



(二)

张 端 明

宇宙的“炼狱”时期

读过意大利大诗人但丁的名著“神曲”的人，大概不会忘记对于炼狱的可怕景象的描写罢。在那地下存在的永恒的地狱，升腾着不熄的火焰，生前作恶多端的人在这炼狱中，饱受大刑及其它各种酷刑的熬煎……

然而谁知道，我们所处的这个星光灿烂的可爱的宇宙，就诞生在约 100 亿年前一次高热大爆炸！比这炼狱更可怕得多哩。爆炸进行极其猛烈而迅速。爆炸开始 10^{-43} 秒后温度还高达 10^{32} K。就是说一亿亿亿度的高温！此时宇宙处于高压、高温与高密度的状态，密度高达 10^{24} 克/厘米³。

这个时候，量子引力效应应当是起支配作用的。粒子的平均能量高达 10^{19} GeV。大家知道，现在世界上最大的加速器得到的粒子的能量不过约 1000 GeV。此刻的宇宙真称得上理想的超高能加速器了。这真是粒子物理的妙不可言的实验场地。

美国物理学家乔治·格拉肖早就提出一种叫做 SU(5) 大统一的理论。这个理论预言，在能量到达 10^{14} GeV 时，我们熟悉的强相互作用、电磁相互作用和弱相互作用合三为一了。很多人猜测，当能量到达 10^{19} GeV 时，引力会达到其它力一样的强度，量子引力起作用了。或许存在一种将四种力一古脑儿统一起来的“超引力”罢！

在如此高压条件下，原子会压碎，中子、质子等也会被压碎，组成它们的夸克会不会被压碎呢？科学家估算一下，“会的”。因此，物质状态或许就是组成夸克、轻子等的亚夸克吧！风行一时的亚夸克理论为什么停滞不前呢？主要原因就是缺乏可靠的实验背景。夸克目前还看不到，据说是“禁闭”起来了。那么下一个物质层次亚夸克目前就更是掩盖着浓厚的神秘之雾了。

可是你看，在极早期宇宙，或如科学家所说，在普朗克时间（即 10^{-43} 秒），宇宙中就完全是这些神秘亚夸

克的自由天地哩。

爆炸瞬间完成以后，宇宙就处于急剧膨胀、稀疏和冷却的过程中。

到 10^{-35} 秒，温度就下降了四个数量级，即 10^{28} K，随着压力的减少，亚夸克得以聚合为夸克和轻子、光子等等。

到 10^{-10} 秒，温度达到 10^{15} K，强相互作用的强度与弱电作用的强度已经分开了。到 10^{-8} 秒，温度降到 10^{12} K，弱相互作用与电磁相互作用分开，夸克物质聚合为质子和中子，自此以后，“夸克”就“禁闭”至今，其真面目已难于见到。尽管有许多人想，会不会有极少数残留的“化石粒子”夸克还会在宇宙空间游荡，似乎也常常传来一些振奋人心的消息，说是捕捉到它们的踪迹，然而仔细考究，这些“佳音”都是靠不住的。大多数人相信，大概就在宇宙洪荒时代，它们聚合为中子、质子以后，就不曾有一个“自由夸克”跑出来。这个“徒刑”多么长呀，100 亿年！

随之参与弱作用的轻子时期到来。此时宇宙中充满电子、正电子、 μ 介子以及相应的中微子等等。温度进一步下降到 10^9 K，此时离大爆炸以后约三分钟了。宇宙已经膨胀到有光年左右的直径了（大约有 10 万亿公里）。平均密度已经不大，约 10^{-29} 克/厘米³。

在此期间，有四分之一的宇宙质量合成氦（⁴He），同时也产生少量的氘（D）、锂（⁷Li）以及同位素氦（³He）等轻核。

这就是现代物理学家所描述的宇宙起源的“创世纪”。大爆炸学说最早是由多才多艺的美籍俄裔科学家伽莫夫提出的，而后霍金、潘罗斯在理论上证明，如果宇宙是均匀、各向同性的，则必定起源于大爆炸，这就是他们的著名奇点定理。

1977 年，著名物理学家，现代弱电统一理论的奠基人之一，诺贝尔奖金获得者温伯格在 1977 年出版一本书“最初三分钟”生动地描述了这一幅图景，许多物

理工作者都是从这本书了解现代宇宙学说的。

根据这个理论，到十万年以后，原子核与电子结合为原子，因为此时宇宙温度已下降到 1000 度左右，与电子在原子中的结合能相当了。电离状态的粒子气体逐渐演化为中性原子体系，从而与光子不再发生耦合作用，而这退耦的光子随着宇宙膨胀温度不断降低。1965年彭齐斯及威尔斯用一个大喇叭天线在射电波长 $\lambda = 7.35$ 厘米处发现微弱背景信号（这个天线原来是为了卫星通讯而在新泽西建立的）。他们的观测表明，宇宙中所有的天体都沉浸在均匀各向同性的 2.7°K 的光子辐射“海洋”之中。这个出乎人们意料的重重大发现，立刻使大爆炸学说身价百倍了。大家不约而同的想到，这些无所不在，来历不明的低温微波光子莫非正是大爆炸所留下的退耦光子的残骸或化石么？

大爆炸理论计算的结果，恰好如此。

威尔逊山上的发现

但是，伽莫夫、贝特、阿尔弗在 1948 年提出大爆炸理论时并不知道微波背景辐射。

要知道这是何等大胆的理想！大爆炸、原始地球……，真是难以设想啊！这一理论一出世以后，遭到过多少指责啊！

伽莫夫的大爆炸理论当时有两个实验基础：宇宙膨胀和宇宙的 ^4He 丰度。

宇宙膨胀，在前面略莫谈过一点。其实这一切还得从 1910 年谈起。

当时斯利弗尔 (Slipher) 用劳维尔天文台 24 吋折射望远镜进行观测，发现遥远天体有系统红移的迹象。在 1922 年他进一步的总结中，他在 41 个旋涡星云资料中，肯定其中 36 个有很大的红移。1929 年，哈勃宣布，红移量与离我们的距离成正比。也就是说，哈勃在威尔逊山天文台上的这个发现表明，所有的星系都在远离我们，离我们越远，离开的速度就越大。因为根据 1942 年奥地利科学家多普勒的发现，当发声器（现在是光源）与听者距离增大时，则音调变低（光波频率减少，即向红光端移动）。

乍见起来，这颇有点奇怪，所有星系都远离地球远去，离我们最远的星体有的竟达每秒十万公里左右。这岂不又有一点地球（或太阳系）特殊的意味么？莫非地中说又复燃了么？

不然！

伽莫夫举了生动的例子说明这种情况。设想有一个气球，球面上均匀地涂上一一个个小圆点。如果向气球吹气，使它膨胀，则各点间距离就会增大。因此，呆在任何一个圆点上的蚂蚁就会觉得，其他所有的小圆点都在“逃离”它所在的小圆点，并且离蚂蚁越远的小圆点，它退引的速度就越大。

哈勃在威尔逊山上的这一发现告诉我们，散布星系的宇宙空间在不断地均匀膨胀。哈勃假定所有星系都是从一点出发。根据两个相邻星系的平均距离为 170 万光年（即 1.6×10^{19} 公里），它们之间的退引速度约为每秒 300 公里，不难看出其膨胀时间是

$$\frac{1.6 \times 10^{19}}{300} = 5 \times 10^{16} \text{秒} = 1.8 \times 10^9 \text{年}.$$

就是 180 亿年。

有趣的是，小宇宙提供的信息也符合得很好。从原子核物理角度来考察，在核合成的时候铀 $^{235}(\text{U})$ 与铀 238 的比例，约略稍大于一，现在它们的比例（丰度比）是 7×10^{-13} 比 1。 ^{235}U 的半衰期是 5 亿年，而 ^{238}U 的半衰期却是 45 亿年。容易估算出，它们生成的时候约有 80 亿年。1976 年，海因巴赫 (Hainbach) 和许腊姆 (Schramm) 利用铼-铷 (Re-Os) 精确计时法定出，应为 110 到 180 亿年左右。

天文学的观测，结合恒星演化理论，有些星体的寿命有 140 到 160 亿年。由此可见，我们这个宇宙确实有个开始，寿命约一百亿年左右。根据贝塞尔大学天文研究所的塔曼 (Tamman) 等的在 1980 年综述，宇宙的寿命大于 120 亿年，可能还大于 150 亿年。在宇宙的开始时刻，所有的物质聚集在极小的区域，经受着极为可怕的高温和高压，原始火球猛烈地瞬间爆发以后，就开始了我们宇宙漫长的演化的历史。

这个壮伟瑰丽的奇剧虽然发生在遥远的过去，然而它的遗响流韵却依然在天上人间流传。哈勃在威尔逊山上用天文望远镜揭开它的帷幕。

宇宙有多重

这句话当然不太科学。严格地说，应当问宇宙有多少物质？宇宙中星系只是浩瀚无边的星际空间海洋中的岛屿罢了。宇宙中的大部分物质集中在这些岛屿上。在星系际空间中除少数星系际气体外，还弥漫着辐射，即光子。

宇宙有多少物质这个问题实际上又关系到宇宙的“归宿”，即到底一直膨胀下去，还是膨胀到某个时候会停止，甚至回转来收缩呢？用科学的术语说，就是关系到我们宇宙到底是开放的，还是封闭的。

天文观测资料告诉我们，宇宙的物质分布在各个方向上处处几乎都是一样的，偏差起伏最大不过千分之一。这就叫宇宙的均匀与各向同性。

这个结论乍见起来很奇怪，它实际上是指大范围的结构而言，是对直径为 10^8 - 10^9 光年的区域取平均后的结果。这个结论就是鼎鼎有名的宇宙学原理。

根据现在的观察以及有关理论（我们暂且不去细说），宇宙物质的平均密度约为 $\rho \approx 2 \times 10^{-30}$ 克/厘米³。有些间接证据支持这个结论。其中星系或星系团中星体所含物质的平均密度为 5×10^{-21} 克/厘米³。

但是，宇宙学原理加上广义相对论的爱因斯坦方程可以得到关于宇宙未来的一个极重要的结论，如果 ρ 大于某临界密度(数量级为 10^{-29} 克/厘米³)，则宇宙是封闭的。否则，宇宙就会永远膨胀下去。这道理粗浅地说，也很容易明白，密度小，宇宙物质也就小，它们之间的引力自然不足以把膨胀宇宙拉回来。从现在观察值来看，我们的宇宙似乎是开放的。

我们提出的问题至此不难回答了。宇宙物质的质量是

2×10^{-30} 克/厘米³ $\times [10^{28}$ 厘米³ $\approx 10^{44}$ 克，
就是说一亿亿亿亿亿吨！

但是问题并没有了结。1982年以来，在苏联新西伯利亚以及欧洲一些实验陆续传来一些疑信参半的消息：中微子也许有质量(10—100 电子伏特)，由于中微子数目异常巨大。这样一来上面的很多结论就得推翻。小宇宙“冲击”着大宇宙演化图景。

但是中微子质量到底是怎样一件事呢？这又是一段很长的“公案”了。