

重轻子理论的先驱——蔡永赐

郑志鹏 江向东

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

与世界上设立的名目繁多的奖励相比,诺贝尔物理学奖无疑最具公正性和权威性。从1901年至2000年,该奖获得者共计162人次。几乎可以说,所有获奖人无一不是获奖领域的先驱者和开拓者,其物理学成就都是经得起历史检验的,都无愧于诺贝尔物理学奖这个至高无上的科学荣誉。然而,诺贝尔物理学奖却令人遗憾地未能做到“四海无遗珠”。除了以前引起过讨论的一些例子之外,这里介绍的对重轻子(即 τ 轻子)理论做出了开拓性贡献的蔡永赐(Yung-su Tsai)教授,也成了诺贝尔物理学奖的一颗“遗珠”。

1975年首次在实验上观察到了重轻子的美国斯坦福大学实验物理学家马丁·佩尔(Martin L. Perl),因对重轻子的这一贡献荣获了1995年诺贝尔物理学奖的一半,另一半授给了因1953年探测到了中微子的美国欧文加州大学的物理学家弗雷德里克·莱因斯(Frederick Reines)。这两位物理学家获得了诺贝尔奖是无可非议的。我们觉得遗憾的乃是,



题图:1999年9月于SLAC,从左至右蔡永赐,潘诺夫斯基,郑志鹏。

作为重轻子的预言人、实验思想和实验方法的倡导者蔡永赐,对重轻子物理的这等不容忽视的贡献却受到了不应有的忽视。

蔡永赐1930年生于台湾玉里。1953年毕业于台湾大学。1954年到美国明尼苏达大学攻读博士学位。他的博士论文属于实验核物理领域,而他的兴趣却在量子电动力学方面。4

年后,他以优异的论文获得了博士学位,他的才干很快就为斯坦福直线加速器中心(SLAC)的所长潘诺夫斯基所赏识,1958年他得到了在SLAC做博士后研究的位置。他来到SLAC之后继续研究量子电动力学,并为实验项目做理论计算。不久,他就深入到“辐射修正”的研究并且取得了丰硕的成果。在他不到30岁的1960年,就得以在国际高能物理大会上作特邀报告,是时海森伯、费恩曼、李政道、杨振宁和盖尔曼等数百位物理学家都颇有兴趣地听他演讲。

从60年代起,蔡永赐就十分重视电子-缪子(μ 子)问题。 μ 子是尼德尔迈耶于1936年在云室中发现的来自宇宙线的粒子,后来也能在加速器中产生,才有可能被仔细研究。将 μ 子与质子的非弹性散射

以及飞行器重新进入地球大气圈时的制动都起着非常重要的作用。

大约到1930年为止,有3种磁的状态已被确认并得到解释,这就是反磁性、顺磁性和铁磁性。1932年,奈尔增加了第四种状态:反铁磁性。他提出了一种晶格模型,它由两套格子交错而成,而其磁场以相反方向作用,使可观察到的场互相抵消。他还证明,这种有序状态在某一温度时会消失,这个温度现在称为奈尔点,与铁磁现象中的居里点相类似。1948

年,奈尔解释了在铁氧体材料中发现的强磁现象。他把铁氧体材料称为亚铁磁体,认为在这些物质中,晶格可能具有不同的强度,因而会产生外场。例如在磁铁矿中,有3个铁原子、4个氧原子,其中两个铁原子的影响互相抵消,而第三个给出了可观测到的磁场。由于亚铁磁体物质的不导电性,在电话学、磁带涂层、计算机的记忆磁芯和低损耗的高频率技术中都极其有用。

(待续)

实验和电子与质子的同样实验进行比较后发现， μ 子除了质量比电子的大207倍之外，其他各种性质都与电子的惊人地相似。于是，人们把 μ 子和电子划为一类，统称为轻子（相对于质子而言质量轻的粒子）。轻子的特性是只参与电磁相互作用和弱相互作用而不像强子那样参与强相互作用。

在60年代，关于强子结构的三夸克模型于1964年由盖尔曼和茨威格各自独立地提出来了。不过，人们对这种带分数电荷的且又观测不到的粒子持怀疑态度。这点从1969年诺贝尔物理学奖颁奖给盖尔曼的公告中不难看出：“表彰他对基本粒子及其相互作用的分类所作的贡献和发现”。获奖项目中没有提到夸克模型。之所以说这些，是想强调这样一个事实：直到60年代末，夸克和轻子的“代”的概念尚未产生，更不用说“第三代”的物理理论。代的概念产生的标志，通常认为是GIM机制的提出之日，即由格拉肖（Glashow）、伊略波勒斯（Iliopoulos）和迈阿尼（Maiani）在三夸克之外又引入第四种夸克——粲夸克，使得轻子的电弱统一理论被推广到夸克时不再出现奇异数改变的中性流，时间是1970年。而且，直到1974年里克特和丁肇中发现了 J/ψ 粒子从而证实了粲夸克的存在，代的概念才得到普遍认可，“第二代”物理才得以发展。

早在60年代，蔡永赐就一直在思考这样一个问

题：“既然 μ 子在自然界的存在没有明显的理由，那么其他的比 μ 子重的轻子的存在也就是可能的。”萌生了这种想法之后，他就下了很大功夫去研究这种可能存在的重轻子，看它们有什么样的特性，怎样才能找到它们。

经过反复思考和琢磨，第三种轻子即重轻子的蓝图在他的脑海里逐渐浮现并日益清晰起来。于是他在1971年7月写了一篇题为“正负电子对撞中产生的重轻子的相关衰变”的论文，并投给了《物理评论》(Physical Review D)。当年11月1日出版的该杂志第4卷第9期上发表了这篇论文。他在文章中非常明确地指出 μ 子与电子是属于同一类轻子，即引入了 μ 子是第二代轻子的这种概念（这一想法在1973年和1974年被电子和 μ 子与质子弹性散射时散射截面相同而被证明是正确的）。接着，他大胆地提出了在自然界可能存在比 μ 子更重的轻子即“重轻子”假设。毋庸置疑，蔡永赐是最早具有“第三代”思想的开拓者之一。

关于重轻子，他不只是给出了一般的定性的预言，而是在理论上对重轻子的特性做了精确定量的描述，为实验上的探索提供了指导和依据。这是世界上第一篇系统而又严格地阐述重轻子的产生和衰变特性的理论文章。他通过严谨的推理和精确的计算，在文中给出了重轻子几种可能的衰变道和衰变

TABLE II. Partial and total decay rates of l for various values of M_l . Decay rate (10^{10} sec^{-1})= $(\Gamma/\hbar)=1/\tau$.

M_l (GeV)	0.6	0.8	0.938	1.2	1.8	3.0	6.0
Decay mode							
$l \rightarrow \nu_l + \nu_e + e$	0.266	1.12	2.46	8.5	64.6	831	26 600
$\nu_l + \nu_\mu + \mu$	0.2	0.96	2.21	7.97	63	823	26 533
$\pi + \nu_l$	1.02	2.57	4.17	9.0	30	143	1145
$K + \nu_l$	0.0092	0.09	0.2	0.55	2.3	11.7	98
$\rho + \nu_l$	0	0.21	3.8	19	96	486	3900
$K^* + \nu_l$	0	0	0.03	0.96	6.3	33	280
$A_1 + \nu_l$	0	0	0	0.6	33.7	364	1550
$Q + \nu_l$	0	0	0	0	0.17	15.2	133
$\nu_l + \text{hadron continuum}$	0	0	0	0.5	27	737	25 900
$l \rightarrow \nu_l + \text{hadrons}$	1.03	2.87	8.2	29.6	195	1790	33 006
Total rate	1.5	4.95	12.9	46.1	323	3444	85 539
Decay length in cm at $E_l=5 \text{ GeV}$	16.5	3.73	1.2	0.26	0.024
Decay length in cm at $E_l=50 \text{ GeV}$	167	37.7	12.2	2.7	0.257	0.0145	...

图 1

宽度(分支比)。最有意思的是,在他假设的重轻子质量的几个可能的取值中,有一个是 1.8GeV ,与目前测量到的重轻子质量的世界平均值 1.777GeV 是如此接近(附论文中的表II),见图1。采用这个质量值,他计算出的重轻子的衰变宽度是那样的准确,与当前最精确的测量值符合得非常好。29年后我们重读这篇文章,不禁深为蔡永赐的物理概念之清晰、理论功底之深厚和高屋建瓴的预见所折服。

正是蔡永赐的这篇文章,后来成了佩尔等人申请在 SLAC 当时尚在建造的“斯皮尔”正负电子对撞机和马克 I 探测器上寻找重轻子的重要立项依据。在立项申请报告中最重要的是,重轻子如何找,在什么衰变道中找,几率(衰变分支比)有多大。申报的探测方法和物理计算都直接引用了蔡永赐的文章。特别是通过重轻子的几个主要衰变道(例如衰变到电子和两个中微子以及 μ 子和两个中微子)来寻找重轻子的思想,都来自于这篇文章。

也正是沿着蔡永赐指明的思路,佩尔及其同事们在斯皮尔对撞机和马克 I 探测器上开始了艰苦的寻找重轻子的工作。1975年初,佩尔等人的实验探测到了许多电子- μ 事例。这种事例中的电子和 μ 子究竟是由什么粒子衰变而来的?对这个问题大家莫衷一是。马克 I 合作组中的很多人都倾向于认为电子和 μ 子是由他们此前不久发现的粲粒子衰变产生的,佩尔则认为是重轻子衰变的信号。这在合作组内部引起了很大的争议。由于佩尔等人探测到的衰变模式和衰变几率完全在蔡永赐的预料之中,所以佩尔有关重轻子的观点自然得到了蔡永赐的支持。马克 I 合作组的大多数人都认为他们观察到的 $e\mu$ 、 ee 和 $\mu\mu$ 事例,没有足够的证据表明是来自重轻子,而更有可能是来自一般的介子和玻色子的衰变。因而在佩尔十分孤立时,蔡永赐成了他的难得的坚定支持者。这种来自惟一一个理论家的支持,大大坚定了佩尔关于重轻子的信念。在1995年秋出版的《斯坦福观察者(Stanford Observer)》杂志上有这样一段回顾:“只有一个其办公室与马丁·佩尔隔壁的实验物理学家加里·费尔德曼(Gary Feldman)赞同佩尔关于重轻子的解释,而理论物理学家则只有蔡永赐一人。”

佩尔在1975年晚些时候终于发表了合作组的实验结果。他们当时把这种新粒子叫做 U(未知的

意思),后来才改称为 τ (希腊语“第三”的意思)。由于这种新粒子不是像 J/ψ 粒子那样以一种明显的共振峰的形式出现,而且产生的几率比较小,因而直到1978年前后 τ 轻子才得到高能物理学界的证实和确认。在这以前存有争议的近3年中,蔡永赐始终坚定不移地宣称:这就是我们要找的重轻子。

不久之后,这一发现的重大意义才被人们所认识。 τ 轻子,打开了“第三代”物理的第一扇窗,使人们认识到夸克和轻子一样不只是有第二代,而且必定也有第三代。因此,人们目标明确地去探索第三代夸克底夸克和顶夸克,从而在1977年发现了底夸克,在1995年发现了顶夸克。再者,由于 τ 轻子的质量很大,研究它的产生和衰变是检验标准模型的极佳手段,因而一个广阔的研究领域—— τ 物理应运而生。

随着人们对 τ 轻子重要性的认识的深入,科学荣誉也径自飞向马丁·佩尔。他荣获了1982年的沃尔夫奖和1995年的诺贝尔奖。作为一个为 τ 轻子的实验发现做出了巨大贡献的人,对这些奖励他是当之无愧的。但相形之下, τ 物理和“第三代”物理的理论开创者蔡永赐却受到了极不公正的待遇。理论和实验本是推动物理学发展的两大要素,二者不可偏废。而在看待重轻子的理论和实验贡献上,重心却向实验一边倒,就像当年发现宇称不守恒时走另一个极端,忽视了实验上的发现者吴健雄一样。

从马丁·佩尔对待蔡永赐的态度上,我们也容易看出蔡永赐的分量。1995年,佩尔曾邀请蔡永赐夫妇一起去斯德哥尔摩领奖。1997年,佩尔在作一个关于“ τ 轻子的发现”的报告时是这样评价蔡永赐的贡献的:“我有这样的想法,即在正负电子湮灭过程中寻找重轻子,是受到了我的老朋友和同事蔡永赐的巨大帮助和影响的。他1971年的文章为我们寻找重轻子的工作奠定了理论基础。他的文章给出了不同 τ 轻子质量下的衰变模式和分支比,这些都在我们申请实验的报告中引用过。……他的文章曾经是我寻找重轻子的圣经,而现在仍然是我研究重轻子物理的圣经。”

佩尔对蔡永赐的评价是实事求是的,一点也不过分。假如佩尔这段话在当年诺贝尔奖评选之前,会不会让诺贝尔物理学奖少漏一颗“遗珠”,也让我们如今少生一点遗憾呢?