

# 早期宇宙和高能物理

David N. Schramm

新的粒子场论的许多性质的验证，只可能通过将理论对于紧随大爆炸 (Big Bang) 之后的物理条件的预言与根据天文学数据所能重新构成的这一事件的性质进行比较来实现。

一千五百万年以前，一个关于宇宙学和粒子物理的相互作用以及物理学的一般统一性的实验被实现了。这个实验我们叫做大爆炸。它产生了分布在  $10^{28} \text{ cm}^3$  范围内的  $10^{90}$  组数据。我们知道这个装置具有约为  $10^{16} \text{ GeV}$  的能量 (见图1)，但是不幸的是，当初设计这一设备的大学毕业生已不在我们身边，因此无法准确地告诉我们，她那时作了什么。所以我们不得不试着靠我们自己去汇总数据，看看我们是否有可能理解在这个实验中发生了什么。从某些我们已经收集的数据——例如，从观察3k背景辐射——我们知

道早期宇宙是炽热且高密度的。我们还知道大约宇宙质量的四分之一是单一同位素<sup>4</sup>He。这一数值是相当令人惊愕的。其它较重的元素 (碳、氧、铁等) 的总和还少于宇宙质量的2%，星球制造这些另外的重元素，但丰度仅百分之几。而宇宙的25%却是<sup>4</sup>He——这个数值正是大爆炸标准理论模型所严格预言的！

所以我们可以怀着某种信心宣称我们所生活的宇宙是某种“热大爆炸宇宙”。事实上，在最近的国际天文学协会会议上，苏联物理学家Jacob Zel'dovich已经指出，我们可以认为大爆炸模型就像天体力学那样已被相当好地建立起来了。最近十年以来我们已经发展了一个精细的理论模型，它在细节上也和实验相符。现在我们已经不再讨论基本的宇宙模型应该是大爆炸或者是稳定态了。我们当前关心的已是验证大爆炸模型的细节。就如同在天体力学中人们注意近日点的漂移等细致问题那样，我们现在关注的是诸如多么小的微扰能够导致银河系的形成。

过去我们利用望远镜去观察越来越大的区间，试图看到在那儿的  $10^{90}$  组数据中越来越多的部分。然而现在一般的模型已经建立，我们需要利用另一类望远镜去更多地理解原始的大爆炸实验。特别是我们能够试着通过高能加速器来模拟一部分原始实验的装置。我们希望能利用费米实验室，CERN 或者 SLAC 再现大爆炸刚发生之后的某

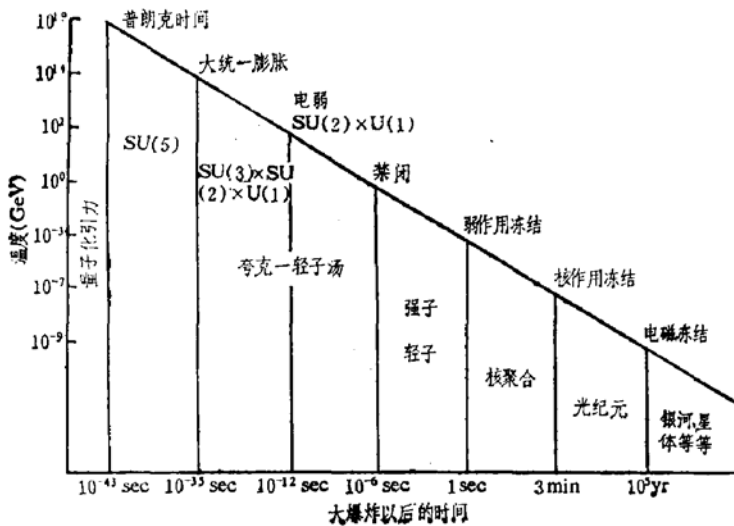


图1 宇宙的早期历史。这是由标准大爆炸模型和通常的量子场论所预言的、希望高能加速器能够再现宇宙年龄小于  $10^5$  年 (此时宇宙终于变成透明的) 时极特殊的能量与物质条件，进行实验以期验证此图上的预言。

些条件。由于在投射奇异性 (Projected Singularity) 之后及  $10^8$  年以前的时期内, 宇宙是光学不透明的, 所以我们不可能利用望远镜倒回去观察这个早期时代。也就是说我们无法看见这一极早期的激动人心的时代。我们所能倒回去看到的宇宙是和今天的样子差别不是很大的阶段。

## 大爆炸: 事实和问题

为了帮助我们吧加速器当作传统的天文学仪器去揭示更早的时期, 我们需要回顾一下我们所知道的原始大爆炸装置的有关知识。特别是我们相信宇宙原来是足够热的, 所以可以统一所有的力。我们知道的另一非常有意义的信息是, 在大爆炸的这一早期装置中, 除了光子和电子(定义为低质量粒子)之外再不会有多种的长寿命低质量粒子(中微子或其它“微子”)。

这是从标准的大爆炸模型得出的一个相当重要的预言。我们相信我们至少已经确定了这些低质量粒子中的三种——电子中微子,  $\mu$ 中微子和 $\tau$ 中微子。如果我们相信大爆炸预言, 那么我们也许已发现了存在的所有的“微子”。(这也许是自牛顿以后天文观察结果对基础物理学作出肯定预言的第一个例子。通常是沿着相反方向给出信息的)。

我们知道这一原始大爆炸的实验装置, 在某种程度上会消除磁单极子——至少是大部分, 也许不包括几个月前在Palo Alto观察到的那一个 (Physics Today, June 1982 p.17)。即使在Palo Alto有过一个磁单极子, 那儿也绝不会有和重子一样多的磁单极子。然而标准的统一理论预言磁单极子和重子是一样多的。所以我们必需在某种程度上消除掉磁单极子, 但现在我们还不知道如何才能做到这一点。一种可能的方法是通过“膨胀”(Inflation), 这是一个新的理论概念, 下

宇宙学价值的实验

实 验	实 验 类 别	宇 宙 学 价 值
Z <sup>0</sup> 的宽度	加速器/对撞束	核对宇宙学的中微子计算
中子电偶极矩	反应堆	确定重子非守恒CP破坏, 这直接比例于大爆炸中产生的重子光子比
质子衰变	地下矿物	检验大统一理论对重子不守恒的预言
磁单极子寻找	各种类型的探测器	宇宙磁单极子极限密度, 验证膨胀论
Higgs寻找	加速器	检验大统一理论相变的性质
超相对论重离子碰撞	重离子加速器及宇宙线	探测夸克-强子相变
$\beta$ 衰变终止点	实验室核物理	测量电子中微子 ( $\nu_e$ ) 质量
中微子振荡	加速器和反应堆	确定质量平方差及有质量中微子混杂角的组合
“微子”寻找	加速器和宇宙线	观察另外黑暗物质形态
flys eye	宇宙线	给出极高能量本底
<sup>4</sup> He, <sup>3</sup> He, D和 <sup>7</sup> Li	天文学的	检验大爆炸核聚合的连续符合和确定重子密度
3K本底温度	气球和Code卫星	检验与黑体曲线的符合, 精确的温度给出精确的数密度 ( $n \propto T^3$ )
3K本底各向异性	气球, U2和Code卫星	确定银河形成的演变过程, 给出原始团块的谱
大尺度构造	望远镜*	确定 $\Omega$ 和银河形成演变过程
确定Hubble常数	望远镜*	为了消去膨胀率中两个不确定性的流因子
核时序和大集团年龄	核的和天文学的	为了消去在作无Hubble常数的宇宙年龄确定时的输入参数
中子半寿命	核的	为了降低在 <sup>4</sup> He合成计算中的最大不确定性

\*包括空间望远镜。

面我们将详细讨论。

我们还知这个原始装置是加工得相当好的，它可以把每件事物都光滑到万分之几的程度。也就是说宇宙背景辐射的温度呈现出的均匀性达万分之几。

对这样的事实思考得越多，您就会越加觉得惊奇。从地平线两个方向来的3K辐射，大约是在大爆炸以后 $10^5$ 年发射的。然而在发射时刻，这两个辐射源的间距大概是 $10^7$ 光年，这样它们之间不可能有任何因果联系使得各自的辐射现在严格是3K（准确到千分之几或万分之几）。

到底每件事物是如何达到均匀化和各向同性的？必需有一台非常非常精细的加工机械。要不，我们就得有某种方法使得每件事物会自然地呈现出均匀化的属性。我们将要看到，在过去的一年中，出现了一些关于如何才能实现光滑化的相当有趣的思想，这仍然是借助于膨胀论这一思想。

如果宇宙的一个问题是“为什么它是如此均匀？”那么另一个问题则是“为什么它是如此凹凸不平？”在小尺度范围内，宇宙是不均匀的，总是聚集成团，诸如银河，星球，人们等等，因而我们需要去理解在这样非常平滑的背景之上这些集团是如何形成的。

所以宇宙在大尺度范围内是均匀的而在小尺度范围内又是成团的，对于两者我们均还不理解。

我们还知道宇宙是被极其仔细地调试过的，那位大学毕业生看来具有非凡的实验技巧，她可以把事物校准到小数点以后约五十位。我们还未听说在物理学中有任何数目达到小数点以后五十位。特别是，宇宙中看来至少有一个参数叫 $\Omega$ （宇宙密度与临界密度的比值）达到了这样的精度。这一比值控制着宇宙的扩展演化。如果在宇宙的早期， $\Omega$ 一开始大于1，则 $\Omega$ 将随即按 $10^{-43}$ 秒这一典型时间尺度继续增大。如果 $\Omega$ 一开始小于1，则将以 $10^{-43}$ 秒为时间尺度而减小。

现在在大爆炸之后150亿年， $\Omega$ 还是接近

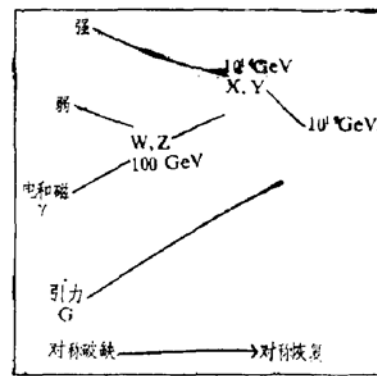


图2 高能下各种力成为统一的。通常的理论预言，在能量大约高于100GeV时电磁力和弱力成为同一种力，而这种力在能量大约高于 $10^{16}$ GeV时和强力成为同一种力。理论家们在建立一种超大统一理论（Super GUT），据此四种力将在高于 $10^{19}$ GeV能量下统一起来。

于1，而150亿年是 $10^{-43}$ 秒的极大倍数。这意味着在大爆炸时参数 $\Omega$ 被校准到等于1，而其偏差小于小数点后五十位。这样的结果看起来是不可思议的，除非你仍能发明一种方法使这种事情会自然而然地出现。这个领域的某些人们把这叫做平坦性（flatness）问题。另一些人把这叫年令问题——宇宙为什么是这么个年令（如果你相信宇宙才形成了六千年，那将更是一个问题了）。

还有一个我们也不能很好地加以回答的问题，但也许仍是粒子物理可能给予回答。这一问题是宇宙中的90%以上的物质我们还无法加以确定。这些物质看起来不像重子物质。它是什么呢？

## 统一场论

在一开始我提到过，近十年来在粒子物理中发展起来的统一场论，我觉得为我们提供了自有物理学以来最激动人心的时期之一。

大约在一百年前，Maxwell指明了电和磁是统一的。十五年前，Steven Weinberg, Abdus Salam 和 Sheldon Glashow告诉我们

弱力和电磁力如何是同一种相互作用。如果你能得到高于100 GeV的能量(这是传递弱作用的W和Z玻色子的质量)那时弱力和电磁力是同一种力(见图2)。这些力之间的对称性,在我们日常生活所看到的能量范围内,会自发地破缺。但当你得到高于100GeV的能量,这种对称性就会恢复。事实上你可以把这种变化看作一种相变。当宇宙处于高温,存在着一些力是统一的对称性,当宇宙冷却下来,出现相变,对称性破缺了。在过去的十年中实验已本质上证明了这一理论(例如参看本期杂志第17页上关于发现W的叙述),这样就鼓励理论家们去寻找进一步的统一性。

当我们往更高的能量前进时,包括Howard Georgi和Glashow在内的一些人已经预言应该存在着关于强力、弱力和电磁力的统一性。根据较低能量的物理学进行外推,他们预言这种统一性应该出现的能量量级是 $10^{14}$ GeV,这个统一性的规范玻色子是x和y玻色子(见图2),而正是在这个能量可以产生我们前面讨论过的磁单极子。统一这三种力的理论叫大统一理论(GUT<sub>s</sub>)。

人们希望把重力也包括在内建立超大统一(Super GUT<sub>s</sub>)。理论家们倾向于相信在能量达到 $10^{19}$ GeV的量级,引力的量子效应显得重要之时,超大统一应该出现(见图2)。尽管关于超大统一有许多工作,但一般认为比起强、弱和电磁力的统一包含着更多的猜测成份。

## 大统一理论的验证

显然,与大统一或超大统一理论所相应的高能量是远高于地球上实验室所能达到的水平。即使费米实验室的对撞束TeV机(Tevatron)运转了,我们也只能得到几个TeV( $10^3$ GeV)的能量,如果我们建立个“Desertron”,我们也只能达到几十个TeV。可见要从 $10^4$ GeV到 $10^{19}$ GeV,我们还有非常非常

长的路要走。要达到 $10^{19}$ GeV,得把SLAC从这儿拉长到Alpha Centauri星座,这样真空泄漏问题倒容易解决了,但数据分析却很困难——再不用说那么巨额的产物了。我们有另外一些方法来间接地探测这些能量区,例如通过质子衰变。如果有磁单极子存在的话,通过磁单极素(Monopolonium)及磁单极子的湮灭。但是除了发生在这个能量区的一个事件——大爆炸之外,我们没有直接方法去揭示这些能量区域。于是这就成了强大的推动力去促使粒子理论家和天文学家合作起来,因为宇宙的早期历史为检验大统一思想提供了最好的场所。

我们希望在高温的早期宇宙出现统一性的时期,可以找到宇宙学中的某些问题的解释。

作为例子之一,近年来的富有启发意义的发现之一是,大统一理论可以成功地解释宇宙间的重子数目。直到最近之前,我们不知道在宇宙中为什么对应于每一个光子\*有 $10^{-10}$ 个重子。现在,利用大统一理论,这个比值可以自然地得到。当宇宙冷却时(大约到 $10^{-36}$ 秒),同时破坏重子数守恒及CP对称性的相互作用,会导致夸克比反夸克略多一点,随后这些夸克形成重子,而正反重子湮灭。宇宙间就余下了一点过剩的重子——物质超过反物质的差额。这正是我们所看到的事实。通过调节另外未知的参数可以得到重子对光子的正确比值。下面的结果是有意义的,这就是最小SU(5)的大统一理论并不能导致观察到的宇宙重子光子比,而且现在还发现这一具体模型和Irvine-Michigan-Brookhaven的质子衰变实验也不符合。可见大统一理论必须比最小SU(5)更复杂些。

在大统一理论之前,我们得说“在一开始,宇宙间每一个光子对应于 $10^{-10}$ 个重子”,现在我们可在美学上显得更令人满意地说“在一开始就有大统一”。

\*原文误写为质子——译者注。

## 宇宙的纪元

图1给出了温度与时间的关系。随着我们追溯到宇宙的越来越早的时期，我们总要达到 $10^{-43}$ 秒这个垒——这是普朗克时间 $\sqrt{\hbar G/C^5}$ 。由于现在我们还没有一个可靠的引力量子理论（超大统一理论），所以不能研究早于这个时刻的事件。

断言在早于这个时刻的 $10^{-43}$ 秒有一个奇点，可能完全是错误的。也许在这一时刻之前，时间会无限延长。 $10^{-43}$ 秒这个数值是从较长时间的结果外插到无限高温度和零时刻得到的。事实上我们不能做这种外插，因为在这个区域我们的全部物理学已不成立。其实，在那一会儿，整个时间概念已不存在。甚至连“早于”这一词汇也是无意义的，因为这一词汇包含着类时的知识。我们把时间设想成一个连续的量，但是对于这个早期时间历史，按照Steven Hawking的观点，由于引力是量子化的，空间的每一个点均会自发地变成一个具有质量约为 $10^{19}\text{GeV}$ 的微黑洞（Mini black hole）。

从Hawking的工作我们还知道只具有 $10^{19}\text{GeV}$ 质量的黑洞将会在 $10^{-43}$ 秒时间内蒸发，重新形成空间。所以我们得到了这样一个图象，全部时空像是个具有许多时而爆炸开去，时而又联在一起重新形成的微黑洞的泡沫（foam）。当空间和时间是不连续的（Halliday and Resnick这本书并未描述过立这种情况），你怎么进行物理工作呢？

然而理论家们仍然忙于发表，看来是写不完的文章，去描述从 $10^{-43}$ 到 $10^{-35}$ 秒范围内的物理学。这是大统一时代。如我所已指出的，重子光子比值似乎就是来自于这个时代的，而且“膨胀”现象也是起源于这个时代的，后一点下面我们将加以讨论。

在 $10^{-35}$ 秒时，宇宙经历了由大统一到 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ 相空间（我们所熟悉的强和弱电相互作用）的相变。最后，我们

达到了前述的Weinberg-Salam  $SU(2) \times U(1)$ 对称自发破缺到电磁 $U(1)$ 对称。

到这个时代，空间灌满了夸克和轻子汤（Soup）。尔后，到 $10^{-6}$ 秒，有一个从夸克汤到“禁闭”——夸克耦合成我们熟悉的更为普通的强子——的相变。宇宙随后继续冷却到把弱作用冻结出来，中微子不再和强子——轻子汤耦合在一起了。它们自由地飞开，但因为没有东西可以逸出宇宙，所以到今天仍作为中微子本底而飞来飞去，就像光子本底一样。现在中微子本底的温度是2K。（和3K光子相比较）说2K中微子难于探测是不够的，但是如果这些中微子碰巧是有质量的，我们就能够通过它们的引力作用加以探测。下面还要进一步讨论这个问题。

当弱作用冻结了，宇宙中的中子质子比也就冻结了。严格说来，这一比值是依赖于中子衰变的半寿命的，而后者确定了氦气的丰度。根据中子半寿命的测量，标准的大爆炸模型预言了实际氦丰度，如我们前面提出的，宇宙质量的四分之一是 ${}^4\text{He}$ 。不仅如此，观察到的 ${}^3\text{He}$ 、 ${}^2\text{H}$ 、 ${}^7\text{Li}$ 的丰度均和大爆炸理论极好地相符（见图3）。这样的符合令人印

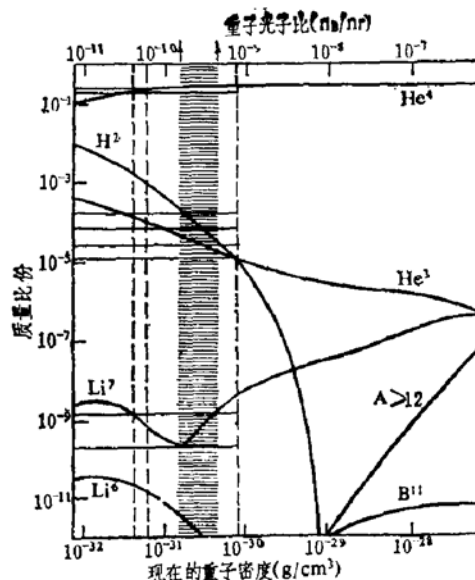


图3 同位素丰度与标准大爆炸理论（黑实线）的比较，水平影线是 ${}^4\text{He}$ 、 ${}^2\text{H}$ 、 ${}^3\text{He}$ 和 ${}^7\text{Li}$ 的观察丰度。对应于理论取重子光子比 $\eta \approx 3 \times 10^{-10} \sim 7 \times 10^{-10}$ 的范围（垂直影区），观察值与理论完全相符。

象十分深刻。在银河中，这些丰度的演化是很不相同的，而获得这些物质的丰度的观察手段也是完全不一样的，但是每一种丰度均正好落在大爆炸预言的曲线上。这样极其惊人的符合，如我们前已指出，在许多方面也和3K辐射一样，是对大爆炸的有力证明。事实上，这些结果可以用来预言3K辐射。

图1的最后一个事件，约在大爆炸后的十万年，这时电磁相互作用已被冻结，于是光子也像前面的中微子一样自由地传播。这就是我们今天看到的3K辐射中的光子。不久之后，星体和银河系形成了，而大约 $10^9$ 年以后，我们如今生活在其中的昏暗的宇宙形成了。

我们不能利用光子回头去探测更早的时期，因为宇宙对于光子是不透明的。要揭示更早的时期，我们必须运用其它技术。方法之一是运用望远镜等去观察He, D和Li的丰度。但是另外的现象，如中微子本底，重子光子比，以及图1的相变需用粒子加速器去揭示。

## 粒子种类的极限

也许由于我也参加了，我对于标准大爆炸模型对中微子（或其它微子如光微子，重微子）种类数目的预言感到特别激动。标准大爆炸给出了这类轻的弱或半弱作用粒子数目的极限。

我们看到了大爆炸模型预言He大致构成宇宙质量的25%。这个数目依赖于微子的种类数会有小的变化。例如，若只有两类中微子，电子的和 $\mu$ 粒子的，则我们得到图4中关于He丰度较低的曲线。中间的曲线对应于三类中微子，上面的曲线对应于四种。曲线所显示出来的不确定性，主要来自中子半寿命的不确定性。

现在再来讨论一下由大统一时代所形成的重子光子比。可以通过不同方法来测量这个真实值。而且我们确信我们可以给出一个

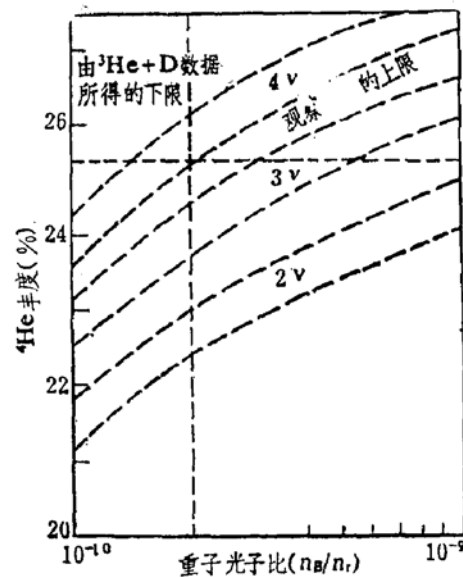


图4 大爆炸生成的 ${}^4\text{He}$ 的质量比份敏感地依赖于中微子种类数和重子光子比。根据观察到的 ${}^4\text{He}$ 的上限和来自于 ${}^3\text{He}$ 和D的 $n_B/n_\gamma$ 的下限，可以断言不会有多于四种中微子存在，而符合最好是有三类中微子。

下限。大爆炸的 ${}^3\text{He}$ 和D丰度与观察值的符合给出重子光子比的下限是 $1.5 \times 10^{-10}$ 。由图4我们可以得到一个上限。三种中微子（如果我们相信 $e$ ,  $\mu$ 和 $\tau$ 存在，均伴有低质量的中微子）和原始He丰度低于25%，则重子光子比不会大于 $6 \times 10^{-10}$ 。如果我们说 $\tau$ 中微子不是低质量，则极限将大到 $10^{-9}$ 。但是不管在什么情况下，我们可由大爆炸核物理得到重子光子比的极限。请注意从图4可见，四类中微子只能勉强地满足这些限制。三类则符合得更好。所以也许我们已找到了所有的中微子。最多我们还可以再找到一类。

中间玻色子 $Z^0$ 的能量的宽度（而寿命的倒数）将提供对大爆炸模型的直接检验，因为宽度是直接比例于中微子种类数的。当我们有了这个宽度的可靠的测量数据时，我们就会知道标准大爆炸模型所预言的三类中微子是否正确。

从许多方面看， $Z^0$ 的宽度将是对标准大爆炸模型最强有力的检验之一。它将使我们有可能检验标准大爆炸模型对更早时期的预

言，而迄今其它观察检验均达不到这个时期。利用粒子加速器的实验将给我们带来对宇宙学最好的检验之一。

另一方面，宇宙学正在预言自然界的一个基本性质——存在多少种基本粒子。我们知道，与一中微子家族是和一种夸克味对 (quark flavor pair) 耦合的。因此关于存在多少种中微子的预言，也是对夸克味对数的预言。这是从远离现在发生的某种事情将要引出的一个极强的命题。

## 宇宙的总质量

如果把大爆炸核聚合 (Nucleosynthesis) 得出的重子光子比的上限变换到  $\Omega$  (占临界密度的比份)：我们发现  $\Omega$  小于 0.1。这意味着重子物质的密度还不能闭合宇宙。所以如果宇宙仅包含常规物质，则是开放宇宙。

这当然是一种可能性。但是还有另外一些方法，仅通过观察现有的银河系来获得  $\Omega$ 。我们可以用不同的方法估计银河系的质量。如果我们观察一个银河的旋转曲线，标准的牛顿力学，比如对我们的银河，可给出质量是  $10^{11}$  个太阳质量的量级。如果我们假定所有的银河都具有这样的质量，则得到  $\Omega$  约为 0.01——一个非常开放的宇宙。但是这个  $\Omega$  值是来自于仅仅观察我们看见发射出光线的区域。

如果我们把牛顿力学用到一个绕另一个银河旋转的银河，则算得一个银河的质量为  $10^{12}$  个太阳质量，对应的  $\Omega$  为 0.1，比前面的估计大了一个数量级。银河在相互作用时，显得具有比可见区的质量为大的质量，额外的质量显然应存在于不可见区域。应该不是有什么质量消失了，而是这些附加质量的光线消失了。我们有个光消失 (missing-light) 问题。这不发射光的黑暗物质究竟是什么？我们可以设想在每个银河的周围有个不辐射的黑物质的晕 (halo)。

现在如果考虑更大的银河集团——其中

有相互旋转的上千个银河——我们可以进行同样的物理研究，但运用的是平均间隔距离和平均弥散速度的统计系综，我们可以算得这个大集团中每个银河所具有的质量比份，我们发现每个银河的质量达到  $10^{13}$  个太阳质量。这个附加的量级增长导致  $\Omega$  几乎等于 1，如果所有的银河真的有这么大质量的话。

虽然大部分银河系并不在大团块中，但是大尺度范围内观察数据的增长趋势意味着， $\Omega$  大于 0.1 大概是合理的。换句话说，银河系的周围可能存在如此巨大的晕，即使是一个双星的许多轨道也未能包括全部质量。

如果这是真的且  $\Omega$  确实大于 0.1，那么我们有一个问题。宇宙物质主要不可能是重子。

可供选择的解答，包括有质量的中微子。正在进行检验这种可能性的实验。中微子质量可以非常小 (几十 eV 的量级)。但由于有那么多的中微子 (约和光子一样多或比重子多  $10^{10}$  倍)，如果中微子只有一个 eV 的质量，它贡献给宇宙的质量就比重子多。如果证明了有质量的中微子不存在，那么还可设想可能存在其它“微子”如引力微子 (gravitinos) 和光微子 (photinos) 可以贡献质量，但是最近我们已经指明，仅当其它“微子”在相互作用中像中微子且质量是几十 eV 才行。最近的实验不足以有力地支持这个有质量中微子的选择。为此我们只需要有质量的中微子具有 20 ~ 30 eV 的质量。苏联的氚终点实验宣称电子中微子的质量在这个范围内。但是即使这个质量被证明是小于 1 eV，但总可能是在宇宙中占主导地位的  $\tau$  中微子。检验这个质量可能性的最好方法是通过  $\tau$  中微子和电子及  $\mu$  粒子的混杂。但是这类实验只能给出质量差平方和混杂角的组合的极限。因此如果混杂角足够小，质量差的严格的限制总可以消去。

另一个在考虑的可能性是，认为额外的质量不是来自于一种微小的基本粒子，而是来自于黑洞。普通大黑洞 (太阳质量) 不行。

这些大黑洞在核聚合时期仍是重子，所以它们的质量已经包括在我们所估算的核聚合物之内了。

随后的建议是观察小黑洞，但是如我所指出的，Hawking 预言过低于一个一定大小的黑洞将蒸发掉。所以我们不得不观察处于一个“窄”的质量区， $10^{16} \sim 10^{33} \text{g}$  的黑洞。

如果看起来这个区域并不那么窄，考虑两种产生黑洞的标准方法：(1) 星球崩溃，产生大黑洞，(2) 在普朗克时间的相变给出普朗克质量( $10^{-5} \text{g}$ ) 黑洞，但是我们已有另外的方法形成质量正好在上述质量区的黑洞。在 Weinberg—Salam 相变及夸克—重子相变的时刻，宇宙地平线(这个区域包含的物质具有最大的因果联系) 的质量约为一个行星的质量。例如在夸克—重子相变时强色规范相互作用会生成直径为 1 米质量和木星相等的黑洞，它们不是由于引力成团而是由于相变中的相互作用生成的。当通过有可能在实验室中产生夸克物质的极高能量的重离子碰撞，去研究夸克物质并更多地了解这些相变的特性时，我们应该有可能检验这些思想、同样地我们可以通过 W 和 Z 实验来了解 Weinberg—Salam 相变。

如果我们对于这些相变的性质的估计是正确的，这些相变应该产生一些引星质量的黑洞。它们是否有可能按适当的方式聚集成团成为黑暗物质，是目前正在研究的一个问题。

### 膨胀论

最后让我们讨论一下膨胀论——一个看来可以解决早期宇宙大量问题的激动人心的新思想：

► 地平线问题——为什么在不同方向上宇宙是相同的，而它们看来并不存在因果联系？

► 平坦性问题——为什么宇宙寿命长于  $10^{43}$  秒？并且为什么  $\Omega$  一开始会如此地靠近

于 1 (准确到小数点后五十位)，而我们过了 150 亿年之后，今天仍不知道宇宙是开放的还是闭合的？

► 磁单极子问题——所有的磁单极子都上哪儿去了？

► 我们如何得到了构成银河系的物质块？

首先由 Alan Guth 建议的答案是在大统一纪元，宇宙处于伪真空的状态。在这个状态，即使不存在任何物质，空间能量密度也非常之大，如果真的是这样，那么伪真空本身会引起膨胀(见图5)。但它引起的是按时间指数增长的膨胀而不是普通的幂指数增长。在这样飞速膨胀中，我们前面谈过的包含微黑洞的泡泡任一残留部分，空间的任一微小部分，到今天均会膨胀到像我们宇宙一样大。因为空间的每一微小部分在膨胀之前是存在因果联系的，于是地平线问题消失了。一开始这些微小区域的每件事物都是平坦的，所以当它们膨胀到像宇宙这么大时， $\Omega$  仍然严格等于 1——平坦性问题解决了。膨胀极大地降低了磁单极子的密度，使得膨胀之后在整个可见宇宙范围内只有大约一个磁单极子了。如 Michael

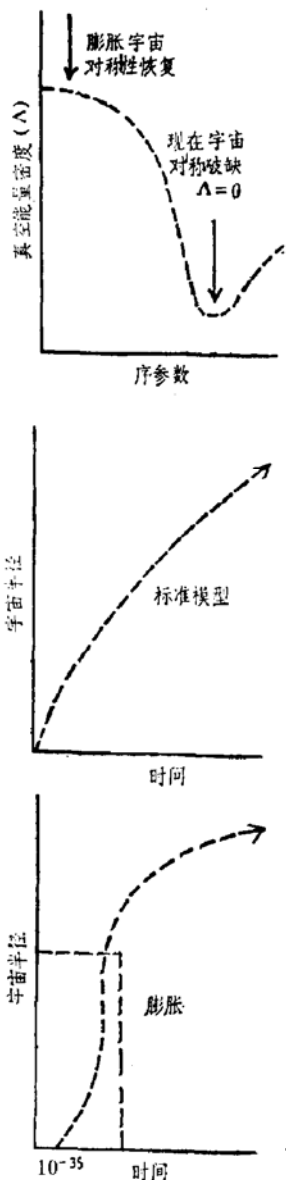


图5 膨胀理论认为在大统一纪元真空的能量密度并不是零(像现在的宇宙)，在相变过程中它大到可以使宇宙按指数率膨胀开去(比较下面两张图的膨胀率)，



urner所指出的，以后由于碰撞还可能产生一些。但是我们所关心的原始磁单极子也许由于膨胀散开而只剩下了一个（指可见宇宙范围内）。取决于是如何出现的这样一个相变，可能有些团块和子子，因为相变从来都不是彻底平滑的。出现的这些团块和子子可能变成我们的银河系。

可见膨胀是个非常妙的思想。不幸的是它导致一个新的问题：你怎样去终止膨胀呢？膨胀似乎可以解决一切问题——它给我们同类性(homogeneity)，平坦性，丢掉磁单极子，有团块以形成银河等等。但问题是这样一来宇宙的各部分正迅速地相互离开着。现在我们经过相变由大统一相达到我们生活在其中的更普通的宇宙[ $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ ]。普通空间是不膨胀的三维空间，且其中真空是没有能量的。当宇宙经历这个相变时，新相的泡在膨胀着的旧相中形成，为使相变完成，这些新相泡要生长并逐渐合并最后占据全空间，不幸的是这些泡相互高速地膨胀开去而泡壁的膨胀速度没有泡相互离开的速度大，所以相变永远不可能完成。

幸好有一个解决办法。这就是我们是生活在一个单泡中。真实情况要比这复杂些。你必须设想一种特殊类型的相变以使得一个单泡看起来就像我们的宇宙，因为通常一个泡不会包含大致在我们宇宙中我们所看到的那么多粒子。但是如果我们的生活在一个单泡中，那么当然另外的泡是在其它地方了。

(上接33页)

果是高压端部表面、端部两头以及邻近的均压环上的电场强度降低了，减少了打火的可能，从而使端电压可以增加2到3兆伏。

#### IV、结束语

超大型的串列静电加速器陆续建成与出束。它们设计精湛，结构复杂而紧凑，性能稳定可靠。除端电压指标尚未达到设计指标

这将导致不同于我们以前所具有的关于宇宙的哲学观念（当然我们能够了解的宇宙看起来仍是一样的，只不过它是嵌镶在大且丰富得多的多维流形中）。

为了证实这类思想，我们确实需要去理解大统一或超大统一理论。我们必须通过许多不同的途径去深入探索这个问题——寻找磁单极子，质子衰变，中子的电偶极矩等等。膨胀理论特别预言 $\Omega$ 严格等于1而本底宇宙磁单极子有效密度应该为0。

#### 哲学观念的改变

近几年来在粒子物理和天文物理的边缘学科的巨大发展，已经改变了我们对事物的哲学观念。500年来我们知道地球不是太阳系的中心。随后Harlon Shapley告诉我们，我们的太阳不是银河的中心——而在边缘上。Hubble和另外一些人又告诉我们银河并不在宇宙的中心。其实，他们的话相当于是说并不存在空间中心——所有的点都是等价的。然而现在如果我们相信 $\Omega$ 大于0.1，我们离中心就更远了，而且我们甚至不是宇宙主要物质的构成者。然后按照膨胀理论我们也并不是唯一的泡。我把这个思想叫做极端哥白尼原理。

[敬业译自Phys.Today V36, No 4

(1983)27—33, 亚天校]

外，其它方面皆可称之为串列静电加速器技术当代之顶峰。与之同时在改进现有加速器使端电压不断提高的方面也取得了满意的结果，其成就几乎不亚于新建诸台大型加速器，并于近期可望能稳定运行在18兆伏电压之上。

离子源的新进展使串列静压加速器有可能成为质子同步回旋甚至对撞机的注入器。

虽则会议开得频繁但每次会议都有新的进展，确也是件可喜可贺之事。