

粒子探测器大师乔治·恰帕克

——1992年诺贝尔物理学奖金获得者

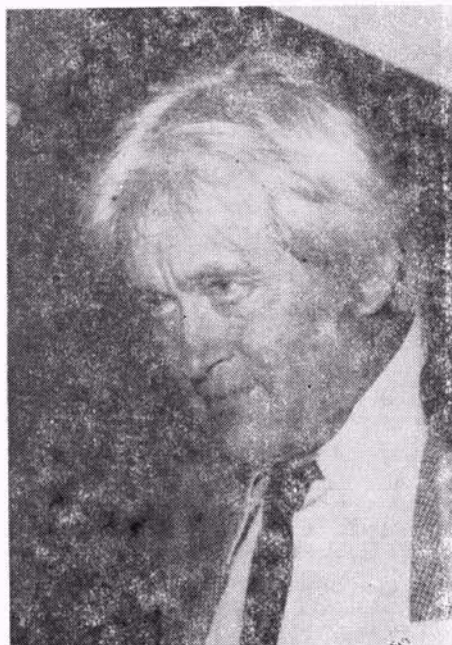
马基茂

(中国科学院高能物理研究所,北京 100039)

本文概括地介绍了恰帕克教授生平从事的科学活动,他在高能物理学粒子探测器的发展上的杰出贡献,特别是多丝正比室的发明和发展,描述了多丝正比室的基本原理,这一新技术的出现引起粒子探测方法的突破,20年来导致了一系列粒子物理实验的重大发现,大大深化了人类对微观世界的认识。

Abstract

A brief introduction to scientific career of professor Charpak is given. Charpak's important contribution to the history of particle detection development, in particular his invention of multiwire proportional chamber (MWPC), is described in more detail. MWPC and its development has made a break-through in the technique for detecting particles, and has been of crucial importance for many discoveries in particle physics during the last two decades.



瑞典皇家科学院1992年10月宣布,本年度诺贝尔物理学奖金单独授于法国物理学家乔治·恰帕克(Georges Charpak)教授,表彰

物理

他多年来在高能物理学粒子探测器方面,特别是多丝正比室的发明和发展上所做出的杰出贡献。这是继1927年C. T. R. 威尔逊(发明云

室), 1948年 P. M. S. 布莱克特(发展云室技术并应用于原子核和宇宙辐射研究), 1950年 C. F. 鲍威尔(发展乳胶技术并发现 π 介子), 1960年 D. A. 格兰塞尔(发明气泡室)和1968年 L. W. 阿瓦兹(发展气泡室技术)之后, 诺贝尔物理奖又一次归于粒子探测器专家。消息传来, 引起国际高能物理学界, 特别是探测器科学家们的热烈反响。

恰帕克 1924年8月1日生于波兰, 后移居法国, 1946年成为法国公民。从1948年到1959年, 他在法国国家科学研究中心(CNRS)学习和工作, 1954年获得巴黎法兰西学院物理学博士学位, 1959年以来一直在位于瑞士日内瓦的欧洲原子核子研究中心(CERN)工作。60年代上半期, 恰帕克参加了一些重要的物理实验, 例如 μ 子磁矩的精确测定和利用(π^+ , 2p)反应研究核结构。同时, 他开始把注意力投向对粒子物理实验具有普遍意义的新型粒子探测器的探索。他曾经研制出几种新型的火花室, 不采用通常的照相方法而利用电流分配和脉冲延迟技术读出粒子的信号。粒子探测技术的重大突破发生在1968年。这一年恰帕克首次提出了多丝正比室的研究结果, 成为粒子探测器发展史上新的里程碑。从70年代中期开始, 恰帕克及其合作者又把多丝正比室发展成为具有更高径迹定位精度的漂移室。多丝正比室和漂移室以其优越性能几乎为所有粒子物理实验采用, 迅速改变了实验的面貌。在以多丝正比室为起点的径迹室系列发展过程中, 恰帕克一直处于研究活动的中心, 不断丰富探测器的品种, 提高它们的性能和扩大它们在实验中的应用范围。从1979年到1989年, 恰帕克在这些方面继续获得累累硕果。一个比较突出的例子是研制成功多步雪崩室, 将它应用于光子探测和离子辐射成像。恰帕克教授于1991年退休, 但他仍是 CERN 和其他国际高能实验中心的经常访问者, 关心和激励后来人在他所开拓的领域继续前进。作为一代粒子探测器大师, 恰帕克在国际同行中享有崇高的威望。

研究基本粒子间的反应可以获得基本粒子

性质和它们之间相互作用力的知识。随着粒子加速器能量的提高, 反应产生的粒子有时多达数百个, 精确记录每个粒子的径迹是一项很不容易的任务。实验上另一个困难是常常需要在大量的、有时是上百万个的粒子相互作用中选出少数特定的事例进行研究。50年代气泡室的出现具有很大的意义。这种技术的发展导致了50年代后期至60年代初许多新的粒子态即共振稳态的发现。在气泡室中充以过热液体, 当带电粒子通过时, 沿其轨道由于液体的沸腾而产生成串的小气泡。用照相方法把这些气泡串记录下来就获得了相应粒子的精确径迹。但拍摄照片只能以大约每秒一次的速度进行, 因此获得实验数据的效率很低, 发现有意义事例的机会也少。另外, 照片的分析相当麻烦, 即使借助特制的测量装置也是一种非常慢而费力的过程。上述这些因素使粒子物理实验的发展受到很大限制。

恰帕克发明的多丝正比室很好地解决了当时存在的困难。多丝正比室技术源于一种较早出现的粒子探测器——正比计数管, 但恰帕克以革命性的方式改造了它。古典的正比计数管, 例如 G-M 计数管, 由直径约 1cm 的金属管和一根中心细金属丝组成。在中心丝与管壁之间加几千伏的电压, 管内充以工作气体。当带电粒子穿过管子时, 在管内引起气体原子的电离过程, 电子从中释放出来, 原子则变成带正电的离子。在中心丝与管壁之间形成的电场中, 电子向中心阳极丝漂移。由于阳极丝附近电场极强, 电子被迅速加速而增加动能。当电子能量达到足够高时, 它们会再次电离气体, 释放更多的电子。这种电子加速、电离的过程在阳极丝附近可以继续下去, 最终发生电子和正离子的雪崩过程。一个原初电子的倍增系数可达 10^4 — 10^5 。这大量的电子和正离子分别向阳极丝和阴极室壁漂移, 中心阳极丝上感应出电信号, 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只能到 1cm 左右, 即正比管本身的尺度。

现代粒子物理实验要求记录粒子径迹具有

高精度和大面积覆盖，而在使用上述古典正比计数管时不能满足这些要求。恰帕克发明的多丝正比室在这方面实现了突破。图 1 示意性地表明了多丝正比室的结构和工作原理。在相距几厘米的二阴极平面间，平行排列数目很大的细丝组成阳极平面。阳极丝直径约为 0.1 mm，彼此相距 1 或几 mm。一反当时存在的普遍见解——这类多丝结构因相互感应等问题不能正常工作，恰帕克 1968 年令人信服地证明了这一结构中的每根丝都可以像一根正比计数管一样工作。得到的空间分辨率可达到 1mm 或更小，每根丝都可承受高达每秒数十万的计数率，性能指标非常突出。同时，多丝正比室结构易于做成很大面积，并能以模块方式组成所需的各种体积形状，适于进行不同规模和特点的实验。

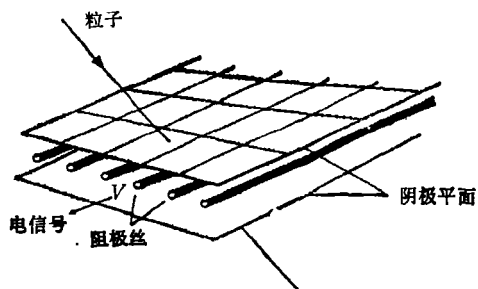


图 1 多丝正比室原理示意

(阳极丝间距约为 2mm，阴极平面间距约 2cm。当一个带电粒子通过时，它将电离阴极平面间的气体，电离产生的电子和正离子将分别向阳极和阴极漂移，在距离最近的阳极丝上感应出电信号，记录下粒子通过的位置。多个多丝正比室以一定距离放置，带电粒子通过它们时可精确测出其径迹)

多丝正比室的每根丝需要配备一个放大器放大信号。现代电子学技术可提供结构紧凑和小功耗器件，使建造数万、数十万路的读出电子学系统成为可能。多丝正比室信息的读出由电子计算机控制，使实验系统能够处理大量的数据。同过去记录带电粒子径迹以照相为主的方法相比，新探测器成千倍地提高了实验数据获取的速率，并能最大程度地选择出物理学家们所希望研究的事例，集中精力和资源高效地分析那些真正揭露物质内部秘密的粒子相互作用。

早在 1968 年发表多丝正比室开创性工作的同时，恰帕克即指出了进一步发展多丝室的途径。漂移室是其中最重要的一个。漂移室的原理是，在多丝室结构和预先测知电子在气体中漂移速度的基础上，通过测量从产生原初电离(粒子通过瞬时)和电离电子漂移到阳极丝产生电信号之间的时间间隔，可以推算出原初电离距离阳极丝的位置。这将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原有优点。这一设想由恰帕克及其合作者后来以多种形式实现，进一步推动了粒子物理实验的发展。

历史上，每次探测器技术的突破总是促进物理实验研究的前进，带来重大的发现。例如，云室的发明带来第一个反粒子——正电子的发现，乳胶技术用来发现 π 介子等粒子，气泡室的出现更是带来许多新粒子的发现。多丝正比室也不例外，在过去 20 年中，恰帕克的多丝室及其发展的漂移室对粒子物理实验的许多发现起了决定性的作用。其中最突出的实验成果已经获得了诺贝尔物理奖，例如丁肇中和 B. 里克特 1974 年发现 J/ψ 粒子，C. 鲁比亚和 S. 范德弥尔 1984 年发现中间玻色子 W^* 和 Z^0 。今天，几乎每个粒子物理实验都使用着源于恰帕克发明的不同类型的径迹室探测器。

从 80 年代中开始，恰帕克还积极从事推广多丝正比室系列探测器到粒子物理以外的应用中，使高能物理的技术成果直接为人类造福。在他的引导和参与下，这一技术已经被有效地应用于几乎所有成像和精确显微的领域中，特别是在生物学和医学方面。在日内瓦大学医学中心和一些法国医疗中心，恰帕克及其同事研制的仪器设备被成功地用于精确 X 光和 β 射线成像诊断中。近年来，多丝正比室系列探测器在实际应用方面的成就越来越引人注目，并且展示了广阔的前景。

恰帕克对粒子物理学的巨大贡献使他获得了许多荣誉。从 1984 年起他就是法国著名的巴黎物理化学高等学校的约里奥·居里 (Joliot-Curie) 名誉教授。1985 年成为日内瓦大学

名誉博士和法国科学院院士。1986年,恰帕克当选为美国科学院外籍院士。1989年接受欧洲物理学会(EPS)“高能与粒子物理奖”。这

次恰帕克教授单独获得1992年诺贝尔物理学奖金,是一个科学家所能得到的最高荣誉,也是对他一生科学事业最好的总结性的评价。

光致电磁辐射原理及应用

张希成 金亚红

(美国 Rensselaer 综合技术学院物理系)

本文介绍了光致电磁辐射的基本原理及应用。光致电磁辐射是一种可对晶体作无接触检测的新技术。通过研究光致电磁辐射的振幅及相位,我们可估计半导体表面的电场强度及方向,半导体的掺杂类型及浓度,晶体的对称性以及晶体的非线性极化张量元。

Abstract

We discuss the basic concept and applications of optically induced electromagnetic radiation. This electromagnetic radiation provides a novel optoelectronic technique to study electronic and optoelectronic properties of dielectrics with a contactless approach. Analysis of the amplitude and the phase of the electromagnetic radiation leads to the determination of the strength and polarity of the surface static field, and the doping type and concentration in semiconductors. We also discuss the estimation of the crystal symmetry and their nonlinear susceptibilities by using ultrafast optical rectification.

近年来,光电子技术已被广泛地用来研究半导体表面及界面的特性^[1],其特点是不仅速度快,而且可作无接触检测。其中,用飞秒激光脉冲在半导体表面或界面产生的电磁辐射(称为光致电磁辐射)作为检测手段,又为这个领域增添了一个全新的技术。^[2]

与大多数光电子探测技术一样,光致电磁辐射利用激光束作为无接触探头来检测半导体的表面或界面。由于电磁波的产生与半导体表面或界面上的物理量有关,我们可以通过测量电磁辐射的振幅与相位,来推测半导体表面的电场强度与方向,半导体的掺杂类型及浓度,晶体表面的对称性,以及晶体的非线性极化系数。

一、光致辐射机理

光致辐射机理主要有两个方面:一是光生

电流作用;二是光整流效应。

当一束超短脉冲激光射到半导体上时,如果光子的能量大于半导体的禁带宽度,光子被吸收,并产生自由载流子(电子-空穴对)。当半导体表面有电场存在时,光生载流子将沿电场方向作加速运动或极化,形成光生电流,光生电流的形成时间一般与光脉冲的时间宽度相等,而它的衰减时间与载流子的寿命及载流子流过电场区的瞬态时间有关。在远场近似的情况下,电磁辐射的幅度与电流对时间的导数成正比,即

$$E_r \propto \frac{\partial J}{\partial t}$$

如图1所示,光生电流在半导体表面产生的电磁场有向外(赝反射)和向内(透射)两种指向。如果光照区域相当于或大于电磁辐射波长,电磁脉冲是定向的,光的人射角 θ_0 与向外