

宇宙真空量子涨落、宇宙弦及宇宙不均匀性的起源

方 励 之

(中国科学院北京天文台)

宇宙中的物质分布是相当不均匀的,有的地方密度高,有的地方密度低,形成各种尺度的成团结构。例如,星系、星系团、超星系团等是高密度区;巨洞则是低密度区。宇宙学中一个待解决的课题,就是说明为什么会有这种非均匀性。

首先,有很强的证据表明,宇宙在早期是相当均匀的,没有今天所观测到的非均匀性。最主要的证据是微波背景辐射的各向同性。观测证明,3 K 背景辐射的各向异性不超过万分之一,甚至十万分之一。背景辐射是宇宙早期遗留下来的,因此它的高度各向同性标志着宇宙早期物质分布的均匀性。其他的均匀性证据是:1. 各种天体中的氦含量相当一致,按重量约占 25%;2. 对不同方向上的星系计数,结果大体一致。总之,今天的非均匀性应是从早期的均匀状态演化而来的。

早期如果有很小的非均匀性,的确可能发展出今天的很大的非均匀性。非均匀性发展的机制是引力不稳定性,或 Jeans (金斯)不稳定性。这种不稳定性使在引力作用下的均匀分布状态是不稳定的,很小的非均匀就可以导致强的成团。

进一步的问题是:最初的很小的非均匀性又是从何而来的?在热大爆炸宇宙学中这一直是个困难的问题。当然,这并不是由于在热大爆炸宇宙学中找不到产生不均匀的机制。实际上,早期热宇宙中必定存在着热涨落,它就是一种非均匀性的自然来源。然而,热涨落模型已经被证明是不对的。因为,热涨落产生的涨落谱,是白噪声谱。用这种谱不能说明今天宇宙中非均匀性的定量特征。

八十年代以来,有两种解释非均匀性起源的模型最富有生命力,一是宇宙真空量子涨落,

另一是宇宙相变的宇宙弦。

量子涨落是测不准关系的一个最基本的推论,即在任何体系中都不存在绝对的静止或绝对的均匀。正是这种最基本的非均匀构成了非均匀性的种子,它们导致了今天看到的所有成团天体。具体说,当宇宙年龄约 10^{-36} s 时,宇宙发生暴涨,那时物质极少,只有真空。真空态本身的涨落,是唯一可能的起伏源。显然,量子涨落是很小的,只有普朗克常数数量级。它如何能说明现今的大尺度结构使量子涨落放大的机制是暴涨。从热力学观点看,整个暴涨阶段是一个耗散过程(即熵增过程)。根据涨落耗散的普遍关系,原初的量子起伏可以导致经典的涨落。而且,这种涨落具有 Zeldovich 谱,这正是我们在解释星系成团等现象中所必需的。

宇宙弦则是真空相变中的缺陷。根据弱电统一理论或大统一理论,在温度足够高时,真空会发生相变,即自发对称性破缺所相应的相变。在宇宙早期应发生过这种相变。象通常的相变一样,宇宙相变中也会产生点状、线状或面状的缺陷。其中线状的缺陷就是宇宙弦。宇宙弦形成之后,会发生一系列的重联,演变成大小不同的环状弦。大环质量大,小环质量小,这就是最初物质密度分布的非均匀性。由宇宙弦环吸引物质从而形成各种尺度的天体,小弦环形成小天体,大弦环形成大天体。这种模型很好地说明了天体分布中的自相似性。

目前,真空涨落模型与宇宙弦模型都有不少成功,已能在不同程度上说明以下数十种观测结果:

1. 星系的光度函数;
2. 星系的转动曲线;
3. 星系的 Tully-Fisher 关系。

(下转第 123 页)