

破缺的宇称*

李政道

一. 序

一个阴暗有雾的日子,有两个小孩在沙滩上玩耍,其中一个说:“喂,你看到那闪烁的光了吗?”另一个回答说:“看到了,让我们走近一点看。”两个孩子十分好奇,他们肩并肩向着光跑去。有的时候一个在前面,有的时候另一个在前面。像竞赛一样,他们竭尽全力,跑得越来越快。他们的努力和速度使他们两个非常激动,忘掉了一切。

第一个到达门口的孩子说:“找到了!”他把门打开。另一个冲了进去。他被里面异常的美丽弄得眼花缭乱,大声地说:“多么奇妙!多么灿烂!”

结果,他们发现了黄色帝国的宝库。他们的这项功绩使他们获得了重奖,深受人们的羡慕。他们名扬四海。多少年过去,他们老了,变得爱好争吵。记忆模糊,生活单调。其中一个决定要用金子镌刻自己的墓志铭:“这里长眠着的是那个首先发现宝藏的人”。另一个随后说道:“可是,是我打开的门。”

我第一次与杨振宁在物理学方面的合作是在 1948 年的秋天。其次是于 1951—52 年。然后是 1955—62 年。最近,一位朋友给我看一

* 原文见 T.D. Lee: **Broken Parity**, *T.D. Lee, Selected Papers*, Vol. 3, Edited by G. Feinberg (Birkhauser, Boston, 1986), p. 487

本书，是杨振宁注释的 1945—1980 年他的论文选¹。书中列举的有关我们合作的情况使我大吃一惊。

我很不情愿地重新去追述和回忆那已经破裂的友谊,为此我感到伤心。

二.早期的合作

1946 年秋季我十九岁时进入芝加哥大学研究生院。杨振宁比我大几岁，和我来自中国的同一所大学。当我到达时，他已经在芝加哥大学了。杨极端聪明，在数学物理上特别有天赋。1945 年我在昆明遇见过他一次。在芝加哥,我们很快便成了好友。

1948 年春,我通过了基础考试，在费米教授指导下开始做我的论文。那时在费米实验室的另一位学生斯坦伯格 (Jack Steinberger)，正在做 $\mu \rightarrow e + \dots$ 衰变中电子谱的实验。他的测量证实, μ 衰变和 β 衰变一样,包括有四个费米子。很自然，我的注意力和在芝加哥的其它几位一样,也被这一领域内的问题所吸引。结果就有了我与杨的第一次合作。

1948 年秋,罗森布鲁斯(Marshall Rosenbluth)、杨振宁和我开始系统地研究 μ 衰变和 μ 俘获。我们发现，这些反应和 β 衰变类似，可以用四费米子相互作用描述，其耦合常数也与 β 衰变中近似相同。随后

¹ C.N. Yang: *Selected Papers 1945—1980 with Commentary* (San Francisco, W.H. Freeman and Company, 1983)

我们推测，这些反应与库仑相互作用相似，实际上是通过普适耦合的中间玻色子场来传播的。对于这种场，所有的费米子对具有相同的“荷”。为了产生短程相互作用，这个场的量子必然具有质量，而由于没能探测到，它的寿命必然是非常短的。然而，因为光子和引力子是没有质量的，中间玻色子要有相当的质量这一问题就使我们极为棘手。同时，因为宇称守恒，那时要理解为什么在 β 衰变中既有费米相互作用，又有伽莫夫-泰勒相互作用是困难的。我们同费米教授讨论了这些问题。在费米的执意坚持下，我们才勉为其难，写出了我们那篇论文²，那是在1949年新年前后。

在芝加哥的那些日子里，我同杨讨论了大量的物理和其它问题。他的兴趣较倾向于数学，这对我是一个补充。我们思想开阔地去对待所有的问题，讨论通常是激烈的，但对我的发展，特别是在我成长的年代里，产生了重要的影响；那些讨论还使我大大提高了对与我不同的智力的鉴赏能力。当然，费米教授给我的影响则大得多³。即使现在，有些时候我遇到困难，我就去设想，如果费米遇到同样的情况会怎么办。费米同他的学生之间的关系是非常亲近的。我可以每周有一整个下午同他见面。通常他总是提出某个题目，问我是不是能想一想和阅读一下有关它们的资料，然后“给他上堂课”。当然，我不能拒绝他的要求，可我随后总是感到非常愉快。只是在很久之后，我才意识到，这是一个引导学生去独立工作的非常好的方法。

我于1949年底离开芝加哥。杨早几个月离开芝加哥去普林斯顿高等研究院（Institute for Advanced Study）。

² T.D. Lee, M. Rosenbluth and C.N. Yang: *Phys. Rev.* **75**, 905 (1949).

³ 除了费米教授，我还从钱德拉塞卡教授（Chandrasekhar），迈耶教授以及在芝加哥的人那里学到了许多知识。杨关于我的物理学训练方面的看法与我迥异。请看杨的 *Selected Papers 1945-1980 with Commentary*（《1945—1980 论文选及注释》），p. 7。

当我于 1951 年秋到达高等研究院时,讨论的最热烈的问题之一是伊辛 (Ising) 模型。那时候,杨刚好完成了他的两维伊辛模型的磁化计算,想继续在这一领域中工作。由于我在芝加哥时,曾听了乔和玛丽·迈耶 (Joe and Maria Mayer) 的统计力学课,迈耶的凝聚理论总是使我入迷。自然,我们的讨论就很快集中到将伊辛结果向气-液相变的推广。很快杨和我严格证明了几个有关相变的定理,做出了具有实质性的进展,稍后发表了两篇论文⁴。第一篇论文包括两个定理,主要的部分是由我证明的。我们完成这篇论文之后,杨要求如果我不在意的话能不能把他的名字放在我的前面,因为他比我大几岁。我对他的要求十分吃惊。由于中国尊敬年长者的传统,我同意了。稍后,我看了文献,察觉这样做是不公平的。当我们写第二篇论文时,我把其它一些发表的论文作为例子给他看,说明年岁的大小通常不是排名要考虑的因素。这样,在第二篇论文上名字的次序便倒过来了,虽然在这篇论文中单位圆定理(unit circle theorem)的决定性的一步是由杨做出的⁵。

在这种看起来细小,但使人颇感困窘的事情之后,我觉得还是不再与杨合作下去为好。这就是为什么我们直到 1955 年都没在一起工作的原因,尽管我还在高等研究院工作了一年半(至 1953 年),然后转到不远的哥伦比亚大学去工作。

在高等研究院的伟人中,爱因斯坦超越一切其他人。年轻人看到

⁴ C. N. Yang and T. D. Lee : *Phys. Rev.* **87**, 404 (1952); T. D. Lee and C. N. Yang: *Phys. Rev.* **87**, 410 (1952).

⁵ 我们用了一个多月的时间,紧张刻苦共同努力,从对单位圆定理的第一个推测开始,经过许多部分成功、部分不成功的尝试,直到最后完成证明。在 1969 年杨对卡斯 (M.Kac) 所作的解释(为了发表)中,他只强调了他自己在合作工作最后阶段的贡献。在我第一次读他的 *Selected Papers 1945-1980 with Commentary* (《1945-1980 论文选及注释》)第 15 页的时候,我没想到他个人会有这样的看法。

他都十分敬畏,他经常和高德尔(K.Goedel)一起走着去办公室。我们所有的人都过分腼腆不敢同他谈话。1952年的一天,爱因斯坦叫他的助手布鲁瑞·考夫曼 (Bruria Kaufman) 来问,他是不是能同杨和我谈谈。我们立刻回答:“当然可以!”⁶我本想把我的的一本“相对论的意义”带去请爱因斯坦签名,但是我没有做,我一直为此感到遗憾。

我们到了爱因斯坦的办公室。他说他读了我们关于统计力学的两篇文章,给他很深印象。他首先询问我们关于巨正则系统的基础。显然,他对这一方法完全不熟悉。这使我十分吃惊,因为我一直以为,这一套方法是为了推导出玻色-爱因斯坦凝聚而发明的。随后他的问题转向格点气体的物理适用性以及配分函数解的分布的细节。我们的回答使他很高兴。整个谈话涉及的面很广,持续了很长时间。最后他站起来,握着我们的手说:“祝你们未来在物理学中获得成功。”我记得他的手较其它人的大而温暖。总之,这是一件非常难忘的事。

三. 宇称破坏

随后几年,虽然我和杨没有合作,但是我们的家庭却经常来往。

1954年杨和米尔斯(Mills)发表了他们关于同位旋规范场理论的文章⁷。这就是著名的“杨-米尔斯方程”的首次问世,它注定要在现代物理学中发挥非常重要的作用。但是在当时,它的最终的重要性我还不太清楚。我在这一研究领域中的作用是不大的。然而,他们的研

⁶ 杨对这一件事的回忆和我的不同。请看 C.N. Yang: *Selected Papers 1945-1980 with Commentary*, p.15。

⁷ C.N.Yang and R.L. Mills: *Phys. Rev.* **96**, 191 (1954).

究结果却使我和杨比较接近,逐渐形成了我们在以后七年中有非常丰富成果的合作。

在 1955 年初,我对杨和米尔斯论文中的“局域规范不变性”假设发生怀疑。由于同位旋不是整体守恒的,为什么去要求它有局域规范不变性呢?为说明这一点,可以举出最好确立的守恒定律,即重子数守恒。依据相同的局域规范不变性假设,人们可以得出结论,一定存在着一种新的长程作用力,可是这一结论没有实验的支持。杨和我讨论了多次,结果就是我们 1955 年的论文⁸。

从 1956 年到 1962 年,杨和我共同写了 32 篇论文,范围从粒子物理学到统计力学。我们很幸运能生在物理学的这一特殊时代。尽管冷战时期政治上是紧张的,但是物理学的国际合作也许是处在高峰时期,由马尔夏克(R.E.Marshak)发起的著名的罗彻斯特会议和由许多国家联合努力而成立的欧洲核子中心就是证明。杨和我的合作符合并反映了那时的精神。合作紧密而富有成果,有竞争也很协调。我们在一起工作,发挥出我们每个人的最大能力。合作的成果大大多于每个人单独工作可能取得的成果。

我们的论文中,最重要的是关于宇称破坏;我这里集中谈一谈这个问题,尽我可能地准确写出我对那个非常有意义的时期的个人看法。我想强调一下,这个看法完全是个人的,它是从我个人的回忆里找出来的,仅仅包括我在场的一些情形。再说一下,这不是那种能让大家共享的回忆录范本。我之所以这样做,仅仅是为了回答杨的说法,因为他对所发生事件的叙述和事实上很不相同。

⁸ T.D. Lee and C.N. Yang: *Phys. Rev.* **98**, 1501 (1955)

宇称不守恒的发现是物理学界一代人的成果。杨和我是众多参与者中的两个。这件事是从 $\theta - \tau$ 之谜开始的,在 1955 年,这已经是物理学界的一个“热点”了。为什么 θ 和 τ ,两个不同宇称的粒子,具有相同的寿命和十分相近的质量?

我起初的努力路线不对。在 1955 年夏天,奥里尔 (J. Orear) 和我在常规理论的范围内提出了一个方案。我们建议了一个级联机制⁹,采用当时大家认可的自旋、宇称, τ 的自旋、宇称是 0^- , θ 的是 0^+ 。基于相空间的考虑,假定 θ ($\rightarrow 2\pi$) 较 τ ($\rightarrow 3\pi$) 具有短得多的寿命看起来是合理的。如果假定 τ 比 θ 重 10 MeV, $0-0$ 禁戒跃迁。

$$\tau \rightarrow \theta + 2\gamma$$

就可以与 τ 的 3π 衰变模式相比,其结果是 θ 的“表面上”的寿命就是 τ 的寿命,假设 θ 的寿命是用 2π 衰变的衰减方法确定的。

然而,在 1956 年初,当阿尔瓦雷兹 (Alvarez) 小组在他们的泡室中寻找 5 MeV 的 γ 失败之后¹⁰,事情就清楚了,我们那个常规的机制是不对的。随后我意识到, $\theta - \tau$ 之谜的解必须取决于更深的基础:或许宇称是不守恒的, θ 和 τ 是同一个粒子。我和杨讨论了这种可能性,但是我们没能做出任何进展¹¹。

不幸的是,就这一点而言,在 $\theta - \tau$ 衰变中宇称不守恒的假设只是同义重复。因为如果假定宇称不守恒仅发生在 $\theta - \tau$ 的弱衰变中,那么最大的可测量效应就只能是同一个零自旋粒子既可衰变为 2π (θ 模式),也可衰变为 3π (τ 模式),可是这样的解释正是原来已经观察到的

⁹ T.D. Lee and J. Orear: *Phys. Rev.* **100**, 932 (1955).

¹⁰ L. Alvarez, *High Energy Nuclear Physics (Proceedings of the Sixth Annual Rochester Conference, April 3-7, 1956)*, (New York, Interscience Publishers, 1956), p. V-28

¹¹ 杨在回答费曼 (Feynman) 在罗彻斯特会议上的提问时表达了我们的这种感觉 (*High Energy Nuclear Physics (Proceedings of the Sixth Annual Rochester Conference, April 3-7, 1956)*, (New York, Interscience Publishers, 1956), p. VIII-27): “...不先入为主,费曼代 Block 问了一个问题: θ 和 τ 是否可能是没有确定的宇称的同一种粒子的不同宇称态,就是说宇称是不守恒的。... 杨说他和李研究过这一问题,但没有得到肯定的结论。”

现象。

在 1956 年罗彻斯特会议之后,我更明确地意识到,除非是能表明宇称不守恒也适用于其它过程,我们不可能肯定地知道在 $\theta - \tau$ 衰变中的宇称是守恒还是不守恒。关键性的一步是发生在大约一周之后,在四月中,来自我和斯坦伯格的讨论,他当时也在哥伦比亚大学。

那时,斯坦伯格和其它人正在详尽地做 Λ 和 Σ 的产生和衰变的实验。

$$\pi^- + p \rightarrow \begin{cases} \Lambda^0 + K^0 \\ \Sigma^- + K^+ \end{cases} \quad (1)$$

和

$$\begin{cases} \Lambda^0 \\ \Sigma^- \end{cases} \rightarrow \pi + N. \quad (2)$$

产生平面和衰变平面之间的二面角 θ 对确定超子的自旋很重要。斯坦伯格和我讨论了 θ 的范围,作为二面角, θ 从 0 变到 π 。在讨论过程中,发现如果 θ 作为绕 Λ 的动量矢量旋转的角度而被测量,此矢量是这两个平面的相交线,那么这 θ 的范围可以扩大为从 0 到 2π 。我指出,如果宇称是不守恒的,那么在 θ 从 0 到 π 和从 π 到 2π 之间的事例数也会是不对称的¹²。

这可能就是那没有找到的钥匙。稍后,我意识到,一个较简单的方法可能是,将 θ 的定义改为产生平面的垂线与末态 π 的动量间的夹角。宇称不守恒则意味着 $\cos \theta$ 从 0 到 1 之间的“向上”事例与从 0

¹² 在讨论之后,斯坦伯格和他的合作者们立即重新分析了他们的数据,去寻找这种不对称。史瓦兹 (Mel Schwartz) 回忆起,他们的分析按我的建议在 1956 年 4 月中旬做完;最近斯坦伯格也提醒我,检验宇称不守恒的第一次实验尝试的结果,实际上是在杨和我的理论论文发表之前发表的。请看 R. Budde, M. Chretien, J. Leitner, N. P. Sanmios, M. Schwarts and J. Steinberger: *Phys.Rev.* **103**, 1827 (1956)。感谢史瓦兹和斯坦伯格告诉我他们的回忆。

到-1的“向下”事例之间的不对称。

我随后提出假设,虽然强相互作用保持宇称守恒,至少在强相互作用粒子的弱衰变中会存在宇称破坏。这就可以解释 $\theta - \tau$ 之谜,并在斯坦伯格的超子实验中产生上下不对称。那时,这类的超子事例的数目很有限,只有约40个。但是在一年之后,事例多起来,人们就可以用统计上有意义的方法去检验超子衰变的上下不对称,这样可以对宇称不守恒的想法给出一个决定性的检验¹³。宇称不守恒显然还有很多其它的和进一步的结果,我开始对这点做研究。我对我获得的进展十分激动。

大约在五月初,斯坦伯格来到我的办公室,告诉我。他在布鲁克海文实验室刚刚做了一个有关他的实验的报告。杨在场听了这个报告,他强烈反对我关于在斯坦伯格的超子实验中由于宇称不守恒而可能存在着上下不对称的想法。随即我打电话给杨,请他在我们进一步讨论之前不要把他的反对的想法公之于众。

次日清晨,杨从布鲁克海文驱车来到哥伦比亚大学。我们进行了十分深入的讨论。我告诉他我的想法和分析。他很快相信了它的重要性,并且愿意与我一起做这个工作。

杨天赋具有高度评判能力的头脑。如果我能通过具有实质性的争论推翻他的反对意见,就会使我觉得更有信心。而且,他是一位出色的物理学家。宇称不守恒牵涉到物理学的所有方面。我想杨的参加毫无疑问会扩大最后的成果。因此我表示欢迎他。

¹³ 事实上,斯坦伯格小组在1957年观察到了这一点(F. Eisler *et al.* : *Phys. Rev.* **108**, 1353).

那天,由于停车的规定,杨要在 11 点钟的时候换个地方停车。我们的讨论便移到 125 街和百老汇大街路口上的白玫瑰咖啡厅,然后又移到隔几个门远的天津饭店,在吃过午饭后回到我在哥伦比亚大学的办公室。我们的讨论包括了大量不同的物理过程,争论,辩论,有时候甚至吵嚷起来;偶然我们也转换我们的看法,以便能弄得更确切。我们在对立和和谐中一起工作,十分紧张,巨大敞开的感觉,好像整个世界就在我们的面前,年轻人无畏无惧,就是这些使生命变得意义无穷!

我们两个当然知道,有非常好的实验证据说明,在包括 π 介子和核子的强相互作用中,宇称是守恒的。但是在其它粒子的强相互作用中宇称守恒的证据是否是一样好呢?这天终了时,我们坚信对强相互作用而言宇称确实是守恒的,即使对超子也是如此。另外,在电磁相互作用中宇称守恒也有很好的证据。

我最初的论点,奇异粒子的所有弱衰变可能是宇称不守恒的,是能站住脚的。但是,对非奇异粒子的弱相互作用,需要作进一步研究,我们两个都同意我们应该研究这个问题。

在杨和我那天的合作之前,我本来想把我已经做完的奇异粒子衰变中宇称不守恒的工作先写出来。可是,杨说服了我暂且不写,因为把研究范围扩大到整个弱作用更好¹⁴。我们分手之后,各人继续对 β 衰变中的宇称问题进行研究。

因为这是我个人的回忆,我只能描述在哥伦比亚大学发生的事情,而不包括当时杨所在的布鲁克海文实验室发生的事情。

¹⁴ 杨对那天发生的事情的回忆和我的不同。请看 C.N. Yang: *Selected Papers 1945-1980 with Commentary* (《1945-1980 论文选及注释》)第 26-28 页。

β 衰变是一个有长久研究历史的领域。那时已经有了大量可供利用的知识。由于宇称守恒一直是一个在所有分析中都不言而喻的假设,宇称的概念被广泛地应用,因此需要非常慎重地去检验所有已有的实验事实,去看一看宇称不守恒是不是能够推广到 β 衰变。 β 衰变领域世界上最权威的专家之一是吴健雄,她的办公室就在哥伦比亚大学比我的办公室高几层的楼上。我访问了她,告诉她这些想法。她对此非常感兴趣,把齐格班(K. Siegbahn)编辑的 β 衰变的权威书籍¹⁵ 借给我看。

那时,杨和我对宇称算符 P 的实质意义都还不清楚。当然,我们知道它的数学特征: P 应当由在希尔伯特空间里的一个么正算符来表示,在 P 作用下,对自旋为 $1/2$ 的费米场,可以得到

$$P \Psi (r, t) P^{-1} = e^{i\phi} \chi \cdot \Psi (-r, t)$$

等等。没有宇称守恒, β 衰变应该用一个推广的拉格朗日函数来描述,包括十个耦合常数,常用的五个是 C_i ($i = S, P, V, A, T$) 以及另外五个宇称破坏的常数 C_i' 。

杨和我开始系统地用推广的宇称不守恒作用对所有已知的 β 衰变现象进行研究。我们很快读完了齐格班的书,经常保持电话联系。我们花了两个星期的时间完成了全部的 β 衰变分析。在计算的能力上,杨和我不相上下。这次的比赛十分紧张,但是合作和竞赛的气氛是非常好的,我们两个都是赢家¹⁶。在这么紧张和广泛的计算工作中要把谁说成走在前面都是没有意义的。

¹⁵ K. Siegbahn, editor, *Beta- and Gamma-ray Spectroscopy* (Amsterdam, North-Holland Publishing Co., 1955).

¹⁶ 杨关于我们共同努力去研究宇称不守恒的回忆几乎完全与我的不同,甚至连非本质的细节都不同。例如,他甚至把我们如何写出论文的方式都说得不一样。和他的说法不同 (C.N. Yang: *Selected Papers 1945-1980 with Commentary* (杨振宁《1945-1980年论文选及注释》,第29页),我记得把结果写成论文是共同做的;实际上,像通常我们的合作一样,我们几乎不断地在用词上、表达上的细微差别上争论。在一段时间内修改的论文有几个稿。

我们从研究允许的跃迁谱开始,我们发现,经过一些计算,只要简单地用

$$C_i^* C_j + C_i'^* C_j' \quad \text{去代替通常的 } C_i^* C_j, \quad (3)$$

就可以得出同样的 β 分布。其次是禁戒跃迁谱,同样也可以这样做。我们随后计算了库仑效应, $\beta - \nu$ 关联, $\beta - \gamma$ 关联和从极化核得到的 β 和 γ (当时已有的)。虽然某些计算相当复杂,但假设我们采用上述同样的替代, C_i 和 C_j' 之间所有的干涉项最后全部相消,得到了同样的熟悉的表达式。

最后我们读到齐格班书的结尾,用这一新的相互作用重新推导了全部老公式。到那时就清楚了,并不存在任何一个证据,证明在 β 衰变中宇称是守恒的。我们又会合在一起校对计算手稿。在讨论中我们认识到我们是多么愚蠢,为什么那些复杂的 $C_i^* C_j'$ 干涉项互相消去,这应该有一个非常简单的理由。当我们停止计算,开始思考,在非常短的时间里事情就清楚了,不存在证据的理由是一个简单的事实,就是没有任何人曾试图从看来似乎是左-右对称的安排中去观察一个赝标物理量!

从那时起,理论分析不需要什么详细的计算就可以进行了¹⁷。宇称之剧的下一场戏已经确定,会有很多人参加。

这里还有一个在实验上如何探测在 β 衰变中宇称破坏的问题。我

¹⁷ T. D. Lee and C. N. Yang: *Phys. Rev.* **104**, 254 (1956).

又与吴健雄讨论了在 β 衰变中测量自旋-动量关联的不对称性的最好办法。她建议可以使用强极化的 ^{60}Co β 源,但是为此需要建立一个低温装置。随后,她找到了华盛顿的国家标准局。于是便有了吴、安布勒(Ambler)、海沃德(Hayward)、霍普斯(Hoppes)和赫德逊(Hudson)的著名实验¹⁸。

1956年夏天我是在布鲁克海文实验室过的。杨和我与在那里的许多实验物理学家进行了大量的讨论,有戈德哈伯(M. Goldhaber), 德班纳德第(S. DeBenedetti)等,鼓励他们去做各种宇称实验。他们的反应各不相同。我们在那个夏天把大部份合作的时间花在了统计力学以及多体问题上。1955年黄克逊、路丁格(Luttinger)和杨研究了硬玻色球的稀薄系统的性质。他们遇到了一些困难,杨把困难告诉了我。在我们的讨论中,我们从一个与前不同角度考查了存在的问题。这使我们作出了进一步的进展。这项研究的结果就是二重碰撞法¹⁹的公式和与黄合作研究硬球系统的能级²⁰。在这些研究中有不少曲折和进步。姑且不谈其中的物理兴趣,这些计算减轻了(至少对我是这样)由于等待宇称实验的结果而产生的焦躁不安。

那年夏天的一天,杨给我看一封非常有趣的信,是奥米(R. Oehme)写的,他在信中指出,在一定的限制下,要求电荷共轭(C)和时间反演(T)对称,就意味着宇称(P)必须守恒。稍后我考虑了奥米提出的这个问题。很快我就意识到,在任何相对论局域场论中,CPT乘积总是守恒的。对我说来这是一项极为重要的定理,于是我立即对肯诺什它(T. Kinoshita),然后又对费曼解释,他们正好离我夏天在布鲁克海文实验室的办公室不远。当我向他们解释时,我忽然有一种奇怪的感觉,

¹⁸ C.S. Wu et al.: *Phys. Rev.* **105**, 1413 (1957).

¹⁹ T. D. Lee and C. N. Yang: *Phys. Rev.* **105**, 1119 (1957).

²⁰ K. Huang, T. D. Lee and C. N. Yang: *Phys. Rev.* **106**, 1135 (1957).

似乎在以前不同的场合,我曾听到过现在我讲的话。之后,我努力回想那是发生在什么场合,模糊地回忆起,那和泡利(W. Pauli)有关。确实,1954年泡利曾到哥伦比亚大学普平(Pupin)实验室做报告,讲的是CPT定理。那时我和其它人一样,坚定地相信C,P和T分别是守恒的。联合对称是相对论局域场论必需的结果这一事实没有引起多大的兴趣。然而,在我的潜意识里肯定留下了某种深刻的印象,以致在几年之后又能重新出现,使我能在创记录的短时间内推导出CPT定理。从此以后,我总是要求自己听完我不完全理解的讲座,希望它以后某一时刻可能对我有所启发。

1956年莱德曼和他的小组根据盖尔曼(Gell-Mann)和派尔斯(Pais)精确的理论预言²¹,刚刚做出长寿命 K^0 介子(那时称做 θ_2^0)的重要发现^{22††},它被认为是奇异粒子衰变中C守恒的严格证明。由于有了CPT定理,我们关于宇称不守恒的工作要扩展到C,CP和T有可能不守恒上去。我们发现,长寿命 θ_2^0 的存在实际上与C或者CP守恒完全无关,而且没有任何证据能去假设这些对称性在弱相互作用中是守恒的。

这一工作的结果,就是我们和奥米联合写的论文²³,讨论了CP和T的破坏的可能性,并提出了几种去探测这种破坏的实验方法。奇怪的是,杨对这篇论文的评价²⁴,过去和现在,也都与我的不同。

解决对称破坏这一问题的最后推动力几乎完全来自实验方面。据我回忆,那年圣诞节时,我刚刚完成了我、奥米和杨的论文的附录的最

²¹ M. Gell-Mann and A. Pais: *Phys. Rev.* **97**, 1387 (1955).

²² K. Lande, E. T. Booth, W. Chinowsky, J. Impeduglia and L. M. Lederman: *Phys. Rev.* **103**, 1901 (1956).

²³ T.D. Lee, R. Oehme and C.N. Yang: *Phys. Rev.* **106**, 304 (1957).

²⁴ C.N. Yang: *Selected Papers 1945-1980 with Commentary*, p. 32 and 58.

后修改。由于到了年底,我自然要深思一下这一年我在物理学上做了些什么。我想到了我和杨写于年初的关于 G 宇称的论文²⁵, 之后是秋季与黄和杨的关于玻色硬球系统的解。这两篇论文都是肯定的,我想它们对物理学应该是有价值的,即使在将来也是这样。对于分立对称性的破坏,吴健雄的 β 衰变和斯坦伯格的超子不对称实验仍在进行之中,但是理论的推测已经扩展到不只是 P 和 C 破坏,而且已经到 T 和 CP 的破坏了。接着我看了一下我刚刚写下的最后一个式子; 这是关于不对称参量可能偏离 1 的式子²⁶,

$$r = \text{衰变率}(K_+^0 \rightarrow \pi^- e^+ \nu) / \text{衰变率}(K_+^0 \rightarrow \pi^+ e^- \bar{\nu}) ,$$

这是 CP 破坏的一个证明 (K_+^0 现在叫做 K_L^0)。因为,从么正性考虑,并且假定最优化条件,已经知道它与 1 偏离很小,估计约需要 10^4 - 10^5 个长寿命 K^0 衰变事例才能定出需要的 r 值准确性。那时,总共只观察到 23 个长寿命 K^0 事例。我感到,将来无论要发生什么事,我必须沿着这一方向讨论这些方程式,当然它们在我有生之年是没有机会被证实的。

然而,事情比我的预料发生得快得多。几天后,12 月 29 日,星期六,我收到了吴健雄打来的电话。在那半年里,她把她的大部份时间花在华盛顿国家标准局的低温实验室。但是我们一直保持着联系。她告诉我,她的 ^{60}Co 实验结果真正地显示出宇称不守恒,但是还需要进一步检查以便确定这一破坏的准确量级。1 月 3 日,第二周的星期四,吴到我的办公室来说,她已经检查了全部的修正,破坏的效应是很大的。我向她担保这是极好的结果,因为它完全与二分量理论相符。接着我立即打电话给在奈维斯(Nevis)的莱德曼和普林斯顿的杨。

²⁵ T.D. Lee and C.N. Yang: *Nuovo Cimento* **3**, 749 (1956).

²⁶ T.D.Lee, R. Oehme and C.N. Yang: *Phys.Rev.* **106**, 304 (1957) 的式子 (A7)。

那年,杨和我同莱德曼讨论了多次,敦促他去做 $\pi - \mu - e$ 实验。但是莱德曼不太愿意去做,部份原因是他正忙于其它实验(他总是忙的),部份原因是他担心宇称破坏的效应在 π 衰变和 μ 衰变两者中可能不大;在 $\pi - \mu - e$ 级联事例中所观察到的效应依赖于乘积,因而很可能十分小。电话里,我努力对他强调,从吴的结果显示出,二分量理论肯定是正确的,无论在 π 衰变或在 μ 衰变中的效应都应该是很大的,100%的效应乘以 100%的效应仍应该是 100%的效应。这样,他必须去做 $\pi - \mu - e$ 的实验。莱德曼说,不管怎么样,第二天他要到普平实验室来,因为是星期五了。星期五,像过去和现在那样,我们午饭总是吃中国餐。

第二天、1月4日,莱德曼和奥里尔以及其它好些同事去上海咖啡店,在我反复讲了吴的关于宇称破坏的结果、二分量理论等等之后,我们的讨论很快集中到如何做 $\pi - \mu - e$ 实验上去了。莱德曼说,他有一个学生,马赛·温瑞奇(Marcel Weinrich),正在做康凡西-皮西奥尼-潘西尼(Conversi-Pancini-Piccioni)有关 μ 俘获和 μ 衰变的经典实验。要做新的实验,他只需慢慢地转动已存在的计数器去观察在最后电子的方向中有没有什么角度不对称。另外一个方法是用乳胶,奥里尔说他愿意去试试。后来发现,泰勒格第(V. Telegdi)和费雷德曼(J. Friedman)已经在芝加哥开始做这项实验了。

当然, μ 子在停下来的过程中,它的自旋可能被退极化。这个问题使我感到困惑,同样,也许其它参加讨论的人也感到困惑。尽管如此,最好的方法是去试一试,于是莱德曼说,他可能大约在两周的时间里得到结果。周末,伽温(R. Garwin)参加到这个实验里去。进展速度比预料的快得多。使我大为吃惊的是,三天之后莱德曼在早上六点钟刚过,就打电话给我,说宇称死了,他们得到了“22个标准偏差”的效应!

在 1957 年诺贝尔奖金的消息传来的时候,我正在普林斯顿。我感到非常兴奋和感激,便给我的老师吴大猷教授写了一封信,表达了我对他的深深的感激,没有他在中国时亲自给我的指导,并在 1946 年给我提供奖学金,我的生活就会完全不同。11 月我和我的夫人惠箬为去瑞典做准备。杨和我都必须写我们的讲演和发言。在讨论要做些什准备的时候,杨要求能不能按年龄的次序在授奖仪式上去接受奖金。我大为惊讶,但是勉强同意了他的要求。

1957 年之后,我回到纽约。杨和我继续合作了几年。那时,我们很有规律地每周会面两次,这是在我们合作从事宇称不守恒工作之后很快就确定了的工作模式:通常杨星期四到纽约来,我星期二去普林斯顿。

在哥伦比亚大学我经常与实验物理学的同事们接触;在高等研究院,杨就没有这种有利条件。由于粒子物理学的许多进展都取决于实验物理学家与理论物理学家的密切联系,这在杨和我之间产生了一种不对称,下边的例子就足以说明。

1959 年秋,我对弱相互作用的高能行为发生了兴趣,与莱德曼,史瓦兹和斯坦伯格就实验的可能性进行了多次讨论。有一次,我们想产生高能 μ 子束并用诸如 $\mu + p \rightarrow \nu + \dots$ 反应作为探测手段。过后有一天,史瓦兹想改用高能中微子。下边是他关于那件事的回忆²⁷。

“哥伦比亚的中微子实验的开头,起源于在普平 (Pupin) 实

²⁷ *Adventures in Experimental Physics*, Vol. α , ed. B. Maglich (Princeton, World Science Communications, 1972), p. 82.

验室八楼的一个日常喝咖啡的休息时间。每天，在那儿，老师和研究生们快乐地相聚半小时，放松他们日常的工作。……

“在 1959 年 11 月一个星期二的下午喝咖啡休息时，我恰好到得稍晚，我发现已有活跃的一群人围绕着 T. D. (政道，这是我们通常对李政道的称呼) 讨论什么是最好的方法去研究高能量下的弱作用。在黑板上写着很多不同种可能的反应，用了所有知道的粒子——电子、质子、中子。可是没有一个是合适的。……”

“那天晚上，忽然我想到，这是很简单的，只需要用中微子。因为中微子的作用很弱，所以一切它们的作用是弱作用。第二天早晨，我奔到李政道的办公室……。”

这就是通向未来进展的决定性的一步。杨和我随后写了有关理论上的多方面含义的文章²⁸。这篇论文与史瓦兹的论文²⁹一起成为 1962 年莱德曼、史瓦兹、斯坦伯格和其他人做的著名的两代中微子实验的基础³⁰。

由于在我的三个同事进行他们的实验时我比较接近他们，当他们有理论上的问题时，他们总是来找我，而不是去找杨。这样，杨和我之间的微妙对称关系就受影响了。但是，在那时（1959 年）我没有注意这么轻微的不对称将会在一段时间之后严重地影响了我们之间的对称，而且最终在使我们的合作和我们的友谊受到破坏中起了一定的作用。

²⁸ T. D. Lee and C. N. Yang: *Phys. Rev. Lett.* **4**, 307 (1960).

²⁹ M. Schwartz: *Phys. Rev. Lett.* **4**, 306 (1960).

³⁰ G. Danby, J. M. Gaillard, K. Goulianos, L. M. Lederman, N. Miatry, M. Schwartz and J. Steinberg: *Phys. Rev. Lett.* **9**, 36 (1962)

四.友谊的破裂

1962年捷梅·伯恩斯坦（Jeremy Bernstein）写了一篇有关杨和我的侧记，发表在5月12日的《纽约客》杂志上。我们在四月就收到了伯恩斯坦文章的校样。在修正了某些小节之后，杨说文章中有“某些令人痛苦的地方”，希望要讨论一下。在文章中的某些地方，他希望他的名字要写在我名字的前面：1）标题上；2）诺贝尔奖金宣布时；以及3）在我们接受奖金的时候。另外，还有他夫人的名字致礼也要放在惠箬的前面，因为致礼年长一岁。第二天，他来我这里并说那文章中凡是提到“李和杨写了……”的地方都要加一个注，说明这是由于字母次序排列的习惯。我对他说，他太无聊了。那天晚上，他打电话给我说，或许不要加注了，但是在那文章中都要写成“杨和李写了……”。我发呆了。

稍后，根据杨的说法，4月18日，他到我办公室来³¹，说他让名字的次序简直弄得越来越深觉烦恼了，而这个问题已经扩散到所有我们合作的工作中去：“李和杨”，按字母次序排使他不高兴；“杨和李”让人们觉得他好笑，而乱排姓次也使人看了觉得奇怪。这真正是“进退维谷”了。所以我建议或许我们今后不再合作为好。随即，他变得非常激动，开始哭起来，说他非常愿意和我一起工作。我感到困窘和无能为力，和他耐心地谈了好长一段时间。最后我们同意，至少在一定的时间里我们不再合作，然后再作决定。

³¹ 杨关于此事的说法和我不同。请看他的 *Selected Papers 1945-1980 with Commentary*（《1948-1980年论文选及注释》），第53页。他说，1962年4月18日的会面，是为了共同回顾并达成对我们合作的一致看法。这完全和我自己的回忆不同。

那年六月,当莱德曼、史瓦兹和斯坦伯格的两代中微子的实验结果已准备好要发表,杨又变得极度的焦躁不安,担心在他们的文章中的致谢词里我们姓氏排列的次序。万万没料到,杨接着给我来了一系列的信,很不愉快且充满了敌意。我对所有这些事感到非常遗憾,并意识到我们的友谊不会再继续了。

我和杨的合作在二十年前结束了。它的价值,就如我们已发表的科学论文所表现出的那样,经得起时间的考验,不需要更多的说明。可是,使我真正感到伤心的,是因为新近出版的《杨振宁 1948-1980年论文选及注释》一书使我不得不写这篇文章。