

诺贝尔物理学奖

百年回顾

厉光烈 李 龙

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)



(续前)

1961年

霍夫斯塔特 (Robert Hofstadter, 1915—1990) 因开创电子与原子核散射方面的研究并运用这种方法获得了有关原子核结构的概貌, 穆斯堡尔 (Rudolf Ludwig Mossbauer, 1929—) 因研究 γ 辐射的共振吸收并发现了以他的名字命名的穆斯堡尔效应, 共同分享了 1961 年度诺贝尔物理学奖。

从 1950 年开始, 霍夫斯塔特就利用斯坦福大学直线加速器提供的高能电子轰击金、铅、铝和铍等原子核靶, 然后按照电子的能量以及它们偏离入射方向的角度把电子进行分类, 从而描绘出核内核子电荷分布的图像, 进而得到原子核结构的概貌。随后, 霍夫斯塔特又用能量高达 10 亿电子伏特的高能电子去观察原子核内的单个中子和质子, 他发现质子和中子具有同样的大小和形状, 直径约为 10^{-13} 厘米。

当一种原子核发射的电磁辐射 (γ 辐射) 作用于同一种原子核上时, 一般不会发生共振吸收, 这是因为原子核要受到反冲, γ 辐射的能量和频率将会减小。在穆斯堡尔效应被发现以前, 一般采用补偿反冲能量损失的办法来研究 γ 辐射的共振吸收, 但是, 这样观察到的共振谱线的宽度远大于核谱线的自然宽度, 共振吸收的信号太弱, 本底太强, 使得核谱线共振吸收技术的应用受到很大限制。1958 年, 穆斯堡尔在研究铪低温 γ 辐射共振吸收实验时发现: 如果发射或吸收 γ 辐射的原子核束缚在晶体的晶格中, 便可以消除原子核反冲及其对波长的影响。这种无反冲的 γ 辐射共振吸收效应就被称为穆斯堡尔效应。1960 年, 人们利用穆斯堡尔效应成功地验证了爱因斯坦在相对论中预言的引力红移。现在, 穆斯堡尔效应应用十分广泛, 除了是研究固态物理微

观结构的一种有力工具外, 它的应用几乎遍及物理学的各个部门, 甚至在化学、分子生物学、地质学和医学等方面也都起着广泛和重要的作用。

1962年

朗道 (Lev Davidovich Landau, 1908—1968) 因对凝聚态物质的开创性研究, 特别是创立了液氦的超流动性理论, 获得了 1962 年度诺贝尔物理学奖。

朗道在物质凝聚态方面进行过许多继往开来的基础性研究工作, 有人甚至认为, 从固体物理学到凝聚态物理学的过渡是从朗道的工作开始的。1941 年, 朗道创立了液体氦的超流动性理论。他用数学方法解释了温度处于 2K 的液氦为什么会失去粘滞性而无磨擦地流动, 为什么其热传导率比铜在室温下的热传导率还要大 800 倍的问题。他还预言, 在超流氦中声音将以两种不同的速度传播: 一种是大家熟悉的压力波; 另一种就是所谓的“第二声”, 即温度波。1944 年, 佩歇科夫实验证实了他的这一预言。

朗道的学术研究领域非常广阔, 人们借用宗教名词把他的 10 项最重要的科学成就称为“朗道十诫”: 量子力学中的密度矩阵和统计物理学; 自由电子抗磁性理论; 二级相变的研究; 铁磁性的磁畴理论和反铁磁性的理论解释; 超导体的混合态理论; 原子核的几率理论; 氦 II 超流性的量子理论; 基本粒子的电荷约束理论; 费米液体的量子理论; 弱相互作用的 CP 不变性。

朗道的科学生涯, 在 1962 年 1 月 7 日的一起车祸中不幸中断, 从此以后再也没有恢复正常。著名科学家卡皮查曾这样评价朗道的工作: “朗道在整个理论物理学领域都做了工作, 所有这些工作都可以用一个词来描述——卓越。我们都非常爱戴他, 为他的工作现在得到了世界公认而感到骄傲。”

1963年

维格纳 (Eugene Paul Wigner, 1902—1995) 对原子核和基本粒子理论所做的贡献, 特别是对称性基本原理的发现和运用, 获得了 1963 年度诺贝尔物理学奖的一半奖金, 迈耶 (Maria Goeppert Mayer, 1906—1972) 和延森 (Johannes Hans Daniel Jensen, 1907—1973) 因发现原子核壳层结构共同分享了 1963 年度诺贝尔物理学奖的另一半奖金。

1927 年, 维格纳指出原子的两类不同能级来自于描述原子的波函数在空间反射变换下具有不变性。这种对称性很快在原子光谱分析中得到了利用, 后来又被应用于原子核物理和粒子物理, 进一步发展成为一条普遍规律——宇称守恒定律。现在人们知道, 宇称守恒定律仅在强相互作用和电磁相互作用中适用, 在弱相互作用中并不适用。维格纳将高深莫测的群论应用于量子力学, 并以群论为基础, 发展了原子的能级理论。在将群论应用于原子物理学的研究中, 他发现核子之间存在一种非电磁性的作用力——核力, 它比电磁力强, 正是这种作用力使核子结合在一起, 但当核子之间的距离大于 0.5×10^{-12} 厘米时, 这种力就很快消失。他的这一发现使人们对原子核的认识进入一个崭新的阶段。维格纳和塞茨对固体中电子波函数的处理方法为固体物理学奠定了基础。维格纳将群论成功地应用于原子物理学, 成绩卓著, 为原子物理理论, 同时也为原子核与基本粒子理论的发展作出了巨大贡献。

20 世纪 30 年代, 人们发现, 当质子和 (或) 中子的数目是所谓的“幻数” (即 2、8、20、28、50、82 和 126) 时, 这些质子和 (或) 中子在原子核中都形成特别稳定的结构。由于原子核的液滴模型无法解释这些幻数, 人们便试图按照玻尔和泡利对元素周期律的成功解释去类似地理解这些幻数, 即假定核子 (质子和中子的统称) 都在一共同力场中的轨道上运动, 这些轨道按所谓的壳层排列, 幻数就代表与下一个壳层截然分开的完整壳层所能填充的核子的数目。然而, 这种解释只对轻核才是成功的。1948 年初, 迈耶和延森同时独立地建立了使壳层模型易于被人们接受的概念。他们的关键想法是: 当核子的自旋方向与它绕原子核中心旋转的方向相同或相反时, 核子的能量是不同的, 每个核子的自旋和轨道角动量之间都存在着使这两个矢量趋于平行的强耦合。迈耶和延森合作证明了这些幻数是如何与壳层模型中具有最大稳定性的核相对应的, 并在 1955 年合作出

版了《原子核壳层结构基本理论》一书。在这本书中, 他们证明了幻核及其邻近核应该具有某些特殊性质, 例如, 幻核捕获慢中子的几率较小。他们还预言了核的角动量值以及在角动量值较大的区域人们应能发现大量的同质异能素。后来, 实验证实了他们的这些预言。

1964年

汤斯 (Charles Hard Townes, 1915—)、巴索夫 (Nikolai Gennadiyevich Basov, 1922—) 和普洛霍罗夫 (Aleksandr Mikhailovich Prokhorov, 1916—) 因在量子电子学方面的基础性研究工作——他们的工作导致了基于微波激射—激光 (Maser—Laser) 原理的振荡器和放大器的建成, 获得了 1964 年度诺贝尔物理学奖。

早在 1917 年, 爱因斯坦就为解释黑体辐射定律, 首先提出了关于光的发射与吸收有受激吸收、受激辐射和自发辐射三种基本过程的假设, 但在这以后相当长的一段时间内, 有关受激辐射的研究未能引起人们足够的重视。直到 20 世纪 40 年代末、50 年代初, 人们在研究微波波谱学的过程中才首次注意到利用物质体系特定能级间的粒子数分布反转和相应的受激辐射过程来对入射的微波电磁辐射信号进行相干放大的可能。在此设想的推动下, 美苏两国科学家小组在 1954 年前后分别独立地研制成功了第一批微波激射器。美国科学家汤斯试用了多种不同的技术, 设法制造出能够产生更短波长的振荡器。1954 年, 他利用氦气作为放大介质, 制成了第一个分子振荡器和放大器, 并用 Maser 这个名称来表示这种受激辐射的微波放大器。这是人们利用粒子数反转的受激辐射原理来实现对电磁辐射进行相干放大或振荡的第一次成功。后来, 人们很自然地想到是否可把相同的原理推广到电磁波的光频段, 以产生强相干光辐射。1957 年, 汤斯开始致力于研制可见光范围内的激光器, 并完整地论述了微波激射器和激光器的原理, 对这方面的发展起了重要作用。1960 年, 美国首次研制成功第一台激光器——红宝石激光器。随后不久, 人们相继成功地研制出一系列其他种类的激光器。与此同时, 苏联科学家巴索夫和普洛霍罗夫也独立地进行着这方面的研究。20 世纪 50 年代初, 他们运用量子系统创立了一种电磁辐射产生、放大的基本原理, 并提出构成反布居状态的有效而又通用的方法——电磁辐射选择吸收法, 并于 1955 年制成了氦分子束微波激射器。

现代物理知识

巴索夫还是第一个研制出半导体激光器的科学家。1958年,他首先提出了用半导体制造激光器的想法,后来实现了通过P-N结、电子束和光泵激发的各种类型的激光器。

微波激射器和激光器在天文学、宇航学、医学和工业通讯等领域也都得到了广泛的应用。

1965年

费恩曼(Richard Phillips Feynman, 1918—1988)、施温格尔(Julian Seymour Schwinger, 1918—1994)和朝永振一郎(Sin-itiro Tomonaga, 1906—1979)因在量子电动力学方面所做的对基本粒子物理学具有深刻影响的基础性研究,共同分享了1965年度诺贝尔物理学奖。

20世纪20年代建立的处理电子与电磁辐射相互作用的量子场论成功地描述了原子内光的辐射和吸收、喇曼效应、康普顿效应、光电效应以及正负电子对的产生,但是,这种场论存在“发散”困难,即在许多计算中都会得到无穷大这一荒谬的结果。朝永振一郎和施温格尔分别提出,要消除“发散”困难,就应该考虑电子的质量会因电子和场的相互作用而改变,必须进行“重整化”。“重整化”方法能够很好地解释兰姆位移和电子的反常磁矩。

费恩曼在研究量子力学基本问题的过程中,运用作用量的表现形式,建立了量子力学的路径积分方法,并用它重新写出了整个量子电动力学,使之具有相对论协变性。他把基本过程看作是粒子从一点到另一点的传播,并用简单图形来描绘基本粒子之间的相互作用,这就是粒子物理学家十分熟悉的费恩曼图。

费恩曼、施温格尔和朝永振一郎彼此独立地创建了物理学中也许是最近乎完美的理论,他们三人提出了各自独特的想法,却得出了一致的结论。他们提出的量子电动力学理论正确地描述了电子、光子及其相互作用,经受住了十分精确的实验检验,成为描述电磁相互作用的基本理论。

1966年

卡斯特勒(Alfred Kastler, 1902—1984)因发现和发展研究原子中赫兹共振的光学方法,获得了1966年度诺贝尔物理学奖。

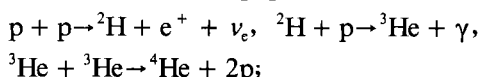
我们知道,原子能级在磁场中会发生劈裂,为了辨认和了解这些磁支能级,卡斯特勒等人发现和发展了双共振方法——即使原子的光学频率的共振和射频电磁波(赫兹波)的磁共振同时发生的方法。对

于原子激发态的磁支能级之间的磁共振,由于激发态的粒子数非常少,不可能直接观察到。当用一束极化的光来使原子激发时,并不是激发态的所有磁支能级都能得到相等数目的粒子,而且这些磁支能级之间的辐射跃迁也不是各向同性的,在某个特定方向的辐射将是部分偏振的。此时,若再施加一个射频场,引起磁支能级之间的辐射跃迁,那么通过研究重新发射的光就可以探测激发态中磁支能级的射频跃迁。对于原子基态的能级之间的共振,因信号非常微弱,难于直接观察,当用一束极化的光照射时,只有其中一个磁支能级吸收光跃迁到激发态,然后激发态又会自发辐射回到基态,这样就增加了基态各磁支能级之间的布居数,极大地增强了磁支能级之间的磁共振信号。卡斯特勒的方法大大增加了探测磁共振信号的灵敏度,使人们多了一个研究原子能级结构的精密手段,而且从他的工作中已经产生了有价值的实用仪器,例如,在一万年中误差仅为一秒的原子钟和能够测量像地球周围磁场那样弱的磁场的磁强计。

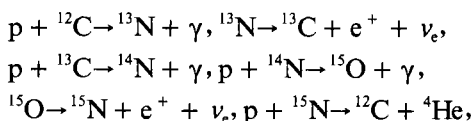
1967年

贝特(Hans Albrecht Bethe, 1906—)因对核反应理论的贡献,特别是发现恒星能源,获得了1967年度诺贝尔物理学奖。

20世纪30年代末,贝特分别与克里奇菲尔德和魏茨塞克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 ${}^{12}\text{C}$ 为催化剂的碳氮(CN)循环:



燃烧,转化为氦。在考虑了恒星的各模型之后,贝特进一步指出: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。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。为此,他成为在核天体物理领域第一个获得诺贝尔物理学奖的人。

贝特是一位多产的物理学家。他在量子力学、固体理论、原子核物理、粒子物理和天体物理等方面都做出了重要贡献:1929年他详细研究了晶体场理论,被誉为晶格场理论之父;1936年他首先计算了

核谱中的能级密度;1947年他独立地提出质量重整化的概念来解释能级的兰姆位移;1951年他给出了描述两个相互作用粒子系统的贝特-萨佩特方程等等。在美国核物理学界,贝特享有很高威望。

1968年

阿尔瓦雷斯(Luis W. Alvarez, 1911—1988)因对基本粒子物理的决定性贡献,特别是因他发展了氢气泡室技术和数据分析方法,从而发现了一大批共振态,获得了1968年度诺贝尔物理学奖。

1954年,高能(6.2GeV)质子同步稳相加速器首次运转时,识别到某些粒子。由于这些粒子的寿命(10^{-10} 秒)远比理论模型所预言的产生时间(10^{-23} 秒)长得多,因而人们将它们称为“奇异粒子”。要仔细研究这些粒子,电子计数器显得不够了,云室的循环周期又太长,而核乳胶又不能记录中性粒子或提供时间分辨。1953年4月,在华盛顿召开的一次会议的午餐上,格拉泽给阿尔瓦雷斯看了粒子通过一个2厘米的玻璃瓶中的乙醚时所留下的气泡径迹的照片。阿尔瓦雷斯回到伯克利就组织了以下三个方面的基本粒子物理研究工作:设计液氢气泡室;发明半自动径迹测量设备;编排计算机程序,使复杂的径迹数据化成物理上有意义的形式。经过悉心研究,制成了一套体积比格拉泽气泡室大得多的氢气泡室。1954年,阿尔瓦雷斯第一个发现在液氢上的带电粒子径迹。随后,阿尔瓦雷斯及其研究小组逐步增大气泡室的尺寸,并于1959年建成了直径为72英寸的巨大的氢气泡室。阿尔瓦雷斯还对径迹灵敏的装置应用了投影显微镜,并根据径迹在磁场中的弯曲程度来确定与每条径迹相应的粒子的动量。然后,根据一个“运动学程序”,计算机辨认出一次事例中每个粒子的“名字”。到1968年,经过改进的仪器,每年测量的事例量超过100万件,几乎等于所有其他实验室工作量的总和。利用这一技术,科学家们发现了一大批共振态。

1969年

盖尔曼(Murray Gell-Mann, 1929—)因对基本粒子的分类及其相互作用方面的卓越贡献,获得了1969年度诺贝尔物理学奖。

最初,电子、质子和中子被认为是基本粒子,所有物质都是由它们构成的。后来,在20世纪40—50年代,先在宇宙线事例中,后又在高能加速器中发现了一些新的不稳定粒子。其中,有些粒子(介子)的质量大约为电子质量的1000倍;有些具有 10^{-10} 秒

的长寿命,与所期望的强相互作用的寿命 10^{-23} 秒相比,显得很“奇异”。盖尔曼发现几乎所有的已知粒子都可被分成族或多重态,而这些多重态又显示出与挪威数学家李研究过的李群表示相对应的几何图样。当把这些几何规律应用于粒子物理学时,就出现了一种既能解释多重态中粒子的性质,又能预言新粒子存在的理论,这有点类似于门捷列夫在构造元素周期表时所取得的成功。大约在1961年,盖尔曼和以色列物理学家尼曼彼此独立地发展了这种新理论,盖尔曼将它称为八重法(依据佛教关于八种正确的生活方式能免遭痛苦的劝说而命名)。按照称之为SU(3)群的数学结构,盖尔曼在定义了一个新量子数——奇异量子数S以后,将一些同位旋多重态组合成超多重态。1962年,盖尔曼据此预言存在质量为1532MeV和1679MeV的粒子,1964年这两种粒子(分别称为 Σ_{10} 和 Ω^-)均被发现了,这就突出了该理论的重要性。

为了进一步从理论上解释构成强子的组分粒子,盖尔曼在坂田模型和八重态方法的基础上于1964年提出了“夸克模型”的设想。按照这种模型,所有已知的基本粒子都是由三种更为基本的粒子——“夸克”组成的。“夸克”一词,取自乔伊斯在《芬尼根的觉醒》中所说的:“为检阅者马克,叫三声夸克”。利用夸克模型,可以很好地解释重子的八重态、十重态以及介子的八重态。

1970年

阿尔文(Hannes Olof Gosta Alfvén, 1908—1995)因在磁流体动力学方面的基本研究和发现,及其在等离子体物理中的不同部分的卓有成效的应用,奈尔(Louis Eugene Felix Neel, 1904—)因对固体物理学有重要应用的铁磁和反铁磁方面的基本研究和发现,共同分享了1970年度诺贝尔物理学奖。

阿尔文开拓了磁场中导电气体的磁流体动力学的研究领域。磁流体动力学理论描述等离子体(在高温时电离原子和电子的混合物)在磁场存在时的流动行为。他是首先意识到等离子体是宇宙中比固态、液态或气态更为普遍的物质状态的科学家。1942年,他在太阳黑子的研究中发现了太阳中电离气体的磁流体波,现在称之为阿尔文波。这种磁流体动力波,也可以存在于晶体和地球的大气层中,甚至到处可以发现,它对理解许多等离子体现象都很重要。阿尔文关于磁流体动力学的研究对于受控热核反应的发展,超音速飞行,为外空推进器提供动力

现代物理知识

重轻子理论的先驱——蔡永赐

郑志鹏 江向东

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

与世界上设立的名目繁多的奖励相比,诺贝尔物理学奖无疑最具公正性和权威性。从1901年至2000年,该奖获得者共计162人次。几乎可以说,所有获奖人无一是获奖领域的先驱者和开拓者,其物理学成就都是经得起历史检验的,都无愧于诺贝尔物理学奖这个至高无上的科学荣誉。然而,诺贝尔物理学奖却令人遗憾地未能做到“四海无遗珠”,除了以前引起过议论的一些例子之外,这里介绍的对重轻子(即 τ 轻子)理论做出了开拓性贡献的蔡永赐(Yung-su Tsai)教授,也成了诺贝尔物理学奖的一颗“遗珠”。

1975年首次在实验上观察到了重轻子的美国斯坦福大学实验物理学家马丁·佩尔(Martin L. Perl),因对重轻子的这一贡献荣获了1995年诺贝尔物理学奖的一半,另一半授给了因1953年探测到了中微子的美国欧文加州大学的物理学家弗雷德里克·莱因斯(Frederick Reines)。这两位物理学家获得了诺贝尔奖是无可非议的。我们觉得遗憾的乃是,



题图:1999年9月于SLAC,从左至右蔡永赐,潘诺夫斯基,郑志鹏。

作为重轻子的预言人、实验思想和实验方法的倡导者蔡永赐,对重轻子物理的这等不容忽视的贡献却受到了不应有的忽视。

蔡永赐1930年生于台湾玉里。1953年毕业于台湾大学。1954年到美国明尼苏达大学攻读博士学位。他的博士论文属于实验核物理领域,而他的兴趣却在量子电动力学方面。4年后,他以优异的论文获得了博士学位,他的才干很快就为斯坦福直线加速器中心(SLAC)的所长潘诺夫斯基所赏识,1958年他得到了在SLAC做博士后研究的位置。他来到SLAC之后继续研究量子电动力学,并为实验项目做理论计算。不久,他就深入到“辐射修正”的研究并且取得了丰硕的成果。在他不到30岁的1960年,就得以在国际高能物理大会上作特邀报告,是时海森伯、费恩曼、李政道、杨振宁和盖尔曼等数百位物理学家都颇有兴趣地听他演讲。

从60年代起,蔡永赐就十分重视电子-缪子(μ 子)问题。 μ 子是尼德尔迈耶于1936年在云室中发现的来自宇宙线的粒子,后来也能在加速器中产生,才有可能被仔细研究。将 μ 子与质子的非弹性散射

以及飞行器重新进入地球大气圈时的制动都起着非常重要的作用。

大约到1930年为止,有3种磁的状态已被确认并得到解释,这就是反磁性、顺磁性和铁磁性。1932年,奈尔增加了第四种状态:反铁磁性。他提出了一种晶格模型,它由两套格子交错而成,而其磁场以相反方向作用,使可观察到的场互相抵消。他还证明,这种有序状态在某一温度时会消失,这个温度现在称为奈尔点,与铁磁现象中的居里点相类似。1948

年,奈尔解释了在铁氧体材料中发现的强磁现象。他把铁氧体材料称为亚铁磁体,认为在这些物质中,晶格可能具有不同的强度,因而会产生外场。例如在磁铁矿中,有3个铁原子、4个氧原子,其中两个铁原子的影响互相抵消,而第三个给出了可观测到的磁场。由于亚铁磁体物质的不导电性,在电话学、磁带涂层、计算机的记忆磁芯和低损耗的高频率技术中都极其有用。

(待续)