

“量子泡沫”清除巨大的真空能

(北京大学 徐仁新 编译自 David Lindley. *Physics*, September 27, 2019)

理论上真空充满巨大的能量，但新的研究表明：这一能量应被隐藏，因为它在小尺度上互相抵消了。

量子论认为，我们所处的时空应充满比观测值大 10^{120} 倍的能量。理论家们提出若干措施企图消除这种能量，而最近给出一种新的解决方案：此能量确实巨大，但因在小尺度上抵消故对宇宙膨胀没有多大意义。

1955年，相对论先驱、普林斯顿大学教授 John Wheeler 提出：时空的最小尺度(长度、时间、能量)将由 Heisenberg 关系限制，经典物理中连续的空间和时间将转变为“时空泡沫”这种随机涨落状态。泡沫以普朗克尺度存在：长度 10^{-35} m，时间 10^{-44} s，能量 10^{19} GeV。大爆炸初期就处于这种状态。

现代量子场论用比 Wheeler 时

代更严谨的数学来分析时空泡沫，确实表明：充满泡沫的真空具有巨大的内在能量。这些能量应如宇宙学常数(添加在爱因斯坦场方程中的一个参数)那样起作用。宇宙学常数跟“暗能量”作用相似，能够解释宇宙的加速膨胀。令理论家一直迷惑的是：为解释加速膨胀所需的真空能要比理论值小 10^{120} 倍！

理论家一直在寻找普朗克尺度真空能消失的物理机制。例如，可能因正负能量的贡献而完美地抵消，也可能因弯曲时空中量子场的抑制行为而消失。

最近加州大学的 Steven Carlip 提出了新的方案。他注意到，具有宇宙学常数的爱因斯坦方程有随时

间呈指数膨胀或收缩的解。再者，他想象出一种时空泡沫，其真空能巨大且各处均等几率地膨胀或收缩。他利用新的数学方法将普朗克尺度的区域“粘”起来(粘合时假设时空泡沫没有特定的时间方向)，从而得出惊人的结论：即使各处真空能巨大，但拼凑起来的时空跟

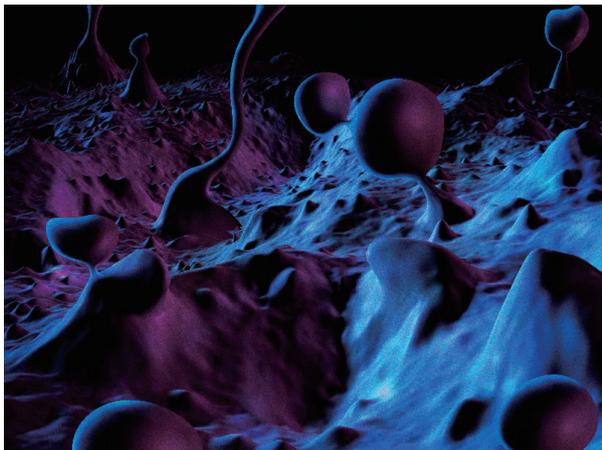
没有膨胀或收缩的大尺度时空基本上没有区别，整体上可看作宇宙学常数为零。

Carlip 进而讨论该时空的演化。这里有两个难点。(1)在不同区域的边界处，时空曲率在小尺度上剧烈变化，使得时间演化难以计算。(2)因这些区域都是普朗克尺度的，故量子引力效应(尚无可靠的理论描述)不可忽略。尽管如此，Carlip 给出结论：该时空的三维切片表现得很像没有真空能似的。可以这么想象：随着某区域的膨胀，时空泡沫会在普朗克尺度上不断地冒泡，而区域内部充满了膨胀或收缩。

法国里昂大学的数学相对论学者 Thomas Buchert 说，Carlip 的想法较简洁，若认为宇宙学常数由量子涨落引起，则他的建议是合理的。但 Buchert 还说，他不完全相信 Carlip 的平均过程，觉得初始状态终会演变出较大的宇宙学常数，而非近乎抵消。

Carlip 也承认，他的提议有待进一步发展，且未根本解决暗能量起源。不过，他指出，在解决宇宙常数问题的道路上，“人们可能误入歧途”。

更多内容详见：*Phys. Rev. Lett.*, 2019, 123: 131302。



在艺术家的想象中，普朗克尺度的时空表现为量子泡沫。最新研究表明：尽管这种泡沫具有巨大能量，但大尺度上体现出的真空能为零