

著名物理学家谈超弦

三、M. 格林的谈话

米歇尔·格林 (Michael Green) 是英国伦敦玛丽皇后学院物理系教授。做为现代弦理论的创始人之一,通过他与施瓦兹合作所完成的工作,把这一课题推进到了物理学的前沿。

问: 请问您是怎样开始卷入弦理论的, 当时您正在做什么呢?

答: 弦理论有着非常奇妙的历史, 因为它是在一个完全不同于今天人们对其普遍感兴趣的物理领域中开创的。六十年代末, 继意大利的 G. 维内吉阿诺的开创性工作之后, 很多物理学家对于用弦描写象质子和中子那样的强相互作用粒子发生了浓厚的兴趣。当时, 我正在做博士论文, 这些有趣的新思想立即把我吸引过去。

把 π 介子看做是一个夸克和一个反夸克由一条弦束缚在一起, 而质子中三个夸克由三条弦束缚在一起,

这种图象部分地解释了为什么不能分离出单独的夸克。这样一种想法在维内吉阿诺的最原始的工作中也还没有形成, 他当时只是对强相互作用粒子碰撞时发生的现象提出了一些猜测。这些猜测吸引了很多物理学家对他提出的模型进一步做了研究。大约过了两、三年, 这种类弦结构才得以形成。那时人们才真正认识到他的猜测的基础恰恰是把粒子看做是一些弦。

问: 为什么弦理论会有这种魅力呢?

答: 这是因为弦理论包含某种我们在漂亮的量子理论中熟悉的类似的结构。例如, 理论物理学家都喜欢规范理论, 象电动力学、强力的量子色动力学以及爱因斯坦的引力理论都属于规范理论。大家都认为它们是优雅的理论, 因为它们所具有的称为规范原理的对称性保证了理论的完全自治性, 也就是说使这些理论只能有如此结构而不会成为其它形式。

在于是否存在迁移率边界。根据莫特的观点随着无序度 (W/V) 的增大系统的电导率将减小, 在临界值 (W/V_c) 处电导率有一个跳跃, 从有限值变为零。在这里存在着扩展态的最小电导率 σ_{\min} 。目前, 关于是否有

σ_{\min} 的问题在实验和理论上都还存在分歧, 是一个尚未清楚的一个问题。

近年来人们把无序系统的局域态与扩展态类比的看成两相, 借助于处理相变的临界现象的有力工具发展了安

德逊局域化的标度理论。证明了在一维无序系统中任何小的无序都会导致局域化, 在二维情况下理论也肯定了局域态, 至于有无扩展态, 尚有争议, 有一种意见认为有准扩展态在三维情况下一般都认为有局域态, 还有扩展态, 如图 7 所示。安德逊的局域化问题及与其有关的迁移率边界和最小电导率等问题, 在无序系统问题中是较难题、尚未确立系统的方法论。除上述的标度理论外, 最近 10 年来把重整化群方法引入到这一领域, 引起了人们的兴趣。

安德逊局域化理论目前仍然是一个十分活跃的课题, 电子局域化理论实际是单个电子在位势中的能量结构, 然而电子与电子间有库仑相互作用, 若要将把局域化与库仑相互作用同时考虑, 将会引出许多有趣的物理结果。但问题将遇到更大的困难, 目前对这方面的研究似乎刚刚开始。

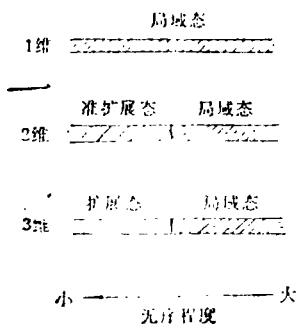


图 7

描写象弦这样的广延性客体而又能与爱因斯坦狭义相对论自治实际上是很困难的。初看起来这个理论有着严重的问题，因此而使一些人认为这是不自洽的理论。比如它不仅允许有空间的振动模式而且还允许有时间的振动模式。为了避免这种明显的不自洽性，在早期的弦理论中要求时空必须为 26 维，后来的理论允许时空为 10 维。但我们毕竟只生活在三维空间加上一维时间。这样的理论在当时自然遭致很多反对。

还有一个更尖锐的问题，我想它真的是一种不自洽性。这些理论包含有传播速度超过光速的粒子，即快子。如果是一种经典理论，这并非绝对不可能，只要不允许比光速慢的系统与超过光速的系统相互接触即可。真正的问题出在量子理论。那时所谓的真空是完全不稳定的。因为快子的存在，使系统的最低能态不再有意义，真空中会爆炸般产生出无穷多个快子。包含这么多这样的粒子的理论怎样才能有意义，是令人头疼的事。摆脱这种困境应当归功于七十年代中期发展起来的超对称性理论。

问：什么是超对称性呢？

答：你还记得门捷列夫发现周期表的故事吧。那是在上一世纪，他把有着某些共同性质的化学元素分成一组的，然后排成了一张表。实际上，这张表反映了原子的结构。它帮助了人们理解了绕原子核运动的轨道电子与原子核之间的电的作用力。

在基本粒子的研究中，人们一直在尝试按照它们的某些共同性质来分组，列表，从而理解它们之间的相互作用以及它们的内部结构。通过这种方法，我们的确已经对强力及电弱作用力有了很好的了解。但到七十年代中期为止，一种典型的特征——粒子的自旋角动量，却把基本粒子分成了似乎严格不相通的两大类。一类是自旋为半整数的费米子，另一类是整数自旋的玻色子。如果我们真的想用个单一的原理对所有粒子的起源有一个基本的理解，必须弄懂这两类粒子的关系。

超对称性正是把费米子与玻色子联系起来的一种对称性。如果它真的是物理学的一种对称性，那么这两类明显不同的粒子，事实上将成为同一种客体的不同的方面。就是来自于它具有这种超对称性的性质。

问：应用超对称于旧的弦理论带来什么效果呢？

答：令人惊奇的是，只要你取一种旧的弦理论，把它修改成具有超对称性，快子立即不再出现，不自洽性就会消失了。

我在 1979 年左右开始与施瓦兹一起工作，着手使弦理论超对称化。我们非常激动，因为理论马上变成自治的了。可惜的是我的很多同事都忙于把超对称应用于引力，对我们的工作很少感兴趣。

问：你们怎么想到要把超对称性与弦理论合在一起的呢？

答：在那些日子，人们实际上在把每一件东西都超对称化。超对称性看来是物理学的一个漂亮的新思想，因为它实际上是统一各类不同粒子的最后一个环节。从纯理论观点来看，对任何能统一各种粒子的理论，超对称性都是极其重要的。

我们从事这些研究的前两年，用于越来越细地钻研这种理论。到 1981 年底，我们肯定地认为已经得到了相当重要的结果。到那时为止，一切已知的包含引力的量子理论，实际进行的计算都给出无意义的结果，而我们利用了一种超弦理论，至少在最简单的近似下，计算结果是有限的。由于我们的这个理论是包含引力的，所以我们非常激动。

问：人们对你们的这个发现有何反应呢？

答：由于很多人正在忙于超引力，而且他们觉得超弦理论偏离通常量子场论太远，因而很少有人注意到我们的结果。只有两个人例外，其中之一就是威特恩。他们继续证明这个理论不仅可能是有限的，而且能解决当时困扰理论物理学家的一大难题，即所谓的“反常”问题。

此外，我们所用的是只包括封闭的弦的一种特殊的理论，这种理论除了能描写引力外，没有足够的力量描写所有的其它的力，这也是我们的结果没有引起足够注意的原因。直到后来人们对它做了进一步扩充，变成了今天所谓的“杂交弦”，才使很多人相信它也可以解释其它种力。

问：到底有多少种不同的超弦理论呢？

答：这要看你怎样去数。以某种方式去数可能有四、五种，换成另一种方法，目前似乎有上千种。实际上，你可以认为这上千种理论都是那四、五种理论的不同版本。

我认为，尽管对寻求唯一的终极理论，这么多不同版本不是好的消息，但它实际上反映了这个理论还只是在“婴儿”时期。也就是说它们都是非常不完备的。

问：借助于闭弦如何来描写电子呢？

答：弦可以以无穷多种模式振动，任何一种特定频率的振动都相应于一个或一组粒子。自然界中看到的电子、夸克、光子或其它粒子，实际上都是弦的最低可能振动模式。靠弦上所带的电荷、弱荷、强荷等各种荷区分不同的粒子。对于一般的开弦理论，弦的端点带有这些荷。而象杂交弦这种封闭的弦，荷是弥散在整个弦上的。

问：您能再详细地谈谈弦理论与以前的物理理论的关系吗？

答：弦理论截然不同与以前的任何一种物理理论，因为所有以前的理论，从麦克斯韦的电动力学理论到广义相对论和超引力，都是处理象夸克、光子、引力子以及其它粒子那样的类点客体，没有任何内部结构。弦理论则不同，它的组分是弦，是一种广延性客

体。这就决定了完全不同的理论结构。

当然,弦本身是一种不可思议的微小客体,它的平均尺度是普朗克长度,它比质子的大小要小二十个量级,因此,对于很多目的,事实上,它是示之弦并没有关系。如果你不是不可思议地仔细去观察,你不会发现它是一个广延客体。这样微小的尺度,我们没有任何希望能在实验室进行直接测量。然而正是在这样小的尺度上,量子引力的所有问题都会表现出来,弦理论开始明显地区别于爱因斯坦理论,也区别于其它任何以前的理论。

还必须指出的是弦与其运动所在的空间和时间密不可分,因此如果人们在不可思议的微小尺度下不得不把类点的粒子修改为弦时,还必须放弃我们通常的时间与空间概念。

问:人们感兴趣的超弦要求空时为10维,它与人们感觉到的4维空间和时间有什么关系呢?

答:显然,多出来的那些维数必须有某种区别,否则我们就会发现它们了。实际上在任何包含引力的理论中,空间的结构有它本身的定义。这些多余的维数必定可以蜷缩起来,在某种意义上它会变得非常之小。

看到的维数比真正的维数小,这一点似乎不难设想。例如,一条消防水龙软管是一个二维面,一维是一条长长的线,另一维是一个圆,如果你离它比较远,事实上你只看到了一维的长线。如果你靠近了看,你才会发现还有另一维存在。

把这个例子推广,你就会设想有几个多余的维数蜷缩得这么小,以至除非你用极精细的分辨率去观察,否则是不会发现它们的。

问:我有一个疑问,为什么从一个十维的理论开始,刚好有六维蜷缩起来呢?

答:目前,我们也弄不懂这个问题。我认为,就我们对这些理论的数学上的理解而言,很象是刚开始探测一座冰山的顶峰。该理论的全部结构远没有了解。你提的这个问题就是一个目前不可能给出合适的答案的问题,等到该理论以更完备的形式重新得到表述时,或许才可望得到解决。例如,最近的发展已经得到了一些超弦理论的变种,它们就是在四维空时中建立起来的,在某种意义上,多余的维数自动地蜷缩起来。这些四维弦理论不能看做是全新的理论,因为它们并没有跨越过十维弦的阶段。几年前人们已经注意到十维弦理论可以有許多不同的四维形式的解,但不知道怎样才能挑选出正确的解。现在找到了构造这种解的方法。

你可以通过一个类比了解这一点。你知道冰、水和水蒸汽实际上是同一种物质的三种不同的相,它们的微观物理规律完全相同,只是由于观察的条件不同,才使它们彼此区分开来。

相感而言,超弦理论与此类似,它的大量不同的解相对应于不同的相。可惜的是,我们还没有发现它们的基本质的结构。弦理论的目前表述只是通过一些近似建立的,实际上它应该有更深一步的结构。我们必须有一些新的基本思想,建立起新的原理,使其成为更强理论的表述形式的基础。这正是最近一些工作的主要目标。人们正在尝试寻找弦理论的一组基本方程,它们的近似解就是目前的各种理论。那时我们就能从中挑出描写已观测到的物理,并能预言一些实验的正确解。

问:您能进一步谈谈弦理论与实验的关系吗?

答:目前的弦理论确实不能对基本粒子的性质给出非常细致的预言。它现有的一些预言也还没有完全理解。由于迄今这个理论是建立在逐级近似的基础之上的,因此在跳出这个近似的框架之前,肯定会有很多问题不能明确地回答。比如粒子的质量问题就是一个例子。在目前的近似下,所有的粒子质量都是零。如果你知道我们讨论的质量标度是所谓的普朗克标度,在这个标度下,我们在实验室中见到的一切,质量都是微不足道,你就会承认这是一个好的近似。当然,实际的粒子都不是无质量的,我们应当能够预言它们。但在目前的弦理论中,这一点极难做到。

还有许多有趣的问题不能回答。比如,这个理论包括广义相对论,黑洞一定存在。怎样用弦描写黑洞呢?再比如,宇宙早期极热,弦在那时一定非常重要,但在宇宙演化中究竟起怎样作用呢?这些问题都不能得到回答。

我认为,这个理论还处在早期阶段,而且判断一个理论是否成功,不应只根据它能否预言已经测量到的东西的细节。如果它是一个全新的理论,则必然代表着物理理论结构上的一个重大变化,这些变化往往不能通过直接测量去认识。它应当有一些使人震惊的预言。对超弦理论,我们还未能推出它的全部预言,但也有些已经肯定的惊人预言。例如,它预言宇宙中存在一种全新的所谓“影子”物质,这种物质除了对我们有引力效应外,我们完全不能看到它们。甚至还可能有一个影子宇宙是我们的宇宙的一个拷贝。但这是极难检验的。

你可以回忆一下广义相对论的历史,在爱因斯坦建立这个理论之前,水星进动就已经观测到了。只有在理论建立之后,人们才知道,这是广义相对论的一个很好的检验。在超弦理论中我们需要的或许是类似的实验。这些实验很可能早已经知道了,但没有引起人们足够的注意,因为还没有人认识到它会和检验一个基本理论有关系。

(丁亦兵 编译)