

物质既不能产生,也不会消灭,它只能从一种形式转换成另一种形式。正电子(e^+)的产生与湮没就是典型的例子。当能量较高(至少大于1.02MeV)的 γ 光子与物质相互作用时,有可能产生一对互为反粒子的正、负电子,而 γ 光子本身却“消失”了;当一个 e^+ 进入介质与一个 e^- 相互作用时,也会发生“湮没”而放出 γ 射线。人们利用这一物质形式转换的规律建立了 e^+ 湮没谱学。

1930年狄拉克从理论上预言了 e^+ 的存在,1932年安德逊在观察宇宙射线时发现了它。五十多年来,通过理论与实验的研究,人们对 e^+ 湮没本身及其应用规律的认识不断深化。随着科学技术的发展,实验手段不断增多,方法不断完善, e^+ 湮没谱学已被公认为是一个新的研究领域,它本身又发展出 e^+ 物理学、 e^+ 化学、PET) e^+ 发射断层扫描)技术等新的分支。

e^+ 湮没规律之所以能获得广泛应用是由于在一定的物理基础上建立了合适的实验方法,使获得微观尺度范围内的信息成为可能。当 e^+ 、 e^- 结合湮没时,可发射单 γ 、双 γ 、三 γ ,但以发射双 γ 的几率最大,它被作为应用研究的主要工具。

由狄拉克理论可得出 e^+ 湮没率(λ)的表达式:

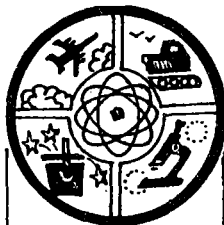
$$\lambda = \frac{1}{\tau} = \pi r_0^2 n_0 c, \quad (1)$$

τ 为 e^+ 的寿命, r_0 为经典电子半径, c 为光速, n_0 为介质中湮没位置附近的电子密度。由(1)式可知, e^+ 寿命反比于电子密度。可通过测量 e^+ 寿命来研究物质内部状态。在测量仪器方面已由快—慢符合型寿命谱仪发展到更先进的快—快符合型。每当介质的结构、状态、成分等发生变化时,必然导致电子密度的变化,使射入其中的 e^+ 寿命不同。根据所测 e^+ 寿命与相应强度的变化,就可分析介质内部的微观变化。

一般说来,介质中的电子总是具有一定功能的。尽管入射的 e^+ 在介质中会被热化(即能量降到热能水平),但湮没对的动量仍不为零。在实验室坐标系观察双 γ 时,两 γ 的发射方向不是严格地相反,而是偏离共线方向一个小的 θ 角, θ 值与电子动量的横向分量 P_{\perp} 成正比,即:

$$\theta = \frac{P_{\perp}}{m_0 c}. \quad (2)$$

m_0 是电子的质量, c 是光速。由此建立了 e^+ 湮没辐射角关联测量方法,近年来已由一维角关联发展到二维角关联。由于湮没辐射是湮没对在运动过程中发射



物质不灭规律的应用 谈 e^+ 湮没谱学

彭郁卿

的,产生多普勒效应,即每一个 γ 光子的能量不是 $m_0 c^2$,而是有一 ΔE 的变化,其关系如下:

$$E_{\gamma} = m_0 c^2 \pm \Delta E. \quad (3)$$

ΔE 称为多普勒展宽,它与湮没对中电子动量的纵向分量 P_{\parallel} 成正比,即:

$$\Delta E = \frac{1}{2} c P_{\parallel}. \quad (4)$$

目前绝大多数实验室都是使用高分辨率的高纯锗探测器进行测量的。由(2)、(4)两式可知,测得 θ 、 ΔE 的变化即测出了介质中电子动量的变化。而引起电子动量变化的原因是多种多样的,如金属材料受一定剂量射线辐照后内部产生空位型缺陷,在空位处电子动量变小, ΔE 变小,表现在多普勒展宽谱上的峰变窄。由此可分析缺陷的产生、运动和数量。

除快速 e^+ 研究三种典型的实验方法外,还发展了一种慢 e^+ 束装置,由它获得 e^+ 的特点是能量低——入射到介质中的深度浅,能量可调——入射深度可人为控制。

e^+ 湮没技术的应用非常广泛,仅固体材料研究的内容就非常丰富。从固体材料研究的一些方面就可看出 e^+ 湮没技术应

用的广泛性:

1. 缺陷的研究:研究晶体材料中缺陷的产生与运动,通过缺陷分析探讨非晶合金的结构等。
2. 相变的研究:研究有序→无序转变、沉淀、GP区的形成、马氏体转变、非晶合金的晶化过程等。
3. 辐射损伤与辐照效应的研究:对象涉及到许多现代科学技术领域,例如:辐射环境(包括反应堆、加速器、核爆炸辐射环境与宇宙辐射环境)中材料性能变化的研究,通过离子注入使材料改性的研究,光学与激光材料的辐照效应与改性的研究等等。
4. 金属与合金的基础研究:如电子动量分布的测定,费密面形状的研究等等。

此外还要特别提到的是 e^+ 断层照相(PET),它的基本工作原理是将含有能发射 e^+ 的放射性同位素的生化制剂注射或被吸入人或动物体内, e^+ 有关与部位细胞中的电子结合而湮没,借助符合技术探测湮没对射,从而测量该同位素的分布,并用电子仪器与计算机技术重建这种分布的图象。此种技术能用于医学诊断、肿瘤定位、新陈代谢研究、药物疗效等生理过程。以利用葡萄糖的消耗研究脑为例。PET能够提供脑如何以生化方式反映出对光线、听故事、甚至手足移动等刺激产生反应的信息。比方说,当一个人移动他的右手,PET扫描彩色图象显示出脑的左侧葡萄糖消耗增加;

(九) 胡仁宇教授

胡仁宇 中国工程物理研究院研究员。

1931年7月生于浙江江山。1950年毕业于上海交大物理系,1952年毕业于清华大学物理系。1956年至1958年在前苏联科学院列别捷夫物理研究所当研究生。1958年回国后,被聘为二机部221厂实验部三室副主任、实验部副主任,二机部九院二所研究员、副所长兼总工程师,核工业部九院副院长、代院长、院长。1991年当选为中科学数学学部委员。主要从事原子核物理和核爆炸实验物理等方面的研究并取得多项重要成果。50年代,研制成功了测量 10^{-11} 安培微电流的电子线路,

用小电离室完成了 γ 射线吸收剂量的测定;完成了有机萘(及萘加葱)、碘化钠(铯)单晶生长及闪烁晶体的磨制工作;进行了光电倍增管倍增系数、统计起伏等性能研究;研制成功了单道碘化钠(铯) γ 谱仪。60年代以来,共同负责筹建中子物理实验室、放化分析实验室,完成了400千伏高压倍加器、100千伏高压快中子发生器的研制,参加和组织领导了具有国内先进水平的中子微观参数及宏观参数实验条件的建设;参加了我国第一颗原子弹的研制工作,建立了热核激发器物理性能的定量鉴定方法和整套测试设备,为核爆后放射性微尘的分析测量等方面研究解决了一系列深难技术问题;参加了我国第一颗氢弹的研制工作,组织制定并实施了高能中子的外活化测量等工作方案,较好地解决了核武器理论设计的检验问题和核爆全过程的观察问题;在地下核试验测试技术等方面做了大量工作;组织领导了高温高密度等离子体(惯性约束聚变与核爆模拟)实验室的建设,并在王淦昌先生等指导下组织制定了我国惯性约束聚变核爆模拟实验室的规划计划,提出了第一阶段实验工作的方向与内容;在完成我国第一代核武器的改进、完善和试器化生产方面作出了重要贡献。曾两次集体荣获国家科技进步奖特等奖、一次集体荣获国家自然科学奖一等奖。发表研究论文数十篇,主要有《高频离子源》,《用小电离室测量

又如,PET扫描初步证实,精神分裂症病人脑前部都以低速率消耗葡萄糖,而狂躁——抑郁病人在狂躁期以很高的速率消耗葡萄糖。PET具有许多独特的优点:(1)对肿瘤定位性能好,因探测的是自动准直的 γ ;(2)能研究生理效应的动态过程;(3)所用放射性同位素寿命短,人体可不受长时间体内照射,且它们多数是人体组成元素,能合成有生理效应的制剂被人体吸收;(4)在探测体积内灵敏度高、空间分辨率均匀、探测效率高。总之,PET装置与技术受到国内外医学界、生理生化研究者的高度重视。它已成当前这些方面研究与应用的最先进的设备与方法之一。



镭所放出的 γ 射线的剂量率》、《利用活化指示剂确定核装置爆炸时中子能谱与积分通量》、《九院二所惯性约束聚变实验室的筹建概况及初步实验结果》、《激光产生的高温高密度等离子体诊断技术》(与郑志坚合作)等。

(十) 黄胜年教授

黄胜年 中国原子能科学院研究员。

1932年2月生于江苏太仓。1952年毕业于清华大学物理系。1952年至1955年在前苏联列宁格勒大学物理系学习。1955年至1956年在前苏联科学院热工实验室进行实习研究。1956年后,先后被聘为中科院原子能所研究员及中子物理室主任,中国原子能科学院核

物理所科技委员会主任,核工业部研究生部主任。1991年当选为中科院数学学部委员。主要从事实验核物理方面的研究并取得多项重要成果。在重核热中子裂变的瞬时中子平均数的测量方面作出了重要贡献,领导建立了 4π 型硼-石蜡中子探测器系统;1958年秋天我国重水反应堆启动后,进行并取得了在反应堆上物理研究的第一个成果“热中子引起 ^{235}U 及 ^{239}U 裂变时中子平均数的相对测量”;1960年领导建立了 4π 型硼-重水中子探测系统,在国内首先实现热中子引起 ^{235}U 裂变的瞬时中子数目分布几率的测量,将裂变中子数的研究工作推进到一个新的阶段;领导了核武器研究所需的第一批中子数据“重核对裂变谱中子的平均截面”的测量工作,并参加了 ^{235}U 对裂变谱中子的平均全截面的测量等课题的实验研究;先后完成了裂变谱中子引起 ^{232}Th 、 ^{235}U 、 ^{238}U 和 ^{239}Pu 裂变的瞬时中子平均数及 ^{238}U 自发裂变中子数的测量;对 ^{240}Pu 自发裂变的瞬时中子数目分布 $P\nu$ 进行了测量,负责组织了我国第一台大体积载镭液体闪烁体中子探测器的开发;负责组织在上述探测器上测量了 ^{238}U 自发裂变的瞬时中子数目分布 $P\nu$,发现了宽度 $\sigma_{\nu}=0.90\pm 0.09$ 的新结果并于后来被前苏联杜布纳联合原子核所的实验所证实;参加了 ^{235}U 和 ^{238}U 快中子裂变的瞬发中子平均数随入射能量变化的测量。在金属铀、铀本底中子的测定方面,建立了一套金属铀本底中子的可靠测量方法及相应的装置,并实测了金属铀部件的本底中子。对 ^{252}Cf 的自发裂变关联特性进行了一系列实验研究,建议并推动中国原子能院将进口的一个 ^{252}Cf 中子源制成强的裂变电镀源,作为自转移源的母源,为 ^{252}Cf 自发裂变关联特性实验研究创造了条件,并在此基础上进行了 ^{252}Cf 二分裂的碎片动能及质量分布、 ^{252}Cf 氦及长程 α 粒子能量与裂变碎片的质量及能量的关联、 ^{252}Cf 自发裂变中子能谱等一系列测量工作,有些结果处于当时国际领先地位。发表了《 ^{238}U 自发裂变中子数》、《 ^{252}Cf 自发裂变伴随发射的轻带电粒子数量与碎片之间的关联》等研究论文数十篇。