

文章编号: 1007-4627(2004)04-0309-03

HIRFL-CSRm 内靶实验终端 CsI(Tl)电磁量能器性能模拟*

李文飞, 徐珊珊, 孙志宇, 肖国青, 詹文龙, 郭忠言, 段利敏, 李加兴,
徐华根, 陈若富, 张雪荧, 贾 飞, 祁辉荣, 马 越, 张宏斌
(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 基于 GEANT4 模拟了 HIRFL-CSRm 内靶实验终端的 CsI(Tl)电磁量能器系统, 给出了 CsI 电磁量能器的最佳设计参数及可能达到的性能. 结果表明, 设计的 CsI(Tl)电磁量能器系统能够满足所研究的物理要求.

关键词: HIRFL-CSRm; 内靶实验终端; CsI 电磁量能器; GEANT4

中图分类号: TL503.92 **文献标识码:** A

1 引言

正在建造的兰州重离子加速器冷却储存环主环(HIRFL-CSRm)能够提供最高能量为 2.8 GeV 的质子束流以及最高能量为 1.1 AGeV 的重离子束流. 基于质子束流能够开展的物理研究有: 重子谱、双重子态、五夸克态以及中性介子的稀有衰变模式等. HIRFL-CSRm 内靶实验终端就是为开展这些研究而设计的探测器系统. 该探测器系统由以下几部分组成: 前角区探测器(包括前角区位置探测器、时间探测器及强子量能器)、中后角探测器(包括径迹探测器、塑料闪烁筒、CsI(Tl)电磁量能器以及超导螺线管)以及内靶系统. 图 1 给出该设备的剖面示意图^[1].

电磁量能器是 HIRFL-CSRm 内靶实验终端的重要组成部分, 由 1 024 块梯状 CsI(Tl)晶体组成, 位于塑料闪烁桶和超导螺线管之间. 电磁量能器主要用来探测中性介子衰变产生的光子, 同时还可以探测中子和电子. 由于电磁量能器位于超导螺线管内部, 而光电倍增管受磁场影响较强, 因此采用光电二极管读出. 电磁量能器主要用来测量光子的能量和发射角度, 因此能量、角度的分辨能力将是电磁量能器的主要性能指标. 本文基于探测器模拟工具 GEANT4^[2]系统地模拟了电磁量能器对光子的响应, 同时对光子的能量和角度进行了重建. 通过

计算 CsI(Tl)晶体的长度对光子探测能力的影响给出了 CsI(Tl)晶体的最佳设计长度. 系统地计算了电磁量能器对不同能量的光子的探测能力. 最后模拟了电磁量能器对 π^0 介子衰变产生的双光子的不变质量谱, 并给出了不同动能的 π^0 产生的双光子不变质量的分辨.

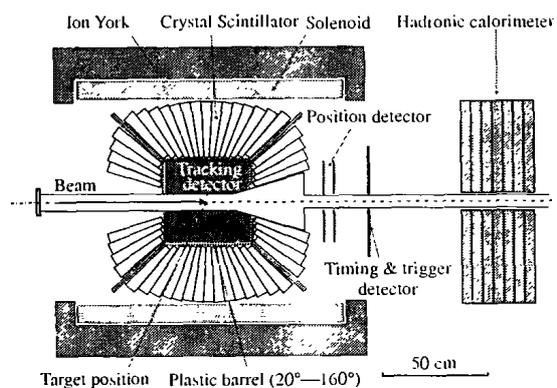


图 1 HIRFL-CSRm 内靶实验终端剖面示意图

2 模拟过程及结果

电磁量能器模拟系统是基于 GEANT4 建立起来的. 在给定反应末态粒子的四动量以及探测器系统几何结构的情况下, 这套模拟系统可以模拟出各 CsI(Tl)晶体中的能量沉积. 然后利用事件重建程序将光子的能量和发射角度重建出来. 最后利用

收稿日期: 2004 - 08 - 16

* 基金项目: 中国科学院知识创新工程重点方向性资助项目(KJ9X2-SW-N11); 国家重大基础研究发展规划资助项目(G200007740); 科技部基础研究重大项目前期研究专项基金资助项目(2001CCB01200)

作者简介: 李文飞(1976-), 男(汉族), 内蒙古四子王旗人, 博士研究生, 从事原子核物理研究; E-mail: wfli@impcas.ac.cn

PAW^[3]给出结果谱图. 图 2 给出了模拟过程的示意图.

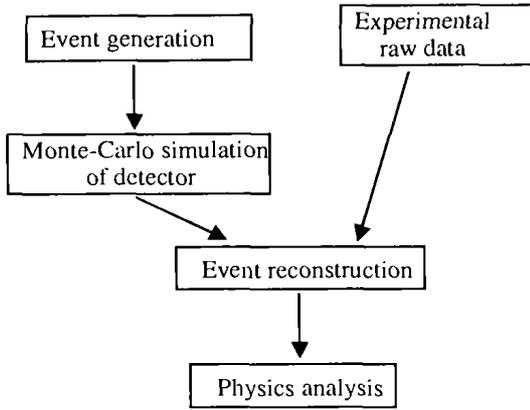


图 2 HIRFL-CSRm CsI(Tl)电磁量能器模拟过程示意图

基于该模拟系统, 图 3 给出了不同长度的 CsI(Tl)晶体构成的电磁量能器的能量收集率 $\eta(\eta = E_\gamma(\text{重物})/E_\gamma(\text{产生}))$ 随光子能量的变化. 其中不同数据点分别表示根据电磁量能器的几何构型, 不同的位置处 CsI(Tl)晶体的长度在 20—30 cm 之间变化, 以给出一个尽量光滑的电磁量能器表面. 可见, 随能量的增加, 能量收集率越来越低. 同时晶体长度越长, 能量收集率越高. 当晶体长度为 30 cm 时, 能量收集率已经达到 97% 左右. 另外可以看到, 如根据电磁量能器的几何构型, 不同的位置选择 CsI(Tl)晶体的长度在 20—30 cm 之间变化, 给出的能量收集率与采用 30 cm 长的晶体的收集率相当. 这一构型在不影响量能器性能的前提下可以节省晶体材料, 降低费用. 因此, 在下面的模拟中采用了这一几何构型.

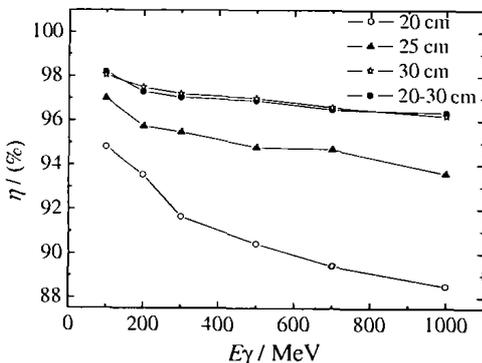


图 3 不同长度晶体的 CsI(Tl)电磁量能器的能量收集率随光子能量的变化关系

电磁量能器的能量分辨和位置分辨是主要的性能指标. 基于 GEANT4 能够给出电磁量能器的能

量沉积, 并采用重心法给出光子的发射角. 对得到的能量和角度修正后可以给出光子的能谱、角分布、能量分辨和发射角度分辨等. 采用该方法模拟了光子发射极角为 90° , 50° 及 130° 时电磁量能器的能量分辨以及极角方向的角度分辨. 结果表明, 随着光子能量的升高, 能量分辨越来越好, 当光子能量大于 300 MeV 后, 能量分辨保持在一恒定值. 对能量为 100—1 000 MeV 的光子得到的能量分辨 σ_E/E 在 1.5%—3% 之间. 另外, 重建出的极角的角度分辨 $\sigma_\theta < 2^\circ$, 其中模拟中没有包括光产生及收集等过程对能量分辨和角度分辨的影响.

根据 HIRFL-CSRm 所开展的物理研究, 电磁量能器所探测的光子主要来自于中性介子的双光子衰变. 根据双光子的能量和角度重建出中性介子的不变质量谱将是电磁量能器的主要任务. 图 4 给出了重建出的动能为 300 MeV 的 π^0 介子衰变产生的双光子的不变质量谱, 重建出的双光子不变质量谱

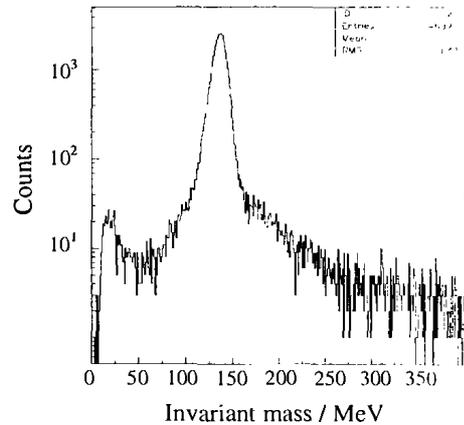


图 4 重建出的 π^0 介子衰变的双光子不变质量谱

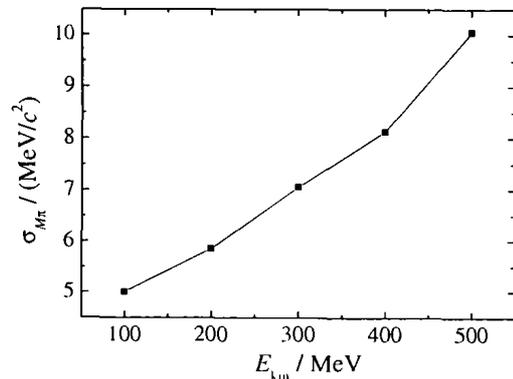


图 5 重建出的由垂直束流方向出射的 π^0 衰变出的双光子的不变质量分辨随 π^0 动能的变化

的中心值为 137.7 MeV. 可见, π^0 介子的质量能够

被很好地重建出来. 图 5 给出了由垂直束流方向出射的 π^0 介子产生的双光子的不变质量分辨随 π^0 动能的变化. 随着 π^0 动能的增加, 不变质量的分布宽度越来越大. 在 π^0 动能从 100 MeV 到 500 MeV 变化时, 不变质量的分布宽度在 5—10 MeV 之间. 此性能能够满足 HIRFL-CSRm 所研究的物理要求.

3 总结

本工作基于 GEANT4 系统地模拟了电磁量能

器对光子的响应, 计算给出了 CsI(Tl)电磁量能器的最佳设计结构. 模拟了电磁量能器对不同能量的光子测量的能量分辨和角度分辨等. 计算表明, 对 100—1 000 MeV 的光子, 能量分辨 σ_E/E 可以达到 1.5%—3%, 重建出的极角的角度分辨 $\sigma_\theta < 2^\circ$. 本文同时计算了电磁量能器对 π^0 衰变产生的双光子的探测能力, π^0 的质量可以被清楚地重建出来. 模拟给出的电磁量能器的性能能够满足所研究物理的要求.

参 考 文 献:

- [1] 徐珊珊. CCAST, 2002, 150: 59.
 [2] Geant4 User's Guides: For Application Developers, 2002, <http://geant4.web.cern.ch/geant4>.
 [3] Paw Reference Manual; Paw User's Guide. <http://www.wasd.web.cern.ch/www.wasd/paw>.

Performance Simulation of Internal-target Detector in HIRFL-CSRm*

LI Wen-fei, XU Hu-shan, SUN Zhi-yu, XIAO Guo-qing, ZHAN Wen-long, GUO Zhong-yan,
 DUAN Li-min, LI Jia-xing, XU Hua-gen, CHEN Ruo-fu, ZHANG Xue-ying,
 JIA Fei, QI Hui-rong, MA Yue, ZHANG Hong-bin
 (Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on the GEANT4, the performance of the electromagnetic calorimeter (EMC) of the internal-target detector at HIRFL-CSRm is simulated. The simulation results show that 1.5%—3% of the energy resolution σ_E/E and 2° of the polar angular resolution σ_θ can be obtained. The invariant mass of the π^0 decay can be reconstructed well. The performance can meet the requirement of studying the proposed physics at HIRFL-CSRm.

Key words: HIRFL-CSRm; internal target detector; CsI(Tl) electromagnetic calorimeter; GEANT4

* **Foundation item:** Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (KJCX2-SW-N11); One Hundred Person Project of Chinese Academy of Sciences; Major State Basic Research Development Program in China (G2000077400); Foundation of Major Prophase Research Project of Fundamental Research of the Ministry of Science and Technology (2001CCB01200)