

弦 上 的 世 界

郑志鹏 江向东

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

人们所熟悉的任何一种物理理论,从麦克斯韦的电动力学理论到爱因斯坦的广义相对论,从量子力学到标准模型理论和超引力理论,都把物质世界的基本组分粒子,像轻子、夸克、光子和引力子等,看作没有大小的点粒子或模模糊糊的类点粒子.在这些理论体系中,大千世界的物质组成及其运动变化都可归结为这些没有任何内部结构的“点”的行为.而在 20 世纪 70 年代,人们却提出了一种有着全新理论结构的弦理论.弦理论中的基本组分不再是没有大小的“点”,而是一种有长度的弹性客体即“弦”.用“弦”取代“点”来构造世界,这弦上的世界自然别具一格,分外新奇.

一、从弦到超弦

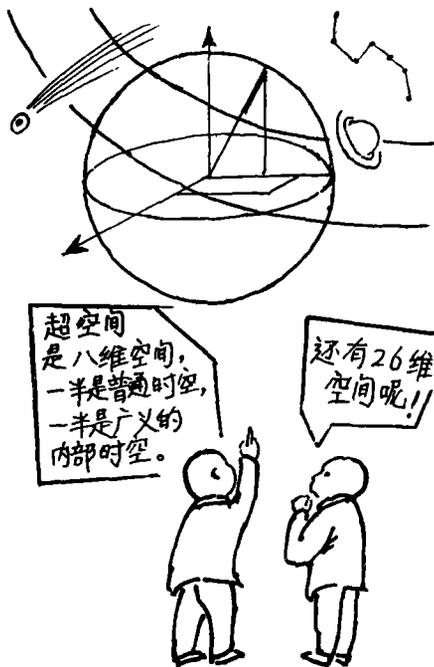
关于弦的基本概念出现在 60 年代末.当时描述强力现象的量子色动力学尚未建立,意大利物理学家维内吉阿诺和美国芝加哥大学的南部等人,各自猜测一些强子的行为并提出弦模型,认为强力可能是由弦状粒子产生的.在弦模型中, π 介子里面的一对正、反夸克系于一根弦的两端,而质子中的 3 个夸克则由 3 根弦牵连着.这种强力弦的长度是 10^{-13} 厘米,相当于强子的典型尺度.可以想见,夸克因受制于弦而不能脱离强子而单独存在,这幅图象有助于理解夸克囚禁问题.

真实的物理世界的时空被公认只有 4 维,即 3 维空间和 1 维时间.而这种早期的弦理论若想自圆其说,就得让时空是 26 维的.26 维时空是什么样子?恐怕连抽象派画师也难以勾勒它的轮廓.过多的时空维数,使人觉得这样的理论离现实世界太远,令人难以置信.

这种弦理论之所以能在 70 年代和 80 年代发展成所谓“包罗万象的理论”,主要得益于超对称性的引进.

超对称性是把费米子和玻色子这两类明显不同的粒子联系起来的一种对称性.它发现于 1971 年,在它的发现者中就有研究弦理论的内维和施瓦茨.同年,他俩和拉蒙一起在理论中引入超对称性,将 26 维弦理论改进为 10 维弦理论.尔后几年,他们和其他一些人做了很大努力,企图将 4 维以外的多余维数去掉,但始终没有成功.

1976 年,有两个研究小组各自独立地发现了超对称性的一个奇妙之处:当定域超对称理论引进自旋为 $3/2$ 的规范超场时,为了使理论在高自旋部分具有超对称性,还必须引进一个无质量的自旋为 2 的场,这正好可看作是引力场.因此,定域超对称理论就是超引力理论.一种对称性不仅容许引力的存在,还自然地需要引力,不能不谓之美.超对称性的这一优雅之处,为人们发展弦理论以克服引力理论和量子



力学间的不自洽性提供了尝试的机会。

20世纪物理学有两大柱石,一是广义相对论,即爱因斯坦的引力理论;二是量子力学,它是描述微观领域一切现象的理论。然而,这两大柱石互不相容,只要把引力和量子力学结合起来,就会遇到难以克服的发散困难,即得到的是些没有意义的无穷大量。所以,在统一自然力的征途中,尽管有不少统一弱力、电磁力和强力的尝试,却常常是把引力搁置一边。

施瓦茨及其合作者注意到了超对称性能自然地描述引力的这一特点,于是放弃用弦理论来解释核力的做法,而试图用它来首先描述引力,渐而再探讨纳入其他几种力的可能性。当用弦理论来描述引力时,这时候的弦的大小因受引力结构的制约,只相当于强力弦的 10^{-20} 倍,即只有 10^{-33} 厘米长。尽管这种弦小得不可思议,但它们仍然不是点,假如有一个足够精巧的钳子,原则上就能够夹住一根弦把它拉长。在多种弦理论中,这根弦只会越拉越长而不会被拉断,只在一些特殊的弦理论中,才允许拉断。

将超对称弦理论与超引力理论相结合,就成为超弦理论。在80年代初,施瓦茨和格林的钻研得到了相当重要的结果:计算超弦理论中引力的量子效应时,不再有发散困难。这表明,超弦理论使引力与量子力学协调起来了。超弦理论之所以引人注目,正是因为它能解决引力量子化这个数十年难以解决的核心问题。也正是因为这点,才使这种高度数学化、纯粹理论性的物理理论被推到粒子物理的前沿上来。

视超弦理论为“奇迹”,并对该理论在80年代的发展颇有影响的后起之秀,是美国普林斯顿高等研究所的威滕。在威滕看来,如果没有模拟时间和空间曲率的几何基础,爱因斯坦可能就无法建立起广义相对论。因此,为了建立一个能反映现实世界的超弦模型,他创立了一种叫作拓扑量子场论的方法。拓扑学是研究物体的基本几何性质而不究其具体大小和形状的学科。威滕认为,把拓扑学与量子场论所用的数学结合起来的方法,比传统的物理方法更能揭示深刻的对称性,也更能体现人类思维的重

要性。

按照威滕的拓扑场论方法处理,超弦的10维时空有6维可以蜷缩成 10^{-33} 厘米的小球,这样一个6维小球相当于一个时空点。像琴弦的不同频率的振动会发出不同声音一样,超弦可以按不同的方式振动,每一种振动模式可以看成一类粒子。轻子、夸克、引力子等等,只是振动模式不同而已,靠弦上所带的电荷、弱荷和色荷等各种荷来区分不同的粒子。

由于超弦理论与以前的任何一种物理理论截然不同,因此它的一些预言是新奇而惊人的。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所熟悉的物质有引力效应外,则别无影响,我们完全看不到它们。影子物质可能构成影子星体,甚至可能构成一个影子宇宙。关于影子物质的这一预言,虽然极难检验它的实在性,但与人们已知的宇宙知识是相容的。天文观测表明,宇宙中可见物质的质量只占宇宙总质量的10%左右,还有90%的质量可能是看不见的“暗物质”和“黑洞”的。因此,即使超弦理论预言影子物质的质量占宇宙的一半,也仍然不会与目前的实验资料相矛盾,这方面的回旋余地还大得很。

二、超弦可信吗

对于超弦理论,无论是它的科学内容还是它的哲学基础,在理论物理学界都有着不同的看法并且大相径庭。有的人对它的前景充满信心,有的人半信半疑,有的人则持完全否定的态度。

从事超弦理论研究的很多人都相信,超弦理论是通向物理学终极目标的一条最有希望的途径。所有以前获得成功的统一自然力的理论都是部分的统一,即只能描写已知的一部分粒子和作用力,而超弦理论有可能解释包括引力在内的所有自然力。这也是一些人视超弦为“包罗万象的理论”的着眼点。

很多人对超弦理论中那多出来的6维时空感到奇怪,但超弦理论家们却不以为然。他们认为,按照海森堡的测不准原理,自然界的一切都有点模糊不清。即使有一些多余的维数,但它们是这样的小,以致于完全被这种模糊不清

所掩盖,要想看到它们极其困难,因此也就不足为奇了。在他们看来,比多余的维数奇怪得多的东西也曾有过,广义相对论是奇怪的,量子力学是奇怪的,反物质也是奇怪的。所有这些奇怪的东西确实又都是真的,与物理学中这些有过的东西相比,多余的维数并不更加违背常理。

关于超弦的高度数学化,一些超弦专家则看成是未来数学突破常规超前在 20 世纪的一种发展。威滕说,照理应当是这样一种情况:恰当的数学结构理应当要到 21 世纪甚至是 22 世纪才出现,在那以后,由于这些数学结构奠定了某种表述的基础,超弦理论才可能出现。假如真的如此,就像爱因斯坦创建广义相对论时是知道自己所做的事情一样,第一个提出超弦理论的物理学家就会知道他所做的是件什么样的事情。虽说常规的发展似乎应该这样,若果然如此,20 世纪的物理学家就没有机会创造出如此美妙的理论了。

超弦专家们也承认,他们尚未发现该理论的最本质的结构,也就是精确的而不是逐级近似的表述形式。迄今,他们虽知道一些方程式,但未能深刻了解它们所依据的基本原理。这与广义相对论的认识过程正好相反。爱因斯坦是以一个漂亮的原理即等价原理作为出发点,从而构造了一些方程式并进行研究。而在超弦理论中,还没有找到与等价原理相当的基本原理。

一些比较乐观的超弦理论家,把成功的希望寄托在 21 世纪 20 年代。他们假定不迟于那个时候找到某个基本原理并给出方程的解,那时就可以了解多余的 6 维空间的拓扑性质,从而知晓低能下会有哪几种粒子,它们的质量比例以及各种自然力的强度。那样就会使“海市蜃楼”般的超弦理论“脚踏实地”。实验家就可以根据它所给出的一些信息,用实验来检验它那“包罗万象”的预言。威滕信心十足地说:“下一世纪的人回顾和谈论这个时期时,会认为这是做物理的伟大时代。”

自然界是否有一个终极的、简单的、统一的和优雅的理论形式?对这个问题,费曼一直主

张从自然界本身去探索,而不是提前去预测。因此,他认为研究超弦“是走上了一条错误的道路”。“我对任何不符合实验的东西都不喜欢”,费曼曾这样批评超弦,“比如,这个理论要求时空为 10 维。好吧,或许其中的 6 维以某种方式蜷缩了起来,这在数学上的确是可能的。然而,为什么不是 7 维蜷缩起来呢?当他们写下方程时,方程本身就应该能决定其中有多少维蜷缩了,不应该靠迎合实验的要求来决定。”

在否定超弦的人中,最直言不讳的可能要算格拉肖。他甚至认为,这种以非常抽象的方式统一自然界的理论倾向,是对未来物理学的一种威胁,类似于“争论在一个针头上可以容纳多少个角”。他抨击说:“我对我的超弦理论家朋友感到恼火的是,他们对于我们的物理世界什么也讲不出来。他们中有些人确信他们的理论是唯一的和美妙的,因而就是真理。…对他们来讲,似乎不需要做任何实验来验证这样一种不证自明的理论。”格拉肖还宣称:“我认为通过观察来认识世界的传统方式将会经受住一切考验。想靠纯粹思维本身的力量来解决基本粒子物理的问题,这样的事是不会成功的。”

总之,对超弦理论的看法是针锋相对的。争论的焦点可能成为 21 世纪粒子物理学家努力奋斗的方向。几十年来,物理学的风格发生了很大的变化,这主要归功于理论物理学在新的领域里不断取得的进步。这种进步使得人们能雄心勃勃地面对复杂的物理问题,寻求正确的答案。这一代人努力寻求的理解深度,可以说是上一代人或上两代人做梦都不敢想的。30 多年前,面对大量发现的基本粒子,粒子物理学也是一片混乱,根本不清楚什么是描写它们的正确的理论体系。直到 1973 年,除引力之外的描述各种已知力的理论体系出现了,才给混乱的基本粒子世界带来了秩序,也带来了新的思考环境。这种进步,使得人们会用不同的方式来处理不同的问题。21 世纪的超弦世界,无论是光华四放,还是烟消云散,其研究本身总是有意义的。因为科学的意义,在于探索;科学的生命,在于创造!

(插图 张树梓)