

诺贝尔物理学奖

百年回顾

厉光烈 李 龙



(续前)

1971年

伽博(Dennis Gabor, 1900—1979)因发明和发展全息照相法,获得了1971年度诺贝尔物理学奖。

1947年,伽博在从事提高电子显微镜分辨本领的工作时,受布喇格在X射线金属学方面的工作和泽尔尼克引入相干背景来显示位相的工作的启发,提出了全息术的设想并用以提高电子显微镜的分辨本领。这是一种全新的两步无透镜成像法,也称为波阵面再现术。整个过程由两步——波阵面记录和波阵面再现——来完成。在波阵面记录过程中,引入适当的相干参考波,使它与物体衍射(或散射)的光(物光)相干涉,把这个干涉场记录下来,即可得到一张全息图。全息图是与物体毫不相似的干涉图,它上面不仅记录了物光的振幅信息,而且也把普通照相过程丢失的位相信息记录了下来。在波阵面再现过程中,利用适当的相干再现光,照射全息图,以便得到物体的实像或虚像。1948年,伽博利用水银灯首次获得了全息图及其再现像,从而创立了全息术。随后不久,他又进一步指出了全息术的三个方面的应用前景,即全息干涉量度术、全息光学元件和全息信息存储。

随着激光器的问世,全息术在科技、工业、农业、商业、医药、文化和艺术等领域都获得了不同程度的实际应用。

1972年

巴丁(John Bardeen, 1908—1991)、库珀(Leon North Cooper, 1930—)和施里弗(John Robert Schrieffer, 1931—)因发现称为BCS理论的超导理论,共同分享了1972年度诺贝尔物理学奖。

1911年超导电性发现之后,人们都希望研究清楚发生超导的原因。大量实验事实证明:超导电性的产生是电子气状态的变化所引起的。实验还证明,金属一旦变成超导,体系的能量就要降低。海森

伯和玻恩等曾经尝试用量子力学和金属电子论来对超导进行微观解释,但是均未取得成功。1950年,实验上发现了超导临界温度的同位素效应,表明了超导电性是由电子-声子相互作用产生的。1957年,巴丁、库珀和施里弗建立了正确的超导微观理论,即BCS理论。这个理论可以解释大量的超导现象和有关的实验事实,是一成功的理论。

库珀是量子场论方面的专家,他对超导理论的第一项贡献是“库珀对”的发现:他证明了金属中的两个电子之间存在着通过交换声子而发生的吸引作用。由于这种吸引作用,费米面附近的电子两两结合形成所谓的“库珀对”。“库珀对”的形成使电子气的能量下降到低于正常费米分布时的能量,使得在连续的能带态以下出现一个单独的能级。这个单独能级与连续能级之间的间隔就叫做超导体的能隙。巴丁、库珀和施里弗接着试图将“库珀对”这一简单的两电子系统的研究推广到在晶体中与晶格相互作用着的所有电子组成的多体系统。通过对“库珀对”进行统计分析,施里弗得到了一个容易处理的波函数。此后,又经过一个多月的紧张工作,巴丁、库珀和施里弗证明了他们的理论确实能够解释实验上所知的各种超导现象。

理论的成就,促进了实际应用的发展。1957年以后,超导材料和超导器件迅速发展,充分显示了其优越的性能,目前在某些领域已经进入实用阶段。

1973年

江崎玲于奈(Leo Esaki, 1925—)和贾埃弗(Ivar Giaever, 1929—)因分别发现半导体和超导体中的隧道贯穿,约瑟夫森(Brian David Josephson, 1940—)因从理论上预言了通过隧道阻挡层的超电流的性质,特别是被称为“约瑟夫森效应”的实验现象,共同分享了1973年度诺贝尔物理学奖。

20世纪50年代,根据理论分析,人们认为在PN结反向击穿的过程中应当能够观测到隧道效应,但

实验上一直未能发现。1957年,江崎玲于奈在研制新型高频晶体管时,意外地发现了高掺杂、窄PN结的正向伏安特性中存在着异常的负阻现象。通过理论分析,他认为这种负阻特性是由于电子空穴直接穿透结区而形成的,从而为隧道效应提供了有力的证据。在随后的研究中,他发明了由隧道结制成的隧道二极管。隧道二极管的发明,开辟了一个新的研究领域——固体中的隧道效应。贾埃弗长期致力于隧道效应的研究。1960年,他在实验研究中发现:当铅由正常导体变为超导体时,隧道结的伏安特性发生了明显变化——若电压低于铅的能隙参数,隧道电流就会明显减小;而当电压高于此参数时,隧道电流相对来说不受影响。他还发现:当磁场加大到铅变为正常导体时,在其伏安曲线上就看不到能隙的存在。实验结果表明:隧道效应的概率确实与超导体的密度成正比。这一研究成果不仅可以用于精确测量超导体的能隙从而大大简化以前的复杂测量,而且可以用于研究超导体的电子能密度分布和有效声子谱,为深入研究物质超导电性开辟了一条新途径。

1962年,约瑟夫森预言了超导库珀电子对隧道电流的存在。他认为,库珀电子对有时可以穿过薄绝缘层从一个超导体转移到另一个超导体。他对超导体结处的隧道电流做了计算,结果表明:通过隧道结的电流,除了正常电流外,还出现了束缚的超导库珀电子对产生的电流。在电压为零时,超导电流幅值相当大,与单电子隧道电流同数量级,其临界值对磁场非常敏感;而当电压不为零时,则存在交变的超导电流,其振荡频率与结电压成正比。1962年7月,约瑟夫森在《物理快报》上发表了上述预言。随后不久,安德逊和罗威尔便发现了零电压超电流(直流约瑟夫森效应),沙比罗也观察到了振荡超电流(交流约瑟夫森效应)。现在,人们把约瑟夫森当时预言的物理效应称为“约瑟夫森效应”。

随着研究的深入发展,约瑟夫森效应的应用范围日益广泛。高精度的约瑟夫森电压基准、比最灵敏的磁强计还要灵敏万倍的超导磁力仪和可以检测来自星球的极微弱电磁波信号的超导约瑟夫森探测器相继诞生。新一代计算机——约瑟夫森超导计算机亦将问世。

1974年

赖尔(Martin Ryle, 1918—1984)和休伊什(Antony Hewish, 1924—)因在射电天体物理方面的

开拓性研究,特别是赖尔发明了孔径合成技术、休伊什在脉冲星的发现中起了决定性作用,他们共同分享了1974年度诺贝尔物理学奖。

赖尔在观测天体方面的第一个成就是他和他的同事史密斯在1948年发现了仙后星座的射电源。随后,他们又确定了北半天50个射电源的位置,并在此基础上编制了第一个剑桥星表,把发现的50个射电源依次编号。赖尔最杰出的贡献是发明了孔径合成技术。为了提高射电望远镜的分辨率,解决如何辨别射电源形状和细节问题,他提出了“孔径合成”技术的设想。他的发明避开了建造异常巨大望远镜等在工程方面的困难,而是采用小型元件,使之连续地移动以占据很大的全部孔面。他利用一台计算机来控制望远镜的进动和偏离,使它连续更换选作观察的图像中心的位置。从各对元件中得到的信号在接收器中得到合成,接收器的输出经过计算机采样后储存在磁盘中,待观察完毕后再将它们合成,然后借助绘图装置画出所观察区域的天体图。这种孔径合成技术,可以提供极其清楚的射电源图。孔径合成技术是现代天文学上一项重大的技术革新,它使射电天文观测达到了可与光学天文观测媲美的程度,标志着射电天文学进入了成熟阶段。

休伊什在射电天文学方面的造诣很深,在天文的实验观测方面作出了巨大的贡献。1967年,他用英国工业与科学研究部批准的1.7万英镑建成了一台高分辨率射电望远镜。剑桥研究小组利用这台望远镜对1000个以上的射电银河系进行了探测。他的一名女研究生伯内尔在半夜里实验时注意到一个弱的射电源明显地在3.7米的记录上发出很强的闪光,这种闪光平常是看不到的。随后,休伊什和他的同事们利用时间分辨率更高的记录对这种射电源进行了详细的研究,终于发现这种射电源发出的讯号是重复的脉冲。他们指出:这种脉冲讯号源是振动的中子星和超新星爆炸的产物。脉冲星的发现可与类星体和微波背景辐射的发现并列,是近代天文学的三大发现之一。

赖尔和休伊什是第一次获得诺贝尔物理学奖的天文学家。

1975年

阿格·玻尔(Aage Bohr, 1922—)、莫特尔松(Ben Roy Mottelson, 1926—)和雷恩沃特(James Rainwater, 1917—1986)因发现原子核内集体运动和粒子运动之间的关系,以及在这种联系的基础上

现代物理知识

发展了核结构理论,共同分享了1975年度诺贝尔物理学奖。

雷恩沃特在1950年发表了一篇震惊物理学界的论文。他在文中指出:原子核中大部分核子形成内核,其余的小部分核子围绕内核快速转动,并以配对关联相互作用。外层核子在核转动中产生了巨大的离心力,结果完全有可能破坏原子核球对称的结构。经过进一步研究,他明确地指出:只有在幻数附近的少数原子核才是球对称的,幻数之外的大量原子核是变形的。在这些变形核中,有一部分是拉长的,像一个长椭球;少数靠近幻数的原子核是压扁的,像一个扁椭球。他分别计算了这些变形核的伸长度和扁平度。这种变形,尤其是大的长椭球变形,比原子核壳层模型中单粒子运动所引起的效应要大得多,之所以如此,是由于多核子运动产生集体效应的缘故。他的理论进一步完善了原子核壳层模型理论,为建立“原子核集体运动模型”奠定了基础。

阿格·玻尔与雷恩沃特一起工作时,发现原子核并不都是球对称的。1950年他回到哥本哈根后,与莫特松一起又作了进一步的研究。1953年,他与莫特松联合署名发表了他们的研究成果。他们指出:许多原子核在基态时就是变形的;球对称基态的原子核也可以有变形的激发态。在这些激发态上,能够建立起能带,这说明变形核显示出转动的能谱。他们还指出:原子核中核子的运动可以分解为快速的独立粒子运动和相对慢速的集体协同运动。原子核的集体运动,除了转动之外,还有振动。他们还设计出一种新的方法,用以处理原子核的振动。利用核子平均密度和核的平均场同步涨落的假定,借助求和规则,他们探讨了核振动与独立粒子运动的关系,建立了一个基于粒子运动的核振动简化理论。崭新的原子核结构理论——“原子核集体运动模型”就此诞生。

原子核集体运动模型进一步揭示了原子核内部结构的秘密,描绘出更接近原子核实际结构的物理图像。

1976年

丁肇中(Samuel Chao Chung Ting, 1936—)和里克特(Burton Richter, 1931—)因各自独立地发现了后来称为 J/ψ 的新粒子,共同分享了1976年度诺贝尔物理学奖。

1974年,由里克特领导的实验小组,在斯坦福直线加速器中心实验室进行电子-正电子碰撞实验, 13卷3期(总75期)

发现了一个形迹可疑的粒子。经过继续研究,终于确定这种粒子是一个新的很重的中性介子,寿命比一般介子的合理寿命要长5000倍。它的静止质量很大,约是质子的3.3倍,比在此以前发现的任何粒子的质量都大得多。他们把它命名为 ψ 粒子。与此同时,布鲁克海文国家实验室以丁肇中为首的实验小组,在观察两个质子碰撞后产生的电子-正电子对时,也有相同的发现,并将其发现的粒子命名为J粒子,即丁(肇中)粒子。在他们未能就新粒子的名称取得一致意见的情况下,科学家们便采取了两全其美的办法,称之为 J/ψ 粒子,以表明它既是同一粒子,又是两人各自独立发现的。

J/ψ 粒子的发现,证实了存在第四种夸克——c(粲)夸克的理论预测。因此,里克特小组和丁肇中小组不仅仅是发现了一个新粒子,而是打开了一个未知的、包含一大类新粒子的研究领域。

1977年

安德森(Philip Warren Anderson, 1923—)、范弗莱克(John Hasbrouck Van Vleck, 1899—1980)和莫特(Nevill Francis Mott, 1905—)因对磁性和无序系统的电子结构的基础性研究,共同分享了1977年度诺贝尔物理学奖。

安德森在非晶态物质的研究中,创立了局域化理论。他在1958年发表的“关于无规介质中波的传播”的论文中证明了在某些情况下电子可能被限制在一个很小的区域内,这一现象后来被称为“安德森局域性”。现在,安德森的局域化理论已经成为研究无序体系的理论基础,对于理解“弱凝聚物质”是必不可少的。1961年,安德森在“关于微磁体”的论文中揭示了大块物质磁性的微观起源,并建立了著名的“安德森模型”。安德森模型是一个量子模型,它能用于解释诸如超导转换温度和杂质效应等许多基础物理问题,因此很快得到物理学界的承认。

范弗莱克对抗磁性和顺磁性的量子力学理论做出了重大贡献。1927年,他发现了抗磁性离子在结晶时呈现顺磁性。后来,他又研究了电介质的极化率和磁化率,并于1932年出版了《电极化率与磁化率理论》一书,对这一方面的工作进行了总结。他采用量子力学的表述方法,揭示了物质磁性的奥秘,从而打开了通向现代磁学的大门。因此,他被誉为“现代磁学之父”。范弗莱克还发展了晶体中磁相互作用的量子力学理论。在研究晶体时,他使用了晶体场与配位场的概念。这些场是给定的原子中的电子

所经受的场,它们是由于在邻近区域里存在其他离子或原子而引起的。因此,这种系统的能量状态的改变会导致电、磁和光学性质的改变。这些带有根本性的见解,不仅在理解固体激光器等方面是极其重要的,而且在化学、分子生物学和地质学的研究中也都是十分重要的。

莫特从20世纪50年代开始研究无序体系物质。他在安德森局域化理论的启发下,深入探索了非晶态体系中的电子过程,使安德森局域化理论更加完善,并使之得到了广泛的应用。他把能带理论用于非晶态物质,描述了这类物质中的电子行为,成功地解释了它们的导电特性。他首先注意到:在晶态体系中锐利的能带边完全是由于原子排列的周期性引起的;而非晶态体系,则是由于原子排列的无序性使能带拖着一个“尾巴”,呈现出一些分立的能级,因此电子只能局限在材料中某个确定的位置。他进一步指出:每个能带都有着延展态和局域态的明确分界处。在安德森局域化出现之前的一刹那,电导率为一常数,这个常数称为“最小金属态电导率”。莫特给出了分别相应于高温和低温情况的两个简洁的电导率公式。他把电导率的微观图景看成温度 T 的函数,描述了电导率决定于费米能级和迁移率边界的相对位置,从而导致了后来他的两项最重要的贡献:最小金属电导率和 $T^{1/4}$ 跳跃。差不多在同一时期,科恩、弗里茨斯克和奥费辛斯基对这一理论也做出了各自的贡献。因此,后来人们把他们的理论称为“Mott-CFO(莫特-科弗奥)模型”。这个模型是非晶态体系中电子能态的最基本的模型。莫特开拓了作为固体物理新领域的非晶态物质电子过程的研究,被誉为这个新的分支学科的奠基人。

1978年

卡皮查(Pyotr Leonidovich Kapitsa,1894—1984)因在低温物理基础研究方面的重大贡献、彭齐亚斯(Aron A. Penzias, 1933—)和罗伯特·威尔逊(Robert Woodrow Wilson, 1936—)因发现宇宙微波背景辐射,共同分享了1978年度诺贝尔物理学奖。

卡皮查发明了脉冲强磁场技术和活塞膨胀机型氦液化器,为在极端条件(强磁场和极低温)下研究物性开辟了道路。卡皮查在科学上最大的贡献是通过液态氦的一系列实验于1937年发现了液态氦的超流动性。他发现温度低于2.17K时流过狭缝的液态氦的流速与压差无关,并得出结论:温度低于

2.17K时,液态氦是超流动的,液体内部以及液体与器壁之间都没有摩擦力。1941年,卡皮查还发现,当热流经过固体与超流氦的界面时,温度在界面上有一个不连续的跃变。这一现象被称为卡皮查热阻。

彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊是在贝尔实验室工作时发现宇宙微波背景辐射的。当时,他们利用一个异常灵敏的无线电天线接收机系统,对来自银河系的射电噪声进行了测量。在1964年,他们偶然发现了一个来自各个方向的、宇宙背景的微弱无线电噪声。他们认真总结了早期工作的经验,跳出传统的框架,深入研究所测到的噪声。为了能与来自天空中的噪声作比较,他们动手安装了一个低温参考噪声源。他们发现,与来自天空中的噪声相比,他们所测得的噪声总是比从天空中接收到的任何已知噪声源的噪声总和还要大。他们逐一地排除了各种可能的干扰,终于断定这是一种来自他们当时还不了解其来源的辐射,并初步测得与它相应的黑体辐射温度是3.5K。后来,他们从普林斯顿大学理论物理学家皮尔布斯关于“大爆炸宇宙起源会留下射电噪声残余物”的理论预言中得到启示,经过深入探讨后,终于得出结论:他们在实验中所观测到的,正是这种宇宙微波背景辐射。他们的工作为宇宙起源的大爆炸理论提供了有力的实验证据。

1979年

格拉肖(Sheldon Lee Glaschow, 1932—)、温伯格(Steven Weinberg, 1933—)和萨拉姆(Abdus Salam, 1926—),因对基本粒子之间的弱作用和电磁作用统一理论的贡献,尤其是对弱中性流的预言,共同分享了1979年度诺贝尔物理学奖。

在自然界中存在4种基本力:引力、电磁力、强力和弱力。多年以来,关于电磁力已有了很成功的理论,人们认为带电粒子之间的相互作用是由于交换光子而产生的。但是按照这种解释,不能正确地理解弱力。因为如果这样,传送弱力的粒子就应质量很大,而不像光子那样静止质量为零。另外,依据这种理论的计算总是包含无法理解的无穷大。1967—1968年,温伯格和萨拉姆各自独立地提出了一种电磁作用和弱作用统一的量子场论,从而解决了这些问题。但是,他们的理论有一个不能令人满意的局限性:它只适用于一类基本粒子。1970年,格拉肖将这一概念作了进一步推广,证明了亚核粒子的某种数学性质(他称之为粲)能够使人们将电磁力和弱力之间的这种联系推广到所有的基本粒子。格

现代物理知识

科技日报

邮发代号 1-97

国外代号 D-960

《科技日报》是由科学技术部、国防科工委、中国科学院、中国科协联合创办的国家级日报。它的宗旨是全面、及时、准确地宣传党和国家的科技方针、政策及我国科技战线的重大成就，探讨科技创新和科技改革中的热点、难点问题，视角对准先进的生产力和社会先进发展方向，弘扬科学精神，倡导先进文化。

《科技日报》月订价 20.00 元，年订价 240.00 元。

全国各地邮局均可订阅，国外由中国国际图书贸易总公司发行。

科技日报社地址：北京复兴路 15 号 邮编：100038

电 话：(010)68514041(传真) 68515544—4745

拉肖、温伯格和萨拉姆的弱电统一理论预言：由于弱力的作用，当电子猛烈撞击原子核后弹回时，检测到的左旋电子和右旋电子的数目将会有明显的差别。这种“宇称破坏”，后来在斯坦福大学的直线加速器实验中心确实被发现了。根据他们的弱电统一理论，除了存在电荷流的弱相互作用外，还应存在中性流的弱相互作用，即在反应过程中入射粒子和出射粒子之间没有电荷交换。例如， $p + e^+ \rightarrow p + e^+$ 。后来美国费米国家实验室和欧洲核子研究中心都在实验中发现了他们预言的中性流。

弱电统一理论现已为许多实验所证实，它使现存的 4 种基本相互作用实现了部分统一。统一场论是爱因斯坦继创立相对论后毕生追求的目标，尽管弱电统一理论距离爱因斯坦所设想的包括引力场在内的统一场论还很远，但终究使人类在揭示自然奥秘的征途中又前进了一大步。

1980 年

克罗宁 (James Watson Cronin, 1931—) 和菲奇 (Val Logsdon Fitch, 1923—) 因发现中性 K 介子的复合宇称 (CP) 不守恒，共同分享了 1980 年度诺贝尔物理学奖。

20 世纪 50 年代以前，物理学家都认为宇称 (P) 守恒定律、电荷共轭 (C) 守恒定律、时间反演 (T) 不变定律和能量-动量守恒定律一样，是粒子物理中最基本的定律。1956 年，李政道和杨振宁发现：在弱

作用中，P 是不守恒的。后来，人们又进一步发现：在弱作用中，C 也是不守恒的。但是，人们把 CP 联合守恒仍作为粒子物理学中一条不可违背的基本规律。1964 年，克罗宁、菲奇及其合作者首次从实验中找到了破坏 CP 守恒的事例。就像李、杨发现在弱作用中 P 不守恒是由带电 K 介子引起的一样，他们的这一发现也是由 K 介子引起的，只不过这次是中性 K 介子。他们利用从加速器出来的 30GeV 的质子去轰击铍靶，再把轰击后产生的许多新粒子通过磁场进行过滤，得到一束中性 K 介子。中性 K 介子有两种状态：长寿命的 K_L 和短寿命的 K_S 。经过一段距离， K_S 就衰变掉了。这时，他们去测量 K_L 衰变出来的 π 介子。如果 CP 守恒， K_L 只能衰变为 3 个 π 介子，而不能衰变为 2 个 π 介子。因此，如果 K_L 衰变为 2 个 π 介子，那么 CP 肯定不守恒。实验发现：每 1000 次 K_L 衰变事例中总有 2 起违背 CP 守恒，即有 2 起事例是 K_L 衰变为 2 个 π 介子。

克罗宁和菲奇的发现引起了粒子物理学界极大的轰动，因为这是继发现宇称不守恒以来又一次重大发现：它意味着时间反演即使在微观过程中也是不对称的。这一发现同时也在天体物理学中引起了巨大的反响，因为用它可以解释宇宙学中一个长期悬而未决的问题，即宇宙极早期演化过程中的粒子生成问题。

(待续)