

与事例。现

支持。

9), 76.

YS AND

ergy interac-
CKP model
roduce more
s to nucleus
luster events
, two-cluster
t in forming
lata it is ex-
r P_T .

宇宙线 μ 子天顶角分布在线测量

王殿荣 王先佩 李成泽 陈元柏

林建锋 张家铨 赵京伟 姜婴娜

徐雨林 唐素秋 戴贵亮

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文给出了用闪烁计数器描述仪构成的望远镜阵列测量宇宙线 μ 子天顶角分布的初步结果。天顶角的范围为 0° 到 17.7° 十种不同的角度值。实验结果表明,宇宙线 μ 子强度对天顶角 θ 的依赖关系服从 $\cos^2\theta$ 分布规律。用描述仪望远镜阵列测量天顶角分布的优点是: 角度分辨率好, 而且还可以同时获取多个角度的数据。

本文描述了由两个 4×4 条闪烁计数器描述仪构成的望远镜在线测量系统。它由 256 个望远镜单元组成阵列, 同时获得 10 个角度下的数据。数据的实时采集, 分析处理等均由微型计算机在线完成。

一、引 言

在北京地区, 海平面上的宇宙线 μ 子天顶角分布的数据尚是空白。用闪烁计数器描述仪构成的望远镜阵列测量 μ 子的天顶角分布是十分有利的, 不但能把角度分得很细, 角分辨率好, 而且还可以同时获得多个角度的数据。在本实验中, 由 256 个望远镜单元组成阵列, 同时获取 10 个角度下的数据。这样, 大大地缩短了取数据的时间, 提高了数据的统计性。

从宇宙线中选择能量大于 200 MeV 的 μ 子通过间距为 69.2 cm 的上下两层 4×4 条闪烁计数器描述仪 H_1 和 H_2 , 实际装置的示意性安排见图 1 和图 2。 H_1 和 H_2 的面积为 $20 \times 20 \text{cm}^2$, 每个又分成 16 个 $5 \times 5 \text{cm}^2$ 的探测单元。 H_1 和 H_2 构成望远镜阵列, 可测最大角度为 17.7° 。宇宙线 μ 子通过描述仪的轨迹由微型计算机在线处理, 求出其天顶角, 并归并到相应天顶角下的计数中, 做其天顶角分布。数据的实时采集, 分析处理, 归并, 各种因素的校正及误差计算等, 均由计算机在线完成。在程序中, 也可分段保留原始数据, 做离线分析。程序方便, 灵活, 操作简单。

二、实验装置

H_1 和 H_2 为 4×4 条闪烁计数器阵列, 它们由二个平面组成. 每个平面包含四个闪烁计数器标准单元, 交替放置, 两个平面的闪烁条互成 90° 安放在架子的中心部分, 构成二维坐标. 每条闪烁体大小为 $40 \times 5 \times 0.6 \text{ cm}^3$, 中心重迭面积为 $20 \times 20 \text{ cm}^2$, 内含 16 个 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 单元. 闪烁体为国产 ST401, 光电倍增管为国产 GDB50. 该描述仪的详细结构与性能见文献[1].

H_1 和 H_2 分别放置在间距可变的上下二层架子上. 在该实验中, 间距为 69.2cm, 构成描述仪望远镜.

首先用宇宙线 μ 子分别测量了 H_1 和 H_2 各单元的相对探测效率, 存于计算机. 然后给出该描述仪望远镜 256 个单元的相对效率, 供检查与监测用. 该相对效率可在取数据前测量, 也可在取数据过程中在线测量.

该描述仪望远镜的闪烁计数器阵列, 事例判选, 数据读取系统的方块图如图 1 所示.

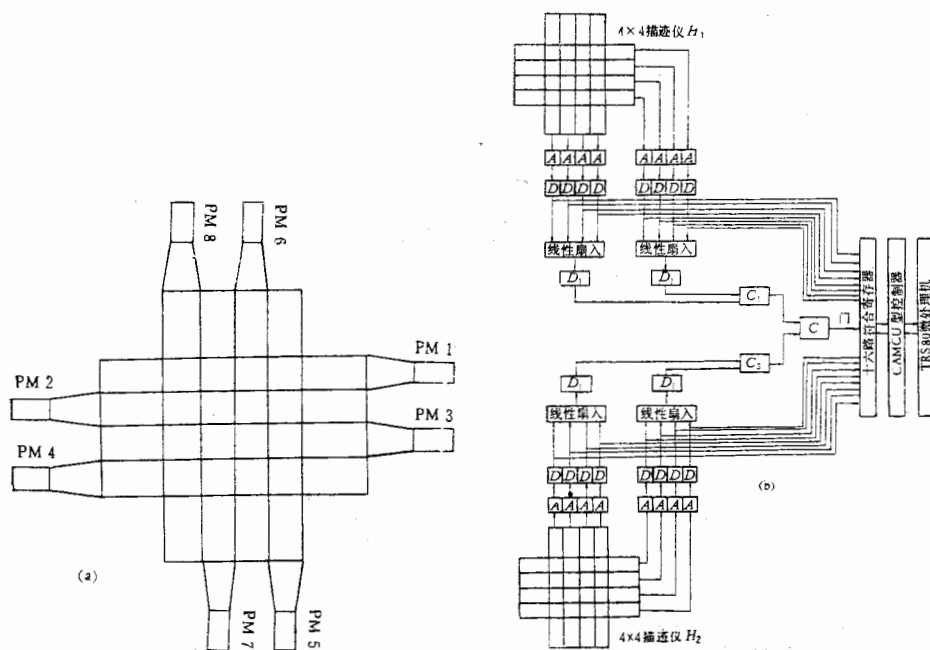


图 1 μ 子天顶角分布测量装置

(a) 闪烁计数器阵列示意图 (b) 描述仪电子学方块图

当带电粒子穿过 H_1 和 H_2 时, H_1 和 H_2 分别给出符合信号送到符合线路 C , 其输出打开十六路符合寄存器门, 把来自 H_1 和 H_2 阵列的信号寄存在十六路符合寄存器中. 同时发出 LAM 请求信号和自禁止信号. 在 40ns 内关门, 保证在一次选通时, 符合寄存器信号未被读取之前不再有输入信号进入. 当计算机响应 LAM 请求时, 发出读出指令, 寄存信号通过 CAMAC 数据通道进入计算机, 由计算机处理, 把通过 H_1 和 H_2 的径迹归并到

十六
为一
例.
磁簇
所感
度中

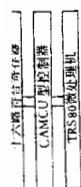
条.
2, 3
维坐
标
望远镜
单元的
式表

L 是
E
天顶
算出
7

1
2
完成.
3

3 含四个闪
分, 构成
2, 内含 16
仪的详细
.2cm, 构成
算机. 然后
可在取数据

图 1 所示.



其输出打
器中. 同时
合寄存器信
出指令, 寄
径迹归并到

相应的角度中去. 关于描述仪的事例判选及数据读取系统见文献 [1].

三、数据采集和处理

1. 事例分类

在描述仪的分辨时间内, 宇宙线带电粒子穿过描述仪 H_1 和 H_2 时, 都可给出信号送到十六路符合寄存器去寄存. 我们把上、下两层描述仪都只有一个带电粒子穿过的事例分为一类, 称为好事例. 有二个或二个以上的带电粒子穿过的事例分为另一类, 称为坏事例. 这里所指的好事例主要是宇宙线中的 μ 子, 而坏事例主要是在描述仪上方发生的电磁簇射中产生的电子和核作用中产生的带电强子. 这两类事例同时分类记录. 但该实验所感兴趣的是好事例, 因此, 根据带电粒子通过描述仪单元的位置, 把它累记到相应的角度中去. 由计算机在线完成.

2. 描述仪望远镜阵列的天顶角归并

描述仪望远镜阵列各单元的编排如图 2 所示.

x 表示按任意选定的方向排列的闪烁条, y 表示按与 x 方向垂直的方向排列的闪烁条. 下标 i, j, m 和 n 是闪烁条的顺序编号, 它们分别取整数值 1, 2, 3 和 4. 在上描述仪 H_1 和下描述仪 H_2 中各有 16 个可以确定二维坐标 (x, y) 的计数器单元, 这样就构成了 $16 \times 16 = 256$ 个望远镜单元. 用望远镜单元的中心线与其垂线的夹角代表望远镜单元的天顶角 θ . 因此, 256 个望远镜单元的天顶角 θ_k 可用如下公式表示:

$$\theta_k = \text{tg}^{-1} \frac{a\sqrt{(i-m)^2 + (j-n)^2}}{L}$$

其中假定每相邻两闪烁条中心之间的距离相等, 用 a 表示. L 是上、下两层描述仪 H_1 和 H_2 之间的距离.

由上面公式可以看出, 256 个望远镜单元只构成 10 个不同的天顶角度值. 如果将天顶角度值按由小到大的顺序排列, 可以计算出具有相同天顶角的望远镜单元的数目 N .

在我们的实验装置中, $a = 5.2\text{cm}$, $L = 69.2\text{cm}$, 计算结果列于表 1.

表 1 天顶角及其相应的望远镜单元数

θ_k°	0.0	4.3	6.1	8.6	9.5	12.0	12.7	13.4	15.2	17.7
$N(\theta)$	16	48	36	32	48	16	16	24	16	4

256 个望远镜单元的好事例计数按照天顶角归并, 该项工作也由计算机在线程序来完成.

3. 数据采集与数据处理程序

测量宇宙线 μ 子天顶角分布的实验, 使用了基于微型机 TRS-80 的 CAMAC 支持系

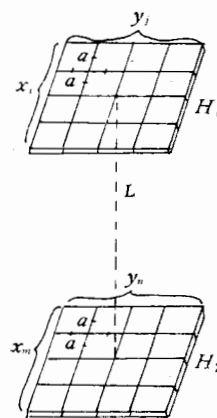


图 2 描述仪望远镜阵列示意图

统^[2]. 实验装置把数据锁入一个十六路符合寄存器,它通过 CAMAC 机箱U型控制器与 TRS-80 机连接. 整个系统由程序控制实现数据的采集与处理. 由于 TRS-80 微型机系统能够提供用户使用的存贮区极为有限^[3],我们采用模块化的程序结构,并以磁盘文件作为模块间传递数据信息的中介,有效地实现了测量宇宙线 μ 子天顶角分布的数据采集与数据处理.

数据采集与处理程序的结构如图3所示. 它可以分为两大部分,一部分由 INITIAL, ONLINE 模块和 Z-80 CAMAC 标准子程序库构成;另一部分由 OFFLINE, EFFIC1, EFFIC2 以及 FITTIN 模块构成. 前者用于在线的实时控制与数据的采集,后者则用于数据的离线分析. INITIAL 模块用于实验的初始准备,它允许实验工作者确定和选择存放数据的磁盘文件名称,并将实验人员由键盘输入的实验参数与实时控制量记入该数据文件中. 该数据文件的名称被登入由 INITIAL 模块指定的“DIRNA”目录文件中,供选择数据文件名和分析数据时参考.

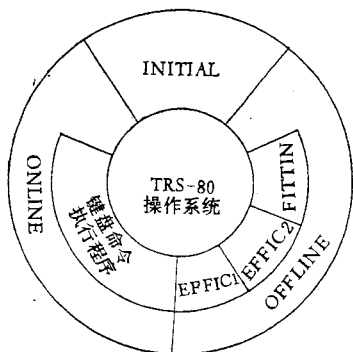


图3 数据获取与数据处理程序结构示意图

- | | | |
|------|------------------|---------|
| 1. G | —GO ON | 启动实验 |
| 2. M | —MONITOR | 监测实验设备 |
| 3. R | —REVISE | 修改实验控制量 |
| 4. I | —DATA INPUT | 读取数据盘文件 |
| 5. O | —DATA OUTPUT | 数据写入盘文件 |
| 6. P | —PAUSE | 暂停实验 |
| 7. C | —CLEAR | 清数据区 |
| 8. T | —TEST EFFICIENCY | 测试探测器效率 |
| 9. Q | —QUIT | 终止实验 |

每一个键盘命令对应一个命令执行程序,使用这九种命令,能有效地设置和控制数据的实时采集过程.采集的数据被有序地写入由 INITIAL 建立的数据盘文件中.角分布的数据采集与探测器效率的数据采集都是实时的. CAMAC 数据路的访问通过调用 Z-80 CAMAC 标准子程序实现.

OFFLINE 是数据离线分析的一级处理模块,用于实现数据的公共性处理,如计算角接收度修正因子和实验数据按角度归并等.处理的结果写入二级数据处理模块能访问的数据文件中.离线分析的二级处理程序由 EFFIC1, EFFIC2 和 FITTIN 三个模块组成.前两者是从两种不同的角度对一级处理结果进行探测器效率的修正,第三者则用于实验数据的拟合,计算 μ 子天顶角分布的最佳拟合曲线.各种处理结果均能以硬拷贝形式提供给实验者.二级处理模块可由实验者针对不同物理要求自行设计.

数据采集与处理程序模块间的数据传递均以盘文件为媒介.图4给出了数据管理的

示意图.
能的提在
缺少的.

我们
符合本用
配如表:
总和.

这里 N
计数器
要将上、
表

表中 R
接受度.

型控制器与
微型机系
磁盘文件作
数据采集与

INITIAL,
序库构成;另
以及 FITTIN
数据的采集,
模块用于实
选择存放数
输入的实验
数据文件的
NA" 目录文
考。
控制与数据
一种功能分
命令是:

示意图。程序不仅允许实验人员指定或选择数据文件名, 还允许切换数据盘片。这些功能的提供在数据采集与处理中不单是出自于灵活性的考虑, 而且它也是十分重要或不可缺少的。

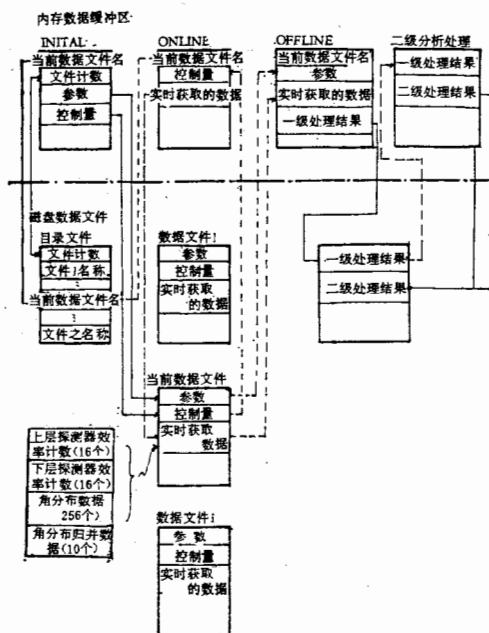


图 4 数据的存贮与传递

四、初步实验结果

我们用上述描述望远镜阵列初步测量了在海平面上宇宙线 μ 子的天顶角分布偶然符合本底在 0.5% 以下。在 60 小时内记录到 41456 个好事例。这些事例按天顶角 θ 的分配如表 2 中所示。表 2 中的 $IN(\theta)$ 是具有相同天顶角 θ 的望远镜单元收集的事例数之总和, $\eta(\theta)$ 是相对探测效率和望远镜单元数校正因子,

$$\eta(\theta) = \sum_{i=1}^{N(\theta)} \eta_i(\theta)$$

这里 $N(\theta)$ 就是天顶角为 θ 的望远镜单元的数目。所谓相对探测效率就是上、下描述仪计数器单元各相对于其最高计数单元的探测效率。为了得到各单元的绝对探测效率只需要将上、下两层描述仪中的两个最高计数单元进行刻度。

表 2 中的比值 R 是测量的 μ 子天顶角分布与预期的天顶角分布规律之比, 即:

$$R = \frac{I_m(\theta)/I_{om}(\theta = 0^\circ)}{\cos^r \theta}$$

表中 R 的值是对于取 $r = 2.6$ 的情况下得到的结果。测量值 $I_m(\theta)$ 是由 $IN(\theta)$ 经过角接受度, 探测效率和望远镜单元数的校正之后得到的, 即:

置和控制数据
中。角分布的
过调用 Z-80
理, 如计算角
模块能访问的
三个模块组成
者则用于实验
硬拷贝形式
了数据管理的

$$I_{\text{测}}(\theta) = \frac{IN(\theta)}{\varepsilon \cdot \eta(\theta) \cdot A(\theta) \cdot T}$$

式中 ε 是绝对探测效率刻度因子, T 是收集数据的时间, $A(\theta)$ 是立体角接受度^[4].

$I_{0\text{测}}(\theta = 0^\circ)$ 是在 $\theta = 0^\circ$ 下测量的 μ 子强度, 即:

$$I_{0\text{测}}(\theta = 0^\circ) = \frac{IN(\theta = 0^\circ)}{\varepsilon \cdot \eta(\theta = 0^\circ) \cdot A(\theta = 0^\circ) \cdot T}$$

由上述公式, 我们得出比值 R 的表示式为:

$$R = \frac{IN(\theta) \cdot \eta(\theta = 0^\circ)}{IN(\theta = 0^\circ) \cdot \eta(\theta) \cdot \cos^{(r+1)}\theta}$$

表2 测量值与预期值的比较(取 $r=2.6$)

θ°	$IN(\theta)$	$\eta(\theta)$	$IN(\theta)/\eta(\theta)$	比值 $R_{r=2.6}$
0.0	2857	9.40 ± 0.15	303.9 ± 7.5	1.00 ± 0.04
4.3	8352	27.94 ± 0.45	298.9 ± 5.4	1.00 ± 0.03
6.1	6111	20.95 ± 0.34	291.7 ± 6.0	1.00 ± 0.03
8.6	5188	18.56 ± 0.30	279.5 ± 6.0	0.99 ± 0.03
9.5	7848	28.15 ± 0.44	278.8 ± 5.4	1.01 ± 0.03
12.0	2398	9.17 ± 0.15	261.5 ± 6.8	1.00 ± 0.04
12.7	2346	9.23 ± 0.15	254.2 ± 6.7	0.99 ± 0.04
13.4	3604	14.25 ± 0.22	252.9 ± 5.7	1.00 ± 0.03
15.2	2225	9.31 ± 0.15	239.0 ± 6.4	0.99 ± 0.04
17.7	527	2.29 ± 0.04	230 ± 11	1.04 ± 0.06

显然, 用 R 表示式来比较测量的天顶角分布与预期的天顶角分布时, 可以消除在计算角接受度中所引进的大的误差.

表2中的数据表明, 我们测量的宇宙线 μ 子天顶角分布与 $\cos^{2.6}\theta$ 分布^[5]一致.

从我们的数据还可以给出在海平面上动量 $P_\mu > 200 \text{ MeV}/c$ 的宇宙线 μ 子垂直强度是: $(1.07 \pm 0.03) \times 10^{-2} \text{ Sr}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

在表2中给出的误差只是统计误差. 系统误差主要是天顶角 θ 的偏差引进的, 在我们的实验条件下小于 0.3%, 可忽略不计.

在实验过程中, 得到了谢一冈同志的支持和帮助, 顺致感谢.

参 考 文 献

- [1] 王殿荣等, 高能物理与核物理, 5(1981), 569.
- [2] 唐素秋等, 核电子学与核探测技术, 4(1982), 9.
- [3] TRSDOS AND DISK BASIC Reference Manual.
- [4] 林建峰等, 计数器望远镜的几何因子及 μ 子通量的计算, 内部资料.
- [5] K. M. Pathak et al., 16th Inter. Cosmic Ray Conf. Vol. 10, P. 1, Kyoto, Japan, 6-18 Aug. 1979.

THE
ANC

Li

Pre
bution
the adv
data sim
The
ing 256
cessing

度^[4].

THE MEASUREMENT OF THE COSMIC RAY MUON ZENITH ANGLE DISTRIBUTION WITH ON-LINE MICROCOMPUTER

WANG DIAN-RONG WANG XIAN-PEI LI CHENG-ZE CHEN YUAN-BAI
 LIN JIAN-FENG CHANG CHIA-CHUAN ZHAO JIN-WEI JIANG YING-YUAN
 XU YU-LIN TANG SU-QIU DAI GUI-LIANG

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

Preliminary results of the measurement of cosmic ray muon zenith angle distribution are measured using scintillation counter hodoscopes. This method combines the advantage of better angular resolution and the ability of making many sets of data simultaneously.

The telescope array consists of two 4×4 scintillation counter hodoscopes forming 256 telescope units. Data for ten angles are obtained. Data acquisition and processing are performed with an on-line microcomputer.

值 $R_{T=2.6}$

.00 ± 0.04

.00 ± 0.03

.00 ± 0.03

.99 ± 0.03

.01 ± 0.03

.00 ± 0.04

.99 ± 0.04

.00 ± 0.03

1.99 ± 0.04

.04 ± 0.06

以消除在计

51—致。

 μ 子垂直强

引进的, 在