



# 宇宙极早期的剧涨

蒋元方 李顺祺

在为数众多的宇宙演化理论中，目前为大多数科学家所接受的就是热宇宙标准模型，即我们通常所说的大爆炸学说。大爆炸学说是建立在爱因斯坦的广义相对论和近代物理理论基础上的，它得到了与观察事实相符合的一系列结论，譬如：它可解释目前的宇宙处在膨胀之中 and 宇宙中氢的丰度等，并预言了宇宙中存在 3K 微波背景辐射（已于 1965 年由彭齐斯和威尔逊证实，他们俩为此荣获了 1978 年度的诺贝尔物理学奖金）。但是，就像通常刚建立的物理理论一样，随着研究的进一步深入，科学家们发现了它的几个致命缺陷，这些缺陷可归纳为以下几点：

**一、视界问题** 这是在解释可观察宇宙的大尺度均匀性时所遇到的问题。在微波背景辐射的研究中已证实宇宙有一个非常重要的特征量——宇宙等效温度，简称宇宙温度。根据微波背景辐射中已测出的辐射能量密度及其频率，再利用普朗克黑体辐射公式，就可知道当今的宇宙温度为 2.7K；这说明了宇宙在大尺度范围内是处在热平衡之中的（否则就没有宇宙温度可言）。但大爆炸理论告诉我们：在混沌初开时，宇宙是一个灼热的奇点。但随着爆炸过后，需要多长时间才能达到热平衡状态呢？

狭义相对论已给出，任何物理信号最大的传播速度为光速  $c$ ，这个光速极值定理给出了一个界线，即给定一个时空世界点  $(F, t)$  一定存在着一种界面，将在该世界点上观察者的可观察事物与不可观察事物分开来，这个界面在天体物理学中称为视界。

上述可知，一个观察者不可能知道视界以外的任何物理信息，即与视界外无任何因果关联。按照热宇宙标准模型理论计算得出，在大爆炸后  $10^{-33}$  秒时，宇宙的尺度只有 1 厘米量级的大小，那时的视界半径为  $10^{-33}$  秒  $\times$  光速  $= 10^{-22}$  厘米，这就是说此时宇宙已分割成  $10^{44}$  个信息无不关联的封闭区域了。但是，同样按照大爆炸学说，认为宇宙在大尺度范围内是均匀和各向同性的，这两个观点是如此不协调，以致在热宇宙标准模型的框架上，我们无法通过物理机制使宇宙在大尺度范围内达到热平衡，这就是所谓“视界问题”。

**二、平直性问题** 从热宇宙标准模型理论中，我们还可得出一个判据，即宇宙的能量密度有一个临界值  $\rho_c$ 。当宇宙的能量密度在大于、等于、或小于临界值时，相应的宇宙空间是封闭、平直或开放的。另一方面，在观察基础上通过理论推算得出，在宇宙极早期，它的实际能量密度与  $\rho_c$  之比小于  $10^{-34}$ 。由此可见，在宇宙

刚诞生不久就已被“精细调节”到十分平直的程度了，如此高的平直性令人生疑，究竟是什么原因呢？

**三、磁单级问题** 我们已经知道，宇宙在膨胀中不断降温，伴随这一过程，原有较高的物理对称性消失，代之以对称性较低的状态，这属于通常所称为的相变过程（犹如温度高的液体降温后成为固体时，物理对称性也随之降低）。按照热宇宙标准模型这个“剧本”所演化的宇宙，在高温相向低温相的演变过程中，在几何结构上会产生一系列的拓扑缺陷结构，它们是面结构的畴壁、线形的弦和点状的单极子。研究表明，在每个视界面上至少会产生一个具有磁性的单极子——磁单级。由此我们很容易计算出磁单级的密度。根据大统一理论，这时的磁单级质量就是宇宙该时的能量标度，因而也不难算出磁单级的能量密度。然而令人惊讶的是，光是磁单级的能量密度就已是宇宙临界能量密度的  $10^{12}$  倍！这个结论当然是无法接受的。上述这些问题使得大爆炸学说陷入了困境……为了摆脱这些问题所带来的困惑，科学家们作了不懈的努力，希望的曙光终于在 80 年代初露出了端倪。

1980 年，美国麻省理工学院的古斯对热宇宙标准模型动了第一次手术，在次年公开发表的那篇著名文章中，提出了暴涨宇宙模型。这个模型充分利用了当代的粒子物理理论。古斯认为， $10^{-33}$  秒以后的宇宙演化过程，与公认的热宇宙标准模型一样无须改变，但在此前，情况就不同了。根据暴涨模型，宇宙在最初阶段，经历了一个极快速的膨胀，即“暴涨”。在这段时间内，宇宙空间尺度的增长比以前认为的要大  $10^{48}$  倍，在这惊人的暴发式增长中，宇宙所需的能量来自真空。他认为，最初宇宙处于能量的最低态——真空态。为了有所区别，习惯称它为“真真空态”。

随着宇宙温度的下降，原有的对称性遭到破坏——对称性破缺，原来的真空态成为不是能量密度最低的亚稳态，即“假真空态”。通过隧道效应，宇宙可从假真空态跃迁到新的真真空态——新的能量最低态，这时将释放出大量能量。借助这些巨大能量，宇宙犹如“泡”一样，可获得额外的急剧膨胀。当然，这种膨胀不是如热宇宙标准模型所描述那样增长，而是以指数形式剧涨。据古斯推算，宇宙的比熵将比原来大爆炸学说描述的增大一个因子  $e^3$ ，如果这一过程持续的时间超过  $6.5 \times 10^{-33}$  秒，则增大的比熵可使视界的尺度大于当时的宇宙可观察尺度。形象地说，原来那些无关联区域之间的森严壁垒，一下子给席卷而来的熵

# 几何光学的物与像

罗会甲

学习几何光学必须弄清物和像的意义和区别。物一般指实物,即发光物体(有直接发光物体和间接发光物体),在研究光具组的成像问题时,还会产生虚物的概念。像又有实像和虚像之分。在研究几何光学的成像问题时,弄清上述概念是很重要的。

我们所说的物,是由物点组成的,物点就是发光点,它向各个方向发出光束,也叫同心光束,或单心光束。物点发出的光束,在两种媒质的分界面上发生反射或折射现象后改变方向,如果反射或折射光线组成的光束仍然形成同心光束,这个光束的顶点就是物点的像点。如果光束中各光线确实在该点会聚,那么这

个同心光束的顶点,即会聚点,就是实像点。如果反射或折射后的光束仍然是发散的,没有会聚点,而光束中各光线反向延长时,仍能找到光束的顶点,这便是虚像点。

关于物和像的区别,实像和虚像的差异,这要从人眼引起的视觉谈起。人眼也是一个光学系统,相当于一个可调节焦距的凸透镜,物体发出的光束,通过人眼中的“凸透镜”折射后,将光束会聚在视网膜上,便形成了实像。视神经受光刺激后产生了视觉,则人眼直接看到发光体。当反射或折射后的光束也能进入人的眼睛,同样能引起视觉,从这个意义上来说,对人眼引起的视觉,物和像都是进入人眼的发散光束的顶点,而无法单用人眼来直接判别光束的顶点是物点还是像点,只不过人眼看到发光体的条件限制比较小,只要没有其

的巨潮冲垮了,从而为形成均匀各向同性的宇宙提出了可信的机理。与此同时,宇宙空间的尺度在暴涨阶段也得到足够的增长,使早期宇宙空间中任何弯曲奇异之处扫荡一空,成为近乎平坦的空间。这样,平直性问题也迎刃而解了。当然,磁单极的问题也因众多互不关联区域的消失,磁单极的密度大大降低,不会再产生过多的困难了。

乍一看,古斯似乎把一切问题都解决了,但是深入的研究发现,事情没有如此简单,就连古斯本人也认为还存在深层次的问题。首先,按照隧道效应,只有一定几率才能从假真空态跃迁到真真空态,这等于说,起初只有宇宙的一部分才有机会先进入真真空态形成宇宙泡,然后随着时间的推移,又有宇宙的另一部分跃入真真空态,形成另一个宇宙泡。在整个宇宙都进入真真空态时,整个宇宙就由众多的宇宙泡组成。这些泡不断地碰撞,最后才合并成一个泡。详细计算表明,这需要很长的时间,以致无法在一个相当长的时间内,形成一个均匀而各向同性的宇宙。由此看来,古斯的机制仅是以一个新的不均匀形式代替了原有的不均匀性。其次,科学家们还发现,暴涨后宇宙空间的平直性要以暴涨前空间已平直为前提,否则就无暴涨可言。这样一来,古斯的暴涨论又陷入了新的困境,热宇宙标准模型又一次躺倒在“病房”中。

一年以后,以苏联著名的理论物理学家林德和美国宾夕法尼亚大学的阿尔贝来切、斯坦哈特为代表的一批学者,在古斯模型的启发下,对热宇宙标准模型动了第二次手术。他们提出了新暴涨宇宙论(现在人们已将古斯的理论称为旧暴涨宇宙论)。新理论巧妙地利用了科尔曼和温伯格于1974年提出的 $C-W$ 势,发现当温度为 $10^{16}K$ 时,由该势给出的假真空态,恰处在势曲线相当平缓的顶部,其周围又没有高的势垒,因此在

量子起伏或热扰动下,整个宇宙可沿着势曲线滚入到底部——真真空态。这样可避免再蹈旧暴涨论中的隧道之辙。若还借用“泡”这个术语,则在上述过程中,整个宇宙只有一个泡,因此在旧暴涨论中由于众多泡形成的不均匀性就不复存在了。采用 $C-W$ 势的另一个优点是它的走向比较缓慢。详细计算表明,完成从假真空态滚入真真空态,宇宙有充分的时间汲取来自真空的能量,使自身得以足够地剧涨,从而保留了旧暴涨论的全部优点。更为可贵的是,由于新理论采用的 $C-W$ 势,具有坚实的粒子物理理论基础,足以令人信服。至于暴涨产生必须以空间原来已平直为前提的这一问题的解决起来就没有这么简单了。约过了两年,林德又提出了混沌暴涨宇宙论。他认为具有一定取值范围的标量场,在真空对称缺破后,都可在时空中形成宇宙泡,每个宇宙泡在暴涨后形成一个“微宇宙”。我们生活所在的这个具有生命的宇宙就是这些“微宇宙”中的一个,每个“微宇宙”在暴涨过后的的大小都超过我们对宇宙的可观察尺度。这样一来,整个空间在暴涨前可以是不平直的,它在一定范围内可对应各种标量场的取值,但每个微宇宙的诞生,却又对应了确定标量值。换句话说,在它映射的空间来看,局域上是平直的,因此可以允许暴涨产生。这样一来,就解决了这个最棘手的难题。

从1984年起,理论物理学家又进一步采用最新的粒子物理理论之一——超对称理论来构造更理想的势曲线,以代替 $C-W$ 势。可以深信,随着研究的进一步深入,以及其他学科,特别是粒子物理理论的发展,暴涨宇宙论必将经受更多的考验而得到进一步完善。