

超子衰变的早期宇称实验和 50 年代 哥伦比亚大学的其它往事回忆*

曼温·史瓦兹(Melvin Schwartz)

我今天作报告的目的是想尽我所能把 1954—1964 年在哥伦比亚大学那一段真正值得大书特书的十年的情形再现出来。对我们中间那些曾参与这一时期活动的人们，这一时期必然是我们一生中最有创造性的时期。这个时期是一个具有无比兴奋和成就的时期。当然，它的中心就是我们的老师和我们的灵感的来源——李政道。

粒子物理学的 50 年代初期是这么一个时期，在那时期已有足够多的奇异粒子，如 K 介子和超子，产生出来供我们进行比较细致的研究。布鲁克海文实验室的高能同步稳相加速器（Cosmotron）刚建成运转，一些研究小组进行实验去产生和测量那些奇异粒子的特性。特别是，当时有一个突出的问题占据着多数粒子物理学家的头脑，不论是理论家还是实验家，那就是 $\tau - \theta$ 之谜。

现在， τ 和 θ 这两个符号的意义已和那时不一样了。简单地说，那时用 τ^\pm 表示能衰变为 $\pi^\pm \pi^+ \pi^-$ 的 K 介子，而 θ^\pm 表示能衰变为 $\pi^\pm \pi^0$ 的 K 介子。当然，热烈争论的问题是，它们是同一个粒子的不同表现形式吗？

* 原文见 Melvin Schwartz, **Early Parity Experiments in Hyperon Decay and Other Recollections of Columbia in the Fifties, Thirty Years Since Parity Nonconservation**, edited by R. Novick, ed., (Birkhauser, Boston Inc., 1988), p. 11

现把在 1954—1955 年对 θ^\pm 和 τ^\pm 的认识的状态总结如下:

1. 在实验误差的范围内, 两个粒子具有差不多相同的质量。

2. 达立兹(Dalitz)提出了用衰变中相对动量的密度分布图来确定 τ 自旋的方法。很清楚, τ 是自旋为 0 的粒子, 它必定^①是 0^- 。如果 θ 的自旋为 0, 它必定^②是 0^+ 。

3. 在不同角度 τ 和 θ 的产生率的比的测量结果是个常数。因此, τ 和 θ 产生的机制应该是完全一样的。

4. 最使大家惊异的是, τ 和 θ 的寿命是一样的, 尽管它们具有十分不同的衰变模式, 并且其相空间也很不同。

总而言之, 如果不考虑一个是标量, 另一个是赝标量的事实, 任何一个推理的人都会做出这样的结论, 即 τ 和 θ 实际上是同一个粒子。

在那个时候, 要接受在这些衰变中宇称不守恒的概念是很难的。确实, 李是那两篇想换一种方法来解决 τ 和 θ 之谜的论文的作者之一。一篇论文是李和奥里尔 (Orear) 做的, 提出了从长寿命的 x 介子到短寿命的 K 介子的 γ 射线的级联过程。另一篇文章中, 李和杨振宁提出被称为宇称双重态的建议, 当奇异数是奇数时, 必须存在镜像奇偶宇称双重态。无须说, 李—奥里尔 γ 射线从来也没有被探测到。宇称双重态机制也不能成立, 因为它根本不能解释 θ 和 τ 寿命相同的事实。

^① 译者注: 这里 0^- 指自旋为 0, 宇称为负。

^② 译者注: 这里 0^+ 指自旋为 0, 宇称为正。

我个人首次参与宇称破坏的研究工作是在 1956 年春。尼克·塞缪斯 (Nick Samios), 杰克·雷特奈尔 (Jack Leitner) 和我当时都是研究生, 跟杰克·斯坦伯格 (Jack Steinberger) 一起用泡室首次详细研究奇异粒子的产生和衰变。斯坦伯格刚开完罗彻斯特会议回来, 在会上他宣布了我们对于以下过程所得的结果:

$$\begin{aligned} & \pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0; & \Lambda^0 & \rightarrow \pi^- + p \\ \text{和} & & & \\ & \pi^- + p \rightarrow \Sigma^- + K^+; & \Sigma^- & \rightarrow \pi^- + n \end{aligned}$$

那时提出的一个问题是 Λ^0 或 Σ^- 的自旋。通过对产生和衰变平面之间的角关联的研究, 我们可以确定 Λ^0 (或 Σ^-) 的自旋是 1/2 或 3/2。

让我们集中注意, 取产生平面的法线 \hat{n}_p 沿着 $\vec{P}_\pi \times \vec{P}_\Lambda$ 的方向, 在 Λ^0 质心系中衰变平面的法线 \hat{n}_D 沿着 $\vec{P}_\Lambda \times \vec{P}_p$ 的方向, 定义 ϕ 角为

$$\cos \phi \equiv \hat{n}_p \cdot \hat{n}_D$$

这一角度叫做产生平面和衰变平面之间的二面角。如果 Λ^0 的自旋为 1/2, 那么 ϕ 的分布是均匀的。另一方面, 如果 Λ^0 的自旋为 3/2, 且在生成时有一定的极化, 那么它的分布形式是

$$D(\phi) \propto 1 + \alpha \cos^2 \phi$$

我们画出了 ϕ 从 0 到 π 之间的数据分布, 虽然很清楚, 由于 $D(\phi) = D(\pi - \phi)$, 实际上只需要画出从 0 到 $\pi/2$ 之间的分布就行了。

无论如何, 我记得十分清楚, 在罗彻斯特会议(4月3—7日举行)之后, 斯坦伯格立即回到奈维斯 (Nevis), 告诉我们, 当他在会后与李政道讨论二面角的分布时, 李有一个非常重要的想法。他建议斯坦

伯格,让我们画出从 $\phi = 0$ 到 $\phi = 2\pi$ 的数据。特别是,从 $\phi = 0$ 到 $\phi = \pi$ 的数据应该对应于大致沿着 \hat{n}_p 方向的,来自 Λ^0 衰变的质子,而从 $\phi = \pi$ 到 $\phi = 2\pi$ 的数据,应该对应于大致沿着与 \hat{n}_p 相反方向的质子。如果存在非对称性,那么这就会是在 Λ^0 衰变中宇称破坏的一个明显的例证。

不用说,我们又重新分析了这些数据,但是由于数据不够多,不足以得出什么结论。

正如许多伟大的思想一样,关于在弱相互作用中宇称不守恒的想法到处冒出来大约已有一年时间。不是李也不是杨首先提出这一问题,事情的关键是**下一步怎么办**。如何能解决这个问题?什么实验能够检验这一假说?事实上,就我所知,沿着这一线索前进的最早的建议产生于斯坦伯格与李政道的那次谈话,那时李建议我们去检查一下我们的数据,以寻找不对称性。

这时,李和杨所走的下一重要步骤,就是详细地研究文献,看看大量的有关 β 衰变的工作有没有显示出宇称的破坏。不用说,在任何 β 衰变谱和衰变率的测量中,他们的确没有发现什么东西能够说明有这种破坏。确实,为了寻找这种效应,必须总是去注意赝标量类型的参数,但是从来没有一个这种参数被研究过。

李和杨随后确信,过去没有任何证据能够证明或者否定在弱相互作用中(除去 $\tau - \theta$ 之谜)宇称是不守恒的,并提出了一系列能够说明这一问题的实验建议。其后的情形是大家都知晓的历史了。1956年吴健雄和她的同事们证明了在 β 衰变中宇称是不守恒的。随后莱德曼(Lederman)和伽温(Garwin)的实验,泰勒格第(Telegdi)的实

验则把这一结果扩展到 $\pi - \mu - e$ 链。而大约八个月后，阿尔瓦雷兹（Alvarez）小组以及我们自己的合作小组也成功地在 Λ^0 衰变中发现了不对称，把宇称破坏扩大到奇异粒子的衰变。那时，宇称不守恒已经是“老掉牙”了。

可以体会，五十年代在哥伦比亚大学作研究生真是难忘的经历。

我的第二件有关政道在我的生活中起了重要作用的回忆，是从 1959 年秋天开始的。那时，我是一个年轻的助理教授，主要在奈维斯做研究工作，同时要在学校教书并参加其它活动。每当下午去学校时，我总是到第八层楼去参加下午喝咖啡的聚会。总是由政道站在黑板前引导着讨论，每一个人都兴奋地参加。我非常清楚地记得，有一天下午讨论的题目是高能弱相互作用的研究。讨论了各种各样的想法，但是没有一种是可行的。那天晚上，受到政道启发的一个直接结果，是我想出了利用中微子来做探针。这就是最终在 1962 年完成的第一个高能中微子实验的起源。^③

我想强调的，不仅是李政道的犹如“珍珠贝中的沙粒”那样的给予灵感的作用，而且是他不断地把人们的注意力集中在实验上可能的重大结果上的那种重要作用，这一结果就是 μ 中微子的确认。在这之前，费因伯格(Feinberg)在一篇相当重要的论文里曾经指出，如果有中间玻色子，那就无法解释在 μ 衰变中 $\mu \rightarrow e + \gamma$ 远低于 10^{-5} 这一事实，除非有两种类型的中微子。（在一段时间里，事实上，这是作为反对这种玻色子的一个论据。）1960 年夏天，在罗彻斯特会议上，李提出了一个**非常重要**的想法，**任何**一种能想到的机制，只要它给弱相互作用一个固有的尺度，就必然会导致 $\mu \rightarrow e + \gamma$ ，除非存在两种类

^③ 译者注：1962 年莱德曼，史瓦兹和斯坦伯格用高能中微子实验证明了 μ 中微子的存在，因而获得 1988 年诺贝尔物理奖。

型的中微子。此外，该固有的尺度必须小于 300 GeV，否则么正性在弱相互作用中会被破坏。这就可以得到费因伯格的论文里所提到的关于 10^{-5} 的分支比的结论。简言之，李在 1960 年已经证明，**必须**有两种中微子，而我们的实验结果则实际上完全没有出人意料。

总之，政道是哥伦比亚大学那伟大的十年里，粒子物理世界的伟大指导人物。他亲自引导我，我以后在任何其它地方再也没遇到过这种机遇了。我要利用这一机会表示我的感谢，因为他使那一伟大时期成为可能。