

# 物理学的第二次量子革命\*

文小刚<sup>†</sup>

(美国麻省理工学院物理系 美国 坎布里奇 MA 02139)

2015-03-23收到

<sup>†</sup> email: xgwen@mit.edu

DOI: 10.7693/wl20150409



## 1 基本粒子的起源与纠缠的量子比特

《赛先生》：在您看来，当代物理学最伟大的未决问题有哪些？

文小刚：就物理学的基础问题而言，人类一直追求万物起源这一问题，希望了解万物是从哪儿来的，基本规律是什么。直到今天，这还是物理学的最大梦想。但有人会说，这个问题不是已经解决了吗？我们有基本粒子的“标准模型”，有

牛顿的万有引力理论，还有爱因斯坦的广义相对论，这些已经把我们的世界解释得清清楚楚，很让人满意了。但实际上不是这样的。在标准模型提出40年后的今天，没有一个物理学家认为标准模型是基本理论，大家都认为它只是一个近似的有效理论。基本粒子的起源到底是什么，不知道，这就是问题。

爱因斯坦的广义相对论是非常漂亮的，好像这么漂亮的东西应该是个基本理论。但实际上也不是。

广义相对论也是一个近似的有效理论。为什么呢？因为爱因斯坦的广义相对论是一个经典理论，和量子力学格格不入，虽然它很漂亮，但它只是一个漂亮的经典近似。它是从什么样的量子的结构中出来的？也不知道。所以，有没有更基本的、更漂亮的量子结构能把广义相对论、引力和基本粒子都搞出来，我觉得这还是基本物理学最大的未决问题。

我是做凝聚态物理的，为什么

\* 原文来自微信公众号《赛先生》。2014年底，文小刚教授在清华大学高等研究院接受了《赛先生》记者潘颖的专访。本刊发表时，文小刚教授对文章有一些修改和补充。

要谈到高能物理的问题呢？因为在我看来，这个物理学最大梦想的答案可能就在凝聚态物理里面。虽然我们一直想弄清楚基本粒子、时空、引力的真正起源，但长期以来，进展甚微。山穷水尽时，出路往往会在意想不到的方向。1989年以来，我们在凝聚态物理的研究中发现了新型量子物质态——拓扑物态。后来我们意识到，拓扑物态起源于多体系统里的量子纠缠<sup>1)</sup>。表面看来，拓扑物态量子纠缠和基本粒子的起源毫无关系，但我现在认为，它们是完完全全联系在一起的。也就是说，多体系统里的量子纠缠是基本粒子、时空、引力的起源。这种解决问题的思路和以前很不一样。

以前的思路是，你要找一个东西的起源，都是要把它分解，来得其组成和基本构件，分得越小就越基本。但现在考虑量子纠缠的话，解决问题的思路就变了。我们认为万物(基本粒子及空间)源于量子比特：空间是量子比特的“海洋”，基本粒子是量子比特的波动涡旋，基本粒子的性质和规律则起源于量子比特海中量子比特的组织结构(即量子比特的序)。新思路下，组织结构是更重要的。考虑组织结构会使我们对自然界的基本性质有更深刻的理解，这跟老思路考虑物质的组分很不同。二者的区别就好比，观察一根绳子时，是看它由什么分子构成的，还是看这根绳子的

扭结结构是什么。老思路看重基本构件是还原论，而新思路看重组织结构(序)是演生论。

所以说，问题还是老问题，但由于最近凝聚态物理带来的一些新思维方式和新思想，也许会使老问题得到解决。

## 2 第二次“量子革命”已经来临

《赛先生》：您为什么说“物理学处在大变的前夜，可能会迎来一个黄金时代”？

文小刚：我指的是对多体系统的量子纠缠的研究。历史上物理学经历了四次革命。

第一次物理学革命是牛顿力学。牛顿说星星在天上跑，苹果往地上掉，这两个现象是由同一个机制，就是“万有引力”引起的。他由此统一了天体运动和地面上物体运动的规律。描写这个理论的数学就是微积分。一般来说，一个物理理论都要有个数学来描写，我们希望当提出一个新的物理学思想的时候，它需要的数学已经有了。如果没有的话就惨了，新的理论连写都无法写出来。牛顿正好就是遇到了这个情况，当时他发明其理论的时候还没有微积分，所以理论写不出来，他必须发明微积分才能把理论写出来。这是最高级的发现和创造。牛顿既做数学家又做物理学家，非常不容易。

第二次物理革命是麦克斯韦对电、磁和光的统一。他先统一了电和磁，发明了麦克斯韦方程。他发现麦克斯韦方程的波动解——电磁波——的波速，和当时测的光速差不多。虽然还差了5%，麦克斯韦大胆提出电磁波就是光，把电、磁和光都统一了。

第三次物理革命是爱因斯坦的广义相对论。他把时间空间的弯曲和引力作用统一了。广义相对论用的数学是黎曼几何。那时候黎曼几何已在前几十年就发明出来了，所以爱因斯坦不需要自己发明新数学，把黎曼几何搬过来用就行了。

第四次物理革命应该是量子力学。量子力学是非常非常深刻的革命，应该是最大的物理革命，但它不是一个人搞出来的，是一大群人的共同成果。所用的数学是线性代数，就是把微积分给扔掉了，由分析变成代数了。我们的世界不是由分析来描写的，而是由代数来描写的。这一世界观的变化非常重要。

那么，我们现在对多体系统的量子纠缠的研究(即对拓扑物态的研究)，可以说是第二次量子革命。这一研究想要解决很多基本问题：它首先要统一所有基本粒子，如光子，电子，夸克等等。也要把引力和空间统一进来，就是想统一这些根本相同的现象。

比如说要统一光子和电子，这好像很困难，因为一个是玻色子，一个是费米子，差太远了。但我们

1) 量子力学中不能表示成直积形式的态称为纠缠态。举例说明：考虑两个体系(如两个比特)，每个体系有两个态，0和1，那么两个体系总共就有四个态：00、01、10、11。在量子力学中，我们有新的形式存在——这些态的叠加态。如00+11是00和11的“混合态”，00-11是另一个00和11的叠加态，00+01+10+11是00、01、10和11的叠加态。00+11和00-11都是纠缠态，因为其中第一个体系，既不是处于1态，也不是0态，甚至不是0和1的任意一个叠加态。其第一个体系是处于1态还是0态，和第二个体系是处于1态还是0态有关。这就是量子纠缠。00+01+10+11不是纠缠态，因为其中第一个体系总是处于0和1的一个叠加态，x态，x=0+1，和第二个体系无关。第二个体系也总是处于0和1的一个叠加态，x态，x=0+1，和第一个体系无关。这是因为xx=(0+1)(0+1)=00+01+10+11。

纠缠态之间的关联不能被经典地解释。所谓量子纠缠指的是两个或多个量子系统之间存在非定域、非经典的强关联。量子纠缠涉及实在性、定域性、隐变量以及测量理论等量子力学的基本问题。



最近就发现，这是可能的。我们发现，如果量子比特海中的量子比特有一种叫“长程量子纠缠”的现象，这时量子比特海中的波就可以是光波，量子比特海中的“涡旋”就可以是电子。这说明光子和电子是可以被量子比特统一描写的。但我们面临的局面跟牛顿当时的情况一样，长程量子纠缠是个新现象，没有现成可用的数学方法，可能需要我们发明新的数学。

从这个意义上讲，相比前几次物理革命，现在对多体系统的量子纠缠的研究，有点“革命”的意味了。第一，我们要统一的各种非常基本且不同的现象，像电子、光子、引力，各种各样的相互作用，都要以同一个框架来理解它；第二，我们要研究和探索新的物质态——拓扑态。拓扑态有可能成为量子计算的理想媒介。所有这些都源于一个基本物理现象——长程量子纠缠。

但我们发现长程量子纠缠可以非常复杂和丰富。它也非常新，新到我们现有的数学都无法描写它。现在有一些数学家也在做这方面工作，发展长程量子纠缠的新数学。由于这些原因，我认为，我们现在遇到了物理学新的大发展的机遇，这就是量子纠缠。

首先，长程量子纠缠是凝聚态物理里新的物质态起源。其次，它又可能是基本粒子的起源。这是因为我们可以把真空本身看作一种物质态，一种很特殊的、高度纠缠的物质态。第三，它还和量子计算机有关，因为长程量子纠缠可作为量子计算的理想媒介。最后，它又跟现代数学有关，因为量子纠缠需要新的数学。当物理学需要某种新数学时，这一数学就会蓬勃发展起来。综合考虑下来，我觉得第二次

“量子革命”已经来临。这是一件非常激动人心的事情。

《赛先生》：也就是说，您认为量子纠缠会是一个引发研究高潮的问题？  
文小刚：对。但这是我个人的想法。在粒子物理领域里，大家可能不这么看。但是在凝聚态物理里，大家已经这么认为了。就是说，凝聚态物理中提出的长程量子纠缠，及其导致的量子拓扑物态，是现在凝聚态物理研究的一个中心，一个高潮，非常非常活跃。

但是长程量子纠缠能不能统一粒子物理中的四种相互作用？能不能更进一步统一光和电子？能不能统一所有基本粒子？不同人会有不同看法。我个人认为是可能的。我这么认为，是因为我很熟悉量子纠缠。我明确地感觉到，也深深地相信，长程量子纠缠能统一所有基本粒子。但量子纠缠太新了，一般只有学量子信息和凝聚态物理的人比较熟悉，一般人不熟悉量子纠缠，所以他们自然而然也不会从这个角度想问题，不见得认同这种观点，看不出来量子纠缠和基本粒子的统一有什么联系。这里我们需要做大量的解释工作，看看这种观念能不能传播到高能物理的基本粒子理论里头去，我觉得可能需要一些时间。

### 3 “新的数学”还在路上

《赛先生》：您觉得长程量子纠缠需要的新数学是已经出现在数学家的宝库中了，还是需要新发明新发现？  
文小刚：长程量子纠缠需要的新数学没有现成的，但碰巧现在正在被数学家发现、发掘。我可以举个例子来说明“新数学”是什么意思。我以前看过一本科普书，有一段大

意说有一个比较原始的部落，它们的语言中描述数字的只有三个词：一、二、三，再往下就没名字了，统一叫“好多好多”。如果用这种语言来表达算术的话会非常非常困难，因为3以上的数连个名字都没有。而我们现在遇到的困难就是这种情况。长程量子纠缠是一个现实存在的现象，但大家以前没有意识到有这种现象，自然而然没有描摹它的语言，没有名词，没有数学，什么都没有。我们最近的研究发现，长程量子纠缠不仅存在，它还有很复杂的结构，我们真的是没有语言能描述这些不同的结构。但这些结构很重要，所以我们要发明新语言，科学的语言就是数学。这个数学目前还在发展中，不像爱因斯坦用的黎曼几何，在他需要时的几十年前就有了。

长程量子纠缠需要的新数学，在数学里也重要。“科学突破奖”(Breakthrough Prize) 2014年首次颁发给数学家。一共5名获奖人，每人三百万美元奖金。其中一位是雅各·劳瑞(Jacob Lurie)。他得奖的工作叫higher category theory(大约可译作“高维范畴理论”)，或者叫做 $n$ -category theory(“ $n$ 维范畴理论”)。这可能跟我们想要的数学有关。

但是这一数学，连大部分数学家都不做，是数学里的一个很高深的小分支。我最近的很多工作都是在试图把这个高维范畴理论从数学引入到物理里去。早期的时候，群论也是数学里的高深东西，但在七八十年前，为了研究对称性，群论被从数学引到物理里去了。现在我们遇到类似的问题，为了研究多体系统中的量子纠缠，需要把高维范畴理论从数学引入到物理里去。一个简单系统的量子纠缠倒是用不到

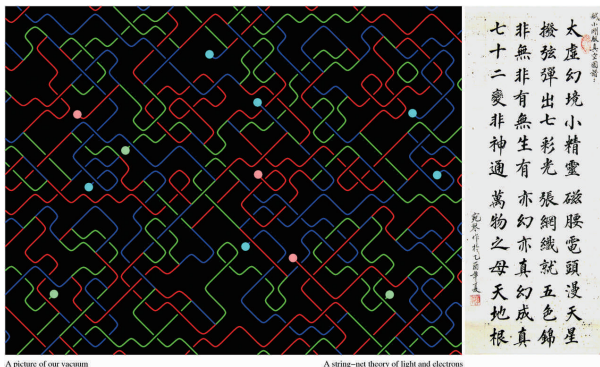


图1 真空是有长程纠缠(弦网结构)的量子比特海

那么高深的数学,而复杂系统(又叫“多体系统”),由于很多很多东西可以纠缠在一起,它才有长程量子纠缠现象。这种长程纠缠变得非常复杂,就要靠新的数学理论来阐明。

所以从某种意义上讲,现在的情况跟前四次物理学革命挺像的。需要新数学是新的物理革命的征兆。我觉得我们处在一个很幸运的时期。据说苏联的著名物理学家朗道当年总说自己不幸运,因为朗道开展主要工作的时期是上世纪40、50年代,那时候量子力学框架已经基本奠定了,等他进入科学研究高峰期的时候,量子力学革命的高潮已经渐渐平展了。如果朗道赶上了量子力学的爆发期,他肯定会是一个能做出更大贡献的人。相比之下,现在的人应该觉得很幸运。当然,不见得每个做物理的人都这么认为,但我是这样看的,现在有很多新的东西等待着被发现。

一个很有意思的问题是,现在学物理的人基本都受过标准训练。被训练过的物理学家,面对长程量子纠缠,会觉得很不舒服。因为新东西跟他以前学的东西离得比较远。人们一般喜欢做能被标准训练所涵盖的东西,比如,被能带理论涵盖的自由电子系统。像我说的四维范畴学、长程纠缠什么的,都是

物理学家不怎么被训练的内容,所以物理学家做这种工作往往觉得很难受。当然,不见得很多人认同我的观点,他们可能会想,你怎么知道量子纠缠就是未来基础物理学的发展方向呢,你怎么就这么兴奋,而我怎么就兴奋不起来呢?

每个人都有他的判断,根据自己的学习和成长背景都有所思考。有人兴奋,有人平静,这很正常。就像欣赏艺术品一样,个人审美不同,观念想法当然也会不一样。我觉得我看到了有价值的东西,就会兴奋,也希望跟大家分享。也许有人跟我志趣相投,同样欣赏这些工作。科研就是这样,创新就是做自己最欣赏的东西,不管有没有别人在做,有没有人喜欢。大家把自己觉得最欣赏的拿出来,如果有越来越多的人认同,慢慢地这项工作就会成为主流。我的拓扑物态理论,等了十年才被欣赏接受。当然,也有一直得不到大家欣赏的东西,一般来说可能就被淘汰了,这基本也是正常现象。

中国要搞创新,就要有敢于做自己最欣赏的东西的志气。科学训练最重要的内涵,不是学学公式,而是学习对科学工作的品味和感觉。这样,你欣赏的东西,别人也欣赏,才能成大气候。中国教育要朝这个方向探索和努力。

#### 4 真空是0和1的海洋

《赛先生》:弦网凝聚理论是您近年来一项重要的开创性工作,请介绍

一下这一理论都解决了哪些问题。

文小刚:弦网凝聚正好跟上一个问题是密切相关的,就是“为什么量子纠缠,能够跟基本粒子的统一和起源有关系”。弦网凝聚就是把我刚刚讲的那些更具体化一些。

实际上,弦网凝聚的中心不是弦网,而是量子比特,这个理论的深层内涵是信息和物质的统一,也就是说信息和物质是一回事。听起来可能难以理解,人们往往说,信息都需要有个物质载体,都是物质携带着信息,所以信息是物质的性质,而不是物质本身。

但真要是追问物质起源的话,归根结底就追到信息上去了。这是因为如果说物质是信息的载体的话,就意味着信息仅仅是物质的部分性质,这个物质还有其他性质。换句话说,物质的有些性质是你需要的信息,另外还有些是你不用的性质。但物质中,相对于你要的信息多余的那些性质,其本质也是信息。这么追究下去,也就是说,这个物质本身就带信息的信息。如此看来,说物质可以完全等同于信息本身,也不奇怪。这看上去有点哲学意味了。

信息的基本单元是比特,其有0和1两种状态。因为我们要用到量子纠缠,这里的比特实际上是量子比特。关于基本粒子起源的弦网凝聚理论,其基本出发点,是认为我们的真空是量子比特的海洋,也就是0和1的海洋。这一基本观念,是一种“以太”学说。真空(或空间)是富有动态的量子比特海,0和1可以互相变化,0变到1,1变到0。从这一观点出发,万物就都浮现出来了。比如光波,就是这个海洋里的0和1的一种波,而电子、夸克的起源也能搞出来。

但要同时搞出光和电子、夸

克，我们需要长程量子纠缠。我们还注意到纠缠有很多很多种形式，0和1的海洋可以有多种不同形式的纠缠。不同的纠缠会给出不同的世界，我们的世界只对应其中一种纠缠，不是随便什么样一个海洋都能给出我们的世界。

我们的世界是一个很特殊的世界。在这个世界里，光波满足麦克斯韦方程，电子满足狄拉克方程。如果量子比特海中的0和1只有短程纠缠，那么比特海中的波，不会满足麦克斯韦方程。所以比特海中的0和1，要有一个很特殊的长程纠缠才能给出麦克斯韦方程和狄拉克方程。这就是为什么150年来，“以太学说”一直不成功，一直得不到满足麦克斯韦方程的波：因为150年来，我们一直没有考虑有长程纠缠的以太，甚至想都没想到还有长程纠缠这个东西。在凝聚态物理的研究中，我们发现了拓扑物态，发现了拓扑物态的本质就是长程纠缠。这就是我们为什么说，凝聚态物理拓扑物态，给基本粒子的起源提供了突破口。

实际上很早以前，美国物理学家约翰·惠勒(John Wheeler)就提出，信息即物质，这一想法称为“*It from bit*”。在英文里，*it*就是物质，*bit*(比特)表示信息，意思是物质从信息中来，这是很有名的一个观念。

但和早期的“以太学说”一样，约翰·惠勒的“*It from bit*”也不成功，因为它亦没有考虑有长程纠缠。用物理的行话来说，比特(*bit*)是玻色性的，电子(*it*)是费米性的。长期以来，大家都不知道怎么把一个费米性的东西从玻色性的东西中搞出来，因为玻色性的东西跟玻色性的东西放在一起的话，还是玻色性的东西，你怎么把玻色性的

东西绑在一起，都出不来费米性的东西。所以虽然“*It from bit*”这个观念非常好，富有哲学性的漂亮，但物理上一直做不通。我们的世界太奇特了，光子满足麦克斯韦方程，电子满足狄拉克方程，电子还有费米特性，所以从*bit*出发，我们搞不出这东西来，想法是很好，但是不成功。

不成功的原因是没有考虑长程纠缠。如果比特只有短程纠缠的话，那满足麦克斯韦方程的光子、费米性的电子，一个都出不来。但如果比特有一种特殊构型的长程纠缠，那就什么全都有了，这就是最近十几、二十年的工作。这到底是个什么样的长程纠缠呢？“弦网”就是一种用通俗语言对这种长程纠缠的描述。

我们的真空不是一个简单的0和1的海洋。在量子比特海中，这些1排成一串，就像根弦一样，是有些组织和结构的，就像纤维组成的弦网状结构。我们的量子比特海就是这样一种弦网液体。而由这种弦网中的波，还真满足麦克斯韦方程。所以，你光看简单的0和1的波还不行，要1变成弦网之后，这个弦网的波就得出麦克斯韦方程了。

在真空中有满足麦克斯韦方程的光，是否一定意味着我们的真空是一碗汤面？满足麦克斯韦方程的光，是否一定要起源于有弦网结构的量子比特海？一个假说能自圆其说，并不能证明这一假说是正确的。但我对弦网理论很有信心。这是因为我们发现，有弦网结构的量子比特海，不仅能给出麦克斯韦方程，它还能自然而然地给出有费米性的电子。

真空中(量子比特海里)的弦都是闭弦，弦形成大大小小的圈，大部分圈和宇宙一样大，充满了空间。这样的真空中没有电子，而弦

的密度波就是光波。但弦可以断开，成为有端点的开弦。这个端点就是有费米性的电子和夸克。这一下就把电子和光子给统一了，就这么简单。

这里我想强调，在弦网理论中，弦本身并不是基本构件，基本构件还是那个量子比特。弦网只是用来描写量子比特的长程纠缠。

总结一下，弦网理论假设我们的真空是一个有弦网结构的量子比特海。弦的密度波就是光波(电磁波)，弦的端点正好是电子，电子和电磁有相互作用，这个相互作用正好跟弦的端点和它的密度的相互作用完全一样，完全能用弦网理论描写。除此之外，不仅电磁相互作用在里面，弱相互作用、强相互作用全在里面，都能起源于有弦网结构的量子比特海。就连弱相互作用的手征性，也能起源于有弦网结构的量子比特海。现在唯一解释不了的就是引力。

像我刚才说的基本粒子的起源和统一问题，以及引力和时空的起源和统一问题，这都是我们想做的的基本问题。由此看到，量子纠缠和弦网凝聚理论可以具体解释基本粒子的起源和统一，可以把基本粒子和相互作用全部统一了(除了引力之外)。这使我们对这一思想方法有信心，希望能进一步解决引力和时空的起源和统一问题。

我还想说，最近超弦领域有一些新的工作，揭示了几何与量子纠缠之间有非常非常深刻的关系，就是引力和时空与量子纠缠之间应该有非常大的关系。现在这个观念大家都在讲，很多征兆都有了，但数学上还没有把这个方程全写出来，还没有形成一个完备的理论。不知谁能完成这“临门一脚”。



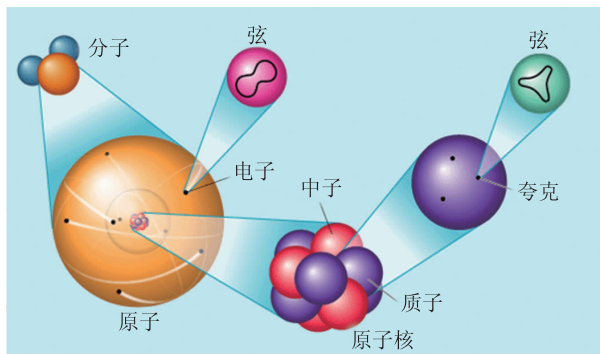


图2 物质起源的还原论

《赛先生》：如何看待您的弦网凝聚理论与其他尝试性的解释大自然最基本作用机制统一理论的比较，如超弦理论、圈理论等？

文小刚：这个问题提得非常好。弦网理论、超弦理论、圈理论的目标都是一样的，就是基本粒子的起源和统一问题，以及引力和时空的起源和统一问题。只是解决问题的思路不一样。我的理论的思维是从一种演生的角度出发的。它的基本构建单元是量子比特，而我们的真空就是量子比特的海洋。我们世界的自然规律来源于量子比特的长程纠缠。某种量子比特的长程纠缠，能给出麦克斯韦方程和狄拉克方程。如果换一种纠缠的话，世界的规律就完全不一样了，会是另外一些方程。所以我强调是量子比特和它的纠缠，是这两种东西构造出我们这个丰富富的世界。

超弦理论觉得电子、光子等基本粒子不是粒子了，而是一小段一小段的弦，很小的弦，这种弦有各种各样的振动模式，不同的振动模式给出不同的粒子。所以某种程度上，它还是有点还原论的思路，还是在找物质更小的基本构件。只是超弦理论说，电子不是最小的，每个基本粒子还有更小的组成部分，就是弦，是弦在小范围上不同的局部运

动方式构成了不同的粒子。

对比之下，弦网理论中的量子比特不是基本粒子更小的基本构件，空间本身的基本构件。许许多多量子比特遍布整个空间，形成和宇宙一样大的海洋。这个

量子比特海的波动涡旋给出了各种各样的基本粒子，而不是说这些基本粒子是由量子比特组成的。这就是演生的观念。在超弦理论那，电子是一小段弦，对应于弦的一种振动模式；而在弦网理论里，电子是一根弦的一个端点。这根弦可以跟宇宙一样长，其另一个端点，对应于一个正电子，可以随便跑多远。

至于圈理论，跟我的思路有点像，但圈理论一直不成功，它还不是一个完全能明确定义的理论。其本身作为一个量子理论，都是有些困难的，还缺乏严格的基础。大家对该理论做了很多近似研究后也得到了一些结论，但不清楚这些结论是近似的结论还是理论本身的结论。为什么呢？因为大家对目标都很明确，希望得到那个结果，所以可能是你取它的近似，使近似达到你想要的结果，但不清楚实际上能不能达到那个结果，所以这一点不太清楚。

我之所以说圈理论不成功，还因为圈理论和弦网理论一样，能很自然地解释SU(2)弱相互作用。但圈理论的目标是解释引力，它好像不能自然而然地解释引力。所以说圈理论更自然地是一个SU(2)弱相互作用理论，而不是一个引力理论。我挺赞同圈理论的思路，但其

本身的结构有问题，使得我们没法儿从理论本身的结构中推导出爱因斯坦的场方程。

《赛先生》：您怎么看待当今宇宙学里最大的，最令人困惑的暗物质和暗能量问题？

文小刚：这个有点不在我的专业里了。实际上，我并不是太清楚到底应该怎么来理解它。最简单的标准模型里没有暗物质、暗能量这样的东西，所以为什么有暗物质和暗能量就是个最大的疑问。

那我们应该怎么来理解这个问题呢？我觉得有两种看法，一个是，我们现在的标准模型不太对，需要扩张，应该有新粒子。那会怎么扩张就是很有意思的问题了。弦网理论导出的基本粒子理论不是标准的标准模型，而是变形的标准模型，它包括有新粒子。所以弦网理论提出了一个对标准模型的扩张方案。那么另外一种可能是，万有引力在大尺度下有偏差，这种看法也非常基本。但我对第二种看法不是太赞同。我觉得大尺度下广义相对论是挺漂亮的，只是小尺度下有问题，那是因为量子化有问题。所以我不觉得大尺度下广义相对论有问题。我比较赞同的是，也许是有一些其他的新的粒子。所以现在很多人也在找，如果真有新的粒子，标准模型真的需要修改的话，那当然是一个很大的进展了。因为我们现在觉得标准模型似乎把所有东西都解释了，没解释的东西也不多，如果暗物质真的是由于新的粒子引起的话，那就把标准模型的缺陷暴露出来了。因此我觉得暗物质、暗能量问题有可能会修正标准模型，会对发现新的粒子有帮助。但是再具体的东西，我也不是太清楚了。