

铁乳胶室中的簇射转换曲线的特征 与 γ /强子分辨*

季晓斌 傅宇 薛良 张学尧
李婕 李金玉 张乃健 何瑁

(山东大学物理系 济南 250100)

任敬儒 陆穗苓

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 利用加速器高能物理实验中通用的探测器模拟软件 GEANT3 对于铁乳胶室进行了室内模拟,研究了级联簇射转换曲线及半宽度的性质,讨论了利用半宽度分布将簇射起始深度 $\Delta t < 6c.u.$ 的簇射事例中的强子与 γ 线区分开来的可能性. 给出了在铁乳胶室实验中之行之有效的区分 γ /强子的联合判选标准.

关键词 铁乳胶室 级联簇射转换曲线 半宽度 γ /强子分辨

1 引言

高山乳胶室是研究 10^{14} — 10^{16} eV 能区宇宙线超高能核作用的重要实验手段^[1]. 人们对于由高山乳胶室所记录的高能簇射(γ 线,强子)进行研究,可以给出有关宇宙线超高能强相互作用机制、原初宇宙线组成与宇宙线形态学等方面的重要信息. 由于强子成分是在超高能核作用过程中直接产生的,携带有更多的有关强子相互作用过程的信息,因此,如何在实验上正确区分 γ 线与强子是该项研究的重要前提.

在乳胶室实验中是根据簇射起始点深度(Δt)的分布把强子和 γ 线区分开来. 通常用的标准为: $\Delta t < 6 c.u.$ (辐射长度)且无明显后继作用的事例为 γ 线;而把其余的定为强子. 强子在铁中衰减长度约为 $11.2c.u.$ ^[2],对于甘巴拉山铁乳胶室(室厚为 $29c.u.$),大约有 50% 的强子会落在 $\Delta t < 6 c.u.$ 的 γ 候选区内. 因而如何在实验上利用 γ 线与强子的簇射转换曲线的不同特征,把混入到 $\Delta t < 6 c.u.$ 中的强子挑选出来是非常重要的.

本文给出了实验事例的起始点深度分布及其簇射转换曲线半宽度的特征,将广泛用于高能物理实验探测器的模拟程序包 GEANT3 用于铁乳胶室的室内 Monte Carlo 模拟,给

2001-01-16 收稿

* 国家自然科学基金和高等学校博士学科点专项科研基金资助

出了强子与 γ 的簇射转换曲线,对其性质进行了讨论,并据此给出了在实验上可以采用的铁乳胶室中区分强子与 γ 的联合判选标准.

2 实验事例的起始点深度分布及其簇射转换曲线半宽度的特征

本工作使用的实验数据来自中日合作甘巴拉山 K2 - K7 铁乳胶室. 为了保证簇射转换曲线拟合的精度,只选取那些 $E_{\text{in}} \geq 7\text{TeV}$,且至少在四层感光层上有清晰可测的簇射斑的事例,共约 300 个. 通过将拟合得到实验上的簇射转换曲线与相应的理论转换曲线相比较,求得每一个事例的起始点深度. 图 1 是所有事例的 Δt 分布及用最小二乘法拟合的 γ 和强子的 Δt 分布. 由它们的分布曲线可以估算出大约有 50% 的强子事例落入 $\Delta t < 6\text{c.u.}$ 的 γ 候选区内,对这些小 Δt 的强子有可能利用其簇射转换曲线的特征加以判选.

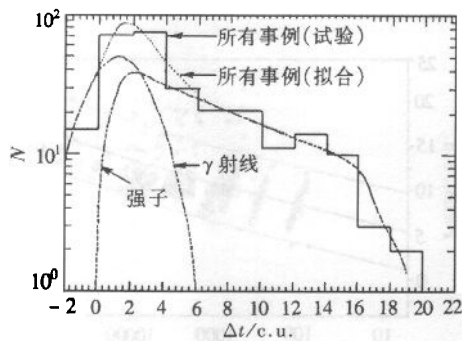


图 1 簇射起始点深度的分布

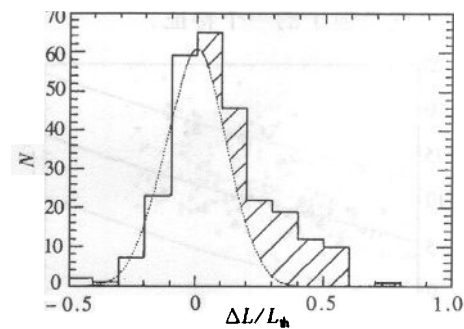


图 2 全部事例的 $\Delta L/L_0$ 分布

簇射转换曲线的半极大全宽度^[3] (Full Width of Half Maximum, 简称 *FWHM*) 是指转换曲线极大值一半处的全宽度(单位为 c.u.). *FWHM* 与粒子的簇射过程紧密相关:对于 γ , 因为 γ 是单纯的电磁簇射过程, 所以其簇射转换曲线形状比较规则; 对于强子, 由于它同时涉及核级联与电磁级联过程, 其簇射转换曲线有可能是由若干起始点不同的 γ 簇射转换曲线叠加形成, 因此强子簇射转换曲线有可能比相应的 γ 簇射转换曲线的半宽度大, 甚至出现多峰特征. 把理论 *FWHM* 记为 L_0 , 实验 *FWHM* 为 L , $\Delta L = L - L_0$ 为 *FWHM* 偏差. 因为相对偏差 $\Delta L/L_0$ 较 ΔL 能更准确地反映实验值与理论值的偏离情况, 我们将利用 $\Delta L/L_0$ 为特征量进行 γ /强子判选. 图 2 给出了全部事例的 $\Delta L/L_0$ 分布. 以 $\Delta L/L_0 < 0$ 的部分作对称的高斯分布(虚线), $\Delta L/L_0 \geq 0$ 的事例中有一部分处于高斯分布之外, 即图中阴影部分, 应该是由于正常统计涨落之外的因素引起的, 由下面的模拟计算可以看出, 这些事例主要来自强子的贡献.

3 模拟结果及讨论

本工作采用了在加速器高能物理实验中被广泛采用的模拟程序包 GEANT3^[4] 对于宇宙线粒子在铁乳胶室内的三维级联簇射过程进行了 Monte Carlo 模拟. 在模拟程序中, 对

甘巴拉山铁乳胶室作如下的描述:把 5c.u. 的预吸收层定义为 $40\text{cm} \times 50\text{cm} \times 9\text{cm}$ 的铁质的长方体;2c.u. 的吸收层定义为 $40\text{cm} \times 50\text{cm} \times 3.6\text{cm}$ 的铁质长方体;由于感光层所用各种材料的厚度、密度均很小,因此把感光层近似定义为 $40\text{cm} \times 50\text{cm} \times 0.34\text{cm}$ 的材料为空气的长方体. 实际模拟表明这样的近似处理带来的误差可以忽略.

对于由模拟计算得到的不同观测能的 γ 线与强子在铁乳胶室中的簇射转换曲线进行了分析,并对如何利用铁室模拟数据进行 γ /强子的判选^[5]做进一步研究. 图 3,4 分别给出了本工作模拟的强子和 γ 事例的簇射转换曲线的 $FWHM$ 与观测能量 E_{vis} 的关联. 从图中可以看出:强子的 $FWHM$ 分布比 γ 分散得多,强子中的大 $FWHM$ 事例也明显多于 γ . 在图 3,4 中,各以全部事例的 $FWHM$ 的理论值(实线)为中心对称地做出两条线,使落在两条线之间的事例占全部事例的 90%(虚线). 定义在这两条虚线之间的垂直距离为 $FWHM$ 的分散度 d ,则强子的分散度 $d_h = 13.8\text{c.u.}$, γ 的分散度 $d_\gamma = 8.6\text{c.u.}$ 强子的分散度明显大于 γ ,这是强子的一个特征.

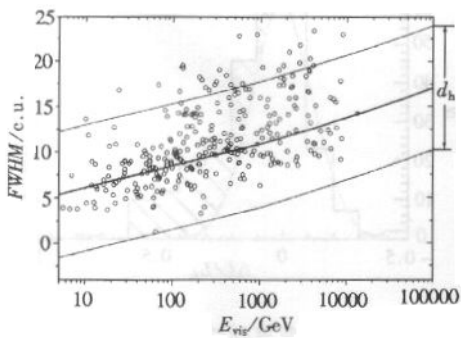


图 3 模拟得到的强子的 $FWHM - E_{vis}$ 关联
○质子.

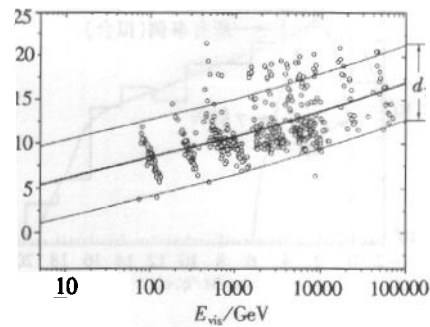


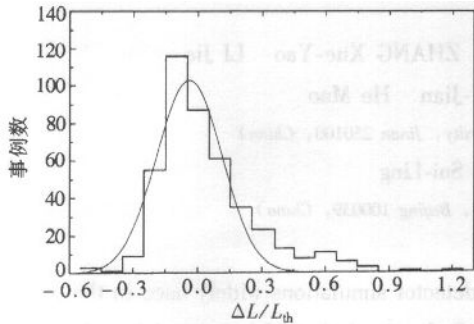
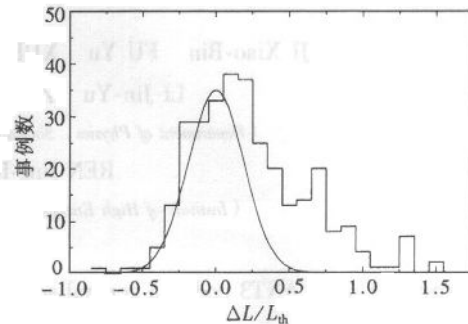
图 4 模拟得到的 γ 事例的 $FWHM - E_{vis}$ 关联
○ γ 射线.

图 5,6 给出了模拟得到的 γ 和强子的 $\Delta L/L_h$ 分布. 从中可以看出, γ 的 $\Delta L/L_h$ 分布比较集中,而且基本上正是正态的高斯分布. 强子的分布则不同: $\Delta L/L_h$ 分布很宽,并且 $\Delta L/L_h$ 比较大的事例很多. 用强子(图 6)中 $\Delta L/L_h < 0$ 的事例的数据对称地做高斯分布(虚线),其标准偏差为 $\sigma = 0.18$,如果把 $\Delta L/L_h \geq 2\sigma (= 0.36)$ 的事例认为就是强子,则利用这一附加判别方法就可以把 $\Delta L/L_h > 2\sigma$ 的强子挑选出来. 用这种方法挑选出的强子占强子总数的 48%,而 γ 事例中 $\Delta L/L_h > 2\sigma$ 的事例少于 5%,因此 $\Delta L/L_h$ 判别方法使强子判选可信度大于 95%.

通过以上的分析,可以得到如下的强子、 γ 联合判选标准:

- (1) $\Delta t \geq 6\text{c.u.}$ 的事例为强子;
- (2) $\Delta t < 6\text{c.u.}$ 但有明显后继作用(如双峰事例、多峰事例等)的事例也是强子;
- (3) $\Delta t < 6\text{c.u.}$ 的事例中,以 $\Delta L/L_h < 0$ 的部分作高斯分布,高斯分布的标准偏差为 σ ,则 $\Delta L/L_h \geq 2\sigma$ 的事例可以认为是强子;
- (4) 其余的不符合上述三项规则的事例为 γ 线.

对于厚度为 29c.u. 的铁乳胶室,利用以上的联合判选标准,在实验上可以把观测能 $E_{vis} \geq 7\text{TeV}$ 且在四层以上感光材料上留下可测量黑斑的强子挑选出 70% 以上,而单纯利用常用的 Δt 判选标准的强子判选效率仅有约 50% 左右. 结果表明,该联合判选标准为充分利用铁乳胶室实验数据进行物理分析提供了一个更为有效的工具.

图 5 γ 事例的 $\Delta L/L_{th}$ 分布图 6 强子事例的 $\Delta L/L_{th}$ 分布

作者衷心感谢甘巴拉山乳胶室合作组对本工作的支持.

参考文献 (References)

1. REN Jing-Ru, HUO An-Xiang, LU Sui-Ling et al. Phys. Rev. 1988, **D38**(5):1404
2. ZHANG Nai-Jian, WANG Cheng-Rui, HE Mao et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1989, **13**(11):961(in Chinese)
(张乃健,王承瑞,何璟等.高能物理与核物理,1989,13(11):961)
3. Kasahara K. Phys. Rev., 1985, **D31**(11):2337
4. Geant Team. [R]. CERN DD/EE/90/1, 1990
5. REN Jing-Ru, LU Sui-Ling, SU Shi et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1990, **14**(11):961(in Chinese)
(任敬儒,陆穗苓,苏实等.高能物理与核物理,1990,14(11):961)

Characteristics of the Transition Curves of Showers and Discrimination of γ -Rays and Hadrons in Iron Emulsion Chambers *

JI Xiao-Bin FU Yu XUE Liang ZHANG Xue-Yao LI Jie

LI Jin-Yu ZHANG Nai-Jian He Mao

(*Department of Physics, Shandong University, Jinan 250100, China*)

REN Jing-Ru LU Sui-Ling

(*Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China*)

Abstract The GEANT3 code, a general software for detector simulations widely used in the experiments of particle physics, is introduced to the Monte Carlo simulation of iron emulsion chambers. Some Characteristics of transition curves of cascade shower and their *FWHM* (Full Width of Half Maximum) are studied. The probability of discriminating hadrons from gamma rays using the *FWHM* distributions for the shower events with starting depth $\Delta t < 6c.u.$ is discussed and an efficient joint criterion of discriminating hadrons from γ -rays in iron emulsion chambers is obtained.

Key words iron emulsion chambers, transition curves of cascade showers, *FWHM* (full width of half maximum), discrimination of γ -rays and hadrons

Received 16 January 2001

* Supported by NSFC and Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China