

弦理论 量子论, 广义相对论

进展简介

⑦
233-235

弦理论研究新进展

0413

Edward Witten 等

Witten, E

王世坤^v

十多年前, 弦理论备受关注, 人们期望由此产生伟大的物理理论. 然而, 弦理论却遇到了其数学结构太复杂的困难, 以及这一理论存在五种不同的形式, 但无一能严格符合我们的宇宙问题. 因此, 这一理论近几年来有所沉寂.

然而, 今年三月一日, 自然科学院的 E.Witten 教授向我们提供了很有说服力的材料说明弦理论仍非常活跃. 近两年以来, 弦理论中的一系列发现不仅解决了这一理论中最主要的理论上的困难, 而且也恢复了这一理论原有的统一物理理论的目标.

在 Princeton 高等研究所的一次演讲中, Witten 用了近三个小时给来自远至西雅图和伦敦的客人介绍了弦理论, 描述了这个理论的内容、发展和目前的状况, 极为清晰, 令人激动不已.

Witten 讲: “对于我们这些工作在弦理论领域中的人来说, 这是一个使人惊异的时期, 我们看到弦理论的论文至少每月一次就更新这一理论的基本框架, 有时甚至更频繁一些. 物理学家都在用电子网络相互联络, 一旦某个同事完成了一篇论文, 我们马上就可以了解有何新的发现, 每日清晨起床打开计算机, 你可以收到不止一篇论文, 甚至更多, 它们使这一领域又有了新的进展, 这已经是十分平常的事情了.”

组织这次演讲的 Princeton 高等研究所所长 Phillip A. Griffiths 坦言自己对弦理论的热情: “就我个人而言, 作为一名数学家, 我目睹了弦理论的发展, 并且认为弦理论是我所了解的最有兴趣的科学的发展. 我能理解工作在这一领域中的人们的激动以及它带给我自己工作的数学领域的影响, 几乎每周都产生新的结果, 确实很不寻常, 对于这一事件的发生和发展, 我很高兴自己能先睹这快.”

那么这是什么事件呢? 并非所有的物理学家都能发现弦理论的意义和重要, 或者能够理解它. 但对于 Witten 和许多人而言, 如同量子理论源于电磁理论, 弦理论则来自于量子理论, 只不过概念上的飞跃更大而已.

简略地讲, 于 20 世纪我们有两个伟大的物理理论, 第一个是爱因斯坦的广义相对论, 发表于 1915 年, 它描述了作为自然弯曲时空的一部分的引力. 通常, 广义相对论只涉及天文学和宇宙学中大的物体和对象. 第二个是在 20 年代产生的量子场理论, 它描

原题: updating string theory. 译自: 美国 Princeton 高等研究所通讯 Princeton, New Jersey. Spring 1996, pp. 1-3.

述了诸如电磁力(磁、光、原子及相互作用)、强核力(核物理)和弱核力(放射性)等微观现象,然而并不包括引力。

每时每刻,这两个理论和平地但又各自独立存在。我们极少以相同的思想去处理宇宙水平的事件和量子水平的事件。但是,如果这两个理论共存于物理时,它们在任何条件下均可被应用,但物理学家不能使引力和量子理论统一起来,寻找对这个问题的一个解答一直是物理领域中最中心的问题。

七十年代少数物理学家开始猜测弦理论可能会给出一个解答。依照弦理论,弦是一些闭圈或线段,就像小提琴的弦一样,以不同的模式振动。在音乐中,每根弦有各种不同的泛音,使声音听起来很美,很丰富。在弦理论中,也有很多“泛音”,每一种有固定的能量,即为我们所知道的初等粒子,如电子、质子、夸克、光子等。弦理论使人们激动的理由是这些“泛音”中的一种能导致传播引力作用的粒子—引力量子。即弦理论应当含有引力。

Witten 讲:“不像传统的量子理论排斥引力,弦理论应当含有引力,我视此点为在科学中所作出的最大和最有意义的洞察。七十年代对弦理论的这种理解引导我深入这一领域的研究工作。”

弦理论的另一个令人满足的特点是它关于粒子运动的描述。在量子理论中,粒子在时空中运动,其轨迹是条线,或成一维轨迹。而在弦理论中,闭合的弦在时空中运动则扫出二维的管状。这一现象似乎可以克服在量子理论中存在的一些困难。然而,八十年代中期弦理论遇到了其数学结构极为复杂的困难以及这一理论的非唯一性的问题。

在过去仅仅两年期间,物理学家发现了克服这些数学过于复杂的困难,一个方法是利用共轭性(duality)的概念,即两个表面上看起来是不同的理论实际上是可看作共轭的,或者讲彼此是等价的。例如 Maxwell 关于电和磁的方程,在一定条件下是共轭的,即彼此等价的,因此可以相互变化。利用共轭性,我们可以把一个某种语言或形式不可解决的问题转化为以另一语言即可以解决的问题。

这种方法的实现自 1994 年来依赖于在弦理论中的一些重要的发现,其中之一是由 Witten 和他的同事 Rutgers 大学的 Nathan Seiberg(于 1994-95 年 Princeton 高等研究所的成员)提出的。Seiberg 一直从事于研究夸克,中子和质子则由夸克构成。研究夸克的数学工具相当艰深困难(unwieldy),Seiberg 则跨出了非常勇敢的一步,作出了由弦理论可预见的但目前并未为实验所证实的夸克具有超对称性,即某种共轭性的假设。依此超对称,在宇宙中的每一类质量粒子均有相对应的对称粒子,反之亦然。超对称提供了一个相当有力的数学工具去研究弦理论。

Columbia 大学数学教授 John Morgan 提到 Seiberg-Witten 理论时说:“这一理论开辟了新的领域,允许我们回答很多著名的问题。”大量其它类型的共轭性也在被研究,其中很多结果增加了弦理论的合理性。Seiberg-Witten 理论导致产生了四维数学一新的分支,称为量子几何。反之,量子几何的研究也给予弦理论以新的影响。

弦理论是用于统一物理理论和解释量子引力的新的理论,美妙无比,但是,却有五种形式,此意味着有五个可能的宇宙,通俗地介绍这一点是略有困难的。Witten 讲“五

个宇宙？谁生活在其他四个宇宙？现在我能宣称这五种形式的弦理论是等价的。”

一方面，弦理论的复杂性对非物理学家来说其困难基本上是不可克服的。实际上，弦理论中，“弦”形象化的理解，这种想象的跳跃是如此大胆以至很多资深的科学家难以相信这个理论。即使目前所选择的模式正确，在真正理解这个理论之前仍有大量的问题摆在人们的面前

Witten 他本人很熟悉弦理论中研究工作的困难，而且，他也以目前弦理论的活跃和进展而感到兴奋。“如果你是个物理学家，从 1986 年到 1993 年一直外出度假，”Witten 讲：“当你返回时，你尚能跟上很多变化，只要你在外出时也工作在同样的问题上，然而，如果你是在 1994 年外出度假，现在才返回，你会发现，对你原来所研究的问题，你已经很陌生了。”

在 Witten 演讲的最后部分，当 Witten 列举弦理论最近的研究进展时，Witten 愉快地笑了：“显然，仅存在一个弦理论，这是极为重要的进展。现在我们对弦理论中许多问题可以有新的理解了。弦理论包含有引力，而通常的物理理论排斥引力。这一现象真是十分美妙，是我所遇到的来自天堂的启示。”

(王世坤译 吴可校)

~~~~~

(上接 232 页)

- [2] E.Brandas and N. Elander (eds.), *Resonances*, Lecture Notes in Physics, vol. 325 Springer Verlag, Berlin, Heidelberg and New York, 1989.
- [3] H.L.Cycon, R.G.Froese, W.Kirsch, and B.Simon, *Schrodinger operators with application to quantum mechanics and global geometry*, Texts and Monographs in Physics, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, and New York, 1987.
- [4] Y.K.Ho, *The method of complex coordinate rotation and its application to atomic collision processes*, Phys. Reports 99, (1983), 1-68.
- [5] P.-O.Lowdin (chief ed.), *Complex scaling in the spectral theory of the Hamiltonian*, Proceedings of the 1987 Sanibel Workshop, Internal. J.Quant. Chem. 14 (1978), 343-542.
- [6] W.P.Reinhardt, *Complex coordinates in the theory of atomic and molecular structure and dynamics*, Annual Rev. Phys. Chem. 33 (1982), 223-255.
- [7] W.P.Reinhardt, *Dilation analyticity and the radius of convergence of the  $1/Z$  perturbation expansion: Commem on a conjecture of Stillinger*, Phys. Rev. A 15 (1977), 802-805.
- [8] W.P.Reinhardt, *Spectra of atoms and spectral theory of atomic Hamiltonians*, Mathematical Frontiers in Computational Chemical Physics, (Donald G.Truhlar, ed.) IMA Volumes in Mathematics and Its Applications, vol. 15, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, and New York, 1988.
- [9] F.H.Stillinger, *The ground state energy of two electron atoms*, J. Chem. Phys. 45 (1966), 3623-3631.

(舒西、许稻、许依群译 何育赞校)