

弱作用宇称不守恒的发现

马中骥

(中国科学院高能物理研究所)

一、对称性和守恒定律

对称性是我们日常生活中的一个常用概念，我们周围的世界是一个既对称又不对称的矛盾统一体。但是我们这里所要讨论的是物理学中的对称性，它是指物理规律对某种变换的不变性。

最简单的对称性是空间各向同性和均匀性，它们代表了物理规律对空间转动和平移的不变性，即在空间的不同地方和沿不同方向做相同的物理实验应该得到相同的物理结果。时间均匀性也是一种基本的对称性，它代表物理规律对时间平移变换的不变性，即不同时间做相同的实验会得到相同的结果。比较复杂一些的对称性是运动规律对惯性坐标系间坐标变换的不变性，保持牛顿定律不变的坐标变换称为伽利略变换。在不同的惯性系做物理实验一定会得到相同的物理结果，这称为惯性系的相对性原理。上述对称性都是基于对某种连续变换的不变性。左右对称性属于另一类重要的时空对称性，它是基于对分立的镜象变换的不变性。时间倒演不变性是另一个重要的分立时空对称性。

客观世界又是充满着不对称性。这种客观世界的千差万别不是由于物理规律的不同所造成的，它们所遵循的客观规律满足上述的时空对称性。

我们要特别讨论一下左右对称性。取一块竖直放置的镜子，在镜子外面斜抛一小球，该小球作抛物线运动，在镜子里我们看到小球沿对称方向作相应的抛物线运动。表面上看这两个

抛物线运动是不同的，但这是由于初始条件不同而造成。如果真实的小球获得镜子里所看到的那个方向的初始速度，它显然能完成在镜子里所看到的那种抛物线运动。这说明物理规律是左右对称的。

长期以来，人们相信上述的时空对称性是严格成立的。牛顿力学建立以来，人们看到牛顿定律确实具有这种时空对称性。以后大量的电磁学、光学、热学等等物理实验，以致化学的、生物学的实验都证实了上述时空对称性是基本的对称性，它们是严格地成立的。

二十世纪初爱因斯坦提出了狭义相对论，修改了描述低速运动物体的牛顿力学，惯性坐标系间的伽利略变换被洛伦兹变换所代替。由狭义相对论得到的理论推断和大量实验符合。恰恰是在新的基础上进一步证明了相对性原理，即在不同惯性坐标系中物理规律是相同的。

二十世纪二十年代提出了描述微观体系运动规律的量子力学，以后又发展为相对论性的量子场论。随着物理实验的发展，人们对基本相互作用的认识也逐渐深化和扩展，除了很早以来就有所了解的引力相互作用和电磁相互作用外，还有在研究原子核内部核力相互作用中总结出来的强相互作用，以及在研究 β 衰变中总结出来的弱相互作用。四种基本相互作用的强度，按强相互作用、电磁相互作用、弱相互作用和引力相互作用的次序递减。在研究原子相互作用和核相互作用问题中，引力作用是如此之弱，因此一般不予考虑。

随着相对论和量子论的建立，对称性的重要性大大提高，它们与动力学定律间建立起更完整的依存关系，对称性的种类也增加了。

在经典力学中,先从实验中总结归纳出牛顿定律,然后发现它具有上面讨论的时空对称性,特别是发现不同惯性系间时空坐标的伽利略变换能保持牛顿定律形式不变,才总结出惯性系的相对性原理。而在狭义相对论中,从相信惯性系等价出发,从光速在所有惯性系中不变的假设出发,演绎出了相对论动力学方程。在广义相对论中,从等价原理出发,通过逻辑推理,找出最简单合理的爱因斯坦引力方程。再由这些动力学方程得到的大量推论与实验符合,证实了这些动力学方程和对称性的正确性。相对论的建立和被证实,为寻找新的动力学方程提供了新的范例,即对称性的限制可以作为探索新的物理规律的重要依据。在高速和微观运动体系中,实验知识不完整,实验结果错综复杂,要从这样的实验现象中总结出运动规律十分困难,而对称性在寻找新的运动规律方面提供了强有力的工具。

在经典力学中,人们已经认识到,一定的对称性是和一定物理量的守恒相联系的。时间均匀性和能量守恒相联系,空间均匀性和动量守恒相联系,空间各向同性和角动量守恒相联系。在经典力学中左右对称性没有找到相应的守恒量。在量子力学中系统状态由波函数来描写,量子系统的对称性与波函数的性质有一定联系。镜面反射可以分解为对原点的反演(称为空间反演)和绕原点的转动。如果量子系统对空间反演不变,各能级波函数可以分成两类:一类在空间反演中保持不变,称为偶宇称或正宇称,另一类在空间反演中改变符号,称为奇宇称或负宇称。空间反演不变性和反应中宇称守恒相联系。宇称是一种相乘量子数,反应前后宇称乘积相等。宇称守恒是在量子理论中才引入的新概念。

最早发现宇称守恒现象的是拉波特(O. Laporte),他在1924年研究铁光谱时发现,铁原子能级分为两类,所观察到的一切跃迁仅仅在这相异的两类能级之间发生。维格纳(E. P. Wigner)在1927年指出,拉波特规则是辐射过程中宇称守恒的结果。在发射一个光子的原子跃迁过程中,辐射的光子带走了一1的宇称,初

末态的原子状态宇称相反。拉波特规则证明了电磁作用具有空间反演不变性。

宇称守恒有两种等价的表述方式:一种是反应前后初末态的总宇称相等;另一种是,对实际发生的某反应过程,把物理条件都取成镜向对称的条件,就会真实地发生镜向对称的反应过程。

在微观实验现象中,还总结出许多新的守恒定律。微观粒子带有内禀角动量,称为自旋角动量,它和轨道角动量一起,构成的总角动量守恒。总角动量守恒定律和普通空间、自旋空间的整体转动不变性相联系。在强相互作用现象中,模仿自旋角动量,引入了同位旋的概念,强相互作用对同位旋空间转动的不变性,对应同位旋守恒。实验证明,同位旋在电磁作用和弱相互作用中是不守恒的,但同位旋第三分量在电磁作用中守恒。这又提供了某些守恒定律只在某些相互作用中才成立的例子。在经典理论中就已认识到电荷守恒定律,在量子理论中把电荷守恒定律与所谓第一类规范变换联系起来。后来发现,电子的电动力学还具有第二类规范变换不变性。这种规范变换不变性已经成为寻找各种粒子电磁相互作用规律的依据。实验中还发现有重子数守恒、轻子数守恒等规律,可以在形式上模仿电荷守恒,建立相应的规范变换不变性。它们在所有相互作用中都成立。在强相互作用中还发现奇异量子数守恒,也可以类似地引出相应的规范变换不变性,这种守恒定律在电磁作用中成立,但在弱作用中不成立。由空间反演不变性得到宇称守恒,类似地,也可由时间反演不变性和电荷共轭变换(正反粒子变换)不变性得到相应的“宇称”守恒。

二、 θ - τ 之谜

尽管在实验上已经发现,某些守恒定律(如同位旋守恒)只对某类相互作用成立,但是在1956年以前人们都普遍相信,与时空变换不变性相联系的守恒定律应该普遍成立。

在上一节我们已谈到,在量子理论中,粒子

带有一种内禀角动量,即自旋角动量。只有把自旋角动量考虑进去,总角动量才能守恒。在拉波特规则中必须考虑光子的内禀宇称-1,才能得出电磁辐射过程宇称守恒的结论。

随着新粒子的大量发现,为了应用宇称守恒定律,必须先确定各种粒子的内禀宇称。确定粒子内禀宇称的方法是,先假定决定该反应的相互作用对空间反演不变,根据反应前后系统总宇称守恒,确定新粒子的内禀宇称,然后再去检验其它反应是否满足宇称守恒。前面根据电磁作用宇称守恒的假设,确定光子内禀宇称为负。根据 π^0 到两个光子的电磁衰变实验,分析了辐射光子的极化方向,可以决定中性 π 介子内禀宇称为负。由负 π 介子在液态氘靶中因电离作用而逐渐减慢并最后被氘核捕获到1s轨道上的实验,通过分析可以得到质子、中子和负 π 介子内禀宇称乘积为-1。因为质子和中子构成同位旋二重态,负 π 介子和正 π 介子、中性 π 介子构成同位旋三重态,所以如果假设属于同一同位旋多重态的粒子有相同的内禀宇称,则可得到负 π 介子和 π^0 一样有负内禀宇称,而中子和质子的相对内禀宇称为正。

由于存在着其它守恒定律,上述方法不能确定所有粒子的绝对内禀宇称。例如由于重子数守恒,只能确定重子之间的相对内禀宇称,通常假定质子的内禀宇称为正,相对质子可以确定其它重子的内禀宇称。

确定了各种粒子的内禀宇称后,人们就可以检验各种反应是否满足宇称守恒定律。人们先验地相信宇称是绝对地守恒的,的确在初期的物理实验中也没有发现和宇称守恒定律矛盾的现象。但是,矛盾终于来了。

1953年,R.Dalitz和E.Fabri^[3]指出,从 θ 介子和 π 介子衰变过程

$$\theta \rightarrow \pi + \pi$$

$$\tau \rightarrow \pi + \pi + \pi$$

中,可以获得它们的自旋和宇称的信息。 θ 和 τ 介子是通过强相互作用产生的带有奇异量子数的介子。当时关于带有奇异量子数粒子的实验数据还很不充分,由于强相互作用奇异数守恒,

θ 和 τ 介子的内禀宇称很难从产生过程来确定。从衰变产物来看,假定衰变过程宇称守恒, θ 介子的自旋宇称比较明确。 π 介子内禀宇称是奇的,两个 π 介子的总宇称是偶的。 π 介子的相对轨道角动量等于 θ 介子的自旋,同时又决定了 θ 介子的内禀宇称,即 θ 介子的自旋宇称只能是 $0^+, 1^-, 2^+$ 等。 τ 介子的内禀宇称分析比较复杂,因为末态有三个粒子。用达利兹图的方法,对 τ 介子衰变产物的能量分布进行仔细研究,达利兹^[4]在1955年2月召开的洛恰斯特(Rochester)会议上指出,只要 τ 介子的自旋小于5,它不能衰变成两个 π 介子。这就是说, τ 介子的自旋宇称只能是 $0^-, 1^+, 2^-$ 等,这和 θ 介子不同。另一方面,实验指出^[5],这两种介子具有非常接近的质量和寿命,它们的质量只相差2到10个电子质量,即准确到百分之一,寿命则准确到百分之二十。这就迫使人们怀疑上述 θ 和 τ 不是同一粒子的结论是否站得住。正如杨振宁教授在1956年9月西雅图的一次国际会议上说^[6]:“要不是由于质量和寿命的相同,上述结论肯定会被认为是站得住的,而且会被认为比物理学上许多其它结论更有依据。”当时物理学家所处的情况就好象一个人在一间黑屋子里摸索出路一样,他知道在某个方向上必定有一个能使他脱离困境的门,然而究竟在那个方向上呢^[6]?

三、弱相互作用宇称不守恒

1956年6月,李政道和杨振宁教授在一篇著名的论文中^[7],详细考察了和宇称有关的实验事实后得出结论:过去做过的关于弱相互作用的实验事实并未检验宇称是否守恒,而在强相互作用和电磁相互作用方面确实有许多实验以高度准确性确立了宇称守恒定律。

长期以来,人们竟在没有实验支持的情况下错误地相信弱相互作用中宇称守恒,然而更令人吃惊的是,物理学家如此充分了解的一个时空对称定律竟然会面临破产。

人们并不喜欢这种可能出现的情况,许多

著名的物理学家曾经强烈地反对这种可能出现的情况。苏联著名物理学家朗道曾在1956年10月举行的一次苏联的学术会议上强烈反对李政道和杨振宁的这一著名论文，但不久他改变了想法。著名物理学家泡利在1957年1月17日给怀斯可夫(V. Weisskopf)的有名的信中说：“我不相信上帝会在弱作用中偏向左手。我敢打一笔很大赌注的赌：实验将给出电子对称的角分布。我看不到在相互作用强度和镜向不变性间有任何逻辑联系。”

物理学家曾作过各种努力，试图在宇称守恒条件下去理解 θ - τ 之谜。一种典型的尝试是^[9]，试图在宇称守恒的条件下去理解 θ 和 τ 介子为什么有接近相同的寿命。他们假设 τ 介子可能通过辐射两个光子过渡到 θ 介子。正是在一系列尝试都失败后，才被迫考虑宇称不守恒的可能性。

物理学家迟迟不愿接受宇称守恒破坏的设想，因为时空对称性在原子、分子和核物理中起了重大作用，宇称选择定则在大量原子物理、原子核物理甚至 β 衰变中都非常有效^[9]。但是，在宇称问题上人们忽略了一个关键思想，即没有把强相互作用中的宇称守恒和弱相互作用中的宇称问题分割开来，没有这一思想，任何关于宇称不守恒的讨论马上会遇到困难^[10]。

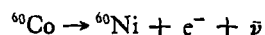
李政道和杨振宁教授当时正是抓住了这一关键性想法，他们重新检验了过去完成的大量弱相互作用的实验，主要是成百上千次的 β 衰变实验，检验这些实验是否容许弱相互作用中宇称不守恒的假设。

以前讨论的 β 衰变相互作用包括了系数为 c 的五项，它们代表宇称守恒的相互作用。如果假定宇称在 β 衰变中不守恒，则应引入另外系数为 c' 的五项， c 和 c' 型相互作用的干涉引导到宇称不守恒的现象。具体计算证明，过去在 β 衰变实验中总结出来的关于宇称的许多选择定则，引入 c' 项后照样成立，电子谱的实验也无法区分只有一类相互作用还是两类并存。经过几个星期的计算，李政道和杨振宁得出结论，所有过去 β 衰变的实验都不能判别 β 衰变中宇

称是否守恒，因为过去的实验都没有测量正比于 cc' 的项。进一步他们意识到，正比于 cc' 的项代表赝标量的项，必须设计一些实验专门测量这类包含赝标量的贡献。

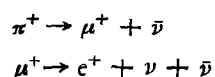
李政道和杨振宁在他们的著名论文^[7]中指出了若干可能的实验来检验弱相互作用中的宇称是否守恒问题。通过与哥德哈勃(M. Goldhaber)和吴健雄博士的讨论，他们了解了极化核的技术，并建议对极化钴核 ^{60}Co β 衰变的角分布测量来检验弱作用宇称守恒问题。此外他们还建议测量 Λ^0 衰变的上下不对称性，测量 π - μ - e 衰变系列，测量 E - Λ - ρ 衰变系列的不对称性等。这些实验的核心是检验衰变产物的角分布是否包含赝标量的项，其中典型的项是衰变产物的动量在衰变粒子极化方向的投影 $\sigma \cdot p \sim \cos\theta$ ，它描述衰变产物的前后不对称性，也就是镜向不对称性。

紧跟着李政道和杨振宁的建议，许多判别性实验在1956年下半年和1957年完成了。首先是美国哥伦比亚大学吴健雄博士和美国标准局物理学家安伯勒(E. Ambler)、海渥德(R. H. Hayward)、霍卜斯(D. D. Hoppos)和哈德逊(P. Hudson)^[11]完成的极化钴核 ^{60}Co β 衰变



前后不对称性的测量。他们在低温条件下把 ^{60}Co 核在磁场中极化，测得 β 衰变的电子关于核极化方向前后明显的不对称。吴健雄博士等的实验在1957年1月发表后轰动了物理学界。1月15日哥伦比亚大学举行新闻发布会，第二天纽约时报头版刊登了宇称不守恒的新闻。著名物理学家奥本海默(Oppenheimer)在给杨振宁教授的回电中说：终于找到了走出黑屋的门。

几天以后，另外两组物理学家^[12]完成了 π 介子衰变到 μ 介子，并进一步衰变到电子的实验



如果弱衰变过程中宇称是不守恒的， μ 介子会纵向极化，衰变产物正电子在 μ 介子极化方向显示出前后不对称性。这些实验和以后的实验

都无可辩驳地证明了弱相互作用中宇称是不守恒的, $\pi-\mu-c$ 衰变系列实验还直接证明了在弱相互作用中电荷共轭变换也具有不对称性, 即正反粒子间的不对称性。

四、弱相互作用中宇称不守恒现象的发现对物理学发展的影响

长久以来, 人们相信与时空对称性相联系的守恒定律在所有相互作用中都是严格成立的。弱相互作用中宇称不守恒现象的发现, 在人们思想中引起了很大的震动。它是一种观念上的突破, 它促使物理学家重新认真审查其它各种时空对称守恒定律的正确性, 同时, 它开始了人们对弱相互作用认识的新纪元。

弱相互作用宇称不守恒实验直接或间接地证明了弱相互作用中电荷共轭变换的不对称性, 即把弱作用反应中的所有粒子换成反粒子, 得到的反应和原来的反应是不对称的。三种分立对称性——空间反演不变性、电荷共轭变换不变性和时间反演不变性——是通过一个称为 CPT 的定理^[13]联系起来的。CPT 定理与拉格朗日量的洛伦兹协变性密切相关。弱相互作用中 C 和 P 单独变换的不变性被破坏了, 那么 C 和 P 的联合变换对称性, 或者说时间反演的对称性是否保持呢? 开始实验没有测到时间反演不变性的破坏。直到 1964 年实验物理学家^[14]在长寿命的 K^0 介子两 π 衰变的测量中, 测到了 CP 联合反演约有千分之三的破坏, 而且从长寿命和短寿命的 K^0 介子衰变实验的分析中, 还可以独立于 CPT 定理, 直接证明了时间反演变换在弱相互作用中有小的破坏^[15]。尽管破坏很小, 总还是显示了弱相互作用中另一类重要的时空分立变换不变性的破坏。

对于连续的时空对称守恒定律, 人们重新进行了实验检验, 有很好的证据表明, 在弱相互作用中这类守恒定律并没有被推翻。

由于弱作用宇称不守恒引起的在观念上的突破, 1964 年发现的时间反演不变性的破坏就不再那么难以接受, 以后不少新理论提出重子

数不守恒、轻子数不守恒等, 人们也不再觉得过于离奇。

弱作用宇称不守恒的发现大大推动了人们对弱相互作用理论和实验的研究。早在 1929 年怀尔 (Weyl)^[16]就指出, 对静止质量为零的费米子(如中微子), 改用两个分量的旋量代替四个分量的旋量, 也可以构成完整的场论, 但这样的场论是左右不对称的。弱作用宇称不守恒被实验证实后, 中微子二分理论很快被几位物理学家合乎逻辑地同时提出来了^[17]。1957 年春夏, 许多物理学家在此基础上进一步研究 β 衰变的精确耦合形式, 得出 V-A 型耦合的结论^[18], 后者又导致矢量流守恒 (CVC) 和赝矢量流部分守恒假设的提出。弱相互作用理论和实验的这些进展奠定了六十年代弱电统一理论的基础。

参 考 文 献

- [1] O. Laporte, *Z. Physik*, **23** (1924), 135.
- [2] E. P. Wigner, *Z. Physik*, **43**(1927), 624.
- [3] R. Dalitz, *Phil. Mag.*, **44**(1953), 1068; E. Fabri, *Nuovo Cimento*, **11**(1954), 479.
- [4] R. H. Dalitz, *Phys. Rev.*, **94**(1954), 1046; R. H. Dalitz, *Proceedings of the fifth Rochester Conference*, January 31—February 2, (1955).
- [5] Whitehead, Stock, Perkins, Peterson and Birge, *Bull. Am. Phys. Soc. Ser. II*, **1** (1956), 184; Barkas, Heckman and Smith, *Bull. Am. Phys. Soc. Ser. II*, **1** (1956), 184; Harris, Orear and Taylor, *Phys. Rev.*, **100** (1955), 932; V. Fitch and K. Motley, *Phys. Rev.*, **101**(1956), 503.
- [6] C. N. Yang, *Rev. Mod. Phys.*, **29**(1957), 231; In *Les Prix Nobel* (Stockholm: The Nobel Foundation, 1957); *Science*, **127**(1958), 565.
- [7] T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.*, **104**(1956), 254.
- [8] T. D. Lee and J. Orear, *Phys. Rev.*, **100**(1955), 932.
- [9] W. M. 吉布森, B. R. 波拉德著, 丁里译, 基本粒子物理学中的对称性原理, 高等教育出版社出版, (1982).
- [10] C. N. Yang, *Selected Papers 1945—1980 with Commentary*, Freeman and Co., (1983), 24.
- [11] C. S. Wu et al., *Phys. Rev.*, **105** (1957), 1413.
- [12] R. L. Garwin et al., *Phys. Rev.*, **105** (1957), 1415; J. I. Friedman and V. L. Telegdi, *Phys. Rev.*, **105** (1957), 1681.
- [13] J. Schwinger, *Phys. Rev.*, **91**(1953), 720, 723; G. Luders, *Kgl. Danske Videnskab. Selskab, Mat.-fys. Medd.*, **28-5** (1954); W. Pauli's Article in *Niels Bohr and the Development of Physics* (Pergamon Press, London, 1955).

- [14] J. H. Christenson et al., *Phys. Rev. Lett.*, **13**(1964), 138.
- [15] T. D. Lee, *Particle Physics and Introduction to Field Theory*. Harwood Academic Publishers, New York, (1981), § 15.5.
- [16] H. Weyl, *Zeitschrift für Physik*, **56** (1929), 330; W. Pauli, *Handbuch der Physik* 24-1 (1933).
- [17] A. Salam, *Nuovo Cimento*, **5**(1957), 299; T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.*, **105**(1957), 1067; L. *Nucl. Phys.*, **3**(1957), 127.
- [18] R. P. Feynman and M. Gell-Mann, *Phys. Rev.*, **109** (1958), 193; E. C. G. Sudarshan and R. E. Marshak, *Phys. Rev.*, **109** (1958), 1860; J. J. Sakurai, *Nuovo Cimento*, **7**(1958), 1306.
- [19] S. L. Glashow, *Nucl. Phys.*, **22** (1961), 579; S. Weinberg, *Phys. Rev. Lett.*, **19**(1967), 1264; A. Salam, *Proceedings of the 8th Nobel Symposium, Stockholm*, Ed. N. Svartholm, (1968). p. 367.

中国科学院物理研究所与北京大学、清华大学联合建议筹建微观加工与结构物理研究中心

为了进一步加强和改进中国科学院和高等院校的科研工作,加强它们之间的联系和合作,发挥它们在应用研究和基础研究方面的重要作用,1986年4月,中国科学院物理研究所所长杨国桢、北京大学固体物理研究所所长甘子钊、清华大学物理系副主任熊家炯联合向中国科学院副院长周光召建议筹建微观加工与结构物理研究中心。

微观加工与结构物理的研究对象是尺度在 $0.1\mu\text{m}$ — 10\AA 范围内的超小或超薄固体,内容包括研究它们所具有的丰富而独特的结构与物理性能及有关现象,并根据预定的设计与要求,研究获得它们的加工技术及其物理基础,从而为研究与开发出用于高技术领域的完全新型的微观功能元器件提供科学和技术基础。

现在,越来越多的实验和理论研究结果表明,在上述微观尺度下的固体中,将出现许多与大块固体的传统概念完全不同的物理现象和物理效应。这些新效应和新概念,无疑将成为新一代固体器件设计的基础,其器件和线路的设计将成为一种“波函数工程”,并以此成为未来新技术、新工艺的生长点。

人们知道,当代固体电子学的成就,以及与其相关科学技术领域的成就,使得固体微观加工与结构物理的深入研究不仅成为可能,而且从发展需要上看,其战

略上的重要性与迫切性也日益显示出来。可以相信,这一领域的研究势必导致固体电子学的一次新的“飞跃”,对下一代人工智能计算机及其相关的信息科学必将产生深远影响。不仅如此,它还可能非电子学部门,诸如化学、生物学、化学反应过程与生命过程等领域获得应用,并在其中起巨大推动作用。当然,当前的关键仍然在于对它进行深入的物理研究。

近年来,一些技术先进国家十分重视并不断加强这方面的研究工作。例如美国在康奈尔大学建立了亚微米研究中心,斯坦福大学正在建立微加工实验室。应该指出,我国已有的微电子中心是以大规模集成电路为对象,仅涉及微米及亚微米尺寸的工艺技术和相应的原理研究,而在这里所涉及的则是 $0.1\mu\text{m}$ 以下的尺度的微观加工与结构物理的研究。据了解,目前国内在这一领域仍是空白,很有必要开展此项工作。

他们在建议中指出:“我们三个单位的有关同志经过充分酝酿,认为我们在学科专业上比较完全和配套,地理环境也方便,组成联合的研究中心能更好地发挥各自的专长,适应国家需要,有利于加快这一具有探索性而又十分重要的研究领域的进程,并把科学研究与培养适应未来信息社会的高水平人才结合起来,为‘面向未来’作出贡献”。

(中国科学院物理研究所黄兴章)