

液体闪烁计数器的串光甄别

潘浩昌 魏世俊

(中国科学院上海原子核研究所)

本文对液体闪烁计数器的串光谱进行了分析研究,并研制了一只幅度运算串光甄别器。液体闪烁计数器使用了该串光甄别器后,对 ^{14}C 测量的本底计数率由 $3.499 \pm 0.059\text{cpm}$,下降为 $2.222 \pm 0.027\text{cpm}$,优值由1820上升为2738,效率仍能达78.0%,空室计数率由 $4.560 \pm 0.067\text{cpm}$ 下降为 $1.156 \pm 0.034\text{cpm}$ 。

一、引言

液体闪烁计数器的本底计数率 B ,效率 E 和优值 E^2/B 是衡量液体闪烁计数器优劣的主要指标。在低本底液体闪烁计数器中降低本底计数是个关键。本底计数率的来源是多方面的。其中两只光电倍增管的串光计数是本底的主要来源之一。特别是采用了铅、银、铜、有机玻璃四层组合屏蔽之后,宇宙射线和周围的放射性本底减少到非常低的情况下,低本底液体闪烁计数器的串光计数可占总本底计数的 $1/3$ 以上。为了降低本底,除了改进屏蔽条件以外,排除串光计数是十分必要的。

二、串光的成因和串光抑制

由于液体闪烁计数器中处于符合工作状态的两只光电倍增管可以对视,即使样品室中加上了样品瓶,仍然可以对视。因此除了样品内闪烁液产生的闪光以外,只要其中一只光电倍增管内因某些原因而产生了闪光,就有可能被另一只光电倍增管所接收,形成一次符合事件。这样被记录下来的计数,称为串光计数。

在光电倍增管内产生闪光的原因有:(1)光电倍增管加上高压后,偶然会产生极间放电和尖端放电现象,出现微弱的火花,高压愈高,发光的几率愈大。(2)宇宙射线和光电倍增管外围的放射性打在管壁或管内结构物上产生了切仑柯夫辐射。其共同特点是:一只管子产生的光到达另一只管子时,由于光阴极的光衰减,光量已显著减少,两只光电倍增管的信号输出幅度相差是很大的。一般定义串光计数率为空室计数率减去偶然符合计数率,但后者很小,因此串光计数率基本上就是空室计数率。

抑制串光的方法有多种,但不易取得满意的效果。我们采用串光甄别幅度运算的方法,这种方法是不管幅度的大小如何,对两只管子同时出现的两个信号进行运算,鉴别出两只管子信号幅度相差悬殊的事件——串光事件,并加以排除^[1~4]。这种方法既降低了本底,又不损失效率。在实验中(实验框图见图1),使用多道脉冲幅度分析器对两只光电倍增管的输出信号(最后打拿极信号) D_2 和 D_1 作两维幅度分析,获取 ^{14}C 二维谱和串光二维谱(见图2~4)。实验时,光电倍增管和样品室放在屏蔽腔外,在加速器靶厅旁实验室进行。

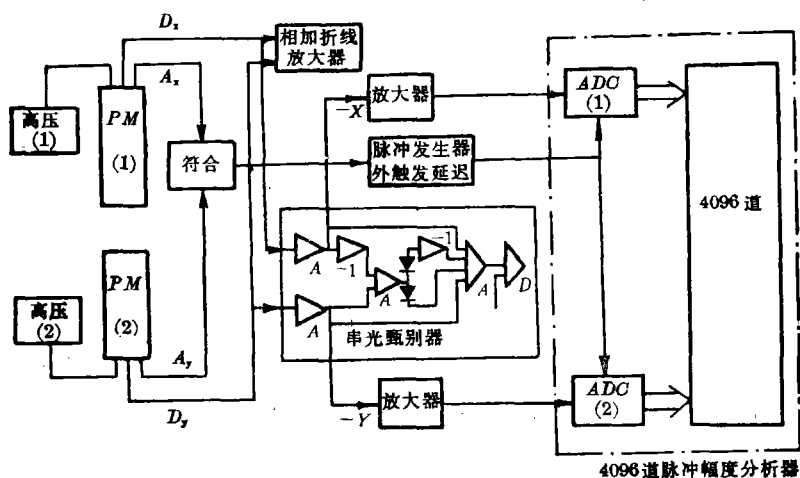


图1 串光实验框图

^{14}C 源(图2)和现代碳(图3)二维谱表明, ^{14}C 事件对称地集中在中部区域, 与预期的是一致的。图4是空室二维谱, 计数率10.8cpm, 比在低本底液体闪烁计数器的屏蔽腔内的计数率4.560cpm高些。这些高出的部分可归结为宇宙射线和周围放射性所产生的切仑

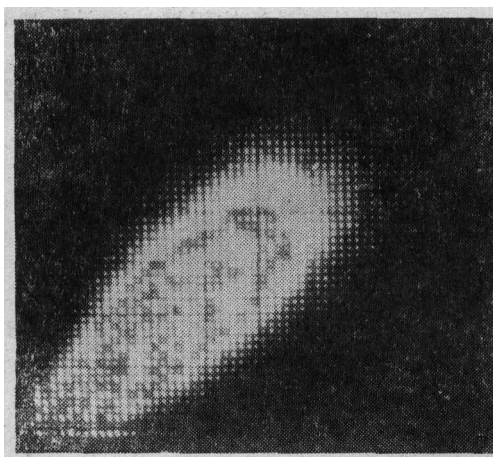


图2 ^{14}C 源二维谱

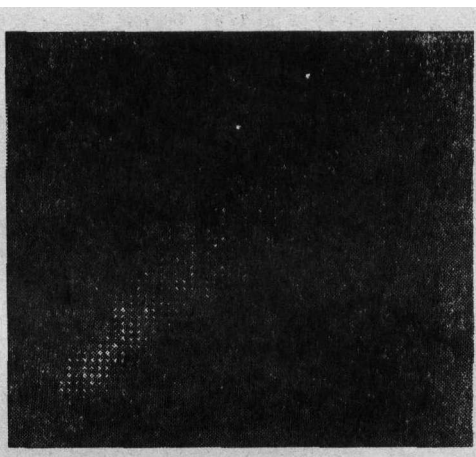


图3 现代碳二维谱

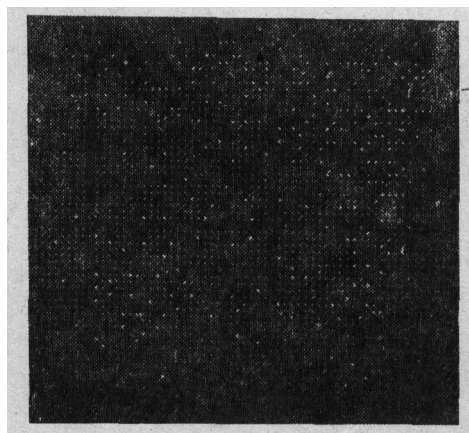


图4 空室二维谱(60分钟)

柯夫辐射。在二维谱右上角的那些计数应看作在一只光电倍增管管面产生了切仑柯夫光而几乎有一半的光量射向了另一光电倍增管, 或者在样品室壁上产生切仑柯夫光被二只管子所接收。可以预料, 如果光电倍增管与样品室在低本底液体闪烁计数器的屏蔽腔内, 空室二维谱中部和右上角的计数会大量减少。

三、串光甄别原理及串光甄别器

通过对图2~4的二维谱的分析, 取现代碳二维谱图3在切近 ^{14}C 区域的边界, 作出二条直

—核技术—

线,如图5所示。可以认为二直线之间区域内的计数是 ^{14}C 计数及本底计数,在这个区域之外的计数是串光计数。

两直线方程为

$$x/A - y/B = 1 \quad (1)$$

$$-x/B - y/A = 1 \quad (2)$$

这两个方程不具对称形式,即二式之间的对应项系数绝对值不等,因此不能统一在同一运算方程中,必须加以变换。

(1)和(2)可变为

$$(x-y) - K(x+y) = D \quad (3)$$

$$-(x-y) - K(x+y) = D \quad (4)$$

$$K = \frac{A-B}{A+B}, \quad D = \frac{2AB}{A+B}$$

它们的斜率分别为 $(1-K)/(1+K)$ 和

$(1+K)/(1-K)$ 。直线(3)在 x 轴上的截距为 $D/(1-K)$, 在 y 轴上截距为 $-D/(1+K)$ 。

两表达式可合为一个表达式:

$$|x-y| - K(x+y) = D$$

夹在两直线之间的区域为 $|x-y| - K(x+y) < D$; 两直线之外的区域为 $|x-y| - K(x+y) > D$ 。

因此只要将 $|x-y| - K(x+y)$ 的运算结果通过脉冲幅度甄别器, 就可以从所有事件中挑选出

$$|x-y| - K(x+y) > D \quad (5)$$

的事件(即串光事件)去禁止线性门,从而达到排除串光的目的。由于 x, y 的幅度约为 $0 \sim 300\text{mV}$, $|x-y|$ 更小, 必须加以放大, 而且运算结果最后经过了一次倒相, 因此(5)式变为

$$-[a|x-y| - b(x+y)] < c \quad (6)$$

其中 $b=aK$, $c=-aD$ 。此时的实际甄别阈为 c 。

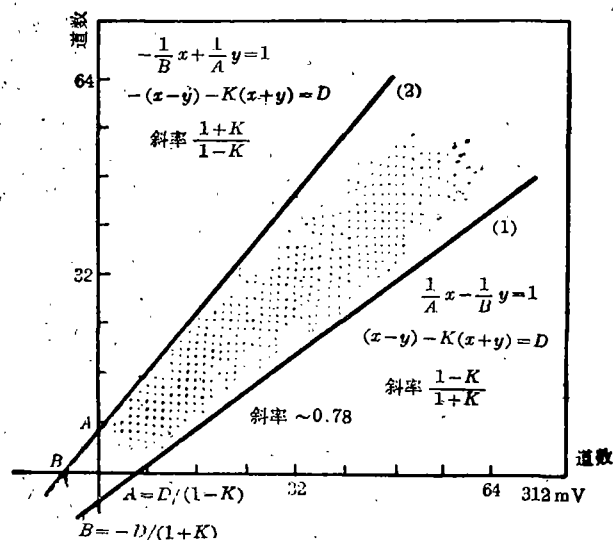


图5 ^{14}C 和串光计数的分解

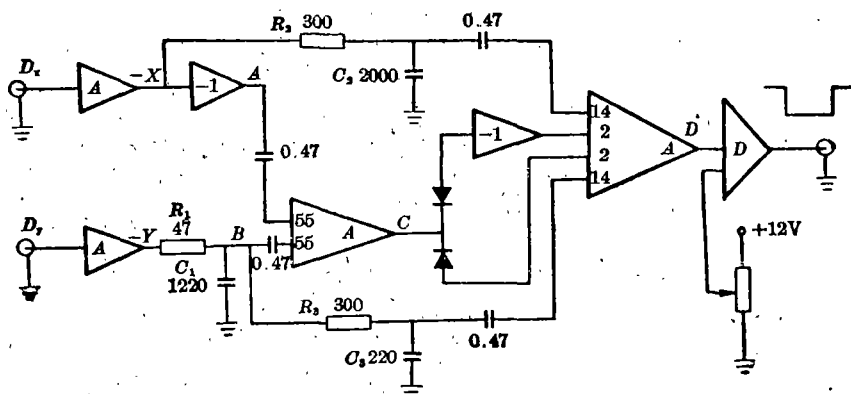


图6 串光甄别器方框图

图6和图7是幅度运算的串光甄别器方框图和线路图。在串光甄别器调试过程中,各点脉冲波形的调整是调好串光甄别器的关键。图6中 y 通道上的 R_1C_1 积分电路,用以调整 B 点波形,使它与 A 点波形尽可能全同,特别是脉冲前沿和幅度必须相同。 A 、 B 点波形上升时间 $0.4\mu s$,底部宽度 $2.5\mu s$, A 为正脉冲, B 为负脉冲。同样 R_2C_2 和 R_3C_3 也是为了调整输至最后一只运算放大器的 $-x$ 和 $-y$ 波形使与 $a|x-y|$ 的波形(c 点波形)的上升时间和宽度相同,以便进行较好的运算。 D 点波形同时存在正负脉冲,负脉冲(串光事件)上升时间为 $1\mu s$,底部宽度为 $3\mu s$ 。

四、结 果

图(5)中给出的直线(1)的斜率约为0.78,因此 $K \approx 0.13$ 。最后选定的串光甄别阈为 $1.3V$,串光甄别器的运算时间约为 $1\mu s$,串光甄别器的输出信号为幅度 $1V$ 、宽度 $3\mu s$ 的负脉冲。将串光甄别器的输出信号作为液体闪烁计数器线性门的禁止信号。在相加折线放大器和线性门之间须加上 $1.2\mu s$ 的延迟线。

液体闪烁计数器使用和不使用串光甄别器的情况下测量数据列在表1中,同时给出了1971年Laney发表的数据^[1]。用多道分析器测得空室一维谱见图8和图9。

表 1

		效率 $E(\%)$	本底 $B(\text{cpm})$	优值 (E^2/B)	空瓶 (cpm)	黑瓶 (cpm)	偶然计数率 (cpm)	长期稳定性
YST-SH-79 液体闪烁 计数器	不用串光甄别器	79.8	3.499	1820	4.560	0.698	0.272	19天工作 ~0.18%
	用串光甄别器	78.0	2.222	2738	1.156	0.380	0.272	
Laney的数据	不用串光甄别器	74.7	16.27	342	13.42	4	0.5	22天工作 ~0.25%
	用串光甄别器	73.4	8.82	610	1.00		0.5	

在液体闪烁计数器上使用串光甄别器后本底计数率由 $3.499 \pm 0.059\text{cpm}$ 下降为 $2.222 \pm 0.027\text{cpm}$,优值由1820显著上升为2738,而效率仍能达78%。使用串光甄别器后空室计数率(即串光计数率)由 $4.560 \pm 0.067\text{cpm}$ 下降为 $1.156 \pm 0.034\text{cpm}$ 。

剩余串光计数率 1.156cpm ,主要是由光电倍增管管面和样品室表面产生切仑柯夫光引起的,它没有经过对面管子光阴极的衰减,因此和光电倍增管输出信号幅度接近(见图4),这部分串光不能靠幅度运算来甄别。但加上样品瓶后,这部分幅度接近的串光,大部分会转变为幅度相差较大的串光而被甄别掉。

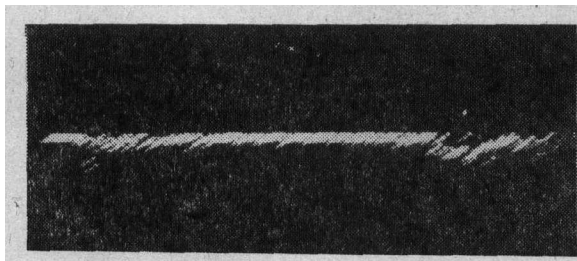


图8 使用串光甄别器后的空室一维谱
(测量100分钟)

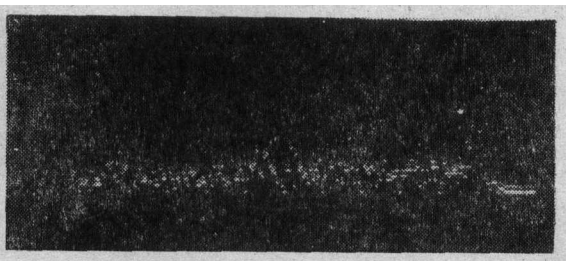


图9 不使用串光甄别器的空室一维谱
(测量150分钟)

在长期稳定性考验中,使用串光甄别器的低本底液体闪烁计数器连续工作 19 天,现代碳计数率变化均在统计误差范围以内。

参 考 文 献

- [1] Donald L. Horrocks and Chin-Tzu Peng(ed.), Proceedings of the international conference on organic scintillation and liquid scintillation counting, University of California, San Francisco, Academic Press, New York and London, 1971, p.991.
- [2] H. R. Krall, *IEEE trans. Nucl. Sci.*, NS14, 1, 455 (1967).
- [3] G. A. Morton et al., *ibid*, NS14, 1, 443 (1967).
- [4] R. P. Randall, *ibid*, NS17, 3, 323 (1970).

(1980 年 11 月 8 日收到)

Optical crosstalk discrimination of liquid scintillation counter

Pan Haochang Wei Shijun

(Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica)

Abstract

The crosstalk spectra of liquid scintillation counter were analysed and investigated in this paper. We have manufactured a crosstalk discriminator. By using the discriminator in the liquid scintillation counter, the background of measuring ^{14}C was decreased from $3.499 \pm 0.059\text{cpm}$ to $2.222 \pm 0.027\text{cpm}$; the merit was increased from 1820 to 2738; but the efficiency still reached to 78.0%; the count of empty bottle was decreased from $4.560 \pm 0.0675\text{cpm}$ to $1.156 \pm 0.034\text{cpm}$.

学术动态

《高能物理》征订启事

亲爱的读者:

您想了解微观世界吗?当您抬头仰望浩渺无际的太空,赞叹宇宙之大的时候,您仔细考虑过存在于宇宙最细小的物质是什么构成的吗?物质的“基本粒子”的面目、性格是什么样的呢?《高能物理》用通俗易懂、形式多样的文章和图画介绍这玄妙的微观世界,介绍用高能加速器去探索微观世界奥秘的方法和途径,介绍高能物理、核物理及其边缘学科的科学知识,交流有关的新原理、新技术及其在工业、农业、医学等各方面的应用,报道国内外有关科研的新成果、新动态及学术活动。

《高能物理》是科学普及刊物,高能物理与核物理涉及工、农、兵、学、商各条战线,是广大教师、科技工作者、青年、工农兵和干部阅读的理想杂志。

《高能物理》为季刊,由科学出版社出版,全国各地邮局发行,每期定价 0.17 元,全年 0.68 元,欢迎踊跃订购。

《高能物理》编辑部