

第一部

生物天文学前景

第一章 宇宙阶段

1 大爆炸 空间 以及物质

火山喷发、地震、旱灾、洪水泛滥、暴风、龙卷风、海啸都是人类畏惧的自然灾害。有些人抱怨、反抗这些事件，并为他们的厄运而哀伤。但我们必须了解一个基本事实：与认为大自然母亲对人类十分仁慈、并予以保护的观念相反，至少可以说，宇宙对我们是完全漠不关心的。用一句 16 世纪的短歌（一种日本诗的形式）来描述我们“还不如汹涌的海洋表面上飞逝着的泡沫”。我们的故事和冒险是一种宇宙长途旅行，经常十分壮观，但有时又非常平凡。台风和火山喷发只是宇宙这个可怕的场景中的微小危险罢了。

同地球上的灾害比较，影响整个宇宙的灾变有完全不同的量级。物质可能不会存在。没有物质，怎样会出现生命？更坏的是，空间也可能不存在。没有空间，生命怎样孕育？

暴涨大爆炸

以上这类问题是暴涨大爆炸理论提出的。这个理论是两

个不同学科联合的结果：一个是宇宙学，它试图抓住作为一个整体的宇宙在广袤的空间和时间尺度中的历史；另一个是粒子物理学，它试探跟踪作为所有物质的基础的基本粒子的特性、本质和起源。

宇宙学家和粒子物理学家合作达 10 年之久是出于一个现实的理由：物理学家需要宇宙大爆炸最初瞬间出现的高能基本粒子来检验物理学科的最新发展，因此他们需要搜寻宇宙中能检验粒子物理学的效应，而不是建造真的具有天文尺度 远比地球大得多 大小的加速器。

量子不确定性

基本粒子物理学的基础是量子力学，这是路易·德布罗意在 1923 年奠基的，他同时提出了他的粒子一波双重性概念。每一个基本粒子的行为由一个波控制，而波则根据一定的方程活动。这种波可以用湖面上的涟漪或水波来进行比较，而水波传播是根据流体的物理学定律进行的。用棍子敲击湖面上某一点，就能在水平面上产生一种变化，出现一系列圆形波向外传播。这些水波传到湖边堤坝，后将反射回来与后面的水波相遇，形成干涉图像。

德布罗意的波可以理解作为一种概率的测度。这个概率是指粒子与波在特定地点和特定时刻结合的程度。越强的波与粒子相遇的机会越大。在棍子敲击水的那一瞬间，粒子应该就在击水点那里；但是以后，粒子可以处在圆形水波上的任何一点，而且后来最有可能位于水波反射后同其他水波形成干涉之处。

按通常逻辑来看，这种结合和粒子一波双重性的最奇妙

的事实在于，存在一种不确定性的程度，它同粒子的位置和速度都有关系。在传统力学中，一个电子在特定地点和特定时刻是按特定的速度运动的。而根据量子物理学，所有对这些状态的描述都是用概率表示的，即电子应该位于某个区域内，具有的速度也处于一定范围内。这就是大家所知的量子不确定性。

自然界的这种奇怪现象被人们激烈地讨论了半个世纪之久。爱因斯坦及其他一些人认为，我们的物理学理论隐蔽了某些‘隐’参数，它们最终会被发现，使得我们追踪到粒子。另一些人把这些现象看做是自然界的基本性质。只有在近年来出现的一些有决定意义的实验，例如法国高等师范学校（法国主要的教师训练学院）的阿兰·阿斯培所做的试验，才肯定地倾向于第二种看法。

量子不确定性并不是不能定出的。海森伯定义的测不准原理为：位置的不确定性与速度的不确定性的乘积等于 h 除以 m [其中 m 为粒子的质量而 h 是普朗克 (Planck) 常量]。结果是质量愈大时，不确定性愈小，而这再度把我们带回到经典力学。至于 h 它是我们宇宙中的基本常量之一，同光速 c 、牛顿万有引力常量 G 一样。在 1899 年普朗克计算出了一个时间 10^{-43} 秒（称为普朗克时间）和一个长度 10^{-33} 厘米（称为普朗克长度），它们是现代宇宙学中的重要基本量。

根据爱因斯坦的广义相对论（20 世纪的另一基本理论）宇宙诞生后 10^{-43} 秒时宇宙半径为 10^{-33} 厘米。因此它已足够小，可以用微观世界的量子物理学来分析。在这个时刻和这样大小以前的宇宙历史，我们完全不清楚，而大爆炸的“零时”也陷入了量子不确定性的迷雾之中。

即使有了一种把量子物理学和相对论物理学统一起来的理论，我们也只可能提供描述宇宙演化的这些临界阶段的一系列概率。例如，通过半经验计算，我们得到的两种可能性。一种是在过去不确定的某个时间，宇宙经历了一个收缩阶段，最终进行了一次大收缩；它多少与宇宙现在的膨胀相对称。然后在零时附近的几个普朗克时间内，宇宙的大小经历了几次剧烈的震荡。另一种可能性是宇宙可能并没有在这个不确定的时间存在，而是可能出现在零时前几个普朗克时间，当时它也许具备很大的体积，之后它发生了类似的大收缩，继而膨胀成它现在的样子。

对于零时的几个普朗克时间内的这段时期，我们至今仍很难了解。某些更肯定的理论已有所进展，例如混沌大爆炸理论。按照这种理论，在不同方向上的膨胀速率是不同的。A·D·林德首先提出名为“自再生”宇宙或微宇宙概念，它由一系列“泡沫”组成，这些泡沫由一大堆管子紊乱地相互连接，就象一碗肥皂泡。迅速膨胀的泡沫形成一些肿块，而肿块又不断涨大生成第二代泡沫。

所有这些理论都设想有无数的宇宙，它们之间有的相互连接，有的孤立存在，每个宇宙有自己的几何和物理性质。而我们只存在于这些宇宙中一个具有系列特殊性质的宇宙里。

数不清的宇宙

这些考虑的令人迷惑的结果，就是我们的宇宙的诞生几乎全凭运气。特别是在它诞生后 10^{-43} 秒中，我们自己的宇宙的空间可以成为球形、欧几里德或双曲形的，也许有限，也许无限——不妨借用那些主要宇宙模型来帮助我们想像吧。自

从俄罗斯的数学家亚历山大·A·弗里德曼由广义相对论推导出这些宇宙模型后，它们已经迷住了宇宙学家们近半个世纪了。

这些没有定型的不同形式的空间中，绝大多数对生命的出现是不利的。例如某些宇宙很快又会坍缩回去，终止在大收缩，从而在几十亿年前就堵上了生命要度过的漫长道路。只有少数零散、个别的空间形式具有能够获得生命的特性。如果我们的这个宇宙就是这几个空间之一，我们的出现就不足为奇了，而那些流产的残缺宇宙则是没有目击者的。

大统一理论

这些想法非常玄妙而且只涉及到零时后的短暂时间，长度仅有几个普朗克时间（ 10^{-43} 秒）作为对比，又出现了一种令人满意得多的理论，描述宇宙在 10^{-35} 秒后的历史，虽然难以想像，但此时宇宙已经比先前老了一亿倍。

这种宇宙概念将我们熟知的“大统一”（简称 GUT）理论应用到研究宇宙存在的最初瞬间。大统一理论本身是弱电理论的一种推广。弱电理论把自然界的两种基本相互作用统一起来。其中第一种是电磁相互作用，它控制着电离粒子（如电子、质子）电流、电场和磁场以及电磁波，包括可见光、无线电波和其他电磁波的行为。第二种是原子核的弱相互作用。这种作用应用于一定的核子衰变过程，最简单的例子是一个自由中子衰变成一个电子和一个质子。

统一自然界的两种基本相互作用的首次努力获得了巨大成功。理论预言了 Z 和 W 中间玻色子的存在，它们的质量是质子的 100 多倍；设在日内瓦的欧洲原子核研究中心（简称

CERN) 的巨型加速器后来发现了这两种玻色子。

随着这次成功 人们提出了大统一理论 它是一种试图把第三种相互作用, 即原子核强相互作用一起包括进去的理论。强相互作用控制了原子核物理学的其余部分, 即原子核中的质子和中子在碰撞时的相互作用。大统一理论的基础是量子色动力学, 也就是夸克物理学, 而夸克是由质子和中子构成的亚原子基本粒子。

大统一理论预言了 X 玻色子的存在, 它的质量不再是质子的 100 多倍 而是 10^{15} 倍 自然 我们不可能建造星际尺度的超巨型的欧洲原子核研究中心的加速器去尝试发现 X 玻色子。这就是为什么研究大统一理论的物理学家们把这项工作托付给宇宙学家的原因: 因为在 10^{-35} 秒之前 宇宙的温度高于 10^{27} 开 这样高的温度足以产生 X 玻色子。在那种情况下, 我们就很有可能尝试去跟踪它们以后的历史, 或许可以一直跟踪到我们的时代 并且利用它们遗留下来的“化石”(其中可能包含磁单极子、宇宙弦、域墙等 来进行研究。

这就是理论模型的基础。

对 称 破 缺

在大爆炸之后, 宇宙开始于 10^{-35} 秒 这远远晚于标志着量子不确定性的终结的 10^{-43} 秒。我们的现代物理学尚且没有能力处理这个区段, 所以它至今仍是“未知领域”。在那段时空 宇宙充满着由 X 玻色子、夸克和反夸克、Z 和 W 玻色子、质子构成的沸腾的“岩浆”, 它受大统一相互作用的控制; 三种相互作用(电磁相互作用、原子核弱相互作用、原子核强相互作用)之间完全对称, 因为生成这三种类型的玻色子(质

子、Z 和 W 玻色子、X 玻色子 的概率完全相等 这是由这种‘岩浆’的高度激烈状态 大于 10^{27} 开的极端高温 造成的结果。

然而 由于膨胀作用 温度降低到 10^{27} 开以下；X 玻色子不能再生成，而且就这样消失了。相互作用的对称性被破坏了，促使另外的玻色子出现。它们被称为希格斯玻色子，但它们至今仍然非常令人迷惑。这些玻色子自身趋于‘平行’排列 并释放出非常大的能量；这就好像水分子在冷冻时排列成晶体，并释放出潜热一样。大统一理论的对称状态向对称性破缺状态发生的相变类似于对称的液态水向对称破缺的冰的转化。

但是，正如水的例子一样，这样的转化过程不是自动的。超冷冻的情况是有可能出现的：低于 0 的液态水有可能全部在一瞬间转化成冰，释放出潜能。对于希格斯玻色子，估计其‘超冷冻’也许可以持续到 10^{-32} 秒。

空间的出现

宇宙膨胀在时段 10^{-35} 秒和 10^{-32} 秒之间为暴涨时期 潜伏的、被束缚的相变能量使空间发生灾难性的指数式膨胀。根据某些计算，在这个时段结束时，空间发生了巨大的膨胀——膨胀了 10^{50} 倍。

当‘超冷冻’结束时 整个希格斯玻色子族排列成‘平行状’域块，只是各域块所指的方向可能有些不同。这个情况类似水在超冷冻时的结冰：冰块是一大批互相混合的、指向相近的晶体。每块晶体同其他晶体之间 由一道公共的边界墙分隔。

空间与此类似 空间的‘晶体’由一族有特定指向的希格斯玻色子组成 晶体之间由‘域墙’彼此分开 域墙实际上是空间结构中的‘弱点’ 超冷冻在那里还在持续着。

物质的出现

根据理论 超冷冻结结束时释放出巨大的能量 由此生成了大量的所有类型的粒子和反粒子，包括夸克和反夸克。这个事件可以看成第二次“宇宙爆炸”，也是一种第二次大爆炸的形式 它标志‘真正’的 即现在形式的 物质的出现。

物理学中的这些令人震惊的进展仍然很玄妙 但是 现代最有预见的宇宙学家丹尼斯·西亚马说道：“很难相信这些全部都是错的或者是误入歧途的想法……我们对宇宙已经得出许多新认识”。

我们不应该忘记 大爆炸理论的根据是星系后退 而后者则是以多普勒效应解释的星系的光谱线红移为基础的。然而 著名天文观测者哈尔顿·阿尔普在帕洛马山天文台对河外星系做了观测（此人现在在慕尼黑的马克思·普朗克物理研究所工作），指出一些谱线红移可能不是后退产生的。

虽然未必涉及大爆炸理论，但是这些观测有可能指出了与星系天文学有关的、我们也许至今还不了解的、牵涉到基础物理学的某些方面的课题。但我们必须谨慎地判断问题。如果有人问我的意见 我会以 30 比 1 来打赌支持大爆炸理论。

在广义相对论的范围内，反常的谱线红移是可能的。例如 让·皮埃尔·吕米内 工作在默冬的巴黎天文台 正在研究空间结构中的连接处 如所谓‘虫洞’(wormholes) 可能产生的“鬼象”问题。

最长的一秒

按照广义相对论的看法，“第二次大爆炸”后 宇宙膨胀减

慢很多；粒子和反粒子的合并随着宇宙变冷而加快。估计在一秒钟结束时，几乎每一对正反粒子都湮灭了，被转变为质子。然而，这里有一个起作用的重要事实：大统一理论预言，夸克和反夸克之间有点不对称，其中夸克要比反夸克超出一点（数量约十亿分之一）。结果，反夸克全部被相应的夸克一起湮灭了，有一小族不成对的夸克遗留下来。今天我们周围的物质，以及最重要的生命，都要感谢这些奇迹般残存下来的夸克。这些事实表明，从 10^{-32} 秒到 1 秒钟之间的这一秒钟时间，在我们的命运中扮演了绝对重要的角色。这就是为什么我常常称它为‘最长的一秒’的缘故。

总体设计

在最长的一秒后，我们的宇宙沿着由广义相对论定出的路线继续下去；这条路线至今仍是经典方案，已被命名为“总体设计”。宇宙是含有光子、质子、中子和电子的稠密混合物，具有的温度达 100 亿开。10 秒钟后，宇宙冷却到足以开始大量的核反应，有 25% 的质子和中子合成为氦核；这个过程持续约一刻钟。

在这以后 3 000 年间，没有发生什么有意思的事情，直到温度降低到 5 000 开以下，电子与质子同氦核结合，形成了第一批原子。此后几千万年间，没有再发生什么值得注意的情况，只是在 1 000 万年前左右的时间，温度降低到舒适的 20°C 。作为对比，一亿年后温度将降为 -200°C 。宇宙已走到它历程的终点了吗？在如此充满希望的开端后，竟然会有这么悲惨的命运……

2 行星系统

如果宇宙可能永远保持逐渐膨胀状态，里面充满着氢和氦的混合物，并且渐渐越来越稀薄，越来越冷，生命就不会有出现的机会了。多亏有了这种机会，或者说多亏大爆炸 30 万年后，2.7 开的宇宙背景辐射中出现的反常情况（这是 1992 年由宇宙背景探测卫星（简称 COBE 发现的），一些较稠密的区域得以出现了。在这些区域中，第四种基本相互作用，即引力强大到足以影响宇宙的演变。

星系团、星系、恒星等在最初的几亿年里的形成过程仍旧十分神秘。然而，对于更晚一些出现的恒星，可能还有行星的形成，我们已经开始了解了。

由于万有引力的作用，许多气体球出现了，它们向中心坍缩，而且迅速增多，并且由于坍缩释放出的能量而越来越热，一直到足以引发热核反应，这就是为我们提供生命所依靠的光和热的恒星的诞生。这种收缩过程是非常复杂的，新的仪器设备仅在近年内才揭示出星际空间中仍然正在发生这个过程。

大分子云

一切事物都开始于大分子云，它是一种直径约几十光年的巨大冷云，质量有太阳的 100 万倍；它主要包含氢气和尘埃。大分子云最突出的例子是分子云 W49A。它位于银河系的边远区，离中心约五万光年，它被银河系内的尘埃云完全掩蔽，但是无线电波揭示出了这个强大的复合体。在这个分子

云中已形成了很多巨大恒星，每个质量都约为太阳的 50 倍；恒星外面有电离的气壳围绕，其直径约为几万天文单位（简称 AU, 1AU 等于地球到太阳的平均距离）。这些电离云位于直径为六光年的圆环内，而圆环又围绕较稠密的核心旋转，核心包含有五万太阳质量。

一氧化碳、一硫化碳、一氧化硅、氨和甲醛的谱线观测结果揭示出分子云内部有明显的运动。巨大云的中心区以每秒 14 千米的速度向恒星环坍缩，所产生的激波于约 100 万年后到达后者。

在这个巨型恒星工厂内，磁场想必起着重要作用。它们的磁力线强迫电离粒子沿着螺旋线围绕它们旋转。磁力线丛的作用好像管道一样，阻止粒子穿透它们到达任何较远的范围。在分子云 W49A 内部 这些磁场必定起着重要作用 促使恒星按照规则的形状成群地形成。

暗云和金牛座 T 型星

与上述巨型分子混合云完全相反，大多数正常的恒星出现在所谓博克球状体内，这是一种小的、较稠密的气体尘埃云，直径不超过一光年。它们因为充满尘埃，因而显得模糊不清，其中仅仅形成了几个约为太阳质量的恒星。然而，这些恒星在形成的最后阶段发出的红外辐射能穿透其尘埃的茧，使我们可以观测到这些恒星：这个阶段就是金牛座 T 型星阶段。在此阶段中，原始恒星将遭受各种强烈冲击，这些冲击将延续约 10 万年。这些冲击包括磁化恒星风、在恒星赤道面上由气体和尘埃坍缩形成的吸积盘，由恒星体内的电离物质流产生的发电机效应（它引起的活动同太阳类似，只是相应的黑子可

能大到覆盖恒星表面的四分之一)。

恒星金牛座 HL 是一个好例子。它有一个跨度为 1 000 天文单位的吸积盘，其质量约为太阳的 1/10 即约为太阳系全部行星质量总和的 10 倍 由小于一微米 10^{-6} 米) 的气体和尘埃粒子组成。

估计从星际云开始收缩到金牛座 T 型星阶段之间，约经历了 1 000 万年；所以从宇宙尺度来看，恒星的形成是非常快的。

喷流和气体盘

某些星云中出现了一种中间阶段的天体，即所谓的赫比格-哈罗体。最显著的例子是 HH111 它的直径两端显示出两个方向相反的喷流，后者是由其中心正在形成过程中的一颗恒星产生的。这些电离气体组成的直线状喷流进行着摆动，并且以每秒几百千米的超音速运动。当喷流遇到星际气体时会促使其发光。

但 L1551 看来是个更突出的例子 因为现已证明 这可能是一颗由喷流、吸积盘(环状)以及外部包层围绕着的年轻恒星。喷流的方向与吸积盘面垂直，因为它们只有向着两极的方向，才能在受双极磁场约束的情况下逃逸。恒星风把这个吸积盘的中间部分吹开了 所以吸积盘呈环形。

这个信息使我们已有可能构思出在行星形成的这个特别重要的阶段中的事件。激波打击分子云 L1551 压缩其中一部分沿着磁力线方向坍缩，形成一个与磁场垂直的薄盘。这个盘径收缩并旋转，使恒星在中心形成。年轻恒星的剧烈活动将分子云中的物质吹跑，沿着磁力线方向转移到与盘的方向

向相反的两道喷流里。

原行星盘

很自然地，我们要研究原行星盘的问题了。1996年哈勃太空望远镜发现了几个吸积盘，但最好的例子仍旧是由恒星绘架座2提供的，是由红外天文卫星刚开始工作不久偶然发现的。这个扁形吸积盘直径约1000天文单位，我们差不多正好可以看到它的侧面。它围绕着距自己53光年的一颗恒星运动，这颗恒星比太阳更亮，辐射出的能量远比太阳多，年龄却只有几百万年。这个吸积盘包含大小为几微米的尘埃粒子，这些粒子比星际空间中的粒子大得多，很接近彗尾中的粒子的大小。它们的总质量约同木星相当。

尘埃中含有纯冰和暗岩物质的小碎粒，或者聚集一起或碎裂，这意味着这些粒子很可能是由彗星碰撞的碎裂产生的。气体也被证实存在于这个吸积盘中，但数量只有地球大气的1/10。它的成分在变化，这可能是由于吸积盘中不时有直径约一公里的物体落向恒星，受到蒸发造成的。

靠近盘的中心有一层环带，半径约15天文单位，其中没有任何物质。人们认为它得到了一个大质量物体的引力效应的清理，此物体可能是一颗行星。这种机制类似于约束土星环的机制（土星环的范围受几个“牧羊犬”般的卫星的控制）。

恒星绘架座2有一颗行星吗？

1992年艾尔维·波斯特的博士论文激烈强调了这颗恒星有行星的设想。巴黎天体物理研究所的业务所长阿尔弗雷德·维达一马扎领导的一个小组对此进行了八年观测，设在萨

克莱的核物理研究中心的研究员蒙特梅尔领导的另一个研究组则对此开展了计算，根据他们的成果，波斯特描绘出了一系列有意思的事件。

由于一个行星的引力摄动，某一彗星的核心部分飞向了绘架座 2，并因恒星的辐射而蒸发。产生的气雾吸收了恒星发出的光，使我们观测到这种现象所激起的光谱变化。

对一切因素进行考虑之后，人们推导出的最有可能的答案是存在一颗行星，其质量与其说接近地球，不如说接近木星，其围绕恒星的轨道运动周期为几年。它的轨道比木星的轨道大一些，左右拉得较长一些。

我们可以用一架特制的望远镜侦察这些突然出现的气雾，这样我们就可以澄清有关行星的信息，而且也许还可以发现其他行星。

我们已经发现了另外一个目标，恒星 HD256 但它的距离比绘架座 2 远四倍，因而研究它比较困难。

波斯特在他的论文中的结论为：“如果 HD256 和绘架座 2 之间的相似性被肯定 我将可以宣布 绘架座 2 不是惟一的例子，这对研究普遍的行星系有重要意义。”

所有的结果都指明这样的事实，即我们研究的是一个可能形成行星的原行星盘。然而，在一些老龄恒星周围，我们也发现了类似的盘，但我们已知道那里不会形成行星。

应该注意的是 即使绘架座 2 有行星 但这颗恒星将会成为红巨星，并在类似我们这样的生命有充分时间发展以前，就把自己的行星蒸发掉了。然而，在我们的带盘的候选恒星中，有六颗的年龄处于 20 亿—60 亿年之间，在它们的周围是有可能出现高级文明的。这就是我为什么在南塞召开的会议上

将它们收入“天外智慧搜寻”的优先计划中的原因。

行星的形成

对于行星真正形成的阶段，我们至今仍了解得很少。然而，太空飞行器对我们太阳系的行星和卫星的探测使有可能形成行星的一系列事件现出了轮廓。尘埃聚集成块，较不活泼的气体要么凝聚在聚集块的表面，或者与小粒尘埃凝结在一起。这些气体具体是哪些则要由原行星盘周围的温度和到中心恒星的距离决定。这种聚集最终将形成“星子”，即大小约 1 000 米的“小行星”以及彗星核。

在这个迅速的物理化学阶段之后——它约持续 1 000 年——引力开始具备重要作用。星子们会互相影响，它们若在相对速度较低时相遇，就会相互碰撞或聚集一起，或者迎头碰撞而碎裂。然而，后一种情况不会经常发生，因为所有星子在轨道上的转动方向与星云最初的自转方向一致。数值模拟计算表明，行星大约要一亿年才最后形成，这仍然是很短的时间。

搜寻太阳系外的行星

天文学家们下决心搜寻围绕其他恒星的轨道运动的行星，这一方面是为了行星形成理论的精确化，更重要的是为了知道是否有类似地球的生命在宇宙中某处出现。40 年来，人们已拍摄了 10 万张照片；这些照片的目的并不是要探测行星，因为它们太小了，而是要探测有行星存在的母体恒星的振动，因为恒星同它的行星都是在轨道上绕着它们共同的质量中心运动的。