

诺贝尔物理学奖

百年回顾

厉光烈 李 龙



(续前)

1981年

西格班(Kai M. Siegbahn, 1918—)因发展高分辨率电子能谱仪并用以研究光电子能谱和作化学元素的定量分析,布洛姆伯根(Nicolaas Bloembergen, 1920—)和肖洛(Arthur L. Schawlow, 1921—1999)因在激光和激光光谱学方面的研究工作,共同分享了1981年度诺贝尔物理学奖。

从20年代开始,科学家们就试图运用爱因斯坦的光电子理论,通过对光电子的研究来获取物质内部的信息。然而,由于仪器分辨率一直不高,多年来没有重大进展。20世纪50年代中期,西格班和他的同事们将研究 β 射线能谱的双聚焦能谱仪用于分析X射线光电子的能量分布,发明了具有高分辨率的光电子能谱仪。他们研究了电子、光子和其他粒子轰击原子后发射出来的电子,并系统地测量了各种化学元素的电子结合能。后来,他们又发展了用于化学分析的电子能谱学,开创了一种新的分析方法,即所谓的X射线光电子能谱学或化学分析电子能谱学。X射线光电子能谱学是化学上研究电子结构、高分子结构和链结构的有力工具。西格班开创的光电子能谱学为探测物质结构提供了非常精确的方法。

布洛姆伯根被公认为是非线性光学的奠基人。他和他的同事们从以下三个方面为非线性光学的发展奠定了理论基础:(1)关于物质对光波场的非线性响应及其描述方法;(2)关于光波之间的相互作用以及光波与物质激发之间的相互作用的理论;(3)关于光通过界面时的非线性反射和折射的理论。布洛姆伯根将各种非线性光学效应应用于原子、分子和固体光谱学的研究,逐渐形成了激光光谱学的一个新的研究领域,即非线性光学的光谱学。在非线性光学的研究中,他建立了许多非线性光学的光谱学方

法。其中,最为重要的是“四波混频”法,即利用三束相干光的相互作用在另一方向上产生第四束光,以便产生红外波段和紫外波段的激光。利用这一方法及共振增强效应,可以高精度地确定原子、分子或固体中的能级间隔。此外,他还提出了一个能够描述液体、金属和半导体等物质的非线性光学现象的理论。布洛姆伯根对非线性光学的发展以及对一系列非线性效应的发现,大大地扩展了激光波长的范围,使适用于光谱学研究的激光波段从紫外区、可见光区一直覆盖到近、远红外区。

肖洛是研究微波激射器和激光器的先驱之一。20世纪50年代中期,肖洛与美国著名物理学家汤斯共同研究微波激射问题。当汤斯提出受激辐射放大原理时,肖洛第一个提出运用没有侧壁的开放式法布里-珀罗腔作振荡器的设想。1960年,他和汤斯研制出第一台激光器。从此,激光成为探测原子和分子特性的有效工具。20世纪70年代以后,他和他所领导的科研小组又致力于激光光谱学的研究,利用非线性光学现象,首先创造出饱和吸收光谱、双光子光谱等方法,为发展高分辨率激光光谱方法做出了卓越的贡献。1978年,肖洛还用他自己发明的偏振光谱法研究氢原子光谱,精确测得物理学基本常数——里德堡常数 R_0 为 109737.314 ± 0.00032 厘米 $^{-1}$ 。

1982年

威尔逊(Kenneth G. Wilson, 1936—)因建立相变的临界现象理论,即重正化群变换理论,获得了1982年度诺贝尔物理学奖。

19世纪末、20世纪初,科学家们就开始对某些特殊系统的临界行为,例如液气之间的相变和铁磁性与顺磁性之间的转变,作定性描述。例如,前苏联物理学家朗道就在1937年发表了相变的普遍理论。

然而,当人们对许多系统作更为广泛而详细的研究之后,便发现相变的临界行为与朗道理论的预言有很大偏离。1971年,威尔逊发表了两篇有重大影响的论文,既明确又深入地解决了这个问题。威尔逊认为,相变的临界现象与物理学其他现象不同的地方在于,人们必须在相当宽广的尺度上与系统中的涨落打交道。所有尺度上的涨落在临界点都是重要的,因此,在进行理论描述时,要考虑到整个涨落谱。威尔逊的临界现象理论是在重正化群变换理论的基础上作了实质性的修改后建立的。威尔逊的临界现象理论,全面阐述了物质接近于临界点的变化情况,还提供了这些临界量的数字计算方法。

随着相变的临界现象的研究不断深入和发展,威尔逊创建的重正化群变换方法已不仅用来解释临界现象,还可用来解决其他一些尚未解决的重要问题。正如瑞典皇家科学院发布的公告中所说的:“威尔逊的理论代表着一种新的思想,它不仅圆满地解决了相变的临界现象这一典型问题,而且还似乎具有解决其他一些重要的,迄今尚未解决的问题的巨大潜力。”

1983年

钱德拉塞卡 (Subrahmanyan Chandrasekhar, 1910—1995) 因对恒星结构和演化过程的理论研究,特别是对白矮星结构和变化的精确预言,福勒 (William A. Fowler, 1911—1995) 因创立化学元素起源的核合成理论,共同分享了1983年度诺贝尔物理学奖。

钱德拉塞卡的主要贡献是发展了白矮星的理论。白矮星的特性是在1915年由美国天文学家亚当斯 (W. S. Adams) 发现的。1925年,英国物理学家 R. H. 福勒 (R. H. Fowler) 提出物质简并假说来解释白矮星的巨大密度。按照这个假说,电子和离子(即电离的原子核)在极大的压力下组成高度密集的物质。1926年,爱丁顿 (A. S. Eddington) 建议,氢转变为氦可能是恒星能量的来源。这就为恒星演化理论奠定了基础。在白矮星的研究中,钱德拉塞卡找到了决定恒星生命的基本参数。他借助于相对论和量子力学,具体地说,是利用简并电子气体的物态方程,为白矮星的演化过程建立了合理的模型,并做出了如下预测:(1)白矮星的质量越大,其半径越小;(2)白矮星的质量不会大于太阳质量的1.44倍(这个值后来被称为钱德拉塞卡极限);(3)质量更大的恒星必须通过某些形式的质量转化,也许要经过大爆炸,才能最后归宿为白矮星。钱德拉塞卡的理

论成功地解释了恒星的晚期演化,因此对宇宙学做出了重大贡献。

20世纪30年代末,贝特分别与克里奇菲尔德 (C. Critchfield) 和魏茨塞克 (C. F. Von Weizsacker) 各自独立地提出了太阳和恒星的能源主要来自它们内部的氢通过 p-p 链或以 ^{12}C 为催化剂的碳氮 (CN) 循环燃烧转化为氦。在考虑了恒星的各种模型之后,贝特指出:p-p 链和 CN 循环中的一系列核反应足以提供恒星的辐射能量,从而帮助天文学家弄清了令人困惑的恒星能源问题。因此,贝特荣获了1967年度诺贝尔物理学奖。贝特的工作不仅解决了恒星能量的来源问题,而且把恒星能源与元素起源有机地联系起来。但是,贝特没有回答:氢燃烧以后,恒星如何演化,以及氢和氦以外的化学元素是如何生成的。福勒和他的合作者发现:可以通过反应: $3\alpha \rightarrow ^{12}\text{C}^* \rightarrow ^{12}\text{C} + \gamma$ 实现氦燃烧,为红巨星提供能源。氦燃烧机制的发现,为化学元素起源理论的研究揭开了新的一页。人们开始相信,比氦更重的元素不是在宇宙大爆炸的一瞬间产生的,而是随着恒星演化在一系列核反应过程中逐步形成的。1954—1956年间,福勒与伯比奇夫妇 (E. M. Burbidge 和 G. R. Burbidge) 以及霍伊尔 (F. Hoyle) 合作,对恒星中的核反应进行了一系列的研究。1957年,在总结过去工作的基础上,他们依据休斯-尤里 (Suess-Urey) 元素丰度图全面阐述了恒星中化学元素的核合成,在《现代物理评论》上发表了后来简称为 B^2FH 的著名论文。他们的理论指出了恒星在赫罗图上的演化方向以及与恒星演化各阶段相应的8种核合成过程,提供了计算恒星内部结构的客观基础,阐明了超新星爆发和大质量恒星演化的关系。福勒在核天体物理方面发表了220多篇论文,内容包括恒星演化过程中的核反应,银河系的年龄,太阳中微子问题,以及引力塌缩,类星体和超新星等。他在核天体物理学界享有极高的威望,贝特在撰文介绍他说:“福勒的名字几乎与核天体物理是同义词”。

1984年

鲁比亚 (Carlo Rubbia, 1934—) 和范德梅尔 (Simon Van Der Meer, 1925—) 因在发现弱作用传播子 W^\pm 和 Z^0 的大规模实验方案中所起的决定性作用,共同分享了1984年度诺贝尔物理学奖。

所谓的大规模实验方案,指的是在欧洲核子研究中心 (CERN) 的质子-反质子对撞机上所作的寻
现代物理知识

找弱作用传播子 W^\pm 和 Z^0 的实验。可以说,正是范德梅尔使这项实验方案成为可能,而鲁比亚则使这项实验研究得到了预期的成果。要在粒子对撞实验中产生弱作用传播子 W^\pm 和 Z^0 必须具备两个条件:一是对撞的粒子必须具有足够高的能量,以便有可能产生重质量粒子 W^\pm 和 Z^0 ;另一是碰撞的次数必须足够多,才会有机会观测到极为罕见的特殊情况。前者是鲁比亚的功劳,后者是范德梅尔的功劳。鲁比亚曾建议用 CERN 最大的质子同步加速器 (SPS),作为正反质子的存储环。在存储环中,质子束和反质子束沿相反方向作环形运动,然后在特定位置相互碰撞。在 SPS 存储环的周边上安排有两个碰撞点,碰撞点周围装有巨大的探测系统,可以记录碰撞生成的粒子的信息。1983 年 1 月 20—21 日,在这台对撞机上工作的两个实验组分别宣布发现了 W^\pm 。其中,由鲁比亚领导的代号为 UA1 的实验组在 10 亿次质子-反质子碰撞中观察到 5 个 W^\pm 事例,确定 W_{\pm} 粒子的质量 $M_{W_{\pm}} = (81.70 \pm 6.44) \text{ GeV}$;另一个由德勒拉领导的代号为 UA2 的实验组在相同数目碰撞中观察到 4 个 W^\pm 事例,确定 $M_{W_{\pm}} = (83.05 \pm 7.05) \text{ GeV}$ 。这两个组定出的 $M_{W_{\pm}}$ 值都与弱电统一理论预言值符合得很好。由于产生 Z^0 的机会要比产生 W^\pm 的机会小 10 倍,因此它没有能够与 W^\pm 一同被发现。为了发现 Z^0 ,CERN 的科学家花费 4 个月时间将束流的亮度提高了 10 倍。1983 年 5 月 4 日,鲁比亚领导的 UA1 组终于找到了 Z^0 的第一个事例。

由于反质子在自然界里不能自然地产生,而且产生以后也极易与质子发生湮没反应,因此要得到高强度的反质子束是很困难的。CERN 的反质子束是在另一台加速器 (PS) 上产生的,产生后的反质子束被存储在一个特制的存储环中,这个存储环就是由范德梅尔领导的小组建造的。范德梅尔想出了一个非常聪明的办法可以使反质子形成强大的粒子束,他的方法叫做随机冷却。随机冷却是冷却束流的一种方法,其目的是减小粒子束在加速过程中的横向发散度和能散度。粒子束中的部分粒子在加速过程中偏离设计轨道和平均能量意味着这些粒子相对于它们的平均速度作不规则运动。偏离越大,不规则运动的动能也越大。用温度来表述,这就意味着该束粒子的温度较高。因此,减少这种不规则运动,就相当于把粒子束“冷却”。所谓随机冷却,就是通过测量确定粒子束流的重心线,然后再用校正(或

13卷4期(总76期)

冷却)装置的电场使重心线逐渐恢复到设计轨道上去,总的效果是使粒子束得到“冷却”。经过冷却,可以提高束流密度,进而提高对撞机的亮度,使实验发现 W^\pm 和 Z^0 粒子成为可能。

W^\pm 和 Z^0 粒子的发现验证了 1979 年度诺贝尔物理学奖得主温伯格、萨拉姆和格拉肖提出的弱电统一理论,对揭示弱作用本质有重大意义。

1985 年

冯·克利青(Klaus von Klitzing, 1943—)因发现量子霍尔效应,获得了 1985 年度诺贝尔物理学奖。

霍尔效应是 1879 年美国物理学家霍尔(Edwin Hall)研究载流导体在磁场中导电的性质时发现的一种电磁效应。他在长方形导体薄片上通以电流,再沿电流的垂直方向加上磁场,然后发现在导体两侧与电流和磁场均垂直的方向上产生了电势差。这个效应后来被广泛应用于半导体研究。1980 年,冯·克利青从金属-氧化物-半导体场效应晶体管(MOSFET)发现了一种新的量子霍尔效应。他在硅 MOSFET 管上加两个电极,再把这个硅 MOSFET 管放到强磁场和极低温下,发现霍尔电阻随栅压变化的曲线上出现了一系列平台,与这些平台相应的霍尔电阻 $R_H = h/(ne^2)$,其中 n 是正整数 1, 2, 3, …。也就是说,这些平台是精确给定的,是不以材料、器件尺寸的变化而转移的。它们只是由基本物理常数 h (普朗克常数)和 e (电子电荷)来确定。

量子霍尔效应是继 1962 年约瑟夫森效应发现之后又一个对基本物理常数有重大意义的固体量子效应。它是 20 世纪以来凝聚态物理学和有关新技术(包括低温、超导、真空、半导体工艺、强磁场等)综合发展加上冯·克利青创造性的研究工作所取得的重要成果。

1986 年

鲁斯卡(Ernest Ruska, 1906—1988)因发明电子显微镜,宾尼(Gerd Binnig, 1947—)和罗雷尔(Heinrich Rohrer, 1933—)因发明扫描隧道电子显微镜,共同分享了 1986 年度诺贝尔物理学奖。

1897 年,布劳恩设计并制成了最初的示波管,为电子显微镜的诞生创造了技术条件。1926 年,布什(H. Busch)发表了有关磁聚焦的论文,指出电子束通过轴对称电磁场时可以聚焦,如同光线通过透镜时可以聚焦一样,因此可以利用电子成像。这为

电子显微镜的诞生作了理论上的准备。由于限制光学显微镜分辨率的主要因素是光波波长,而电子束波长比光波波长短得多,因此,人们预期运用电子束成像可以得到比光学显微镜高得多的分辨率。1928年,鲁斯卡在柏林理工大学读书时就参加了一个研究电子示波器的小组,并在高速电子束聚焦与瞄准问题上取得了初步研究成果。随后,他开始研制第一台电子显微镜。1931年,他给原仪器加装了一个辅助的小线圈,创造了一个二次成像的镜台。由于引入这种高速电子振荡器技术,使得他用电子代替光、用电磁场对电子流的影响代替玻璃透镜的光学作用的设想变为现实,为电子显微技术解决了一大难题,使总的放大率得到了实质性的提高。1932年,他用电子枪产生的电子束经过电子透镜后打在样品上,与样品发生作用。穿过样品的电子束带着样品结构的各种信息,再经过几级电子透镜的放大,在荧光屏上或照相底片上形成极高分辨率的图像。为了保证电子波波长的稳定性需要有稳定度极高的高压电源;为了得到稳定的图像,电磁透镜的电流必须恒定;为了使电子在空间通行无阻运动,整个系统必须在高真空下工作……鲁斯卡解决了这一系列技术难题,最终研制成功了世界上第一台电子显微镜,开创了物质微观结构研究的新纪元。

电子显微镜是继光学显微镜后显微光学的又一次革命,它使显微光学的最小分辨间距从0.2微米提高到0.2—0.3纳米,使人类能够看到一排排原子阵列的晶格结构,从而极大地提高了人类研究微观世界的能力。在鲁斯卡发明电子显微镜之后,不仅出现了高压电子显微镜和扫描电子显微镜,而且还出现了另一种原理完全不同的电子显微镜,这就是宾尼和罗雷尔发明的扫描隧道电子显微镜。根据量子力学原理,金属中的自由电子具有波动性。这种电子波在向金属边界传播遇到表面势垒时,会有一部分透射。也就是说,会有部分能量低于表面势垒的电子穿透表面势垒,在金属表面上形成“电子云”。这种效应,就称为隧道效应。当两种金属靠得很近时,它们的电子云将互相渗透,加上适当的电压,即使这两种金属并未真正接触,也会有电流从一种金属流向另一种金属,这种电流就称为隧道电流。1981年,宾尼和罗雷尔等用铂片作一个电极,用腐蚀得很尖的钨针作另一电极,在两电极间小于2纳米的距离内,改变钨针对铂片的距离,测量隧道电流随距离的变化。测量结果表明,隧道电流和隧道电阻

对隧道间隙的变化非常敏感。隧道间隙即使只发生0.01纳米的变化,也能引起隧道电流的显著变化。从微观上看,即使非常光滑的样品平面也是由原子按一定规律排列而成的。如果用一根很尖的探针在距离该表面十分之几纳米的高度上平行于它在 x, y 方向扫描,那么,由于每个原子有一定大小,因而在扫描过程中隧道间隙就会随 x, y 的不同而变化,流过探针的隧道电流也会不同,即使是百分之几纳米的高度变化也会在隧道电流上反映出来。这样,利用一台与扫描探针同步的记录仪将隧道电流的变化记录下来,便可得到分辨本领为百分之几纳米的图像。扫描隧道电子显微镜就是这样根据量子力学原理巧妙运用隧道效应和隧道电流研制出来的。

扫描隧道电子显微镜的研制成功引起了科技界的巨大轰动,它被迅速地应用于生物学、医学、表面物理、表面化学和材料科学等研究领域,并取得了巨大的成功。人们用它测定了表面层原子的排列,测出了表面层原子的高低起伏,从而打开了活体显微研究的大门。

1987年

柏诺兹(J. Georg Bednorz, 1950—)和缪勒(Karl A. Muller, 1927—)因发现钡镧铜氧系统中的高 T_c 超导性,共同分享了1987年度诺贝尔物理学奖。

超导性的发现使人们认识到超导技术有广泛的应用前景。为了寻找更适合于应用的超导材料,物理学家对化学元素的低温特性进行了广泛的研究,发现了上千种具有超导性的物质,但是它们之中绝大多数的超导转变临界温度(T_c)都在液氮温区附近或在1K以下。第一个被找到的 T_c 高于液氮温区的超导材料是阿瑟曼(G. Ascherman)在1941年发现的氮化铌(NbN), T_c 为15K。随后,1953年发现了 T_c 为17.1K的钒三硅(V_3Si);1954年又找到了 T_c 为18.3K的铌三锡(Nb_3S);1967年制成了组成非常复杂的铌铝锆合金, T_c 为20.5K;1973年发现了 T_c 为23.2K的铌三锆薄膜。但是,在随后的13年里,提高临界温度的努力一直没有取得进展。1985年,几位法国科学家发表了一篇关于钡镧铜氧(Ba-La-Cu-O)材料的论文,介绍这种材料在室温以上具有金属导电性。当时正在研究金属氧化物的高 T_c 超导性的柏诺兹和缪勒受其启发,立即对这种材料进行加工处理。经过多次实验,他们终于将这种材料

现代物理知识

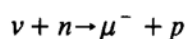
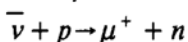
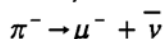
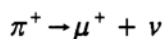
的 T_c 提高到了 33K。1986 年 4 月, 柏诺兹和缪勒向德国《物理杂志》提交了题为“Ba-La-Cu-O 系统中可能的高 T_c 超导电性”的论文。后来, 日本东京大学的几位学者根据他们的配方复制了类似的样品, 证实钡镧铜氧化物具有完全抗磁性。

柏诺兹和缪勒的发现使人类从基本探索和认识超导电性跨越到超导技术开发时代。他们取得的这一重大突破, 引起了以美国、日本和中国为中心的全球性的“超导热”。在短短的 3 个月内, T_c 从 33K 迅速提高到 100K 以上, 人类首次获得了液氮温区的超导体。

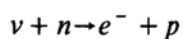
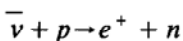
1988 年

莱德曼 (Leon M. Lederman, 1922—)、施瓦茨 (Melvin Schwartz, 1932—) 和斯坦博格 (Jack Steinberger, 1921—) 因发展中微子束方法并通过发现 μ 子中微子显示轻子的二重态结构, 共同分享了 1988 年度诺贝尔物理学奖。

1931 年, 泡利为了解释 β 衰变的连续能谱, 提出了中微子假说。1934 年, 费密建立 β 衰变理论, 间接地证明了中微子的存在。但是, 很长时间人们未能直接地观测到中微子, 也不知道应如何去测量它。1962 年, 美国哥伦比亚大学的莱德曼、施瓦茨和斯坦博格等人, 想到可以用加速器来产生中微子。他们在纽约长岛布鲁克海文国家实验室的加速器上用质子束打击铍靶以产生 π 介子束流。 π 介子在飞行中衰变为 μ 子, 同时放出一个中微子。他们让 π 介子束流通过很大质量的铁块, 使绝大部分的 μ 子都被吸收掉, 留下可以畅通无阻地穿过铁块的中微子, 以便获取相当纯的中微子束流。然后, 他们将中微子束流注入火花室, 观察由此产生的新 μ 子。其反应过程如下:



显见, 这里产生的中微子与 β 衰变所产生的有所不同, 后者的反应过程是:



这说明, 中微子至少有两种: 一种是电子中微子; 另一种是 μ 子中微子。莱德曼、施瓦茨和斯坦博格发现的是 μ 子中微子。这样, 神秘的中微子不仅被探测到了, 而且还发现它们具有与电子和 μ 子分别相

关的两种属性。

莱德曼、施瓦茨和斯坦博格的发现为后来建立弱电统一理论奠定了基础。

1989 年

拉姆齐 (Norman F. Ramsey, 1915—) 因发明分离振荡场方法并用之于氢微波激射器和其他原子钟, 德莫尔特 (Hans G. Dehmelt, 1992—) 和保罗 (Wolfgang Paul, 1913—1993) 因发展离子捕集技术, 共同分享了 1989 年度诺贝尔物理学奖。

拉姆齐在 1950 年提出分离振荡场方法, 解决了原子钟设计里的关键问题, 创制了铯原子钟。1960 年他又提出并建造了氢微波激射器, 也就是氢原子钟, 使计时的不确定度下降到 10^{-12} 。保罗在 1951 年设计了由六个磁极构成的聚焦磁场, 可以使中性分子聚集, 对分子束研究极为有用。后来, 他又设计了一种射频四极电场, 可以把带电粒子囚禁在该电场中。这一电场就相当于一个捕捉粒子的陷阱。这项研究后来成为带电粒子存储技术的先驱。德莫尔特在 1958 年就开始研究用电磁场形成的陷阱把电子或其他带电粒子存储在隔绝状态的实验方法。他和他的合作者不断地改进实验原理和实验装置, 经过二三十年的努力, 终于在 20 世纪 80 年代取得了重大成果。他设计的离子陷阱实验装置, 可以把单个自由电子长期地存储在所谓的彭宁 (Penning) 陷阱里, 让它作受迫运动, 并不断地从电子的运动中提取有关电子特性的各种信息。他们测定的电子 g 因子, 比别的方法精确的多, 达到了十三位数字, 是基本物理常数中最精确的一个。

这三位诺贝尔物理学奖获得者都是在原子物理实验技术方面做出过杰出贡献的物理学家。他们创造性地发展了精确的计量方法, 大大改进了实验的技术条件, 使许多以前无法进行的实验得以实现, 并达到前所未有的精确程度。由于他们的工作, 科学界有可能对一些基本物理定律进行更深入的检验, 从而提高了人类认识物质世界的能力。

1990 年

弗里德曼 (Jerome I. Friedman, 1930—)、肯德尔 (Henry W. Kendall, 1926—) 和理查德·泰勒 (Richard E. Taylor, 1929—) 因对电子与质子和束缚中子深度非弹性散射进行的先驱性研究以及因此而对粒子物理学中夸克模型的发展起了重要作用,

共同分享了 1990 年度诺贝尔物理学奖。

弗里德曼、肯德尔和理查德·泰勒有关电子与质子和束缚中子的深度非弹性散射实验,是在美国斯坦福大学直线加速器中心(SLAC)进行的。在建设 SLAC 时,泰勒负责磁铁和谱仪的安装,后来成了实验项目的总负责人;弗里德曼和肯德尔为谱仪研制了粒子探测器,后来负责处理实验数据,并在 1972 年代表实验小组全体成员作了总结报告。1967 年,大型电子直线加速器建成并达到设计能量,作为试运行开始了一系列电子-质子散射实验,包括电子-质子弹性散射实验、正电子-质子弹性散射实验和电子-质子非弹性散射实验。但是,这些实验的结果只是证实了已有的结论。当入射电子能量进一步加大时,就进入了从未有人探索过的深度非弹性散射区域。这时,电子的能量是如此之高,以至于可以深入到质子内部,甚至将质子打碎。由于质子分裂成碎片要吸收更多的能量,散射电子的能量应当比平常低的多。然而,实验发现电子-质子深度非弹性散射的大角度散射截面比弹性散射的大得多。起初,他们认为,是实验结果不正确,或者是解释有错误,还可能是因为出现了系统误差,误差的来源也许是所谓的“辐射修正”,即入射电子或散射电子以光的形式辐射掉了相当大的能量。于是,他们对辐射修正作了仔细研究。结果证明,辐射修正并不重要。他们把电子-质子深度非弹性散射和电子-质子弹性散射以及电子-电子弹性散射分别进行了比较,发现随着

散射角增大电子-质子弹性散射截面急剧下降,而深度非弹性散射截面与电子-电子弹性散射截面之比却变化不大。这一事实表明,电子以极大的能量深入到质子内部时,遭遇到的不是“软”的质子靶,而是和电子类似的点状“硬”核。然而,当时实验物理学家们并没有领悟到这一点。SLAC 理论组的成员布约肯(J. D. Bjorken)运用流代数求和规则对实验结果作了分析,并提出标度无关性对实验结果作了解释。但是,由于流代数是抽象的数学方法,他的工作一直未能得到人们的理解。后来,费恩曼把质子看成是点状部分子的复合体,把电子-质子深度非弹性散射看成是电子与质子内的部分子发生弹性散射。经过计算,证明布约肯的标度无关变量正是部分子动量与质子动量之比。就这样,费恩曼从深度非弹性散射实验和标度无关性找到了部分子模型的重要证据。人们很快明白,部分子和夸克原来是一回事。另外,电子-质子深度非弹性散射实验还表明,盖尔曼在 1962 年提出的电中性粒子“胶子”有可能存在。1971 年,韦斯科普夫(V. F. Weisskopf)和库提(N. Kurti)提出,正是这种“胶子”在夸克间传递强相互作用才使夸克组成强子。接着,1973 年创立了量子电动力学;1979 年丁肇中小组首先找到了支持胶子存在的证据。

显见,电子-质子深度非弹性散射实验引起了粒子物理学的一系列新进展,使粒子物理学进入了“夸克-胶子”时代。

科苑快讯

法科学家成功地使氦原子呈现出凝聚状态

据《科技日报》报道:法国巴黎高等师范学院和法国奥尔赛光学研究所研究人员最近通过实验,成功地使氦原子呈现出玻色-爱因斯坦凝聚状态。据称,在这项研究的基础上,人们或许可以在未来的 5 年到 10 年里,利用这种冷凝物能产生出原子“激光”,即一种原子的束流,其特点和光学中的激光非常相似。

这项研究成果是在法国巴黎高等师范学院勒迪克、科昂-坦努吉和法国奥尔赛光学研究所的韦斯特布鲁克及阿斯柏的领导下完成的,其中科昂-坦努吉曾因与美籍华人朱棣文等人合作发明用激光冷却和俘获原子的方法而获得 1997 年诺贝尔物理学奖。

据法国专家介绍,玻色-爱因斯坦凝聚又称“凝聚”,它是一种现象,是物质低于某种临界温度时的

基态高度布居。法国科学家是用激光冷却的方法使氦原子获得凝聚状态的,即使氦原子温度和绝对零度(零下 273.16 摄氏度)只差百万分之一度,那么在这种状态下,氦原子也仅能以每秒 1 厘米左右的速度运动,几乎接近于静止状态。

研究人员指出,这是科学界首次使氦原子在亚稳态下达到这种特殊的状态。此前,世界上任何一个实验室都未能使氦原子获得过玻色-爱因斯坦凝聚状态。

法国科研部部长施瓦岑贝格对法国研究人员的这项重大研究成果给予了极高的评价。他在给学者们的贺信中说,这项研究成果在原子物理学领域是世界第一,它是基础研究的一个里程碑,因为人们目前还无法完全预见到原子“激光”的应用潜力,但当初在人们刚刚发现激光时,又有谁曾料想到激光会对我们今天的日常生活发生如此巨大的影响呢?

(卜吉 秦宝 编)

现代物理知识