

切伦科夫光子测量对 LYSO-SiPM TOF-PET 探测器定时精度的提升

Tuesday, 16 July 2024 09:30 (15 minutes)

研究背景及目的: 高能 Gamma 光子在介质中传播所产生的电子速度超过光子在该介质中的传播速度时, 会发生切伦科夫 (Cherenkov) 辐射, 这种电磁辐射现象广泛应用于时间测量和粒子识别。飞行时间测量技术 (TOF) 是正电子发射断层扫描 (PET) 中的高精度定时方法, 能够提升正电子发射位置的测量准确度。切伦科夫光子探测可以提供皮秒级的时间分辨率, 进一步提升了 TOF-PET 的定时精度, 有助于提高 TOF-PET 测量正电子发射位置的精确度, 从而显著提升 PET 图像质量。

研究材料及方法: 本研究使用蒙特卡洛仿真程序 GATE 中的 LUT Davis 模型, 模拟了 Gamma 光子进入 LYSO 晶体条后, SiPM 单元阵列接收到荧光信号的时间分布。研究中使用的 LYSO 晶体条尺寸为 $2\text{ mm} \times 2\text{ mm} \times 20\text{ mm}$, SiPM 单元尺寸为 $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 。模拟中设置了 10^7 个 511 keV Gamma 光子从正面入射 LYSO 晶体, 分析了发生光电效应的时间 (T1) 分布及射线作用深度位置 (DOI) 分布, 统计了切伦科夫光子和荧光光子的产额。论文分析了 LYSO 晶体条不同 DOI 位置上切伦科夫光子到达 SiPM 单元的时间分布 (T2), 以及荧光光子的产生时间 (T3)。对 T1、T2 和 T3 进行了卷积, 计算了切伦科夫光子衰减时间谱, 以评估切伦科夫光子对 PET 最早信号触发时间及定时时间的影响。

研究结果: 一个 Gamma 光子在 LYSO 晶体发生作用时大约会产生 0-10 个切伦科夫光子, 其定时信号随着 Gamma 光子产生的切伦科夫光子数目和射线作用深度位置 (DOI) 而减小。当没有切伦科夫光子产生时, 荧光光子最早的定时时间在 0.4-0.86 ns 之间。当产生 2 个切伦科夫光子时, 最早的定时时间缩短为 0.23-0.73 ns。当产生 5 个切伦科夫光子时, 最早的定时时间进一步缩短为 0.08-0.54 ns。研究表明, 切伦科夫光子的产生时间为飞秒 (fs) 量级, 切伦科夫光子的探测显著提升了 PET 定时精度, 提升幅度在 0.13-0.32 ns 之间。

研究结论: 通过精确探测 511 keV 伽马射线在 LYSO 闪烁晶体中产生的切伦科夫光子, 能够显著提高 TOF-PET 的定时精度, 得到更高质量的 PET 图像, 为医学影像学领域带来更大的进步和创新。

关键词: 切伦科夫光子; TOF-PET; 定时精度

Primary authors: 张, 庆华 (兰州大学核科学与技术学院); 王, 沛文; 单, 诚洁 (Lanzhou University); 李, 清 (兰州大学); 郭, 典; 黄, 川; 邱, 玺玉 (兰州大学); 张, 春晖 (深圳技术大学); 尹, 永智; 丁, 宝卫

Presenter: 张, 庆华 (兰州大学核科学与技术学院)

Session Classification: 第一分会场 (RAS1)

Track Classification: 其它探测器