

## 基于 JadePix 系列像素传感器芯片的质子 CT 应用研究

一、 导师与团队基本信息	
导师姓名	卢云鹏
所在院所名称	中国科学院高能物理研究所
职称/职务	正高级工程师
导师或课题组介绍网址:	<a href="https://people.ucas.edu.cn/~yplu">https://people.ucas.edu.cn/~yplu</a>
电子邮箱和联系电话	yplu@ihep.ac.cn
一级学科	1、物理学；2、核科学与技术
二级学科	1、物理学：粒子物理与原子核物理； 2、核技术及应用；
主要研究方向	硅像素传感器芯片的研发与应用研究
日常协助指导人	导师本人和高年级学生

二、 项目基本情况	
项目名称	基于 JadePix 系列像素传感器芯片的质子 CT 应用研究

项目科学意义	<p>1、攻克质子治疗的“射程误差”难题：质子治疗凭借其独特的“布拉格峰 (Bragg Peak)”特性，能实现对肿瘤的精准爆破并保护周围正常组织。然而，目前临床上使用传统 X 射线 CT (xCT) 进行治疗计划设计，需将电子密度映射为质子停算功率 (RSP)，这会产生 2%~5% 的射程误差。质子 CT (pCT) 直接测量质子的能量损失和路径，能显著降低射程不确定性，提高治疗精度。</p> <p>2、硅像素传感器的技术优势：JadePix 系列芯片 (基于单片有源像素传感器技术, MAPS) 具有超高的空间分辨率 (微米级)、低功耗、低物质载量以及高读出速度。将其应用于 pCT 的径迹探测器中，可以精确记录单个质子的入射和出射位置及角度，大幅提升图像重建的对比度和分辨率。</p> <p>3、推动国产先进医疗探测器发展：利用国产自主研发的 JadePix 系列芯片开展医疗成像研究，有助于探索高性能物理芯片向生物医学领域的跨界应用，培养具备交叉学科背景的高端技术人才。</p>
使用的实验方法、仪器设备、数据软件	<p>1、原理样机系统构架：<u>径迹探测器 (Tracker)</u>：采用多层 JadePix 像素传感器阵列。前端两层测量质子入射的角度与位置，后端两层测量出射的角度与位置。JadePix 的高集成度使得探测器能够实现超薄封装，减少质子在探测器本身的多次库仑散射 (MCS)。<u>能量探测器 (Calorimeter/Range Counter)</u>：用于测量穿过目标物后的残余能量。样机可配合闪烁体探测器或由多层硅传感器构成的射程计数器。<u>数据采集系统 (DAQ)</u>：负责 JadePix 芯片的配置、同步触发及海量像素数据的并行读出。</p> <p>2、GEANT4 模拟软件应用：<u>物理建模</u>：利用 GEANT4 构建 pCT 系统的几何模型，包括质子源 (准直束流)、JadePix 传感器分层结构、旋转模体 (Phantom) 及能量探测器。<u>物理过程选择</u>：调用内置的物理过程 (如 QGSP_BERT_HP 列表)，准确模拟质子在物质中的电离能损 (Bethe-Bloch 方程)、多次库仑散射、核相互作用等过程。<u>数据输出</u>：记录每个质子在探测层上的 Hit 信息 (坐标、能损)，为后续 RSP 重建算法提供原始模拟数据。</p>
本科生研究任务	<p>本项目通过“由虚到实、循序渐进”的原则，安排本科生在一到两年左右的时间内完成以下任务：</p> <p><b>数值模拟与优化设计 (核心任务)</b>：<u>软件学习</u>：掌握 Linux 环境及 GEANT4 模拟框架，学习 C++ 编程及数据分析工具 ROOT。<u>系统参数优化</u>：利用 GEANT4 研究不同层数的 JadePix 探测器对质子径迹记录精度的影响；模拟不同初始能量的质子束在经过模体后的位置偏移和角度散布。<u>成像影响因子研究</u>：分析多</p>

	<p>次库仑散射对成像分辨率的限制，通过模拟生成 Sinogram 图，初步了解质子 CT 的重建原理。</p> <p><b>样机研制参与（实践任务）：</b><u>硬件组装：</u>在导师指导下，参与 JadePix 探测器模组的机械封装、暗箱搭建及环境监控。<u>芯片测试：</u>参与实验室内的放射源（如 Fe-55 或 Sr-90）测试，学习如何标定像素芯片的增益、噪声和检测效率。</p> <p><b>束流试验与数据分析（进阶任务）：</b><u>现场实验：</u>参与原理样机在线束流试验，负责记录实验日志、监控 DAQ 读出速率。<u>数据处理：</u>对比模拟数据与实验数据的差异，学习如何从像素探测器的原始比特流（Raw Data）中提取物理 Hit 信息，实现简单的径迹关联。</p>
大致时间安排	<p>2026 年 6-8 月进行文献调研和代码编写，暑假期间来高能所开展为期 4 周的实践。2027 年寒假完成初步的模拟框架。</p> <p>2027 年 6-8 月根据模拟结果完成探测器优化设计，暑假期间来高能所开展为期 4 周的实践。2028 年寒假完成核心任务的总结。</p>
预期目标和成果形式	<p>软件成果：一套基于 GEANT4 的质子 CT 模拟框架代码。</p> <p>学术训练：撰写一份高质量的本科毕业论文或申报大学生创新创业训练计划（大创）。</p> <p>技能提升：熟练掌握大型物理模拟软件、高性能探测器硬件操作及复杂数据处理能力。</p>
实践地点	北京玉泉路园区
三、 对学生的要求与保障措施	
拟接收人数	2 人
专业知识要求	辐射探测原理；C++编程
工作时间要求	每个暑假需全日制参与 4 周，具体与导师商定。

---

课题组支持条件	提供实验条件和工作餐补
---------	-------------