

大面积闪烁计数器的性能

陈映宜 姜印琳 任国孝 马宇蓓

吴 枚 何长孝 沈培若

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

对面积为 $75 \times 37 \text{cm}^2$ 的塑料闪烁体的光收集方式进行了研究。在此基础上,建造了十个计数器。本文介绍了计数器的结构和性能,并对设计原理作了讨论。

一、前 言

在宇宙线广延空气簇射的研究中,大量使用大面积塑料(或液体)闪烁计数器布成阵列,来测量超高能宇宙线产生的广延空气簇射的 e, μ 成分,研究簇射轴的到达方向,簇射的横向和纵向发展。为了准确测定同时到达计数器上的粒子数,要求闪烁计数器的响应与粒子的入射位置无关。即计数器各点的响应是均匀的。但是当闪烁体的尺度比光电倍增管光阴极尺度大很多时,要实现均匀的和有效的光收集是不容易的。已有许多实验工作^[1-6]对大面积闪烁计数器的结构和性能作过研究。为了使响应尽可能地均匀,又少用光电倍增管,在宇宙线研究中使用的计数器,常用反光罩或空气箱来收集闪烁光。非均匀度一般可达 $\pm 10\%$ 左右。这在广延空气簇射实验中已能满足要求。

在建立我们的簇射阵过程中,为了求得建造大量闪烁计数器的最佳设计参数,对大小为 $75 \text{cm} \times 37 \text{cm} \times 2.5 \text{cm}$ 的 ST-401 型塑料闪烁体的光收集方式进行了实验研究。本文介绍对这种闪烁体采用矩形箱收集闪烁光的计数器性能。

二、计数器的结构和实验安排

计数器的结构和实验安排表示在图1。箱体是木板,其内尺寸为 $81 \text{cm} \times 41 \text{cm}$,高 28cm ,充满空气,内壁贴铝箔作光反射面。闪烁体底面亦用铝箔反光,闪烁体与铝箔之间非光学接触(有一层空气)。箱顶开有三个窗口 A, B 及 C 。可分别安装 GDB-51 型光电倍增管($\phi 4.4 \text{cm}$)。当只有 A 安装光电倍增管时(B, C 两孔封闭,内层贴铝箔)构成单管计数器;而当 B, C 安装光电倍增管时(A 孔封闭,内层贴铝箔)则构成双管计数器。

计数器非均匀度和幅度分辨率的测量方法,是用两个 $\phi 4\text{cm} \times 4\text{cm}$ 的 NaI (TI) 计数器 S_1 , S_2 和 10cm 厚的铅吸收体构成望远镜,选择能量大于 300 MeV 的单个近垂直 ($<10^\circ$) 入射的贯穿 S , Pb 层, S_1 和 S_2 的 μ 介子. 小计数器 S_1 和 S_2 相距 30cm, 当它们的轴线对准大计数器 S 的不同位置、并送出符合信号时,用 256 道幅度分析器测量大计数器 S 的输出脉冲幅度. 这对应于大闪烁体 $\sim \phi 8\text{cm}$ 面积上的平均响应. 在距离大闪烁体 1m 远处,安放有一个小计数器 S_3 , 用以反符合掉空气簇射.

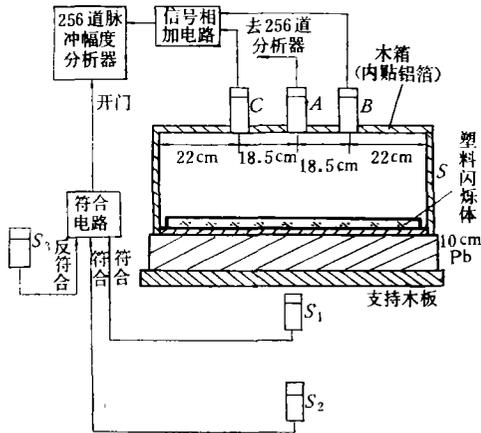


图1 计数器的结构和实验安排原理图

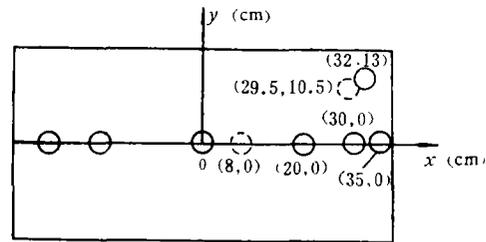


图2 μ 介子望远镜对准大闪烁体的位置

在符合测量中,取箱底中心位置为坐标原点(与光电倍增管 A 中心位置相对应),闪烁体的长边方向为 X 轴,短边方向为 Y 轴,测量点标在图 2 实线圆圈.

三、测量结果

没有用 μ 介子望远镜选择的单管和双管计数器对全向宇宙线粒子的输出幅度谱如图 3 所示. 图 4 是用 μ 介子望远镜选择时,单管计数器中心位置 $p(0, 0)$ 的输出幅度谱. 测量单管和双管计数器各点得到的输出幅度分布的平均值给在表 1. 图 5 画出了幅度平均值在 X 方向上的变化曲线.

表 1 计数器测量点的输出幅度平均值

测量位置 $p(x, \text{cm}; y, \text{cm})$	单管计数器输出幅度平均值(道数)	双管计数输出幅度平均值(道数)
$p(0, 0), L = 0\text{cm}$	58	101
$p(+20, 0), L = 20\text{cm}$	48	98
$p(-20, 0), L = -20\text{cm}$	49	
$p(+30, 0), L = 30\text{cm}$	45	92
$p(-30, 0), L = -30\text{cm}$	44	
$p(+35, 0), L = 35\text{cm}$	44	
$p(+32, +13), L = 34.5\text{cm}$	44	90

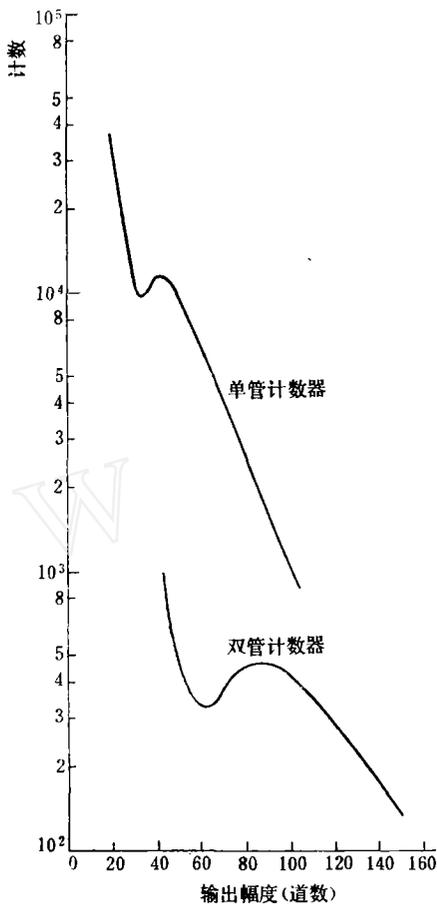


图 3

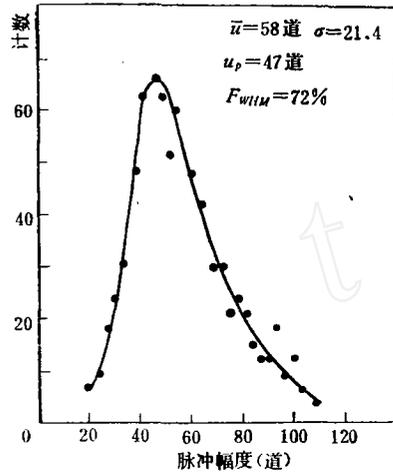


图 4

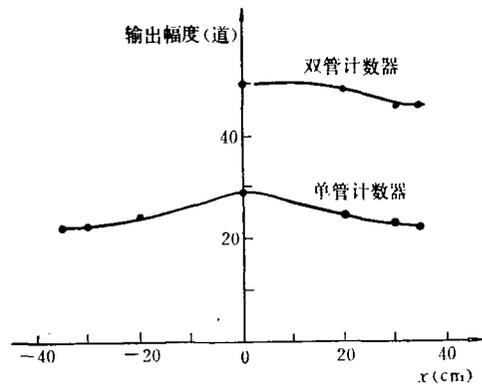


图 5

计数器响应的非均匀度用下式计算

$$\Delta = \pm \frac{\bar{u}_{\max} - \bar{u}_{\min}}{\bar{u}_{\max} + \bar{u}_{\min}}$$

式中 \bar{u}_{\max} , \bar{u}_{\min} 分别表示粒子在闪烁体中具有相同能量损失时,由于位置不同而测到的计数器平均输出幅度的最大值和最小值. 按表 1 所列数据,两种计数器中心位置的输出幅度最大,测量的最远点 $p(32, 13)$ (或 $p(35, 0)$) 的输出幅度最小. 由此算出在我们测量的区域,响应的非均匀度分别为

$$\Delta_{\text{单管计数器}} = \pm 14\%, \quad \Delta_{\text{双管计数器}} = \pm 6\%.$$

由表 1 可见,单管计数器的 $p(+x, 0)$ 和 $p(-x, 0)$ 位置的输出幅度符合得很好,表明计数器的位置对称性很好. 所以,对双管计数器只作单方向测量就够了.

闪烁体底面和箱壁对闪烁光的漫反射情况,直接影响着光收集效率和非均匀性. 我们用小圆柱形塑料闪烁体,对铝箔和涤纶镀铝薄膜的相对反射系数进行了测量. 结果表明,后者的反射系数约为前者的 87%,但是它比铝箔结实并且容易粘贴平整.

四、正式建造的闪烁计数器的性能

在前面实验结果的基础上，我们建造了十个塑料闪烁计数器组成小型阵列。每个的灵敏面积为 $75\text{cm} \times 37\text{cm}$ ，厚 2.5cm ，采用矩形铝箱收集光（图6），箱顶正中安放一个 $\phi 4.4\text{cm}$ 的 GDB-51 型光电倍增管。箱的内尺寸为 $81\text{cm} \times 43\text{cm}$ ，高 30cm ，充满空气。箱内壁和闪烁体底面均用涤纶镀铝膜反光，闪烁体底面与膜非光学接触。闪烁计数器的性能测量方法表示在图7。对一个计数器在位置 $p(8, 0)$ 和 $p(29.5, 10.5)$ （图2虚线圆圈）分别测得输出幅度平均值为 108 道和 87 道，由此算得在这样区域响应的非均匀度为 11%。由定标测得计数器中心位置单 μ 输出幅度的平均值，推算得光收集效率约为 10^{-3} 量级，单粒子幅度分辨率约为 70% 左右。

图8曲线A给出了未加 μ 介子望远镜时，计数器得到的宇宙线全向脉冲谱，曲线B是

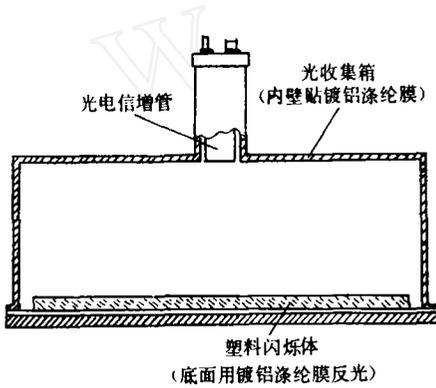


图 6

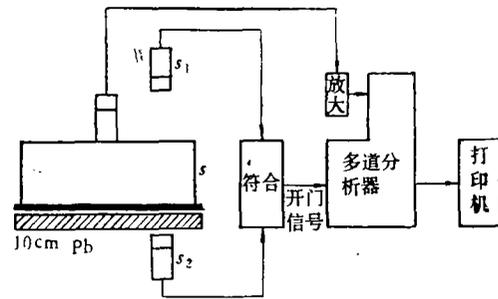


图 7

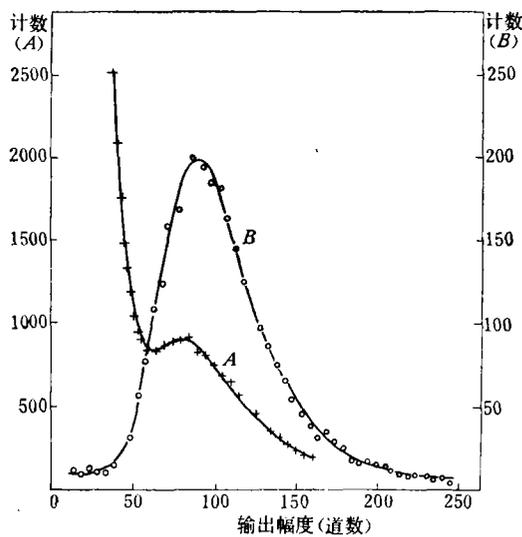


图 8

仅用 $S + S_2$ (S_2 在中心位置) 得到的宇宙线 μ 介子的脉冲谱。

五、讨 论

粒子在闪烁体内产生的光子, 只能从与闪烁体表面垂直的、以全反射临界角为半锥角的六个逃逸锥中射出到空气箱中。一部分经过箱壁一次以上的漫反射之后才有可能到达光阴极, 它们在空间的分布应该是均匀的。另一部分未遭反射而直接到达光阴极。这部分直射光是阴极与光源所对应的扁锥内的光量, 显然它随发光位置而异。它是造成计数器光收集不均匀性的主要因素。这两部分光的收集效率可以计算, 并为设计提供参数的选择范围。设计的重要原则是要选择适当的参数值, 在保证有足够的收集总光量情况下, 尽可能减少直射光的比例, 以便得到尽可能小的非均匀度。减小非均匀度的有效措施之一, 是适当增加箱的高度 h 。实验表明, 当箱高近似等于闪烁体尺度时, 响应比较均匀。 h 过大, 可以得到很好的均匀性, 但光收集效率降低, 计数器的脉冲幅度分辨率 (F_{WHM}) 变差, 在低密度下测量粒子数目的误差大。因此对均匀性和分辨率二者必须兼顾。但是在多粒子情况下, 分辨率 $F = \frac{F_{WHM}}{\sqrt{N}}$ (N 为被测粒子数), 所以对分辨率的要求比对均匀性

的要求低。采用从中间到边上逐渐加厚的闪烁体, 可以适当补偿输出幅度的差异, 改善非均匀性。例如 Koichi et al^[2] 采用这种方法得到了 5% 的非均匀度。

脉冲幅度分辨率取决于入射粒子的能量分布宽度及其电离能量损失的涨落、闪烁体发光效率的涨落、光收集效率的非均匀度、光阴极光电转换过程的涨落、光电子倍增过程的涨落以及测量电路的误差 (包括稳定性) 等因素。莱特^[9] 在考虑了这些因素之后, 得到了一个估计闪烁计数器输出幅度涨落的相对方差公式。其中减小相对方差的关键, 是增加到达光电倍增管第一联极上的光电子数, 即增加收集的总光量。因此, 为了得到满意的非均匀度和幅度分辨率, 应该选用发光效率高、光衰减长度长和适当厚度的闪烁体, 使用反射率高的反射体和大面积优质光电倍增管。这样可以得到足够高的输出幅度、信噪比和幅度分辨率, 也可以提高漫射光的比例改善均匀性。

一般测量簇射粒子密度的闪烁体是正方形, 采用金字塔形箱收集闪烁光。我们的矩形箱结构是一个特例, 但是设计原理是相同的。

陆柱国同志初期曾参加过本组工作, 肖谦益、陈端保、郑荣庭、王俊、李延国同志都参加了建造阵列工作。

参 考 文 献

- [1] G. W. Clark et al., *Rev. Sci. Instr.*, **28**(1957), 433; G. W. Clark, "Proceedings of the Seventh Scintillation Counter Symposium", 1960, p. 164.
- [2] Koichi et al., *Rev. Sci. Instr.*, **32**(1961), 1187.
- [3] Е. П. Юдин, *П. Т. Э.*, №4 (1966), 62.
- [4] 新居诚彦等, 宇宙线研究, **22**(1977), 1.
- [5] M. A. Meyer and N. S. Wolmarans, *Nucl. Instr. & Meth.*, **25**(1963), 134.
- [6] C. R. Gillespie, *Rev. Sci. Instr.*, **39**(1968), 1724.
- [7] T. T. Von Rosenvinge, *Nucl. Instr. & Meth.*, **66**(1968), 119.

- [8] D. G. Crabb, et al., *Nucl. Instr. & Meth.*, **45**(1966), 301.
Wolfgang, K. H. Schmidt and Manfred Simon, *Nucl. Instr. & Meth.*, **123**(1975), 333.
[9] 哈特曼·伯恩哈德著《光电倍增管》, p.148, 华和、梦娇译自俄文本, 1963年9月北京国防工业出版社出版。

PREFORMANCE OF THE LARGE AREA PLASTIC SCINTILLATION COUNTER

CHEN YING-XUAN JIANG IN-LIN REN GUO-XIAO MA YU-QIAN
WU MEI HE CHANG-XIAO SHEN PEI-RUO
(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

Collective form of scintillation light was investigated for $75 \times 37 \text{ cm}^2$ plastic scintillator. On the basis of these experiments, ten scintillation counters were constructed. The construction and performance of these counters are described in this article, and the principle of design is also discussed.