

# SQS 漂移室的性能研究

陈朝清 王运永 史焕章 李如柏 荣刚

(中国科学院高能物理研究所)

## 摘 要

本文描述在自猝灭流光 (SQS) 方式下工作的可调电场漂移室的测量结果。给出了气体成份为氩和异丁烷各 50% 时的 SQS 放电特性曲线, 表明由饱和雪崩方式向 SQS 方式跳跃时的电荷量约为 4.3 pC。测量了单丝计数率坪与气体成份和甄别阈的关系, 室的探测效率、SQS 脉冲振幅和漂移时间与漂移距离的关系, 给出了在几种不同条件下的漂移速度。特别研究了在氩和异丁烷的混合气体中加入少量苯蒸汽对室性能的影响。利用双室法测量了室的空间分辨率。

## 一、引 言

早在七十年代初期, G. Charpak 组<sup>[1,2]</sup> 在研究各种气体成份和阳极丝的粗细对多丝正比室性能的影响时就已发现, 在室内充某些特殊的气体混合物并且讯号丝较粗的条件下, 当外加电压比较高时, 室的输出讯号幅度很大, 比通常的正比讯号大几十倍, 而脉冲宽度很窄, 说明并没有进入盖革放电区。由于当时对这种新的现象还不了解, 认为是盖革放电没有充分发展的结果, 因此当时把它称为“有限盖革放电”或“伪盖革放电”等等。近年来, 许多作者<sup>[3,4]</sup> 对这种新的放电机制进行了仔细的研究, 已经基本上弄清楚这是一种自猝灭的流光 (SQS) 放电。

研究表明, 如果阳极丝直径较大, SQS 放电方式和盖革放电方式可以在同一个丝室 (或计数管) 中实现。当工作电压升高时, 如果气体混合物中所含的有机气体成份浓度较低, 就从正比方式过渡到盖革方式; 如果有机气体成份浓度较高, 则过渡到 SQS 方式。但是, 对于固定的气体组分来讲, 则只能观察到盖革方式或 SQS 方式中的一种, 不可能通过改变高压, 从一种方式过渡到另一种方式, 二者必居其一。

SQS 放电方式与其它放电方式的关系可以表示如下:



现在说明一下 SQS 的放电原理。当带电粒子穿过充有氩气和多原子分子气体的室

(或管)时,在室内的混合气体中产生电离电子.在电场的作用下,这些电离电子向着阳极丝漂移,在阳极丝附近的高电场区产生电离雪崩,实现气体放大.在气体放大过程中由正离子形成的空间电荷大量增加,使阳极丝附近的电场下降,结果电子被“冷却”下来,增加了正离子和电子碰撞的机会,使其可能重新复合发出光子.这些光子被猝灭气体强烈地吸收.但其中一些能量较高的光子能够穿透空间电荷云,使猝灭气体的分子电离.这些光致电离电子漂移回到由雪崩形成的正离子锥的尖端时,由于那里的电场很强而产生次级雪崩.在正离子锥的其它部位上,因电场较弱,不足以产生次级雪崩.因此次级雪崩只局限在原始放电区域.当离子锥发展到一定大小时,它伸展到了外电场较弱的区域,同时由于离子锥增长,它的顶部的电场变弱,不足以形成新的次级雪崩,这样流光放电过程就自行猝灭了.

要形成流光放电,需要满足三个条件:(i)次级雪崩的电子总数必须不少于初级雪崩的电子总数;(ii)在光电子出现的瞬间,初级雪崩的电场必须具有和外电场相同的量级;(iii)光子的平均自由程必须小于或等于雪崩的尺寸,这样光电离才能局限在初级雪崩的电场中产生.条件(i)对气体放电的任何自持过程都是必要的,而有了条件(ii)和(iii),才能使放电过程形成流光.如果条件(ii)和(iii)有一个不满足,那么初级雪崩对形成新的次级雪崩的影响是很微弱的.在这种情况下,光子产生的次级雪崩将在阳极丝的电场中发展,而不在初级雪崩的电场中发展.因此,如果条件(i)得到满足,而条件(ii)和(iii)至少有一个不满足,那么放电将沿着阳极丝传播,形成盖革放电.很明显,如果工作气体中包含大量的猝灭气体成份,则条件(ii)和(iii)会同时得到满足,从而产生SQS放电.

流光是从阳极丝出发向粒子入射处的方向发展的.流光的长度约为1.5—3mm,直径为150—200 $\mu\text{m}$ .流光的长度与直径都和工作电压、气压以及猝灭气体的含量有关,气压增加或猝灭气体的含量增加,流光的直径和长度都会减小.

SQS放电所形成的电脉冲的特点是:①脉冲幅度大.雪崩电流峰值约为0.2—0.4mA.输出脉冲的幅度与初始电离的大小基本无关.幅度随工作电压的变化不大,分布也比较均匀.②脉冲宽度窄.典型值为100ns左右.上升时间快,只有几个毫微秒.脉冲宽度与猝灭气体的含量有一定关系,随猝灭气体的含量的增加或工作气体的压力的增加而减小.③坪特性好,工作稳定可靠.④探测效率接近100%.

由于上述特点,使得SQS方式在漂移室中的应用是很吸引人的.在SQS方式下工作的漂移室与通常在正比方式下工作的漂移室相比较,其优点是:输出讯号大,可以省去前置放大器;讯噪比高,抗干扰能力强;容易实现高精度的二维读出;可以用较粗的丝作为讯号丝,便于大室的建造. SQS漂移室有可能成为一种结构简单,价格便宜,工作稳定可靠的定位探测器.

## 二、室的结构和参数

我们建造了两个 $20 \times 20 \text{cm}^2$ 的可调电场漂移室.室的结构与工作<sup>[2]</sup>类似.一个是单室,另一个是双室.图1是双室结构的示意图.阴极丝平面的丝距为2mm.各阴极丝之

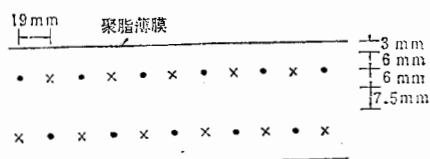


图 1 双层可调电场漂移室结构示意图

- 阳极丝, 60 $\mu$  镀金钨丝
- × 电场丝, 100 $\mu$  镀青铜丝
- 阴极丝, 100 $\mu$  镀青铜丝

间串接有降压电阻。单室的各个降压电阻为  $1M\Omega$ ，双室的为  $2M\Omega$ 。各电场丝与相应的阴极丝连接在一起，共同加负高压。与阳极丝相对应的阴极丝接地。阳极丝加正高压。隔直电容为  $0.001\mu F$ 。室的其它参数已在图 1 中标明。

我们利用这两个漂移室测量了在自猝灭流光(SQS)方式下工作的一些主要性能。在所有的电压测量中，阳极丝上都接有  $1k\Omega$  的负载电阻。电场丝上的电压除特别说明外都是一  $1400V$ 。如果没有另加说明，气体成份均为氩和异丁烷各 50% 的混合物，所用的放射源是  $^{90}Sr$  的  $\beta$  射线。

### 三、测量结果

#### 1. 幅度特性

图 2 表示平均的电压脉冲幅度与阳极高压的关系。电压前置放大器的输入阻抗大于  $500k\Omega$ 。放射源为  $^{55}Fe$ 。由图 2 可知，阳极高压大约在  $2500V$  到  $2700V$  范围，室工作于正比区，输出电压的平均幅度为  $\sim 1mV$ — $\sim 8mV$ 。随着电压的升高，能量为  $2.95 keV$  的逃逸峰向着能量为  $5.9keV$  的主峰靠拢，愈靠愈近，变成不能分开，这就进入了所谓饱和雪崩区，此时的电压范围大致是从  $2750V$  到  $2900V$  左右。输出电压的平均幅度为  $\sim 8mV$ — $\sim 11mV$ ，幅度变化不大，具有饱和特性。从大致  $2900V$  开始过渡到 SQS 区。起初大脉冲不多，主要是饱和雪崩脉冲。随着电压的升高，SQS 脉冲变成占优势，饱和雪崩脉冲逐渐消失。但在低幅度区总存在一个窄的小峰。当异丁烷的浓度低于 50% 时，在过渡区同时存在饱和雪崩脉冲和 SQS 脉冲。异丁烷浓度愈低，这个过渡区愈长。异丁烷浓度高于 50% 时，两种工作方式重叠的区域则不甚明显。阳极高压在  $3000V$ — $3400V$  范围，室工作于 SQS 区。这时输出电压的平均幅度为  $\sim 100mV$ — $\sim 300mV$ 。高压更高时，会出现第二个 SQS 脉冲跳跃。

图 3 是输出的平均电荷量与阳极高压的关系。放射源还是  $^{55}Fe$ 。对  $5.9keV$  的 X 射线来讲，在正比区和饱和雪崩区输出的电荷为  $\sim 0.7pC$ — $\sim 4.3pC$ 。在输出的电荷量为  $4.3 pC$  左右时，开始出现进入 SQS 放电的跳跃。在 SQS 区，输出的平均电荷量为  $\sim 17.5 pC$ — $\sim 90pC$ 。

在正比区采用电荷灵敏前置放大器测量，其输入阻抗为  $390\Omega$ 。电荷灵敏度为  $\frac{1}{5.4} V/pC$ 。在 SQS 区由于电荷量大采取分流的方法进行测量，这样就保证了前放仍工作

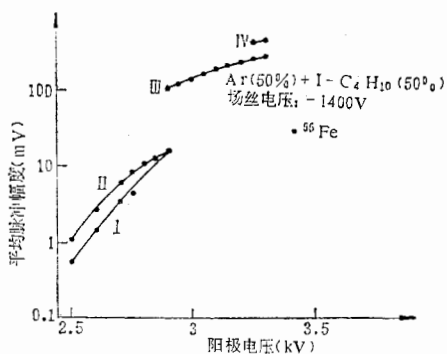


图2 脉冲幅度-阳极电压关系曲线

曲线 I 2.95keV 逃逸峰  
 II 5.9keV 主峰  
 III 第一 SQS 脉冲  
 IV 第二 SQS 脉冲

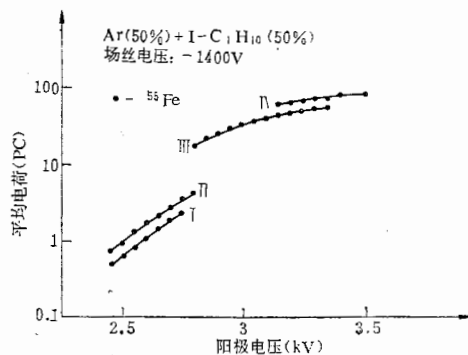


图3 雪崩电荷-阳极电压关系曲线

曲线 I 2.95keV 逃逸峰  
 II 5.9keV 主峰  
 III 第一 SQS 脉冲  
 IV 第二 SQS 脉冲

在线性区。

## 2. 计数率坪曲线

图4是几种不同的异丁烷浓度的计数率坪曲线。甄别阈均为  $10\text{mV}/1\text{k}\Omega$ 。很明显，异丁烷浓度愈高，计数率坪愈长，但坪的起始电压也愈高。当氩和异丁烷各为50%时，坪长约为600V。实际上在SQS区的坪要短些。这里是因为甄别阈比较低，相当一部分饱和雪崩脉冲被记录下来了。

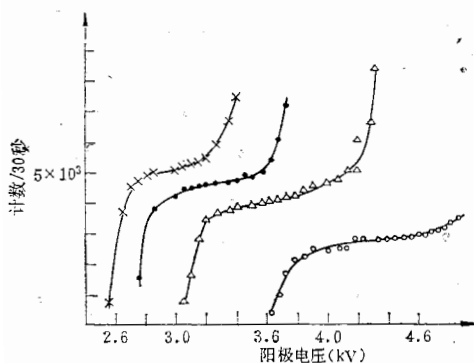


图4 计数率-阳极电压关系曲线

× 58%Ar + 42%I-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>  
 △ 40%Ar + 60%I-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>  
 ● 50%Ar + 50%I-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>  
 ○ 21%Ar + 79%I-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>

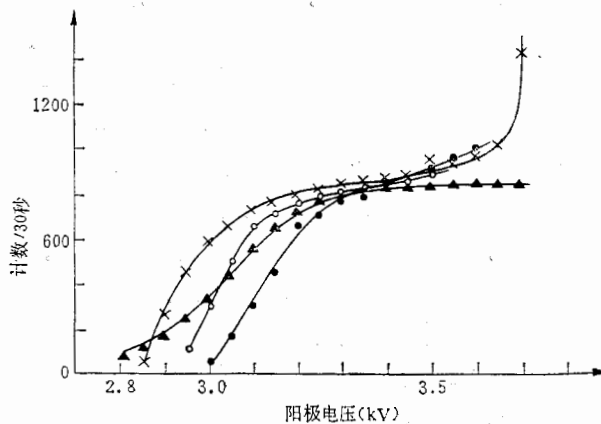


图5 计数率坪与甄别阈的关系曲线

气体: Ar(50%) + I-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>(50%)  
 甄别阈: × -30mV ○ -40mV ● -50mV  
 ▲ 气体: Ar(50%) + I-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>(50%) + C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (0°C 蒸汽)  
 甄别阈: -30mV

图5表示不同的甄别阈和苯蒸汽对计数率坪的影响。在测量时室的讯号直接连到甄别器而没有经过放大。甄别器的输入阻抗为  $50\Omega$ 。由图可知，甄别阈选在  $-30\text{mV}/50\Omega$

以下,例如选在一  $20\text{mV}/50\Omega$  左右比较合适. 甄别阈偏高,使坪的起始电压向高处移动,坪长缩短,这显然是不利的. 甄别阈偏低则不可能把全部饱和雪崩脉冲甄别掉. 在后面的测量中,甄别阈都是放在一  $30\text{mV}/50\Omega$  上. 很明显加入少量苯蒸汽能使坪长大大加长,因此工作非常稳定. 文献[6]报道加苯后坪长可达  $1400\text{V}$  左右.

### 3. 脉冲幅度和漂移距离的关系

图 6 表示 SQS 脉冲的平均幅度与漂移距离的关系. 由图可见,在整个漂移距离内脉冲的平均幅度基本不变. 这说明 SQS 脉冲的大小与原初电离基本无关,因此即使在漂移过程中有些电离电子被吸收也并不影响输出幅度.

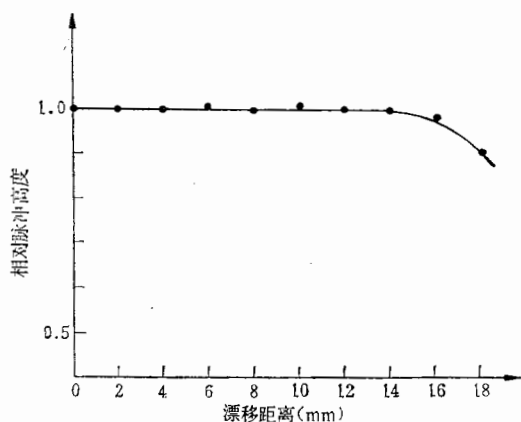


图 6 脉冲高度-漂移距离关系曲线

气体:  $\text{Ar}(50\%) + \text{I-C}_4\text{H}_{10}(50\%)$ ;  
阴极电压:  $-1400\text{V}$ ;  
阳极电压:  $3350\text{V}$ .

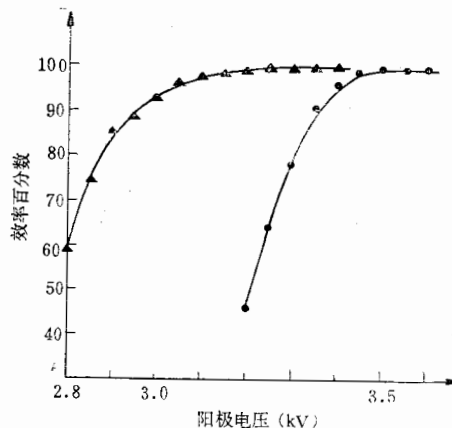


图 7 效率-阳极电压关系曲线

▲  $\text{Ar}(50\%) + \text{I-C}_4\text{H}_{10}(50\%)$   
●  $\text{Ar}(50\%) + \text{I-C}_4\text{H}_{10}(50\%) + \text{C}_6\text{H}_6$   
( $0^\circ\text{C}$  蒸汽)

### 4. 效率

图 7 表示两种不同气体成份的效率坪曲线. 源对准所测的讯号丝. 当气体为  $\text{Ar}(50\%) + \text{I-C}_4\text{H}_{10}(50\%)$  时,坪的起始电压较低. 加苯以后坪的起始电压显著提高,坪长也大大加长. 坪区效率相同,都是  $99.6\%$ .

图 8 表示 SQS 漂移室的探测效率和漂移距离的关系. 当气体成份为氩和异丁烷两种气体的混合物时,在整个漂移单元内的效率都接近  $100\%$ ,只是在靠近电场丝时才有所下降. 但加苯以后,由图可知,漂移距离大于  $6\text{mm}$  时,效率就开始下降. 漂移距离为  $18\text{mm}$  时,效率降为  $65\%$ . 由此可见,加苯蒸汽虽然对于提高计数率的坪长,增加工作的稳定性有好处,但它可能使探测效率变坏. 估计把苯的含量控制在  $1\%$  以下,有可能既不使探测效率降低,又可能增加坪长,保证工作的稳定性.

### 5. 时-空关系

图 9 表示测量的漂移时间和漂移距离的关系. 由图可见,在阳极丝附近(在离阳极丝

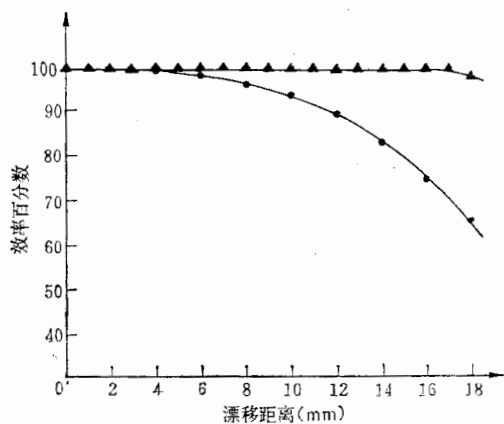


图8 效率-漂移距离关系曲线

- Ar(50%) + I-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>(50%) + C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (0°C 蒸汽) 阳极电压: 3450V
- ▲ Ar(50%) + I-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>(50%) 阳极电压: 3350V

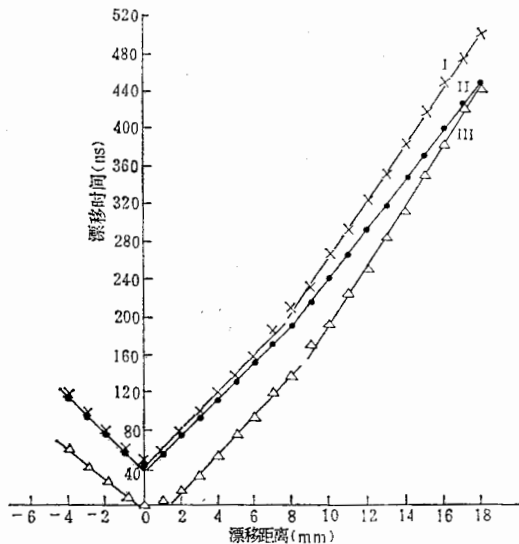


图9 漂移时间-漂移距离关系

- I × Ar(50%) + I-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>(50%) 阳极丝电压: 3250V, 电场丝电压: -1050V
- II ● Ar(50%) + I-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>(50%) 阳极丝电压: 3250V, 电场丝电压: -1400V
- III △ Ar(50%) + I-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>(50%) + C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (0°C 蒸汽) 阳极丝电压: 3350V, 电场丝电压: -1400V

的距离 1mm 以内)和在电场丝附近(在离电场丝的距离 1mm 以内),漂移时间和漂移距离的关系是非线性的,而在漂移距离从 1mm 到大约 8mm 和从大约 8mm 到 18mm 的范围内,则分别具有很好的但斜率不同的线性关系。利用最小二乘法折线拟合,可以得到在这二个区间的不同的漂移速度。曲线 II 表示气体成份为氩和异丁烷各 50% 时的时-空关系。设  $x$  为漂移距离。在  $1\text{mm} \leq x < 8\text{mm}$  范围内,漂移速度为  $19.6\text{ns/mm}$ ,但在  $8\text{mm} < x \leq 18\text{mm}$  范围内,漂移速度为  $25.6\text{ns/mm}$ 。曲线 I 表示同样的工作气体和同样的阳极电压但电位丝的电压由  $-1400\text{V}$  降为  $-1050\text{V}$  时的时-空关系,这时在  $1\text{mm} \leq x < 8\text{mm}$  范围内,漂移速度为  $21.3\text{ns/mm}$ ,而在  $8\text{mm} \leq x < 18\text{mm}$  范围内,漂移速度变为  $29.4\text{ns/mm}$ 。曲线 III 表示在同样的混合气体中加入少量的苯蒸汽后的情况。在这种情况下,在  $1\text{mm} \leq x < 8\text{mm}$  范围内,漂移速度为  $20.0\text{ns/mm}$ ,在  $8\text{mm} \leq x < 18\text{mm}$  范围内,则为  $31.2\text{ns/mm}$ 。很明显,在小的漂移距离内 ( $1\text{mm} \leq x < 8\text{mm}$ ),不管是降低电场强度或是在一比一的氩和异丁烷混合气体中加入少量的苯蒸汽,对漂移速度的影响都不大,但在大的漂移距离上 ( $8\text{mm} \leq x < 18\text{mm}$ ),情况就明显不同了,降低电场丝的电压或加入少量的苯蒸汽都使漂移速度大大降低。

## 6. 时间分辨率和空间分辨率

我们利用双室法测量室的时间分辨率  $\sigma_t$ ,从而求出室的空间分辨率  $\sigma_x$ ,

$$\sigma_x = \frac{\sigma_t}{\sqrt{2}} V_d,$$

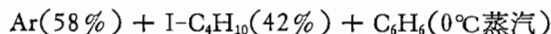
式中  $V_d$  是漂移速度。

测量线路类似于我们以前的工作<sup>[7]</sup>中所用的线路,差别在于现在不需要任何放大器,直接把室的讯号加到恒比定时甄别器上。我们利用准直的  $^{90}\text{Sr}$  的  $\beta$  源。准直缝的宽度为 0.258mm,厚度为 29.2mm。源置于漂移单元的中间。我们使上漂移室和下闪烁计数器的讯号进行快符合(符合电路的分辨时间为 3ns),快符合输出作 TAC 的起始讯号,下漂移室的讯号作 TAC 的停止讯号。测量  $\tau = t_2 - t_1$  的分布,得到  $\sigma_\tau$ ,从而可以求出

$$\sigma_x = \frac{\sigma_\tau}{\sqrt{2}}$$

当气体为 Ar(50%) + I-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>(50%) + C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (0°C 蒸汽) 时,测量的  $\sigma_\tau = 29.7\text{ns}$ , 相应的  $\sigma_x < 0.476\text{mm}$ 。这里没有扣除入射粒子束的宽度和多次散射的影响。

我们也研究了不同的气体浓度对时间分辨率的影响。测量了气体为



时的  $t_2 - t_1$  分布,结果为  $\sigma_\tau = 27.8\text{ns}$ 。可见降低异丁烷的浓度可以稍微改善室的时间分辨率。

作者感谢叶铭汉同志对本工作的热心支持、指导和审阅本文。芦新华等同志对气体成份进行了分析,后晓江同志在前端电路方面提供方便,刘捷同志参加了机械方面的部分工作,对他们以及其他许多同志的帮助也在这里表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] R. Bouclier et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **88**(1970), 149.
- [2] S. Brehin et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **123**(1975), 225.
- [3] G. D. Alekseev et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **177**(1980), 385.
- [4] M. Atac et al., *IEEE NS-29*, No. 1(1982), 388.
- [5] 王运永,李如柏,陈朝清,侯宝尊,谢佩佩,董雪生,高能物理与核物理, **6**(1982), 129.
- [6] E. P. DeLima et al., *IEEE NS-30*, No. 1(1983), 90.
- [7] 王运永,李如柏,陈朝清,侯宝尊,谢佩佩,毛慧顺,叶铭汉,核技术, **4**(1979), 21.

## INVESTIGATION OF SOME PROPERTIES OF SQS DRIFT CHAMBER

CHEN CHAO-QING    WANG YUN-YONG    SHI HUAN-ZHANG    LI RU-BAI    RONG GANG  
(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

### ABSTRACT

Some performances of an adjustable field drift chamber operated in the self-quenching streamer mode (sQs) have been measured. The counting rate plateaus as a function of threshold and gas mixture, the efficiency, the spacil resolution, the relationship between drift distance and drift-time, the pulse heights in different drift distance and the transition characteristics from saturated avalanche to sQs-discharge mode are presented in this paper. The influences of the benzene vapor are also studied.