

# 纪念弱作用宇称不守恒规律发现卅年

周 光 召

**编者按：**三十年前(1956年10月)在美国“物理评论”杂志上发表了李政道和杨振宁(按姓氏笔画为序)两位著名理论物理学家的一篇重要文章——“弱作用中的宇称守恒问题”，他们明确提出了弱作用中宇称不守恒规律。这一发现是物理学中的一个重要里程碑。不久，吴健雄教授等的实验结果证实了这一重大发现。1957年12月李政道和杨振宁两位教授获得了诺贝尔物理学奖。为了鼓励我国广大青年努力攀登科学高峰，本刊将以特刊形式分别发表他们在接受诺贝尔奖金时的讲演，并赠送广大读者(详见31页)。中国科学院副院长、著名理论物理学家周光召教授特撰文纪念弱作用宇称不守恒规律发现卅年。我们深信广大读者一定会从中得到教益，具有献身精神的我国广大青年会激起更大的热情，努力不懈，在科学上做出自己的贡献。

今年是弱相互作用宇称不守恒规律发现卅周年，这一发现对近代物理学的发展产生了重要影响。在这一发现的启发下，很快确立了弱相互作用的矢量流和赝矢量流理论，显示了弱作用和电磁作用的共性，从而在大约十年以后，导致了弱电流—理论的产生。

物理学是一门实验的科学，人们从观察和实验中总结客观物质运动的规律，通过分析而上升为理论。但运动规律是有条件的，它有一定的适用范围，愈是基本的规律适用的面愈广。在物理学的历史上我们看到许多这样的例子，当一种运动规律或理论确立后，人们往往忘记它的实验依据，而把它当作先验的绝对真理，从而对在新条件下出现的新现象感到茫然不解。本世纪初相对论和量子力学创立前的情况是如此，本世纪中弱作用宇称不守恒规律未发现前情况也是如此。弱相互作用宇称不守恒规律的发现，解除了在人们思想上那些未经实验证实的信条的束缚，重申了实践是检验理论的唯一标准这一唯物主义的原理。这一发现对活跃当时物理界的思想，破除迷信和权威，探求客观真理起了重要的历史作用。

值得我们特别高兴的是，卅年前作出这一发现的是三位在中国出生和教育出来的科学家。按姓氏笔画次序，他们是李政道，杨振宁和吴健雄。几千年来，中国对世界科学技术的发展有过光辉的贡献。只是近百年来，由于封建王朝的腐败和帝国主义的侵略，中国才成了贫穷落后的国家。李，杨和吴的成就再一次说明了中国人的智慧和创造力是头等的。只要具备一定的

条件，中国科学家就将重新带头登上科学喜马拉雅的顶峰。我们国家正在努力创造条件，发展科学技术。中国科学自立于世界之林的日子，通过在中国土地上生活和工作的科学工作者的不懈努力，是必然要到来的。我们要有充分的自信，任何悲观的，认为中国科学家不行的观点都是没有根据的。

为了使读者了解弱作用中宇称不守恒规律发现的意义，下面我们将对当年的历史和有关的科学概念作一简单的介绍。

守恒量和守恒定律在物理学中是一个非常重要的观念。在孤立的力学体系中，不管内部有多少运动的物质，不管它们之间有多么复杂的相互作用，有些运动量始终保持不变，例如系统的总能量和总动量。这些不变量标志了物质运动所处状态的基本特征。守恒定律常常对物质运动的范围有严格的限制，单纯从守恒定律出发，就可以作出许多重要的判断。例如能量守恒定律是热力学的第一个基本定律，它指明了第一类永动机是不可能的，能量只会转化成不同形式，但不能无缘无故的产生和消灭。

由于守恒量和守恒定律的重要作用，人们在研究一个系统的运动时，总要设法先研究有关的守恒量和守恒定律。在这种研究中逐渐发现有些守恒定律是非常普遍的，例如能量守恒定律就适用于一切现在已经发现的运动形态。守恒量的普遍性格促使人们进一步思考它的本质。到十九世纪末，人们终于认识了守恒定律和对称性之间的关系。

什么是对称性，可以用一个例子来说明。物质是在时空中运动的，在忽略重力的情况下，时空是均匀和各向同性的。物质的运动规律不依赖于时空原点和坐标轴方向的选取，这时我们说它具有时空平移和转动变换下的对称性。

从古典力学的运动规律出发，可以证明，力学体系在一种连续变换下的对称性导致一个守恒定律。体系在时间平移变换下不变的对称性导致能量守恒定律，在空间转动变换下不变的对称性则导致角动量守恒定律等等。

在量子力学发现后，对称性和相应的守恒量和守恒定律更具有重要的意义。从海森堡运动方程出发，容易看到，和哈密顿量对易的算子都是守恒量，它们组成一个对称群G的生成元或 Casimir 算子。哈密顿量本身就是时间平移群的生成元，它和G群生成元的对易子一方面表示群G生成元在时间平移下的变化，另一方面又表示哈密顿量在群G的变换作用下的变化。这个对易子为零，既说明了群G生成元不随时间变化，因而是一个守恒量，又说明了哈密顿量在群G变换下不变，因而具有群G的对称性，也即群G是该力学体系的对称群。

在量子力学中，由守恒量组成的相互对易的最大子集是可以同时观察的物理量，它们的本征值是系统的量子数。体系的状态由不同量子数标志的波函数描写，它们组成对称群的表示。由于守恒定律，对称性质实际上决定了不同量子数的状态在外场作用下跃迁的选择定则。

在古典力学中，只有连续变换的对称群才和守恒量有关。但在量子力学中，由于量子态是分立的，离散变换对称群的生成元同样是一个守恒量，它的本征值参与量子态的分类，并导致反应过程中的选择定则。

将一个时空坐标轴的方向逆转是两种重要的离散变换，称为时间反演变换和空间反射变换。将粒子变为它的反粒子也是一个重要的离散变换，它会把带正电的粒子变为带负电的反粒子，因而称为电荷共轭变换。利用相对论量子场论可以证明，对定域相互作用的场，时间反演，空间反射和电荷共轭三个变换的乘积是一个守恒量，它不依赖于具体的场和它们的相互作用。

空间反射又称镜像左右对称变换。在一个物体旁放上一面镜子，在镜子中出现的物体的相称为它的镜相。一个心脏在左的人经过空间反映变换，成为一个心脏在右的镜象人。镜象左右对称变换的生成元称为宇称。如果系统具有镜象左右对称，宇称就是一个守恒量。可以看到人并不具有这种对称性。

宇称守恒的观念最早是从分析复杂原子的光谱中总结出来的，后来才证明它是电磁相互作用在空间反射变换下不变的结果。当人们在廿年代建立起宇称守

恒的观念以后，它被推广到一切相互作用，确定了原子分子和原子核的量子态以及各种粒子的宇称，并在解释反应过程中的选择定则上取得了巨大的成功。

从提出宇称守恒并建立起它和空间反射对称性的联系后，物理学家对宇称守恒有高度的信心。有一种先验的看法，认为物质运动的规律既不依赖于时空原点和坐标轴方向的选取，它为什么要依赖于坐标轴的取向呢？空间反映既是空间的对称性，它应当具有所有在时空中运动的体系都要遵守的普适性。

50年代初期，发现了许多奇异粒子，从实验观察中发现有衰变方式不同而质量和寿命相同的两种粒子，一是衰变为两个 $\pi$ 介子的 $\theta$ 粒子，另一个是衰变为3个 $\pi$ 介子的 $\tau$ 粒子。由于 $\pi$ 介子的内禀宇称为-1，由宇称守恒出发分析， $\theta$ 粒子和 $\tau$ 粒子的内禀宇称相反，因而不可能是同一种粒子。但如果他们不相同，为什么他们的质量和寿命在实验误差范围内又是相同的呢？这就是著名的 $\theta$ - $\tau$ 谜。当时， $\theta$ - $\tau$ 谜成为粒子物理的中心研究课题，提出过各种可能的解谜方案。由于宇称守恒在当时是一个已有实验证明的规律，绝大多数物理学家又对以时空对称为基础的守恒律深信不疑，因此很少人愿意认真地想一想在某些新条件下宇称不守恒的可能性。

自然界的相互作用力，按强度可以分为几类，它们是强，电磁，弱和重力相互作用。如以强作用的强度作标准，则电磁作用的强度约小100倍，弱作用的强度小 $10^{-13}$ 倍，重力的强度则小 $10^{-38}$ 倍。

李政道和杨振宁在1956年对 $\theta$ - $\tau$ 谜作了深入的分析。他们指出过去检验宇称守恒定律的实验，其精度不足以判断弱作用中宇称是否守恒，已有实验只能证明在强作用和电磁作用中宇称是守恒的。对弱作用中宇称是否守恒的问题有待新的实验来判断，为此他们建议了一系列的实验。不久吴健雄等在 $\text{Co}^{60}$ 的 $\beta$ 衰变实验中观察到了宇称不守恒现象，随后很多物理学家在 $\mu$ 介子衰变和奇异粒子衰变中也看到了宇称不守恒的现象。

提出宇称在强作用和电磁作用中守恒，而在弱作用中不守恒，在观念上是一个大的变革，它引起了物理学界的震动，为了了解当时物理学界的思想状况，让我们看一看著名的权威，理论物理学家泡利在听到李-杨的工作后写给韦斯可夫教授的一封信。在信中他写到：

“我不相信上帝是一个无能的左撇子，我愿意出大价和人打赌，实验的电子角分布将是左右对称的。我看不出有任何逻辑上的理由说明镜象对称会和相互作用的强弱有关系。”

在听到吴健雄等的实验结果后，泡利又写了一封信，信中说：

“现在第一次震惊已经过去，我开始重新思

考,……

现在我应当怎么办呢?幸亏只在口头上和信上提起,而没有形诸文字,也没有认真打赌,这是一件好事,不然输那么多钱,我哪里负担得起呢!不过别人现在是有权来笑我了。

使我震惊的还不是上帝是左撇子这一事实,而是他为何在强表现时仍是左右对称的呢?”

泡利的这两封信反映了当时守旧的物理学家的看法,他们从不相信转为受到震惊,被迫接受宇称在弱相互作用中不守恒的事实。从这里也可以看到在当时提出弱作用宇称不守恒,不仅要有高度的智慧和透彻的分析还要有超群勇气。

在宇称不守恒发现的同时,发现了电荷共轭在弱作用中也不守恒。人们为了挽救空间对称性,曾经建议在空间反映变换中,不仅坐标轴的取向逆转,同时粒子变成反粒子。这样如果宇称和电荷共轭分别不守恒,而它们的乘积是守恒的,则有可能保留空间反射和时间反演的对称性。这个想法虽然吸引了很多物理学家,但最后仍然被实验否定了。

时间和空间是物质运动的形式,在古典力学中,时间和空间是独立于物质和运动之外的,绝对的。这种绝对时空的观念通过相对论的发展证明是不正确的。从相对论的观点看,时空和物质运动有关,在一个参考系中同时发生的事件在另一个相对运动的参考系中就不一定同时。因而时空的观念依赖于运动的参考系,从而是相对的。广义相对论和重力场的发展更进一步阐明了时空和物质运动的关系。

虽然物理学研究的自然规律是客观规律,不是可以凭逻辑出发从头脑中创造出来的,但人们总是不自觉地这样去想。相对论发现以后,人们还是希望时空具有对一切物质运动和作用普适的性质,希望它的对称性质不依赖于物质的相互作用。这一希望由于弱作用中宇称等不守恒的发现而落空了。现在知道,空间反射和时间反演的对称性都与物质的相互作用有关,它们不是在时空中运动的一切物质系统的对称性。这一点加深了我们对时空和物质运动之间关系的了解。

物理学上每一项重要发现大都是从实验事实与原有理论相矛盾而开始的。首先要对实验事实进行一番彻底地严格检查和分析,去粗取精,去伪存真,才能找到矛盾的征结所在,发现原有理论的适用范围,在这个基础上,才有可能提出新理论并提出新的实验来验证。弱作用宇称不守恒规律的发现提供了一个范例,值得我们,特别是年青一代物理工作者学习。

在纪念弱作用宇称不守恒规律发现卅周年的时候,我们寄希望于我国培养出来的一代青年。我们相信,他们必将下定决心,挑起历史交给他们的重担,以百倍的努力壮大我国的经济、科学和文化,在激烈的国际竞争中,敢于胜利,善于学习,一定能够经过团结协力,摘掉我国经济落后、科学落后的帽子,夺取科学技术奥林匹克的金牌。同时,我们祝为中华民族争得光荣的吴健雄教授,杨振宁教授和李政道教授健康长寿,祝他们为中国和世界的科学事业作出更大的贡献。

(题图:程绍臣)