<2mm
效率：>99%

方案设计：50cm大面积探测器

- 运用同样的方案，设计宇宙线专用大型平板探测器：
 - 灵敏面积可达 $50\times 50\text{cm}^2$ ，其他设计与前述探测器一致；
 - 经过多次调试和验证，探测器指标已达设计；
 - 动用大量人力（感谢合作单位），生产环节实现标准化。
- 通道数过多，还在研究快速测试坏道的方法。



紧密放置液闪条及其他部件



使用碳纤维板作为主要结构件，外覆盖电磁保护层



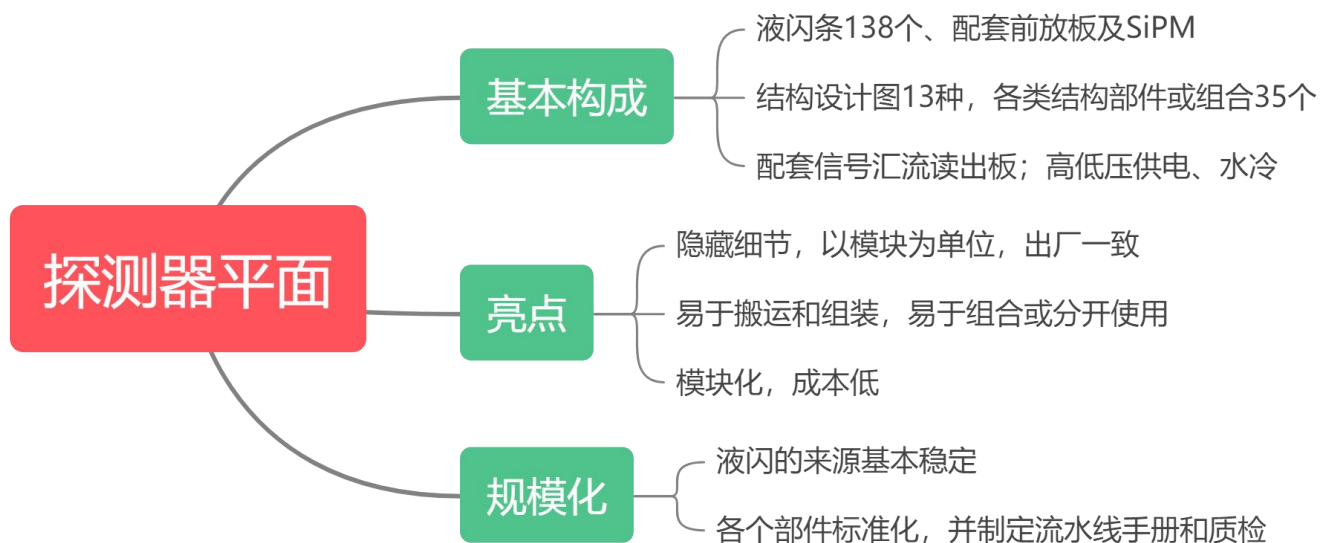
用人力或载具搬运没有问题；再大就比较困难了



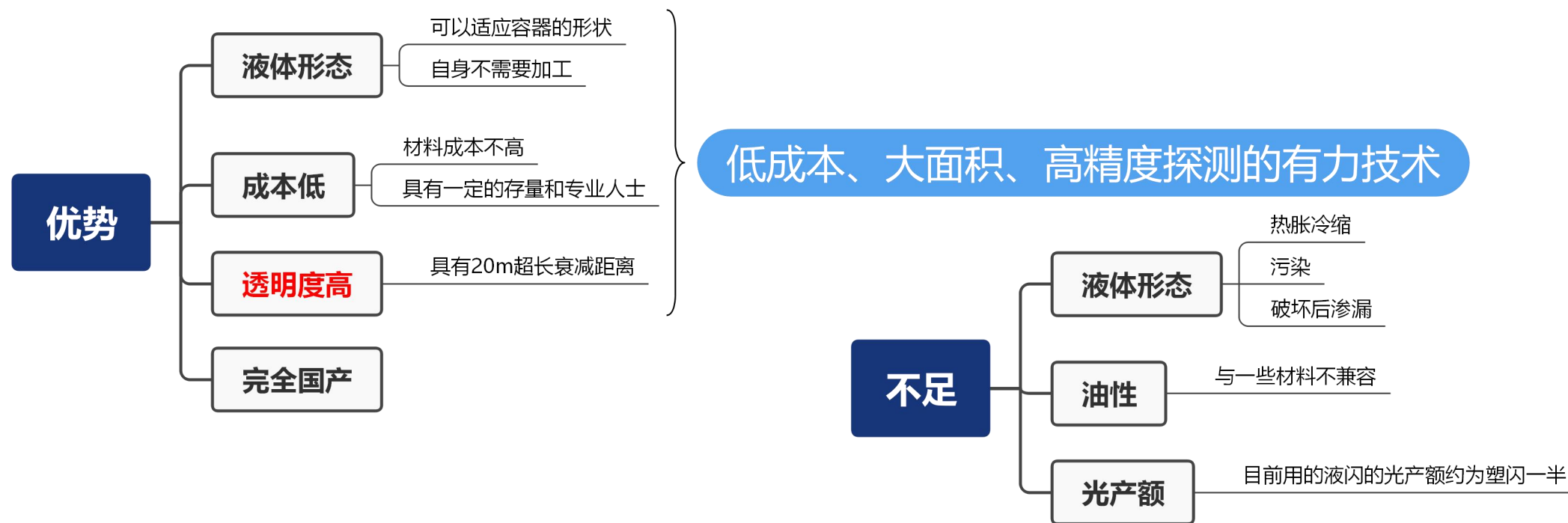
总结及展望：大面积缪子探测器

■ 未来展望：

- 在实验室以外的地方测试，看大面积探测器是否能带来系统性能的提升、提升幅度多大；
- 当做基础型、低成本、通用的探测器使用，寻找缪子成像领域以外的应用。



总结及展望：液闪探测器的定位



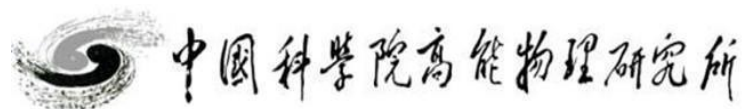
- 总体来看，面积越大、结构和成本优势越明显。特别是透明度对于大面积探测器很重要。

谢谢！

欢迎指导、沟通及讨论合作

樊星明， 魏龙

fanxm@ihep.ac.cn



难点及关键技术

与有机物互相溶解、渗漏

选用JUNO中总结的“液闪安全材料”

选用经过验证的光学胶和环氧胶

渗入杂质后透明度降低

组装过程中确保液闪的纯净性

组装结束后进行光衰减测试

热胀冷缩效应明显

增大胶结面积，加强机械强度

外接柔性补偿机构

光线的长距离传输问题

外覆ESR反射层，并开发专用工装

闪烁体与SiPM的光耦合

采用双曲面光导大幅增加光收集能力

大小系统共性研究



1.液闪封装-制作及质量控制

