



(四) 张 端 明

这一节似乎有点学究气

我们在前面所描述的宇宙起源的“创世纪”，在七十年代已经被广泛接受，以致得到一个佳号“标准模型”。尽管有许多事情我们远未搞清楚，但是我们总算多少有些把握，能说出宇宙在最初的一秒、一分或一年的终了时是什么样子。这是何等令人振奋的事情呵。甚至于能够说出某时刻宇宙的温度、密度和化学成分的具体组成，难道不应该为科学的洞察和人类的智慧顶礼膜拜么？

要知道，在五十年代，人们普遍地认为，一个严肃的科学工作者是不会在早期宇宙的研究上徒费精力的。早期的宇宙是神话、诗歌与玄学的王国。

但是，标准模型只能算作是早期宇宙论的春天的第一只燕子罢了。其中问题还很多。我们知道，在广义相对论中，引力用弯曲时空中所谓度规场描述。标准模型中使用的是各向同性的均匀的罗贝松-瓦卡尔度规。相应宇宙学的动力学演化方程就是尽人皆知的爱因斯坦方程。这个方程的左端包含描写引力的曲率。引力用时空的弯曲(曲率)刻画，这是爱因斯坦的卓越贡献。方程的右端则包含物质场，它们没有用几何描写方法表示。

因此，从本质上说，描写宇宙演化的爱因斯坦方程是说：

时空的曲率 = 物质的能量密度。

广义相对论可以说是迄今为止最优美的理论了。但是爱因斯坦本人并不完全满意。他说，他的方程左端是大理石制成，严密美丽；右端则是木头所构筑，令人不满意。在标准模型中，物质(或能量)当作理想气体处理。在早期宇宙的极端高温下，绝大部分有质量的粒子都不能存在，而湮灭为 $\gamma$ 光子，或其它无质量的轻粒子，如中微子。因此，这种处理方法与实际相差不大

远。无怪乎，标准的大爆炸模型的许多重要结论得到观测的强有力的支持。

聪明的人大概很快就会想到，在高温下，粒子的转换和湮灭极其普遍，这不属于经典理想气体的行为，而是典型的量子现象。换一句话说，标准模型必然有许多致命的缺陷。麻省理工学院的天体物理学家居斯在1980年提出了所谓暴涨宇宙论，1982年林德、阿尔勒乞特和斯忒哈德等又将该理论作了进一步修正和发展。

暴涨宇宙论的基本出发点就是将物质场用量子场论，特别是近年来甚为风行的大统一理论描述。什么是量子场论呢？就是描述微观世界——小宇宙规律的基本理论。

你看，大宇宙的研究每深入一步，小宇宙理论也就更深入一层了。真是大中有小，小中见大呵！

在详细描述暴涨宇宙论以前，我们先回过头来看看标准模型到底在哪里出了问题。

所谓视界问题

标准大爆炸模型面临的问题很多：诸如重子数不对称问题、磁单极问题、扰动问题等等。然而，最突出的问题，就是所谓自然性问题，即所谓视界问题和平坦性问题。

先说视界问题吧。什么叫视界呢？用一句简单的话来说，就是指宇宙中能有因果联系的区域的大小。视界的存在，原因在于宇宙的膨胀。

我们已经知道，任何物理作用，任何讯息，都不会比光信号传播得更快。假如说，有一个法力无边的灵怪能够摇动光焰万丈的太阳，我们并不能马上看到，大约要八分钟后才能领略到这可怕的一幕。

假定光讯号在大爆炸时从某光源发出，那么迄今它传播的距离不过100—200亿光年。宇宙中离我们这么远的地方就构成我们能观察到的视界。视界以内

的区域，在大爆炸以后漫长岁月中，原则上各个地方可以由引力或电磁作用等彼此联系着。就是说，它们是能有因果联系的区域。

遥远的地方，更远的星系，它们的光线，它的任何信息，都不会到达我们这里。无论我们怎样改进望远镜，都看不到它们。并且视界外的区域中发生的事，跟我们不会有任何因果关系。

在标准模型中，我们今天观察到的宇宙，在大爆炸后  $10^{-35}$  秒，其直径不过 1 厘米。但它比视界大 24 个数量级。换言之，此时宇宙各个部分几乎不可能有因果关系。我们从天空中两个相反的方向所观测的微波背景辐射，它们的辐射源彼此分开的平均距离，在辐射发射时是视界的九十多倍。

然而奇怪的是，宇宙在大尺度范围内均匀性却是为实验所一再证实的。例如，由微波背景辐射来看，宇宙各处温度相差不过万分之一度，在标准模型中，我们难以理解，这些当初没有因果联系的各个地方，如何能演化成迄今这种处处在大范围内性质几乎完全均一的状况。视界问题实际上也可以说是宇宙在大范围内的均匀性问题。

试想，在地球上不同地方一天内诞生有几万人，一般说来，他们彼此之间没有什么血缘关系，在这些人成人以后，若我们一旦发现他们居然面貌、性情、身材一模一样，这是何等不可思议的事呵！

与此有关的另一个问题是，平坦性问题。假如说我们用一参数表示现实宇宙空间与严格平直空间偏离程度，根据标准模型推算，这个参数从大爆炸后  $10^{-35}$  秒到现在，大约增长为  $10^{31}$  倍。从各方面观测来看，今天这个参数的数量级为  $(0.2 \text{ 到 } 2)$ 。就是说，今天的宇宙空间不是严格平坦的。但是，在甚早期宇宙  $\sim 10^{-35}$  秒时，偏离参数  $\sim 10^{-31}$ ，在  $10^{-40}$  秒，则此值约为  $10^{-35}$ 。就是说，此刻的宇宙在极高的精度内接近于平坦了。这个问题，是普林斯顿大学的迪克和皮比勒斯提出的：在标准模型范围内，甚早期宇宙的平坦性是难以得到令人信服的解释的。

因为宇宙空间的平坦性取决于宇宙的能量（或物质）密度。所以平坦性问题，实际上就是能量密度问题。今天宇宙空间能量密度约为每立方厘米  $2 \times 10^{-30}$  克到  $5 \times 10^{-31}$  克。

自然性问题是导致暴涨宇宙论创立的直接契机。

### 为什么没有一个反物质构成的反世界

标准模型的另一个问题跟小宇宙的关系就更加密切了。这就是重子数不对称问题，也可叫做正-反物质不对称问题。

自从 1928 年年仅 27 岁的英国物理学家狄拉克预言正电子存在以来，人们发现几乎所有的粒子都有相应的反粒子：电子，正电子；质子，反质子；中子，反中

子，等等。值得一提的是，我国著名物理学家王淦昌在 1959 年 7 月在苏联基辅举行的第九届国际高能物理会议上，宣布又发现反粒子家族的一个新的成员——反  $\Sigma^-$  负超子。这是带电反超子的第一次发现，有趣的是，不到一个月，三位意大利科学家就宣布发现这种新粒子的伙伴：反  $\Sigma^+$  正超子。

物质的这种新的不寻常形式——反粒子、反物质的存在，揭露了小宇宙中一种新的令人惊奇的对称性质。人们称之为正-反粒子对称，又称电荷共轭原理——C 对称。

自从 1956 年杨振宁、李政道在理论上预言在弱相互作用中宇称 (P) 不守恒，继之在 1957 年吴健雄又用实验巧妙予以证实以来，人们对于宏伟的对称王国的认识日益丰富和完善。无论对于小宇宙，还是对于大宇宙，它们的对称性质都具有极其重要的意义。

从小宇宙的基本方程来看，粒子和反粒子完全是平等的。这就是所谓 C 对称。从原则上来说，似乎在宇宙中正-反物质应该相等。从大宇宙演化的标准模型动力学方程来看，也不排斥这一点。

人们一直都在寻找在宇宙空间的“反世界”。那里的原子是由反质子、反中子和正电子构成。由于反物质与正物质相撞会发生“湮灭”，“爆发”出巨大能量。于是一系列的猜想臆测出来了……。

1908 年 6 月 30 日在西伯利亚通古斯河中流的大森林上空，曾经掠过一神秘的天体。然后发生一次可怕的猛烈爆炸。声浪所及，在英国伦敦也记录到了。火光冲天，云霞斑斓，甚至在欧洲、非洲北部都接连三天看到白夜。这到底是什么天外来客引起的爆炸？迄今众说纷纭，至少已有二十多种解释。有人猜测：这位天外来客或许是反世界来的“使者”——飞船罢。这次爆炸是一次猛烈的湮灭过程……。

有人捉摸，天鹅星座 A 和米斯也 87 发来的大功率电磁辐射的起源之谜，或许跟反物质也有关吧。天文学家曾发现一颗奇异的“双尾彗星”——阿伦达·罗兰，其中一条短而细的尾巴竟是朝向太阳的。按照通常的情况，彗尾在所谓太阳风影响，都是背向太阳的。于是，有人又在遐思不已：这条短尾是否由反物质构成的，因而发生这些反常现象……。

遗憾的是，这些大胆设想都站不住脚。在我们观测的宇宙中，如果有大量密集的反物质存在，它们与周围“正常”物质接近，老早就“湮灭”——“熔化”得无影无踪了。

观测到宇宙中只有大量的质子和中子，反质子、反中子却极其稀少，概而言之，每立方厘米中只有  $10^8$  个重子，反重子则几乎为零。按标准模型推算，今天的宇宙在大爆炸后  $10^{-35}$  秒约为一厘米，当时每立方厘米中约为重子  $10^{87}$  个，反重子  $10^{78}$  个。即，此时尽管

不对称程度较今天小得多，但仍然是惊人的。每十亿个重子中，不过伴随一个反重子而已。

这种巨大的不对称如何解释？

一种答案是，这种“不对称”由“初始条件”给定。就是我们这个宇宙一开始便是如此。这种解释很不自然。第二种说法是，宇宙从整体上来说，重子与反重子是对称的。但在我们观察的区域，重子占优势，在另外区域，反重子占优势。奥姆勒斯在 1969 年提出，在温度约相当 0.3 核子质量时，重子与反重子会相互排斥，从而在热力学平衡时，出现重子过剩和反中子过剩两种状态。但是这种理论，遭到苏联著名理论物理学家泽尔多维奇等的批评。波格丹诺娃和夏皮罗指出，核子与反核子之间是互相吸引，在高于 300MeV 温度以上会产生排斥，也应是在自由夸克之间发生。而自由夸克相互作用遵从量子色动力学规律，其中不会有物质与反物质分离的“相变”发生。这种说法既无观测上证据，亦无理论上支持。第三种解释，看来是最自然的了。这种反对称性是动力学演化的结果，许多科学家进行过探索，但都认为宇宙伊始、混沌初开之际，正反重子是对称的。现在观测到的不对称，是其演化的结果。

意味深长的是，尽管众说纷纭，几乎各种方案都是从“基本粒子”这个层次作为出发点。因此，无足为怪的是，在这方面辛勤耕耘的“园丁”有许许多多誉满科坛的高能物理学家：才气横溢的温伯格（1979 年）、风华正茂的爱里斯（1979）、苏联氢弹之父沙哈诺夫，以及兰诺坡诺斯、阿昆、苏斯肯德、克林等等。

从小宇宙的观点来看，动力学演化方案必然要求重子数不再守恒，否则演化是不可能的。因此人们自然想到，由诺贝尔奖金获得者萨拉姆等在 1974 年给出的 SU(5) 大统一模型中，重子数不守恒……。

于是，我们终于走到爆涨宇宙论的门坎。在爆涨宇宙论中，上述困难似乎都能得到圆满解释。

但是，什么是爆涨宇宙论呢？……（待续）