

几种气体的自淬灭流光特性

马金源 姜春华

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文描述了 Ar + CH₄ (1:1) 流经 0°C 的 Methylal, Ar + CO₂ (1:2) 流经 n-Pentane 及 Ar + Isobutan 等混合气体的自淬灭流光特性, 流光信号大小与入射粒子在流光管阳极丝方向上的投影大小之关系及漂移时间等的测量, 并根据实验结果, 计算了工作在自淬灭流光模式下的气体取样电磁簇射探测器的能量分辨率。

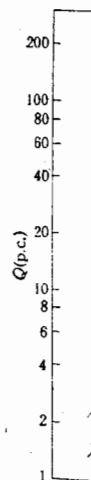
气体的自淬灭流光特性, 已有许多人做了研究, 并应用于粒子探测和气体取样簇射量能器中^[1-4]。本文将介绍我们对 Ar + CH₄ (1:1) 流经 0°C 的 Methylal, Ar + CO₂ (1:2) 流经 0° 和 8.4°C 的 n-Pentane 及 Ar + Isobutan 等混合气体的放电特性, 自淬灭流光 (Self-Quenching-Streamer, 简称 SQS, 下同) 信号的电荷量与入射粒子径迹在流光管阳极丝方向上的投影之关系及漂移时间等的测量。并根据实验结果, 利用计算电磁簇射的程序, 计算了几种气体工作在 SQS 放电模式下的气体取样簇射探测器的能量分辨率。

一、气体放大特性曲线

我们采用宽 20mm, 高 10mm, 长 330mm 的矩形铜管作流光管。阳极是一直径为 50 μm 的国产不锈钢丝。在管的中心线上钻有几个 φ1 的小孔, 供 Fe⁵⁹ 放射源的 X 射线穿入。在管的上下底的中心线的一侧, 对应地铣出宽为 6 mm, 长 100 mm, 深 0.9 mm 的二条沟槽, 使该处管壁的厚度由 1 mm 减至 0.1 mm, 以减少测量时管壁对 β 粒子的散射作用。管内通以不同比例的混合气体。测量装置如图 1 所示。信号从阳极丝的一端引出, 经电荷灵敏放大器送入多道分析器, 以测其电荷量。

图 2 中 Δ 号是 Ar + CH₄ (1:1) 流经 0°C 的 Methylal 所形成的混合气体 (Methylal 的含量约占 17%, 称第一种气体) 的放电特性, + 号是其中 Methylal 的含量为 8.5% 的混合气体 (称第二种气体) 的测量结果。电荷量在 10 p.c. 以下的信号, 是有限正比放电模式下产生的, 而以上的属于 SQS 放电模式, 二者呈阶梯式地跃变。电压更高时, 电荷量第二次阶跃, 即有多重的 SQS 产生。从曲线上看, 在某些电压段, 并存二种 (有限正比与

单重 SQ
(100V
下而已。



A
A

1:2) 流经
号大小与
量, 并根
测器的能

体取样簇射量
 $r + CO_2(1:2)$
自淬灭流光
在流光管阳极
电磁簇射的程
分辨率。

一直径为 50
厘米的 X 射线穿
9 mm 的二条
的散射作用。
端引出, 经电
体 (Methylal
为 8.5% 的混
成正比放电模
时, 电荷量
有限正比与

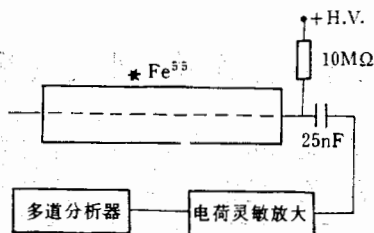


图 1 放电特性测量装置

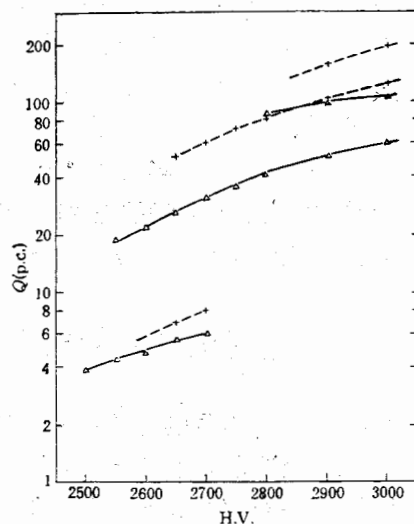


图 2 Δ : 第一种气体
 $Ar + CH_4(1:1) + 17\%$ Methylal
+: 第二种气体
 $Ar + CH_4(1:1) + 8.5\%$ Methylal
的放大特性曲线

单重 SQS 或单重 SQS 与多重 SQS) 放电模式。‘纯’单重 SQS 模式的电压段是短的 (100V 左右)。事实上这个电压段中也并存着多种放电模式, 只是其它模式仅占 10% 以下而已。

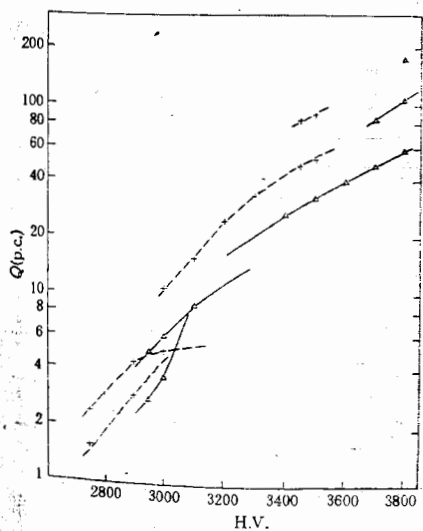


图 3 +: 第三种气体
 $Ar + CO_2(1:2)$ 流经 $0^\circ C$ 的 n-Pentane
 Δ : 第四种气体
 $Ar + CO_2(1:2)$ 流经 $8.4^\circ C$ 的 n-Pentane
的放大特性曲线

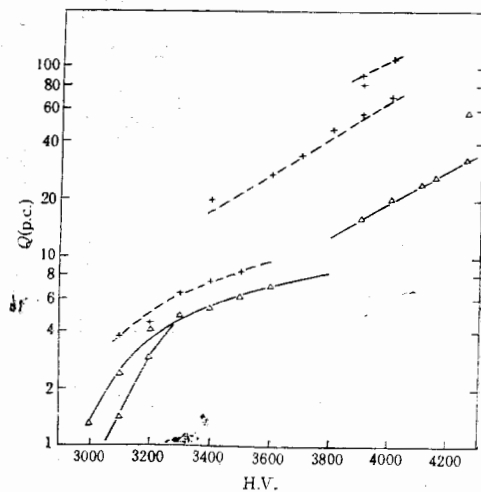


图 4 +: 第五种气体
 $Ar + Isobutan(1:2)$
 Δ : 第六种气体
 $Ar + Isobutan(1:3)$ 的放大特性曲线

图 3 中 +、 Δ 号是 $\text{Ar} + \text{CO}_2 (1:2)$ 流经 n-pentane 时, 输出信号的电荷量。前者 n-pentane 处于 0°C (称第三种气体), 后者为 8.4°C (称第四种气体)。图 4 是气体为 $\text{Ar} + \text{Isobutan}$ 时信号的电荷量。+ 号表示二种气体的比例为 $1:2$ (称第五种气体), Δ 号为 $1:3$ (称第六种气体)。

从特性曲线可以看出, 淬灭气体含量大的, 信号的电荷量小, 且从有限正比到 SQS 转化时电荷量的阶跃也较小, 特别是第四、六两种气体。上面几种气体中, 后四种所需工作电压要高些, 但其纯单重 SQS 放电模式的电压段较长, 可达 300V 左右。

二、信号电荷量与入射粒子径迹在丝方向上投影大小之关系

实验表明, SQS 信号的电荷量与入射粒子在垂直于丝方向的平面上的人射方向基本无关, 仅由粒子径迹在丝方向投影的大小所决定。图 5 是测量这种关系的实验安排。最上面的是厚度为 9mm 的 Al 准直器, 其上钻有 $\phi 2.5$ 的五个不同入射角的孔, 使入射粒子的径迹在丝方向上的投影分别为 $0, 3, 5, 7, 9\text{mm}$ 。紧挨着的是厚为 1mm 的 Pb 片, 中间开有宽 1mm , 长 4mm 的缝。在塑料闪烁体的上面和两侧, 分别用 1mm 厚的 Pb 和 4mm 厚的 Al 片作屏蔽。Pb 片上开有与放在流光管上面的那个 Pb 片相同大小的缝。测量时必须使流光管上下二个 Pb 片的缝处在 Al 准直器孔的轴线上, 且让小缝位于流光管上下底的两条槽的中间位置上, 以减少管壁对入射电子的散射。闪烁体和光电倍增管记录 Sr^{90} 的 β 粒子, 用它们产生的信号作多道分析器的开门信号。分析器测得的值, 则为该投影大小的 β 粒子在流光管中产生的脉冲的电荷量。

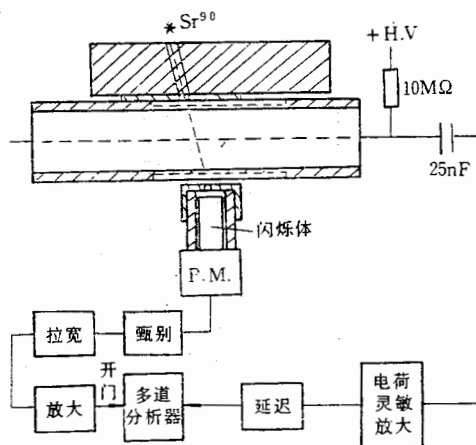
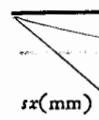


图 5 电荷量与粒子入射方向之关系的测量装置图

图 6 为管内充以第一种气体, 在入射粒子径迹在丝方向上的投影 sx 为 $0, 3, 5, 7\text{mm}$ 时, 流光管输出脉冲的电荷量谱。6(a) 与 6(b) 的区别在于前者工作电压为 2850V , 后者为 2950V 。表 1 为其峰位置的电荷量。可以看出, 在同一 sx 下并存着几种放电模式。但 sx 大的, 多重 SQS 信号所占的比例大。工作电压越高, 增大的趋势就越猛。



注: 有

图 7 同在于: 量随 sx 表 2 为

$sx(n)$

$Q(p)$

图: 和工作

综: 同的气体 例如第 同-

电荷量。前者是气体为 Ar+), Δ 号为 1:3

E 比到 SQS 转四种所需工作

之关系

入射方向基本实验安排。最, 使人射粒子的 Pb 片, 中间匀 Pb 和 4mm 厚测量时必须光上下底的两录 Sr⁹⁰ 的 β 粒受影大小的 β

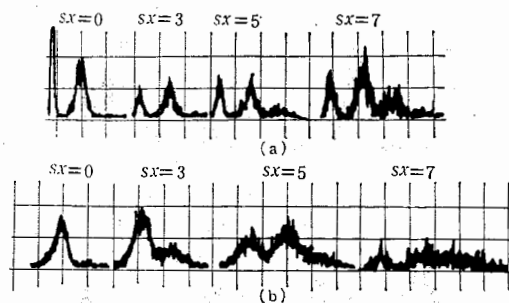


图 6 (a) 第一种气体、H.V. = 2850V、不同 sx 的电荷量谱
(b) 第一种气体、H.V. = 2950V、不同 sx 的电荷量谱

表 1 电荷量谱中峰位置的电荷量

H. V.(V)	Q (p.c.)	2850			2950	
		有限正比峰	单重 SQS 峰	二重 SQS 峰	单重 SQS 峰	二重 SQS 峰
0	4.4		44.9		62.8	101
3	9.6		50.1		57.5	101
5	12.2		52.3	87.2	66.7	119
7	12.2		55.8	93.3	62.8	115

注：有限正比峰与噪声混在一起，故其峰位置不太准确。

图 7 为 H. V. = 3500V, 充第四种气体时的电荷量谱。它们与第一种气体的谱的不同在于：电荷量小很多，且谱中几个峰靠得较近，难以区分。但从谱的形状和峰位置电荷量随 sx 增大而增加上可以看出，随着 sx 的增大，多重 SQS 信号所占的比例也在增加。表 2 为其峰位置的电荷量。

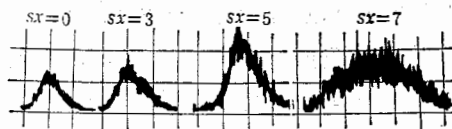


图 7 第四种气体、H.V. = 3500V、不同 sx 下的电荷量谱

表 2 电荷量谱中峰位置的电荷量

$sx(mm)$	0	3	5	7
Q(p.c.)	10.3	11.6	19.1	30.7

图 8(a)、(b) 分别为 H. V. = 3800, 3950V, 充第五种气体时的电荷量谱。它随 sx 和工作电压而变化的规律与上述的情况相似。表 3 为其峰位置的电荷量。

综上所述， sx 大，多重 SQS 信号所占的比例也大，工作电压越高，增大的越显著。不同的气体对这种比例的增加也有一定的影响，但是更重要的是它影响着 SQS 信号的大小。例如第四种气体，在其工作电压下，信号的电荷量还不及第一种的一半。

同一 sx 的 SQS 信号电荷量谱出现几个峰和多重 SQS 信号所占的比例随 sx 增大而

、3、5、7 mm
1850 V, 后者
电模式。

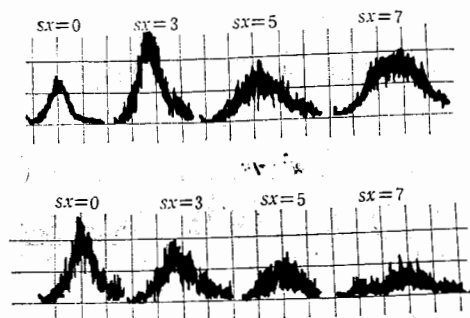


图 8 (a)第五种气体、H.V. = 3800V. 不同 sx 的电荷量谱
(b)第五种气体、H.V. = 3950V. 不同 sx 的电荷量谱

表 3 电荷量谱中峰位置的电荷量

H.v.(V)	$sx(mm)$	0	3	5	7
	$Q(p.c.)$				
3800		39.7	47.9	81.5	91.5
3950		53.6	69.3	145.1	199

增加的这一现象，反映了流光形成后在管内的空间电荷对气体放大的影响。空间电荷的存在，使其二侧在靠近阳极丝附近处的电场减弱，气体放大系数减小，以致于当其它电子进入该区时无法发展成流光。换言之，存在着一个对流光的形成的死区。这种影响随着距离的增大而减弱，使得在离空间电荷一定距离处，气体放大系数又达到可以形成流光的程度。这样，一个在丝方向上倾斜入射的带电粒子，在其径迹某处，由于能损较大，电离较强，加上其它因素如场强，使之发展为流光，而在离它一定距离的同一径迹的另一处，同样的情形发生了，这就形成了多重 SQS 信号。但是由于粒子的能损和气体放大的统计涨落， sx 相同的人射粒子，有的又只能产生单重 SQS 信号，这就是同一 sx 下的电荷量谱有多个峰的原因，也是死区大小没有一个明显的界线之所在。显然倾斜越大，产生多重 SQS 的几率就越大。由于流光放电的上述特性，我们进一步设想，是否可以利用对不同 sx 下多重 SQS 信号所占的比例大小的测量，去描述同时入射到同一流光管内的二个带电粒子，都产生流光的几率与它们径迹的中心位置间在丝方向上的距离之关系？为此，我们做了如下的假设：径迹在丝方向上的投影为 sx 的一个入射粒子，其多重 SQS 信号在全部 SQS 信号中所占的比例，与二个同时入射到同一流光管内的、径迹的中心位置间在丝方向上的距离为 $\frac{1}{2} sx$ 的入射粒子，都产生流光的几率相等。这样，我们就可以根据单根流光管的实验结果，利用电磁簇射程序，计算工作在 SQS 模式下的气体取样簇射探测器的能量分辨率和电荷分配法的定位精度。我们正是采用这种办法，计算了北京簇射探测器的能量分辨率。当流光管充以第一种气体，工作电压为 2950V 时，分辨率可达 $14\%/\sqrt{E}$ ，工作电压为 2850V 时（有限正比信号占 30% 左右，而前者占 4% 以下），约 $17\%/\sqrt{E}$ 。若充以第四种气体，工作电压为 3500V，也达 $14\%/\sqrt{E}$ 左右。

为矜
子在流并
似的，但
漂彩
入射的。
丝 5mm
第五种气

电子
种的小径
从实
接提供测
说，经济。
从济
小，工作
宜。

- [1] S. B
[2] J. F
[3] E. I.
[4] 马金

三、漂移时间的测量

为确定 ADC 开门脉冲的宽度,除必须了解 SQS 信号脉冲的宽度外,还必须确定电子在流光管中的漂移时间。从示波器上观测到,几种气体的 SQS 信号脉冲的形状都是相似的,但宽度差别较大,例如第一种气体,脉冲的底宽约 100ns,而第四种气体只有 20ns。

漂移时间测量的实验安排,除电子仪器外,与图 5 所示的相类似,只是 β 粒子是垂直入射的。电子仪器的安排如图 9 所示。经对 TAC 刻度定标,在工作电压下,测得离阳极丝 5mm 处的电子漂移到阳极所需的时间为: 第一种气体为 80 ns, 第四种气体为 202 ns, 第五种气体为 159ns。(因条件所限,第二、三种气体没做。)

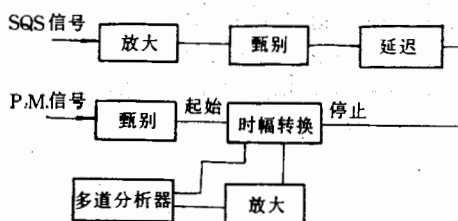


图 9 漂移时间测量的电子仪器框图

电子在第四种气体中的漂移时间比第一种的大很多,但其 SQS 脉冲的底宽却比第一种的小很多,故 ADC 的门脉冲所需的宽度,二者相差不大。

从实验结果可以看出,流光信号的电荷量成正比的大很多,它可以不需经过放大器直接提供测量之用,这对于像簇射探测器那样的需要上千甚至上万根流光管组成的系统来说,经济上的节省是很可观的,而且它的能量分辨率也略优于正比模式。

从流光管所用的气体上看,上述几种气体都可以被采用。但从气体的来源,信号的大小,工作电压及纯单重 SQS 的电压段的长度看,采用第四种气体,对簇射探测器似更合宜。

参 考 文 献

- [1] S. Brehil et al., *Nucl. Instr. & Meth.*, 123(1975), 225.
- [2] J. Fisher, *Nucl. Instr. & Meth.*, 151(1978), 451.
- [3] E. Iarocci, *Nucl. Instr. & Meth.*, 217(1983), 30.
- [4] 马金源等, *高能物理与核物理*, 7(1983), 681.

空间电荷于当其它电这种影响随以形成流光量较大,电离与另一处,同放大的统计的电荷量谱,产生多重用对不同二个带电粒,此,我们做信号在全部可在丝方向据单根流光探测器的能衬探测器的 $4\%/\sqrt{E}$ $1/\sqrt{E}$. 若

THE SELF-QUENCHING STREAMER PROPERTIES OF SEVERAL KINDS OF MIXED GASES

MA JIN-YUAN JIANG CHUN-HUA

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

ABSTRACT

This article described the Self-Quenching-Streamer properties of mixed gases such as: Ar + CH₄ (1:1) bubbled through Methylal at 0°C, Ar + CO₂(1:2) bubbled through n-Pentane and Ar + Isobutane. We also measured the relation of streamer signal amplitude with the projection length at the direction of anode wire, and the drift time.

The experiments were performed using a 20×10×330 mm³ brass tube with a 50 μm diameter stainless steel wire made in China. We also calculated the energy resolution of the calorimeter worked in SQS mode with Monte-Carlo method.

自
标量场
方法讨
是重新

其中 D
满足初

而且当

当 $\frac{\delta S}{\delta \phi}$ 恒
Langevin

本文 15