

MPA 模拟进展

渠朝义、藏京京

July-29-2026

当前进展

- **探测器材料**
- **探测器几何**
- **次级粒子数据读取**
 - Corsika 数据读取
 - Root 数据读取
- **MC模拟程序**
 - 单个station的模拟
 - 阵列模拟
- **重建数据(压缩)**
 - 累加所有的模拟step
 - step -> ADC

探测器材料

土壤

$\text{O}_8\text{Si}_3\text{AlFe}$ (以原子数比例混合的 混合物)

闪烁体 (Alkylbenzene)

C_9H_{12} (烷基苯, 化合物)

探测器外壳

Fe

铅层

Pb

探测器几何

单个探测器:

简单 灵敏区域 (扁圆桶)

全部 灵敏区域 (CAD 液态闪烁体)

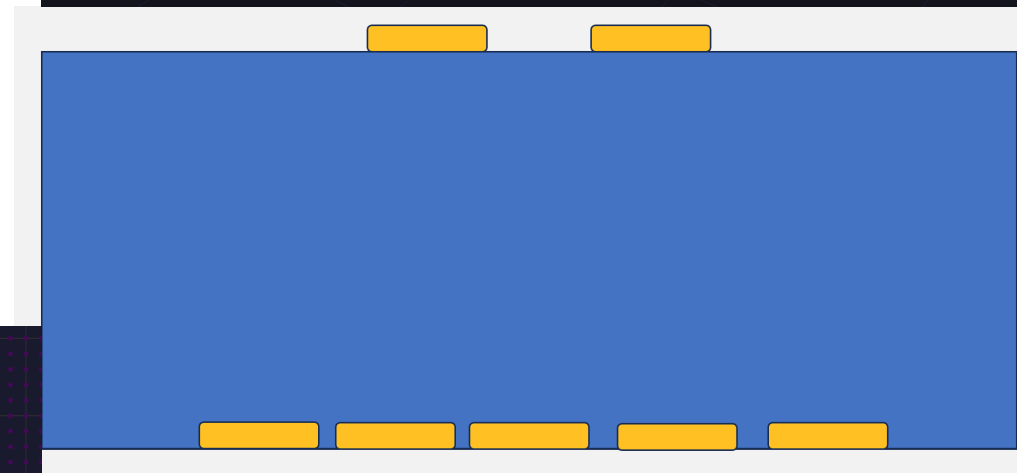
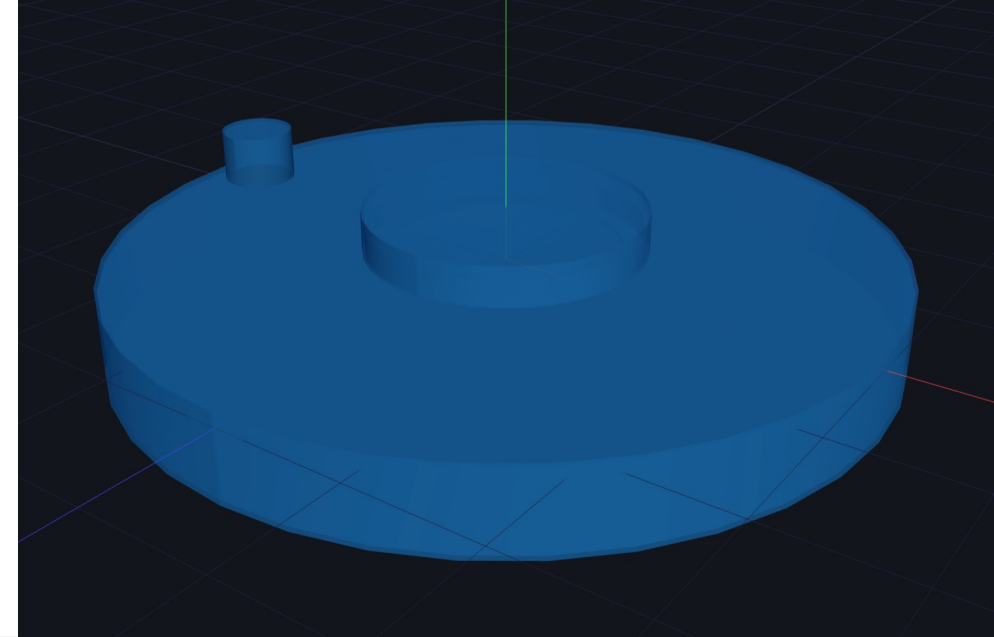
Station 级别 :

4 x 5 MD

2 x 2 ED

阵列级别:

121 x 121



单个探测器模拟

执行方式

- 绕过 CORSIKA 读取，完全由 Geant4 GPS 控制粒子源
- 初始化时执行宏：/control/execute fMacroFile
- 每批（默认 5000）执行单个粒子的模拟
- 每个事件随机分配 station ID
- Primary ID 设为 -1（无 CORSIKA primary）
- 批次结束后调用 Flush, 进行后续重建
- 每个批次都可以模拟单个shower

后续任务

- 每批次的随机Station，模拟shower的分布？
- 多种粒子混合？

粒子数据读取&模拟

事例 : 1个 Corsika shower

Primary 数据

能量, 芯位, theta, phi, fX0, fXmax, fNmax, fStartAltitude, miniGlobalTime

Corsika 数据读取(MpaSvcReadCorsika)

1. 每个粒子进行位置抽样(同一个shower, 同样的位置shift)
2. 判断每个次级粒子是否经过Station区域
3. 经过区域的粒子, 进入Geant4 模拟
4. 检查当前的 station 是否饱和
5. 将坐标从全局转换为 station 局部坐标, 设置 PDG/位置/动量
6. z 方向动量取反: CORSIKA 中向下动量 pz 为正, Geant4 中 z 向上
7. 注入位置, 顶部最高 z + 35 cm
8. 经过ED/MD灵敏区域的粒子, 保存所有的step信息
9. 可选: save_corsika_hit, 保存原始 CORSIKA 击中 + station ID

事例数据(step 信息):

1. MpaEvtEDRawMCCol MpaEvtMDRawMCCol
2. 沉积能量, 时间 (local + global), barrelID, UniqueID(100*StationID + BarrelID)

模拟重建

MpaSvcReadCorsika
读取

MpaAlgStationSimu
Geant4 模拟

MpaAlgReconSimple
重建压缩

MpaSvcRootIO
写出 ROOT

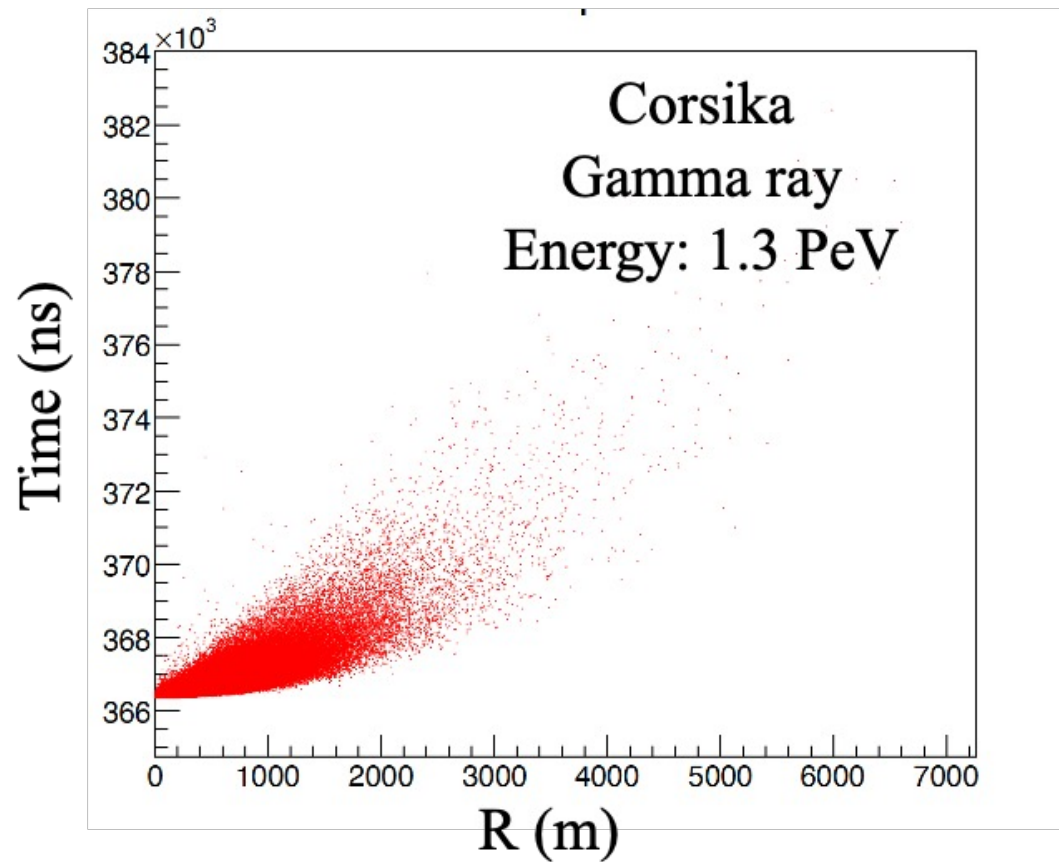
1. TDC 时间窗累积 (每 barrel) :

- $e\pm \mu\pm$, $E_k > 3\text{MeV}$
- 最早时间 = TDC 起点 t_0
- 累积 $[t_0, t_0+\text{timeWindow}]$ 内所有步的能量 (sumE) 和计数 (count)
- 窗口外丢弃
- 提取 barrel 中心位置

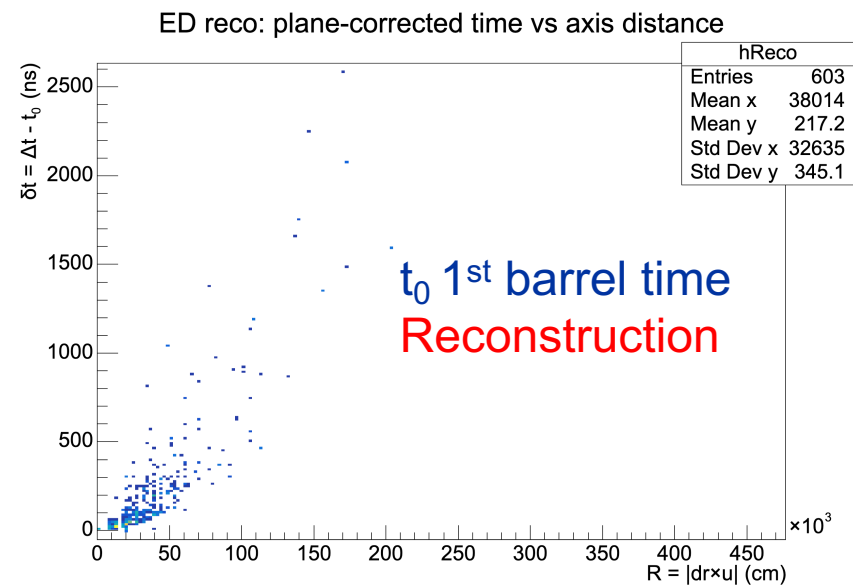
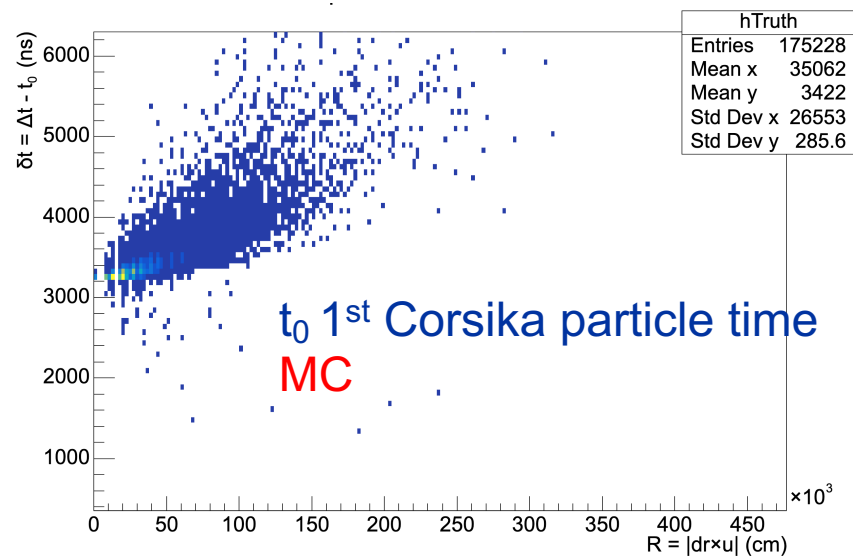
2. 输出 :

- barrel ID
- HitTime, TDC 起点时间 (ns)
- barrel 中心位置
- NParticles = nStep
- ADC = 总能量沉积 (MeV)

运行结果对比



From Jiayin



Current framework

CAD 问题



问题1

- TGDMLParse是ROOT工具包，通过构建TGeoTessellated实现3d结构。
- TGeoTessellated -> Contains(pos); 判断当前位置是否在结构内部。
- 这个函数返回值全部是0，函数逻辑有问题。
- ROOT 6.28.10 -> 6.40.02，均存在这个bug。

• 问题2

- CAD转换的GDML，重复使用相同的数字，做为位置名称
- 多个模块组装到一起，会导致位置输出冲突，引用了错误的位置。
- CAD转换软件需要更聪明的命名方式，或者切换到别的转换软件。

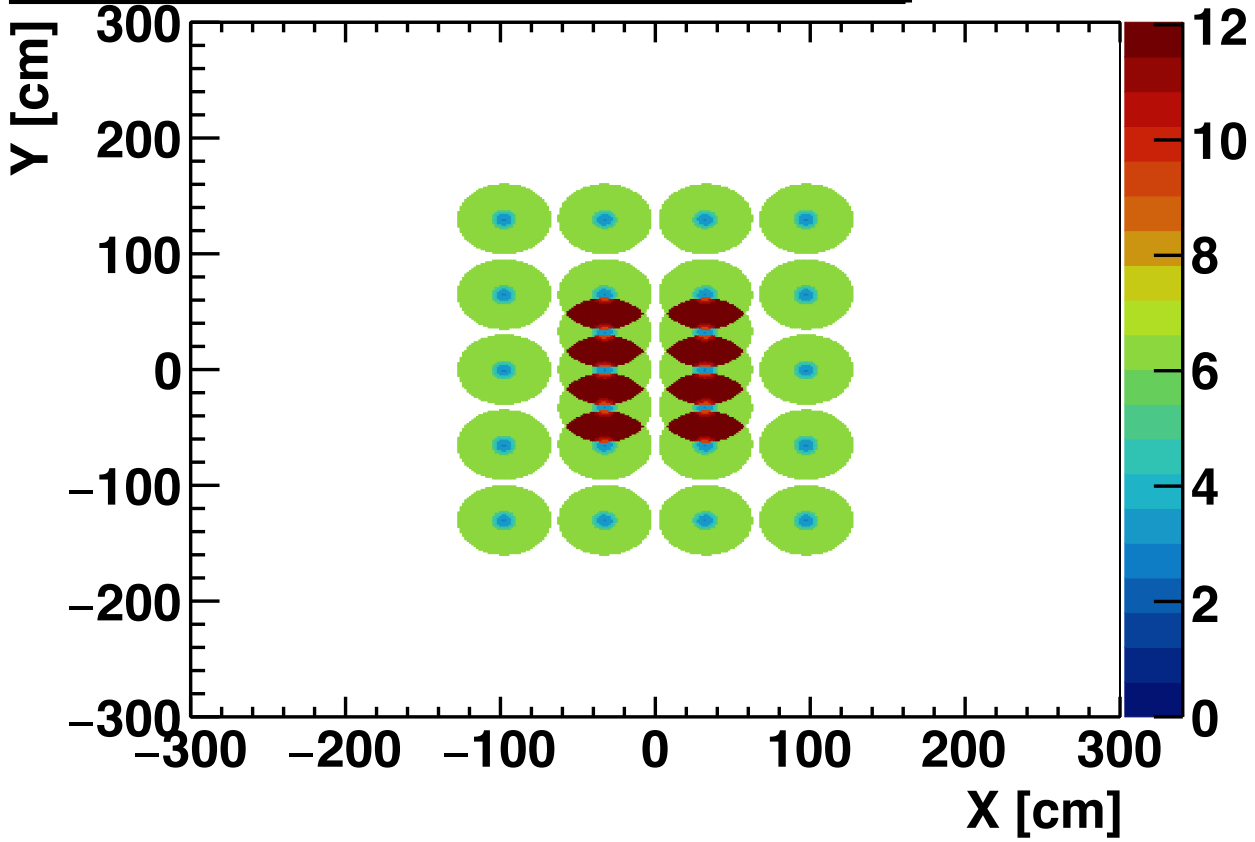
• 问题3

- DD4HEP缺少一个关闭3D几何结构的函数
- Geant4扫描 Volume的时候，因为上次图形未关闭，Geant4认为结构不存在。

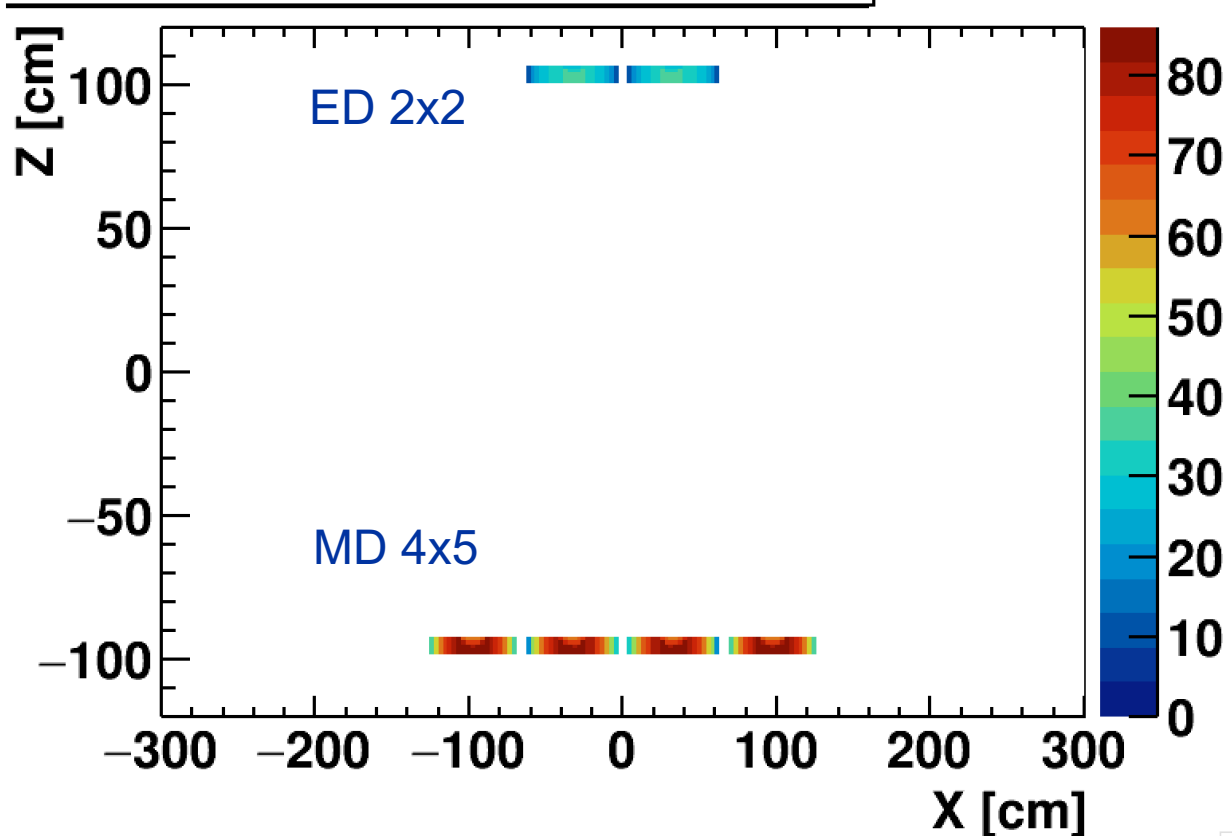
这3个问题均已解决，
需要更新DD4HEP

CAD材料分布(Geant4 扫描结果)

Material Density Scan yx projection



Material Density Scan zx projection



材料分布与CAD的灵敏区域设计相符

结论&展望

1. 目前的框架软件已经完成了完整的模拟流程
2. 数据读取，内存/数据写入经过优化，每次模拟3GB以内。
3. 事例展示已经完成
4. shower的时间、位置分布经过验证
5. 探测器具体材料，需要经过精细优化
6. CAD 结构需要更多的时间验证
7. 各参与单位需要重新编译dd4hep