

支点丛书

[美] 米切奥·卡库 / 著
詹妮弗·汤普逊

by Michio Kaku & Jennifer Thompson

陈一新 陆志成 / 译

吉林人民出版社



B 超越爱因斯坦 Beyond Einstein

关于世界理论的宇宙探秘



[美] 米切奥·卡库 詹妮弗·汤普逊/著
陈·新 陆志成/译

B 超越爱因斯坦

beyond Einstein

关于世界理论的宇宙探秘

吉林人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

超越爱因斯坦/(美)卡库,汤普逊著;陈一新,陆志成译.——长春:吉林人民出版社,2001.1

(支点丛书)

书名原文:Beyond Einstein

ISBN 7-206-03820-4

I. 超… II. ①卡…②汤…③陈…④陆 III. 超引相互作用—普及读物 IV. 0572.24-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 058184 号

Beyond Einstein by Michio Kaku & Jennifer Thompson

根据 Doubleday 1997 年英文版译出

吉林省版权局著作权合同登记图字:

07—2001—396 号

超越爱因斯坦

著者	[美]米切奥·卡库	詹妮弗·汤普逊
译者	陈一新	陆志成
校者	江傲霜	
责任编辑	范春萍	王海利
	封面设计	翁立涛
	责任校对	鲁人

出版者	吉林人民出版社	0431—5649710
	(长春市人民大街 124 号	邮编 130021)
发行者	吉林人民出版社	
制版者	吉林人民出版社激光照排中心	0431—5637018
印刷者	长春市人民印刷材料厂	

开印	本	850 × 1168	1/32
字	张	8	
版	数	200 千字	
印	次	2001 年 10 月第 1 版	
印	次	2001 年 10 月第 1 次印刷	
数	数	1—6 200 册	

标准书号	ISBN 7-206-03820-4/G·1161
定 价	16.80 元

如图书有印装质量问题,请与承印工厂联系。

引 言

ix

写这本书的想法可以追溯到 50 年代中期，当时在加利福尼亚州长大的米切奥第一次听到统一场理论。

在看到大科学家阿尔伯特·爱因斯坦去世的消息时，米切奥正读小学四年级。他知道爱因斯坦在其一生中有很多伟大的发现，这使他世界知名，但是他还没来得及完成他最伟大的工作就去世了。这个故事使米切奥着了迷。

米切奥推想，如果爱因斯坦是这么伟大的话，那么他没有完成的计划肯定也是极棒的——一定会是他辉煌生涯的顶点。

出于好奇，米切奥查遍了帕洛·阿尔托的图书馆，想发现更多关于统一场理论的知识，但关于这个课题的书或文章一本也没有找到。有几本量子力学的大学教材，但 8 岁的米切奥觉得它们实在太难懂了。另外，它们也没能为统一场理论提供哪怕是一点点的参考。

米切奥就去找他的老师，当然也没有得到答案。即使是他后来碰到的物理学家们，在他提起爱因斯坦最后的理论时也会对他耸耸肩膀。大部分物理学家觉得人类要统一宇宙中的四种 x

力的时机还没有成熟，或者简直就是彻头彻尾的妄想。

多年以后，当米切奥在弦理论（当时是作为强相互作用理论提出来的）方面工作时，也变得很怀疑，认为对统一场理论的寻找最后会是一场劳而无功的努力。在 20 世纪 70 年代，当物理学家约翰·薛瓦茨和约艾尔·夏克声称这种弦理论的一个更加奥妙的版本，可能就是那个传说中的使爱因斯坦和其他物理学家都为难的统一场理论时，没有人把他当一回事。

终于在 1984 年，一个重大的理论突破看来使这一想法得到了确立。正像约翰·薛瓦茨和约艾尔·夏克所预言的那样，“超弦”似乎是统一场理论（惟一的）候选者。

尽管这个理论的许多细节还有待解决，这一发现已经毫无疑问地会动摇物理学的世界。米切奥和詹妮弗·汤普逊已经合写了一本书——《核能的两面》，再一次合作来回答 30 年前使米切奥着迷的问题“什么是统一场理论”，这看来也是很自然的了。

我们一起希望来出一本能够为好奇的外行人作引导的书。我们希望用常常只有内行人才具备的认识和眼界来写作一本涵盖了“超弦革命”的书，并且用生动的、富含信息的方式来演示这一主题。我们觉得，我们两方面经验的组合——作为一个物理学家和一个作家——从这个观点来看会做得很好。

我们也想向读者提供一个对物理学世界的综合性了解，将超弦理论放在过去 300 年的科学背景中进行展示。有许多书讲述了现代物理学的一个方面，无论是相对论、量子力学，还是宇宙学，但是忽略了物理学在更大范围的影响。《超越爱因斯坦》有所不同；我们不去论述孤立的研究领域，而是集中精力于物理学的全貌，指出在何处一个特定的理论在更大的背景图像里的位置。统一场理论与量子力学有着什么样的关系？牛顿

的引力理论如何应用于超弦理论？这就是在《超越爱因斯坦》这本书中所回答的几个问题。

在这本书里，我们强调了超弦理论对物质提供了统一的描述。我们的注意力集中于亚原子粒子，像夸克、轻子、杨-米尔斯粒子、胶子和其他粒子在性质上的巨大差异，以及如何将它们看作是超弦的不同振动。在同一套书的另一卷《超空间》中，米切奥会集中精力于空间和时间的性质上，特别是并存宇宙的可能性，时间的扭曲，以及第十维等问题。

我们为物理学中新的突破感到激动，并且我们希望我们写了一本既有权权威性又有趣味性的书。简而言之，一本米切奥童年时希望读到的书。

纽约，威廉姆斯城，麻州
米切奥·卡库 詹妮弗·汤普逊

引言/1

第一部分 一个解释世界的理论/1

第一章 超弦：解释一切的理论？/3

第二章 统一的探索/19

第三章 量子之谜/39

第四章 无穷大之惑/60

第五章 顶夸克/82

第二部分 超对称性和超弦/91

第六章 超弦理论的诞生/93

第七章 对称性：缺少的联系/114

第八章 超对称/131

第三部分 超越第四维/147**第九章 大爆炸之前/149****第十章 暗物质的秘密/165****第十一章 宇宙弦/178****第十二章 到另一维空间去旅行/186****第十三章 回到未来/204****第十四章 超越爱因斯坦/219****参考书目/231****索引/234**

第一部分

1

一个解释世界的理论

第一章 超弦：解释一切的理论？ 3

一个新的理论正在动摇着现代物理学的基础，很快地颠覆着那些有关我们宇宙的受人喜欢然而却陈旧过时的概念，并代之以有着慑人的美丽和优雅的新的数学。尽管这一理论目前仍有一些尚未解决的问题，但它在物理学家当中引起的兴奋，人们明显可以感觉得到。在全世界，物理学界的领袖们声称我们目睹着一种新的物理学的诞生。

这个理论称为“超弦”，过去十年里物理学中的一系列惊人的突破在它的发展中累积了起来，表明我们有可能终于接近了统一场理论：一个能够统一世界中所有已知的力的综合的数学框架。

超弦的鼓吹者们甚至声称这个理论会是终极的“解释世界的理论”。

虽然物理学家们在接近新思想的时候常常小心翼翼，普林斯顿大学的物理学家爱德华·威敦仍声称，超弦理论将会在未来的 50 年中主导物理学界。他最近说：“超弦理论是一个实实在在的奇迹。”在一次物理学会议上，他宣称我们正在经历一场与量子力学的诞生同样伟大的物理学革命，这使听众大为惊

- 4 奇。他还说：“这可能会让人们人们对什么是真正的时间和空间产生新的理解，是自广义相对论以来最为激动人心的变化。”^①

甚至一贯对科学家的声言谨慎地不作夸张的《科学》杂志也将超弦理论的诞生与圣杯的^②发现做比较。《科学》杂志认为，这场革命“不亚于在数学中由实数向复数的转化”。^③

这一理论的两位创建者，加州理工学院的约翰·薛瓦茨和伦敦玛丽女王学院的迈克尔·格林，也半开玩笑地将它称为“能解释一切的理论”。^④

位于这种兴奋之情中心的，是这样的一种认识，即超弦可以提供一個能够对所有已知的物理现象做出解释的综合性理论，这些现象大至星系的运动，小至原子核内部的动力学。这个理论甚至就宇宙的起源、时间的起点以及多维宇宙的存在做出令人惊异的预言。

对一个物理学家而言，能够把有关我们的物理世界的信息大仓库总结成为一个理论，这样的想法令人陶醉，这些信息是在几千年的仔细探索中痛苦地积累起来的。

比如，德国物理学家就曾编辑过一本百科全书，《物理学手册》，那是一部总结了全世界物理学知识的详尽无遗的著作。这部在图书馆中可以占据整整一个书架的《手册》，代表了当时科学知识的顶峰。如果超弦理论是正确的话，这本百科全书中包含的所有信息就能够（在原则上）从一个方程中推导出

① B. M. S “Anomaly Cancellation Launches Superstring Bandwagon.” Physics Today (July 1985): 20.

② 意指人们梦寐以求的珍宝。——译者注

③ M. Mitchell Waldrop, “String as a Theory of Everything,” Science (September 1985): 1251.

④ Telephone interview, John Schwartz, February 25, 1986.

来。

物理学家之所以特别为超弦理论所激动，是因为它可以迫使我们修正我们对物质世界本质的理解。从希腊时代起，科学家就曾假设构成宇宙的基本单元是一些微小的点粒子。德漠克里特创造了原子这个词来描写这些终极的、不可摧毁的物质单位。

然而，超弦理论却假设物质的基本单元是由一些微小的、振动着的弦所组成的。如果正确的话，就意味着所有物质中的质子和中子最终都是由弦所组成，从我们的身体到最遥远的星体中的一切都是如此。没有人看到过这些弦，因为他们太小而无法观察。（他们比质子还要小 1 万亿亿倍。）根据超弦理论，⁵ 我们的世界看上去只像由点粒子所组成，因为我们的测量仪器过于粗略，看不到这些微小的弦。

初看之下也许有点奇怪，一个如此简单的概念——将点粒子用弦来代替——就能解释自然界中丰富的粒子和（由粒子交换而产生的）力的多样性。然而，超弦理论是如此优美而具有综合性，它可以简单地解释为什么宇宙中存在着数以万亿计的不同类型的粒子和物质，每一种又在其特点上具有令人惊异的巨大差别。

超弦理论可以产生关于自然的一个相互关联而又包容一切的图像，类似于小提琴的琴弦能够用来“统一”所有的音调和和弦规则。在历史上，音律的表达经历了千百年来各种乐声的试错探索。今天，这些不同的规则可以从一个单一的图像容易地推出，也就是说，一根弦可以用不同的频率振动，每一种都会在音阶上产生不同的声调。在振动的琴弦上产生的声调，比如像 C 大调或者降 B 大调，本身不比任何其他的音调更加基本。真正基本的是这样一件事情，即只用一个概念，振动的

弦，就可以解释和音律。

因此，知道了琴弦的物理规律，会使我们了解关于音调的基本理论并允许我们预言新的和声与和弦。类似地，在超弦理论中，自然界里发现的基本力和各种粒子也只不过是振动弦的不同模式而已。例如，引力相互作用就是由一条封闭弦（一个圈）的最低振动模式引起的。弦的更高阶激发产生物质的不同形式。从超弦理论的观点来看，没有一种力或者粒子比其他的力或者粒子更为基本。所有粒子只是各种振动弦的不同振动形态。因此，单单用一个框架——超弦理论——就能够在原则上解释为什么在宇宙中有这么丰富多样的粒子和原子。

对“物质是什么？”这个古老问题的回答其实很简单，物质是由粒子组成的，粒子是弦的各种不同的振动模式，就像 G 或者 F 音符。由弦所产生的“音乐”就是物质本身。

但是整个世界的物理学家对这个新理论感到如此兴奋的根本原因却在于，它看来能解决也许是本世纪最为重要的科学问题：即如何将自然界的四种力统一到一个综合的理论中。处于这一巨变的中心的是这样一种认识，即统治我们宇宙的四种基本力实际上只是由超弦主宰的一种统一的力的不同表现形式。

四种力

所有可以移动物体的东西就是力。比如磁性是一种力，因为它能让指南针转动。电是一种力，因为它能让我们的头发直立起来。在过去的 2 000 多年里，我们逐渐认识到四种基本力的存在：引力、电磁力（光），以及两种核力——弱力和强力。（其它被古人认识的力，如火和风，都可以用这四种力来解

释。)我们的世界中一个最大的科学难题是，为什么这四种力看起来如此不同。在过去的 50 年中，物理学家们尽力地尝试解决这一问题，想将它们都统一在一致的图像下。

为了帮助您欣赏超弦理论在物理学家中所引起的兴奋，我们会花些时间来描述各种力，并让您看看它们是如何地各不相像。

引力是一种让太阳系结合在一起，将地球和行星保持在各自的轨道上，并阻止恒星爆炸的吸引力。在我们的宇宙中，引力是一种主宰的力量，它延伸到亿亿英里之外，比最远的星体还要远；这种让苹果落地、使我们双脚踩在地上的力，与整个宇宙中主导银河系运动的力是同一种力。

电磁力让原子结合在一起。它使（带负电的）电子围绕带正电的原子核运动。由于电磁力决定电子轨道的结构，它也支配着化学定律。

在地球上，电磁力常常强得足以超过引力。比如摩擦一把梳子就能够吸起桌上的纸屑。电磁力抵消向下的引力，并且直到 0.000000000001 英寸的尺度（大致是原子核的尺寸）上超过其他的力。

（也许电磁力最为熟悉的形式就是光。当原子被扰动时，电子绕原子核的运动就变得不规则，电子就会发送出光或是其他形式的辐射来。X 光、雷达、微波或是可见光是电磁辐射最为纯粹的形式。无线电和电视也只是电磁力的不同形式而已。）

在原子核的内部，电磁力受到弱力和强（核）力的压制。比如，将质子和中子在原子核内束缚在一起的就是强力。在任何一个原子核中，质子都是带正电的。只有它们自己在一起时，它们之间相互排斥的电力会使原子核散开。因而强力要克服质子间的斥力。粗略地说，只有几个因素可以保持强力（趋

向于将原子核拉在一起)和互斥的电力(趋向于把原子核拆散)之间的微妙平衡,这可以帮助解释为什么自然界中只有大约 100 来种已知的元素。如果一个原子核中含有多于 100 个质子,即使是强大的核力也难以包容质子之间互斥的电力。

强大的核力被松开时,其结果可能会是灾难性的。比如,当原子弹中的铀核被故意地分裂开来时,束缚在原子核内的巨大能量就会以核爆炸的形式释放出来。一磅核弹和一磅炸药相比,核弹所释放的能量要高出 100 多万倍。的确,与电磁力支配的化学爆炸相比,强力能够获得远为更多的能量。

强力可以用来解释恒星发光的原因。恒星基本上就是一个巨大的原子核熔炉,在其中原子核的强力得到释放。比方说,假如太阳的能量是通过燃烧煤而不是燃烧核燃料而产生的话,那么只会发出极少量的太阳光。太阳会很快地烧光而成为灰烬。没有阳光,地球就会变冷,地球上的生命也会最终消亡。因此,没有强力,恒星就不会发光,就不会有太阳,地球上的生命也就不可能存在。

如果强力是在原子核内部惟一产生作用的力,那么大部分的原子核都会是稳定的。然而,实验上我们知道,某些原子核(像有 92 个质子的铀)的质量如此之大,以致它们会自动分裂,释放出更小的碎块和末屑,我们称之为放射性。这些元素的原子核并不稳定,而是会衰变。因此必定还有一种更弱的力在起作用,这种力支配着放射性,并与很重的原子核的衰变有关。这就是弱力。

弱力是如此的微小而短暂,这使我们无法直接在生活中亲身体验到它。然而我们可以感觉到它的间接效应。当一个盖革计数器放在一块铀附近时,我们听到的噼啪声测量着原子核的放射性,这就是由弱力引起的。弱力所释放出的能量也可以用

来产生热。比如在地球内部发现的巨大热量，其中一部分就是由地核深处放射性元素的衰变引起的。这些巨大的热量如果到达地球的表面，就会如火山般剧烈地爆发出来。类似地，一座核电厂的中心所释放的热量，可以产生足够的电力来照亮一座城市，也是由弱力（还有强力）引起的。

没有这四种力，就无法想象生命的存在：我们体内的原子将会衰变，太阳将会燃尽，照亮恒星和银河系的原子之火也将会熄灭。因而，力的思想是古老而熟悉的思想，至少可以追溯到牛顿。新鲜的是，这些力不是别的东西而只是同一种力的不同表现。

日常的经验表明这样的事实，同一个物体可以用不同的形式表现自己。拿来一杯水，把它加热到沸腾并变为蒸气。水，通常是一种液体，可以变为蒸气，一种气体，具有十分不同于液体的性质，但它仍是水。再把这杯水冷冻成冰。通过抽走热量，我们可以把液体变为固体。但它也仍是同一种物质——水，——只是在某种条件下变为新的形式而已。

另外一个带戏剧性的例子是这样一个事实，即石头能够变成光。在特定的条件下，一块石头可以变为大量的能量。特别是，若这块石头是铀，其能量就以原子弹的形式来将自己表现出来。因此，物质可以用两种形式来表现自己：要么作为一种有形的材料（铀），要么作为能量（辐射）。

与此相像，科学家们在过去的 100 多年里认识到，电力和磁力是同一种力的不同表现形式。然而科学家们认识到甚至弱力也可以作为这同一种力的一种表现形式来对待，这还只是过去 25 年里的事。1979 年的诺贝尔奖颁发给了三位物理学家（史蒂文·温伯格，谢尔登·格拉肖，和阿卜杜斯·萨拉姆），他们证明了将弱力和电磁力统一为一种力的方法，这种力称为