

引力系统中的时间之矢

(中国原子能科学研究院 周书华 编译自 Steven Carlip. *Physics*, 2014, 7: 111)

我们相信，物理学的基本规律与时间的方向无关。然而，为什么未来与过去是如此之不同呢？“时间之矢”或“时间的方向”问题已困扰了物理学家和哲学家一个多世纪，而且仍然是近代物理的基本概念问题之一。大多数物理学家接受时间的方向与熵增加的方向相同的观点。但是不能解释为什么在过去存在一个低熵的罕见条件。一个多世纪前，Boltzmann 提出，我们可见的宇宙可能只是一个暂时的低熵的统计涨落，这种涨落影响着大得多的平衡系统的一小部分。在这种情况下，时间的方向就是将我们带回到平衡状态的方向。但是大多数当代的物理学家发现，这种解释不能令人满意：包含“我们”在内的随机涨落更容易产生一个单个的星系、一颗行星，或只是一个“大脑”，而不是整个宇宙。此外，根据“Loschmidt 不可逆佯谬”，如果设想存在这样一个低熵的时刻，那么熵将向着未来与过去两个方向增加，给出两个分开的时间之矢。

Barbour 和他的同事们在他们的引力模型中发现了一种与 Boltzmann 的低熵涨落类似的“低复杂性”状态。而且不必用罕见的低熵的统计涨落来解释这种状态。这种“低复杂性状态”自然地简单的、与时间的方向没有明显关系的物理规律中产生。作者研究了一个最简单的系统：一组 N 个通过牛顿引力相互作用的点粒子。他们唯一的假设是系统的总能量(势能加动能)和总角动量为零。从数字模拟和解析分析得知，在遥远的未来，这样的系统趋向于破裂成弱相互作用的子系统。从这种分散的系统开始，时间倒退，可以预期系统在过去将结合成一种高密度的状态。Barbour 和他的合作者们解析地显示这一预期是正确的：几乎每一种质量的初始结构，都存在着一个尺度最小和最均匀的时刻。从这一时间点开始，系统在时间的两个方向上近似对称地向外膨胀(图 1)。因此，在时间上是球对称的，并且有一个局部的时间之矢。

作者们分析了质量在“形状空间”的演化，该空间是描述系统的形状但是与系统的大小和取向无关的观察量的空间。形状空间含有一个自然的无量纲的复杂性的度量，记作 C_S ，由惯性矩和总的牛顿引力势所决定。 C_S 描述不均匀度和结团情况；在尺度最小的时刻具有极小值，然后从这个极小值处在时间的两个方向上近乎单调地增大。

对于能量和角动量等于零的约束是与我们的宇宙相符合的；例如，零能量是空间平坦的迹象。然而，值得强调的是，Barbour 等的模型是属于牛顿力学范畴的，作者们认为通过使用形状动力学(一种广义相对论的修正的标度不变形式)是可以扩展为对引力的广义相对论描述的。

Barbour 和他的合作者们还没有真正解决时间之矢的问题。令人仍然迷惑不解的是，我们在不同的物理现象中看到的时间之矢都指向同一个方向：放射性核素发生衰变，而不再结合；引力系统聚集，而不散开；我们记住的是过去，而不是未来。一个好的工作必须能够说明这些完全不同的方向都与由纯引力模型确定的方向一致。

然而，Barbour 和他的同事们提供了一个有意思的新观点。标准的处理时间之矢的方法通常需要罕见的统计涨落，或者要加进关于初始条件的假设。他们的工作证明一般的引力动力学本身可能足以产生能给出时间方向的简单的“初始”点。

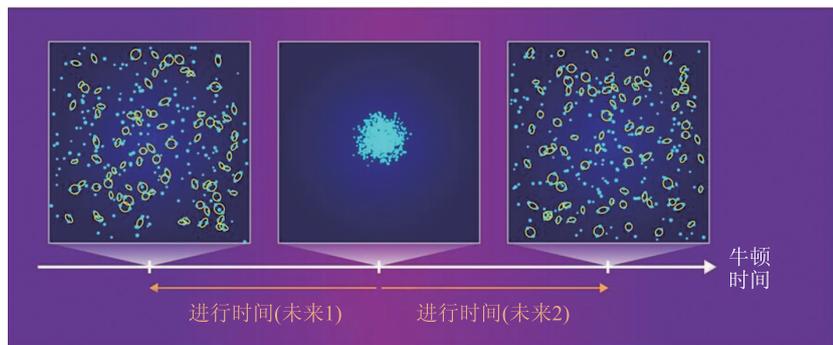


图1 在牛顿引力作用下质量结构的演化