

高能物理实验的发展,促进了新的粒子加速器的建造和新型粒子探测器的研制.1968年欧洲核子研究中心的G·夏帕克在正比计数管的基础上发明了多丝正比室.由于多丝正比室具有许多优点:(1)高的空间分辨率 ~ 1 毫米或更小,而且能够给出入射粒子空间坐标;(2)高的计数率本领 $\sim 10^6$ 粒子/厘米 2 ·秒;(3)快的时间分辨率 ~ 20 毫微秒;(4)结构简单,形状多样化,大面积低造价;(5)对带电粒子有很高的探测效率 $\sim 99\%$ 以上,此外,多丝正比室和适当的转换体相搭配,组成高密度多丝正比室,用它可探测硬X射线, γ 射线,中子等.由于多丝正比室具有这些优点,因而发展迅速,在基本粒子物理实验中,多丝正比室取代了盖革计数器和火花室,在谱仪中扮演了一个重要角色,用它来跟踪数以千计的次级粒子的空间足迹;有时遵循物理学家们构想的物理图画,用多丝正比室触发判选事例,可以从非常复杂的高能粒子相互作用过程中,把所需要的作用事例挑选出来.在核物理实验中,除了用多丝正比室来测量带电粒子、重离子和反冲核的坐标之外,还可以用它的输出脉冲幅度与入射粒子在室体中电离损失成正比的特点,来鉴别粒子的种类.近几年,多丝正比室在宇宙天文学,分子生物学、医学和材料科学领域的应用中受到了科学家们的普遍重视.这里想着重讨论多丝正比室在高能物理领域之外的应用概况,以便唤起人们对它的兴趣.

I. 多丝正比室

多丝正比室的工作原理已为众人所熟知,这里只想做一点简单的回顾.多丝正比室通常由三个电极平面组成,中心是阳极丝面,二个阴极丝面等距离、对称的位于阳极丝面的两侧,如图1所示.多丝正比室作为位置灵敏探测器时,两个阴极平面由丝制成,且两

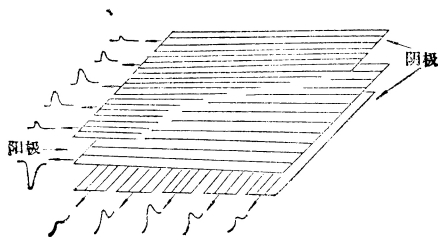


图1 多丝正比室结构图

个电极面的丝彼此垂直.室内充适当的气体,它依赖实验的要求.通常是惰性气体和二氧化碳或有机气体的混合物.例如:氩气和甲烷(10%),氩气和二氧化碳(10%,20%),或氩气和异丁烷(20%)的混合物;当多丝正比室工作在饱和区时,用它来测量入射粒子的空间坐标,无需识别粒子时,它的工作气体有:纯的异丁烷,氩气和异丁烷(30%),氩气和甲烷(30%)等,使用过多的有机气体可以提高室工作的稳定性.在大多数情况下,工作气体采取流气方式;在使用贵重气体时,如氩气,或者做天文研究,水下探测,室体以低气压或高压工作时,常常采用气密工作方式.

多丝正比室工作时要在它的阳极和阴极间施加高压静电场,阳极加正高压,入射粒子使气体产生电离,电子在电场的作用下增殖,产生电子雪崩,电子雪崩最靠近的阳极丝有一负的电脉冲输出.输出信号幅度与入射粒子的能量损失有线性关系,提供辨认粒子的信息.阴极感应输出的脉冲串经过数据处理可以定出入射粒子的X、Y二维坐标.

多丝正比室的信号读出方式主要有如下几种:

(1)单丝-放大器耦合读出方式.每根丝接一个放大器.这样做数据输运的速度快,但是放大器数量大,造价高;(2)延迟线读出方式.每个阴极丝面只用一根延迟线,把它压在每根丝焊接的印刷条上,延迟线通过电容耦合拾取信号,来自不同丝的信号传输到延迟线末端的时间是不同的,延迟线的末端接一个低噪声的放大器.放大器的数量是大大的减少了,可是由于延迟线拾取的信号幅度小,仅仅是原信号幅度的十分之一到二十分之一,因此就要求放大器具有低噪声(小于10微伏),这在技术上是较难的;(3)信号丝编码读出方式.将整个电极面的丝分成若干组,每组又包括许多信号通道,将各个组里对应的信号通道连在一起,编为群.组和群各接一放大器,一般说来可以节省放大器的数量四到七倍.

在实际应用中,可以用一个多丝正比室担任一个探测器,也可以用多个室做适当的组合,担任探测器.科学家们利用多丝正比室空间分辨率高和二维读出的特点,建造了各种各样的成像仪器.例如:正电子相机, γ 射线或X射线相机,质子或中子相机,天文学上X射线望远镜等等.它们已成为重要的研究工具.

II. 多丝正比室正电子相机的应用

我们都知道正电子可以由某种放射性核物质发射,也可由高能 γ 射线(能量大于1.2兆电子伏)通过正负电子对的方式产生.正电子和物质中的电子发生湮没,产生二个 γ 射线,每个 γ 光子的能量都是511千电子伏,这二个光子向相反方向飞出,探测二个 γ 光子就定义一条穿过正电子湮没点的直线.许许多多这

种有趣直线的测量就确定了正电子发射体在空间的分布。多丝正比室和高原子序数(如: 铅) γ 射线转换体相配合,组成了探测正电子湮没所产生的 γ 射线探测器。二个或多个探测器适当放置组成正电子相机。多丝正比室正电子相机在医学、固体物理和工业应用中都是很重要的新工具。

(1) 正电子相机在医学中的应用

多丝正比室正电子相机在医学上用作正电子发射层析造影。把发射正电子的核素,如 ^{68}Ga , ^{18}F , ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O 等有意识地存入人体待诊断的部位。这些核素发射的正电子与人体组织中的电子发生湮没,产生一对 γ 光子,用正电子相机探测这些 γ 光子对,然后由计算机给出发射正电子的核素在人体内分布的三维造影。它提供的诊断传递了人体化学和生物学,正常和反常的信息。用它来测量人体的生物化学作用是XCT所不能胜任的。

对人体所有组织而言,最重要的生理量之一就是血液,因此用发射正电子的核素,如 ^{15}O 可以精确地测定人体组织的血流, ^{15}O 也可用于肿瘤研究; $^{13}\text{NH}_3$ 可对心脏和肾脏进行造影;用 ^{18}F 标记脱氧葡萄糖代谢来观察脑损伤和脑恢复。许多研究确信,精神分裂症是一种新陈代谢过程的疾病,而不是组织变态。用 ^{11}C 标记棕榈酸,因为棕榈酸可以估计血管梗塞的存在以及局部 β -氧化作用速度。用正电子相机来研究脚血流、脑血流、甲状腺、精神分裂症、动脉粥样硬化和癌症等疾病方面正在显示出威力。正电子计算机层析造影和核磁共振成像是当今医学专家们进行诊断的有力武器。

(2) 正电子相机在固体物理研究中的应用

近年来,正电子湮没技术成为研究固体物理电学性质的重要手段。用正电子湮没技术来研究固体物理主要有三种途径:测量正电子寿命,测量多普勒加宽,测量正电子湮没 2γ 角关联。因为二 γ 角关联曲线几乎不受多体效应的影响,它们能满意地用独立粒子模型来解释。所以,正电子-电子湮没发射 2γ 角关联的测量特别适用于固体电子动量密度分布和费米面的研究。到目前为止,高密度多丝正比室用于二维角关联测量是理想的工具之一,它比一维角关联测量大大地节省了测量时间,提高了测量精度,使以前不能做的实验,由于二维正电子相机的问世变成现实。

近几年,美国、加拿大、英国、瑞士、新西兰等发达的资本主义国家先后建造了高密度多丝正比室正电子相机,用它测量 2γ 角关联,研究金属和合金的电子动量分布,金属单晶的费米面等,获得了重要的科研成果。

(3) 正电子相机在工业上的应用

早在七十年代末期,英国卢瑟福实验室的科学家们建造了大面积、二维读出高密度多丝正比室,把它用

于 γ 射线(^{60}Co 源)成像,这种探测技术有效地实现了非破坏性水下焊接结构质量的检查。近几年,他们积极把多丝正比室正电子相机应用到工业中去。例如,将短寿命正电子核素混入汽油里,检查飞机发动机的运行情况。

III. 多丝正比室在X射线成像和质子照相中的应用

在X射线衍射、医学、非破坏探伤的应用中,多丝正比室是一种很有效的二维X射线成像探测器。

在X射线衍射实验中,用适当结构的多丝正比室探测8千电子伏X射线的衍射图画,只需二个小时就可以做完实验,如果使用传统的测量方法,需花几天时间才能采集完数据,多丝正比室的优越性是显而易见的。

在医学上,用多丝正比室X射线成像技术诊断甲状腺肿瘤。有一种方法是,用X射线外照射,使甲状腺内非放射性的碘激活,发射特征X射线,用多丝正比室测量这些特征X射线,于是可推断出甲状腺中碘的分布情况,从而可以诊断甲状腺肿瘤。另一种方法是患者把发射X射线的核素 ^{125}I 药品服下,用多丝正比室测量 ^{125}I 发射的X射线,同样可以获得碘在甲状腺内的分布情况,以此来诊断甲状腺肿瘤。这种诊断准确可靠,患者接受的剂量很小,大约一二百微居里就够了。

用同位素X射线外照射被诊断的部位,用多丝正比室测量透射的X射线,可以诊断关节骨损伤,研究骨质代谢等。

在同步辐射应用中,X射线小角散射技术成为分子生物学研究的重要手段。用高空间分辨率(小于1毫米)的二维读出多丝正比室测量被溶液分子散射的X射线,从而可以定出分子的迴转半径。在分子生物学X射线研究中利用多丝正比室作探测器,研究了蛋白质晶体结构,还有人利用衍射技术研究了活的肌肉纤维伸展和收缩时的差别。多丝正比室用于同步辐射小角散射和衍射测量,可比寻常方法节省测量时间数百倍。因为实验时间极短,生命组织在实验过程中尚未破坏、因而可以得到宝贵的信息。

多丝正比室除了做X射线成像的探测器外,还可以用于质子成像技术。在质子成像技术中,用数百兆电子伏的高能质子束照射被成像物体,入射质子的大多数在物质内部经多次库仑散射跑出物体,这些质子只偏离入射方向很小角度。然而,其中有部分质子与物质中的核(如氢的原子核——质子或碳原子核)发生强相互作用,以大散射角穿出物体。在被成像的物体前方用二个多丝正比室来测量入射质子的径迹,与此同时,再用二个室测量散射质子的径迹,从而可以准确地定出发生质子-核散射的点,大量统计数据可以给出

物质的氢原子的密度分布,提供物体内部的三维图象.用此方法也可给出生物体内碳、氧的相对浓度,借此研究生物体的内部结构.多年来,多丝正比室的发明者G.夏帕克本人就领导一个小组从事高能质子成像技术的研究.

IV. 多丝正比室在天文学中的应用

在天文学中常常通过探测X射线或 γ 射线的方法来探索银河系和河外星系射线源的位置、光谱和特性等.为了有效地测量X射线,通常由适当结构的多丝正比室组成望远镜系统,将它安装在卫星或高空气球上,卫星或气球把它带到外层空间或距地面几十公里外的高空,这样做可以避免空气对X射线的吸收和散射,提高了测量的精度.

当探测低能X射线时,多丝正比室有较高的探测效率,而且还能提供X射线能量和位置信息.当探测较高能量的X射线时,多丝正比室的工作气体和室体结构要考究多了,例如,采用高压的氙气作为工作气

体,在X射线入射方向加上准直器等.因为高压氙气可提高多丝正比室对X射线的探测效率,同时还可以改善入射光子的定位精度.

在宇宙线实验中,无论探测器安装在高山上,还是安装在高空气球上,多丝正比室主要用于测量宇宙线粒子的轨迹和电荷.已经有人利用多丝正比室测量了宇宙线中的高能重离子;有人把多丝正比室放在磁场中工作,组成磁谱仪,用它测量正负电子、正反质子、氦核等,还可以寻找超铀元素和新粒子.

多丝正比室的应用决不限于上述种种,还有许多有趣的应用,这里不予一一列举.世界上许多工业发达的国家都投入相当的人力和物力来研制各种各样结构的多丝正比室,使它成为科学家们在高能物理、核物理、放射医学、同步辐射、材料科学、宇宙天文等领域的得心应手的工具.然而,我国在这方面的研究还十分薄弱,我们渴望多丝正比室的应用研究能得到重视和发展,使其为四个现代化服务.