

可控制脉冲供电计数管(II)*

唐孝威

提 要

在这一部份总结中, 讨论了可控制脉冲供电 卤素管的特性和可控制脉冲供电计数管的应用方法.

第二章 可控制脉冲供电的卤素管

§ 1. 可控制脉冲供电卤素管的特点

有机计数管在脉冲供电下的种种性能已在前面讨论过了. 现在来看卤素管.

用惰性气体氖做主气体, 充微量卤素(通常是溴)当做猝灭气体的卤素计数管, 工作电压低, 使用寿命长. 它可以在低温(达到 -40°C 左右)下工作, 又能忍受较强的放电, 因而应用很广. 已经知道, 低电压卤素管有许多特点. 曾经系统地研究过这些特点, 结果可参看文献[1]和[5]. 我们所做的实验表明, 在可控制脉冲供电下的卤素管也有很多新现象, 它们和有机计数管不同. 下面我们举出可控制脉冲供电卤素管(简称为脉冲卤素管)的三个特点, 并且和可控制脉冲供电有机计数管相对比.

第一, 当脉冲供电时, 如果脉冲幅度足够大, 这两类计数管都会发生击穿. 从第一章图2中看到, 脉冲总幅度要超过1500伏左右, 有机计数管开始击穿.

和有机计数管不同, 卤素管的击穿电压低. 小于1000伏的脉冲就已经能够击穿卤素管.

这就是说, 在脉冲供电条件下, 卤素管也是“低工作电压”的.

第二, 当有机计数管上加直流电压, 即计数管中没有清扫电场来收集电子时, 计数效率最大. 加上清扫电场之后, 计数效率变小了. 图4就表示这种关系.

和有机计数管不同, 当卤素管上加直流电压时, 计数效率竟是最低. 例如图13中的曲线1 ($T_s = 6 \times 10^{-7}$ 秒). 如果增加 T_s , 计数效率很快地变得更小. 然而一

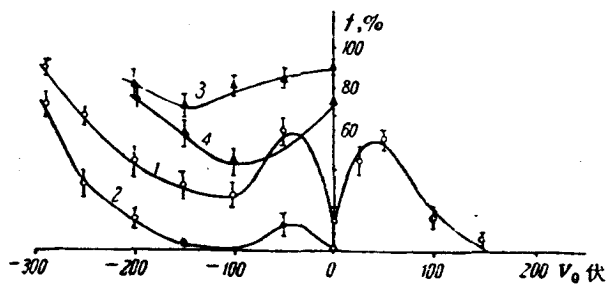


图13 卤素管在可控制脉冲供电下的计数效率 f 和卤素管上直流电压 V_0 的关系

曲线1 $T_s = 0.6$ 微秒 } 温度是 20°C
曲线2 $T_s = 1.1$ 微秒 }
曲线3 $T_s = 0.6$ 微秒 } 温度是 -196°C
曲线4 $T_s = 1.1$ 微秒 }

* 1961年5月22日收到, 本文的第一部份登载在物理学报17卷第六期上.

且加上清扫电场之后, 不管电压极性是正还是负, 都使计数效率增大。直流电压再增加, 计数效率又减小了。

第三, 当有机计数管阴极上的负直流电压大于一定值以后, 计数效率降到零。例如图中曲线 3 在 V_0 大于负 70 伏以后、曲线 4 在 V_0 大于负 45 伏以后的情形。再加大直流电压, 计数效率自然一直仍是零。这相当于计数管中的电子在时间 T_x 中已经全部被收集完了。

和有机计数管不同, 增加阴极上的负直流电压, 脉冲卤素管计数效率不降到零。只有当 T_x 很大时, 例如图中曲线 2, 计数效率才在很小的地段中是零。当 V_0 比较高时, 虽然它还远低于卤素管的盖革阈压, 计数效率却就增加得很大了。

有趣的是, 为什么脉冲卤素管有这些特点呢? 这些特点能不能用统一的放电机构来解释呢?

§ 2. 卤素管中氖原子亚稳态的作用

卤素管中充着氖, 在放电时生成氖原子的亚稳态。它们对于放电发展, 作用大得很。氖的亚稳态能级, 激发电位等于 16.57 电子伏。这能级是最低的激发能级。在计数管电场中, 电子开始时只和氖原子作弹性碰撞。因此能量逐渐积累起来。等到足够大时, 就可产生氖原子的亚稳态。氖的电离电位等于 21.51 电子伏, 比亚稳态能级的电位高得多。所以当计数管中电场强度相当低时, 放电过程的产物, 主要是氖原子的亚稳态, 而不是氖离子。放电过程主要通过亚稳态而进行。

氖原子的亚稳态产生后, 又怎样消失的? 可以有很多种情形:

1) 如果充气是纯氖, 那末氖原子的亚稳态通过热碰撞而被破坏。亚稳态要在这种碰撞中获得足够能量, 跃迁到别的(非亚稳的)激发能级上, 然后再消激发。这个过程的几率是很小的。亚稳态能级自发辐射的几率, 以及亚稳态碰撞电极而被破坏的几率也都非常小。

2) 如果氖中加一些有机气体, 那末氖原子的亚稳态和有机气体分子碰撞而被破坏。碰撞的结果, 是有机气体的多原子分子分解, 但并不产生新的电离。

3) 如果氖中加了容易电离的气体, 那末氖原子的亚稳态通过第二种碰撞而被破坏。例如氩, 其电离电位等于 15.7 电子伏, 比氖原子亚稳态的激发电位低。氖原子亚稳态和氩原子碰撞时, 亚稳态被清除而氩原子电离。这正是我们熟知的 Пеннинг 式混合气体中由第二种碰撞致电离的情形。

4) 如果氖中加入卤素气体, 那末氖原子的亚稳态和卤素分子碰撞而被破坏。同时卤素分子分解。

通常卤素管中氖是主气体, 加入微量氩(A)和溴(Br_2)。这时氖原子亚稳态通过碰撞被破坏。其平均寿命等于^[5]:

$$\tau \approx \left[4 \sqrt{\pi} \sqrt{\frac{kT}{m}} d^2 N_0 (p_A + p_{\text{Br}_2}) \right]^{-1} \quad (6)$$

其中 k 是玻耳兹曼常数, N_0 是洛喜密脱数, m 是互相碰撞原子的折合质量, d 是氖原子和混合气体原子的有效碰撞参数, p_A 和 p_{Br_2} 是氩和溴的分压力。由此看来, 亚稳态平均

寿命 τ 决定于混合气体的成分,它和氩、溴的浓度简单地成反比关系。对于常用的 CTC-8 型卤素管的充气,可以算出 $\tau \approx 2 \times 10^{-7}$ 秒。

普通卤素管工作电压低,是亚稳态的作用。第二种碰撞使氖原子亚稳态破坏;同时使电离产生效率增加,所以计数管阈压就大大降低。脉冲供电时卤素管的击穿电压较低,其原因也在于此。

在低电压卤素管中,亚稳态寿命比较长。这一事实必然会反映到放电繁殖过程的时间特性上来。我们对此必须注意。

§ 3. 脉冲卤素管在低直流电压区域中的特性

从图 13 看到,当 $V_0 = 0$ 时脉冲卤素管计数效率极低。为了研究这种“奇异”现象,我们测定了低温对于计数性能的影响^[7]。即在二种条件下量同一个 CTC-8 型卤素管的效率曲线:一次是在室温下,所得的结果见图 13 中的曲线 1 和曲线 2, T_s 分别等于 0.6 微秒和 1.1 微秒;另一次是用液体氮冷却后(目的是“冷冻”掉卤素管中的卤素),所得的结果见图 13 中的曲线 3 和曲线 4, T_s 也分别等于 0.6 微秒和 1.1 微秒。

比较二种温度下的结果,可以得出下面的结论:在低电压区域中脉冲卤素管计数效率之所以降低,是因为管子里有着电负性气体(溴或氯)的原故。

但是为什么计数管中的卤素气体会引起小 V_0 时计数效率降低呢? 我们提出了二种可能的假说。一种假说是:入射粒子在计数管中产生电离,电子很快被卤素俘获,形成了负离子。当脉冲高压达到 V_p 时,如果这些负离子还存在管中,它们就会使计数管击穿。然而负离子可能和正离子复合而失去;这样计数效率就减小了。再假定,当卤素管中没有电场时,这种复合最是有效[所谓从尤复合过程 (предпочтительная рекомбинация), 即负离子和同一原子电离产生的正离子再行中和]。这就解释了 $V_0 \approx 0$ 时效率最低的現象。

另一种假说是:原始电离中的电子被卤素俘获生成负离子。它们在卤素管中保存着,并没有复合掉。然而对计数管击穿是起不了作用的:在加上脉冲高压(实验中用 1300 伏)以后,它们并不能引起计数管击穿。原始电子一旦被俘获形成负离子,就根本损失了。其理由是:负离子 Br_2^- 通常十分稳定,在較低的 $\frac{E}{p}$ 下,不再能释放出电子。此外,电子和溴分子碰撞形成负离子的几率是电子速度的函数;可以认为在计数管中电场近于零时,这几率有着极大值。因此 $V_0 \approx 0$ 时效率是最低的。

我们进行了实验来区别这二种可能性。1)在 Co^{60} 的 γ 射线照射下,测量一组卤素管的输出电流。如果有从尤复合过程,那末在电压小于 20 伏的区域中,电流将大大减小。但是我们的实验中并没有观察到这个现象。2)把直流电压固定是零,测量不同 V_n 下脉冲卤素管的计数效率。结果是效率一直很低,只是当 V_n 大于 2 千伏以后,效率才提高。可以这样解释:在所研究的计数管中,当 V_n 小于 2 千伏时,负离子对击穿不起作用;而当 V_n 大于 2 千伏后,则发生了负离子致电离(或负离子释放出电子)的效应,因而对击穿起了作用。由此看来,前头所提的第二种假说是可以符合实验事实的。也就是说:在一般电压条件下,电子被卤素俘获,就意味着损失。

§ 4. 圆素管中放电的时间特性

令时间 $t = 0$ 时, 入射粒子在计数管壁附近产生 $n_e(0)$ 个电子. 在电场作用下它们向中心丝行进, 氛原子的亚稳态产生了. 每个电子产生的亚稳态平均数目是

$$n_{m,1} = \int_a^b \alpha(r) dr,$$

b 和 a 分别是计数管阴极半径和阳极半径, $\alpha(r)$ 是电子在单位长度路程上产生亚稳态的几率. 它是电场强度的函数, 因而是半径 r 的函数. 亚稳态由于第二种碰撞, 产生电子的几率叫做 δ .

新电子又产生亚稳态. 这样, 一次雪崩是个级联过程. 文献[5]计算了一次雪崩中在时间为 t 时的电子总数 $N_e^1(t)$:

$$N_e^1(t) = n_e(0) \sum_{i=1}^{i=\infty} \frac{(\delta n_{m,1})^i}{i!(i-1)!} \left(\frac{t}{\tau}\right)^{i-1} \frac{e^{-t/\tau}}{\tau}, \quad (7)$$

其中 τ 是亚稳态的平均寿命. 这个推算忽略了亚稳态原子的扩散效应, 因而只是近似的. 但是可以看出, 单个雪崩的发展, 带有指数特性. 利用这公式算出单个雪崩中的电子总数是

$$N_e^1 = n_e(0) e^{\delta n_{m,1}},$$

还可以定义放大倍数 K_A 等于

$$K_A = \frac{N_e^1}{n_e(0)} = e^{\delta n_{m,1}}. \quad (8)$$

假如不发生其它过程, 一次雪崩就自己收敛了. 实际上电离碰撞总伴随着光子辐射, 这样放电过程就复杂化. 一个雪崩中相应于每个离子有一定的几率通过光电效应而产生另一次新雪崩. 这个几率叫做 γ . 放电过程的主要特征是: 雪崩产生的光子引起新雪崩, 雪崩增殖着; 放电乃是许多个雪崩的迭合 (其中每个雪崩发展, 又是由公式 (7) 所描写的). 在放电过程中, 设在时间 t 时计数管中的亚稳态数是 $N_m(t)$. 这数目随着时间的变化是:

$$dN_m(t) = -N_m(t) \frac{dt}{\tau} + q_1 \delta N_m(t) \frac{dt}{\tau} + q_2 \gamma \delta N_m(t) \frac{dt}{\tau}, \quad (9)$$

其中第一项相当于亚稳态被破坏、数目减少. 同时计数管中出现了新电子, 每一个平均地产生新亚稳态 q_1 个; 这给出式中的第二项. 此外雪崩光子产生新光电子, 其中每一个又平均地产生新的亚稳态 q_2 个; 这给出式中的第三项. 前面关于单个雪崩 $N_e^1(t)$ 的公式可以给出 q_1 和 q_2 值^[5], 代入上式后求得解为

$$N_m(t) = \frac{n_e(0) K_A}{\delta \ln K_A} \exp \left[-\frac{t}{\tau \ln K_A} (1 - \gamma K_A) \right],$$

式中 δ 和 K_A 标志着单个雪崩的特性, 而 γ 则标志着次级过程, 即雪崩的延续效果. 必须指出, 上面的讨论是放电开始阶段中, 雪崩增殖还没有受到空间电荷影响的情形.

最后, 得到时间为 t 时计数管中平均电子数 $N_e(t)$. 这是许多雪崩的迭合, 是单个雪崩 $N_e^1(t)$ 延续的总效果:

$$N_e(t) = \frac{n_e(0) K_A}{\tau \ln K_A} \exp \left[-\frac{t}{\tau \ln K_A} (1 - \gamma K_A) \right]. \quad (10)$$

当雪崩增殖率 $\gamma K_A < 1$ 时, 计数管中发生非自持放电, 放电随着时间衰减, 它的平均时间是

$$\bar{t} = \frac{\tau \ln K_A}{1 - \gamma K_A}, \quad (11)$$

$\gamma K_A = 1$ 就相当于自持放电(链式反应)的阈值, 也就是盖革阈值. 当 $\gamma K_A > 1$ 时, 电子数和亚稳态原子数随着时间而指数式上升(在没有空间电荷影响的阶段内). 经过时间 $\frac{\tau \ln K_A}{\gamma K_A - 1}$ 以后, 它们的数目增加 e 倍.

§ 5. 脉冲卤素管在较高的直流电压区域中的特性

在低电压区域, 脉冲卤素管中除了电子被俘获的效应外, 也有电子收集效应. 它的表现是: 在一段电压区域中计数效率随 V_0 增大而减小.

再增加 V_0 , 效率又开始增加了. 例如如图 13 所研究的卤素管, 盖革阈值大于 300 伏, 但是图中的曲线 2 表示, 在 V_0 大于 150 伏以后计数效率就已升高了(T_s 是 1.1 微秒). 这是为什么? 根据 § 2 和 § 4 的讨论, 可以认为, 这是计数管中发生了次级过程的结果. 入射粒子在计数管中产生电离, 它们在直流电场作用下引起延续的雪崩过程. 虽则还不是自持放电, 但是使得计数管中的电离数目增加了. 这个过程延续得如此长久, 以致在 $T_s = 1.1$ 微秒以后, 还在进行着. 这样自然就使效率提高了.

这时, 计数效率 f 决定于在时间从 T_s 到 $T_s + T_n$ 间计数管中起码存在着一个电子的几率. T_n 是指供电脉冲的有效宽度.

$$f = 1 - \exp \left[- \int_{T_s}^{T_s + T_n} N_e(t) dt \right], \quad (12)$$

其中 $N_e(t)$ 由公式(10)所给出. V_0 增加, K_A 就增大了. 放电平均时间也增大了. 从公式(11)看来, V_0 愈接近盖革阈值, γK_A 愈接近于 1, 因而 $\bar{t}$ 也拖得愈久.

脉冲卤素管在较高直流电压的区域中, 虽然 V_0 离开盖革阈值还远, 计数效率随 V_0 而增加很高, 就是这个原故. 在反向电场下, 没有这种效应.

当 V_0 接近盖革阈值时, 效率接近 100%. 再增加 T_s , 效率也会减小. 但是这时候 T_s 对效率的影响, 比低直流电压区域时要小得多了.

§ 6. 脉冲卤素管的一些主要性能

在可控制脉冲供电条件下, 测量了 CTC-8 型卤素管的性能. 测试装置和方法同前. 下面列举的结果都指 CTC-8 型卤素管. 它的主要参数如下: 阴极直径 1.8 厘米, 中心丝直径 0.06 厘米, 充气总压力是 140 毫米 Hg (99.2% 氖、~0.4% 氩、~0.4% 溴). 在充气之前, 计数管阴极经过氯的处理. CTC-8 型卤素管的盖革阈值, 一般在 320 伏到 350 伏左右.

卤素管击穿时, 情况和有机计数管有所不同; 这时计数管中看不到明亮的细线, 而有比较宽的发光区. 有时候这个发光区扩展达到较大的范围. 放电时放出氖所特有的红光.

输出脉冲高度随 V_n 变化的曲线, 和脉冲有机管相似. 这个曲线有突变处, 但是不十

分明显。在突变处以前曲线就慢慢地上升。在突变处以后,输出脉冲高度陡增,曲线斜率很大。最后,当供电脉冲幅度很大时,曲线上升的斜率又变得略小。输出脉冲的波形决定于供电脉冲波形;如果 V_H 很大,输出脉冲宽度会比 T_H 稍稍宽一些。

脉冲卤素管计数效率对于 V_0 的曲线见图 13。比较不同 T_H 下的二条曲线,可以估计出脉冲卤素管的分辨时间。如果所用供电脉冲宽度是 1 微秒, V_0 是负 300 伏,得到分辨时间等于 3 微秒左右。

在 $V_0 \sim 0$ 伏时,脉冲卤素管的消电离时间大约 0.01 秒,比脉冲有机管要小得多。这现象曾经解释是离子复合的结果^[6]。

在许多个 CTC-8 型卤素管中,各个管子在低直流电压区域的计数效率有时差别很大。这是各管内部卤素的含量有起伏的结果。卤素化学性活泼,即使是同一批制造的管子,各管中卤素的实际含量也可能有相当大的差异。个别计数管在 $V_0 \approx 0$ 时,没有计数效率降低的现象,例如图 14 中的曲线 1。但是如果把它在一小时内加热到 120°C 以后,计数效率降低现象就出现了(图中的曲线 2)。

这可能是管壁放气的原故。

在可控制脉冲供电下,计数管放电的猝灭不再靠猝灭气体了,而是决定于供电脉冲本身。正是这样,用了可控制的脉冲供电之后,非自猝计数管的地位,就起了根本性的变化。它不但也能够正常地计数;而且,有时性能还比自猝计数管要好些。

我们用液体氮使卤素管“冷冻”(温度 -196°C),实际上就得到非自猝计数管:它的主气体是氮,还含有微量氩。从图 13 看出,当 T_H 不很大时,这种计数管在很宽的直流电压区域内都保持着很高的计数效率。在“冷冻”了的卤素管中,亚稳态平均寿命 τ 比冷冻前估计增大 2 倍。此外,系数 δ 也增大而接近于 1。这两个因素都会使计数效率变大。在低直流电压区域中,不发生电子俘获效应。我们还制造了专门的氮-氩非自猝计数管,用可控制脉冲供电,也得到相同的结果:在 $V_0 \sim 0$ 时,没有低电压脉冲卤素管的计数效率减小现象。在其他 V_0 值时,性能趋势和脉冲卤素管相类似。

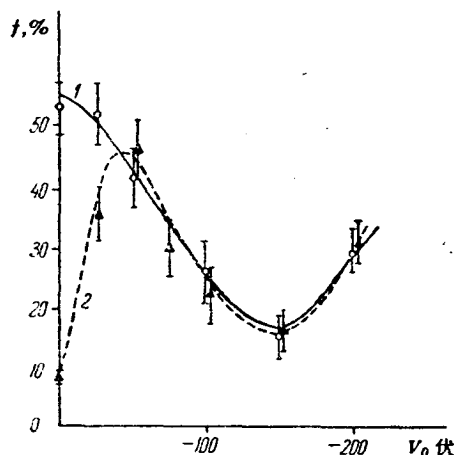


图 14 加热对脉冲卤素管计数效率的影响
曲线 1 是脉冲卤素管计数效率曲线
曲线 2 是同一个卤素管在加热一小时后
(到 120°C)的计数效率曲线。

§ 7. 结 论

在 Пеннинг 式充气的低电压计数管中,亚稳态起了很大作用。放电依靠着第二种碰撞产生的电离。从这一点出发,直流供电卤素管的许多现象,都可以理解了;脉冲供电卤素管的许多现象,也都可以理解了。脉冲延迟、放电振荡(这些是直流供电时发生的)、“记忆”延长、“冷冻”效应(这些是脉冲供电时发生的)种种不同的现象,得到了统一的解释^[5]。这种 Пеннинг 式充气计数管,既指普通低电压卤素管,也指充氮(加微量氩)的非自猝计

数管。

我們发现,在可控制脉冲供电下,低电压計数管随着計数管上直流电压的变化而出現性质不同的三个区域。它們是:电子收集区、預先記憶区、盖革放电区。三个不同区域的存在,不能看做是个别的現象,它是有普遍意义的。不同类型的低电压計数管,情况都是这样。只是三个区域的具体范围和绝对位置,以及計数特性在各个区域中的具体表现,才随了計数管的电极尺寸和充气成分而有所差别。

不同的工作区域中有着不同的工作机构。在低直流电压时,是电子收集区。这里沒有放电,只有清扫电场收集着电子。当計数管里加有微量卤素时,在这个区域中还出現卤素俘获电子、使計数效率降低的独特現象。提高直流电压以后,由許多个雪崩組成的非自持放电发生了。脉冲計数管进入了“預先記憶区”(предварительная память)。这个区域的特点是:放电延續得久,使計数管“记忆力”加强了。我們看到,在一些非自猝計数管中,計数效率在 V_0 变动很寬的区域中一直保持很高。这是因为电子收集区还没有完結,而預先記憶区却已經开始了。进一步提高直流电压,脉冲計数管便进入盖革放电区。在这个区域中,計数管的击穿是在盖革放电基础上发生的。

最后,要简单討論一下:計数管中卤素含量的增加,对脉冲卤素管的性能有那些影响。第一,增加卤素的含量后,計数管的工作电压将会提高。卤素分子吸收光子可使 γ 减小;增加卤素还可使 δ 减小。此外,卤素的含量增加后,电子非弹性碰撞次数增加,电子平均能量因此变小;当电压是一定时,亚稳态产生的几率也就变小了。第二,增加卤素的含量后,卤素管在电子收集区中的計数效率将会进一步变低。因为卤素俘获电子造成負离子的几率,决定于卤素浓度。第三,增加卤素的含量后,卤素管的預先記憶区将会縮短。这是因为卤素分子破坏亚稳态;如果卤素的含量增加,亚稳态的平均寿命就減小了。这样,低电压卤素管中那种产生亚稳态、并且通过第二种碰撞而致电离的特点就逐渐不明显了。此外,計数管閾压增大以后,卤素管中电子直接碰撞致电离的过程加剧;这也将使計数管預先記憶的特性漸漸消失。

总之,在卤素的分压力足够大之后(例如溴压加到几毫米 Hg 以上),卤素管变成了高电压卤素管。这时,不管直流供电下也好、脉冲供电下也好,管子放电的特性和低电压卤素管都不再相似,而和平常有机計数管却是相似的了。

第三章 可控制脈冲供电計数管的应用

§ 1. 控 制 电 路

应用可控制脉冲供电計数管,首先要解决几个技术问题: 1) 控制电路, 2) 脉冲电源, 3) 記錄电路。其中控制电路和脉冲电源电路决定了供电脉冲的品质,包括 V_H 、 T_H 、 T_z 、 T_p 等。記錄电路則是正确記錄实验結果所必需的。在这前三节中打算把有关实验室的实际工作经验加以介紹。

已經說过,我們所用脉冲供电,既不是周期性重复的,又不是由計数管“自触发”的。它常是用快反应計数管来控制的。例如常用快閃爍計数管望远鏡做控制系統;它們选出需要的事件。事件合适时就产生高压脉冲加到計数管上。但是控制系統不会是理想的,

的作用是避免高压脉冲耦合到低压直流电源中去。直流电源输出电容 C_i 很大, 如果不加大电阻, 会影响到高压脉冲的上升前沿。这个大电阻还应当接得靠近计数管阴极。要注意: 即使用 $V_0 = 0$ 的时候, 也应加这个电阻(只是把它接到地)。否则计数管阴极“悬空”着, 工作将会不正常的。

§ 3. 放电脉冲记录问题

可控制脉冲供电计数管的特点之一, 是输出脉冲高度很大。因此放电脉冲的记录设备就大大简化了。但是要注意感应脉冲的问题, 计数管即使没有击穿, 在每次供电时阳极输出处也会出来脉冲。这是因为阴极上的高压脉冲, 通过了计数管的极间电容, 感应到阳极上的原故。感应脉冲高度虽然比击穿时的输出脉冲小, 在记录时仍必须设法加以区别。一法是用幅度甄别, 只把击穿时输出的大脉冲记录下来。另一法是用反向脉冲把感应脉冲抵消掉。就图 1 的电路来说, 从停塞振荡器电路可以取得这种反向脉冲。

高压脉冲供电使计数管击穿, 输出脉冲高度常达几百伏以上。在这种情况下, 用氖泡来直接记录放电, 就成为可能的了。我们的接法是把氖泡直接接到计数管阳极上。计数管阳极负载电阻约 20 到 30 千欧。氖泡阴极接到计数管, 氖泡阳极则加正电压。这正电压值取得高于氖泡熄灭电压而低于它的着火电压。计数管每次击穿, 使氖泡通电变亮; 而感应脉冲则否。所以只要调节适当, 就不发生抵消感应脉冲的问题了。在氖泡着火以后, 拉开正电压电源接头, 就可使之熄灭。

氖泡有二重作用。第一是当指示灯。氖泡着火是计数管击穿的标志。在计数管描述仪中, 一连串发亮的氖泡就指示出粒子的径迹。第二是加偏压。氖泡着火后在负载电阻上会造成 60 伏左右的电位差; 这使得计数管的消电离时间减少到 0.01 秒以下。

И. Василевский 等^[13]试用过 MTX-90 型氖泡。这种氖泡有三个电极, 用了它的二个。阴极接到计数管, 阳极接 100 伏电源, 点燃电极空置不用。脉冲要大于 500 伏, 才能使之着火; 所以感应脉冲不起作用。图 17 是一个记录单元简图。经验证明: 如果计数管阳极只接一个负载电阻, 那末这电阻当氖泡着火时就短路了。这时候通过计数管的电流将很大, 供电脉冲波形因之发生畸变。必须在计数管负载电阻(图中是 20 千欧)上, 加串一个电阻(图中是 10 千欧)。这二个电阻用多大值最合适, 对不同的计数管经过挑选再决定。

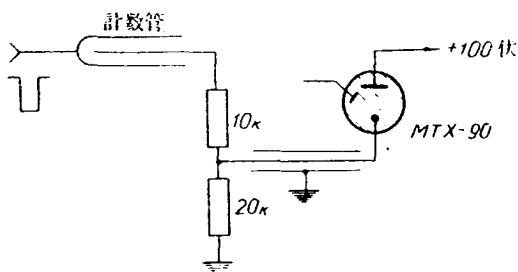


图 17 一个记录单元电路^[13]

§ 4. 探测时间上有延迟的事件

前头说过, 可控制脉冲供电计数管是一种新型的辐射探测器。用它来在大量本底辐射中选择记录稀少事件, 最是合适。除此以外, 在下面几节中将要提出一些别的用法: 1) 探测时间上有延迟的事件; 2) 低效率计数管; 3) 粒子选择器等。

前几章讨论了怎样记录在时间上没有延迟的事件。如果要记录在时间上有延迟的事

件,情况又是怎样的呢?比如說,要记录寿命在微秒数量级的不稳定粒子衰变产物(象 $\mu^+ \rightarrow e^+$ 衰变)、或者某些放射性原子核的衰变产物,都属于这类情形。

在所謂時間上沒有延迟的事件中,粒子穿过控制系統和粒子穿过可控制脉冲供电工作的計数管,这二件事情是同时发生的。現在不同了,控制系統工作在先,它记录不稳定粒子的出現,而粒子(不稳定粒子的衰变产物)穿过脉冲計数管在后,計数管记录衰变产物。这二件事情在不同的時間发生。这里不是粒子先穿过計数管,然后再加高压脉冲,而是先有高压脉冲,衰变产物再穿过計数管。所以計数管对入射粒子“记忆”的要求不再存在了。

清扫电場还是需要的。其目的是去除本底电离。但是它不再引起計数损失,所以清扫电压可以加得大。

延迟時間 T_z 也还是有的。不稳定粒子出現时刻是“零時間”。在 $\mu^+ \rightarrow e^+$ 衰变的情形, μ^+ 介子停下的信号就可以用来标志 μ^+ 出現的零時間。在原子核級联衰变的情形,第一跃迁的射綫就可以用来标志不稳定核出現的零時間。經過 T_z 以后再供給高压脉冲。故意加上 T_z , 一則要避免零時間附近的干扰;二則需要记录的本来就是時間上有延迟的事件。

记录的有效時間 T_0 决定于供电高压脉冲的寬度。对于在有效時間以內落到計数管中的衰变产物,记录效率将是 100%; 然而在有效時間以外落到計数管中的衰变产物,将不被记录。如果不稳定粒子是按照指数規律 e^{-t/τ_0} 衰变的,那末对衰变产物的记录几率 W 等于:

$$\frac{K}{\tau_0} \int_{T_z}^{T_z+T_0} e^{-t/\tau_0} dt,$$

其中 K 是探测器的几何因子。于是得到

$$W = K e^{-\frac{T_z}{\tau_0}} [1 - e^{-\frac{T_0}{\tau_0}}].$$

增加供电脉冲寬度,记录几率增加了,但是也要防止本底进来太多。此外还要求控制脉冲出現的頻率是适当大小,免得前一个粒子的衰变产物落到次一个控制脉冲中,因而誤記了下来。

§ 5. 低效率計数管的应用

本文作者和 Ю. Прокошкин 曾經利用脉冲鹵素管来研究高能电子在物質中产生的級联簇射^[11,12]。

一个高能电子进入厚度 t 的物質层,飞出的快电子平均数是 n 。我們要測定 n 随 t 的变化,即級联曲綫。設計实验遇到的困难是: n 个快电子不是先后飞出,而是同时飞出的。入射电子能量是 400 兆电子伏时, n 最大約 3 个。这 n 个电子射出的夹角很小。

如果用普通的計数器,那末它将把 n 个电子当作一个記錄下来,不能把它們分辨开。只有用幅度分析的方法(閃爍計数器及脉冲振幅分析器),才能測出簇射电子的数目。这种方法比較复杂。特别是大面积閃爍計数器中各处不均匀的問題,会影响实验的准确度。我們采用了低效率可控制脉冲鹵素管,順利地完成了这个实验。

可控制脉冲供电的鹵素管,在低直流电压下,計数效率很低。 $\omega(1)$ 是它对单个入射

粒子的探测几率。图 18 是 CTC-8 型脉冲卤素管的 $\omega(1)$ 和直流电压 V_0 值的关系。所用供电高压脉冲 $V_H = -1000$ 伏, $T_H = 1.5$ 微秒, 脉冲上升时间大约是 0.15 微秒, 时间延迟 $T_s = 0.6$ 微秒。实验证明, 计数管内部各处效率是均匀的。如果有 n 个电子同时穿过脉冲计数管, 而 $\omega(1)n \ll 1$, 那末计数管计数几率为 $\omega(n) \approx \omega(1)n$ 。这就是说, 计数几率和同时射入的粒子数有线性关系。

图 19 是我们的实验安排示意图。联合原子核研究所六米同步回旋加速器引出的高能 γ 射线束, 在 1 毫米厚的铅靶上产生高能电子。利用磁场分析得到单能电子束, 能量可以从 50 到 500 兆电子伏之间变动。电子束穿过控制用的计数管望远镜, 进入吸收片。吸收片的面积是 20×20 厘米²。在吸收片后面用 15×15 厘米² 的一排低效率计数管。这是挑选了性能相同的计数管而组成的。在不同的吸收片厚度 t 时, 测量飞出的快电子数 $n(t)$ 。

我们选择使 $\omega(1) = 0.04$, 这时探测器测量 n 的非线性不会超过 6%。脉冲卤素管分辨时间小于 1 微秒, 所以虽然在高能加速器附近本底辐射很大, 实验中本底计数却只有真实效果的 1% 左右。本底计数是把控制脉冲延迟了 2.5 微秒以后量得的。

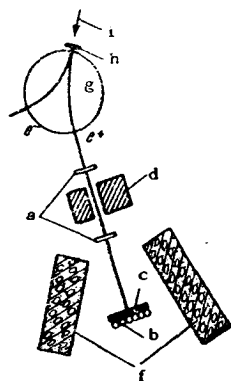


图 19 用低效率计数管进行级联簇射实验的仪器安排示意图

a——望远镜, b——排低效率计数管, c——吸收片(厚度 t), d——铅准直孔, e^+ ——正电子束, f——屏蔽体, g——分析磁铁, h——转化 γ 射线用的薄铅靶, i——高能 γ 射线束。

使用低效率计数管时要注意计数效率随着时间的稳定性问题。电路参数不稳定而稍有变化, 可能使得 ω 值变化几倍。但长时间的试验证明我们所用的仪器, 工作是稳定的。

我们用低效率计数管测量了铅和铜中的级联曲线。实验结果见图 20。

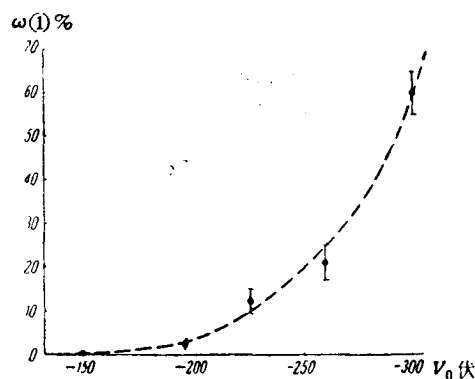


图 18 低效率脉冲卤素管计数几率 $\omega(1)$ 和直流电压 V_0 的关系
供电脉冲延迟时间是 0.6 微秒。

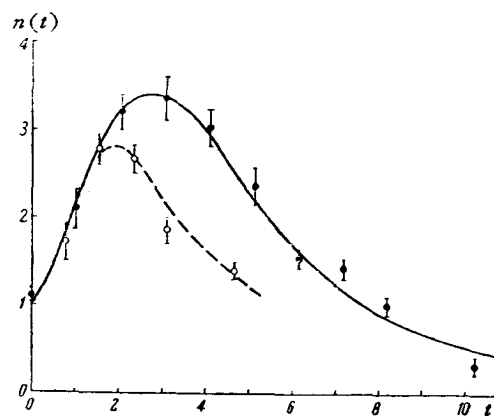


图 20 能量等于 407 ± 10 兆电子伏的正电子在铅(●)和铜(O)中的级联曲线。厚度 t 用长度的辐射单位表示。对于铅, 长度的辐射单位等于 5.6 克/厘米²。对于铜, 长度的辐射单位等于 11.5 克/厘米²。

§ 6. 結 論

我們已經討論了脉冲計数管一些用法,但是它們可能的应用是远不止此的。

关于粒子选择器,在第一章中有可控制脉冲供电下有机計数管計数損失几率的公式。这几率不只决定于电子收集的快慢,而且还决定于入射粒子在計数管气体中单位长度上产生的平均电子数。所以原則上可能用脉冲有机管来选择电离本领差别很大的粒子。例如可以設計参数,使計数管对电离本领很小的粒子計数效率低,而对电离本领很大的粒子計数效率高。但实际上这种方法的准确度多高,还需要进一步研究。

用于气体电子学研究,可以利用可控制高压脉冲供电技术,研究气体放电发展的各个阶段。例如加在計数管阴极上的負高压脉冲会促进放电、使計数管击穿;而正高压脉冲则会抑制放电、使放电猝灭。改变高压脉冲的幅度或寬度,就可以調节这种促进作用(或抑制作用)的程度。Б. Долгошеин 等人^[10]就曾用高压脉冲供电方法研究了 MC-9 型計数管的放电传播速度。在工作电压 750 伏时的传播速度 $v = 2$ 厘米/微秒。

本文作者曾利用可控制高压脉冲供电技术得到一种快速脉冲光源^[16]。这方法的要点是把高压脉冲供給小氖泡,得到光脉冲寬度約为 0.5 微秒的人工光源。氖泡体积很小,所以这种光源的安装和移动十分方便。还可以連接許多个小光源平行工作或程序工作。

在种种应用中,脉冲計数管最好的应用还是大量用在可控制脉冲供电的描述仪中。下一章專門討論这种仪器。

参 考 文 献

全部文献見第一部分。和这一部分有关的文献如下:

- [1] 中国科学院編:計数管(1960,科学出版社)。
- [5] В. В. Вишняков, Тан Сяо-вэй (唐孝威), А. А. Тяпкин, *Успехи физических наук*, том LXXII, выпуск 1, (1960), 133.
- [6] В. В. Вишняков, А. А. Тяпкин, *Атомная энергия*, 10 (1957), 298.
- [7] В. В. Вишняков, Тан Сяо-вэй (唐孝威), А. А. Тяпкин, Труды IV научно-технической конференции по ядерной радиоэлектронике (1960, Атомиздат).
- [8] А. Г. Морозов, К. Г. Некрасов, М. И. Попов, *ПТЭ*, 5 (1959), 64.
- [10] В. А. Долгошеин, В. И. Лучков, В. И. Ушаков, *ПТЭ*, 1 (1960), 39.
- [11] Ю. Д. Прокошкин, Тан Сяо-вэй (唐孝威), *ПТЭ*, 3 (1959), 32.
- [12] Ю. Д. Прокошкин, Тан Сяо-вэй (唐孝威), *ЖЭТФ*, 36 (1959), 10.
- [13] И. М. Василевский, В. В. Вишняков, *ПТЭ*, 2 (1960), 58.
- [14] Э. Илиеску, Отчёт ОИЯИ, р 385, (1959).
- [16] 唐孝威, *物理学报* 17, 1 (1961), 54.

СЧЁТЧИКИ С УПРАВЛЯЕМЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ПИТАНИЕМ (II)

Тан Сяо-вэй

Резюме

В этой части обзора обсуждаются характеристики галогенных счётчиков в импульсном режиме. Метод использования таких счётчиков тоже обсуждается.