# 基于REST的无中微子双β衰变实验的蒙特卡洛模拟

## 1.介绍

PandaX-III实验计划在中国锦平地下实验室进行无中微子双β衰变实验。该实验利用高压气体时间投影室(TPC)记录实验过程中的能量沉积和电子轨道的拓扑信息。为了实物实验在缺乏先前经验的情况下能够以更高的精确度开展，提高检测效率，我们计划使用基于Rare Event Searches with TPCs Software(后称REST)软件的蒙特卡洛模拟，重建本实验中使用的TPC模型，和相关实验步骤。我们后续将使用机器学习分析模拟的结果，并对于实验参数的选择进行调整，以更好得抑制背景信号，增加目标信号的检测效率。

## 2.几何模型

## 模拟

##模拟过程的流程图

### 3.1基于Geant4的蒙特卡洛模拟数据的生成

模拟过程的第一步就是使用Geant4进行数据的生成。依据上文中的几何模型，模拟粒子在Xe-136气体介质中的相互作用并记录所有作用过程中的process parameters，simulation conditions, readout definition, 和 gas properties。

本次模拟我们使用了基于Geant4的RestG4模拟包，在使用RestG4的过程中，TPC有效体积中电离出的电子的轨迹会随机生成，当这些粒子在轨迹上行进时会因为散射和一些特殊的物理过程沿着轨道沉积能量。而此时Geant4会跟踪这些轨迹，将时间戳、粒子类型、动量、能量沉积和位置等信息记录下来。由于背景事件的Geant4会将这些信息封装在一个TRestG4Event中。在REST架构下，TRestG4Event能够被转换为TRestHitsEvent，从而进行更具体的处理和分析。

##如果到这一步就有图的话就分别把本底和信号的图片选取一张比较好看的放上去

## 3.2基于REST对打到readout平面的电子进行的数据处理

模拟过程的第二步是利用REST已经封装好的一些接口进行数据的进一步处理。此阶段主要对打到readout平面的电子进行更精确的数据处理。下面将详细介绍每一个处理步骤的物理意义和一些重要处理手段对应的结果。

3.2.1 TRestG4AnalysisProcess:

此过程作用于TRestG4Event。因为之后我们将进行的TRestG4ToHitsProcess会导致大量Geant4有关的数据丢失，所以在进行事件转换之前需要将这些会被丢失的数据存储进分析树以便后续的研究。通过这个过程，我们能够把一些重要数据保留下来，在不影响对于数据进行处理的基础上使得数据具备一定完整性。

本次数据处理记录了以下参数：Energy deposited in the gas volume in keV、Total energy deposited in all the volumes in keV、photoelectric(Its value will be 1 if the event contains a photoelectric interaction.)即是否存在photoelectric interaction 、compton (Its value will be 1 if the event contains a compton scattering process.) 即是否存在康普顿散射、bremstralung (Its value will be 1 if the event contains a bremstralung physics process)即是否存在bremstralung过程。除此之外我们还手动设定了最低能量阈值和最高能量阈值，分别为2390keV和2520keV。【不确定阈值这个概念合不合适，或许是energy cut？】

3.2.2 TRestG4ToHitsProcess

此过程将TRestG4Event转换为TRestHitsEvent，在进行此步骤的过程中，所有和Geant4相关的信息如上文介绍那样，都会丢失，转换成仅保留了部分信息的数据点。这些数据点的集合就是TRestHitsEvent。这个结构包含了粒子在反应过程中被存储在三维坐标系中的x，y，z的数据，我们将使用这个数据类型来描述探测器中的能量沉积。

下面三张图片分别为信号事件和背景事件的TRestHitsEvent图像。

##放三张图像

3.2.3TRestElectronDiffusionProcess

该过程使用实验中的Xe-136气体的扩散系数模拟电子从初始位置到最终读出平面过程中产生的相对偏差，这个相对偏差是由一级电离产生的。TRestHitsEvent中发现的每一次碰撞都会有一个相对应的能量被记录，我们把这个能量当做电离过程产生的能量，那么我们可以计算出在这次碰撞中产生了多少因电离而出现的电子，我们将每一个电子都当成是TRestHitsEvent 结构中的一个新的Hits点，它们的坐标将按照Xe-136固有的参数、它的纵向和横向扩散系数以及发生碰撞的点到读出平面的距离等，进行高斯分布后得出。

本次实验在这个Process中设定了以下参数：电场强度设定为1keV/cm，气压设定为10个大气压，并且使用读出平面上收集到的能量作为观测器。【Xe-136的扩散系数是在root里面吗？Myprocess.rml的代码里没有找到】

下面三张图分别为信号事件、和两个背景事件经过电子扩散模拟后的图像，和初始的图像进行对比可以发现。。。

##三张图片

## 3.3基于REST对移动中的电子进行的数据处理

模拟过程的第二步是对探测器内部正在轨迹上行进的电子进行的数据处理。Geant4的模拟对于探测器和电子的响应过于理想化，此处针对这情况进行相对应的数据处理。此阶段的处理过程仍是针对单个Hits的，所以我们处理的事件类型依旧是TRestHitsEvent。

3.3.1TRestAvalancheProcess

该过程是为了在模拟过程中添加探测器本身引入的电荷信号增益，故依据探测器能量分辨率，对每个hit点的沉积能量添加一个探测器增益的随机涨落，近似于模拟电子在读出平面内的放大过程。

该过程中添加的参数有energyreference 为2458keV，resolutionreference 为3，

其物理意义为在2.458MeV能量下，探测器的误差为3%的半高全宽。以及detectorGain为1，即本次模拟使用的探测器的电荷信号增益定为1。

3.3.2 TRestFiducializationProcess

从TPC的几何模型我们可以看出，我们在模拟过程中使用的灵敏体积为以直径xx的圆为底，xx为高的圆柱体，即我们的读出平面被设定为了直径为xx的圆。但是实际情况是，我们使用了41个尺寸为192mm\*193mm的readout进行拼接，最终得到近似于圆形的读出平面。该过程就是用于对被readout平面检测到的电子进行筛选，删除没有打在实际readout平面的数据。

3.3.3 TRestHitsSmearingProcess

该过程模拟了电子响应过程中的拖尾效应，本次模拟中定义了以下参数：energyReference = 2458keV 和resolutionReference = 2.19。其物理意义为在2.458MeV能量下，探测器的误差为3%的半高全宽。

3.3.4 TRestHitsShuffleProcess

该过程通过对电子进行一次shuffle，使得生成的电子数据的顺序打乱，以达到更加真实的效果，本次模拟中我们定义了以下参数：迭代次数定为1000.

## 3.4基于REST的电子学模拟

模拟过程的第四步也是最后一步，是对转换成信号事件的数据进行电子学模拟。我们引入了一些方法如：添加噪声、零位抑制、信号成形等。基于此阶段的数据处理是针对信号事件的，所以在最开始需要进行事件类型转换以得到TRestTimeSignalEvent和TRestRawSignalEvent。在数据处理的最后我们将把事件类型重新转换为TRestHitsEvent以便之后机器学习的顺利进行。

3.4.1 TRestHitsToSignalProcess

该过程主要目的是得到 TPC 中初级电子所在位置到探测器读出平面的时间投影，从而得到TRestTimeSignalEvent。

TRestHitsEvent在三维坐标系中的坐标（xi，yi，zi）将被转换为TRestTimeSignalEvent。该过程使用读出平面的metadata结构，将每个坐标(xi，yi)与检测器的某个读出通道相关联，并利用读出平面的位置和气体中电子的漂移速度将zi属性转化为时间属性。在本次模拟中，我们在输入参数中给定特定气压和飘逸速度，从而在名为TRestGas的metadata中找到气体属性。

该过程使用的参数为：采样时间：200ns、electricField：1kV/cm、气压：10个大气压、和飘逸速度。其中飘逸速度将在模拟过程中生成？

TRestTimeSignalEvent：这个事件类型包含任意数量的非固定大小的数组，这些数组存储了时间变量ti和与之对应的特定物理量fi。

3.4.2 TRestSignalToRawSignalProcess

该过程将 TRestTimeSignalEvent 作为输入，并将其数据采样到与 TRestRawSignalEvent 的输出类型兼容的数组中，如采样时间 dt和采样点总数。它们作为输入参数提供给该过程。TRestRawSignalEvent的输出类型使我们能够使用REST自带的API的，所以这一步是必要的。

该过程使用的参数为：采样时间：200ns、采样点数量：512、触发模式：第一个产生沉积能量的点、触发延迟：100【单位不确定】、gain【增益？】、integralThreshold【积分阈值？】：10【单位不确定】。

TRestRawSignalEvent：该事件以固定大小的数列存储数字化后的信号样本。每个数列对应一个前端电子通道，并会被分配一个ID。这个ID能够映射到信号的几何图形，同时这个数列被用作描述信号随时间的演变。

3.4.3 TRestRawSignalShapingProcess

该过程模拟了 TRestRawSignalEvent中电子信号整形器的仿真。它将我们设定好的分析响应函数和输入的TRestRawSignalEvent做了一次卷积，从而获得检测器中的原始电荷分布。这一过程提供了引入任意波函数作为响应函数的可能性，为生成的输出增加了真实性。

该过程涉及到的参数为：shapingType：Gaus、shapingTime：1.014us、gain：1000

3.4.4 TRestRawSignalAddNoiseProcess

该过程用于模拟电子噪声的影响，同时模拟采集过程中时间信号的波动。我们在使用过程中会引入噪声的幅度这个变量，我们将在metadata中定义这个变量。在该过程中，我们使用的添加噪声方法为：给TRestRawSignalEvent 中的每个bin分配一个高斯分布后的独立的随机值。

该过程涉及到的参数为：noiselevel：10/4096\*120 fC。

3.4.5 TRestZeroSuppresionProcess

该过程的目的是将接近零位的信号进行筛选删除，手动提高零位。

从理论结果我们可以得知，信号强度在一定timebin范围内的振幅远高于其余timebin。为了使得在零位附近振动的信号经过转换之后不会对信号事件的机器学习产生负面影响，我们将设置偏移零位，以删除无用信号。

该过程涉及到的参数有：baseLineRange：20-40【单位不确定图上仅有amplitude的标识】、integralRange：(100,512)、pointThreshold：3.5【单位不确定】、pointsOverThreshold：5【单位不确定】、signalThreshold：2.8【单位不确定】、sampling：200ns。

需要特别说明的是，TRestZeroSuppresionProcess的输入是TRestRawSignalEvent，而输出是TRestTimeSignalEvent，即通过这个过程我们将对数据类型进行一次转换，简化了process的步骤。

3.4.6 TRestSignalToHitsProcess

该过程是TRestHitsToSignalProcess的逆过程，我们输入TRestTimeSignalEvent ，利用其中的时间信息和气体属性来恢复或重建TRestHitsEvent中的Hits点。具体过程为：每一个信号的ID都会对应readout的metadata中的特定描述，同时会对应到特定的读出通道。从而可以获得重建的坐标，

该过程使用的参数有：电场强度：1kV/cm、气压：10个大气压、飘逸速度：【待定】。此处参数和TRestHitsToSignalProcess相匹配，确保作为逆过程，经过此步骤不会改变数据真实性。

## 3.5总结

经过以上的所有过程，我们会得到一系列TRestHitsEvent。这些TRestHitsEvent在模拟过程中因为加入了许多仿真的数据处理，所以可以近似认为是无中微子双β实验的真实数据值。下文我们将利用机器学习对背景事件和信号事件进行识别和区分。