

一、实验目的

- 1、了解多丝正比室的基本结构和工作原理
- 2、了解多丝正比室工作性能并学习其测试方法

二、实验原理

多丝正比室技术起源于正比计数管，但夏帕克对其作了重大改革。经典的正比计数器如盖革-缪勒管，是由一根细丝装在直径约为1cm的管子中央构成的。在细丝和管壁间加几千伏的高压。带电粒子穿过充气的管子，会使气体电离。在这个过程中，气体的中性原子会释放带负电的电子，而变成带正电的高子。在电场的作用下，电子向管心的细丝（即阳极）运动。接近细丝的地方电场非常强，电子大大加速，于是就有足够的能量使气体游离，因而有更多的电子被释放，这些电子又被加速，这样就形成了电子和正离子的雪崩。正是由于电子和高子的运动，引起了阳极丝产生一电信号，给出带电粒子通过的信息。正比计数管确定粒子位置的精度大约是1cm，即计数管本身的尺码。

现在的粒子物理实验要求记录粒子径迹能够做到高精度和大面积覆盖，用一层层这样的老式正比计数管复盖大的面积是不现实的，也不可能达到需要的空间精度。突破来自夏帕克发明的

多丝正比室。图 92-1 示意性地表明了多丝正比室的结构原理。这种装置由大量平行细丝组成，所有这些细丝都处于两块相距几厘米的阴极平面之间的一个平面内，阳极细线的直径约为十分之一毫米，间距约为一或几毫米。当时人们普遍认为，这类多丝结构会因相互感应等问题而不能正常工作。夏帕克则与人们普遍的想法相反，1968 年提出，每根丝都会像正比计数管一样地工作，并可使空间精度达到一毫米或者更小些。每根丝都能承担极高的粒子记录速率，可高达每秒几十万次，在当时这已是异常的高速率了。同时，多丝正比室结构易于做成大面积，并能以模块方式组成所需的各种体积和形状，适于进行不同规模和特点的实验。

多丝正比室的每根丝都单独配备一个放大器。现代电子学正好可以提供能源消耗极小的密集型放大器，这样就使建造数以致数十万的电子读出系统成为可能。这样的装置还有一个非常重要的好处：能够用计算机记录信号，并处理大量数据。同过去以照相为主的记录带电粒子径迹方法相比，新探测器成百倍地提高了获取实验数据的速度，并能最大程度地选择出实验者所希望研究的事例，高效地分析那些真正揭露物质内部秘密的粒子间的相互作用。早在 1968 年提出多丝正比室的同时，夏

帕克就致力于进一步发展多丝正比室。其中一项就是漂移室。漂移室的结构和多丝室基本相同，预先测定电子在气体中漂移速度，通过测量从粒子通过瞬间产生原始电离到电离电子漂移到阳极丝产生电信号之间的时间间隔，由此可以确定原始电离距离阳极丝的位置。这样就可以大大提高测量径迹位置的空间分辨率，达到小于 0.1mm ，同时保持多丝正比室的优点。这一设想由夏帕克和他的合作者以多种形式实现，进一步推动了实验粒子物理学的发展。

夏帕克1968年的发现带动了不同类型丝室的大规模发展。目前，粒子物理学每一项实验都要用到某种类型的径迹探测器，这些探测器都是从夏帕克最初的发明发展而来的。夏帕克本人一直处在这一发展的中心地位，数以千计的科学家，包括在歐洲核子研究中心和在其它地方工作的科学家，都得益于这一发展。里希特和丁肇中于1974年发现粲夸克，并由此获1976年诺贝尔物理学奖，在他们的工作中就使用了几种多丝正比室。1983年，歐洲核子研究中心发现中间玻色子，也用到了多丝室。从80年代中期开始，夏帕克积极地从事把多丝正比室这一系列探测器推广到粒子物理学以外的领域，使高能物理的技术成果直接为人类谋福。在他的指导和参与下，这一技术已

经有效地运用到几乎所有成像和精确显微的领域里，特别是在生物学和医学方面。在日内瓦大学医学中心和法国一些医疗中心，上述仪器已成功地应用于X射线和贝塔射线的成像诊断中。由多丝正比室引发的一系列新探测器在实际应用方面取得的成就越来越引人注目，这门新技术显示出了广阔的前景。

多丝正比室(MWPC)是1968年以后发展起来的一种新探测器。它具有以下优点：空间分辨率好、对带电粒子探测效率高、时间分辨率好、能量响应性好、连续灵敏、最大计数率可达1000000粒子/秒、面积容易做的很大、可以在强磁场中工作等。目前在粒子物理实验中，许多探测设备都采用多丝正比室并可与其他出发计数器组成混合谱仪，完成对大剂量粒子的动量测量与粒子鉴别工作。

1、多丝正比室的基本结构

多丝正比室根据不同的实验要求，可以做成各种几何形状和不同尺寸。本实验介绍一种最常见的方形室，它的基本结构如图10-1所示。(1) 框架：常用环氧树脂玻璃纤维板制成。(2) 密封窗：用涤纶薄膜或聚脂薄膜制成。(3) 阴极丝：用镀金钨丝或镀铜丝绕制而成，丝径 d 为 $76-100\mu\text{m}$ ，丝间电为 1mm 。阴极丝字面通过几兆欧的保护电阻与负高压电源相接。(4) 阳极丝字面：把镀金钨丝字行等间距地焊接在阳极框

板的印刷板上，丝径 d 为 $20 - 25 \mu\text{m}$ 。阳极丝一般垂直于阴极丝。阳极丝字面的质量直接影响室的性能，故在制作过程中对所加张力、丝间距、丝径的均匀性要求都很高。阳极丝字面一般处于地电位，并由它输出信号，所以又称为信号丝字面。

(5) 保护条：常用铜片做成，放在阳极丝两端上下两侧（垂直于阳极丝），距阳极丝 $0.5 - 1 \text{mm}$ 。保护条处于地电位，用以减小阳极丝端部电场，收集表面漏电流，减少阳极丝的假计数。

(6) 保护丝：逐步加粗阳极丝字面两边边缘的阳极丝直径，这些较粗的丝直接接地，用以减小边缘电场。为了避免外界电磁波的干扰，多丝正比室要装在屏蔽盒内并很好的接地。为了保证工作气体均匀流过全室，还要有特殊设计的进气口和出气口。常用的工作气体为氦气和其他多原子气体组成的混合气体。本实验用的是氦气 (75%) 和二氧化碳 (25%) 所组成的混合气体。

2. 多丝正比室的工作原理

通常多丝正比室的阴极丝字面加负高压，阳极丝处于地电位。从电场分布情况可知，距阳极丝较远处电场基本是均匀的。在靠近阳极丝周围附近（相当于丝径数量级）电场分布可以近似地认为按 $1/r$ 的规律变化。 r 为阳极丝附近一点到丝中心的距离。带电粒子飞过多丝正比室时，使气体的原子电离产生电子—离子对。原初电离电子在电场作用下向阳极丝漂移，经过均匀电场区进入阳极丝周围的高电场区，获得足够的能量使气体原子

再次电离，这样就引起电子雪崩。这种现象就称作气体放大，放大倍数有关公式见五。

雪崩产生的电子和离子在电场的作用下分别向阳极和阴极漂移，结果在离雪崩最近的一根阳极丝上；形成一个负脉冲，而在阴极字面和相邻的阳极丝上则同时感应出正的脉冲信号。这样就可以根据有信号输出的阳极丝位置来确定射线通过室体的位置。脉冲幅度大小与入射粒子在气体中产生原初离子对的数目成正比，即与入射粒子在室中的能量损失成正比。电子和离子是在雪崩过程中同时产生的，所以脉冲信号的形成是两者共同的贡献。但雪崩是在很靠近阳极的地方发生的，电子很快为阳极所收集，因此脉冲主要是正离子离开阳极的运动在丝上感应出电荷的结果。实际应用时仅仅选用最初的快上升部分。

3、多丝正比室主要性能的测量

(1) 空间分辨率，多丝正比室在很多实验中都是作为位置灵敏探测器使用的。空间分辨率是指多丝正比室能区分同时入射粒子的最小空间距离。空间分辨率的好坏直接影响确定入射粒子通过室体的位置精度，是多丝正比室的重要性能之一。

在逐丝读出的情况下，空间分辨率主要取决于丝距 S 。当粒子垂直丝字面在某根丝附近 ($\pm S/2$ 范围内) 入射时，仅

被该丝接收而不会被其他丝所接收。在理想情况下，空间分曲线是一个宽度为 s 的形。实验中准直的放射源总有一定宽度，曲线呈梯形分布。见图，其半宽度即表示多丝正比室的空间分辨率。测量到的数据比丝距略宽。当带电粒子倾斜入射时，着火丝数增加，从而使位置分辨变差。若加入一定浓度的负电性气体，使灵敏区缩小，则可改善位置分辨率。

(2) 带电粒子的探测效率：多丝正比室探测带电粒子的效率很高，一般都大于99%。本实验用二重符合法测效率。

影响多丝正比室探测效率的因素主要有：1 高压：效率对高压有极大的依赖关系。当电压过低时，不能形成雪崩或输出幅度不足以被探测到，只有高压超过一定值时才能达到高的效率。典型的效率高电压坪曲线如图10—7所示。2 工作气体：气体混合物不同，效率坪曲线的坪起始电压和坪长就不一样。二氧化碳是一种淬灭气体，在氩气中加入一定量的二氧化碳可以提高工作电压，获得较长的坪长。此外带电粒子穿过室体的有效长度、电子学电路的灵敏度等等都对实测效率有一定的影响。

(3) 能量分辨率：多丝正比室在没有负电性气体成分且工作在正比区的条件下可以用来测量粒子的能量损失。当粒子垂直于室的阳极丝平面入射时，丝上输出信号的幅度大小与粒子在室内损失的能量成正比。在低能量情况下，入射X射线与

气体的相互作用主要是光电效应。通常室的能量分辨率在20%到25%之间。

(4) 气体放大倍数: 多丝正比室在某电压下的气体放大倍数可以用几种方法进行测量。

三、实验内容

1. 测量多丝正比室的空间分辨率。

2. 用二重符合法测定多丝正比室对带电粒子的探测效率。

3. 测量多丝正比室的能量分辨率。

4. 测量多丝正比室的气体放大倍数。

四、实验装置与步骤

小型多丝正比室, 灵敏面积 $100 \times 100 \text{ mm}^2$ (带屏蔽盒), 电荷灵敏放大器, 光电倍增管 6DB44, 塑料闪烁体 40×40 , 符合反符合 FH1014, 自动定标器 FH10A11, 线性放大器, FH1002A, 插件机箱和电源, FH0001A, FH0002B, 负高压电源, KD405, 10kV, 放射源 Sr, A1 高精度可移动距离工作台, 移动精度: 0.05mm, 512 道幅度分析器, FH419G1, 小型通用打印机, FH444, 台氦气, 纯

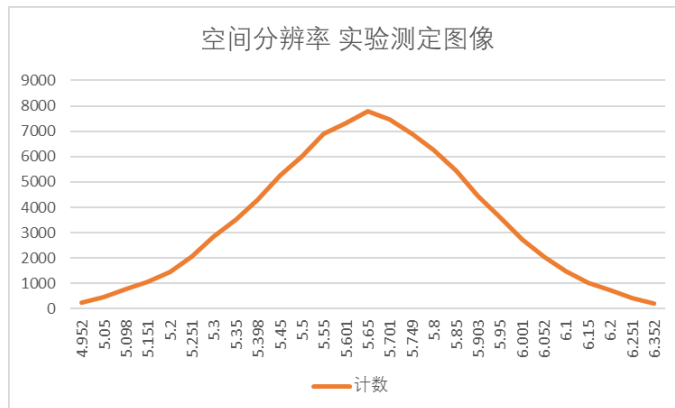
度 99.99%, 二氧化碳, 纯度 99.99%, 转子流量计
LZW.-12, 硅油隔离器

1. 打开 Ar 和 CO₂ 流量调节阀, 按流量计读数把两种气体以一定比例混合通入多丝正比室。
2. 打开负高压电源, 预热一、二分钟后逐步升高电压。用 Fe 源测量多丝正比室计数率—高压坪曲线并确定工作电压。
3. 在工作电压下, 调节精密移动距离的工作台使 Fe 源逐渐移动。每移动 0.1mm 记录多丝正比室一根丝的计数率 (要求计数的统计误差 < 5%)。
4. 换用 Sr 源。将多丝正比室 15 根丝并联输出。在坪区范围内逐渐增加多丝正比室的高压, 在每一电压下同时记录符合计数和闪烁计数器计数, 然后拿开 Sr 源, 测量闪烁计数器本底计数 N 。
5. 改变 Ar 和 CO₂ 的比例。在 CO₂ 占 10%、20%、33% 和 50% 的情况下, 分别测量多丝正比室的效率坪曲线和击穿电压 (每改变气体成份要等待 20 分钟使气体在室内均匀)。
6. 将 Fe 源对准某根阳极丝, 用至道分析器测量能谱, 并观察氩的逃逸峰。
7. 测量 Fe 源全能峰随高压变化的关系。

注意事项

多丝正比室放电或打火，极易损坏电子仪器甚至造成断丝事故，所以给室体加电压一定要缓慢地升高，且不能超过其击穿电压。一旦发生室内打火，应立即降低高压并寻找打火原因。

五、数据处理与分析



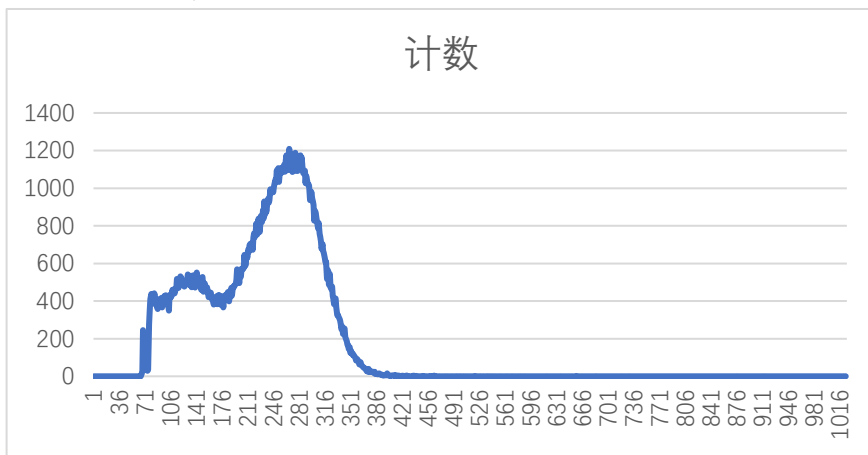
空间分辨率的实验测定图像如图所示，图像半高宽即空间分辨率为 0.700mm ，分辨率在 5.650 取到最大值。

分析：1、图像宽度宽裕半丝距，这是合理的，因为源的准直缝有一定的宽度，以及产生的光电子存在漂移引起的。

2、实验图像没有一个梯形，而是到达定点后快速下降。这可能是因为准直放射源的宽度与仪器的误差所导致。

3、在计数降到 200 左右时，再移动，计数基本不变化，因此将 200 计数作为截止区域。

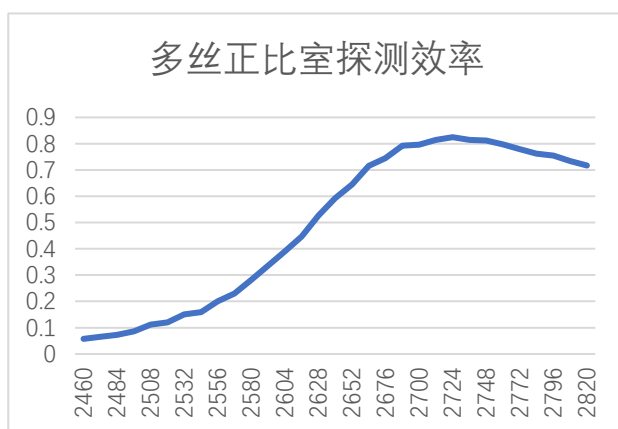
氩的逃逸峰如图所示



观察到两个峰，分别位于 (144, 528) 与 (267, 1209)，其中位于 144 的峰是逃逸峰，位于 267 的峰是光电峰。

分析：光电峰比较明显，这是因为在低能情况下，入射 X 射线与气体的相互作用主要是光电效应。由于工作气体会被打出特征 X 射线，可能从多丝正比室逃逸出来，因此能够看到逃逸峰。光电峰与逃逸峰的能量值差就是工作气体的特征 X 射线能量

origin 分析得到能量分辨率 F_{WHM} 约为 $108/216=40\%$ ，误差较大。



探测效率曲线如图所示

我们所测得的曲线前半段与讲义符合的非常好，但是在达到2725V高峰后有一个明显的下降而不是坪。可能由其他仪器误差所致

六、思考题：

1、多丝正比室的工作电压该如何选取？它与哪些因素有关？

选取足够高的电压使电子在一个自由程内获得足以产生电离碰撞的能量，气体足以发生电离且信号能够被放大到一个可观测的水平，但是也要注意电压不能过高，否则背景噪声变大，且严重的有可能引起气体击穿，影响设备寿命。

与电压、阳极丝半径、丝距、单位体积气体原子数目、电离截面随能量的增加率、气隙大小有关

2、多丝正比室的空间分辨率主要取决于哪些因素？

如何提高空间分辨率？

取决于丝距、气隙（原初电子扩散减少）与粒子入射角度、气体组分。

可以减小丝距，并且调整粒子垂直入射以提高空间分辨率，也可以减小气隙大小减少原初电子漂移，并加入惰性气体减小灵敏度。

3、应用准直的电子束能否测量空间分辨率？实验该如何安排？

不能。大量电子直接打在丝上会引发较强的脉冲。

4、论述二重符合法的误差来源，如何改进？

误差来自于符合效率、闪烁计数器的本底计数与多丝正比室内气体、工作电压、多丝正比室尺度等影响粒子穿透的参数。

符合效率不高时，对同一个粒子无法进行二重符合，可能定标的是两个不同的粒子，引入极大误差。本底计数的波动会影响效率的计算。若粒子能量过低或多丝正比室尺度过大，多数粒子无法到达闪烁探头，使样本数大幅降低，统计误差增大。若要改进，需选用符合效率高的电子学器件，并选择本底计数文字稳、噪声小的闪烁探头，以及选用高能粒子与较薄的多丝正比室。

5、用二重符合法测效率时，闪烁探头、多丝正比室和放射源的相对位置和探测器的有效体积对测量结果有何影响？并说明在测量效率时为什么要将15根丝并联输出。

闪烁探头、多丝正比室和放射源需要在同一条直线上，使粒子穿透后能够被闪烁探头检测到，如果不在一个直线上，可能二重符合的粒子过少，影响测定。多丝正比室的体积过大，可能会使粒子不易穿透，使二重符合粒子过少，影响效率的测定。效率测定中我们只需要总计

苗立扬

PB19000132

数，所以15根丝并联输出可以保证多丝正比室记录所有穿过多丝正比室的粒子数。