

气体探测器原理初探

姓名：黄迁明

单位：北京大学

导师：班勇

专业：粒子物理与原子核物理（高能物理实验方向）

Email：huangqianming@pku.edu.cn

听了祝成光老师关于气体探测器的介绍，特别是丝室的原理使我对探测器的兴趣越加浓厚，课后对所学知识进行了总结以及探索，总结为此次暑期学校的结业报告。

说到气体探测器不得不先提一下气体的几个工作状态，复合区、电离室区、正比区、G-M区、连续放电区等，不同种类探测器依据所加高压的不同工作在不同区域，带电粒子在气体中电离成电子离子对，在不同外加电压下进行漂移或放大，然后被电极收集形成信号输出。电离室应该是最早的核辐射探测器了，它工作在正比区，在两块平行的金属板上加上高压，板间充入电离气体，带电粒子进入气体发生初级电离，产生电子离子对，在外加电场作用下向两极漂移，被平行板电极收集，在外电路产生信号。1911-1914年间曾使用电离室发现宇宙线，此后又进行了很多实验，进行粒子计数或测能量等；随着时代的发展，老式的电离室已经不能满足人们对粒子时间信号、空间信号、能量信号的多维度、高精度测量要求，新的电离室探测器应运而生，譬如圆柱形电子脉冲电离室、屏栅电离室等。

随后的时间里，气体探测器家族中诞生了一个改变核辐射探测器历史的品种，那就是GM管，盖革米勒计数器是H.盖革和P.米勒在1928年发明的，类似于正比计数器，它由一根中心丝和一个圆柱形外壳组成，中心丝一般加上高压作为阳极，电压使得GM管工作在GM区，外壳一般加上零电位作为阴极，在管中充入掺了卤素的惰性气体作为电离介质。GM管具有输出信号大，探测效率高，价格低廉等特点，一直到今天还在许多实验中发光发热。

1970年以前，物理实验中所有径迹探测器几乎都用照相的方法(例如:核乳胶、云室、气泡室、火花室等)，1968年夏帕克发明了多丝正比室，从此气体探测器的发展进入了位置灵敏的时代，此后在多丝正比室的基础上不断改进，衍生出漂移室、时间投影室、时间扩展室等。

多丝正比室是工作在正比区的气体探测器。在此雪崩倍增过程起着十分重要的作用，其输出信号大小正比于粒子在气体中沉积的能量。这些也是漂移室、时间投影室、时间扩展室等的工作基础。多丝正比室基本结构是由一排等间距的平行阳极丝对称置于两个平行阴极平面或丝层中间，当阳极丝加

上正高压，阴极丝接地或者阳极丝接地，阴极丝加负高压时，两个阴极平面间将形成近似均匀电场，而阳极丝附近将形成高电场区，粒子进入探测器由于损失能量产生初级电子，初级电子在均匀电场的作用下飘移到阳极丝附近产生雪崩放电，雪崩电子被阳极丝收集产生输出信号，阳极丝的直径一般取 10 μm 左右，丝间距一般为 2mm。为了满足工作电压低，气体放大倍数高，正比性好，能承受高计数率，恢复时间短以及使用寿命长等要求，一般选择惰性气体加上猝熄气体，典型的工作气体是 90%Ar +10% CH₄，即称为 P10 的混合气体，另外 CO₂，异丁烷(isobutane)也是常用的猝灭气体，还有采用三元混合气体（如：Ar (89)+CO₂ (10)+CH₄ (1)）。不同用途的正比室可选用不同的工作气体。用 75%Ar +24.5%异丁烷+ 0.5%氟里昂的混合气体可得到很高的气体放大倍数(高达 10⁷)，这时丝室信号将出现饱和，然而信号中电子贡献比重大，信号快，能提供好的时间分辨本领，此外它有极高的探测效率和大的信号幅度，可极大地简化读出电子学。多丝正比室的读出方式有重心法、电荷分配法、电荷传播时间差法等。重心法的原理是应用粒子在每根丝上产生的感应信号大小不同，并且满足比例递减关系，可求出等效重心即为粒子真集到的电荷量 Q_A 和 Q_B 与雪崩放电的位置有关，且电荷量与距离成反比关系；电荷传播时间差法的原理是用延迟线通过电容与阳极平面和阴极平面耦合，延迟线末端输出信号与事例出现(由外界触发信号或阳极丝信号给出)的时间间隔可度量事例的空间位置。定出粒子在垂直于灵敏丝平面内的位置(用粒子漂移时间来确定)，从一层灵敏丝地址及用感应信号方法定出粒子在灵敏丝上的位置，给出丝平面内的 X,Y 坐标。这两者结合在一起，就可以做成一个能给出三维空间坐标的漂移室。漂移室的信号读出方式与丝室相似，具有丝数较少，结构比 MWPC 简单，电子学路数少，并且具有造价低、定位精度较高等优点。已知电子在漂移场中的漂移速度，测得它的漂移时间就可确定入射粒子径迹和灵敏丝之间的距离。漂移室的位置测量与丝室相似，利用双丝法和三丝法、阳极丝错位法、感应脉冲法进行位置的左右分辨。用多层漂移室叠加还可以测量精确测量粒子径迹。

上世纪八十年代意大利的 R. Santonico 发明了阻性板探测器 (RPC)，这种探测器具有价格低廉，性能优异等特点，至今依然在许多前沿高能物理实验中用于缪子探测和位置测量等。

阻抗板室由两块平行的阻抗板组成，两块板的间距为几毫米，阻抗板的材料可以是酚醛树脂、电木或玻璃，阻抗板之间通以工作气体，常用的工作气体为 Ar 与异丁烷的混合气，两板上加上几千伏高压，在两板之间形成均号大，雪崩模式计数率高，世界上不同的实验室根据不同的需要选择不同的工作模式。为了提高 RPC 的性能，现在主要的方案是多气隙阻抗板室 (MRPC)，即将单隙分成相等隙厚的多个隙，带电粒子穿过室体将在每个间隙产生独立的雪崩，理论和实验表明：从输出感应条上得到的信号相当于多个间隙内雪崩效应的“瞬时”叠加。因此得到的信号比宽间隙的快很多，脉冲幅度谱的形状有大的改进(高斯分布)，而且幅度还几乎相当于宽间隙电离室的雪崩信号。