

## 评超弦唯象学研究

王德奎 (Wang Dekui)

绵阳日报社, 绵阳, 四川 621000, 中国, y-tx@163.com

**摘要:** 数据跨山海, 文化越重洋, 人工智能看“超弦唯象学”建立的(3+1)维的超弦理论, 已成为目前超弦理论的低能极限, 并为粒子物理学中的标准模型提供一个可靠的弦论背景, 弦振动不但能被自旋包容, 而且自旋比振动更具特色。如果说, 弦振动的多样性类似人体, 那么自旋的规范性就类似人的脸面; 即如果说超弦类似一个3维的物体, 那么三旋就类似它的一张2维的全息图。

[王德奎. 评超弦唯象学研究. *Academ Arena* 2026;18(7):9-15]. ISSN 1553-992X (print); ISSN 2158-771X (online). <http://www.sciencepub.net/academia>. 03. doi:[10.7537/marsaaj180726.03](https://doi.org/10.7537/marsaaj180726.03)

**关键词:** 超弦唯象学; 环量子; 三旋理论; 自然全息; 人工智能

### 【0、引言】

数据跨山海, 文化越重洋, 人工智能(AI)是一门综合了计算机科学、控制论、信息论、神经生理学、心理学、语言学、哲学等多种学科互相渗透而发展起来的交叉学科; 以大数据和深度学习驱动的跨界融合、人机协同、群智开放和自主智能, 开辟的 AI 应用的“通天大道”, 这也是为啥 AI 能较快切入科学, 让各种自然科学基础理论的研究, 大不如从前火爆。那么能不能用 AI 世界模型来助力弦理论、超弦理论的研究, 如其中的弦唯象学、超弦唯象学?

2026年6月5日科学网发表的《李飞飞长文拆解世界模型实现路径》文章中说: 世界模型的领军人物之一, AI 科学家李飞飞教授, 在美国创办 World Labs (世界实验室) 团队与订阅平台 substack (子堆栈) 上发表题为《世界模型的功能分类: 渲染器、模拟器、规划器, 以及连接它们的循环》的长文。李飞飞教授试图厘清 2025 年以来“世界模型”这个概念在使用上的混乱。她说: “大语言模型让机器学会了遣词造句和逻辑推理, 但物理世界运行的底层逻辑完全不同。语言模型学的是文本的统计规律, 而世界模型学的是时空的统计规律, 比如光怎么照在物体上、东西受力后怎么运动”。

李飞飞教授说得不错, 但仍可以补充: “AI 世界模型”概念中既然有“世界”, 就不仅有“物理世界”, 还可以包括各国主流和支流的科学研究共同的努力, 已经他们之间的争论与涌现。

因为开放人工智能 (OpenAI)、通用人工智能 (AGI)、聊天生成预训练转换器 (ChatGPT) ---- 新一代人工智能更是已打开了 AI 世界模型。有人说: 截至 2026 年, 超弦理论 (及 M 理论) 仍是统一量子力学与广义相对论、解释宇宙基本力与粒子的主流候选理论, 但它依然处于理论数学探索为主、缺乏直接实验证据的阶段。其现状可以概括为: 数学上高度自洽、应用上硕果累累、实验验证遥遥无期、内部争议持续存在。为啥?

2006 年获得国际数学界最高奖菲尔兹奖的陶哲轩教授说: “拒绝接触 AI 的研究者, 可能会发现机会越来越少; AI 提供的证明思路, 是专业数学家从未想过的路径, 绕开了人类研究者长期陷入的思维障碍”。中国科技大学/清华大学马杰教授在《马杰教授说》中说: “被 AI 解决的数学问题具有一些共性, 那就是人类研究已经积累了相当的经验, 表述直观、结构清晰, 可以较为直接地进行证明”。这是真的吗?

### 【1、啥是弦唯象学、超弦唯象学?】

“弦唯象学”, 是理论物理学分支, 旨在通过弦理论构建四维粒子物理实际模型。其核心研究十维超弦理论的紧致化过程, 涉及额外六维空间几何构造及标准模型粒子谱覆盖问题, 常用方法包括构建最小超对称标准模型或超对称大统一模型。

该领域聚焦超弦理论五种形式与 M 理论的统一性, 通过对偶性 (S 对偶、T 对偶、U 对偶) 揭示不同理论间的等价关系。弦论第二次革命期间, 印度科学家森 (Ashoke Sen) 证明了超对称理论中电荷与磁荷共存孤立子的存在。实验层面, 大型强子对撞机发现的希格斯玻色子为标准模型补充关键证据, 推动弦唯象学与实验物理的交叉验证。弦论地景理论通过多维参数空间描述真空态稳定性, 其维度对应几何特征而非物理空间维度。

超弦理论是统一量子力学与引力的最前沿框架, 数学上从 M 理论的 11 维时空到解释夸克等离子体的全

息原理，它既是理论物理的孤峰，又是跨学科的数学利器——虽遥不可及，却持续照亮人类认知边界。超弦理论，属于弦理论的一种，是一种引进了超对称的弦论，旨在统一量子场论与广义相对论。该理论将基本粒子视为微观弦的不同振动模式，并认为物质的基石为十维时空中的弦，要求时空为十维（九维空间加一维时间），额外的六维空间高度卷缩。

弦理论认为：宇宙的基本单元不是粒子，是因为弦在空间运动，才产生了各种粒子。各种不同的粒子只不过是弦的不同振动模式而已。弦分为开弦与闭弦。世界中所发生的一切相互作用，所有的物质和能量，都可以用弦的分裂和结合来解释。超弦理论中的一种振动模式与引力子的行为一致，提供了描述量子引力的方式。

而“超弦唯象学”，则是力图建立起一个（3+1）维的超弦理论，使之成为 10 维超弦理论的低能极限，并为目前粒子物理学中的标准模型提供一个可靠的弦论背景。浙江大学理学院杨焕雄教授是我国研究超弦唯象学的专家，他认为超弦唯象学的研究，是超弦理论最终接受物理实验检验的不可逾越的重要环，它将极大地深化人们对时空结构和自然界基本相互作用的理解。

我们是在 1959 年用自然全息探寻宇宙奥秘中，形成的弦圈（闭弦）观念，远远早于西方的弦理论家们。如果说这是我们大脑的“智能”或“自然智能”产生的话，那么我们把它发展成的“三旋理论”，这也许可称为是人工智能(AI)中一种数学延伸的推导：

弦是一维这一假设，分开弦和闭弦，1959 年我们还只能将闭合的弦(弦圈)称为类圈体。如此一维的弦圈，除了超弦理论所说的各种外在运动，还应有三旋理论所说的体旋——绕圈面内轴线的旋转；面旋——绕垂直于圈面的圈中心轴线的旋转；线旋——绕圈体内环状中心线的旋转。三旋理论将表示各种基本粒子的“三旋状态组合”，称为“圈态密码”。这里类圈体的自旋不同于宏观物体的自旋：

三旋是物性的内禀运动，根据排列组合和不相容原理，三旋构成三代 62 种自旋状态。其次，设想在类圈体的质心作一个直角三角座标，一般把  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴看成三维空间的三个量。现观察类圈体绕这三条轴作自旋和平动，6 个自由度仅包括类圈体的体旋、面旋和平动，没有包括线旋。即线旋是独立于  $x$ 、 $y$ 、 $z$  之外，由类圈体中心圈线构成的座标决定。如果把此圈线看成一个维叫圈维，那么加上原来的三维就是四维。再加上时间维，即为五维时空。

我们用自然全息还让我们认识到：简单性和复杂性是自然而紧密地缔合在一起的；最典型的例子是贝纳德花纹：锅中沸水心液体向四周的翻滚对流，在水加热达到临界状态时各个局部区域也会呈现类似的现象，这是耗散结构和自组织理论常举的例子。如果把这种现象上升为基础的几何学结构，反过来把贝纳德对流抽象缩影反映在一个点上，它类似粗实线段绕轴心转动再将两端接合的线旋。

如果把它定名为不分明自旋，那么圈体绕垂直于圈面的轴的体旋，圈体绕过圈面的轴的体旋，就称为分明自旋。分明与不分明自旋结合，使一个类圈体变成一种三旋唯象学研究的对象。它的优点是能把曲面、曲线几何相与能量、动量物理相自然而直观地紧密结合，一开始就揭示出自然的本质既具有简单性，又具有复杂性。

即它引进了一种双重解结构，如圈代表几何量子，旋代表能量子，对于圈层次可分单圈和多重圈态耦合；对于旋层次，既有位相，又有多重自旋结合。这种组合会带来圈体密度波的几率变化。

用  $\psi$  代表圈结构，用  $\Omega$  代表旋结构，用  $\Psi$  代表三旋，可用下列形式的算符表示三旋的物理特征

$$\Psi = \psi \Omega \quad (1-1)$$

反之，把三旋作为一种座标系，直角三角座标仅是三旋座标圈维为零的特例。正是在一系列的关节点上，类圈体三旋为简单性与复杂性的缔合提供了更为直观的图象，并能使爱因斯坦能满意他关于“我不相信上帝在掷骰子”的说法：在类圈体上任意作一个标记，实际上可以看成密度波，由于存在三种自旋，那么在类圈体的质心不作任何运动的情况下，观察标记在时空中出现的次数是呈几率的，更不用说它的质心存在平动和转动的情况。

用“三旋理论”这种人工智能(AI)，能解释“（3+1）维超弦唯象学、4+1 维三旋唯象学”等数学物理问题吗？因为这很复杂。

## 【2、（3+1）维超弦唯象学】

10 维弦论紧致化到 4 维的方式有成千上万种，不同方式产生出 4 维世界中不同的运行机制，其中超弦唯象学是超弦理论发展的主流方向之一，它立足于物理数学逻辑内在自治的超弦微扰论和久经实验考验的粒子物理学（唯象的）标准模型，通过寻找二者的联系，致力于发现超弦理论真正的真空。

1995 年以前人们主要研究了杂化弦的唯象学，随着 Dirichlet--膜（D 膜）的发现，现在的研究领域已

经扩展到了所有的超弦微扰论。

而杨焕雄教授和合作者 Bailin 教授及 Angulo 博士发现：作为第二类超弦理论向 (3+1 维) orbifold 紧致化出发点的“扭曲的 Ramond--Ramond 蝌蚪图发散抵消条件”尚未得到严格的证明，他后来通过计算，终于完成了这一条件的证明；并且，他们还仔细分析了扭曲的 Ramond--Ramond 蝌蚪图发散抵消条件的解，提出了一种新的 Type IIB 弦论四维 (orbifold) 紧致化的方案。

新方案包含了两个新的物理观点，所预言的零质量手征费米子谱恰好给出了粒子物理学标准模型中的三代夸克轻子（及几个标准模型所没有的新粒子）。

1984--1985 年弦理论发生第一次革命，其核心是发现“反常自由”的统一理论；1994--1995 年弦理论又发生既外向又内在的第二次革命，弦理论演变成 M 理论。

第二次弦革命的主将威滕说：“M 在这里可以代表魔术(magic)、神秘(mystery)或膜(membrane)，依你所好而定”。施瓦茨则说，M 还代表矩阵(matrix)。

在围棋游戏中，只有围与不围这样很少的几条规则，加上黑白两色棋子，却可以弈出千变万化的对局。与此相似，现代科学认为，自然界由很少的几条规则支配，而存在着无限多种这些支配规律容许的状态和结构。任何尚未发现的力，必将是极微弱的，或其效应将受到强烈的限制。这些效应，要么被限制在极短的距离内，要么只对极其特殊的客体起作用。而 M 理论的最终目标，是要用一条规律来描述已知的所有力(电磁力、弱力、强力、引力)。

同弦论一样，M 理论的关键概念是超对称性。在超对称物理中，所有粒子都有自己的超对称伙伴；它们有与原来粒子完全相同的量子数(色、电荷、重子数、轻子数等)。玻色子的超伙伴必定是费米子；费米子的超伙伴必定是玻色子。尽管尚未找到超对称伙伴存在的确切证据，但理论家仍坚信它的存在。他们认为，由于超对称是自发破缺的，超伙伴粒子的质量必定比原来粒子的大很多，所以才无法在现有的加速器中探测到它的存在。

爱因斯坦广义相对论，是根据广义时空坐标变换下的某些要求导出来的。在超对称时空坐标变换下，局部超对称性则预言存在“超引力”。在超引力理论中，引力相互作用由一种自旋为 2 的玻色子(引力子)来传递；而引力子的超伙伴，是自旋为 3/2 的费米子(引力微子)，它传递一种短程的相互作用。广义相对论没有对时空维数规定上限，在任何维黎曼流形上都能建立引力理论。

超引力理论却对时空维数规定了一个上限---11 维。更吸引人的是，已经证明，11 维不仅是超引力容许的最大维数，也是纳入等距群  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  的最小维数。描述强力的标准模型，即量子色动力学，是基于定域对称群  $SU(3)$  的规范理论，它的量子叫做胶子，作用于一个叫“色”的内禀量子数上。描述弱力和电磁力的温伯格--萨拉姆模型，是基于  $SU(2) \times U(1)$  的规范理论。这个规范群作用在“味道”上，而不是在“颜色”上，它不是精确的，而是自发破缺的。

20 世纪 20 年代，波兰人卡卢扎(T.Kaluza)和瑞典人克莱因(O.Klein)，发现从高维空间约化到可观测的 4 维时空的机制。若 11 维超引力中的 7 维空间是紧致的，且其尺度为 10 的-33 次方厘米，就会导出粒子物理标准模型所需的  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  对称群。

但是，在时空从 11 维紧致化到 4 维时，却无法导出手征性来。到了 1984 年，超引力丧失领头理论地位，超弦理论取而代之。

从 1984 年起，人们认定 10 维时空是最佳选择，10 维时空的弦论替代了 11 维时空的超引力理论。曾流行过五种弦论，其不同在于未破缺的超对称性荷的数目，以及所带有的规范群。

在 10 维时空中，最小的旋量具有 16 个实分量，有三种弦论的守恒超荷恰巧对应于这种情况，它们是类型 I、杂优弦 HE 和 HO。其余两种弦论含有 2 个旋量超荷，称为类型 II 弦。

其中，类型 II A 的旋量具有相对的手征性，类型 II B 的旋量具有相同的手征性。HE 和 HO 二种杂优弦，分别带有  $E_8 \times E_8$  规范群和  $SO(32)$  规范群。类型 I 弦也具有  $SO(32)$  规范群，它是开弦，而其余的 4 种弦是闭弦。重要的是，它们都是反常自由的，即弦论提供了一种与量子力学相容的引力理论。在这些理论中，HE 弦至少在原则上能解释所有已知粒子和力的性质，当然也包括手征性在内。

然而若将粒子看作弦，那为什么不将它们看作膜，抑或看作 p 维客体---胚(brane)呢？再者，超对称性容许时空的最大维数是 11 维，为什么弦论只到 10 维就戛然而止了呢？1994 年开始了弦论的第二次革命，五种不同的弦论在本质上被证明是等价的，它们可以从 11 维时空的 M 理论导出。M 理论的 11 维真空，能用一个称作 11 维时空普朗克质量  $m_P$  的单一标度表征。若将 11 维时空中的一个空间维度，取成半径为 R 的圆周，就可以将它与类型 II A 的弦论联系起来。类型 II A 弦论有一个无量纲的弦耦合常数  $g_s$ ，它由膨胀子场  $\Phi$  (一种属于类型 II A 超引力多重态的无质量标量场) 的值决定。

类型 II A 的质量标度  $ms$  的平方, 给出基本 II A 弦的张力, 11 维与 10 维的 II A 的参数之间的关系为(略去数值因子  $2\pi$ )  $ms^2 = RmP^3$ ,  $gs = Rms$ 。II A 理论中经常使用的微扰分析, 是将  $ms$  固定而对  $gs$  展开。从第二个关系式可见, 这是关于  $R=0$  的展开, 这也就是为什么在弦微扰论中没有发现 11 维解释的原因。

半径  $R$  是一个模(modulus), 它由带有平坦势的无质量标量场的值确定。若这个模取值为零, 对应于 II A 理论; 若取值无穷大, 则对应于 11 维理论。杂优弦 HE 与 11 维理论也有相似的联系, 差别在于紧致的空间不再是圆周, 而是一条线段。这个紧致化会产生两个平行的 10 维切面, 而每一面又对应于一个 E8 规范群。

引力场存在于块中; 从 11 维时空更能说明, 为什么采用  $E8 \times E8$  规范群才会是量子力学“反常自由”的。

### 【3、4+1) 维超弦唯象学】

在日常世界里, 全息图形是一种特殊的胶片, 当用合适的方法将它曝光时, 它就将产生一个真正 3 维的影像。描述 3 维图景的所有信息, 都被编码到 2 维胶片上的明暗相间的图样上。

用这个胶片随时都可以复现该 3 维图景; 如果我们这个宇宙的物理学具有全息性, 那么就会存在另外一套运作在某个时空的三维边界上的物理学定律, 它们将和我们现在所知的 4 维物理学完全等效。

三旋理论不仅仅早在阐释西方学者后来所认为的, 组成万物最基本的客体是一维的圈, 即闭合的弦, 而且它在一定程度上超越了西方弦理论家的视野: 超弦理论认为, 弦是一维的, 然而它那消失的粗细维度, 又可能包含着卷缩在普朗克尺度中的卷缩维, 万物归于弦的振动。然而, 振动不但能被自旋包容, 并且自旋比振动更具特色。如果说, 弦振动的多样性类似人体, 那么自旋的规范性就类似人的脸面; 即如果说超弦类似一个 3 维的物体, 那么三旋就类似它的一张 2 维的全息图。这也是德布罗意坚持的波粒二象性始终只有一种东西, 即在同一时刻既是一个波, 又是一个粒子的模式机制; 并能满足正统的哥本哈根学派 M. 玻恩对波函数的几率诠释。

即三旋所产生的波是几率波, 而把粒子与波很基本统一。而厦门大学陈叔瑄教授的涡旋论, 认为粒子与波的统一, 来自圈态涡旋的聚集与弥散, 即聚集为粒子, 弥散为波; 但这只能说明他的圈态涡旋是多粒子, 并不基本。超弦理论特别是杂化超弦理论, 是历史上首次对所有基本粒子和它们的相互作用(即自然中所有的力)提出的一个严肃认真的建议。从这个理论的方程中可以得出特征能量或质量(普朗克质量), 但是, 与实验室中可探测现象的能量尺度相比较, 等价于普朗克质量的能量, 又太大了。这样, 在实验室多少可以直接研究的基本粒子, 统统属于超弦理论中的“低质量部分”。

一群数量很大但又有限的粒子(例如 100 到 200 种), 它们的质量低到在可预见的未来出现在加速器实验中。这些粒子和它们的相互作用, 构成超弦理论中的低质量部分。所有其他粒子(它们有无限的数量)有巨大的质量, 以至它们只能出现在虚效应里(例如量子虚交换时力的出现)。这些虚效应中有些可能具有关键的重要性, 例如它们可以使爱因斯坦的引力理论成为超弦理论的一部分, 而且不会出现不完美的无限性。

标准模型, 包括 3 个费米子家族和它们的反粒子以及已知的 12 个量子, 构成这个统一理论的低质量部分的一部分。引力子和零质量, 显然也属于这个低质量部分, 如其他已预言的粒子一样。

标准模型有一个奇妙的特性, 那就是可重整性, 这使它与别的理论(例如引力理论)有所不同。这意味着在非常好的近似情况下, 标准理论不会遇到无限大, 而无限大会使计算变得毫无意义。统一理论的可重整化部分可以用于它自身, 这几乎使它像一个最终的理论。

但重整化也要付出一定的代价, 那就是出现了超过一打以上的任意数值, 这些数值不能计算出来, 而只能由实验确定。这些数值说明这个模型与其他基本统一理论有依赖关系, 包括高质量态的无限集。

弦这个字指出, 这个理论可以用小环来描述粒子, 而不用点来描述。每个环的典型尺度大约是长度的基本单位, 约为  $10^{-33}$  次方厘米。这些环是如此之小, 所以在很多情形下我们可以等价地用点粒子进行描述。实际上有无数种点粒子; 这些不同的粒子如何与其他粒子发生关系呢? 在特殊情形下, 那些低能部分的粒子如何可以与普朗克质量差不多(或大一点)的粒子发生关系呢?

用小提琴的弦作类比十分恰当: 小提琴的弦有一个最低的振动模式, 还有无数更高的音频振动模式(谐波)。在量子力学里, 能量是频率乘以普朗克常数( $\epsilon = h\nu$ )。低质量部分的粒子, 可以形象地设想为是超弦理论中出现的各种弦环的最低振动模式。

而质量与基本质量单位可以相比的粒子, 则可表示为其他一些最低的振动模式, 而较重的粒子则表示较高的振动模式, 如此下去以至无穷。前缀“超”指出这个理论有近似的“超对称性”, 这意味着粒子表中的每一个费米子都有一个相应的玻色子, 反之亦如此。

如果粒子系统的超对称性是严格精确的，每个费米子一定有与其相关的玻色子精确相同的质量。但是，超对称要设法使自己“破缺”（对此我们尚了解得不够清楚），这使得费米子和相应玻色子的质量不一样，我们把这种现象称为“超隙”。

每一对费米子--玻色子超隙并不完全一样，但可能常常有相同的数量级。如果这超隙有些类似质量的基本单位，那我们就永远不可能在试验室里直接观测到已知基本粒子的超级搭档。但是，如果与超隙等价的能量只有  $102\text{--}103\text{GeV}$ ，那么在未来的几年，应该可能由 CERN 新建的加速器观测到这些超级搭档（如果更高能量的超导超级碰撞器建成，观测到的机会要更大一些）。

某些实验结果的理论分析指出，超隙的大小可能正好和 SSC（超导超级碰撞器）的能量搭界，还可能与 CERN 的新加速器能量搭界；应按照两个不同的模式，指定假定中的超级搭档的名称。

当已知粒子是一个玻色子，相关的费米子则在名称的尾部加一个意大利文表示“小得多”的词尾“-ino”，这种模式首先由费米命名中微子。这样，光子预期的搭档就是光微子，引力子的搭档则为引力微子，如此等等。既然传递弱相互作用的带有电荷的玻色子常称为  $W^+$  和  $W^-$ ，那么预言中相应的费米子就需要一种奇怪的名称“ $W$  微子”。当我们已知的粒子是一个费米子，其玻色子搭档就用与费米子相同的名称，但加一个前缀“s”（超）。这样，我们就得到了一些奇怪的术语，如 squark（超夸克）、selectron（超电子）。

既然一个玻色子的超级搭档是一个费米子（以及相反的情形），那么这两个超级搭档的自旋一定总是不同，一个是整数而另一个是整数加  $1/2$ 。事实上，两个自旋必需有  $1/2$  的差别。希格斯玻色子（或希格斯子）的自旋是 0，它的搭档的自旋为  $1/2$ 。

费米子的 3 个家族自旋为  $1/2$ ，那么它们的搭档（squark、selectron 等等）的自旋为 0。量子（胶子、光子、 $X$ 、 $W$  和  $Z^0$  玻色子）的自旋为 1，它们的搭档胶微子、光微子等等的自旋则为  $1/2$ 。引力子的自旋为 2，它的搭档引力微子的自旋为  $3/2$ 。

在超弦理论中，标准模型被耦合到一个更大的可以重整化理论之中。这一理论我们可以称为超标准模型，它包含 12 个量子，同样的费米子，某些 higgses（希格斯子）以及所有这些粒子的超级搭档。超级标准模型的有效预言，为检验超弦理论提供了大量的实验。

当能量增加到比低质量部分（即可直接在实验中探测的部分）的能量高许多时，超弦理论预言胶子、电磁和弱相互作用在强度上彼此趋近，还显示它们的紧密关系。归纳现在的高能实验结果，得到了超对称破缺预言中提出的相同结论（如超隙不会太大）。

这样，对超对称来说已经有了某些直接的证据。与此同时，费米子间的对称性也是不可否认的。思考杂化超弦理论空间情形的一条思路是：理论从 1 维时间、9 维空间的空时开始；这样，不同的解对应于某些空间维的坍塌，留下的仅是可以观察到的维。

如果应用的概率解释，那么我们宇宙的三维空间性质，是超弦方程组一个特定解（例如，包含特定粒子集的特定费米子家族的数目）偶然出现的结果。超弦理论的预言，无论它们是否依赖解的这样一个概率“选择”，这些预言都必须与我们的 3 维空间的经验和基本粒子系统所有特性相比较。

#### 【4、超弦唯象学与人工智能对接是些啥】

引力场存在于质量块中，从 11 维时空更能说明，为什么采用  $E_8 \times E_8$  规范群才会是量子力学“反常自由”的。

上世纪初，德国女学者诺特(A.Noether)证明了一条著名定律：对称性对应于某一种物理守恒定律。电荷、色荷，以及别的守恒荷，都能看成是诺特荷。某些粒子的特性在场变形下保持不变，这样的守恒律称为拓扑的，其守恒荷为拓扑荷。按照传统观点，轻子与夸克被认作是基本粒子，而单极子等携带拓扑荷的孤子是派生的。

是否能颠倒过来猜想呢？即猜想单极子带诺特荷，而电子带拓扑荷呢？这一猜想被称作蒙托南--奥利猜想，它给物理计算带来了意料不到的惊喜。带有  $e$  荷的基本粒子等价于  $1/e$  的拓扑孤子，而粒子的荷对应于它的相互作用耦合强度。夸克的耦合强度较强，因而不能用微扰论计算，但可用耦合强度较弱的对偶理论计算。

印度物理学家森(AshokeSen)取得这方面的一个突破，他证明，在超对称理论中，必然存在既带电荷又带磁荷的孤子。当这一猜测推广到弦论后，它被称作  $S$  对偶性。 $S$  对偶性是强耦合与弱耦合之间的对偶性，由于耦合强度对应于膨胀子场  $\Phi$  的值。

杂优弦  $HO$  与类型 I 弦可通过各自的膨胀子场联系起来，即  $\Phi(I) + \Phi(HO) = 0$ 。弱  $HO$  耦合对应  $\Phi(HO) = -\infty$ ，而强  $HO$  耦合对应  $\Phi(HO) = +\infty$ 。可见，杂优弦是 I 型弦的非微扰激发态。这样， $S$  对偶性便解释了一

个长期令人疑惑的问题：HO 弦与 I 型弦，有着相同的超对称荷和规范群  $SO(32)$ ，却有着非常不同的性质。

在弦论中，还存在着一种在大小紧致体积之间的对偶性，称作 T 对偶性。举例来说，IIA 理论在某一半径为 RA 的圆周上紧致化和 IIB 理论在另一半径为 RB 的圆周上紧致化，两者是等价的，且有关  $RB=(\alpha'^2/RA)-1$ 。于是，当模 RA 从无穷大变到零时，RB 从零变到无穷大，这给出了 IIA 和 IIB 之间的联系。

弦论还有一个定向反转的对称性，如将定向弦进行投影，将会得到两种不同的结果：扭曲的非定向开弦和不扭曲的非定向闭弦。这就是 IIB 型弦和 I 型弦之间的联系。在 M 理论的语言中，这一结果被说成：开弦是狄利克雷胚的衍生物。

无质量态可以看作是有质量态的临界状态；有质量的矢量粒子有 3 个极化态，而无质量的光子只有 2 个极化态。在 4 维时空的庞加莱对称性中，用小群表示描述光子态。小群表示又称短表示，这一代数结构可以推广到 11 维超对称理论；临界质量也会在 M 理论中重现。

由诺特定理，能量和动量守恒是时空平移对称性的推论。超对称荷的反对易子是能量和动量的线性组合，这是超引力的代数基础。

然而，两个不同超对称荷的反对易子，却可生成新的荷。这个荷称作中心荷 Q。对于带有中心荷的超代数也有一个短表示，它将与 M 理论的非微扰结构密切相关。对于带有中心荷的粒子态，代数结构蕴涵着物理关系  $m \geq |Q|$ ，即质量将大于中心荷的绝对值。

若粒子态是短表示的话，该关系取临界情形  $m=|Q|$ ，通常称为 BPS 态。这一性质的最初形式是前苏联学者博戈莫尔内、美国学者普拉萨德和萨默菲尔德在研究规范场中单极子时发现的。

如果将 BPS 态概念应用到 p 胚，这时中心荷用一个 p 秩张量来描述，BPS 条件化作 p 胚的单位体积质量等于荷密度。处于 BPS 态的 p 胚将是一个保留某种超对称性的低能有效理论的解。II 型弦与 11 维超引力都含有两类 BPS 态 p 胚，一类称为电的，另一类称为磁的，它们都保留了一半的超对称性。

在 10 维弦论中，据弦张力  $T_p$  与弦耦合常数  $g_s$  的依赖关系，p 胚可分成三类。当  $T_p$  独立于  $g_s$ ，且与弦质量参数的关系为  $T_p \propto (m_s)^{p+1}$ ，则称胚为基本 p 胚；这种情形仅发生在  $p=1$  时，故又称它为基本弦；这又是在弱耦合下仅有的解，故它又是仅可使用微扰的弦。

当弦张力  $T_p \propto (m_s)^{p+1}/g_s^2$ ，则称胚为孤子 p 胚；事实上这仅发生在  $p=5$  时，它是基本弦的磁对偶，记作 NS5 胚。当  $T_p \propto (m_s)^{p+1}/g_s$ ，则称胚为狄利克雷 p 胚，记作 Dp 胚，其性质介于基本弦和孤子之间。通过磁对偶性，Dp 胚将与  $Dp'$  胚联系起来，其中  $p+p'=6$ 。在 11 维时空中，存在两类 p 胚：一类是曾被命名为超膜的 M2 胚，另一类称为 M5 胚的 5 胚，它们互为电磁对偶。

11 维理论仅有一个特征参数  $m_P$ ，它与弦张力  $T_p$  的关系为  $T_p \propto (m_P)^{p+1}$ 。将 11 维理论通过其中 1 维空间作圆周紧致化，能导出 IIA 型理论。那么，p 胚在这个紧致化过程中将做出什么变化呢？

p 胚的空间维数可以占据或不占据紧致维；倘若占据，M2 胚将卷曲成基本弦，M5 胚卷曲成 D4 胚；倘若不占据，M2 胚化作 D4 胚，M5 化作 NS5 胚。威滕和荷拉伐发现，从 11 维的 M 理论可以找到手征性的起源。他们将 M 理论中的一个空间维数收缩成一条线段，得到两个用该线段联系起来的 10 维时空。粒子和弦仅存在于线段两端的两个平行的时空中，它们通过引力彼此联系。物理学家猜测，宇宙中所有的可见物质位于其中的一个，而困扰着物理学家的暗物质则在另一个平行的时空中，物质与暗物质之间仅通过引力相联系。

这样，便可巧妙地解释宇宙中为什么存在看不到的质量。这一图象具有极其重要的物理意义，可用来检验 M 理论。上世纪 70 年代物理学家已认识到，所有相互作用的耦合强度随能量变化，即耦合常数不再是常数，而是能量的函数，并给它取了个形象的名称——跑步耦合常数。上世纪 90 年代物理学家又发现，在超对称大统一理论中，电磁力、弱力与强力的耦合强度，会聚在能量标度 E 约为  $10^{16}$  次方吉电子伏的那一点上。上述三力统一的耦合强度与无量纲量  $G_E^2$  (G 为牛顿引力常数) 相近，而不相等。

在威滕—荷拉伐方案中，可选择线段的尺寸，使已知的四种力一起会聚在同一能量标度 E 上。这就是说，引力的量子效应，将在比普朗克能量标度低得多的标度 ( $E \sim 10^{16}$  次方吉电子伏) 上起作用。而且在某些情形下，Dp 胚可以解释成为黑洞，或者更恰当地说是黑胚，即是任何物质(包括光在内)都不能从中逃逸的客体。

于是，开弦可以看成是有一部分隐藏在黑胚之中的闭弦。可以将黑洞看成是由 7 个紧致维的黑胚构成的，从而 M 理论将为解决黑洞悖论提供途径。霍金认为黑洞并不是完全黑的，它可以辐射出能量。黑洞有熵，熵是用量子态数目来衡量的一个系统的无序程度。在 M 理论之前，如何清点黑洞量子态数目，人们束手无策。

斯特龙明格和瓦法利用 Dp 胚方法，计算了黑胚中的量子态数目。他们发现，计算所得的熵与霍金预言

的完全一致。在  $M$  理论中，现已证明，当黑胚包绕着一个洞收缩时，黑胚的质量将会消失。一个带有若干洞的时空，可以想象成一块沪上的早点----蜂糕。在黑胚作用下，它变成了另一块蜂糕，即变成了另一带有不同数目洞的时空。

利用这一方法，可以把所有不同的时空联系起来。这样， $M$  理论最终将依照某种极值原理，选择一个稳定的时空，弦就在这个时空中生存下来。接下来便是，振动着的弦将产生人类已知的粒子和力，也就是产生出人类所处的现实世界。

### 【5、结束语】

2002 年 5 月我们在四川科技出版社出版 70 万字的专著《三旋理论初探》一书（ISBN7-5364-4986-O/N·49），实际解决了弦理论中的三大难题，确立了现代物理学中的弦圈发明权应属于中国人的地位。这三大难题是：

- （1）弦理论解决了物质族分 3 代与卡--丘空间 3 孔族的对应，仍有如何排除多孔选择的难题。
- （2）弦理论解决了多基本粒子与多卡--丘空间形状变换的对应，仍有如何排除多种形状选择的难题。
- （3）弦理论解决具体的基本粒子的卡--丘空间图形虽有多种数学物理手段，但也遇到选择何种数学物理原理为佳的难题。

### 参考文献

- [1]王德奎，三旋理论初探，四川科学技术出版社，2002 年 5 月；
- [2]赵国求、吴新忠，物理学的新神曲--量子力学曲率解释，武汉出版社，2002.年 8 月；
- [3]王德奎，解读《时间简史》，天津古籍出版社，2003 年 9 月；
- [4]叶眺新，庞加莱猜想与超弦革命---质量超弦时间之箭初探（4），Academ Arena，2025（9）；
- [5]路小栋、习强，从奇点大学到超弦大学的轴心时代----全息超弦理论的研究与应用（6），Academ Arena，2018（1）；
- [6]叶眺新，统一超弦和三旋的膜理论，AcademArena，2021(4)；
- [7]路小栋、习强，悟空卫星发现暗物质类似“通美门”吗？---全息超弦理论的研究与应用（4），Academ Arena，2017(12)；
- [8]路小栋，量子力学的曲率解释与三旋，Academ Arena，2025(8)。