

# 超弦理论纵横谈

[美] Michio kaku 著 苏中启、王存茂译

物理学有某种最终理论吗？终有一天，我们会拥有一个完整的理论，能对从微观的亚原子粒子、原子，到宏观的超新星，直至大爆炸的所有事物均作出园满的解释吗？爱因斯坦耗费了他一生中最后 30 年的宝贵时光，对统一场论进行了孜孜不倦的探索，得到的却是一枚无花果。他的探讨由于无效而为人们所忘却。历史进入 80 年代后，物理学家开始将精力转向有资格成为最终理论主要候选者的超弦理论。当物理学家认识到人类在自然界中发现的亚原子粒子，例如电子与夸克，可能根本不是什么粒子，而是一些细小的振动着的弦之后，这场物理学革命就开始了。超弦理论是令人大吃一惊的突破，它属于理论物理学中发展最快并且最激动人心的领域之一。有关超弦理论的数千篇论文有如泄闸洪水奔腾而出。90 年代初期，进展似乎又中止，人们由于找不到两个关键问题——即弦的来源以及在超弦理论的许多解中是否包含有我们的宇宙——的解答而变得沮丧。但是目前，英特尔上的蜂音器又开始不断地鸣叫，源源不绝的论文邮寄到新墨西哥洛斯阿拉莫斯国家实验室公报部，该部职员都很清楚，它们属于超弦论文。导致这一研究高潮的板机，就是对所谓“M-理论”的发现。该理论可以对有关超弦的两个极其重要的问题作出回答。“对此我可能有偏见，但我认为情况或许是这样，即它不仅体现出弦理论取得了最重要的进展，而且至少在过去 20 年内，它也是整个理论物理学领域中所取得的最重要的进展。”哈佛大学物理学家库姆朗·瓦范说。超弦理论奠基者之一，加州理工学院的约翰·施瓦茨宣称，M-理论导致了“第二次超弦革命”。M-理论另一名代表人物，普林斯顿高等研究所爱德华·威腾将该理论浓缩为 3 小时的迷人讲座，进一步扩大了其影响。突破的余震也波及到其他方面的训练。

“从事物理领域研究人士的兴奋心情我也感受到了，并且，M-理论的副产品还进入到我本人所从事的数学领域……它确实是非凡的成果，”上述研究所所长非利浦·格里菲斯说，“幸运的是，我恰恰是第一手材料的目击者。”在令人眼花缭乱的一次努力之后，M-理论终于显示出它正接近于解决超弦理论中两个长期悬而未决的问题，这令许多理论物理学家（包括我本人在内）为它的能力而折服。此外，M-理论甚至有可能迫使弦理论改变其名称，因为尽管 M-理论的许多特征尚未为人所知，看起来它似乎并不是一种纯粹的弦理论。其他一些令人不可思议的事物也正在出现，包括不同种类的膜。得克萨斯 A&M 大学迈克尔·达夫已经作了题为“这个理论以前被看作是弦”的报告。不过，M-理论并没有证实超弦理论的最终正确性，通过任何手段也做不到这一点。要证实或否认它的有效性，可能还需费时多年。但它仍然是某种令人惊讶的突破的标志。让我们对本世纪受阻于创立某种“通用理论”难题的某些最有才智的人作些回顾。爱因斯坦在总结这一难题时说：“自然界显示给我们的仅仅是狮子的尾巴，但是我并不怀疑尾巴会连带出身子，虽然由于它身躯庞大而不能立即显露自己。”很明显“尾巴”就是我们所观察到的自然界的许多现象，它们可以通过四种基本力——重力，电磁作用力，强力与弱力来描述。狮子则是最终理论，它将把这四种力统一到某个简短的方程中去。今天，物理学家认为，重力可以用爱因斯坦的广义相对论来描述，它以平滑弯曲的时空结构为基础。广义相对论是一种优美的，成功的理论，它能够对宏观世界中的黑洞，类星体以及大爆炸作出描述。然而，重力却非常固执地拒绝与其他三种力实现统一，后三种力可利用量子理论来描述。在量子理论中，我们所拥有的是由能

量子组成的不连续的世界；它们取代了光滑弯曲的时空结构。用于描述物质及其相互作用的最完善的量子理论形式就是所谓标准模型，它涉及一群粒子，例如夸克，轻子与玻色子的稀奇古怪的行为。迄今为止，标准模型可能是科学领域中最成功的理论之一，但它同时也是一种最难于自圆其说的理论。它的不适当之处，表现在其理论中总共有 19 个任意常数，而它们又不可能从任何类型的理论中推导出来，这相当于人们“用手”去保证平衡工作的完成。捕获狮子，即将广义相对论与量子理论这两个伟大的理论统一起来，对于物理学而言，将是一项登峰造极的成果。虽然爱因斯坦是从事这一探索的伟大先驱者，他跟踪了狮子的一段足迹，但最终还是迷失了方向，徘徊在荒野之中。

### 令人满意的起点

今天，物理学家正沿着不同的踪迹前进，并一致地导向了超弦理论。与先前的计划不同，它每次都从一直针对它的令人为难的数学挑战中幸存了下来。人们对此不会感到惊诧，即理论有一基础，在某种程度上它可能有些古怪，以过去的成果为起点，将基础建立在 10 维时空中振动着的一些细小的弦上。为了理解较高维数有助于统一较低维数，让我们回忆一下古罗马人在战斗中是如何利用维数的。当时并没有无线电通讯与侦察卫星，战斗中双方人员犬牙交错，混乱不堪，激战在许多前线部位同时进行着。为什么罗马人始终能指挥若定呢？这就是因为他们占领了小山包，从而也就跃入了“多维空间”——即第三维。利用制高点这一优势，他们能够俯瞰二维战场，将它看成是单个的统一的整体。跃入较高维数还可以简化自然界的定律。1915 年，爱因斯坦通过跃入超维时间而完全改变了我们的重力观。1919 年，德国数学家特奥多尔·卡卢察增加了第四维（时间），以便使麦克斯韦电磁场方程组拥有统一的时空。这一成功因人们陶醉于量子力学所取得的辉煌战绩之中而被大大地忽略了。直到 80 年代，物理学家才又重返这一思想，而创立了超弦理论。在超弦理论看来，我们于自然界所看到的亚原子粒子并不比许

多振动着的超弦的不同共振包含更多的东西，这与小提琴弦以不同模式振动会发出不同的旋律，在方式上是相同的。不过超弦理论中的弦实在是太短小了，其数量级为令人不可思议的  $10^{-35}$  米。同样地，物理学定律，例如两个电荷间的作用力，是弦的谐振，宇宙是由振动着的弦构成的交响乐。当弦在 10 维时空移动时，它们会将周围的时空弄得弯曲，其弯曲程度可由广义相对论精确预言。就这样，弦将粒子的量子理论与广义相对论简单而又优美地统一了起来。令人更可称道的是，重力不再是某种不方便的外加之物。“与传统的量子场论不同，弦理论需要重力，”威腾说，“我把这一切看作是科学中已曾取得的最大的洞悉。”当然，所有这一切均在 10 维时空中发生。物理学家通过这样的假设重新返回为我们所更加熟悉的 4 维宇宙：即在大爆炸当中，10 维中的 6 维卷曲成一个细小的球，与此同时，剩下的 4 维则爆炸式膨胀开来（即所谓“暴涨”），给出了我们今天所看到的宇宙。过去 10 年间，物理学家将精力用于完成这样一种任务，即对由 6 维卷曲成小球的各种不同方式进行梳理。他们面临的任务是特别艰巨的，因为数学家并没有给出这些高维宇宙的拓扑性质。不过物理学家已经开辟出道路并发明了全新的数学领域。这些努力揭示出数百万种致密化方式，其中的每一种方式都增加了夸克，电子等粒子的不同图案。正如我们所看到的那样，第一个令超弦理论受挫的难题是物理学家未能理解这些细小的弦究竟来自何处。更令人为难的是，为了回答这一问题竟产生了五种弦理论，它们均试图将量子理论与广义相对论二者统一起来。这是一笔令人尴尬的财富。其中一种叫做 I 型弦理论，它基于两种类型的弦：一种是“开弦”，类似于具有两端的短杆；另一种是“闭弦”，短杆两端结合在一起形成了一个环。其余四种弦理论仅包含有闭弦。有些类型，例如 II b，仅能产生在旋粒子，自旋只有一个方向。还有些类型，例如 II a，左旋与右旋粒子均可产生。今天，刺激超弦理论成长的因素来自这样的发现，即如果我们假定有一种神秘的 M-理论存在于 11 维时空之中，那么我们就能够

证明,这五种竞争着的弦理论实际上只是相同事物的不同变型而已.就像古罗马人从第三维上全面地俯瞰战场一样,物理学家今天站在11维的山顶上察看其下的五种超弦理论,展现出一种单调的,首尾一致的图景,它们分别体现了相同事物的不同方面.

### 追踪狮子

向着取得五种弦理论的统一这一进展迈出的第一步来自两年前,当时威滕与剑桥大学的保罗·汤森已证明,10维时空的IIa型弦理论与11维时空中有1维卷曲起来的M-理论是相当的.从那以后,所有五种弦理论都被证明是相当的.由此,物理学家终于得知这些超弦来自何处:它们起源于M-理论中的第11维.M-理论还预言,弦能够与具有不同维数的膜共存.例如,一个粒子可被定义为零-布兰尼,即零维物体.一条弦是1-布兰尼;一张通常像肥皂泡的膜是2-布兰尼等.(如果我们用P代表物体的维数,则一个打扮得五颜六色的小丑就是P-布兰尼.)当这些P-布兰尼物体作振动或脉动时,它们就会产生共振或粒子,这些共振态或粒子在早期的超弦公式中被遗漏了.“M-理论”这一称号是由威滕杜撰的:M也许象征着“膜”,或“全部弦之母”,或可能是“神秘”,任你挑选.为了能使人们理解这五种弦理论是适宜于联合的,可设想有三个盲人紧紧尾随着爱因斯坦狮子的踪迹.通过倾听其疾驰的声音,他们拼命追赶并分别抓住了狮子的不同部位.一个盲人抓住了尾巴,他感觉到它是一维形式并响亮地宣布,“这是一条弦,狮子是一条弦.”第二个盲人揪住了狮子的耳朵,他触摸到某种二维表面,于是也高声喊叫着“不,不,狮子是真正的2-布兰尼.”第三个盲人则是悬吊在狮子腿上,他觉察到的是三维固体,同时用力声称,“你们两人都错了,狮子是3-布兰尼!”他们全都正确.正像尾巴,耳朵和腿是同一头狮子身上的不同部分一样,弦与各种P-布兰尼表现的是M-理论的不同范围.汤森称它为“P-布兰尼民主政体”.经验表明,对任何一种理论的严峻考验均是这样:它必须与数据相符合.毫无

疑问,对新颖而优美的超弦理论而言,它或者被接受,或者失败,这取决于它能否描述物质的宇宙.或者它是一种包罗万象的理论,如同它的拥护者所期望的那样;或者它是一种微不足道的理论,最终又被人们所忘却.不会出现介于二者之间的情况.所以,理论物理学家必须回答第二个疑问:我们的宇宙,以及它的夸克与亚原子粒子的奇妙集成,处于超弦理论方程许多解之中吗?这里仍存在着一个令人为难的问题,即物理学家迄今仍未能找到方程的所有四维解.在数学上遇到了极大的困难——对任何人而言,要完全解决它都过于艰难了.一般来说,方程有两种类型的解.直到目前为止,仅有第一级,称作“微扰”解,已被找到.理论物理学家面对的方程横跨了物理学的所有分支,试图利用现有的,完全确立了的方法去找到方程的近似解是不可能的.在超弦理论中,数百万个这样的解已被编目,其中的每一个解都与10维中6维的不同卷曲方式相当.然而,还没有一个解能精确地再生标准模型中夸克,轻子与玻色子的图象,尽管有某些近似.所以,许多人认为,标准模型中的粒子有可能在方程的第二级解,即“非微扰”解中找到.但是,一般说来,在物理学的所有解中,非微扰解是最困难的.一些物理学家对于不断地寻找超弦理论中的非微扰解丧失了信心.毕竟,连简单的四维理论中的非微扰解还是完全未知的,更不用说复杂得多的10维理论中的非微扰解了.那么,M-理论又如何有助于解决这一令人难以对付的问题呢?答案就在于被称作“对偶性”的这种令人吃惊的工具.简单地说,在M-理论中有一种对偶性,或在微扰解与非微扰解范围之间,存在着简单的数学关系.这就使我们最终取得了窥视这一“禁区”的机会.为了领会如何利用对偶性去解决问题,让我们以麦克斯韦的电磁理论为例作一下探讨.数十年来物理学家已经认识到,如果将麦克斯韦方程组中的电场 $E$ 与磁场 $B$ 互相交换,同时也交换其电荷 $e$ 与磁荷 $g$ ,那么方程组仍保持不变.这就是说,当我们进行两项变换: $E \leftrightarrow B$ 与 $e \leftrightarrow g$ 之后,对于麦克斯韦理

论而言,并没有发生任何变化.

### 神秘的理论

事实上,在麦克斯韦理论中, $e$ 与 $g$ 的乘积是一常数:所以很小的电荷 $e$ 与很大的磁荷 $g$ 相对应.这就是问题的关键.假定某个方程涉及到 $g$ 的某种数学函数,并且该方程不可能精确地解出.此时,标准的数学诀窍是利用微扰展开: $g^2 + g^4 + g^6 + \dots$ 等等,作为它的近似解.只要 $g$ 远远小于1,那么,数列中相继的各项都比其前项小,因而整个数列之和收敛于某个数字.但是,如果 $g$ 比1大的话,那么数列之和就会越来越大,其近似值是发散的.由此,对偶性有了大显身手的机会.如果 $g$ 大,而 $e$ 又小于1,采用微扰法,我们得到数列 $e^2 + e^4 + e^6 + \dots$ ,它能给出一个可观测到的数字.最终,对 $e$ 采用微扰展开这种方法,可用于解决处于非微扰范围的 $g$ 的问题,实际上,对偶性对于麦克斯韦理论而言作用并不大.然而,在M-理论中我们找到了另一种对偶性: $g \leftrightarrow 1/g$ .这一关系看起来比较简单,但其威力却异常惊人.当我初次看到它时,我很难相信我的眼睛.它意味着,一种适用于大 $g$ 的弦理论,通常采用目前的数学对它是无法描述的,但是,可以证明:它与另一种适用于小 $g$ 的弦理论是相当的,而后者则很容易采用微扰理论来描述,这两种不同的弦理论便是互相对偶的.处于非微扰范围的弦理论是另一种弦理论,这就是为什么说在事实上我们已经证明了所有五种弦理论都是相当的.总的说来,目前我们发现了三种不同类型的对偶性,可分别称之为S、T与U,这一套复杂的对偶性与不同维数及类型的弦理论产生了联系.进展是惊人的,今天,物理学家对存在于10.8与6维中的所有解及其对偶性几乎已经全部绘制出来.在M-理论出现之前,若想在这些维数中找到非微扰解一直被认为是不可能的.现在,问题已变得很平常.例如,假定我们表明两个理论A与B在10维时空中是互相对偶的.如果我们按相同方式使这两个理论小型化,则我们可以获得理论A'与B'.但现在我们得知某种新东西:A'也对偶于B'.由此,A'的非微扰行为是通过B'给出的.通过精心制

作这一过程,我们对降至6维的不同情况下的可能宇宙得到了几乎完全的理解.这样,M-理论就解决了微扰展开的所有各级解的难题,而这些解先前被认为是不可能做到的.它甚至为我们给出了有关黑洞中量子效应的新细节.但仍存在着许多不明确的结果,例如,精确的M-理论是什么?迄今为止,我们所知道的仅是理论的片断(低能部分).我们仍期待着有人能对M-理论作出全面的描述.96年瓦吃宣称可能有某种12维理论潜藏着,他将其称作“F-理论”(F为父亲之意)此举使物理学家感到震惊.更重要的是,我们离能够描绘出四维时空的所有对偶性这一目标还相距很远.如果能像我们所希望的那样,将全部对偶性均计算出来,那么我们就能够从所有这些四维宇宙中找到一个宇宙,它已被包含在标准模型中,从而可以描述我们已知的宇宙.但是,这种解的数量高达几百万个,因而,要对它们进行筛选,并寻找到其中符合我们要求的一个.这些恐怕得费时多年才能如愿.那么,最终的理论会是10、11抑或是12维吗?施瓦茨认为,它们之中的任何一个恐怕都不是答案.他感觉到,真正的理论可能没有固定的维数,并且11维仅出现过一次,我们正试图去解决它.汤森有着类似的观点,他说,“整个维数概念是某种近似的东西,它仅在某些半经典范围中存在.”那么,维数这种工具将会完成它的历史使命,也就是说,不久的某一天,我们将能依据基本原理从维数中计算出标准模型吗?当我就这一问题询问该领域中的第一流物理学家时,他们的反应仍是谨慎的.汤森把我们目前的认识状态比做正好处于量子力学被完全阐明之前的玻尔原子.“我们对某些规律有某些富有成效的描述;”他说,“但是,同样清楚地是,我们还没有一个完整的理论.”威腾也认为,我们的方向是对头的.但他同时指出,我们尚需要几次规模更大的类似于目前这样的“革命”,以便去最终解决理论问题.“我认为,无论如何,未来仍有一次更大的超弦革命,”威腾说,“如果我们在今后10年内能够处理一场范围更大的超弦革命,我

(下转第23页)

因拼接), 在一些致病细菌或病毒中接入能对抗普通疫苗或药物的基因, 或者在一些本来不会致病的微生物体内接入致病基因而创造出来的杀伤力极强的生物战剂。

基因武器成本低、杀伤力大、持续时间长; 作战使用简单, 可空投、弹射、飘散、人工投放; 保密性强, 防不胜防, 以往人们对细菌、化学武器的防护措施对基因武器无济于事。经过改造的病毒一旦进入人体, 即使知道是基因武器, 由于不能破译其遗传密码而束手无策; 针对性强, 可以制造出专门危害某个民族、某种肤色、身高或体重的特殊基因武器。

### 五、军用机器人

机器人的国际名称叫“罗伯特”, 原意是用人手制造的工人, 而科学意义的机器人, 指的是具有某种仿人功能的自动机器的总称。世界上第一台实用型机器人 1961 年诞生于美国, 30 年来机器人技术发展非常迅速。目前, 机器人从事的行业已由原来单一的工业渗透到社会各个领域, 成为国防军事中的新生军。1966 年美海军就曾使用机器人潜入 750 米深的海底, 成功地打捞起一枚失落的氢弹。当前, 机器人在军事领域有着广泛的应用: 一是直接执行战斗任务, 以减少人员的伤亡。正在研制中的固定防御机器人、单兵先锋机器人、重装哨兵机器人、榴炮机器人、飞行助手机器人、海军战略家机器人等都属于这类用途的机器人。二是侦察和观察。侦察行业的危险系数高于其它任何军事行动, 机器人是从事这一工作的最理想的人选。目前正在研制的战术侦察机器人、三防侦察机器人、地面侦察员——目标指示员机器人、便携式电子侦察机器人都属于这种用途的机器人。三是工程保障, 从事艰巨的修路、架桥、危险的排雷和布雷等工作。如排雷机器人、布雷机器人、烟幕机器人、便携式欺骗系统机器人等。

目前虽然机器人的智能水平、反应能力和动作的灵活性远远比不上自然人, 但其巨大的军事潜力和超常的作战效能, 预示着在未来的战争舞台上, 机器人必将成为一支不可忽视的军事力量。如美国最近装备部队的专门用于防

化侦察和训练的智能机器人, 高 1.8 米, 会行走、蹲伏、呼吸和排汗, 其内部安装的传感器能感知万分之一盎司的化学毒剂, 并自动分析毒剂的性质, 向部队提供防护建议和洗消的措施等。我国对机器人的研制也非常重视, “高技术研究发展计划纲要”就把智能机器人列为自动化技术的第二个重点课题。经过多年的努力, 已取得满意的成果。我们的目标是到 2000 年研制出恶劣环境条件下的移动式机器人、水下无缆智能机器人和智能装配机器人。有人预计, 21 世纪的战场, 各种用途的军用智能机器人将发挥重要作用, 成为未来战场上的主力军。

正在研制的新概念武器除上述五种之外, 还有如气象武器、深海战略武器系统等诸多

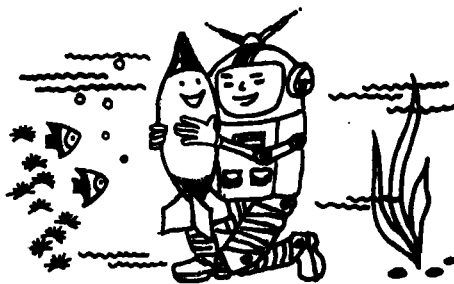


图 2

种。它们中有的已经在战场上使用, 有的还处于秘密研制之中, 有的甚至仅仅处于酝酿设想之中。但随着当今高技术的飞速发展, 可以预见未来的武器系统中必定会有重大的突破, 使得未来的战争更具有高技术特色。

(上接第 14 页)

相信, 我们将会做得更圆满。”哈佛大学瓦范进一步指出: “我希望这是隧道末端的阳光。但谁知道隧道有多长呢?” 就我本人而言, 我是乐观的, 毕竟, 我们首次看到了狮子的轮廓, 它是非常壮丽的, 终有一天, 我们会听到狮子的吼声。

(译自英《新科学家》97.1.18 p. 32—36)