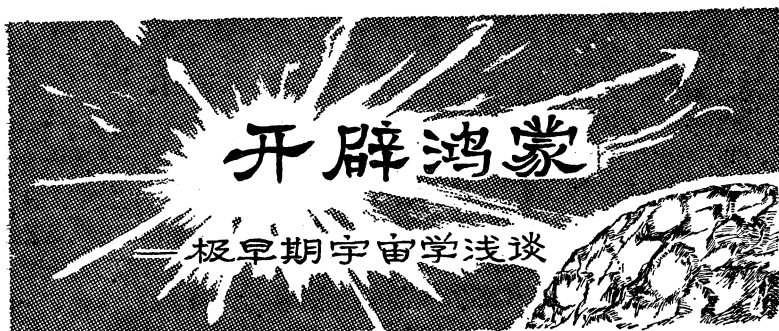




(二)

卞毓麟

从 10^{-43} 秒开始

粒子物理学家的故事讲完了。我们对这出戏中的主角——基本粒子也有了一定的了解。这样就可以痛快一睹宇宙的开端了。我们首先想到的还是那个问题：人们究竟能往回看多远呢？换句话说，在大爆炸本身之后，也就是在时间零点之后，至少要经过多长时间我们才能说出一些比较有把握的情况？答案也许会使你大吃一惊：它比一秒钟还要短得多，也许只有百分之一秒。科学家们还能对这以前的事态作进一步的推测。只是他们在谈论百分之一秒以前的情况时，立足点不象往后那么牢靠罢了。

当我们往回越走越远时，会不会有什么限制呢？确实是有的。这是因为当我们逆着时间往回瞧时，总需要使用某种物理理论，现在所用的主要是爱因斯坦的广义相对论。于是问题便归结为：这种理论到什么时候就不能应用了？结果非常令人满意，直到大约每立方厘米 10^{94} 克这样高得令人难以置信的密度为止，它都有效。科学家们推算出，这样的密度在时间零点之后 10^{-44} — 10^{-43} 秒时出现。于是 $t \sim 10^{-43}$ 秒便是我们的极限。对这一时刻之前的情况，当代科学暂时还无可奉告。

那么，我们就从大爆炸之后 10^{-43} 秒开始吧。首先，在大爆炸之后 10^{-43} 秒这一瞬间，四种基本的自然力是什么样的呢？

我们虽然对此尚不能作出很肯定的答复，但是，最近已经有了一种鼓舞人心的理论。按照这种理论，在 10^{-43} 秒这一时刻，四种自然力的强度也许曾经是相等的。换句话说，那时也许只有一种统一的力。假若果真如此，那么我们就能够对“为什么存在着四种不同的、而不是只有一种统一的自然力”作出某种判断了。现在我们的回答是：在最初的时候，实际上也许确实就只有一种统一的原始力。

长久以来，科学家们一直渴望找到一种数学结构，用本质上统一的某种形式来描述所有这四种自然力，

它叫做统一场论。看来，当粒子相互作用的能量增加时，力的相对强度就会改变。例如，弱力会变强而强力则会减弱。在极高的能量下——比今天以任何方法所能达到的能量都高得多，所有的自然力就会具有同样的强度。这时它们便彼此不可分辨了。也就是说，它们就变成了同一种力。

大爆炸后的最初一刹那那间，这样高的能量也许是很普遍的。因此宇宙中最初可能确实只有单一的原始力。然而，渐渐地，这种原始力的统一性被宇宙的膨胀以及与之相伴的冷却破坏了。膨胀与冷却意味着能量密度的急剧下降，于是原始力渐次“断裂”。最先分离的是引力，然后是弱力，最后电磁力与强力也分开了。

你也可以把这四种截然不同的力设想为一些“凝固相”。之所以这样说，乃是因为自然力随着宇宙冷却而分离的情况，与水冷却时会部分地凝固成冰颇有几分相似。

也许，我们可以运用现代物理学的知识，以今天这

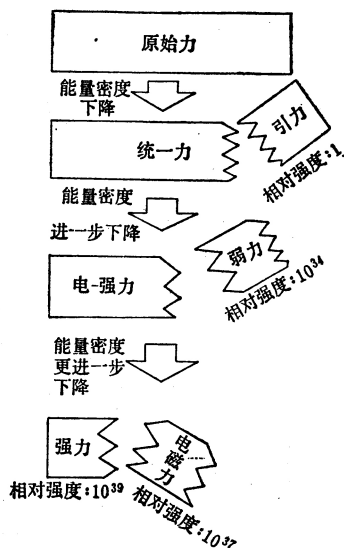


图5 原始力的“断裂”：今天我们在宇宙中观测到的四种基本力，其实可能是当初那种单一的原始力断裂后的各个部分。

四种自然力的数学结构为基础往回外推，从而复原出原始力的性质。它和统一场论描述的力应该就是一码事。不过，实际上在建立起统一场论的漫长道路上，人们遇到的困难确是难以想象的。

不管怎么说吧，总而言之按照现行的理论，就在 10^{-43} 秒之后不久，引力就分离出来了。而且很快地，它就变得比剩下的力

弱得多。

10^{-23} 秒：强子时代

到了大爆炸之后 10^{-23} 秒，宇宙进入了所谓的强子时代。关于这个时代，人们已经提出了两种不同的

理论模型,即“热”的大爆炸模型和“温”的大爆炸模型。

“热”的大爆炸模型容许出现极端的高温。粗略的理论估计表明,宇宙在进入强子时代之前的一瞬间温度大约高达 10^{32}K 。根据这一模型,强子确实是由夸克组合而成的。不过,在宇宙史的最初阶段,大量夸克尚未被组入“强子口袋”。这时的宇宙主要由夸克和轻子,连同它们的反粒子,再加上光子组成。有较多的人相信这种模型。

但这种模型也有一个问题。那就是,如果当初夸克确曾无拘无束地到处乱窜,那就应该直到今天还留下一定数量的自由夸克。苏联理论物理学家泽尔多维奇曾经计算,它们大致应该与金原子一样普遍。可是事实上,我们却从未找到过任何自由夸克。这究竟是什么原因?也许,答案正在迄今尚未揭晓的“夸克幽禁”之谜中。

我们再来看看“温”的大爆炸模型。在这个模型中,认为所有的强子都彼此互为共振的能态,宛如一架“核键盘”上的和声伴音一般,没有更基本的粒子。西欧中心的哈格多恩根据这个理论算出,存在一个极限温度或者极大温度,其数值约为 10^{12}K (一万亿度)。这显然远比“热”的大爆炸模型所允许的温度低得多。也许您已经想到:大概还会有一种“冷”的大爆炸模型吧?是的,它是莱泽于 1968 年提出的。这一理论有一个很重要的方面与前两种理论不同,它认为在大爆炸的最初阶段就不出现反物质。由于它的成就并不大,我们就不多谈了。

按照人们较易接受的第一种模型,强子时代的温度是很高的,粒子与反粒子均应存在。此外还有一件很重要的事情:当初可能产生了原始黑洞。这个黑洞有的很小,其尺度未必比一个原子更大;另一些则相当大,也许有一个星系那么重。黑洞应该是由大爆炸的不均匀性造成的。也许,在大爆炸这场开辟鸿蒙的巨大爆发中膨胀开去的物质,有相当多的一部分被压入了黑洞。倘若情况果真如此,那么我们就得在“强子时代的宇宙成份”这份名单上再添上一员:黑洞。

宇宙继续迅速地膨胀。但是它依然很小,也许只有今天的地球那么大。温度继续迅速下降,弱力、电磁力以及强力也相继分离了。及至强子时代末期,所有这四种力都已分开,它们的强度也都有了显著的变化。

也有一些人不相信这么早的时候力就互相分离了。伊莱亚斯和帕蒂,以及萨拉姆都认为力的统一远较前述理论所称的时间更为久长。他们相信,人们也许仍能在宇宙线中找到力的统一的证据,或者,把加速器再造得更大一些也行。

在时间零点之后万分之一秒,宇宙的温度下降到了 10^{12}K (当然,假定我们采用了“热”的大爆炸模型),密度下降到每立方厘米 10^{14} 克,绝大部分的夸克与反夸克都湮没了,于是,强子时代也就在这时结束了。

10⁻⁴ 秒: 轻子时代

从大爆炸之后 10^{-4} 秒开始,宇宙进入了轻子时代。这一时代的主要特征是粒子的分离与继续湮没。

轻子时代的第一件大事是中微子“退耦”。也就是说,中微子不再与宇宙中的其它组成成分共处于热平衡状态,宇宙第一次变得对它们“透明”了。这一过程延续至今的结果,是应该存在一种宇宙“中微子背景辐射”,今天它的温度已经冷却到 2K,但仍具有费密分布谱特征。遗憾的是,中微子与任何物质的相互作用都极其微弱,因此探测中微子就非常困难,以致我们目前实际上尚无法探测到它的背景辐射。要是将来有一天果真找到了这种从太初时代残剩下来的中微子,那么它就是对现行大爆炸理论的极其有力的支持。

顺便说一下,还有人指出,引力辐射从热平衡中分离出来的时刻比中微子脱离热平衡更早,或者说“引力子”早在中微子退耦之前就已经退耦了。据此估计,目前宇宙中的引力子背景辐射大约仅相应于 1K 的温度。由于引力辐射与物质的相互作用比中微子更微弱,因此观测起来也就更困难了。

在轻子时代中,由于粒子-反粒子的湮没过程,宇宙中的物质迅速地转化为光子。科学家通过一系列缜密而复杂的考虑与计算,已对这一时代获得了一幅相当具体的图景。那就是在温度降到 10^{12}K 以下时,正反 μ 子开始湮没;温度下降到 $1.3 \times 10^{11}\text{K}$ 时,几乎所有的 μ 子都消失了;这时中微子退耦,留下的主要是正负电子、光子和少量核子处于热平衡中。宇宙温度从 10^{12}K 降到 10^{11}K 历时仅 0.01 秒,再降到 10^{10}K 也仅需 1 秒钟左右。温度降到 10^{11}K 以下时,中子与质子的质量差开始使少量核子的混合物朝着质子较多而中子较少的状态转化(因为中子衰变成为质子)。在大爆

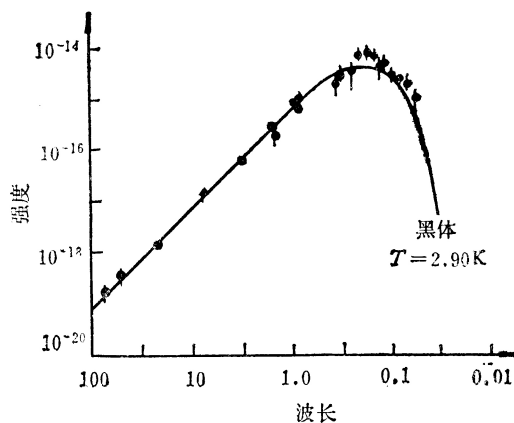


图6 微波背景辐射谱

炸之后4秒钟左右,宇宙温度降到 $5 \times 10^9\text{K}$ 以下,电子-正电子对也开始湮没,宇宙中余下的主要成分只有光

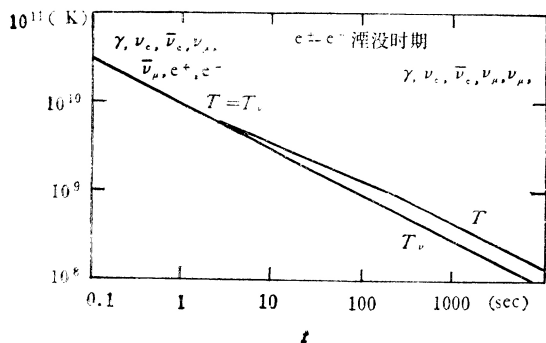


图7 早期宇宙的热历史

子与正反中微子了。而光子的温度则比中微子温度高出百分之四十，这一温度比一直保持到了现在。同时，正反中微子退耦后的冷却以及正负电子的湮没消失又导致中子与质子数之比保持在1比5左右。

仅仅10—20秒钟，正反粒子湮没产生的辐射便在宇宙中占了绝对优势。我们的宇宙进入了辐射时代。

宇宙进入了辐射时代

任何科学理论都是建筑在某些基本假设之上的，大爆炸宇宙学也不例外。它有两个很重要的假设。其一是认为早期宇宙各种物质粒子和辐射一起处于热平衡状态中。事实上，我们在前面的议论中是始终贯穿着这一点的；第二个假设是：在宇宙初期，强子数略多于反强子数（大统一理论目前可以解释其原因）。它们的差数虽小却至关重要，正是这一差数决定了今天在我们这个宇宙中存在的物质及其数量。

现在，宇宙既已进入辐射时代，大爆炸宇宙学的这第二个基本假设便显示出它的极端重要性了。由于正物质略多于反物质，所以在湮没之余尚有一些多余的质子残留下来。中子虽然不稳定，却由于它可以和质子相互转化，因而也保持着相当的数量。

然而，随着宇宙的继续膨胀和冷却，中子转变为质子的反应率将在越来越大的程度上超过质子转变为中子的反应率。到大爆炸之后三分钟左右，宇宙的温度已下降到 10^9K ，中子约占宇宙中核子总数的百分之十四，质子则约占百分之八十六。

就在这三分钟内，宇宙史上一个极其重要的事件发生了。在此之前，宇宙一直只是由基本粒子、也许还有黑洞组成的；而现在，它终于冷到足以形成第一个原子核了。

正如研究大爆炸后1秒钟内宇宙状态的学问称为极早期宇宙学那样；人们还将探索大爆炸后1秒到3分钟这一阶段宇宙状况的学问称为“早期宇宙学”。关于早期宇宙中原子核如何形成的理论，最初是由盖莫夫和阿尔弗于1948年提出的，现在人们通常把它称为

α - β - γ 理论。关于这一名称的由来，在科学史上还有着一段佳话。盖莫夫是一位性格开朗、思想奔放、而时时喜欢妙语双关的科学家。他注意到自己的名字和阿尔弗的名字读音很象希腊字母中的 γ 和 α ，就想在发表他们的论文时再添上某个名字，以便构成希腊语头三个字母 α - β - γ 的序列。于是他擅自添了康奈尔大学的贝特这个名字。后者曾在三十年代末最先提出恒星的能源来自星体内部的热核反应这一精辟的见解。贝特想必十分惊讶：他的名字竟突然出现在一篇自己从未参与其事的论文上！

总之，按照 α - β - γ 理论，在最初三分钟内，宇宙中的自由中子以巨大的力量打到自由质子和各种原子核上，就能渐次构成越来越复杂的稳定原子核。可以推测，这一链式过程从一个质子开始，当一个中子与之结合时便形成 H^2 （氘核）；往后的一切都得先经由这种氘核。遗憾的是，这种想法有一个缺陷：在 H^4 （氦核）之后存在着一道似乎不可逾越的鸿沟。即使一个中子以非常巨大的力量撞击 H^4 核，后者也不能将它俘获并使之与自己结合。具有五个粒子的核简直是太不稳定了。对于包含九个粒子的核而言也存在着类似的问题。也有可能两个中子同时击中一个氦核，那时可以形成锂（ Li^6 ）核。但是实际上发生这种情况的几率却很小。更多的粒子同时相撞并形成比 Li^6 更重的核的可能性当然就更小了，以至于我们可以认为，这些情况事实上是不会发生的。因此，用 α - β - γ 理论可以解释宇宙中存在的 H^2 ， H^3 和 H^4 ，也许还可以解释很少量的 Li^6 。

当几乎所有的中子都已与质子结合成氦核时，氦的质量将占宇宙物质总质量的百分之二十八左右。但由于在这一过程进行时，还有一部分中子继续向质子转变，所以氦的实际含量还要更小一些，大约为百分之二十二到二十八之间。根据当代天文学实际观测的结果，人们已经得知恒星和星系的原始氦丰富度果然与上述结论相当吻合；这对大爆炸宇宙学又是一种极大的支持。

然而，如果比锂更重的原子核并不是在这最初三分钟之内产生的，那么它们究竟从何而来呢？现已弄清，它们大多（这是指原子序数比铁小的原子核）是在恒星核心部分“逐步升级”的热核聚变中形成的。最后，当这些恒星瓦解时，大量的原子核就倾泻到星际空间，与原来已在那儿的星际介质相混合，成为形成下一代恒星的原料。此外，在超新星爆发时还会形成比铁更重（原子序数比铁大）的原子核。现代天文学告诉我们，太阳乃是一颗第二代的恒星。地球是在太阳形成之后不久诞生的。既然人类是在地球上降生的，所以人体——当然也包括你的血液和骨髓里的原子（除了氢和一些氦以外）也都是数十亿年以前在某些遥远恒星内部深处生成的。这听起来仿佛象“天方夜谭”中的

故事,实际上却是真实的。

我们处于的原子(或普通物质)时代

辐射时代大约持续了几十万年到一百万年。及至这一时代末期,宇宙的平均温度下降到了 3000K,宇宙物质平均密度降为每立方厘米 10^{-20} 克左右。在这一温度下,宇宙终于冷得使原子核能够拉住电子了。这意味着电子开始与原子核结合形成稳定的原子。这样宇宙就进入了原子(或普通物质)时代,迄今我们依然生活在这个时代中。

这时光子与物质粒子的作用变得很弱,于是它也象先前的中微子那样“退耦”了。光子脱离了与其他物质粒子的热平衡,整个宇宙对电磁辐射不透明的局面宣告终结,这就叫做“宇宙透明化”。

也正是因为电磁辐射与实物(指费密子)的相互作用极度减弱,所以往后它的演化便与其它宇宙物质分道扬镳。此后宇宙继续膨胀,温度继续降低,但是充满整个宇宙的电磁辐射却始终保持着黑体辐射谱的特征。它们从 3000K 不断地冷却,迄今已经一百多亿年过去了。眼下,宇宙的“体温”究竟降低到什么程度了?

早在四十年代末,盖莫夫就首先作了计算,结果是 25K。后来赫尔曼和阿尔弗纠正了他在运算方面的一些错误,使结果减小到 5K。问题是我们怎样才能实际测出这种宇宙的体温呢?有办法,那就是测量来自天空一切方向的微波背景辐射。1965 年,美国贝尔电话实验室的两位工程师彭齐亚斯和威尔逊果然在 7.35 厘米波长处发现了这样的背景辐射,并确定与之相应的温度稍低于 3K。辐射的各向同性表明它决不可能来自某一天体。宇宙学家们立刻意识到,这一观测结果很可能正是理论上早已预言、观测家期待已久的早期宇宙残留辐射。可以说,它乃是早期宇宙为我们留下的“宇宙化石”。

为了进一步验证这种辐射是否确实具有黑体谱,人们又在各种不同频率上进行了大量的测量。结果与理论预言几乎完全一致。这是对大爆炸宇宙学的又一巨大支持。它的发现为观测宇宙学开辟了一个新的领域,也为检验其它种种宇宙模型提供了一个新的判据。为此,彭齐亚斯和威尔逊两人获得了 1978 年度的诺贝尔物理学奖金。

宇宙进入原子(或普通物质)时代,宇宙中形成了稳定原子后,它的基本成份便已全部确立。剩下的问题只是这些物质本身又怎样形成我们今天所见的恒星、星系和星系团了。这里,星系如何形成是一个很不容易回答的题目。与此有关的第一个象样的理论是几十年前由著名英国天文学家金斯提出的。他假定宇宙中均匀地充满着一种气态流体,并考察了它们在引力作用下如何凝聚成团。但是,他的理论不久便陷入了严重的困难:质量的集积至多也只能达到球状星团那

么大小。1946 年,苏联的栗弗席茨对这一理论作了改进,使之能适用于宇宙的膨胀,但结果还是不能完全令人满意。

解决星系形成问题的另一条途径,关键在于黑洞。已经有人提出一种有趣的想法:黑洞也许就是在它周围生长星系的“种子”。但是这也有不少问题。例如,一旦星系在黑洞周围形成了,它们将如何随着年龄的增长而变化?以及为什么会发生这些变化呢?显然,位于核心处的黑洞必定会影响整个星系的演化,但是至今还没有人能够圆满地说明将会发生什么具体情况。

还有一种更有趣的想法:星系也许在白洞周围形成。白洞恰好与黑洞相反,它是将物质倾泻出来,而不象黑洞那样把物质吸引进去。也就是说,如果把黑洞看作“尾闾”的话,那么白洞就是“源泉”。现在我们知道,在赛佛特星系和类星体的核心似乎就有某种十分独特的源。不过也有人指出:即使在大爆炸中曾经形成过白洞的话,它们很快也就转变成黑洞了。

站在人类的立场来看原子(或普通物质)时代发生的事件,那当然是够丰富多采的。例如,太阳系的形成,地球的诞生,生命的起源,人类的出现,乃至氢弹爆发,卫星上天,机器人的问世,……。但是,所有这些都已经离开了本文的主题,我们就不谈它们了。

重子数的起源

读者想必乐于对大爆炸宇宙学的第二个重要假设了解得更多一些:为什么“宇宙初期的重子数略多于反重子数”呢?是的,我们为什么要采纳这样一个假设呢?如果假定正反重子数相等岂不更自然些吗?既然长久以来物理学家始终以崇敬的心情称道狄拉克的杰出理论——“每个基本粒子都存在一个反粒子,它们具有相同的质量和自旋,而所有其它的量子数如电荷数、磁矩、重子数等等都有着相反的值”,而且众多的实验事实也反复证实、支持着这一假设。那么,我们又怎能容忍“宇宙初期的重子数略多于反重子数”这种似乎破坏了宇宙之对称与和谐的假设呢?

问题在于,宇宙学决不是一门纯理论的思辨性科学。相反,它必须首先尊重并立足于确切无疑的观测事实。我们当然很容易猜想宇宙中反物质的总量应该和正物质一样多;而且,既然有正物质构成的行星、恒星、星系等等,那么也就应该存在着由反物质构成的反行星、反恒星、反星系……。不幸,我们始终未能获得与此有关的任何证据。这究竟是什么原因?

与此紧密相关的另一个问题是:为什么现今宇宙中的光子如此之多,以至于光子数与重子数之比竟高达 10^8-10^{10} ?

这一系列问题综合在一起,就是所谓的“重子数起源”。由于大爆炸后 1 秒钟以后的宇宙中,一切物理过程的能量尺度都已大大下降,所以几乎不可能再发生

宇宙规模的重子产生过程。因此重子数起源问题的答案应该就在开辟鸿蒙的第一秒中。

假定每个光子都是由正反粒子湮没形成的，而且每一对正反粒子湮没后转化为一对光子，那么，根据今天宇宙中光子数与重子数之比约为 10^8 就可以得出结论：当初大致每 $5 \times 10^7 + 1$ 个粒子对应着 5×10^7 个反粒子。这便是“宇宙初期重子数略多于反重子数”这一假设的由来。

这样特殊的假设当然不会令人满意，它几乎是遇到问题绕着走。况且，也不完全清楚：究竟是由于条件限制使我们未能观测到反物质呢，还是今天的宇宙中确实几乎不存在反物质？这，只能让未来的科学作出回答了。

然而，近年来粒子物理学在另一个方面取得的重大学进展却为人们解开这一之谜时迎来了“柳暗花明又一村”的新局面。它使我们重又回到了统一四种自然力的话题上。

再谈力的统一

如果我们假定太初时代的宇宙含有等量的粒子与反粒子，即总的重子数以及轻子数都为零，情况又如何呢？

如果真是这样，那么要解释现今的重子数不为零，就需要某种重子数不守恒的过程，而且这种过程对于粒子与反粒子还是不对称的。

这样的不对称确实存在。人们早就发现，在中性 K 介子的蜕变过程中，CP 守恒会遭到破坏。这里 P 代表空间反射，也就是左右互换；C 代表电荷共轭，即粒子与反粒子互换；CP 守恒的意思，就是将左右互换同时又将粒子与反粒子互换，运动规律仍保持不变。1967 年，著名苏联物理学家萨哈洛夫曾猜测 CP 破坏与宇宙重子数可能存在着物理联系。但当时尚无可靠的重子数不守恒的粒子理论。因而事情只能停留在猜测的水平上。

现在我们回到力的统一上来。1979 年，美国物理学家温伯格和格拉肖与巴基斯坦的萨拉姆共获了该年度的诺贝尔物理学奖金。他们的杰出贡献是成功地建立了统一描述弱力和电磁力的理论，即所谓的 $SU(2) \times U(1)$ 理论。目前，理论和实验都表明电磁力和弱力确是同一种“电弱力”的不同表现形式。更进一步，就是今天许多优秀的物理学家正在苦心钻研的课题了——建立“大统一理论”。其目的是在弱电统一的基础上再把强相互作用也统一进来，在理论上作出统一的描述。目前已有多种不同的统一方案，它们一般都含有重子数不守恒的过程。

最常见的一种大统一方案叫做 $SU(5)$ 。它将夸克与轻子统一在一起使之可以相互转化。这正是重子数不守恒的根据。在这种理论中，除了有一种传递电磁

力的光子、三种传递弱作用的中间玻色子和八种传递强作用的胶子外，还要求有导致重子数不守恒的新作用的传递者。我们还记得，它们叫做“中间矢量棒球”。它们都是一些超重粒子，一共有十二种。除此之外，还有另一些超重粒子，叫做希格斯粒子。如果上述这些超重粒子的反应过程与其反粒子的反应过程之间的 CP 守恒遭到破坏，就可能由此而产生重子数。这类超重粒子的质量估计达 10^{15} GeV 左右，只有追溯到大爆炸之后 10^{-36} 秒的时代，宇宙中的物质过程才具有与之相当的能量，所以重子数也应该肇始于此。

有一件很有趣的事情：如果中间矢量棒球存在的话，它们可以使质子衰变成质量很小的轻子。这是重子数不守恒的另一结果。于是，质子不再是寿命无限长的稳定粒子了。久而久之，这将最终导致宇宙间一切物质——无论是岩石还是金刚钻——的破坏，因为质子乃是一切原子的组成单元之一。

质子的寿命有多长呢？按照 $SU(5)$ 理论，质子寿命约为 10^{31-33} 年。现在，世界上至少已有六个实验小组正在测量这个寿命。一旦这些实验取得了卓有成效的结果，它们就会再一次有力地促进和推动极早期宇宙学的研究。

这里也有“杂交优势”

我们获得了许多极其有趣的知识，这应该感谢天文学与物理学的杂交优势。天体物理学从一开始就是观测天文学与物理学理论相结合的产儿。理论天体物理学更是始终与微观物理学平行地发展的。在本世纪三十年代之前，天体物理学中最重要的内容之一是依靠原子物理学的知识研究恒星光谱，从而建立起恒星大气理论；三、四十年代的天体物理学主要是用原子核物理学的知识来解释恒星的能源和演化、以及宇宙尺度上的元素起源。然后，现代物理学的注意力又更多地转移到了基本粒子上。与此相应，在天体物理学领域内新的种子也开始萌芽了。例如，六十年代初中微子天文学的破土而出；六十年代末脉冲星的发现大大促进了人们对高密态物理学的研究。天体物理学与粒子物理学结成更紧密的联盟已是势在必行了。

于是在七十年代末，一个引人注目的新名词赫然登上了科学舞台：粒子天体物理学。这一名称表明，粒子与天体这两种尺度相差极大似乎迥然不同的物质客体实际上存在着极其深刻的联系。“杂交优势”再一次显出了威力，在它的第一批受惠者中就有着极早期宇宙学家。

杂交后代同时继承和发扬父本与母本的特长。所以天体物理学与粒子物理学相结合的受惠者也包括着粒子物理学家。他们可以利用天体物理学的知识推测粒子物理学中的一些参数。例如，稳定中微子的质量

范围、不稳定重中微子的寿命、不同“味”中微子的数目等等。而且有些结果比实验室中得出的结论还更强一些。我们可以把这一研究领域看作粒子天体物理学的孪生兄弟,并把它称作天体粒子物理学。

现在,这一对孪生兄弟也还处于它们的“鸿蒙开辟”时代。它们的未来将会为天体物理学、粒子物理学、乃至整个物理科学带来何等巨大的变革,目前尚难以逆料;我们且拭目以待。

一切仅仅是开始

我们列出一份“宇宙史大事记”以结束本文。

我们看到,在回溯宇宙的既往史时,利用原子物理的知识只能追溯到大爆炸后的 10^{12} 秒,利用原子核物理的知识则可进一步追溯到大爆炸后的第一秒。但是对于比 1 秒更早的时代,核物理已无能为力,那儿是粒子物理学的用武之地。这也正是我们将太初第一秒作为极早期宇宙与早期宇宙的分水岭的理由。

研究极早期宇宙是十分困难的。有时我们仿佛前进了一步,不料却反而倒退了两步。然而,人们毕竟还是成功地拼凑出了一幅相当合乎情理的“混沌初开图”,这不能不说是人类智慧的巨大胜利。

然而,所有这一切都还仅仅是开始。尚未解决的问题还很多。为什么探测不到太初时代残留下来的中微子?自由夸克又在何方?四种作用力究竟怎样才能

宇宙史大事记

时间(秒)	温度 (K)	主要事件
0(奇点)		大爆炸
$10^{-44}\sim 10^{-43}$	10^{32}	时空的量子涨落。不久后引力从统一的原始力中分离。
10^{-36}	10^{28}	超重粒子的产生与湮灭;它们与其反粒子间的 CP 破坏导致后来重子数的出现。
10^{-23}	10^{32}	进入强子时代。在强子时代中,弱力,电磁力,强力相继分离,夸克组成“强子口袋”。
10^{-6}	10^{12}	进入轻子时代。温度降到 1.3×10^{11} K 时中微子退耦。
0.01	10^{11}	质子数开始超过中子数。
1 秒~3 分钟	$10^{10}\sim 7 \times 10^8$	核合成阶段。形成 He,D,Li 核。其间约 $t = 10$ 秒,温度为 3×10^9 K 时,宇宙进入辐射时代。
$10^{12}\sim 10^{13}$	3000	进入原子(或普通物质)时代。电子与原子核组合,开始形成稳定原子。宇宙透明化,光子退耦。
$10^{13}\sim 10^{17}$		星系形成
3×10^{17}		太阳系形成。
4.5×10^{17}	2.7	现在。

完全统一? 我们什么时候才能对 10^{-43} 秒以前的情况也说上几句?

无数迷人的胜景正在向我们招手。让我们跟上物理学发展的步伐,继续向大爆炸挺进吧!

(全文完)