

科学中国人的历史丰碑

——纪念弱作用中宇称不守恒发现 40 周年*

张欣

(石油大学数理系, 山东东营 257062)

1956年,物理学家李政道和杨振宁发现弱作用中宇称不守恒.同年底,吴健雄为验证此观点首次实验成功.次年1月初,吴健雄等3人小组的实验均获成功.由此,物理世界被震撼,李政道和扬振宁同获1957年度的诺贝尔物理学奖.今年(1996)正值此重大发现40周年.

今年还是华裔物理学家丁肇中因发现J粒子而获1976年度诺贝尔物理学奖20周年;华裔物理化学家李远哲因发展交叉分子线束方法研究大分子化学反应动力学而获1986年度诺贝尔化学奖10周年.又喜逢丁肇中和李远哲共同60寿辰.

所以,1996年确实是个令人兴奋的年代,是纪念中国学者世界级光辉业绩的年代,是象征科学中国人的历史丰碑的年代.

1 “神圣自然定律”的推翻

物理学中,对称性与守恒律密切相关.一般说来,一个对称性相应于某种变换下的不变性,必然对应一个守恒定律.在微观世界中,左右对称性或镜像对称性,相应于空间反演不变性,将导致系统的宇称守恒.宇称(parity)是描写一个系统的状态在空间反演下变换方式的量子数.假设一个粒子的状态和它在空间反演后的状态(镜像)相同,则称这个粒子有偶宇称(记为 $P = +1$);若其空间反演后的状态与原状态反号,则称这个粒子有奇宇称(记为 $P = -1$).宇称守恒定律最早于1924年为拉波特(O. Laporte)所发现.他在分析复杂原子的光谱时发现有两种谱项,分别对应偶能级和奇能级,跃迁只能由偶变奇,或由奇变偶.后来定义偶能级具有 $+1$ 宇称,奇能级具有 -1 宇称.而光子的

宇称定义为 -1 .于是在发射一个光子的跃迁过程中,初态的宇称等于终态的宇称,即宇称守恒[例如,初态偶能级宇称为 $+1$,终态的宇称为奇能级宇称 -1 与发射光子宇称 -1 之积: $(-1) \cdot (-1) = +1$,与初态相同].1927年,维格纳(Wigner)证明这是原子中电磁作用的镜像对称的结果.这一基本思想被迅速推广到其他领域,如核反应、衰变、介子相互作用和奇异粒子物理中.宇称的概念和宇称守恒定律深入人心,其成功被看作是验证了美好的左右对称性.

直到1955年前,宇称守恒定律始终被当成物理学家所钟爱的神圣原理.物理学家们不愿意设想自然界会偏爱左或偏爱右,认为自然界会接受像主人把尊贵客人的位子安排在自己的右方这样一类习俗似乎是荒唐的.自然界会有“手征”吗?上帝会是左撇子吗?.....但是,物理学界随后就被震撼了.

50年代中期,粒子物理中发现了一些新奇现象.有一种能衰变为2个 π 介子的 ρ 介子,还有一种能衰变为3个 π 介子的 ω 介子.而早已确定 ρ 介子的宇称是奇的 $(-1)^{2+1}$ 状态的宇称为偶 $(+1)$, ω 介子的宇称为奇 $(-1)^{3+1}$.于是,如果衰变满足宇称守恒定律,那么衰变前的 ρ 与 ω 的宇称应该不相同.即 ρ 与 ω 不应该是同一种粒子.但是实验又测出 ρ 与 ω 的质量相等,寿命也相同,它们就应该是同一种粒子.这就发生矛盾,即所谓 ρ - ω 之谜.要么宇称守恒, ρ 与 ω 不是同种粒子;要么 ρ 与 ω 是同种粒子,宇称不守恒.杨振宁描述说:“那时候,物理学家发现他们所处的情况就好像一个人在一间黑屋子里

* 1996年2月1日收到初稿,1996年4月12日收到修改稿.

摸索出路一样.他知道在某个方向上必定有一个能使他脱离困境的门.然而,究竟在哪个方向上呢?他们想:要么就是宇称守恒定律错了——这在世界物理学史上可是罕见的;要么就是我们的计算和推论错了……

然而,宇称守恒定律是个一直被公认的理所当然的金科玉律.要从根本上推翻一个历史上被公认的概念谈何容易.1956年4月底到5月初,李政道和杨振宁对 β -衰变之谜进行了深入细致的研究,发现在强作用和电磁作用过程中已经有确凿的实验证据证实宇称守恒,但是在支配 β -衰变的弱作用过程中宇称是否守恒还没有任何实验证据.于是他们大胆提出弱作用中宇称可能不守恒,与 K 是同种粒子(K 介子),并设计了一系列检验宇称是否守恒的实验.1956年6月,李、杨把一篇题为“宇称在弱相互作用中守恒吗?”的论文提交给《物理评论》.10月份正式发表.题目改为“弱相互作用中的宇称守恒问题”^[1](因为编辑规定,题目中不应该有问号).

1956年下半年,李、杨找到弱相互作用实验的权威人士吴健雄,并设法说服她来做这个关键的实验.

吴健雄被称为“实验核物理的执政女王”、“新时代的居里夫人”.她的实验以细心和简明确称.

李、杨对吴健雄说:“你曾出色地验证过费米的 β -衰变理论,因此想请你出山.”

吴健雄答应了李、杨的要求,放弃了原定的去欧洲访问讲学的计划,从纽约特地来到华盛顿的美国国家标准局,与其他四位物理学家安伯勒(E. Ambler)、海渥德(R. W. Hayward)、霍卜斯(D. D. Hoppes)和哈德逊(R. P. Hudson)一起,借助这里的仪器和设备进行实验.为检验宇称是否守恒,根据镜像对称,李、杨提出的涉及 β -衰变, β^- - μ^- 及奇异粒子衰变的一系列实验的基本原理是:安排两套实验装置,它们互为镜像且包含弱作用.然后检查这两套装置仪表上的读数是否总是相同.如果读数不同,就证明宇称不守恒.吴健雄小组为消除外界干扰的影

响,利用超低温技术,在极低温(0.01 K)下,观察强磁场中极化钴(Co^{60})原子核的 β -衰变,如图1所示^[7].

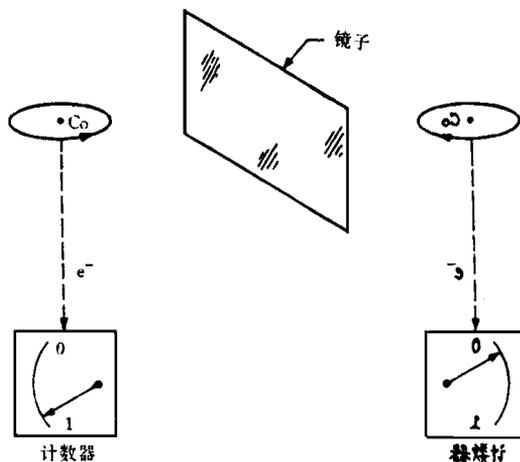


图1 Co^{60} 的 β -衰变实验图^[7]

如果宇称守恒,那么在互为镜像的自旋轴的正、反两个方向衰变放出的电子数应该相等.然而,12月2日,吴健雄小组发现,两个方向发射的电子数果然不一样!自然界第一次向吴女士亮出了它的“手征”.李、杨的理论是正确的!然而随后重复实验时遇到了一些困难.好像上帝要把他的“左手”收回去.但是,凭着吴健雄的勇气和细心,终于克服了困难,再次实验成功.1957年1月9日凌晨2时,实验圆满结束.结果是惊人的:两个方向测得的计数率不对称高达25%.经核极化度($\langle J_z \rangle / J = 0.65$)、电子速度比($v_e/c = 0.6$)以及反散射修正(30—35%)后,不对称系数 A 非常大,接近于最大不对称: $A = 1$ ^[2].

吴健雄立即打电话告诉李政道这一振奋人心的好消息.

另外两组物理学家确证了 $\beta^- - \mu^- - e$ 衰变中的宇称不守恒^[3,4].一组是芝加哥大学的泰莱弟(V. Telegdi)和弗里德曼(A. M. Friedman);一组是哥伦比亚大学的莱德曼(L. M. Lederman)、伽文(R. L. Garwin)和温里克(M. Weinrich).实验成功后,莱德曼欣喜地打电话告诉李政道:自然界确实是有“手征”的.你们的理论是正确的.宇称守恒定律在弱作用中已经

被推翻！

2 世界的震惊与“皇帝的新衣”

弱作用中宇称守恒律被推翻的消息震惊了全世界。各大报刊纷纷报道：“物理定律错了！”

“这个发现，比分裂铀原子的发现还重要，因为它揭示了物质奥秘的要害。”

“这个发现，可以和爱因斯坦推翻牛顿绝对时空观相媲美！”

当时的以色列总理本·伽里恩（Ben Gurion）甚至问过吴健雄：“宇称和瑜伽有什么关系？”

《纽约时报》发表社论“表象与实在”，热情赞扬李、杨理论的成功和吴健雄实验的胜利。这是一个划时代的成就。因为左右对称性几千年来一直被认为是自然界天经地义的规律。而且它在强作用、电磁作用中都经过检验是千真万确的。现在，这一神圣的定律突然被推翻，人们心中的震撼是可想而知的。

当某一规律在许多情况下都能成立时，人们就喜欢把它扩大到一些未经证实的情况中去，甚至把它当作一项信条奉若神明，就像在爱因斯坦之前，人们对绝对时空观那样。对宇称守恒定律也出现了这种相似情况。一旦实验证明它不成立时，象泡利这样享有盛名的物理学家也会大为震惊。

1957年1月17日，泡利给韦斯科夫（V. Weisskopf）的信中说：“我不相信上帝是一个软弱的左撇子。我可以跟任何人打赌，做出来的结果一定是左右对称的。”当得知吴健雄实验成功时，泡利说：“我几乎休克！”又给韦斯科夫写信说：“幸好没有人跟我打赌，假如有人打赌的话，我就要破产了，因为我没有这么多财产。现在这样，我只是损失了一点名誉。可是，我有足够多的名誉，损失一点不要紧。”

著名物理学家，诺贝尔奖获得者，反物质的主要发现人之一赛格雷（E. G. Segrè）评论说：这和故事“皇帝的新衣”描述的情况很相像。两个骗子拿到金线要为皇帝织件金衣服，声称只

有聪明的人才能看见这件金衣服。于是每个人都不愿说他看不见这件衣服，反而都夸奖它非常漂亮。只是在观看盛典的人群中一个纯真的小孩子喊道“皇帝没穿衣服！”时，才出现了真理。

他还热情地称赞中国的文明史和科学中国人的成就：“古代的欧洲旅行者很早就惊诧地发现了中国这个国家历史悠久的文明了。而从当代这三个中国物理学家所取得的成就，就可以看出中国这个伟大国家在渡过当前的革命震动时期，并恢复其作为世界文明发源国之一的作用后，将来可能对物理学做出什么样的贡献。”

消息传到中国，物理学界一片沸腾。中国著名物理学家吴有训、周培源和钱三强，代表中国物理学会特地打电报给李政道和杨振宁：“中国物理学家对这一可喜的事件感到自豪！”

美国乌伦贝克（G. E. Uhlenbeck）等一大批著名物理学家称：1957年是中国物理年。

1957年5月5日晚，李政道和杨振宁来到纽约的耶希瓦大学爱因斯坦医学院，接受了1957年的爱因斯坦奖。

1957年12月初，李、杨和夫人赴瑞典斯德哥尔摩，接受了科学界的最高荣誉——诺贝尔物理学奖。

瑞典皇家科学院的代表克莱因（O. B. Klein）博士在演说中高度评价了李、杨的成就。还引用了中国古代哲学家老子的学说。他说：老子当然没有谈过粒子，但他说过最深奥的人生原理‘道’，物理当然远比人生简单。”

12日早晨，瑞典国王阿道夫特地把李、杨请到皇宫，亲自领着他们观赏了国王私人收藏的中国古董，兴奋地称赞中国的文明。

3 对称破缺后的余震和上帝的左手之谜

当宇称不守恒或对称性破缺第一次震惊世界之后，它在物理学界的余震似乎更持久更强烈。当世界上的公众正兴奋地欢呼第一次惊人的震动时，物理学家们已开始冷静地去思考更

深刻的问题,去探索自然界更深邃的秘密。

泡利给吴健雄的信中说:“现在,当第一次震动过去之后,我开始去收集那些震撼我的东西……”

现在知道,弱作用中的对称性破缺与泡利早在1931年就预言的神秘的零质量左旋中微子有关。

1957年之后,人们认识到,弱作用中不但宇称 P 不守恒,电荷共轭 C 也不守恒。从1964年起,新的实验证实 CP 也不守恒。由 CPT 定理可得结论:弱作用下 C, P, T (时间反演)都不守恒^[5]。

杨振宁后来说:“1957年以来许多关于对称性破缺的发展起了四个作用:(1)对称性的研究变成基础物理中心问题之一。通过规范场与自发破缺的观念,对称性之研究更成了今日的主流思想;(2)中微子理论因为宇称不守恒回到韦耳(Weyl)的二分量场^[6];(3)在夸克理论中,因为有 CP 不守恒,可以预言必须有6个或更多的夸克。这个预言后来果然被证实;(4)宇称不守恒使得极化的现象容易发生。因此,许多与极化有关的现象被研究清楚。”

又说:“为什么在弱作用下, C, P 和 T 都不守恒?这是目前还完全不能了解的问题。这个问题恐怕不是10年20年之间可以解决的。”

李政道多次指出粒子物理学中的两大疑难:(1)失去的对称性;(2)看不见的夸克。

所谓“失去的对称性”,即对称性破缺的实质是什么?又称“上帝的左手之谜”。特别是物理真空的“自发破缺”机理问题。

所谓“看不见的夸克”,即使用目前能量最高的加速器也没发现单个自由的夸克和胶子,这又称为“夸克囚禁”。

因此人们必须探索是否存在更多、更大的对称性?是否存在未知的基本相互作用?是否存在更深层次的物质结构?

1960年,李政道和杨振宁根据弱作用中的破缺对称特性,提出弱作用是由中间矢量玻色子传递的假设,并推测了它的性质。

1961年,格拉肖(S. L. Glashow)提出对称

群 $SU(2) \times U(1)$ 弱电模型。戈德斯通(J. Goldstone)提出对称性自发破缺的戈德斯通定理,即对称性自发破缺一定伴随出现零质量、零自旋粒子(Goldstone粒子)。温伯格(S. Weinberg)和萨拉姆(A. Salam)随后给出了戈德斯通定理的普遍的数学证明。1962年,他们三人发表了“破缺对称性”的论文。温伯格说:“关于对称破缺,最奇妙的事情是,可能仍存在着许多更深层次的隐藏的对称性。强烈吸引我的是,仍然有新的对称性等待我们去发现。”但是,戈德斯通定理又使他们困惑,因为对称性破缺导致了不存在的粒子。如何避免Goldstone粒子则成为当时的热门课题。第一个发现突破口的是许温格(J. Schwinger)。他在1962年的论文中指出,定域对称性破缺和整体对称性破缺可能是两个不同的事情。接着安德森(P. Anderson)指出戈德斯通定理有例外:超导就是对称性破缺的例子,但并不出现零质量的粒子。他利用杨振宁和米尔斯(R. Mills)于1954年创建的非阿贝尔规范场论,指出在规范不变理论中,杨-米尔斯玻色子与Goldstone玻色子相互缠结起来,最终产生质量。1964年,希格斯(P. Higgs)指出,当规范场和基本标量场相互作用时,若有对称性自发破缺存在,那么戈德斯通玻色子与规范粒子以特殊的机制结合起来,使规范粒子成为质量不为零的粒子,而对应的戈德斯通玻色子自由度将变成矢量玻色子的纵向自由度,这就消除了零质量戈德斯通粒子。这就是现在所说的希格斯机制。

1965年—1967年,温伯格和许温格合作,继续李政道和杨振宁关于手征(Chirality)对称性的研究,开创了基本粒子物理学的新方向:手征动力学。

1967年,温伯格与萨拉姆各自独立地提出弱电统一理论。他们利用对称性自发破缺机制解释了光子和中间玻色子的质量差异,在杨-米尔斯规范场理论基础上,用严格的但自发破缺的规范对称性的思想统一了弱电作用。1970年,格拉肖推广了上述理论,并预言了弱中性流的存在。1973—1978年,实验证实了格拉肖的

预言. 1983年,实验发现了李、杨和弱电统一理论所预言的 W^\pm, Z^0 中间玻色子,进一步证实了弱电统一理论的成功.

温伯格兴奋地说:“物理学的前途是越来越乐观的.没有什么比发现破缺对称性理论会使我更高兴.这些对称性尽管是破缺的,但却是支配一切现象的严格的原则,是外部世界完美性的表现.”

现在,对称性及其破缺问题的研究已经深入到全部物理学中,渗透到各个领域.因此,许多人把李政道提出的两大疑难称为20世纪物理学的两大困惑.并把它与1900年汤姆孙(W. Thomson)所述的“两朵乌云”相类比.那两朵乌云是黑体辐射实验和迈克耳孙-莫雷实验.正是物理天空中的这两朵乌云不久就发展成20世纪物理学中的一场革命风暴.与此类比,人们设想李政道所说的两大疑难,很可能会促成21世纪物理学的革命.

4 科学中国人情系中华

李政道和杨振宁是第一次获得诺贝尔奖的中国籍科学家(获奖时,李、杨仍为中国籍).获奖时,李政道年仅31岁,杨振宁仅35岁.李政道是全世界获诺贝尔奖年龄最小的两个人之一.[最年轻的是英国的布拉格(W.L. Bragg).]

1957年12月10日,在颁发诺贝尔奖贺宴上,杨振宁发表演讲说:“我以自己的中国血统和背景而感到骄傲!”

现在,李政道和杨振宁都是中国科学院外籍院士,是北京大学、复旦大学等全国许多著名大学的名誉教授.李政道还是中国高等科学技术中心(世界实验室)主任和北京现代物理研究中心主任.杨振宁亲自主持创办了南开大学数学研究所理论物理研究室.

1971年7月19日,杨振宁作为第一位访问新中国的华裔科学家,踏上了故乡的土地.周恩来总理特地亲自为他洗尘.他为中美建交,为增进中美人民的友谊和科学交往作出了积极的贡献.他说:“我有责任帮助建立一个中美之间

了解和友谊的桥梁.”“了解新中国是激动人心的经历.我毫不怀疑,尼克松总统和夫人以及他们的随行人员一定会有同样的感受.前往访问的人将为中国的精神所感动.他们会发现,她是最简单,而又最复杂;最年轻,而又最古老的国家.”

1974年,李政道看到中国教育因“文化大革命”而瘫痪的局面,心里十分焦急,在与毛泽东主席会见时,提出应重视优秀青年学生的教育和培养.在周总理的支持下,这导致了中国“少年班”首先在中国科学技术大学的开办.

李政道鼓励少年班的同学说:“我们中国古代的数学是很进步的.”并以八卦的二进制和 8×8 阶矩阵为例说:“易经既有文学价值,又有数学价值.”又说:“公元1054年一颗超新星的爆发也是中国人首先发现并记录下来的.中国的科学技术在很早以前就为人类作出了杰出贡献,希望同学们继承它,发扬它.”

从1980年起,在李政道的倡导和组织下,通过CUSPEA(中美物理联合考试)已办了8届中美联合招收研究生工作.现在这些中国研究生分在90多个学府从事60多项物理专业研究.

李政道对中国学生说:“中国科学的将来,就是世界科学的将来.”

杨振宁说:“中国派人到美国去是一个明智、有深远影响的政策.……留学生政策不仅是带来你想看到的科研成果,还有一个了解西方科技发展的作用.开放政策是对的.”

对中国现在的改革,李政道说:“看到祖国正在进行着一次具有中国特色的发展经济的改革,凡我华人,莫不兴奋.”“我对本世纪翻两番抱乐观态度.因为明日的世界科技领袖将大部分是华人.”

杨振宁说:“总有一天,中国也会出现自己的爱因斯坦.”“近年来,西方观察者几乎一致认为,中国是一个有无比潜力的国家,21世纪可能是中国的世纪.”

参 考 文 献

[1] T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.*, **104**(1956), 254.

- [2] C. S. Wu, E. Ambler, D. D. Hoppes et al., *Phys. Rev.*, **105**(1957), 1413.
- [3] R. L. Garwin, L. M. Lederman and M. Weinrich, *Phys. Rev.*, **105**(1957), 1415.
- [4] V. L. Telegdi and A. M. Friedman, *Phys. Rev.*, **105**(1957), 1681.

- [5] T. D. Lee, R. Oehme and C. N. Yang, *Phys. Rev.*, **106**(1957), 340.
- [6] T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.*, **105**(1957), 1671.
- [7] 李政道著, 朱允伦译, 对称、不对称和粒子世界, 北京大学出版社, (1992), 6.

庆贺魏荣爵院士 80 华诞*

钱 祖 文

(中国科学院声学研究所, 北京 100080)



中国科学院院士
魏荣爵教授

1916年9月4日, 魏荣爵先生出生于湖南邵阳, 在北京、上海分别读完了小学和中学后, 于1937年在金陵大学物理系获理学学士学位, 毕业论文题目是“中国植物油类的电学性质”。毕业前被推荐去天津南开中学任教。时值“七七”事变, 日本侵略中国。1937年, 在南开中学将迁重庆

前, 为避战乱暂回邵阳, 曾在迁湘的原南京三民中学任教, 半年后去南开中学执教物理。1942年到母校金陵大学理学院任讲师。1944年他被选中留美。报考时, 虽然他填写的入学志愿是声学, 可当时金陵大学理学院院长是芝加哥大学博士, 推荐他去当时是核子物理研究中心的芝加哥大学。1945年入学, 随该校一位从事宇宙线研究的年轻讲师 V. Reagener Jr. (德国人) 作研究, 论文题目是“盖革 - 穆勒 NH_3 计数器的自猝 (self-quenching) 效应”。不久, 战争结束, 当代杰出大师 E. 费米返校讲课, 魏深受其博学多才及治学严谨的影响。当 Reagener 另有高就而离开芝加哥大学后, 魏先生的这项研究是在邻近的伊立诺大学完成的, 并获硕士学位。1947

年, 他在声学泰斗努特生的指导下攻读博士学位, 论文题目是“声波在水雾中的传播”。1950年获理学博士学位, 毕业后被该校聘任为研究员。1951年, 他响应祖国的号召, 婉却师友挽留与移民局的留难, 偕夫人携带幼女归国, 投入新中国的科研教育事业。1951年到南京大学教核物理和电磁学等课程, 1952年院系调整后, 被委任为南京大学物理系主任。不久, 便在该系成立了声学研讨班, 着手筹建声学研究基地, 并应教育部之约, 为全国撰写中级物理实验声学分科的教材。1954年, 在物理系成立了我国第一个声学教研室, 他兼任教研室主任, 为我国正式培养声学方面的大学毕业生。1956年参加制定了12年远景规划, 当时应邀参加“规划”的苏联声学家布烈霍夫斯基院士到南京大学参观, 给予了很高的评价。1962年成立南京大学声学研究室。1978年南京大学成立声学研究所, 他兼任第一任所长。1980年他被选为中国科学院数理学部委员 (即后来的院士)。

几十年来, 魏先生的研究足迹几乎遍及声学的各个主要领域, 发表及合作发表论文近200篇, 获国家自然科学基金二等奖1次、教委、省部级一等和二等奖若干次。早在50年代初期, 他与助手一起, 用球壳径向共振法测量空气中

* 1996年7月17日收到。