

仅供个人阅读研究所用，不得用于商业或其他非法目的。切勿在他处转发！

本电子书制作者

# 神秘的 宇宙—— 从大爆炸到毁灭

[德]哈拉尔德·弗里切 著

倪永华 译 吴苏燕 审校



宇航出版社

# 神秘的宇宙—— 从大爆炸到毁灭

〔德〕 哈拉尔德·弗里切 著

倪永华 译

吴苏燕 审校

宇航出版社

**(京) 新登字181号**

**内 容 简 介**

本书以通俗易懂的语言描述了宇宙从大爆炸到毁灭的全部过程，同时介绍了人类在这一过程中所进行的不懈的探索和取得的巨大成就，并从哲学角度讨论了人生的价值和意义。

阅读本书后，读者可对宇宙发展的全部过程有一大致了解，并可得知，人类本身也是这一过程的产物，有义务为其发展作出贡献。

本书适合于具有中等文化水平以上的读者阅读。

Vom Urknall zum Zerfall

Die Welt zwischen Anfang und Ende

Harald Fritzsch

Neuausgabe 1987

R.Piper & Co. Verlag, München 1983

**神秘的宇宙——从大爆炸到毁灭**

[德] 哈拉尔德·弗里切 著

倪永华 译 吴苏燕 审校

责任编辑：潘 毅

\*

宇航出版社出版

北京和平里滨河路1号 邮政编码100013

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京密云华都印刷厂印刷

\*

开本：787×1092 1/32 印张：5.875 字数：135千字

1992年5月第1版第1次印刷 印数：1~4000册

ISBN 7-80034-445-X/V·086 定价：4.30元

## 序

宇宙之初，万物皆无，既没有时间、空间、恒星、行星、岩石，也没有植物、动物和人类。然而，一切均从无到有，由电子、夸克及其它粒子构成的炽热等离子体与空间和时间一道来到了宇宙。随着等离子体的迅速冷却，形成了质子、中子、原子核、原子、恒星、星系和行星，最后在许多太阳系中产生了生命，其中包括一颗碰巧位于银河系边缘旋臂上的行星——地球。经过了大约40亿年的变迁，在地球上由最简单的生物进化成了植物、动物和人类。

最初，人类认为自己生活在宇宙的中心，似乎整个宇宙是为了人类而存在的。于是，人类虚构出了上帝，上帝便按自己的旨意统治世界，并赐予人类生存的意义。人类当时的世界极小，小得如同一块绷紧在天穹的盾牌。

大约在宇宙形成200亿年后，即从20世纪中叶起，人类开始系统地研究其周围环境及自身。到了20世纪末，人类已经能用简单的方法解释这奇妙的世界，知道宇宙间的一切物质，包括人类自己都是由两种最小的东西：夸克和电子组成；同时也知道，人类并非生活在宇宙的中心，而是生活在不起眼的银河系边缘，并意识到，他们不是宇宙中唯一存在的生命。太空间的其它星系中也有生命，只是人类未与这些邻居们来往而已。此外，人类本身也是一种极为复杂的发展过程

的产物，有着历史变迁及偶然与必然交替变化的烙印。人们懂得，将来不能依靠上帝，得自己掌握自身的命运。继而人们开始意识到，宇宙中没有有关生命意义的现成答案，这些问题得由人类自己来回答。

人们懂得，必须在自己生存期间找到自己存在的意义，并应不断寻求这个问题的答案。

## 前 言

人类已有数万年的文明史，但科学家们系统地研究自然界和宇宙中发生的一切过程是近几百年才开始的。这些研究成果的应用，使人类的生活发生了根本的变化。

今天，现代物理学、天体物理学、化学和生物学满足了人们深入了解宇宙结构的愿望。在近几年至几十年间，物理学家和天体物理学家借助于大型加速器和天文望远镜成功地观察到了宇宙的某些变化过程，这些过程都是发生在200亿年前，即宇宙诞生初期。当然，人类自己也是这些变化过程的一部分。值得一提的是，直到现在只是少数人能完全理解宇宙的这些发展过程。因此这些人准备设计一张宇宙图，除了要更多地了解生命形成前宇宙的发展过程外，还要尽可能地了解近数十年间宇宙所发生的一切过程。

毋庸置疑，自然科学和技术的广泛应用给社会群体的物质生活带来了益处，这在几百年前是不敢想象的。同样，这种发展也必然伴随着它的不利因素，即使人们已经对旧的传统观念、价值和标准产生怀疑。当今世界，温饱感、不安全感 and 惧怕心理正在人类中迅速蔓延。许多人，特别是年青人，他们对自然科学一知半解，对未来失去信心，感到前途渺茫。因此，应向年青人传授更多的自然科学知识，使他们为宇宙的发展作出自己应有的贡献。

鉴于当今自然科学和技术发展状况，人们肯定能够找出宇宙发展的根源。今天，自然科学派生出许多小的领域，因此，谁也不敢说，他已掌握了某个领域的全部知识。就目前来说，还没有一个声称能够掌握全部物理学知识的物理学家。于是，新出现了原子物理学家、分子物理学家、固体物理学家和天体物理学家。然而，这种派生往往会使人们得出一种错误概念，即人们无法获得一张全部物理学相干图。正如人们常说的那样，现代自然科学世界庞大无比，似乎无法设计一张可纵观全部的宇宙图。为此，人们应对局部所取得的成就感到欣慰。我认为，近几十年来由基本粒子物理学和天体物理学界提出的不同观点是正确的，尤其是关于物质和宇宙结构的新观点，即宇宙结构并不是十分复杂，至少是可以了解的观点。

500年前人类绘制出了第一张世界地图，图上标有陆地和海洋，当然，这张哥伦布时代的地图很不完善，有许多缺陷，有些陆地未标在上面，但这一事实还是非常令人敬佩的，对后来的发展具有重大的意义。今天，随着自然科学的进步，使得人们对宇宙的了解日益加深，因此，人们才能像登山队员一样，清晨登上山峰知道自己所处的位置。

有一点是明确的：如果人们能解开自然之谜，那人类本身的问题便可迎刃而解了。对世界上没有人类的存在世界便失去意义这个问题，又有谁能给予评价呢？

自然科学最重要的观点之一是：在自然发展过程中，每个人都在发挥着作用，都是宇宙的一分子，不会被宇宙遗弃；同时人们又都是漫长发展中的产物，也是历史的见证人。我相信，这一观点不仅会使人们感到满足，而且还会使人们感

到骄傲。我坚信，人们能从这一观点中为自身的社会获取重要的价值标准。

本书介绍了宇宙形成和发展的知识，这对人们了解当今信息爆炸和难以找到自身所处位置的时代是十分有益的。我在本书中着重介绍了物理学和宇宙学方面的重要论点。对我来说，最棘手的问题是要认真挑选出哪些是该写的和哪些是不该写的内容。因此，本书没有更多地讨论爱因斯坦的相对论，这倒不是说它不重要，只是它涉及的宇宙学方面的理论太多，我们没有必要对它的细节深入了解。然而，我较详细地介绍了有关物质结构的量子力学，因为我认为，要了解宇宙，就必须懂得量子现象。

要了解200亿年前的宇宙大爆炸和宇宙为什么是人们所观察到的这个样子，就必须了解宇宙的大致结构和物质的结构。本书前三章介绍了宇宙的形成，接着讨论了宇宙的未来，后三章简单介绍了哲学和宗教与自然科学的关系。

对本书中涉及到的许多问题，我请教了慕尼黑大学、马克普朗物理和天体物理研究所、汉堡DESY研究中心和日内瓦欧洲核研究中心的同仁们，在此我表示衷心的感谢。另外，我还要感谢旧金山市自然保护局M·彼得局长，克劳斯先生、雷纳特太太、克劳斯·斯塔特先生及为本书出版给予指导的乌韦斯蒂劳先生。

哈拉尔德·弗里切  
1983年1月于慕尼黑

## 译 者 的 话

《神秘的宇宙——从大爆炸到毁灭》为一本科普读物，作者以通俗生动的语言，采用对话的方式讨论了宇宙发展的全部过程，并用简单的例子阐述了物质的形成与毁灭。读者能从本读物中了解到宇宙发展的来龙去脉。

希望读者能从本读物中获得有益的知识，并能从中吸取力量，为现代科学事业作出贡献。

本读物在翻译过程中对书中某些不合我国国情的章节作了删节，并对个别部分的错误作了订正。由于本人水平有限，难免有误译之处，希望广大读者给予指正。

# 目 录

序.....	( 1 )
前言.....	( 3 )
第一章 银河星系图.....	( 7 )
第二章 物体的量.....	( 24 )
第三章 量子力学.....	( 43 )
第四章 神秘的力场.....	( 55 )
第五章 物质与反物质.....	( 67 )
第六章 夸克——宇宙原始物质.....	( 80 )
第七章 质子的衰变与统一的物理.....	( 99 )
第八章 魔炉.....	(112)
第九章 可以探索的宇宙.....	(123)
第十章 爆炸的宇宙.....	(133)
第十一章 造物的余音.....	(139)
第十二章 宇宙发展的八个阶段.....	(143)
第十三章 世界末日.....	(153)
第十四章 矛盾的统一.....	(164)
第十五章 精神宇宙.....	(173)
第十六章 结尾.....	(179)

## 第一章 银河星系图

在大学时代，我曾利用一个暑假驾舟周游了匈牙利。环普拉顿湖航行后，我便进入希欧河。这是一条连接普拉顿湖和多瑙河的内河，它流经100多千米的匈牙利平原，在包姚市附近进入多瑙河。我原打算离开普拉顿湖后，在希欧河岸边支帐篷宿营，以便第二天早晨继续向多瑙河进发。可河岸陡峭，我不得不放弃这一打算，连夜向多瑙河进发，水流很好，估计第二天早晨便可赶到多瑙河入口处。

天气异常晴朗，没有月亮，头顶上银河鹊桥中点点星光陪伴着我度过这炎热的夏夜，并为我指示着方向。在静静的河水上我悠闲地驾着小舟，顺流而下，小船几乎用不着划动，只需在掌握方向时划上几桨，因而我能够聚精会神地观察这夏夜的星空。

由北向南延伸的银河星带，便是人们熟知的银河系，它拥有几千亿颗不同大小的星星。太阳就是这个星系中的一颗恒星，它是这个星系边缘无数颗恒星中的一颗，并非特别显眼。人们居住的星系呈盘状，观察银河星带时，便能看到这个盘状平面，银河星系就在这圆盘之中。

我在这次驾舟旅行中，观察到了银河星带在空中缓慢地移动这一现象，就好像白天的太阳由东向西移动那样。在东边可用肉眼观察到几颗邻近太阳的恒星，它们也属于人们居

住的星系。再往前就什么也没有了，因为那是星系际空间。  
在东边的仙女座星云位置上，约在 $\beta$ 星的上方，见图1-1，

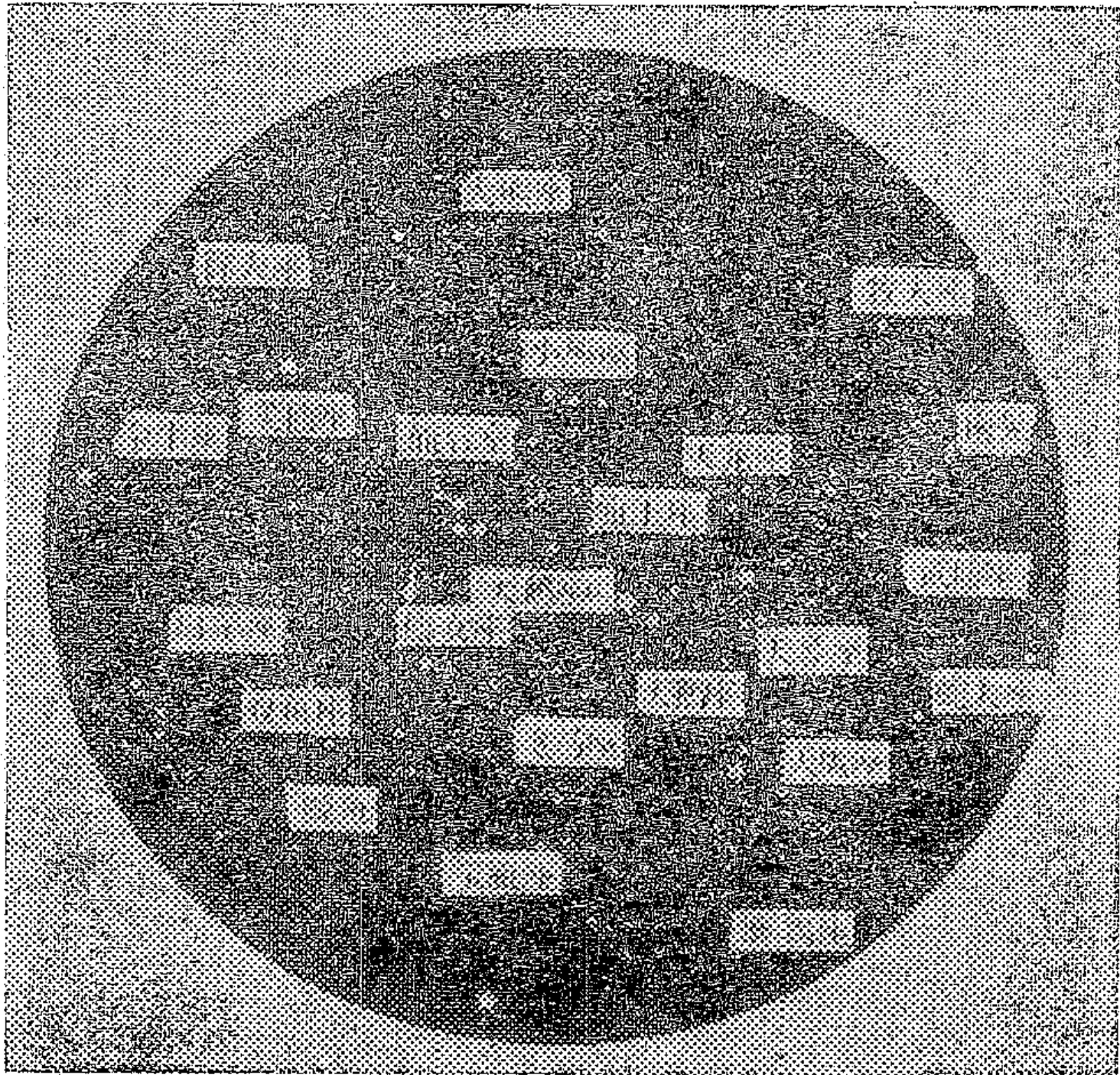


图1-1 局部星空图  
箭头所指位置为仙女座星云

我看到的小块漫射光斑，就是仙女座星云。古代，人们对这种星相感到吃惊，这种现象在南部的一些国家，特别是沙漠地带能用肉眼看到。然而在北部，如中欧，每年除几个夜晚外，平时很难用肉眼观察到仙女座星云。此外，这种现象只有在没有非自然光（如路灯）干扰的情况下才能观察到。

今天人们知道，北部星空唯一能用肉眼观察到的仙女座

星云，不属于银河星系。此外，人们还能看到另一个称之为“宇宙之岛”的类似银河系的星系，见图1-2。

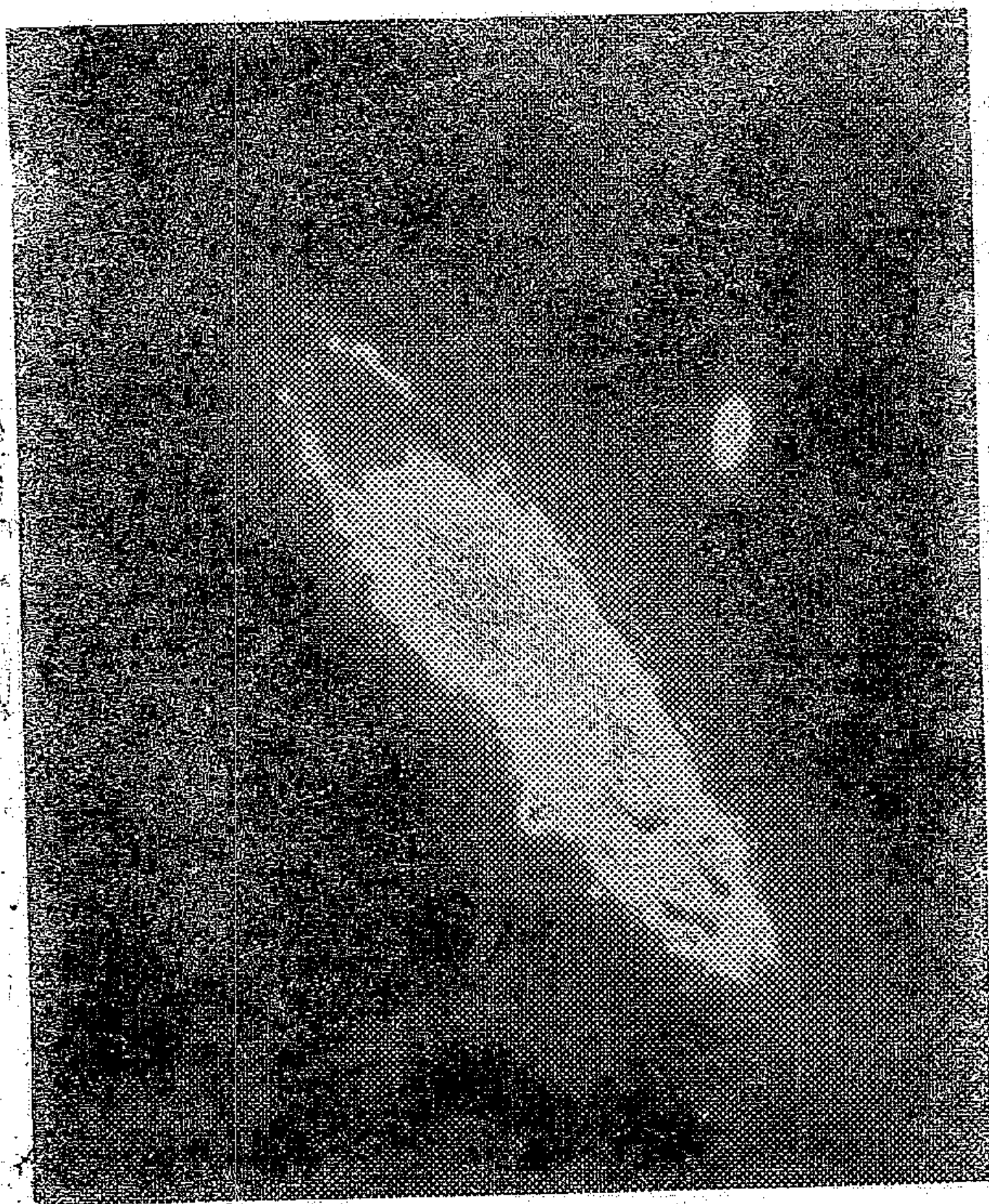


图1-2 仙女座星云图

它距地球约250<sup>⊖</sup>万光年。假设它也像人们居住的银河系那样有成百上千个太阳系，那其中也许会有生物居住的行星。

⊖ 原文如此，应为约200万光年——译注。

整整一个晚上，我对星星的移动进行了跟踪，特别跟踪了仙女座星云的运动。我总觉得，静静的星空似乎想告诉我，它们想在地球上寻找什么，可又什么也没有找到。

现在你可以想象一下，你乘坐的太空船离太阳系很远，你从太空船内往外看到的太阳只是一个由数十亿颗银河系的恒星环抱着的大火球。这时你便会发现，你正处于宇宙间一个显著位置，即一个星系的中央。

一般说来，一名观察者如果站在宇宙深处，是无缘靠近银河系的，因为宇宙大部分都是空旷的空间。但“生活”在某一星系近处的观察者便可近水楼台。

因为人们居住的地球不是位于银河系的中央，所以人们能领略到星空奇观。假如地球和太阳系都在宇宙别的什么地方，那情况就不一样了。我们将被星系际空间的黑夜笼罩，只有用复杂的天文望远镜才能观察到远处微弱闪烁的河外星系。

星系际空间纵深处是那么的冷酷无情，人们宁愿住在自己的“家乡”——银河系。

观察银河星系就像看一片树林那样，在高大的树木前什么也看不到。在地球上能用肉眼看得见所有属于银河星系的恒星，但是，很难识别银河星系的结构，原因是人们位于其中。为此，有必要在银河星系以外的一个点上拍摄一张银河星系的照片。遗憾的是他们无法将一艘装备摄像机的太空船送到这个点上去。为了识别银河星系的结构，人们必须逐步查明自身所处的这个星系的结构。

今天，人们知道，人们所处的星系看起来如同邻近的那个星系，即仙女座星云（见图1-2）。

银河星系呈盘状，太阳位于盘的边缘。那么银河中到底拥有多少颗星星呢？谁也数不清（尽管有许多情人在公园的长椅上数过）。粗略估计，约有近千亿颗星在天空闪烁，这就是说，太阳有上千亿个伙伴，其中许多伙伴的质量要比它大上百倍，当然也有比它小的。

在银河系的圆盘上，星星的分布是不均匀的，其中大部分集中在所谓的旋臂上，中心以旋涡状向外延伸。因此，银河星系看上去又像一个巨大的车轮，轮辐大致呈旋涡状。为此，人们把银河星系和仙女座星系称之为旋涡星系，见图1-3。这种叫法很有意思，除此之外宇宙中还有许多形状各异的星系。

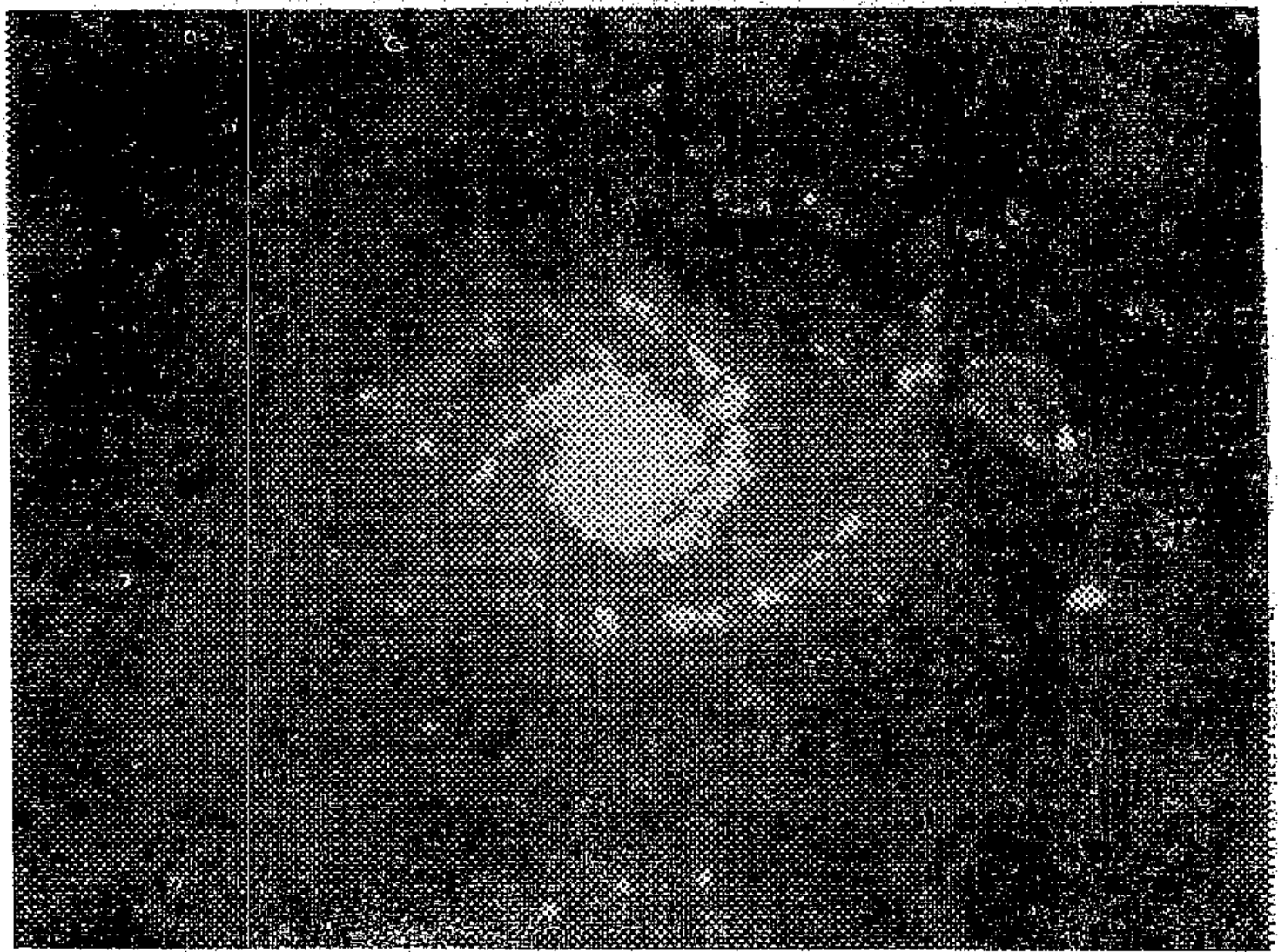


图1-3 特别引人注目的旋涡星系图

显然，夜空中的星星闪烁状态各异，这又是怎么回事

呢？如果人们位于星系的边缘，那么人们根本不可能从星系实际空间向外或向圆盘内观察。首先看到的只能是靠近太阳的那些恒星，即圆盘边缘的恒星。但是在地球上，人们能够看到由近几万亿颗恒星组成的圆盘——银河星带。如果你在无月光的晴朗夜空观察银河星带，我建议别忘了看一下人马座，那就是银河星系的中心，在那里聚集着许多老资格的恒星，见图1-4。

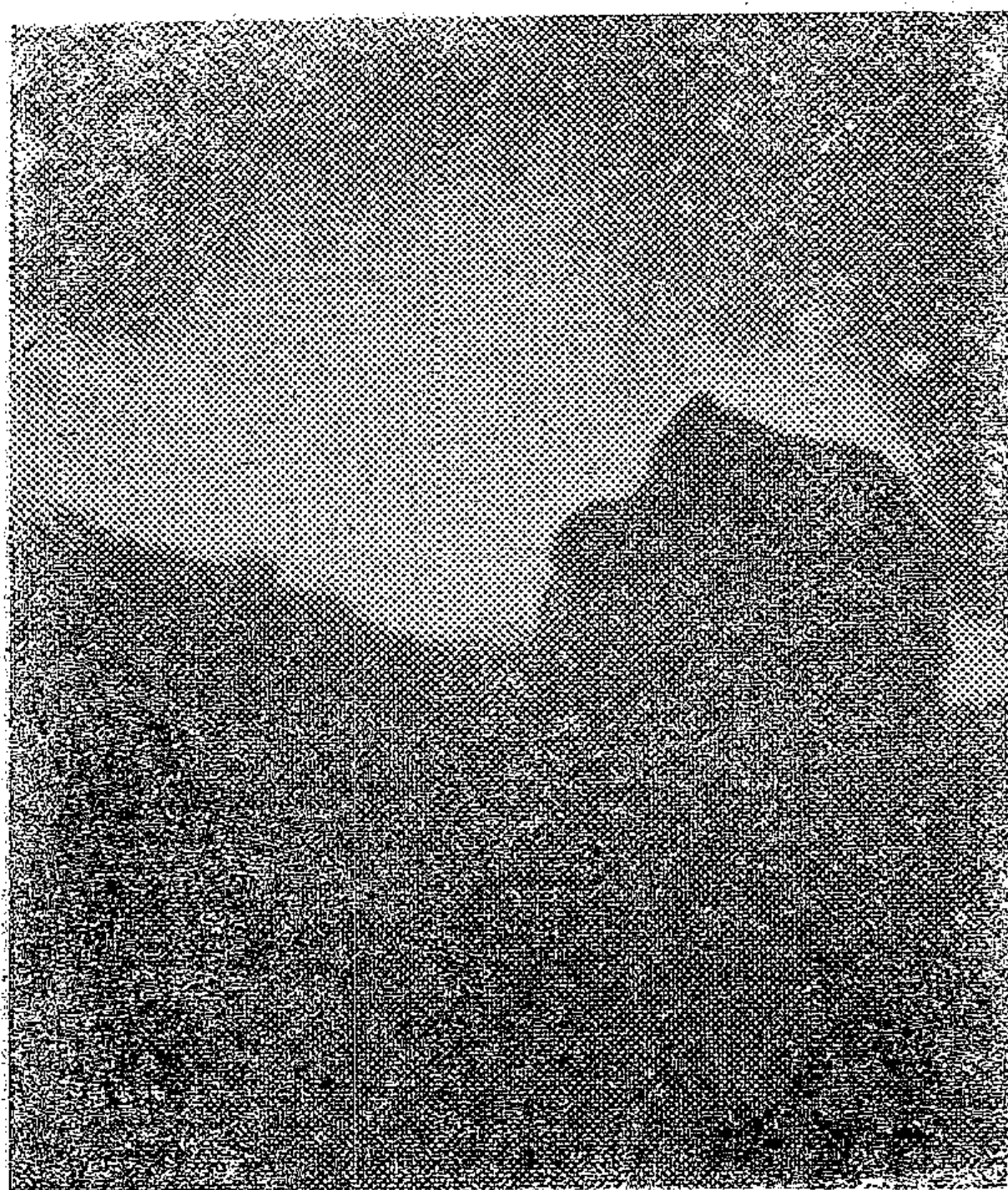


图1-4 猎户座马头云

从图中可清晰地看到由暗向亮的过渡，亮区是年青的恒星发出的光。

在河外星系中，星与星之间的距离很远，用日常生活中

的尺度来衡量，简直无法想象。因此，人们找到了光年这个度量单位。光每秒行程为30万千米，约相当于地球到月亮的距离。这就是说，从伦敦到纽约，一个光信号或无线电信号只需要百万分之一秒便可到达。太阳光只需8分钟就能照射到地球，即太阳到地球的距离为8光分。

一个光年的距离为10 000 000 000 000千米（ $10^{13}$ 千米），这是一个相当大的距离。因此，用光年来描述与太阳之间和与人类邻近的恒星之间的距离是最适合不过的。例如，天边那颗最亮的天狼星距地球约10光年。为此，人们便把光确定的单位作为天文度量单位。然而，光年不是时间单位，而是长度单位。如果说，斯图加特到慕尼黑汽车得开1小时，那么这里的车小时不是时间单位，而是汽车每小时所行驶的里程（100千米）。天文学采用了类似的长度单位，只是光速比车速更快而已。

就天文物体而言，人们一般不会忽视它们距地球间光行驶所需要的时间。人们观察到一个恒星，可这个恒星并不是现在所看到的恒星，而是许多年前发出这些光时的恒星。因此，人们现在（1983年）看到天狼星的光还是理查德·尼克松当总统时发出的光。一颗位于银河系中心的恒星，需3万年才能将光传到地球上来。当这颗恒星发光时，西欧人还过着原始的洞穴生活。

再看看仙女座星云发出的微光，它约在200万年前便已离开仙女座星系，当时地球上还没有人类呢。因此，人们今天无法知道，仙女座星系现在是什么样子，它现在发出的光要在200万年后才能到达地球。

约200万年前，仙女座星系中心区附近的一颗恒星发生

了爆炸。这次爆炸称之为“超级爆炸”，它放射出大量电磁辐射，大部分是以可见光形式辐射的。这次爆炸发出的光，大约用了6万年的时间方穿过仙女座星系，而要测量仙女座星系和银河系之间的星际空间，需约200万光年。目前，拉美西斯II的光波已接近银河星系边缘。1885年8月20日到达地球的光波被天文学家恩斯特·哈特维希首先发现。因此，就天文观察而言，无论是用肉眼还是用先进的天文望远镜，不仅要观察远离人们的星体，同时还要观察过去的星体。人们对宇宙观察得愈深，也就对它的过去了解得愈透。人们今天用先进的天文望远镜正在观察的许多恒星和星系都已不存在了，有些已经冷却，有些以巨大爆炸形式已经结束了其生命。所有“活着”的恒星都发着光，这些光正忙着穿越星际空间的深渊。

今天，从地球上发出的光和无线电信号，得花几百万年的时间才能穿过宇宙，也许在某一时期会被某一行星上的生物接收到，但到那时，或许太阳系和人类文明早已不存在了。当别的行星上的生物接收到人们的部分电视节目时，他们肯定会很吃惊，地球上的居民怎么会对肥皂粉的质量是那么的感兴趣呢？在几百万年以后，也许连人类自己也会感到可笑。

仙女座星系中一个行星上的居民也许经常观察星云的散射光斑，他们也会用先进的仪器，像人们用现代天文辅助手段研究仙女座星系的结构那样，认真研究人们所居住星系的结构。

16世纪初，德国天文学家西蒙·马里乌斯已将望远镜对准仙女座光斑。他认为：“夜间用牛角观察这块光斑就像一

支燃烧的蜡烛。”但这么解释还不能说明仙女座星云为什么比银河星系大。仙女座星系约有3000亿颗星星，地球上居民每人差不多可以分到100颗。

德国天文学家瓦尔特·巴德为研究仙女座星系结构做出了贡献。二次大战期间，巴德在加利福尼亚州的芒特威尔逊天文台工作。当时，他从欧洲战争中获益非浅。首先，作为在美军服役的德国籍士兵他是自由的，否则他必须服完兵役。为此，他是芒特威尔逊天文台唯一使用百英寸反射望远镜的人。当时，为防日本飞机空袭，洛杉矶实行灯火管制，而这正是巴德拍摄仙女座星系照片的好时机。

人们只要看看仙女座星系的照片，就可以发现它是由高亮度的中心区域和一般亮度的外围组成（用肉眼和双筒望远镜能看到亮的中心区，外围只能用较大的天文望远镜观察到）。巴德认为：中心亮区聚集的恒星不仅非常多，而且排列得特别紧凑，因此无散射光。他还认为：中心区有一颗约12亿岁的恒星。

在详细测量后，巴德确认：在仙女座星系有巨大的气体和尘埃云团（特别稀薄的氦气云团），其外围也像银河系一样。在云团外人们经常能看到亮的、发出蓝光的恒星，它们能发出巨大的能量，否则人们根本无法看到。它们位于巨大的气体尘埃云团附近，在云团中还不时地产生出由气体和尘埃聚集而成的新星。

研究仙女座星系内部结构，最关键的问题是发展射电天文学，因为用它可以研究仙女座星系的氢分布情况。此外，原子物理的独特之处也起到重大作用。氢气产生的无线电波长为21厘米，这种波要比普通的波短得多，（例如：电台在

49米波段范围内发射的波波长为 49 米)。用射电望远镜可以相当精确地测出仙女座星系的氢分布情况。另外，人们还发现，仙女座星系的氢云团向外空间延伸很多，这是人们根据星星分布情况猜测到的。即使人们在距河外星系中心以外10万光年的地方也能测出星系上的氢气。

前面已经说过，人们用肉眼和双筒望远镜只能观察到仙女座星系的中心亮区。可以想象，要是连外围暗区也能观察到的话，那么人们在空中欣赏到的仙女座星系将是多么有趣呀！然而，即使在这种情况下观察到的仙女座星系也是个庞然大物，其直径相当于月球的3倍。

今天，人们知道银河系与仙女座星系十分相似，均为漩涡状结构。生活在别的星球上的观察者也许会把银河系与仙女座星系说成是一对“双胞胎”。

只要观察一下晴朗的夜空就会发现，恒星与恒星之间有着明显的区别。除亮度各异外，颜色也不一样，有些恒星发出的光是红色的，可另一些恒星则发出蓝色的光，这就是说，恒星与恒星之间差别很大。

事实确是如此，但恒星都是由同样的物质构成的，即由人们在地球上所发现的元素构成，由夸克和电子构成。3个夸克聚集在一起形成1个粒子，即质子和氢原子核。

在万有引力的影响下，稀薄的氢气层也能互相吸引，产生热量。氢气的密度和温度高得能使原子核相互熔化，同时，以电磁辐射及可见光形式释放出大量能量。这种核反应过程均在恒星内部完成，核反应释放的辐射必须找到一条能穿透核物质的通道。一般来说，该过程可持续几百万年。人们今天所看到的太阳光也经历过如此漫长的过程。因此，太

阳内部的这种核反应是在几百万年前完成的。

恒星作用于其物质的引力具有物质聚集的倾向。然而，恒星内部产生的辐射又会将其物质驱散，这样作用于物质的两个力之间会达到平衡。恒星的大小、辐射颜色、寿命等均是确定这种平衡的基本条件。

恒星包括太阳都是由核聚变，即原子核聚变获得能量的。氢弹就是应用了这一原理。氢弹的爆炸和恒星的燃烧之间的区别在于：引力束缚住恒星的物质，使燃烧过程保持稳定，但氢弹爆炸时则没有这种稳定性。

迄今为止，人们还无法控制原子的核聚变，但一旦成功，人们便能开发出大量的能源。人们今天还只能间接地获得核聚变能，即太阳能。如人们已能用直接方式（太阳能电站）和间接方式（油、煤炭和煤气）来获得能量。然而，最早的能量是由几百万年前太阳内部的原子核聚变产生的。

太阳是一个极普通的恒星，银河系中就拥有数十亿颗类似太阳的恒星。据天文学家推算，太阳的年龄约为45亿岁。天文计算出的大自然现象并非十分精确，遗憾的是，人们无法对太阳进行实验，即使在5亿年后仍然不行。所以人们只能局限于这种论据，即太阳，人们的行星系，包括地球是40至50亿年前才受“洗礼”的。

当然，人们也能估算出将来太阳会发生什么变化。幸运的是，在这50亿年间还没有发生过什么大事。太阳的大小和照射强度几乎没有变。然而太阳的大小和照射强度会逐步增大，大约在50亿年后，太阳将会增大到现在的100倍，照射强度将是现在的2000倍，它将变成一红色巨人（红巨星）。届时，人们现在生活的地球将被这个红色巨人毁灭，被太阳的

物质所吞噬。

现在，人们可以比较精确地预言太阳的末日。受引力的作用被太阳裹起的星球最终将聚集在一起，这样它便会衰变成一个与地球大小相似的白矮星，其物质强烈压缩，每立方厘米含有约1000千克的物质，但其表面还很炽热，最后慢慢冷却，由白色变成“黑色侏儒”（黑矮星），成为宇宙中到处游荡的流浪汉。到太阳变为“黑色侏儒”，即太阳死亡之时，需要一个相当漫长的过程，这一过程将在 $10^{14}$ 年后才能结束。然而，人们要问，宇宙到底有没有老化问题呢？关于这个问题，下面还将进行讨论。

太阳仅为银河系中上千亿恒星球中的一员，在银河系中观察到的其他恒星与太阳差异很大，有些恒星的年龄比太阳大一倍，可也有一些恒星比人类文明还要年轻；有些恒星的质量比太阳大许多倍，但也有一些用来装饰宇宙的可怜的小恒星甚至比地球还要小。

在银河系中，恒星与恒星之间的空间充满着气体和尘埃。尽管大部分宇宙均聚集在气体或尘埃云团之中，在这个空间里物质的密度仍很低，可是地球上实验室制造的真空中，每立方米的物质含量都大于星系中的物质云团的密度，原因是这些物质云团很大。假设，人们观察到一个边长为10光年的庞大立方体，但与星云的膨胀相比，这是一个极小的区域；再假设，在该区域内每立方厘米中有一个氢原子，这样便可很容易地计算出该空间的物质含量：质量为 $2 \times 10^{33}$ 克，几乎与太阳冷却后的质量相等。

同样，像仙女座一样，在银河系中，靠近巨大的气体和尘埃云团的地方可找到一些年轻的、发出蓝光的恒星，这些

恒星都是由引力将星际间物质聚集而成的。这样，在相对小的空间偶尔也有大量的原子或分子存在。通过万有引力，即单个原子之间的吸引力，将这些原子拢到一起，同时，还能捕捉到其它原子，这样，引力增强，就像滚雪球那样吸住更多的原子，最后，当足够量的原子紧紧地靠在一起时，便形成一个星球。这就是说，星球是不断由星际物质聚集而诞生出来的。星际云团就如同一座巨大的星球“生产厂”。

太阳距银河系中心的距离约为3万光年，靠近巨大的气体和尘埃云团，在银河系旋臂上。猎户座和人马座也有类似的旋臂。太阳位于猎户座旋臂的内侧，见图1-5。

遗憾的是，靠近太阳的气体 and 尘埃云团挡住了人们几个方向的观测视线，尤其是人们观察银河系内部和银河中心的视线，因此只有借助射电天文学才能获取这些部位的信息。迄今为止，人们所掌握的知识还不能确切地说出银星系中心部位到底是什么样子，那里正在发生什么事情。

某些天体物理学家认为，在银河系的中心有一个或数个黑洞存在，有关黑洞存在的理论并不是新发现，这仅仅是爱因斯坦在第一次世界大战爆发后提出的相对论的正常结论。德国天文物理学家卡尔·施瓦茨希尔德因战争原因，卒于1916年，他在临死前认为：爱因斯坦的万有引力有一简单、但令人吃惊的答案。

这里，举一个例子：如果一个人站在地球表面往上扔一块石块，在一定的时间后，石块又会落到地面。往上的初始速度愈大，掉回地面的持续时间也就愈长。道理很简单，这是因为地球引力作用于石块的缘故，它迫使往上扔的石块速度减慢，改变其飞行方向，最后落回地球表面。

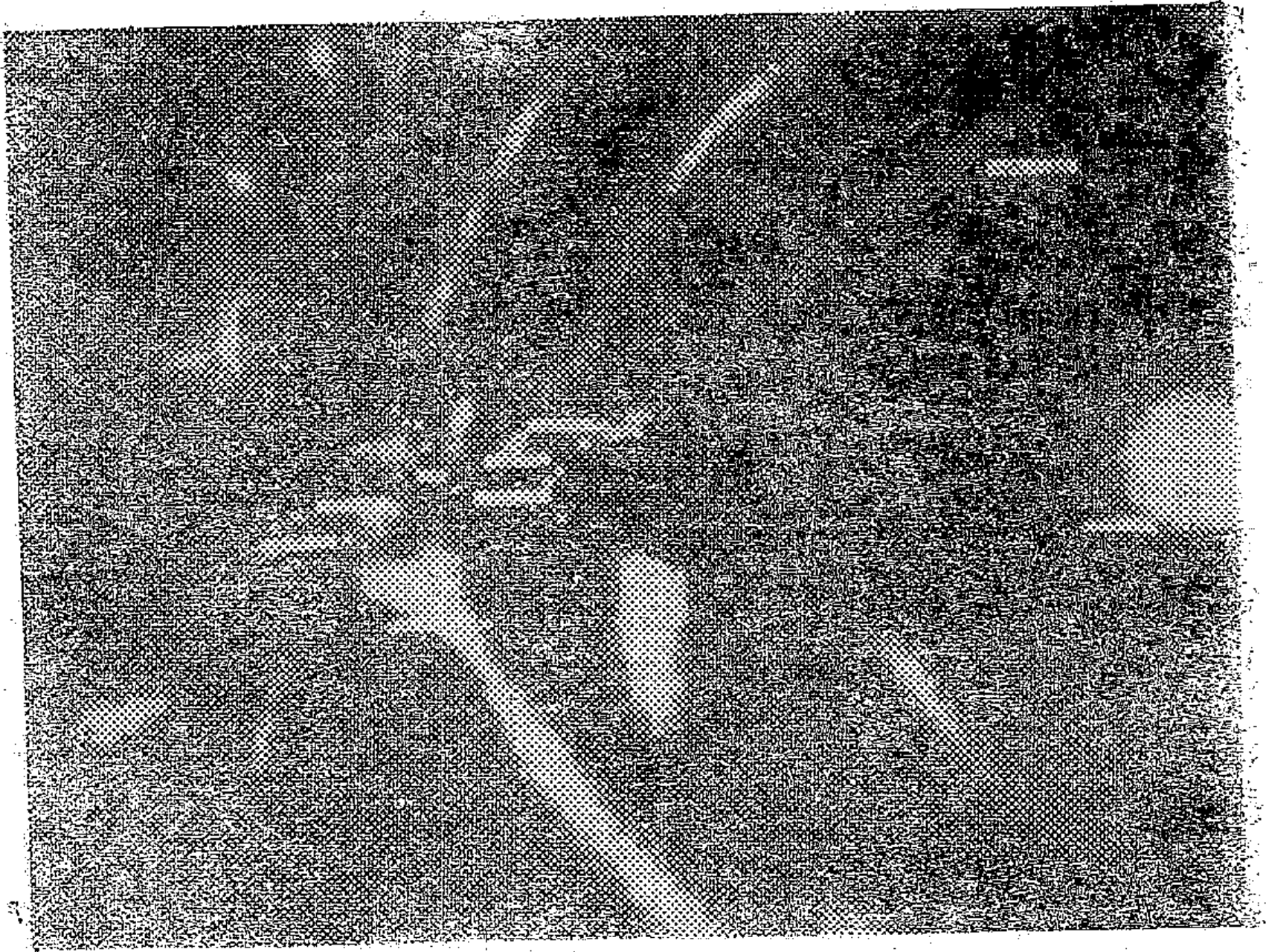


图1-5 星系略图

太阳位于银河星系旋臂内缘近处。从太阳处延伸出来的锥状截面与太阳位置无关，这只能表明一个事实，即因为黑色气体云团挡住了人们的视线，人们看不到这一区域。从图中可以看到，太阳位于巨大的气体和尘埃云附近。

现在，用手电筒的光柱来替代石块，当把手电的光柱往上照时，便会出现这样一种现象：手电产生的光波以光速向上，几秒钟后便可到达地球引力场区域，大约6小时后，到达太阳系边缘，此后便永远在宇宙中游荡。爱因斯坦万有引力的有趣预言是，光在其运行时不受地球引力场影响。但光

束穿过地球吸力运行时不断地损耗着能量。

在有地心吸力的情况下光会偏转，但是这种光偏效应极小，很难观察到。如果利用太阳的引力便容易观察些。在第一次世界大战结束后不久便有人观察到，太阳的引力能够使光束偏离其轨道，正好与爱因斯坦所预言的不谋而合。由英国天文学家所做的这项实验仅仅是这类试验的起步，它为爱因斯坦理论的准确性提供了进一步的依据。

当然，太阳使光偏转的程度取决于靠近太阳表面引力的强弱，引力愈强，光被激偏的方向就愈厉害。假设，能够任意将太阳物质压缩，若将太阳的物质压缩到一起，太阳的半径缩小，但同时其表面引力变大。现在再假设，能将太阳的半径压缩到3千米（施瓦茨希尔德半径），这时会产生出一种非常有趣的现象，太阳表面的引力大得使光离不开太阳。引力将光束引回，就像人们在地球表面上抛石块那样，太阳便成了一个黑洞，任何光束、无线电波都无法脱离黑洞，这样黑洞便成了一座理想的监狱。

自然界有黑洞吗？这个问题当然要看能否将物质压缩成以形成产生黑洞的条件，物理学家的答复很肯定：每个恒星只要它具有足够的质量（大于太阳的质量），随着时间的推移都会形成黑洞。在银河星系中也许有上万个或几百万个黑洞。

黑洞不能直接观察，但可通过其产生的引力来发现它。如果太阳是个黑洞（感谢上帝，它不是），那么太阳系的行星，包括地球都将像围绕真正的太阳那样运动。

黑洞不仅是一个理想的监狱，而且还是一个理想的垃圾场，要用它来存放核废料，是再合适不过了。因为它会毫不

犹豫地把经过它旁边的物质都吞噬掉。目前，世界上还没有一种力量能救起一艘陷入黑洞的太空船。然而，被黑洞吞噬掉的物质也并非不能观察到。当它们被黑洞吞噬之前会急剧变热，并放射出极强的伦琴（X射线）射线，人们将这种现象称为被捕捉住的物质在死亡前的呼叫。因此，人们可根据这种射线和黑洞产生的引力，准确地识别黑洞。自1970年以来，天体物理学家已在银河系中发现为数不少的黑洞，例如天鹅座星团中的天鹅座X-1伦琴射线辐射源。

假如在银河系中隐藏一个或数个黑洞，那么人们对银河系中观察到的有些现象就不难理解了。因为银河星系中有着许许多多的恒星，气体和尘埃云团，所以黑洞食物充裕，它象莫洛赫神<sup>⊖</sup>那样吞噬食物，在吞噬的同时，释放出大量的能量，即X射线和物质射线。

近几百年间，天文学家和天体物理学家告诉了人们，在银河系所处的位置——猎户座旋臂边缘，距银河系中心约3万光年，银河系正像一巨大的车轮在缓慢地沿银河中心旋转着。太阳绕银河中心一圈需2.5亿年，相当于人类文明史的100倍。

银河系是人类之家，人们从这里观察到了周围发生的一切。银河星系仅是宇宙中数千亿个星系中的一员，只是在近几十年来人们才知道银河星系在宇宙中的位置和它是如何加入宇宙这个集体的。

当人们观察自己的星系时，会不自觉地提出这么一个问题

---

⊖ 莫洛赫神为：1. 古代腓尼基人所信奉的火神，以儿童作为献祭品；2. 毁灭一切的暴力——译注。

题：形成行星、恒星、尘埃、气体、云团和黑洞的物质是从哪里来的呢？物质是什么？是原来就有还是在宇宙中产生的呢？这也是科学家们长期探求的问题，一直到70年代末才找到了这一问题的答案。

## 第二章 物体的量

人们只要仔细观察一下周围的事物便可发现，大多数物体都有一个独特的量，比如人的高矮，成人的身高一般都在1.6米至1.9米之间，一棵树上叶子的形状和大小都差不多一样。当你用放大镜把盐粒放大时，你就会发现，不同盐粒晶体的大小也几乎相等。此外，物体的尺寸不会随时间而发生变化。当你晚上上床时，用尺子量一下自己的身高，第二天早晨再量一下，你就会发现，一晚上你的身体高度并没有发生变化。许多坚硬物体的尺寸很难改变，如一个钢球，一般情况下，形状和尺寸都不会发生变化。这到底是什么原因，不知你想过没有？

也许你曾设想过，假如所有物体在一个晚上突然都增长了一倍，那将会是什么情形？这样，当你早上起床时你的身高就不是1.7米，而是3.4米了。另外，床、鞋子、地毯，所有一切都增加了一倍，你可能马上会说：这纯属想象。如果你静心地想一下，你也许会得到一个有趣的答案：人们可能根本无法确定物体会如此突然地增长。你怎样才能发现你的身高不是1.7米，而是3.4米呢？你当然会用家里的尺子，可如果尺子也增长了一倍，这样你量出的长度仍是1.7米。因为所有物体都增加了一个系数2，所以你无法作对比测量。现在来看看，什么叫测长度？如果你测得你的食指是8厘米，

这就是说，这是你的食指与尺子上8厘米长度的比较结果。因此，要测量一个物体总是需要两样东西：即物体本身和尺度。然而，世界上没有绝对长度。如果想知道一个物体的长度，那就必须用另一个物体（尺度）与其进行比较。比如说，吹气球吧，气球的尺寸会发生变化，要测量其变化范围，必须使用不随气球变化的尺子。

现在，再来看看另一个类似前面讨论过的问题。你每天晚上刷牙的牙刷，其长度差不多是你手掌的长度，你会觉得吃惊吗？为什么到第二天早上牙刷还是那么长，而没有增加一倍，或是短到一枚硬币大小？当然没有，这看起来似乎很明白，物体不会一晚上发生变化。可为什么没有发生变化呢？不变的道理又是什么呢？物体的尺寸又是什么呢？

早在几千年以前就有人提出过这种问题，可迄今为止还没有找到一个令人满意的答案。但人们能从古希腊时代找到这个问题的最初解释。

你拿一张希腊的100德拉赫马纸币看看就能看到，纸币上印有古希腊思想家德莫克利克的像，这位曾经预见到现代物理思想的思想家，出生于希腊北部的阿卜德拉市，与现代哲学家相比，他显得更加伟大。他懂得如何享受生活，他认为：享受就是理解生活。他的一句名言是：“没有原子和空间就没有世界”。原子是物质的最小不可分结构。德莫克利克认为：如果苹果是由不可分部分构成，且这些不可分部分之间只有空的空间，即刀子只能切透这个空间，那么把一个苹果分成两半没有困难。此外，德莫克利克还认为：物体是稳定的，它不会随时间而发生变化，因为它是由大小相等的原子组成。原子本身不发生变化，且不可分。人们平常所观

察到的材料结构各异（如铁比木材硬），这只是它们的原子排列的方式不同而已。

大家知道，字母的不同排列可以表达出各种思想，人们即可写出高质量的文章、诗歌，也可以写出低劣的文学作品。

德莫克利克的观点至少部分上是正确的。19世纪初，在欢庆化学界重大突破时，化学家们发现，材料的化学特性可理解为由最小单位，即原子组成的物质。可将原子看成半径约为 $10^{-8}$ 厘米的小球，至于 $10^{-8}$ 是多大，可以举个例子来说明：中华人民共和国有10亿人口，每个人体为一个原子排成队，那这支队伍还没有你的中指长，即10厘米。

19世纪末，某些物理学家对化学家提出的原子是否与德莫克利克提出的原子相同表示怀疑。为回答这个问题，在法国的巴黎进行了一系列试验，并取得了异乎寻常的结果。人们发现，原子是不稳定的，它会不断地释放出粒子，当时人们把它叫作原子碎片。原子放电现象就是这么发现的。

大约在80年以前，英国科学家恩斯特·卢瑟福的发现，为现代原子物理开辟了一个新的窗口，某些放射性原子能放射 $\alpha$ 粒子。至于 $\alpha$ 粒子的意义及它是由什么组成的，这里且不去管它，重要的是，这些粒子是以较大速度从不稳定原子中逸出的，它们就像小型子弹。卢瑟福让 $\alpha$ 粒子穿透一层金箔，希望能观察到它们稍偏离其最初运行方向的现象，从而得出有关原子内部结构的结论，当原子内部物质分布不太均匀时，人们便可发现，一个粒子穿透原子时会稍许改变其飞行方向和速度，但幅度不大。人们可将其与一粒穿透水袋的子弹来进行比较，因为子弹受水的阻力影响，速度变慢，但其飞行方向不会突然发生变化。只有当水中有一固体物（如

一个钢球)的情况下,才会出现将子弹弹回的现象,图2-1。

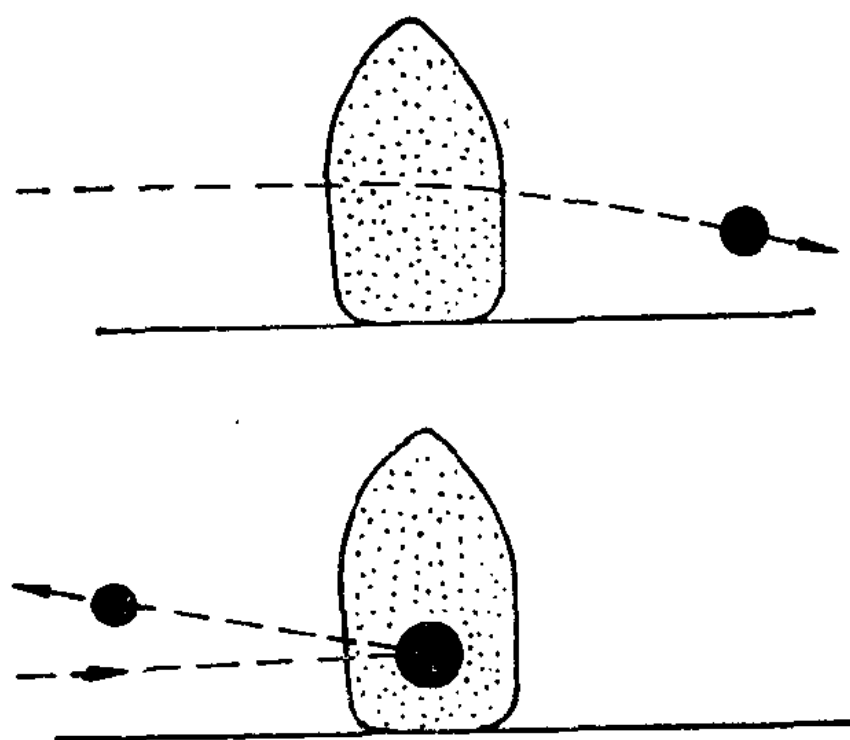


图2-1 子弹击中水袋时的情景

当子弹穿透水袋时,由于水的阻力,子弹稍偏,且速度变慢,但不改变其飞行方向;但水袋中如有一个钢球,当子弹击中钢球时,子弹被弹回,飞向射手。这里的子弹是 $\alpha$ 粒子。

卢瑟福惊奇地发现,有几个 $\alpha$ 粒子,它们不穿透金箔,而是向后反射。他后来说:“这是我一生中最不能相信的事情。还有一件事不能使我相信:假如一名射手以一发15英寸榴弹击中一块丝纸时,榴弹会被弹回,飞向射手”。

一般情况下,当 $\alpha$ 粒子穿透金箔时其方向只稍偏或不偏,这属于正常现象。在完成一系列实验后,卢瑟福得出了一个引人注目的结果。一些反弹回的 $\alpha$ 粒子可以这样解释:在原子中全部物质聚集在一个核内,这个核要比原子小得多,即原子核。

原子核的大小不到原子的万分之一,其膨胀率为 $10^{-12}$ 至 $10^{-13}$ 。10亿个原子核排列起来还不到百分之一毫米长。

原子核不是独立存在的，它的周围有比原子核更小的粒子，即电子。电子围绕着原子核运动。它与原子核的平均间隔为 $10^{-8}$ 厘米，人们可以通过电子与原子核之间的间隙来确定原子的大小。人们甚至可把一个原子想象成一小的行星系。原子核为太阳，电子为周围运行的行星。

下面举个例子来说明一下原子中量的关系。假设原子核有苹果那么大，它位于一个足球场中央，那么电子运行轨道大致就如球场跑道。

从这个例子中可以看到，就物质的结构而言，原子实际是空的，其中的物质仅为很小一部分。

自然界差不多也是这样，由大量空的空间构成。假如把地球上的全部原子和电子压缩进一空间，那么，地球只有大约100米半径的球体那么大。

前面已经说过，当物质被强烈压缩时，会产生宇宙黑洞，例如，太阳的全部质量可压进一个半径为3千米的球体，这当然是可能的，但前提是，所有的原子核都必须挤得非常紧。当然，黑洞是宇宙中一极平常的产物，它与自然科学的认识一致，怀疑这一点也就是怀疑自然规律。

那么又是什么力量迫使电子绕原子核运行的呢？大家知道，地球是围绕太阳运行的，这是因为地球和太阳之间有一吸引力——万有引力。但是光靠引力还不能使电子绕原子核运行。因此，还必须有另一个使其运行的力。关于原子中电子的运动可以这么来理解：即电子与原子核之间也有一种吸引力。可这又是一种什么力呢？

如你刚从地毯上走过，接着用手抓门把，这时，在门把和您指尖间，便会产生火花。这种熟知的现象不难理解，

由原子组成的地毯具有轻微丢失电子的特性，电子同样也具有有一种称之为放电的特性。

当你的鞋上聚有电子时，它们便会放电，并传导到你体内，这样，你的全身便充满负电荷，当你在地毯上行走时，你体内的电荷为负电荷，一般情况下，地毯是不放电的——它属中性。然而，当它突然失去电子时，便失去了原先的负电荷。如果你这时触摸门把，便是完成电荷补偿（平衡）过程。你体内的电子便跳到门把上，产生火花，有时你可能还有酸麻感。当你离开房间后，你的身体和地毯都没有电荷，一切又均恢复中性状态。

很久以前人们就已经懂得，带电体之间有相互作用的力。当两个带有相同电荷的物体碰到一起时便会互相排斥，而电荷相反则相互吸引。

上述现象表明，电的排斥和吸引力对原子的结构来说非常重要。原子核本身带有正电荷，在原子核和电子之间有一吸引力，正是这种力把原子聚集在一起。正常情况下，单个原子（不带电荷），为中性。但从这个原子上拿掉一个电子时，它便突然从原子核得到一个正电荷。这时，原子便带正电荷。

这样，你就明白了为什么当你走过地毯时你的身体会带负电荷。人们也可以这么说，一次为正电荷，另一次为负电荷，视当时的特定条件，不可能只出现一个正电荷。道理很简单，构成地毯原子的负电荷很容易丢掉，但原子核的正电荷却不是这样，它被原子链固定住。

两个带电荷的电子互相排斥，这一点对物质的结构来说十分关键。假如你把一支铅笔放在桌面上，尽管也有地心引

力在拉它，但它不会自行落到地面，虽然它很愿意掉到地面上去，可有桌面挡着它，使它无法下落。这是为什么？这个问题不难解答，因为当铅笔摆在桌面上时，铅笔的原子和桌面的原子只稍微分开，它们互相排斥着，这种排斥现象称为物质的阻力。要是没有原子壳体的相互排斥，那铅笔便会穿透桌子落到地面上去了。

上述现象表明了电的互相吸引和排斥力对物质结构的重要性。如果把世界上的电力去掉(幸运的是根本不可能)，那么一切物质将会立即化成由原子核和电子组成的尘埃。

原子与原子的区别主要是看原子层所带电子数，最简单的原子是氢原子，它只带有一个电子，其原子核也极简单，它只带一个有正电荷的粒子，即质子。与电子相比，质子是相当坚实的粒子，其质量相当于电子的近2000倍。电子是一个基本粒子，也就是说，它不是由更小的粒子构成的。原子愈复杂，所带电子数也就愈多，有时原子带有很多电子。因此可以这么说，复杂原子的原子核无非是由相应多的质子构成。这也是物理学家最初的概念。但卢瑟福对这种说法不满意，他认为，原子核中还有中性粒子。于是，他发明了“中子”这个词。由质子和中子一道构成原子核，原子核不像原子，是不可分的。世界上也没有像德莫克利克说的那种原子。1932年年初，卢瑟福的同事詹姆斯·查德威克在剑桥的卡文迪什实验室发现一种由不带电荷的粒子组成的放射性射线，其质量几乎等于质子的质量，这就是中子，中子就是这么被发现的。

因为中子是电中性的，所以中子辐射不受电场影响，所以原子核强电场对中子无能为力，它能很容易穿透物质。只

有当中子和电子直接碰撞时，中子辐射才在一定的时间内受阻。人们在制造中子弹时，正是应用了这一原理。

现在已知道，原子核由质子和中子构成，原子核中的质子数与原子外壳中的电子数完全相等，如金原子带79个电子，79个质子和几乎总是118个中子。

电子的电荷有多大？是否所有电子的电荷都相同？这个问题早在1910年已由美国物理学家罗伯特·A·米利肯作了回答。米利肯上学时天资不足，对自然科学毫无兴趣，因为学自然科学得掌握多门外语，首先要掌握希腊语，碰巧他希腊语的教师又是他的物理教师，老师让他参加物理预科班，可他断然拒绝，原因是他不喜欢物理这门课。为此，他的老师说他简直是不可救药，后来他勉强领悟到这一点。于是，他便发奋攻读物理学，并从中找到乐趣，决心成为一名物理学家。老师的提醒不仅影响到米利肯个人的发展，也间接地影响了美国自然科学的进一步发展。

为表彰他卓越的工作，20年代初，米利肯获得诺贝尔物理奖，他是第一个登载在美国《时代》周刊封面上的科学家。1921年，米利肯受聘于新加利福尼亚技术研究院，该研究院为美国最著名的物理学家的摇篮。

为测出电子的电荷，米利肯对很细微的油珠进行了研究，这些油珠的原子要么带有很多数量相等的电子和质子（这种情况下，油珠的电荷为中性），要么就是电子多于或少于质子数（这种情况下，油珠电荷为正或负）。

试验中，米利肯发现，油珠的电荷总是为一个一定电荷整数的数倍，后者为基本电荷，即油珠的电荷为基本电荷的2至3倍，这样基本电荷无非就是单个电子的电荷。

氢原子由一个电子和一个质子组成。大家知道，氢原子电荷为零，为此，质子的电荷必须与电子电荷相等，只是符号不同而已。同样，只有在电子电荷与质子电荷相等的情况下，原子才为中性。

电子与质子电荷相等这一点表明，在质子与电子之间有某些共同之处，即一种亲缘关系。长期以来，物理学家对这种亲缘关系进行了研究，但至今尚未找到答案。前不久，有人见到了一线希望，它与质子的夸克模型有关，这个问题这里先不讨论。

现在来讨论一下与原子物理有关的另一个问题，即原子的大小，这里，以氢原子为例，如上所述，氢原子为一种最简单的原子，它仅带一个质子和一个电子，也就是说，只需用一个质子和电子便可组合成一个氢原子。假设有一个质子和一个电子，这两个小东西又互相吸引，要组合出这么个原子倒不是很难，只要把它们放在一起，它们便会互相吸引，合成一氢原子，在结合的同时，能量以电磁波的形式辐射出来。

原子的大小是指什么呢？从原理上说，电子和质子距离较远，这里暂且把它说成是 $10^{-10}$ 厘米。前面提到过，在正常情况下，典型的原子间距离为 $10^{-8}$ 厘米。那么这个量用什么来确定呢？

当在实验室里将电子和质子合成一个氢原子时，在很短的时间后，该原子便有其典型的尺寸，这就是说，电子运行轨道半径约为 $10^{-8}$ 厘米。现在，假定，在旁边的两个房间里，有两个人正在合成两个氢原子，等他们做完实验后，把两个合成的原子进行比较，看到的将是两个同样大小的氢原子。

现在，仍用这个例子来说明另一种情况。假设，一旦地球上的宇航员能成功地与太阳系外某个星球上的生物取得联系，这些生物将会问宇航员：“你们星球上的人有多高？”宇航员马上会回答：“在我们星球上，成年人的平均身高为175厘米。”他们还会问：“1厘米是多少”？当然，他们无法弄清1厘米是多少这个概念。这时，宇航员会想到原子的结构，便可这么来回答：“平均身高175厘米相当于氢原子半径的 $3.5 \times 10^{10}$ 倍。

假设，外星人也像地球人那样知道原子的结构，当他们获得这个信息后，马上便可推算出1厘米是多少，知道地球人平常所使用的长度单位，他们便会这么回答：“我们比你们高些，平均高约250厘米”。

关于原子的大小是一个复杂问题，在本世纪初的20年代间，物理学家进行了艰难的探索，直到20年代中叶才找到一个彻底改变人们对原子内部变化过程观念的答案。这时，呈现在人们面前的是一个新的世界——量子世界。

1922年夏天，有两位男子在哥廷根大学校园附近的山上散步，其中那个中年人便是哥本哈根的物理学家尼尔斯·玻尔，而另一位就是刚毕业于慕尼黑大学物理系的威尔纳·海森堡。

玻尔与海森堡散步时谈论的问题无非是关于原子的大小，玻尔始终不解的问题是：为什么氢原子大小相等，他认为这是使物质稳定的奇迹。很多年后，海森堡还回忆起这次谈话，并记述了玻尔的谈话内容：

“我认为，只要有稳定性，便会不断出现具有相同特性的同样材料，形成相同晶体，产生相同化合物，等等。然

而，一个铁原子受外界影响完成各种变化后，还是一个具有相同特性的铁原子。这一点，如按古典力学的观点根本无法理解，因为原子的运行方式如同行星系。在自然界有这么一种倾向，以某一种形状出现的物体，无论你干扰它也好，将其摧毁也好，它最终还是以这种形状出现。就说生物学吧，生物的稳定便是一种极为复杂的形式，以整体存在的生物，便具有这种类似现象。但是，生物学中存在着相当复杂、且随时间变化的结构。因此，所有统一物质的存在，都离不开原子的稳定性……”。

多年来，与玻尔在哥廷根的这次谈话一直影响着海森堡的研究思想。哥廷根之行后，海森堡返回慕尼黑，在那里他与他的导师阿诺尔德·佐默费尔德领导的研究小组一道从事原子结构之谜的研究工作。他时刻不忘与玻尔先生的那次谈话。当他于1924年夏季参加由哥廷根大学理论物理教授马克思·博恩领导的研究小组工作时，仍一如继往，探索着原子结构之谜。也就是在这里，年青的科学家海森堡找到了有关原子稳定问题的答案，打破了自艾萨克·牛顿时代起一直统治着物理学界的传统观念，创立了量子论。

量子论的创立是自然科学发展的一个重大转折，它告诉人们，用这个理论可以描述人们所处的客观世界。量子论的创立不仅是世界物理概念的革命，而且使人们改变了对整个宇宙的看法。此外，它还影响着其它领域，如哲学界。

人们总是这么认为，量子论是一种神秘的物理科学，太抽象，似乎无公开讨论的必要。我认为，量子论涉及的问题是很抽象的，如果人们事先没有分析数学基础理论，那么谁也无法理解原子结构的细节。此外，我还相信，即使不是物

理学家或数学家，同样也可以完全掌握量子力学的基本思想。我甚至还认为，即使到了将来，量子论仍然是不可缺少的理论。

量子力学作为物理研究事件持续了十几年之久，然而未取得任何进展，但后来发生了变化，这不光是日本广岛和长崎原子弹的爆炸和核技术的产生所带来的，这主要归功于电子技术的迅速发展。今天人们使用的每一台电视机，都是用元件组装起来的，这里面就大量地应用了量子力学现象。就微处理机的功能而言，同样也离不开量子力学。后来，在短短的几年内，电子线路板的问世，使计算机和微处理机趋于小型化。包括研究所在内，许多工作岗位都离不开量子力学，要是物理学家、数学家和化学家、工程师、医生和专业人员都不相信量子力学的话，那人们就不知道今天的社会会是什么样子。

物理学家和自然科学家的任务是确定可观察到的各种量之间的关系。这不仅适用于自然科学，也适用于其它各种科学，如经济学。经济学不仅要研究质量特性，还要研究数量特性，比如说，在利率和失业率之间有一相关性。当利率下降时，工厂便需增加投资，结果降低了失业率。然而物理学与经济学不同，经济学关心的是可观察到的各种量之间的关系和将会发生的后果。因此，经济学家所预测的总是将来的经济发展状况，比起预言家和天文学家预言的范围要小得多。

量子力学的特点在于，所观察的量到底是什么，很难确定。现在回过头来看看氢原子，前面说过，这种最简单的原子是由一个质子和一个电子构成的。实际上质子要比电子重

得多，因此人们把质子说成是静止的，电子绕原子核（质子）的轨道运行。现在有人要问，你怎么知道电子在轨道上运行？难道你看到过电子？

当然谁也没有直接“看见”过电子。可人们知道，氢原子是由一个质子和一个电子构成的，而且是以某种方式绕质子运行的，那为什么不能在轨道上运行呢？要回答这个问题必须在不同的时间点上测出电子的位置。可是这个位置怎么来测量呢？

现在暂且抛开原子问题不谈，具体来研究这种测量，假如有目的地用交警常用的测速方法，即雷达测速来确定一辆正在行驶的汽车的位置和速度。你也许会碰到这种麻烦，某一天突然收到一张违章通知单，通知单会告诉你，你于11月13日、星期五的12点33分以时速70千米的超速通过一路口。通知单告诉了你违章的时间、地点和汽车行驶速度。

那么速度又是怎么测量的呢？雷达发射机发射雷达波束，当雷达波碰到你的汽车时被反射回来，由接收机接收，然后接收机对雷达反射波进行处理，精确确定出汽车行驶速度。同样，通过某一时间点的雷达波反射，也能确定出汽车违章地点。

这里，人们发现无论是确定汽车违章速度，还是违章地点，信号起着决定性的作用。这里人们用的是雷达信号，该信号必须与所观察的物体（行驶的汽车）有一交替作用（雷达对汽车的反射波）。一般来说，信号为能量的一种特定形式，这里能量是由雷达信号传输的。当然，雷达信号也类似于电磁波和光波。当人们站在阳光下，太阳的能量便会传到人们的身体里，首先是皮肤中，这类似于雷达波传送能量的

方式。当雷达信号传到汽车尾部时，便产生一个很小的脉冲，使汽车加速，但这个加速度极小，可以忽略不计，但是不能忘记测量速度和地点的信号，要是忘掉这一点，就无法测量出物体（行驶的汽车）的速度和位置。

如果物体很小，如粒子，就不能这么测量。假设要在某一个时间点上测出氢原子中电子的速度和位置，人们首先得统一思想，制造一种类似交警测速的雷达仪，也就是说，能用来测量电磁波和光波的仪器。当然，人们可以用光源照射原子的方法来测量电子的位置。人们可以根据光波反射的种类求出光波反射时电子所在的位置。

那么速度是怎样测量的呢？当光波被电子反射时，它便会将一脉冲传输到电子上，这时，电子便会以某种方式改变其运动状态，但现在无法预言。因此，人们也无法确定电子的位置及其精确速度。然而，有人说，位置和速度的量可以互补。

海森堡首先认识到各种量之间互补的意义。他认为，在精确度和不精确度之间有一种固有的相关性，即所谓的测不准相关性。人们正是利用这一原理来测量物理量的。从数量上说，物理量的测不准是用普朗克常数确定的（一般用 $h$ 表示）。该常数值可以写成： $h = 1.05 \times 10^{-34}$  千克·米<sup>2</sup>/秒。从式中可以看到，该常数不是一个普通数字，而是以千克·（米）<sup>2</sup>/秒为单位，实属少见<sup>⊖</sup>。普朗克常数描述了一个人们不常用的量。

那么海森堡的测不准相关性是如何表达的呢？所谓信号

---

⊖注：普朗克为20世纪初德国物理学家。

和脉冲之同的互补性即是：脉冲的测不准性乘以位置的测不准性不得小于 $h$ 。

这里，把物体脉冲测不准性用 $\Delta p$ ，位置测不准性用 $\Delta x$ 来表示，便可得出下式

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq h$$

（脉冲测不准性的乘积必须始终大于或等于 $h$ 。）

普朗克常数，为一个很小的数，人们应感谢这种情况，要不然人们成天只好与量子效应打交道了。例如，人们想用量子力学引起的测不准性来观察质量为1000千克以汽车速度运动的物体，假设，交警可将汽车的位置精度确定到1厘米，这就是说，有 $\Delta x = 1 \text{厘米} = 10^{-3} \text{米}$ 的精度，这样，根据海森堡的关系式 $\Delta p = h/\Delta x$ ，便可获得这一精度。而脉冲即为质量和速度的乘积。同样，应用这一关系，可立即得到速度的测不准性： $\Delta v = 10^{-3} \text{米/秒}$ 。速度的测不准性很小，不足为虑。但是，你可不要拿着罚款单到法庭上去申辩，说交警没有考虑测速时的量子力学的速度测不准性。

如果要观察像电子那样的小物体，情况就截然不同了。电子的质量极小，仅为 $9.1 \times 10^{-31} \text{千克}$ ，每升水中含 $3 \times 10^{25}$ 个电子，但它们在水中的比重极小，仅为1/3克，因为大部分质量均为原子核携带。

因为电子的质量极小，所以在测定时位置和速度的测不准性有时也是很可观的。如果能精确地测出百分之一毫米电子的位置，那么速度的测不准性为100米/秒。如果一台汽车的质量也只有一个电子那么大，那么量子交警也得花气力去限制它的速度。每个交警事先也都应了解海森堡关系式。物理教授（包括你的法律系的同事）都有机会成为法律

行家，这倒是项有益的“副业”。

测不准相关性的关键是确定原子的大小。一个物理学家要是懂量子论，那么对他来说，原子的稳定性永远会是个谜。他会问氢原子为什么总是一样大小，直径仅为 $10^{-8}$ 厘米这一点感到吃惊，他也将为某一个疑难问题而伤透脑筋。假设，在氢原子中带有电荷的电子在轨道上运行，大家知道，一个带电物体在轨道上运行时，就像一微型电台那样，会连续产生电磁辐射，如光。这表明氢原子中的电子在不断地消耗着能量，也就是说，电子始终想以螺旋运动方式靠近质子，最后进入原子核。

可以简单计算一下，直至电子被原子核吞噬时，它能生存多长时间。结果是相当惊人的，即不到1秒钟。然而氢原子的寿命远大于1秒，氢原子是稳定的，可以说，它们的寿命无限长。那么氢原子中的电子又为什么能在其轨道上稳定运行呢？

答案可从测不准相关性中找到。电子位置测不准性由直径为 $10^{-8}$ 厘米的原子外壳的量给定。假设，发现有一个氢原子，其原子外壳更小，仅为 $10^{-11}$ 厘米，在该原子中，电子的位置比在别的氢原子中更好确定，根据测不准相关性，在小原子中，脉冲测不准性更高，这也包括电子的速度。此外，小原子中的电子要比普通原子中的电子运行得快。假如进一步观察，就会发现：小原子中的电子能量比普通原子中的能量高得多。在自然界中，总有这么一种倾向，各种系统均力求处于低能量状态。高能量对小原子来说，便意味着无“生命”力，因此，它要利用辐射电磁迅速扩张，获得与普通原子一样的量。

现在再来观察一下比普通氢原子大的氢原子，假设其直径为 $10^{-10}$ 米，在该原子中，电子的间隔比普通电子中的电子大。要合成这么一个电子，就必须把电子从原子核中取掉，也就是说，得用能量来合成这么一个原子。因此，大原子的能量高于普通氢原子的能量。

一般来说，氢原子的能量极小，只有人工合成的原子才有大的能量。但人工合成的原子不稳定，经电磁辐射（光）后能量便会马上转移到普通氢原子上去。

所以，典型的氢原子的直径仅为 $10^{-8}$ 厘米，因为对一个原子来说，大或小意义都不大。根据测不准性，它始终处于低能量状态。世界上没有任何一种力量能让氢原子中的电子放出更多的能量。量子论正是要说明这一点。借助于量子论，可精确地计算出氢原子的半径。其半径取决于普朗克常数 $h$ 与电子的质量。人们发现，氢原子的 $0.53 \times 10^{-8}$ 厘米玻尔半径与实验数据完全相符。

玻尔半径为一基本长度。量子论认为，宇宙中包括地球、星系与星系之间或星系中的所有氢原子都处于正常状态，即最低能量状态，且具有相同的值。因此，对量子物理学家来说，应理智地测出以玻尔半径为单位的所有长度，人们把玻尔半径叫做一个“玻尔单位”， $1.9 \times 10^{10}$ 个玻尔单位相当于1米，以此推算，一个成人的身高约为 $3.3 \times 10^{10}$ 个玻尔单位。当然，玻尔单位在人们的日常生活中意义不大，它需作大量换算。尽管如此，玻尔单位仍为一合理的长度单位。虽然它与所使用的米制单位截然不同，但它已为人们所公认，而且在物理学方面具有深刻的意义。

前面讨论的氢原子特性适用于所有原子。但是，复杂的

原子不像氢原子那样只带一个电子，而是带数个或更多的电子，但每个原子均处于低能量状态，即使不是这样，随着时间的推移也会过渡到这种状态。这种原子状态是自然为每个原子预先规定的，称为原子的基本状态。此外，原子的大小也是固定的。同样，原子的特性也都一样。例如，一个带13个电子的原子始终为一个铝原子，无论在地球上还是月球上都是这样，只有铀原子才带94个电子。

甚至可以用量子论计算出某种材料的化学和物理特性。例如，铀可产生核反应。然而地球上的铀为非稳定元素，它早在40000年前便已衰变成其它元素。但物理学家计算出了铀的各种特性，并且认为铀具有金属的特性，呈褐色。二次世界大战结束前不久，美国核物理学家成功地在曼哈顿工程中用核反应堆生产出了大量铀金属，并确定铀是一种褐色金属。

前面提到物体的尺寸问题，为什么要提这个问题，雪花结晶（图2-2）是不是一样呢？现在答案已经找到：即量子力学。它赋以一切物体以稳定性，包括生命。如果没有量子力学，那生命现象也无法理解。生物的基因信息均存储在由分子组成的DNA结构中，而分子又主要由电子、碳元素、原子核、氢、氧和氮合成。根据量子力学法则，分子是稳定的。将两个分子放在一起，它们是一模一样的。因此，如果没有基因信息和双胞胎兄弟的相似性，那根本不可能出现生命。

测不准相关性表明，电子的位置和速度无法测定，这到底是怎么回事呢？难道氢原子中电子位置确定时无法避免测不准吗？这个问题连许多物理学家也理解不了。

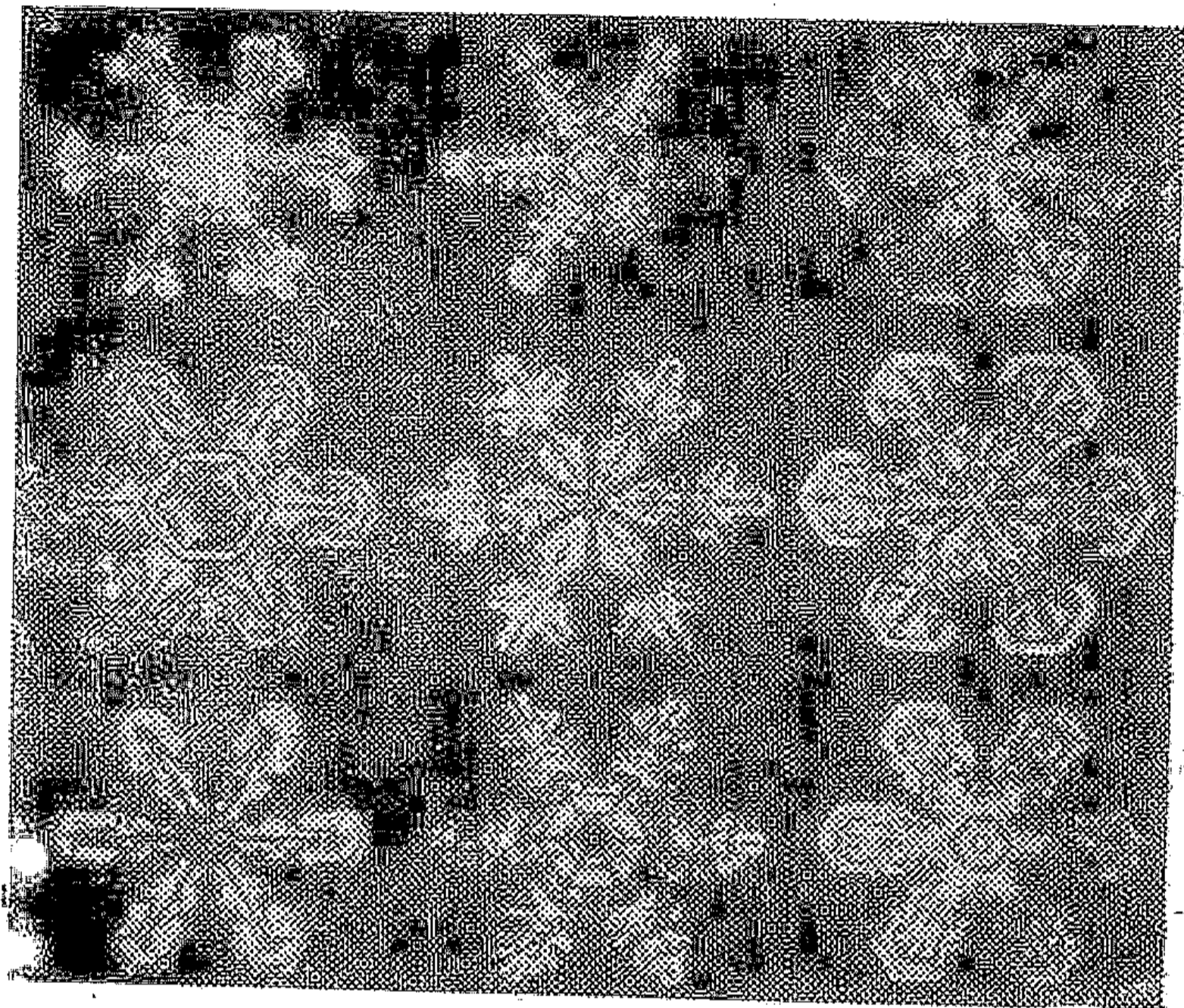


图2-2 高度对称的雪花晶体

### 第三章 量子力学

1665年夏季，伦敦及周围地区鼠疫流行，大批市民丧生，剑桥大学被迫关闭，学生们纷纷回家。一位名叫艾萨克·牛顿的学生也像其他学生一样，回到了他的故里——林肯郡。他在这里渡过了半年左右的时间，在这半年的时间里，他不仅发现了微分和积分（令中学生头疼的学科），同时也为古典力学打下了坚实的基础。他发现了力学和万有引力定律，一直到19世纪末，物理学的发展仍遵循着牛顿所开创的道路。

牛顿的研究结果都发表在他于1686年4月28日呈交皇家上流社会的一本名为《原理》的书中。这一天应载入史册，它是一个里程碑，标志着中世纪的结束，自然科学新纪元的开始。

牛顿定律描述的力学系统具有这种特性，即，可以明确地预测其动力学性能。应用牛顿定律能精确计算出一枚发射后的炮弹的弹道。

英国天文学家和数学家埃德蒙·哈雷是牛顿的朋友及同时代人，他对慧星特别感兴趣。过去，人们对慧星的出现十分恐慌，当看到一颗星星突然起火，身后长长地拖着一条亮尾巴，破坏了天空的和谐时，人们怕危及自身，于是就把战争、饥饿和传染病都归于慧星的出现。天主教牧师甚至把

1578年出现的慧星说成是人类罪孽的“浓雾”，“充满着恶臭和恐惧”。

当时要把慧星作为宇宙中正常星体，并用牛顿天体力学来研究得有极大的勇气。1682年，天空中曾出现数颗用肉眼可观察到的慧星，哈雷以超凡的勇气，应用牛顿的理论精确计算出了慧星的运动轨道。最后，他确认，他所研究的这颗慧星是以椭圆形轨道绕太阳运行的，每运行一周需76周年，也就是说，慧星每76年出现一次。此外，哈雷研究了大量的古代天文学资料，发现人们在1607年和1531年也看到过大慧星。这样，真相大白，慧星也与其它星球一样，确是一个正常星体。

随后，哈雷精确地计算出了“他的”慧星再次出现的日期，即1758年的某一天。然而，当“他的”慧星正好在他预言的那天出现时，牛顿和哈雷都已与世长辞了。哈雷的发现是自然科学、特别是由牛顿创立的古典力学的一大胜利。

后来，1834年和1910年以哈雷命名的哈雷慧星又曾出现过两次。然而，这两次出现并没有让地球发生灾难（第一次世界大战距哈雷慧星的出现4年）。到了1986年，哈雷慧星再度拜访了地球。人们没有理由对哈雷慧星的出现感到惊恐，即使1986年是一个灾难年，这跟哈雷慧星的出现又有什么联系呢？

根据牛顿思想发展起来的物理学，即古典物理学，可用“决定论”一词来概括。一个物理系统的特性是由古典物理学法则确定的。然而，什么都离不开偶然性，哈雷计算慧星轨道便是一个很好的例子。

19世纪初，世界上几名科学家，其中包括法国的物理学

家和数学家皮埃尔·西蒙·拉普拉斯，把世界说成是一个大的物理系统，该系位的行为由古典物理法则支配。他们把整个宇宙看成是一个巨大的钟表，其动力完全是限定的。拉普拉斯认为，从理论上说，人类可以预测宇宙的未来，但必须精确了解以往某一时间点宇宙所处的状态，没有偶然性，一切都是事先确定的。

针对这种假说，人们马上会问，人类的自由意识或上帝在宇宙中起什么作用呢？拉普拉斯回答说：“我不愿听到有关上帝的假说。”

我不得不承认，在上中学时第一次听到拉普拉斯的这种说法我还挺不舒服的呢。要是人们仔细想想，会得出这样的结论，实际上根本就没有自由意识，一切都是由宇宙的初始条件确定的。今天早晨你是7点35分用早餐，如果人们这么来理解拉普拉斯的“钟表”决定论，那么你今天的早餐只能是7点35分开始，不得提前或推后5分钟。

今天人们知道，拉普拉斯的决定论不过是一种外推法。只有当人们忽略掉量子现象，古典物理学、牛顿物理学也才只是一种有效的近似。

测不准相关性告诉人们，要同时精确测出一个物体的速度和位置是不可能的，同样，要得到某一时间点上的物理系统，如整个宇宙的精确状态也是不可能的。因而，要精确计算出系统的未来行为也是不可能的。这样，决定论便毫无用处。在牛顿决定论物理学的冰冷世界里是没有宇宙发展的立足之地的。

量子力学观点认为，未来是无法确定的，它取决于许多无法预见的偶然性。这样，量子力学为人们描述了一个未知

世界，在这个世界里有发展的可能性。

现在，也许有人会问，既然测不准相关性无法同时精确测定一个物体，比如说氢原子中电子的速度和位置，那么玻尔半径又表示什么呢？

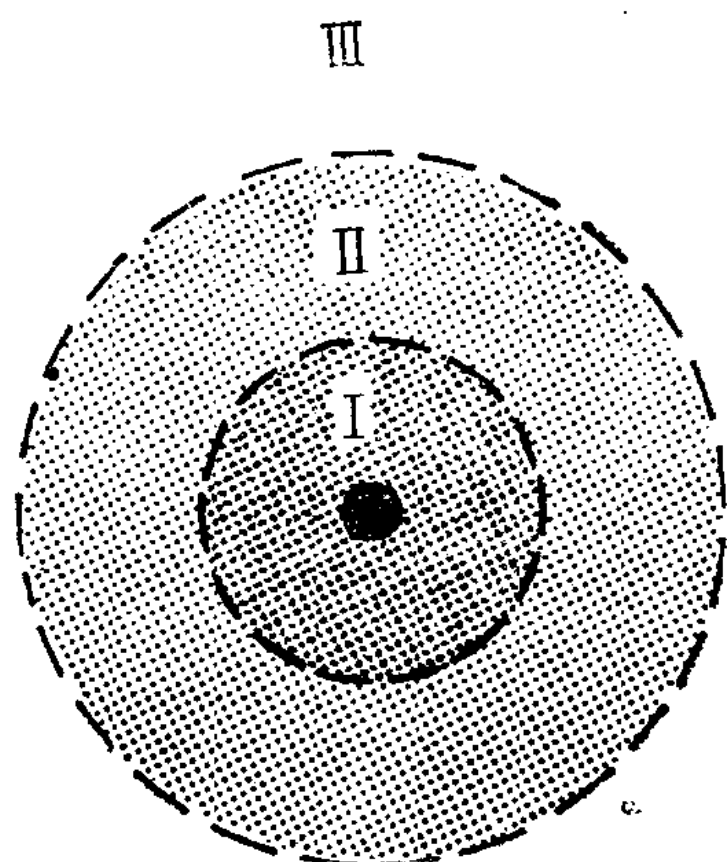


图3-1 氢原子核周围空间的三个区域

这里，量子力学已经包含一特殊情况。人们虽然不能精确计算出原子中电子的速度和位置，但可以计算出电子在某一位置停留的几率（相当于日常所用的概率）。人们假设，把氢原子核，即质子，周围的空间分成三部分，见图3-1。

第一部分由所有空间点组成，这些点与原子核的间隔不到一个玻尔半径（第一部分为一球体）；第二部分由所有间隔大于一个，但不到两个玻尔半径的点组成；第三部分包含所有空间点，它们与原子核的距离大于两个玻尔半径。每个物理系的学生都应懂得一些以量子论为基础的数学，这样，他便可很容易地计算出相应的几率。这里，先把结果写出来

第一部分	32%
第二部分	44%
第三部分	24%
总 计	100%

这些百分比表示什么呢？如果观察一下正常状态下的氢原子，并确定出电子的位置，便可发现，电子大部分时间都在第二部分空间（几率为44%）。假设现在观察的不是1个氢原子，而是1000个氢原子，要确定这些原子中的电子，将会发现，在第一空间所含电子数为320个、第二空间为440个、第三空间为240个。但是，还不能精确说出某一个氢原子中的电子分布状况，只能说出其几率。此外，有时电子距原子核大于两个玻尔半径，还有时电子距原子核更远，暂且说大于10个玻尔半径，这种电子的几率也能较容易地计算出，但几率极小，约为 $5 \times 10^{-7}$ ，也就是说，要对100万个以上的氢原子进行观察方能肯定地说出，在一次“逃逸”时只能发现一个距原子核这么远的电子。物质结构由几率分布数据确定。量子论可精确地确定这种几率分布。

上面讨论了氢原子的正常状态或称基态，即最低能量状态。如果采用光辐射法为原子注入能量，会出现什么现象呢？这时，电子可能突然远离原子核，即跳跃到一较高能量状态，量子力学对这种较高能量状态有专门陈述。测不准相关性表明，不仅氢原子的最低能量等于一恒定值，而且在较高状态时也是这样。此外，能量也都是精确规定的。所以，人们也把它说成能量量子化，实际上量子论这一名称便是源自能量量子化。

当一个氢原子被“激发”时，电子与原子核分离，并且所带能量比基态的能量大。但这并不表示电子在任意长的时间内都滞留在这种“激发状态”之中。在很短的时间后，原子又会回到基态，与此同时，多余的能量会以电磁辐射（光）的形式释放出去。

电子的几率分布相当于氢原子的每个激发状态。图3-2为几率分布图，如图所示，这种分布结构复杂，人们往往把它想象成起伏的山峦。

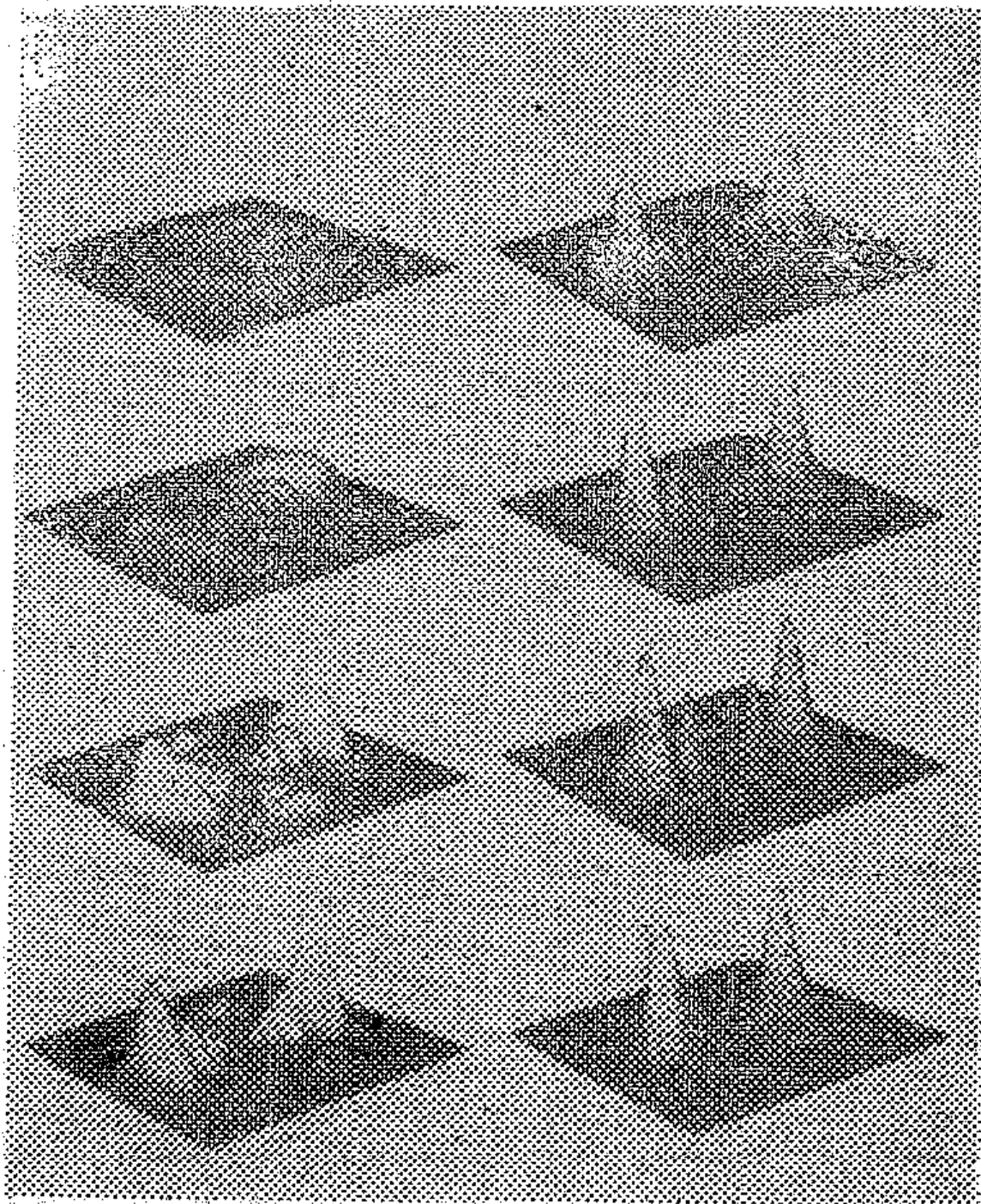


图3-2 几个氢原子电子量子力学分布范例  
这里与氢原子的激发状态有关，事实上，这是一种三维分布图，但由于画面上无法示出，只能以二维示出，这里示出的是一个平面上的原子核的电子分布情况。

激发的原子要比正常状态下的原子大得多，如图所示，此时原子的典型尺寸约为 $10^{-6}$ 厘米，比正常状态下的原子大上百倍。人们发现，高激发状态下的原子的大小几乎达到百

分之一毫米（相当于某些细菌的个头）。

借助于以可见光或较短光波为光源的专门显微镜就可以“看见”原子，见图3-3。

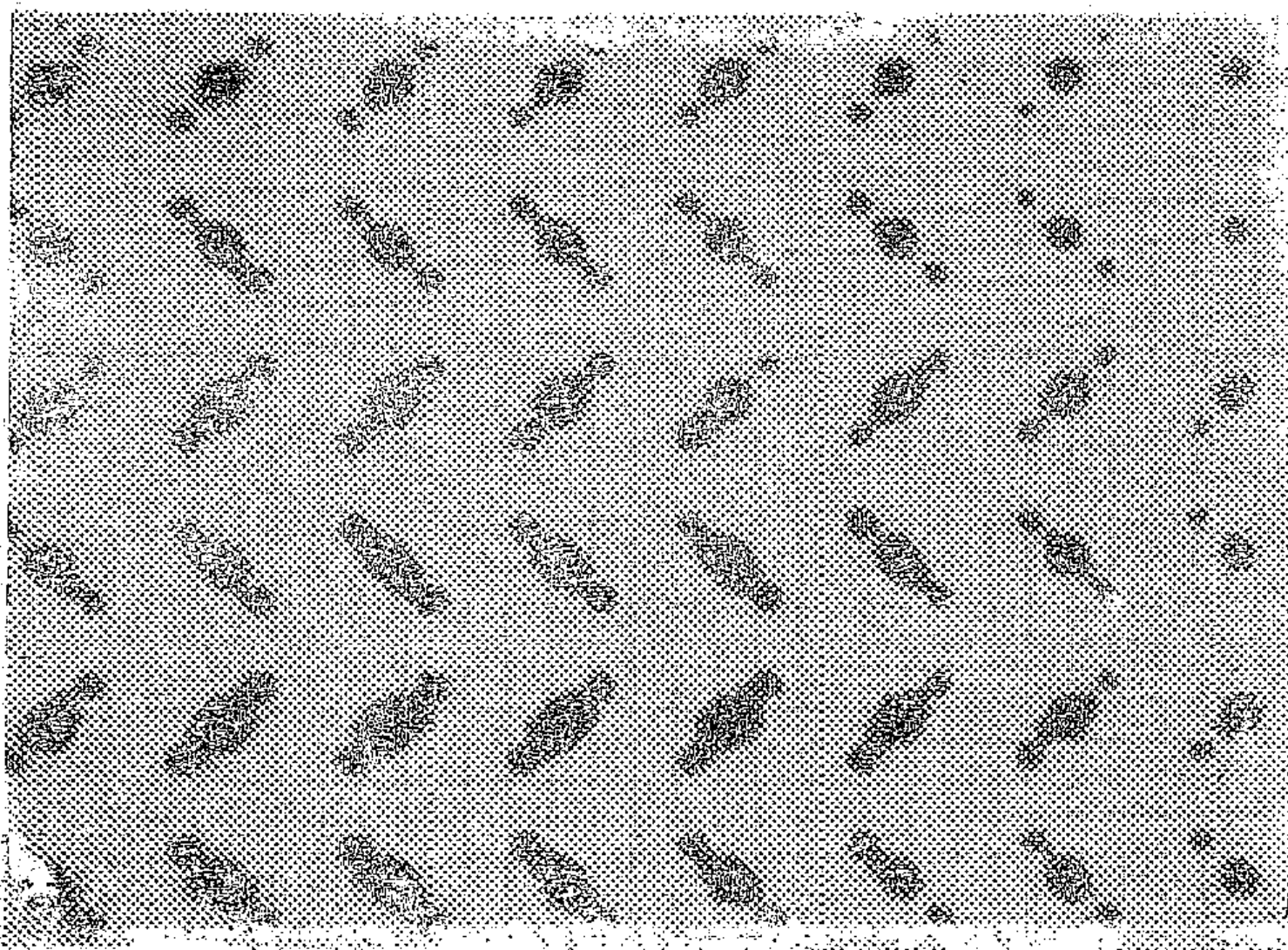


图3-3 黄铁矿原子 ( $\text{FeS}_2$ ) 放大图(放大 $2 \times 2 \times 10^7$ )

较大黑斑为铁原子（每个原子含26个电子），较小的、稍黑的斑点为硫原子（每个原子含16个电子）。

事实上，量子力学只能描述几率，不能预测未来。人们通过一次实验能够确定在一时间点上，氢原子中的电子位于某一位置，但人们还是不知道在极短的时间后，电子将位于什么位置。这样，人们的认识能力就受量子力学的限制。

以往，许多物理学家很难接受这种对认识能力的限制。爱因斯坦等著名科学家也是这样。爱因斯坦反复强调：“上帝不会掷色子”，并因此反对量子现象的几率一说。可他说错了，上帝的确会掷色子。

然而，几率说渗透着整个量子力学，这完全是因为人们概念不完善引起的。有些概念像位置，速度、脉冲等，在物理学中起了相当大的作用。这些概念都是从宏观物理学，从人们平常积累的经验 and 实施的实验中得出的。为说明原子物理学和基本粒子物理学中出现的各种现象，不能很方便地应用这些概念也并不奇怪，因为量子力学中，几率说为一折衷方案。

至于量子现象是什么现象，对想研究原子的物理学家来说，就像钟表匠要修理一块钟表那样，需要锤子和凿子等修理工具，工具的大小视所要修理的钟表大小而定，总之要用这些工具把表修好。物理学家要想用人们所熟悉的概念描述原子世界。就得对几个折衷方案进行研究，结果选择了量子论。

用量子论如此积极地描述量子现象这一点使我一直感到吃惊。事实上，整个事件还可能要复杂得多。总之，整个量子力学都离不开前面提到的普朗克常数 $h$ ，该常数是原子测不准计量单位。然而，对原子现象来说，一个参数是不够的，还要许多更重要的参数。量子力学及原子物理学也许比人们今天所描述的要复杂得多。但是谢天谢地，事情还好不是这样。

人们发现，牛顿的古典物理学在处理原子现象中已经不起作用，人们可将古典物理学视为量子力学而获得的临界条件。当人们局限于各种现象时，便可将普朗克常数视为很小的常数。当然，这无法描述氢原子中电子运动，但可描述月球绕地球的旋转运动。

试想一下，量子论也只是接近于现实情况的一种理论，

人们在某个时期也会忍痛割爱，用一种更先进的方法来代替量子论，这时，量子论也属于一种近似理论。过去，许多物理学家曾经相信，为了解释基本粒子物理学中的一些复杂现象，人们肯定得走这一步。然而，所有这些推测到目前为止被证明是多余的。事实证明，量子力学是一种“攻不破”的力学，它不仅适用于原子物理，还适用于更广阔的领域。就构成原子核最小结构的夸克来说，也可以用量子论来描述，量子论是人们从现代物理学知识中找到的十分重要的定律。

然而，量子论只能描述几率，解释不了中子的衰变。众所周知，原子核是由质子和中子构成。一般来说，原子核是稳定的，不会随时间发生变化。此外，独立的质子也是稳定的。然而，独立的中子却不稳定，一个自由中子，即与原子核脱开的中子会随时间的推移衰变成其它粒子，即产生一个质子、一个电子和一个中微子，见图3-4。

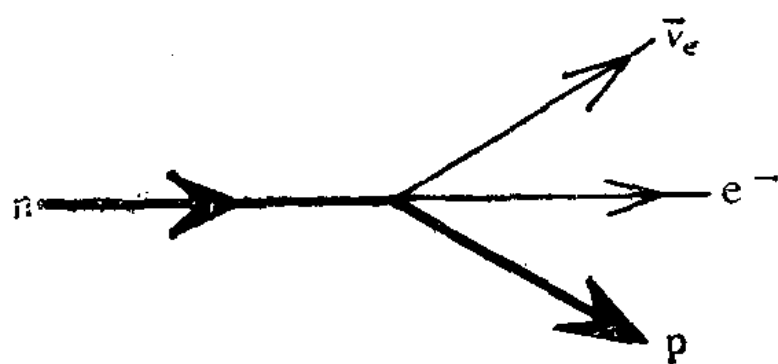


图3-4 中子衰变示意图

一个自由中子(用 $n$ 表示)是不稳定的，随着时间的推移衰变成一个质子( $p$ )，一个电子( $e^-$ )和一个中微子( $\bar{\nu}_e$ )。

要规定中子衰变的时间范围是不可能的。量子论只能描述其几率。有人说：11分钟的衰变过程中中子的几率为50%，该数据表明，大量的中子，假定是1000个中子，在11分钟后有一半要“死去”，也就是说，11分钟后只剩下500个中子，再过11分钟只剩250个，以此类推。量子力学的几率法则可以

对许多中子的各种状态加以描述，但无法描述单个中子。在观察的1000个中子里头，肯定还有几个没有“死亡”，并在一个小时后仍然活着。人们也许会想，这些大龄中子可能马上会死掉。然而，这种想法是不对的，因为中子不会老化，中子是以11分钟的周期衰变的，过一小时后只是几率比原先的中子小一些而已，

人们通过中子衰变这个例子可很好地研究偶然性和必然性之间的交替变化，这对理解宇宙的结构和自然发展过程具有十分重要的意义。对单个的中子来说没有固定法则，可是在一定的时间后它仍须衰变，即使过一年后再看，“我们的”中子仍然活着，只是几率极小。

你也许会感到吃惊，中子是不稳定的，但大多数由质子和中子构成的原子核为什么又是稳定的呢？核物理学家对这种现象作了一简单的说明。在中子衰变时产生一个质子，只要衰变的中子在原子核内，这同样也适用于正在生成的质子。这一点表明，质子和原子核中的中子一般都“不想要”中子衰变时生成的质子，这就是说，它们给它设置了一个大得根本无法产生质子的电阻，使得原子核内中子不会衰变。因此，原子核中的中子是稳定的。

在宏观物理学中和日常生活中是感觉不到量子力学的测不准性原理的。事实上，在原子领域没有绝对肯定性，只有可能性。但是，人们可以采用电子放大器，将量子力学的不可靠性转移到宏观级上。例如，人们可以研制一种即能记录中子衰变过程，又能同时作继电器用的装置。可以用继电器操纵光电开关，令枪支射击等等，短时清除某一宏观过程，这样，单个中子自行衰变就具有宏观效果。

在先进的技术中应用了许许多多的量子力学现象。事实是，有些元素，例如，铜的导电性能比其它元素好，这种现象只能用量子论来理解。还有，有些材料在强冷时无电阻（超导），在现代技术中发挥了很大的作用，其应用前景不容忽视。

此外，量子力学还解释了人们日常生活所熟悉的现象。当你从燃烧的炉中取出一块煤火时，你会看到，煤火呈白色，在一定的时间后它会改变颜色，慢慢发出黄色的光，接着变红，最后，尽管这块煤还很烫，但发出的已不是可见光了。燃烧着的煤块颜色变化完全取决于温度。长期以来，物理学家就想揭开这个人人皆知的谜，可始终没有找到答案，直到量子力学的出现才解开了煤火冷却时颜色变化之谜。

量子力学还解释了许多物质的特性，如，银为什么是白色，金子是黄色和铜呈褐色等。

要不了多久，计算机工业将能成功地生产出尺寸比原子间隔大不了多少的电子元件，到时，人们肯定能用计算机计算出量子力学的非确定性，这种非确定性那怕极小，但也属于量子力学的测不准性。

生物学通过量子力学的起伏突变解决了基因结构偶变问题。以这种方式变化的生物肯定经受过环境变换的考验，只有这样，世界上的生物才能进化，要是没有突变，没有基因连续和偶变也就没有发展，也不会产生生命。此外，还有许多别的生物学效应，比如，生命的老化，肿瘤的形成，其原因便是细胞结构上量子物理的起伏突变。

人们应感谢自然发展过程中的量子力学的不确定性。自然过程并非是一成不变的，宇宙中存在着发展。法国著名分

子生物学家雅克·莫诺说过：“自然界这部交响曲是由混乱的噪声合成的。”这种混乱噪声都应直接或间接归于量子力学的不确定性，这就是说，宇宙的未来是无法明确规定的。

牛顿和拉普拉斯都曾尝试过，将力学确定论法则套用于地球这个世界，是量子力学把人们从这个桎梏中解放出来，并给人们找到了一开放的世界。在这个世界中有发展的空间和人类意识的位置，如果没有量子力学的不确定性，那么人类的自由只是一种幻想。

## 第四章 神秘的力场

任何物体都会跌落到地面上来，只要松开手中握着的石块，它便会自动掉到地上去，这是人人皆知的一个事实。几千年来，人类已习惯于这一事实。

然而1660年的某一天，年青的牛顿突然对石块掉到地上这个事实感到惊奇，至于他当时是怎么想的，人们只能大致猜测。

为什么一块石块会不安安静静地呆在它所在位置上呢？你站在这里，手里握着一块石头，会明显地感觉到石块将一种力作用到你手上，石块不愿呆在它所处的位置上，好像有什么东西迫使它放弃安宁，你只要一撒手，它便会掉到地面，有一种力在迫使它这么做。假设现在你不是在地球上，而是在宇宙中的某个地方，当你把手松开后，石块便会静止不动。显然是地球负责把力加到你手上去的。对，肯定是这样，地球在吸引这块石块，但这还不全面。地球和石块之间有一个量的差别，地球是一个大石块，比你手里握着的石块要大得多，地球在吸引你手里的石块，当然，你手里的石块也在吸引着地球，地球和石块互相吸引。

现在再观察一下你左右手里握着的两块石块，它们被地球吸引着，但它们同时也吸引着地球。此外，两块石块互相吸引。因为所有石块和物体都是互相吸引的。你自己也不例

外，也在吸引着石块，石块同样也吸引你。虽然所有物体都互相吸引，但相互吸引的力极小，人们感受不到，因为地球是一个巨大的球体，引力十分巨大，所以你感受不到小物体的引力。地球吸引着所有物体，包括围绕它旋转的月球。引力迫使石块落到地面，也迫使月球沿其轨道绕地球旋转，“落在”地球周围。

行星绕太阳运行，它吸引行星，行星也同时吸引着太阳，双方巨大的吸引力迫使行星围绕太阳运行。如果没有这种力，那行星便会远离太阳，飞向宇宙。事情就是这样，地心引力是一种万有引力，它可以解释行星的运动，及月球绕地球运动和苹果为什么会从树上落到地面的这样一些问题。

牛顿当时可能也是这么想的，也正是牛顿意识到万有引力法则的这数分钟使人类历史发生了重大转折。虽然从牛顿发现万有引力至今只有300多年的时间，但在这短短的时间里，地球上所发生的变化要比牛顿发现该法则以前的几千年都要大。

两个物体之间的引力强弱取决于它们的质量，质量愈大，引力也就愈强。此外，它还与物体之间的距离有关，力是随距离的平方而减弱的。若两个物体之间的距离增大一倍，则引力仅为原引力的四分之一，如果两个物体之间的距离增加十倍，则引力的强度仅为原引力的百分之一。

自牛顿以来的物理和天文学发展过程表明，在宇宙中，牛顿法则是万能的。它不仅可以描述石块的下落，地球围绕太阳运行，太阳围绕银河系中心运动，而且还可以描述距地球几十亿光年的星系的运动。人们很难想象出一种比万有引力定律能更好证明自然规律普遍性的方法。

两个物体为什么会相互吸引？这个问题牛顿自己也没有找到答案。他成功地将地心引力法则格式化，但他没有找到有关地心引力的更深层的原理。他曾经作过尝试，但一无所获。牛顿相信，就万有引力定律而言还牵涉到一所谓的远距离作用定律：太阳吸引着地球，是因为太阳的引力经太阳/地球的距离直接作用于地球，也就是说，太阳将引力远距离作用于地球。该思想被牛顿的学生全盘接受，并一直沿用到本世纪初。后来，由瑞士伯尔尼专利局的一个名叫阿尔伯特·爱因斯坦的小职员解开了这个谜。

如果人们问牛顿，万一太阳真的突然消失，将会发生什么事件。牛顿也许会说：要回答这问题很简单。如果太阳突然消失，那万有引力便会随之消失，地球的运动不再受太阳引力影响，地球将作直线运动，一直往前飞行，整个行星系将不复存在，行星互相毫不相干，各自往前飞行。

然而，爱因斯坦是接受不了牛顿的这种说法的，他的狭义相对论于1905年公诸于世，该理论的创立使人们彻底改变了有关空间和时间的概念。当然，本书不打算讨论这一理论，但我想提一下相对论中经无数次实验证明了的观点，这也是爱因斯坦狭义相对论的精髓，即光是匀速传播的，在自由空间中为常数（300000千米/秒），信号不能以比光更快的速度传播。从地球到月球光约需走一秒钟。爱因斯坦理论认为：信号不可能在不到一秒的时间内从地球传送到月球上去。这一点不难理解，要将一个信号送往月球，就必须向月球方向发射无线电或光信号，而信号只能以光速传播，不会大于光速。

现在你可以知道，为什么爱因斯坦对牛顿有关太阳消失

的说法感到吃惊。从太阳到地球光约需运行 8 分钟。如果请魔术师使太阳突然消失，那么一开始地球上根本感觉不到。根据爱因斯坦理论，“太阳消失的信息”传到地球至少需 8 分钟。尽管太阳已不存在，但地球上的居民还可享受整整 8 分钟的阳光，8 分钟后才会出现牛顿所描述的灾难。地球上将是一片黑暗，地球飞向星际空间。

在太阳消失后的第一个 8 分钟内，地球仍在它的轨道上运行，似乎什么也没有发生。尽管太阳已经消失，但还有一引力存在。爱因斯坦的理论阻止了魔术师让太阳引力突然全部消失。同样，太阳的引力也以光速减弱。

根据这一事实，爱因斯坦认为，引力现象与物体之间的远距离作用无关，正像牛顿假设的那样，只与局部现象有关。换言之，太阳之所以能吸引地球，是因为地球周围的空间被太阳改变，也可以这么说，太阳在自己的周围建立了一个引力场，地球便在这个引力场内运行。当然，在地球和太阳之间的空间“充满”着引力场。因为引力场与太阳周围空间特性有关，而与太阳本身无关，所以太阳消失后的一段时间里引力场依然存在。引力场是以冲击波的形式消失的，从太阳当时所处位置以光速释放出圆形引力波（就如同将一块石头扔进小湖，湖面上激起的水波那样），并向外扩散。

太阳消失后 8 分钟，引力波传到地球，这时，地球便脱离轨道笔直向前运行。几小时后，引力波传到太阳系外围，几年后才能传到太阳周围的一些星球上。

现在你已经知道，引力场是怎么回事了，后面你将看到引力场在现代物理学中的重要地位。爱因斯坦为了解释相对论范围内的引力现象，进行了数年不懈努力。1916年，他

创立了广义相对论，在广义相对论中，无法单独存在的时间、空间和引力交织在一起，引力只是时间和空间的一种现象。石块之所以会落到地面，是由于地球直接吸引着石块，特别是由于地球周围的时间和空间特性发生变化，石块别无选择，只能落到地面，这是一种自然运动。作用到石块上的重力是二次现象，这就是人们根据爱因斯坦引力理论得出的结论。

在爱因斯坦的相对论中有许多有趣的结论，例如，上文提到的：由于太阳引力场或黑洞的存在使光致偏，再就是钟表运行原理。

假设，如果将一块表从一层的房间拿到地下室，那么地下室的表比一层房间里的表就走得慢一些。地下室的表为什么走得慢呢？因为地下室离地球引力场近，引力比地面上大。然而，这种效应特别小。后来，爱因斯坦用走时精确的原子钟证实了这一点。

告别引力问题之前，再说一下量子现象。两个物体之间的引力是由基本常数，即牛顿引力常数（ $G$ ）确定的，在这里不想给出常数值，只想说明一下，这一常数如今已十分著名。另外，在宇宙中的任何地方，引力常数都是相等的，无论是在地球表面，还是在遥远的星系中，引力都是用该常数确定的。

迄今为止，爱因斯坦的万有引力理论与量子论还不能“婚配”。这里人们遇到的困难不是数学困难，而与人们的空间和时间概念有关。物质引力与空间和时间结构休戚相关，人们平常所说的空间和时间概念肯定不能用于很近的距离或很小的时间间隔。另外，谁也不知道，当时间和空间独

立存在时会导致什么样的结局。有些物理学家认为，空间和时间作为一种泡沫结构。在此，只要打破自己所熟悉的空间和时间概念，知道引力常数 $G$ 、普朗克常数 $h$ 和光速怎么回事就够了。人们发现了普朗克空间和时间单位：

普朗克基本长度： $1.616 \times 10^{-33}$  厘米

普朗克基本时间： $5391 \times 10^{-44}$  秒

其实，这些单位毫无用处，因为它们太小了，但是在这里还是要花很大的气力去描述它们。

在自然科学中，普朗克空间和时间单位为基本量，在普朗克单位中规定长度和时间似乎是明智的，但要把从慕尼黑到汉堡的距离（800千米）写成普朗克长度（ $5 \times 10^{40}$ ）就显得太繁琐了。

据天体物理学家估计，宇宙的年龄约为200亿岁。用普朗克时间表达： $10^{61}$ 普朗克时间。

如何进一步研究普朗克长度和时间，将是自然科学中最有趣的一个问题。许多理论物理学家正在潜心研究这一问题。也许再过10年人们也还只是能弄清空间和时间结构的皮毛。

除引力外还有另一种力，但这种力不用复杂的设备是观察不到的，这就是人们所熟悉的电力。带电物体之间有一种力，即电力，同性相斥，异性相吸。

人们每天接触到的物体为中性物体，然而它们又都是由带电体，即电子和原子核构成，只是电荷相互被抵消而已。

两个带有相反电荷的物体之间引力相似。如果两个物体离得较远，无论是引力，还是电力都会随距离的平方而消失。尽管电力和引力差别不大，但两个物体间的引力无排斥

现象，电却有排斥现象。

引力和电力的另一个主要区别是，电力要比引力大得多。现在，以氢原子为例，在氢原子中，质子（原子核）和电子相互吸引，这种引力便是前面说的电力。此外，在质子和电子之间也存在着牛顿的万有引力，但它比电力小许多个数量级。因此，对原子物理来说万有引力可以忽略不计。

除了电以外，人们在自然界还能看到磁吸现象。例如、位于地球磁场中的指南针或两块磁铁之间所产生的磁力。

最初，谁也没想到过，在电力和磁力之间还有一种内在联系。1820年，丹麦物理学家汉斯·克里斯蒂安·奥斯特因一次偶然的机会作出了一项引起轰动的发现，他发现，当电荷来回运动时会产生磁力。例如，当电流通过指南针针尖附近时，会使指南针致偏（流经导线的电流是由许多电子组成的，电子在导线内“流动”时如自来水管中的水）。奥斯的特的发现表明，在电力和磁力之间肯定有一紧密的内在联系，他当时引用的“电磁”这个概念如今已为人们所熟悉。

在哥本哈根发现的这种现象使得英国物理学家米歇尔·法拉第坐立不安。电荷运动能产生磁力效应，而用一磁性体能否产生电流呢？经过数年的艰苦探索，法拉第终于在1831年8月29日发现了这一效应。他还发现，人也能产生电流，因为当人走近导线时，人便是一个来回运动的磁性体。今天的发电厂便是应用该原理发电的。

法拉第是世界最伟大的实验物理学家之一，因为他没有上过大学，所以他缺乏理论知识，特别是数学知识。但他的直觉能力极强，这正是他第一个发现电磁场的关键之处。

19世纪初，人们认为，无论是引力还是电力场为一有远

距离作用范围的力，它与带电物体之间的空间特性无关。这种不同物体远距离作用的概念对法拉第来说似乎意义不大。他认为，当两个物体相互连在一起时肯定会产生出点什么，他正是以这种简单的推测创立了电磁场概念。法拉第还认为，在两个带电物体之间的空间里充满着磁力线，见图4-1，它们是由带电物体释放出的，然后独自存在，这就是其空间特性。带电物体之所以互相吸引或排斥，是因为两个物体间充满磁力线的空间在不断发生变化。

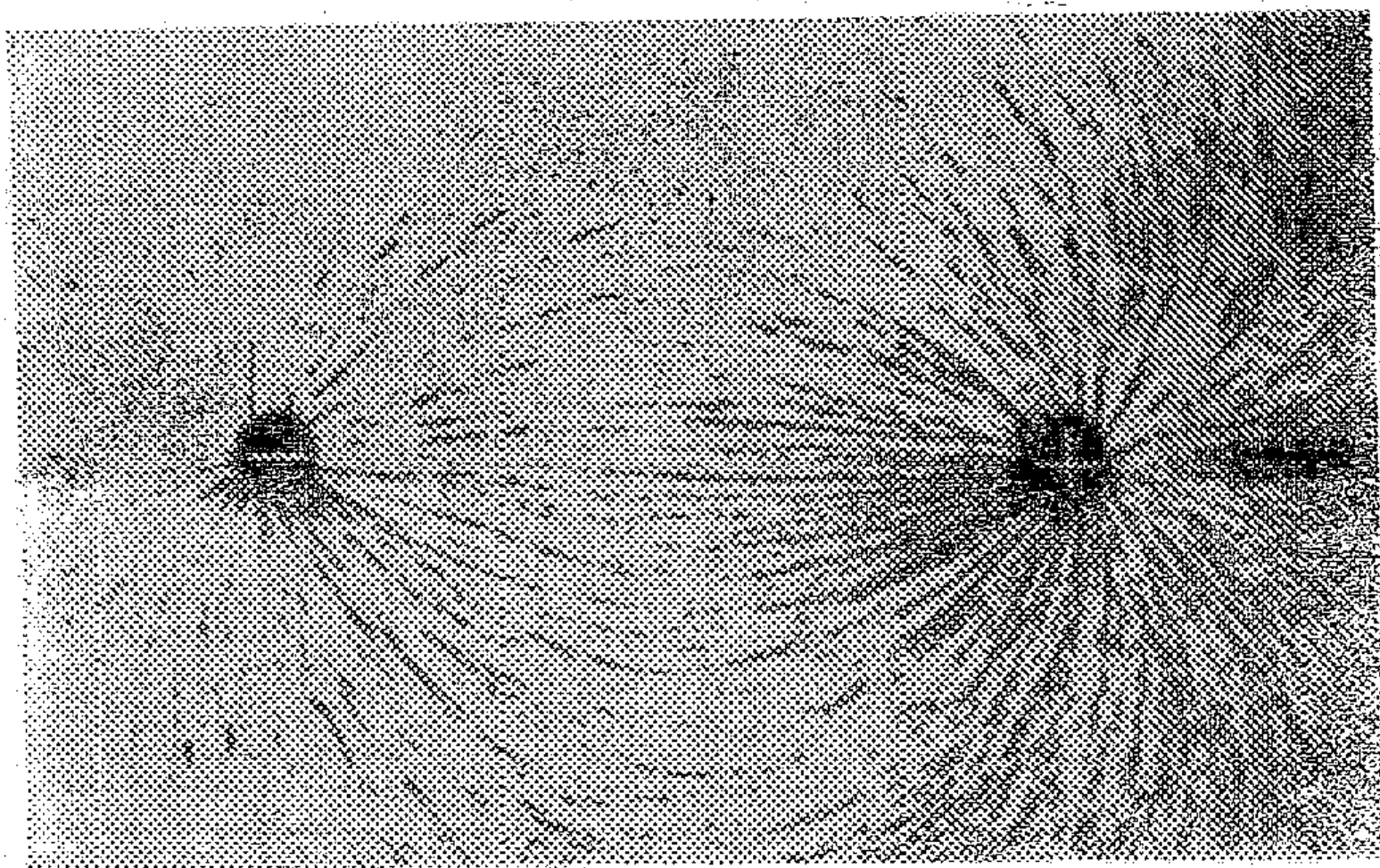


图4-1 两个带不同电荷的球体相互吸引的情景  
图中所示线条为磁力线

近几百年来，物理的发展表明，电磁场、尤其是力场的概念十分重要。人们至今仍在研究的现代物质理论就是所谓的场理论，在该理论中，磁场的概念起着重大作用。

法拉第没有创立描述由他自己建立的电磁场动态特性的理论。后来，苏格兰籍物理学家和数学家詹姆斯·克拉克·

麦克斯韦尔完成了这项任务，他为法拉弟的直观思想加上了精确数学语言的色彩。1861年，麦克斯韦尔进一步完善了以他的名字命名的电磁方程，该方程是非常引人瞩目的。自麦克斯韦尔的电磁理论创立以来，在物理学领域完成了两次大的革命，即出现了量子论和相对论，使人们对空间和时间结构的观念发生了根本变化，麦克斯韦尔理论也顺利地经历了这两次大变革。如今，麦克斯韦尔方程仍如100年前那样，充满着生机。它不仅描述原子和分子内部的电磁现象、电子和技术设备中的电磁过程，而且还可以描述人们在星系中观察到的电场和磁场。

麦克斯韦尔理论的一有趣结论是：有自由电磁场存在。最初人们认为，电场和磁场始终与带电体和磁性体有关。然而，这种观点站不住脚。为进一步研究这个问题，需进行类似前面的引力实验。

现在，观察一下能释放磁力线的带电球体。如果再麻烦一下魔术师，让他突然让球体消失。这时，球体周围的电场会发生什么变化呢？人们可以认为，电场也像球体一样突然消失。这当然不是因为爱因斯坦理论，因为根据他的理论，宇宙中任何效应都不可以比光速更快的速度传播。在球体消失的瞬间，一个离球体300千米以外的人根本“看不到球体的消失”，因为光只需千分之一秒就可走完300千米路程。因此，人们所观察到的电场还是与球体消失前一样大，只是在千分之一秒后才会发生变化。麦克斯韦尔理论精确预言了该变化过程，在球体消失后，从球体当时所在中心点传播出一电磁波，慢慢充斥整个区域。这样，原有的电场消失，见图5-2。但球体的电场并不是一次消失，而是逐步消失，形成一电磁

波。麦克斯韦理论认为，该电磁波始终是以光速传播的。

麦克斯韦曾预言电磁波的存在。1888年，海因里希·赫兹在德国证实了自然界中确有电磁波存在。这样，麦克斯韦和赫兹的发现为人们指出了一条通往电子时代，即人们今天所生活的时代的平坦大道。

当麦克斯韦继续研究其理论时，他对电磁波以光速传播这一事实感到迷惑不解，因此他大胆地假设：光也是一种电磁现象。他这一假设是正确的，人们眼睛所看到的光波就是电磁波。例如，镜子的反射光可解释为电磁的能量变换。当光波接触到镜子表面时，便与镜面金属电子产生能量变换，并被反射出去。

电磁波为什么能传播，用什么媒介传播？每个人大概都会联想到“波”这个概念吧！当你把一块石块投入水中，你便会看到水面上从石块投入处产生水波，这时水就是水波传播媒介。电磁波传播也有媒介吗？物理学家的回答既令人吃惊，又很简单：它没有传播媒介。电磁场就象引力场一样，也具有空间和时间的特殊特性。

宇宙中没有真正安静的区域。星际间空间本身充满着电磁场，电磁波，它们以光速向不同方向奔跑着。

前面已经说过，麦克斯韦理论顺利地经历了物理的量子革命，为了使该理论不与量子论发生冲突，有必要以合适的方式对麦克斯韦理论加以说明。1905年，爱因斯坦发现，只有当电磁波，特别是光波始终以一定的微量传播时，麦克斯韦理论和普朗克的量子论才能和平相处。后来，光“量子”被叫作光子，即光的“粒子”。

光量子传播的能量取决于光的波长，一般来说，蓝光的

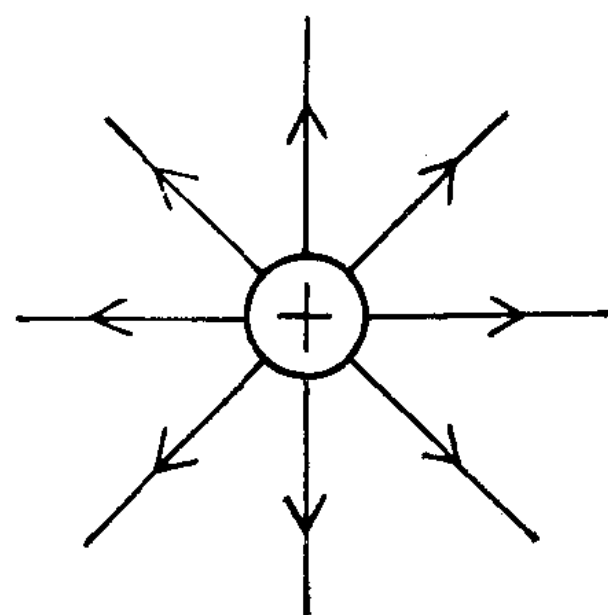
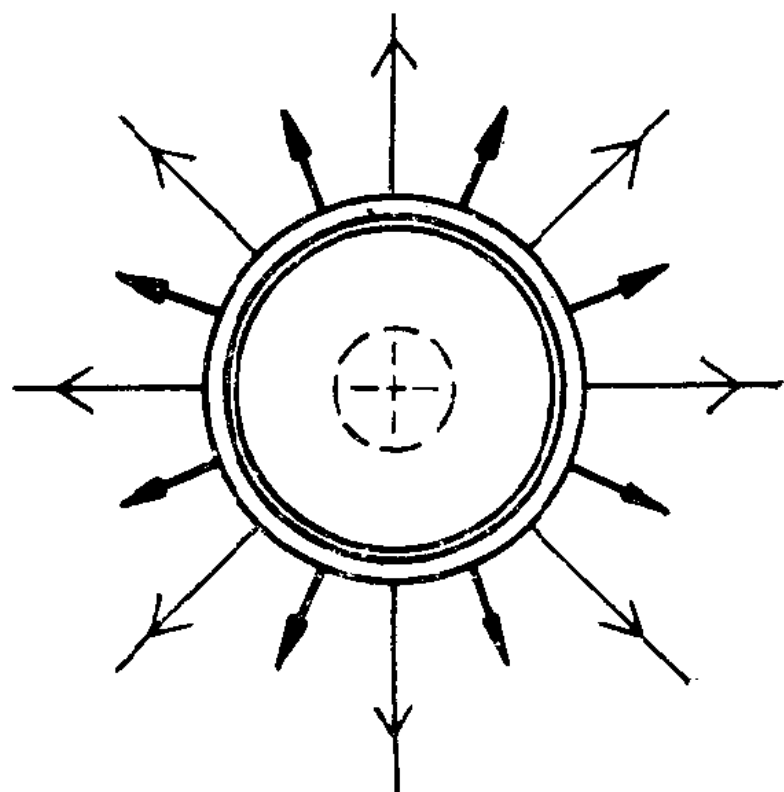
光子比红光的光子能量大。伦琴光为电磁波，其波长比可见光波长短得多，所以伦琴光的光子能量特别强，能穿透人体。

量子论中带电物体的吸引和排斥与普朗克和爱因斯坦以前的古典物理的意思不同，量子论不仅要求粒子(电子或质子)，而且还要求电场和磁场具有量子特性，并克服测不准相关性。

在量子力学中，人们描述的带电物体相互吸引，即光子交换，初看起来有些古怪，实际上这是光子在两个物体之间来回游动时产生的一种力：电力，见图 4-2。

爱因斯坦用他的光量子假说又将一新的粒子(光子)引入物理学。光子与人们所认识的其它粒子，电子和质子的区别是：质量不同。无论是电子还是质子都有一个质量，例如，质子的质量为  $1.7 \times 10^{-24}$  克。光子无静止质量，为无质粒子。

光子虽然没有静止质量，但它有能量，每个光子都拥有一定的能量，该能量就像一活跃的小昆虫那样，不停地运动着。有时，人们很难想象，宇宙中存在着无质量，但有能



电力由光子交换产生  
(用球表示)

量的粒子。这一点表明，人们关于能量传输的概念往往喜欢与人们的想象联系在一起，即能量只是在有质量的物体内。例如，动能，该能量可以隐藏在一辆行驶的汽车中。但不管怎么说，光子还是一种无静止质量，但有一定能量的粒子。

光子从不安份守己，它总是以光速运动着，这是因为光波是以光速运行的，光子是光的“粒子”，所以它只好是这样子。

尽管光子很特别，但光子仍是像电子、质子和中子等其他粒子一样的粒子。有关这些粒子的详情将在下章进行讨论。

## 第五章 物质与反物质

当你步入设在日内瓦的欧洲核研究中心（CERN）管理大楼时，便会看到走廊上摆放的一台奇特的仪器，你只要按一下这个怪箱一侧的按钮，便会听到一声清脆的噼啪声，这就是消弧室装备的宇宙射线检测仪。地球始终受来自宇宙深处粒子射线的轰击，迄今为止，人们对射线的由来还了解甚少。

宇宙射线与空气中原子的原子核反应大多发生在大气层外，反应时释放出的新粒子飞向地球表面，部分飞来的粒子被欧洲核研究中心的消弧室记录下来。这些粒子以光速迅速穿过消弧室，并产生出能用肉眼看得见的火花，同时还发出产生火花时的噼啪声。

人体也像欧洲核研究中心的消弧室那样，任凭宇宙射线的辐射，不断地被宇宙射线粒子“钻穿”，它们常常把人体内的原子核直接击毁。一般来说，人体内多一个或少一个原子核关系不大，遗憾的是，人们看不到这种核反应过程。

30年代初，美国加利福尼亚州的帕萨迪纳技术研究所的罗伯特·米利肯对研究宇宙射线的细节引起了兴趣，他的得力助手，瑞典籍的卡尔·安德松为进行这项研究，设计了一座大型云室，以观察宇宙射线粒子的运行轨道。当粒子穿过云室时，尾部会留下一条像喷气式飞机高空飞行时留下羽烟

似的痕迹。如果在云室内设置一磁场，带电荷的粒子便会致偏，轨道呈弯曲状。这样，就可以根据轨道的弯曲程度推算出其粒子的速度和电荷。

当新云室投入使用时，安德松已对粒子轨道进行了一系列研究，并满意地断定，他所观察到的粒子为已知物体，即带有正电荷的质子和负电荷的电子。1932年8月2日早晨，安德松重新开始其日常工作，他在研究云室里拍摄的粒子轨道照片时突然发现了一种奇特现象：有一种粒子的痕迹初看上去就像电子轨道，只是弯曲程度不一样。该粒子很像带有正电荷的电子。于是，他又研究了许多张照片，找出了其它一些带有正电荷的电子。

当他把结果送给米利肯看时，米利肯开始也感到疑惑不解，但他又想给安德松有所解释，于是，他说，安德松所发现的新的、带有正电荷的粒子只不过是普通的质子。但过后不久，米利肯肯定地说，安德松发现的是一种新粒子，其质量与电子一样，带有正电荷。后来，安德松将这种粒子命名为正电子。安德松发现的不仅是一种新的，而且还是一种特殊的粒子。人们将看到，正电子与电子有着亲缘关系。安德松因他这一重大发现获得了诺贝尔物理奖。

20年代末，英国剑桥的一位不到30岁的理论物理学家将量子论应用于电动力学，他的名字叫保尔 A.M. 狄喇克。如今，狄喇克已经80余岁了，但仍执教于佛罗里达州的塔拉哈西大学。1928年他推导出的新方程就是每个物理学家都熟悉的狄喇克方程，它以简单地方式描述了原子内部电子的运动过程。狄喇克认为，他的方程不仅正确描述了原子内电子的特性，而且还描述了另一种质量与电子相同，但电荷相反

的粒子。许多年后，狄喇克说：“事实证明，我的方程要比我自己聪明得多”。

此外，狄喇克还发现，带有负电荷的电子和新发现的带有正电荷的粒子是以对称的形式出现的，人们可将这两个粒子互相更换，但其物理特性无大的变化。狄喇克把这种带有正电荷的新粒子称为电子的反粒子。

尽管安德松作出了重大发现，但他在理论方面却一无所知。直到1933年才证实，安德松实际上已经找到了狄喇克所说的那种粒子——正电子：即电子的反粒子（缩写为 $e^+$ ）。

安德松的发现是人们进入反物质世界的第一步。今天大家知道，任何一个粒子都有它的反粒子，例如：质子有反粒子，即反质子( $\bar{p}$ )，反质子的质量与质子相等，但是带有负电荷，它是于1955年发现的，但它不是像正电子那样是从宇宙射线中发现，而是借助于粒子加速器发现的。

50年代初，加利福尼亚州的伯克利大学建造了一台加速器，该加速器可使高速质子与物质撞击，在撞击反应时经常能产生出新粒子。1955年10月，物理学家们宣称，他们发现了一种带负电荷的粒子，其质量与质子的质量相同，这样，便发现了反质子。

人们也许会问：难道光子也有反粒子吗？答案是：有，光子也有相应的反粒子，即光子自己。

狄喇克理论所描述的一个事实十分有趣，有点像科学幻想作家所写的科幻作品那样，当一个粒子接近其反粒子时会发生爆炸，两个粒子以“纯能量”方式产生湮灭辐射。为更好地理解这一过程，请再来看一下爱因斯坦的广义相对论。前面已经说过，本书不讨论相对论但这里还是想提一下广义相

对论中有关质量和能量等值的论点。

质量的概念大家都很清楚。1升水的质量为1千克，1个质子的质量为 $10^{-24}$ 克。爱因斯坦发现，根据质能关系式 $E = mc^2$ （能量等于质量乘以光速的平方）有必要为每个质量分配一定的能量，根据这一点，质量可以转换成能量，反之亦然。从某种意义上说，可以把一物体的质量视为凝固的能量。

质量是怎样转换成能量的呢？现在，举一个最简单的例子，用电子和正电子的湮灭辐射来说明这一问题。当安德松在云室研究正电子轨道时，发现有些轨道突然中断，好像正电子突然从这个世界上消失掉了似的。此外，正电子在其轨道上偶尔也与气体原子中的一个电子相撞，这时，两个粒子便自相残杀，直至毁灭。

现在，请仔细观察一下这一过程。假设有一个电子和一个正电子，它们之间的间隔为1厘米，此外，这两个粒子带有相反的电荷，互相吸引，相互运动着。突然，两个粒子同时消失，即湮灭，取而代之的是两个光子，它们以光的速度迅速离开这一地点，见图5-1。

相对来说，要测量光子的能量不难。人们认为，根据爱因斯坦的质量关系式，这两个光子的能量值相等。电子和正电子的质量始终被转换成能量（两个光子能）。也可以这么说，物质转换成了光，这样，便可以把质量视为“凝固的光”。然而，电子/正电子湮灭时所发出的光子比可见光光子的能量要大得多。人们把这种光子叫作 $\gamma$ 射线或 $\gamma$ 量子。

同样，也可以观察能量转换物质的过程。当两个光子相互奔跑时，也可能会出现这种情况，即两个光子突然转变成

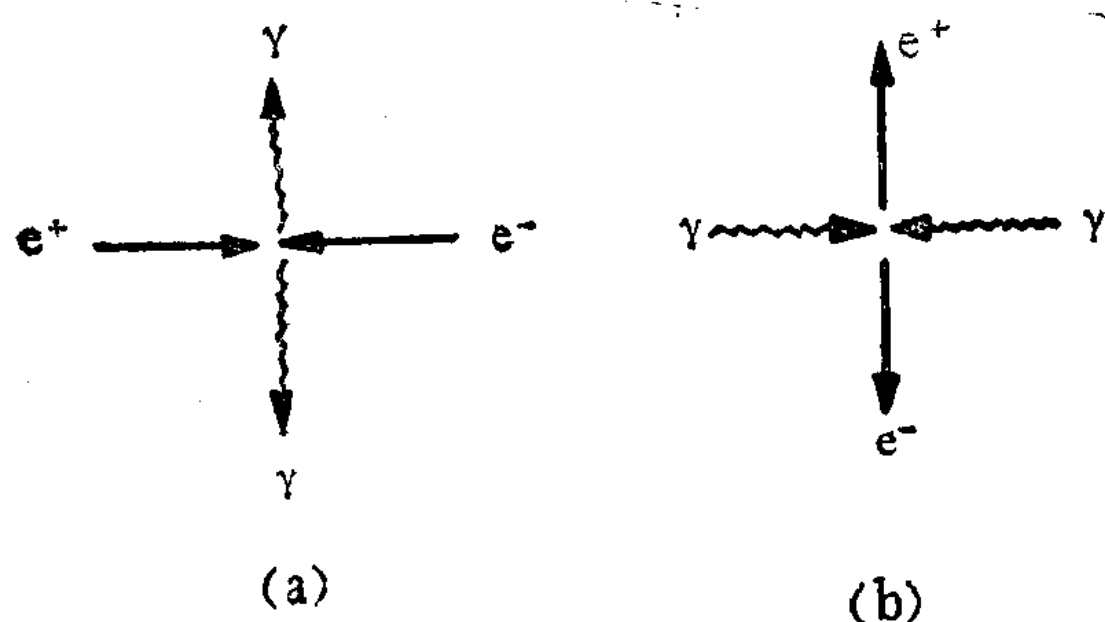


图5-1 电子和正电子互相湮灭过程

(a) 电子和正电子互相湮灭，同时产生出两个光子；

(b) 两个光子对撞产生出一电子/正电子对，只有当光子能量足以产生两个粒子时才能完成这一过程。

一个电子和一个正电子，即电子/正电子对。新粒子也能以这种过程从“无”(纯能量)中诞生。只有当参与的光子具有能产生电子/正电子对的高能量时才能完成这一过程，而且在整个转换过程中都必须保持如此高的能量。当电子/正电子对产生后，其能量又趋于平稳。人们可以从“无”中获得新粒子，但得不到能量，能量始终是恒定的。

根据爱因斯坦粒子质量与能量等价的理论，在物理学，尤其是基本粒子物理学中不能采用克或其它质量单位，只能采用与能量相应的单位。因此，这里将电子伏特做为能量单位，一个电子伏特的能量极低，电压每下降一伏，能量便接受一个电子，电子伏特符号为eV。一个电子的质量为0.5兆电子伏特。后面有时要用10亿电子伏特。

现在，可很容易地给出人们在做电子/正电子湮灭实验时所获光子的能量。若两个粒子在湮灭前处于静止状态，那

么每个光子的能量均由电子质量给定：即0.5兆电子伏特。

现在，再回到第二个带电粒子（质子）上来，质子质量比电子质量约大2000倍，其质量为938兆电子伏特，接近10亿电子伏特。当然，反质子的质量也与质子相等。

现在把质子/反质子系统看成是电子/正电子系统。假设，将一个质子放到反质子附近，这时必然也会发生像电子/正电子那样的湮灭过程，质子与其反质子相互湮灭，产生两个光子，它们将可供其使用的能量带走。当然，这时光子的能量较高，达938兆电子伏特。

要是人们在实验室里做这项实验肯定会感到吃惊，因为极少能观察到质子消失和反质子产生两个光子的现象，相反，在正常情况下，人们却能观察到一种截然不同的现象，

即产生许多粒子——介子。

见图5-2。在许多情况下，粒子中也有 $\gamma$ 量子。此外，人们观察到，产生的粒子数不等，有时是4个，有时又多得多，这完全取决于质子及反质子的能量。如果湮灭前两个粒子的速度大，且能量高，便会产生出许多新粒子。

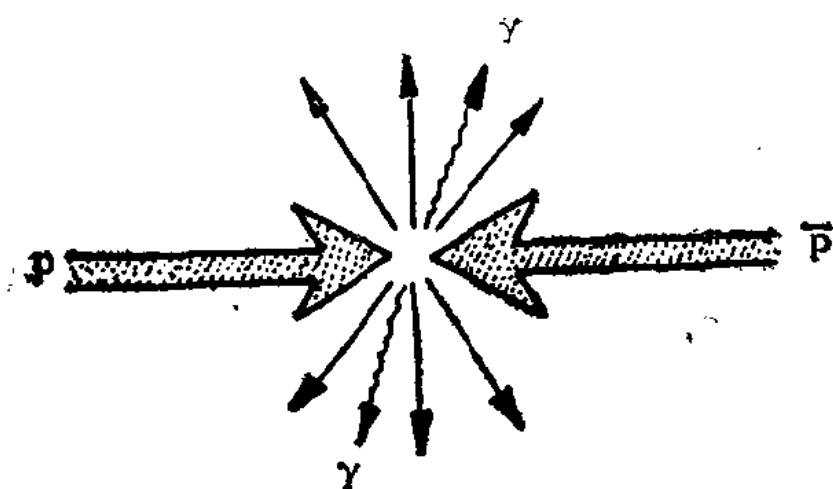


图5- 质子和反质子相互湮灭的情景与电子/正电子湮灭不同，这里所产生的是含 $\gamma$ 量子的新粒子。

子。

1981年，欧洲核研究中心安装了一台加速器，它可将质子和反质子同时加速到极高的能量，使它们互相撞击。加速后粒子的能量达2700亿电子伏特；比1个静止的质子及反质子的能量高300倍。实际上，这个粒子的速度接近光速（为

光速的0.999994)。当两个粒子相互撞击时释放出两倍于2700亿电子伏特的能量，即5400亿电子伏特。如此高的能量足以产生出280个质子/反质子对或50万个电子/正电子对。从理论上说，这是可行的，但实际上不会出现这一过程。尽管如此，欧洲核研究中心在质子/反质子撞击时还是发现了大量的新粒子。

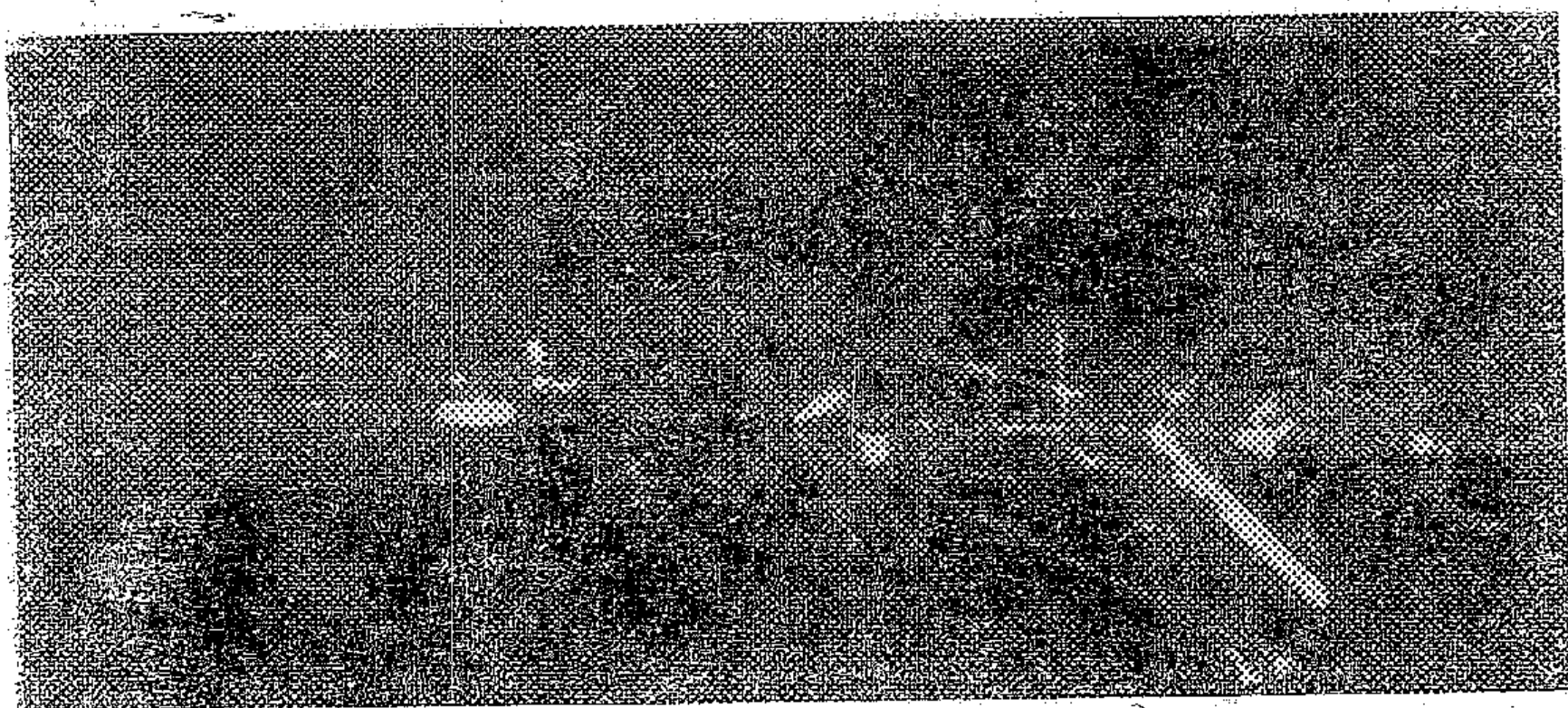


图5-3 质子/反质子的散射  
当一个能量为2700亿电子伏特质子和能量相同的反质子正面撞击时，产生出大量新粒子。

当质子/反质子撞击时主要产生什么粒子呢？一种新粒子，其质量约为140兆电子伏特，即 $\pi^+$ 介子，它是于40年代末从宇宙射线中发现的， $\pi^+$ 介子拥有一带有负电荷的反介子，即 $\pi^-$ 介子。

在对质子/反质子的湮灭进行较详细地研究后，人们发现，还有一种质量约为135兆电子伏特（略低于 $\pi^+$ 介子）的新粒子，即中性介子( $\pi^0$ )，它也有自己的反粒子。

现在，读者也许会问：为什么有 $\pi^+$ 介子存在，而人们以

前没有发现呢?以往发现的为什么是质子,而不是 $\pi^+$ 介子呢?这个问题不难回答,因为 $\pi^+$ 介子不稳定,它不像质子那样能长期生存,它是一种衰变的粒子。前面讲过,中子也不稳定,它会在11分钟内产生衰变,但 $\pi$ 介子的衰变期更短,甚至在未生成以前便发生衰变,其衰变期约为 $10^{-8}$ 秒,对基本粒子物理学家来说, $10^{-8}$ 秒已是一较长的时间了, $\pi$ 介子可在这个时间内,即结束生命前,走完好几米的路程。如果研究一下带电 $\pi$ 介子的衰变产物便会发现, $\pi$ 介子最终总是衰变成一个电子或一个正电子及一定数量的中微子。 $\pi^+$ 介子总是衰变成一正电子加中微子, $\pi^-$ 介子衰变成一电子加中微子。最后,在电子或正电子电荷中可找到介子的电荷,这是必然结果,因为在自然界的一切过程中,电荷就像能量那样,保持恒定,它既不会生成,也不会毁灭。带电介子最简单的衰变过程是: $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu$ 和 $\pi^- \rightarrow e^- \bar{\nu}$ 。 $(\nu, \bar{\nu}$ : 中微子; $\bar{\nu}$ 为反中微子)。有一点要说明的是,这种过程极少发生。

中性介子变化频繁,它可在 $10^{-16}$ 秒内衰变成两个光子,快得使人们在实验室无法观察到,因此,人们只能知道它的衰变产物是光子。在质子/反质子湮灭时观察到的光子大部分都是在 $p-\bar{p}$ 湮灭时由 $\pi^0$ 介子产生的,但这些光子又迅速地衰变成别的粒子。

有关中性 $\pi$ 介子的衰变过程可以回想一个电子/正电子的湮灭过程。一个中性 $\pi$ 介子也像电子/正电子系位那样衰变成两个光子,这难道不令人觉得奇怪吗?再往后你可以发现,这并不是一种偶然现象,与介子的内部结构有关。

现在,来讨论中子和中微子问题。在讨论量子力学几率时已经说过,中子不稳定,它会衰变成一个质子,一个电子

和一个中微子，其衰变取决于能量。中子的质量为939.57兆电子伏特，质子的质量为938.30兆电子伏特；中子质量比质子质量大1.27兆电子伏特。从质量上看，可以认为两者几乎一样，但质子带有一个电荷，而中子为中性。两个粒子的电磁特性截然不同，可为什么它们的质量如此接近呢？可以回想一下：正电子所带电荷与质子相同，但它们的质量悬殊很大，那质子和中子的质量相近的原因何在呢？

世界上第一个对这个问题感兴趣的是海森堡，他于30年代初发现中子后便开始间接研究这个问题了。海森堡根据质子和中子的质量同一性得出了一系列有关原子核特别是核结构的动态结论，物理学家把这叫作同位旋对称。直到不久前人们对它们的质量相近原因尚不明确，到了最近15年科学家们才对此略有眉目。这个问题将在下一章专门讨论，现在还是接着谈中子问题。

中微子是已知的粒子中最为稀少的一种粒子，在第14章中将会看到，中微子也许还是宇宙中一种非常重要的粒子。

中微子是在50年代初发现的，相对来说，发现得比较晚，它跟中子一样，不带电荷，因此，物理学家恩里科·费米将其称为中微子。中微子的性质很特殊：它与普通物质的能量交换特别弱，无疑，中微子可以穿透较大规模的物质团，如，地球或太阳，尽管太阳的半径有一光年，中微子也能顺利穿透，但是它极少与物质发生反应。

世界上的许多研究中心，如，欧洲核研究中心，都建有专门设施，用以产生中微子射线。欧洲核研究中心的中微子射线是在试验中心区产生的，它可以穿透各种实验装置，只有少量的中微子会产生反应。大部分中微子均自由地飞行

着，顺利穿透近处的侏罗山，飞向太空，目前，世界上还没有一种力量能留住它们。欧洲核研究中心产生的中微子将在宇宙间兴妖作怪数十亿年之久，因为它们不受星球和星系的影响。

中微子的另一个特性是：很轻。到今天人们还弄不明白，它们是否也跟光子一样没有质量。但是，许多物理学家坚信，尽管中微子很小，但它是有质量的。1979年苏联科学院ITEP研究中心的物理学家证实，中微子的质量约为20电子伏特，但该研究成果至今尚未被其它研究团体认可。中微子是真有或没有质量，人们正拭目以待。但有一点是肯定的，中微子的质量不会大于30电子伏特。总之，它是一种极轻的粒子，起码比电子要轻上万倍。

现在，来谈谈宇宙中所发现的各种粒子：构成原子核的质子和中子、构成原子外壳的电子、光子、介子和中微子等重要粒子，这些粒子，包括中微子都有自己的反粒子。关于它们的电荷和质量均列于表1。

表1 物质的粒子

粒 子	电 荷	质量(单位为兆电子伏特)
质子	+1	938.30
中子	0	939.57
电子	-1	0.51
$\pi^+$ 介子	+0	139.57
$\pi^0$ 介子	0	134.96
光子	0	0
中微子	0	?

相应的反粒子质量相等，但电荷相反，光子和 $\pi^0$ 介子本身就是反粒子。

原子核由质子和中子构成，结构复杂，如，钨原子原子核由数万个质子和中子构成。可质子和中子为什么能构成原子核呢？在回答这个问题以前，先观察一下原子核的结构。这里，只要研究一下两个质子的特性就可以了。假如观察的两个质子之间的间隔为1厘米，因为它们的电荷相同，所以它们相互排斥，现在强行使它们靠近，这时，电斥力便慢慢加强，将它们靠得再近些，设距离仅为 $10^{-12}$ 厘米，这时，电斥力也愈来愈强，此时突然，两个质子不再相斥，而以一股很强的力相互吸引，当间隔为 $10^{-13}$ 厘米时，吸引力比电斥力约强100倍。

人们发现了一种新的重要现象，即能量转换。到了30年代，物理学家才知道，自然界除电磁力外，还存在一种新力，即核力。核力的性质奇特，只有当粒子间间隔极小时( $10^{-13}$ 厘米)才能确定它。这就是核力为什么比电力发现得晚的原因。

核力不光在质子之间有，在中子或一个中子和一个质子之间也有。如果把一个质子和一个中子放到一起，它们便会互相吸引，并形成一粘结状态，即，一个由质子和中子构成的物体——氦核。

对物体的结构来说，核力非常重要。在原子核内部可以找到质子和中子，质子相互排斥，如果突然把核力去掉，将会造成全球性灾难，所有原子核将立即发生爆炸。

然而，并不是观察到的所有粒子都能参与强相互作用，真正参加的只有质子，中子和 $\pi$ 介子。所有其它粒子(电子、中微子和光子)均对核力无动于衷。一个电子或一个中微子

只不过是飞入原子核，其飞行轨道不受这种强力的影响。

为什么这种强核力能够存在？在下一章将会看到，这与强相互作用粒子的内部结构有关。质子、中子和 $\pi$ 介子均为复合物体，由比它们更小的夸克组成。

已知的每一种粒子都有它的反粒子，在大多数情况下，粒子和反粒子的行为都很相近，因此，物理学家将此称为粒子/反粒子的对称性。

人们可以利用反质子、反中子和正电子来产生反物质：反原子、反分子等，反氢原子由一反质子和一正电子构成，其特性与普通氢原子一样。如果把物质与反物质放到一起，将会发生可怕的现象，物质与反物质在互相湮灭的同时释放出大量的 $\gamma$ 量子 and 巨大的能量。几千克物质与反物质释放出的能量足以供德国使用一年。

对物理学家来说，物质与反物质之间的对称性仍是个谜。人类、地球和太阳的物质由质子、中子和电子形成，目前还没有迹象表明，太阳系中的某个地方聚集着较大量的反物质，包括银河系也是如此。假如在银河系有反物质的话，如一个反物质构成的恒星或星系，那么便可观察到物质湮灭过程，因为这个“反物质星系”无法避免与普通物质接触，最后辐射出 $\gamma$ 量子。人们跟踪过 $\gamma$ 射线，但一无所获。因此，可以肯定，银河星系中没有反物质，其它星系有没有尚不清楚，但不能说宇宙中根本就没有由反物质构成的星系。人们观察到的事物还很有限，无法肯定到底那个星系是由物质或反物质构成的，但也有许多迹象表明，宇宙中根本就没有反物质，对这个问题还将进一步讨论。物质和反物质之间的这种罕见的对称性是与200亿年前，即宇宙形成后间接发生的

过程有直接联系的。

基本粒子研究的新成果几乎都是用加速器获得的，在加速器实验室内，物理学家利用电磁场可将质子或电子加速到相当高的能量。加速后的粒子实际以光速运行。

粒子加速有两种方法，一种是在直线加速段赋予电子或质子能量，人们把这种加速器叫作直线加速器；另一种方法是让粒子在螺旋轨道上作圆周运动，为粒子添加能量，用这种方法可较容易地产生能量。

这些高能加速的粒子要么传到一物质上，要么将其与其它加速粒子碰撞。后一种方法已经在讨论质子/反质子湮灭时提到过，用这种方法产生的粒子碰撞日前正由基本粒子物理学家作进一步研究。根据观察到的这些现象人们可推测出很小间隔时物质的结构。

在过去的20年间，基本粒子物理研究方面耗资巨大，因此，物理学家便把这类试验拿到较大型的，国际合建的研究中心去做。目前，世界上几个最著名的研究中心是：

日内瓦西部的欧洲核研究中心 (CERN)；

美国芝加哥西部的费米国家加速器实验中心(FNAL)；

美国加利福尼亚州帕洛阿尔托的斯坦福直线加速器中心(SLAC)；

德国汉堡的DESY研究中心。

## 第六章 夸克——宇宙原始物质

一个物体是否由更小的物质构成，人们又是如何确定物体的组成呢？卢瑟福是用 $\alpha$ 射线观察原子的内部结构的（ $\alpha$ 粒子为氦元素原子核）；医生能用伦琴射线（光子）透视病人肺部；要透视质子的“内脏”也得建造一台大型X光机，这台机器的分辨间隔应能小于 $10^{-13}$ 厘米。

1957年初，美国加利福尼亚州斯坦福大学物理学家沃尔夫冈·K·H·帕诺夫斯基建议，在华盛顿的原子能委员会建造一座大型电子加速器，计划建造的加速器为直线加速器，用它应能将电子的能量加速到200亿电子伏特以上。1959年5月，苏联人发射的人造地球卫星震惊了整个世界，为此，美国国会批准了这项1亿美元的大工程，该提议也得到了德怀特·D·艾森豪威尔总统的批准。7年以后，即1966年5月21日，物理学家开始在帕洛阿尔托用这台新加速器（SLAC）从事实验工作。事实证明，当时的实验在后来的一段时间内显得十分重要。

用SLAC加速器可将高能电子加进原子核，即质子和中子上去。这种实验与卢瑟福的实验十分相似，只是用电子代替了 $\alpha$ 射线和用原子核代替了原子。

如果质子真是由更小的粒子构成，那么侵入质子的电子

也会与其某一成分正面对撞，并同时剧烈致偏，见图6-1。事实上，斯坦福的物理学家发现了以光速飞来的电子经常在撞击物质（水袋中的钢球）时会突然改变其运动方向。这样，便可证明：质子和中子是由更小的成分组成的。后来，更进一步的试验表明，质子是由3种粒子构成的，它们基本上能在质子内部和平相处。

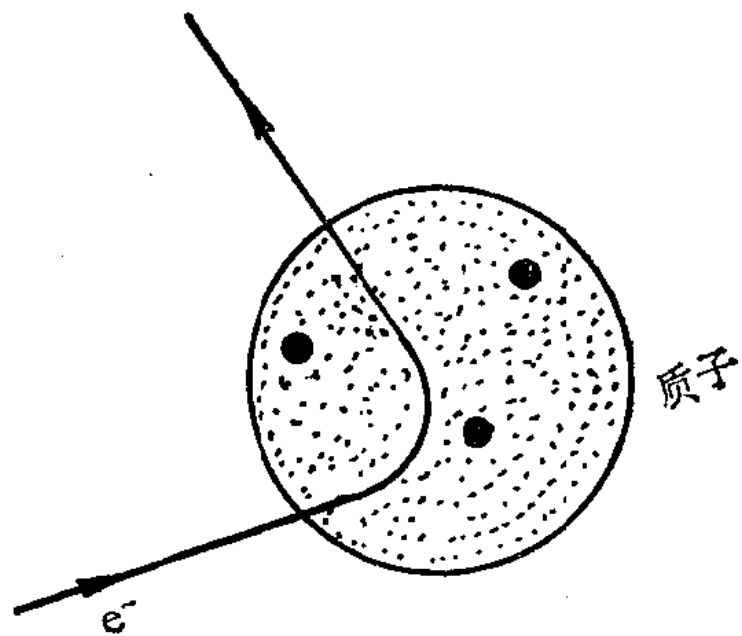


图6-1 高速落下的电子侵入质子并通过一结构改变其飞行方向。这里的力是电子与该结构之间相吸或相斥的电力。当然，人们也可以用这种方法观察质子的带电结构。

这样，SLAC的物理学家证实了美国物理学家默里·盖尔曼和乔治·茨威格1964年提出的假说，他们认为，质子和中子应由3个粒子：夸克组成。

1970年，欧洲核试验中心也进行了类似的实验。然而，在那次试验中，物理学家不是用电子，而是用中微子轰击质子的，所获结果与夸克假说惊人地相似。

一般来说，要描述宇宙中观察到的稳定核物体需要有2个夸克，见图6-2，人们把它们写成u和d，其实，这两个名称很容易理解，现在把它们写成：

$$\text{夸克} \sim \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$$

字母u和d表示“up”和“down”，即“上”和“下”。质子是由2个u夸克和1个d夸克构成，见图6-3，中子由2个d夸克和1个u夸克构成。夸克的电荷很有趣，u夸克带有2/3个

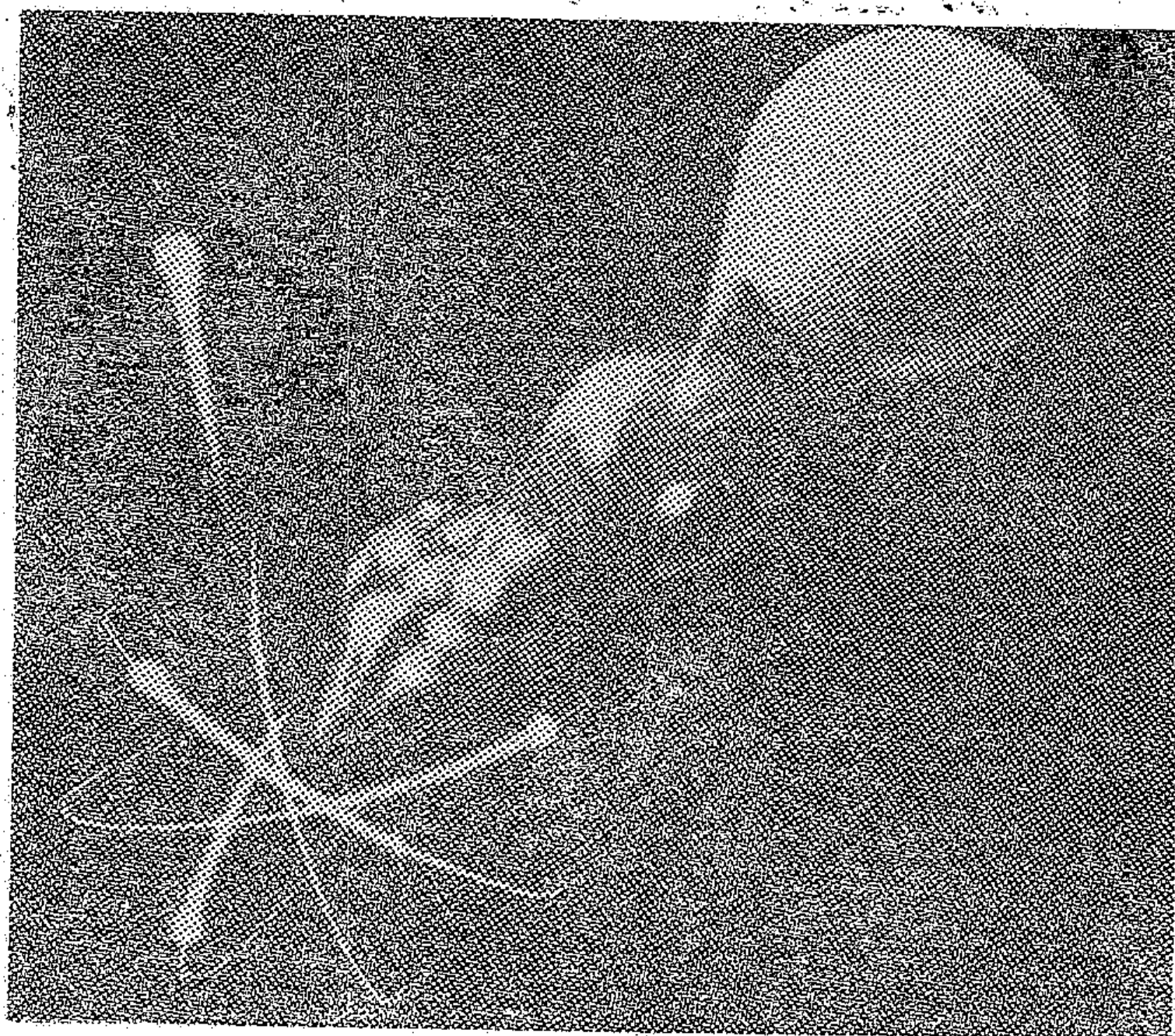
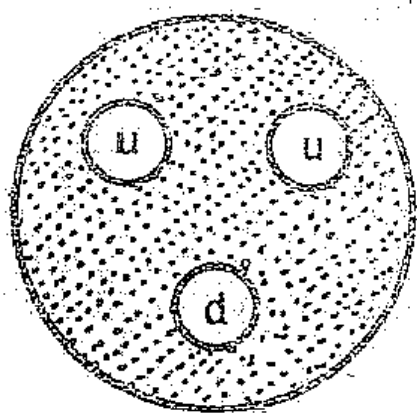
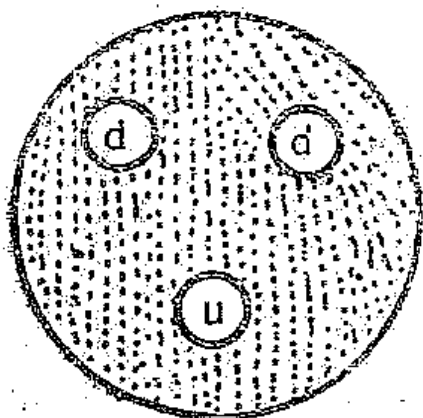


图6-2 物质之精确结构

原子由电子和原子核构成，原子核由质子和中子构成；质子和中子由3个夸克构成。



质子



中子

图6-3 中子和质子结构示意图

电荷和d夸克带有  $-1/3$  个电荷（米利肯的基本电荷）：

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 2/3 \\ -1/3 \end{pmatrix}$$

人们首次观察到了电荷不是整数的粒子。当然，质子和中子的电荷是由夸克电荷合成的。可用下式对它们进行检测（如：质子电荷  $= +1 = 2 \times u\text{-电荷} + d$

- 电荷 =  $2 \times (2/3) + (-1/3) = +1$ 。

反质子和反中子也是由相应的反夸克构成的，这些夸克用 $\bar{u}$ 和 $\bar{d}$ 表示：

反质子： $(\bar{u} \bar{u} \bar{d})$

反中子： $(\bar{u} \bar{d} \bar{d})$

那么 $\pi$ 介子又是怎么回事呢？它也是由夸克构成的，确切地说，是由夸克和反夸克构成的。1个 $\pi^+$ 介子由1个 $u$ 夸克和1个 $\bar{d}$ 夸克组成： $\pi^+ = (\bar{d}u)$ ，见图6-4，带有负电荷的 $\pi$ 介子是由1个 $\bar{u}$ 夸克和1个 $d$ 夸克构成。相对来说，中性 $\pi$ 介子较为复杂，它有两种组合可能性，由1个夸克和1个反夸克形成一中性系统，即 $(\bar{u}u)$ 和 $(\bar{d}d)$ 。那这两个中到底哪一个是 $\pi^0$ 介子呢？外行人也许对物理学家给出的答案迷惑不解：两个都是。两种可能性的概率相等。其中50%为 $(\bar{u}u)$ 系统，50%为 $(\bar{d}d)$ 系统，中性 $\pi$ 介子为“两性人”。

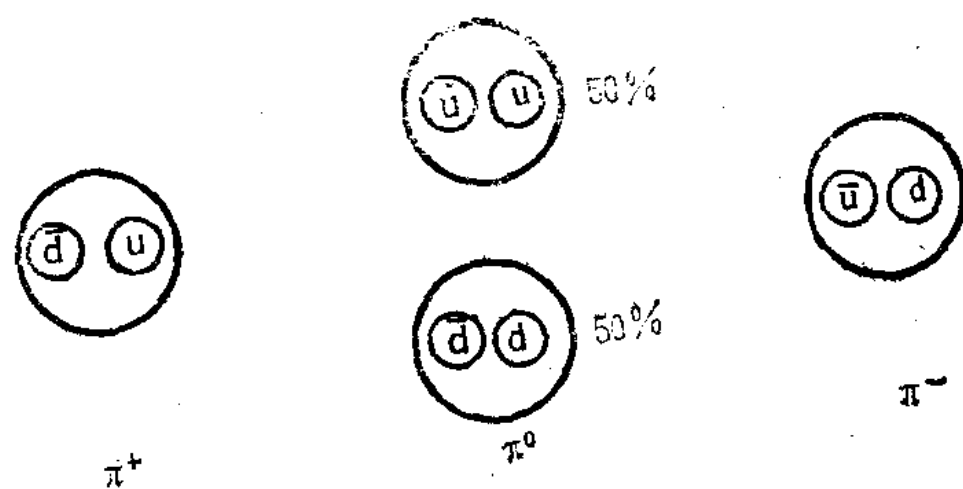


图6-4  $\pi$ 介子的内部结构

$\pi$ 介子由夸克和反夸克，即物质和反物质构成。这并不奇怪，因为它们均为不稳定的衰变物。现在，我们可很容易地理解，为什么 $\pi^0$ 介子会衰变成两个光子：夸克/反夸克系湮灭成两个光子，全部过程与电子和正电子的湮灭过程一

样。中性 $\pi$ 介子的衰变解释了爱因斯坦关于质量和能量等价的理论。 $\pi$ 介子的质量转换成辐射能，即两个 $\gamma$ 量子能。

带电的 $\pi$ 介子的生命随湮灭而告终，但它不是通过湮灭变成 $\gamma$ 量子的。例如， $\pi^+$ 介子通过 $u$ 和 $\bar{d}$ 的湮灭衰变成1个正电子和1个中微子，可过程相当复杂，因为大部分中间阶段还会生成新粒子，即 $\rho$ 介子，它还会再次衰变。这里，不讨论其再衰变。重要的是：带电介子是衰变的，其中夸克和反夸克相互湮灭。此外，新的相互作用，即弱相互作用，使 $\beta$ 粒子产生衰变。

这里要提一下，根据夸克模型会明白，为什么质子和反质子湮灭时首先产生大介子。对质子内部的夸克来说，它是轻粒子，与相应的反夸克构成介子。

前面粗略地介绍了夸克的概念，但还有许多问题得予以回答。为方便起见，试想让读者一道讨论。你提出问题，我尽量给予解答。现在，请开始吧。

**读者：**你第一次提夸克时我就想问了：是什么东西促使3个夸克构成1个质子的呢？夸克间相互作用的力是什么力？为什么有这种三元结构？

**作者：**你的问题提得很有道理。大约在20年前首次讨论夸克模型时就有人提出过这个问题。物理学家几乎花了10年的时间进行研究，可仍然对这个问题弄不明白，为什么一对美满的婚姻会有第三者插足。现在，人们找到了答案：夸克具有电子、中微子或质子都不具备的特性。

**读者：**是什么特性呢？

**作者：**在物理学中，人们对粒子的特殊性质往往用电荷

来加以解释，例如，电子带有一个电荷，周围有一个电场，然而，中子周围没有电场，因为它不带电荷。

**读者：**可是夸克也带有电荷，是不是说它周围也有电场呢？

**作者：**对，夸克之间甚至还有电吸力和排斥力，如1个质子由2个u夸克和1个d夸克构成，2个u夸克带有 $\frac{2}{3}$ 个电荷，因为2个夸克的电荷都是正电荷，所以它们互相排斥。

**读者：**我还是不明白，为什么夸克能呆在一起。1个u夸克会不会高速飞离质子呢？

**作者：**如果夸克除电荷外无其它特性，会出现这种现象。然而，事情不是这样，夸克不仅带有普通的电荷，还带有另一种特殊电荷。若用颜色标示，夸克能以三种不同的颜色（红、绿、蓝）存在。

**读者：**这倒很有趣，我在化学课上学到过，物体的颜色与物体的原子结构有关，为什么您说的颜色成了夸克的特性了呢？

**作者：**你说得很对。但我这里指的颜色不是真正的颜色，只是用它来说明夸克的新特性。事实证明，夸克可带有三种不同的但又不是一般的“电荷”，当然，人们可将这些“电荷”用抽象的符号表示，如a, b, c, 只是为了方便起见，物理学家统一了思想，才用三种颜色来表示。

**读者：**你刚才说颜色或颜色电荷只是人们规定的一种标志，与电荷无关，那是不是说还要为电荷加上

颜色？

**作者：**对，一个夸克可通过颜色和电荷数来表征。

**读者：**为什么要用颜色来表征呢？是不是它们与作用于夸克之间的力有关呢？

**作者：**有关。我刚才说过，两个带电物体之间的电力之所以能够实现，是因为电力不断地将电子“抛来抛去。”

**读者：**这我已经意识到了，似乎夸克是在不断地互相抛什么东西。

**作者：**你猜对了。夸克不断抛掷的物体叫作胶子，从某种意义上说，胶子是一种粘接剂，它能够将质子粘在一起。

**读者：**啊，在电动力学中，胶子与光子相同。

**作者：**不完全是这样，确切地说，胶子具有一种光子所不具有的特性。当1个光子与1个带电粒子。如电子反应时变化不大，一般来说，只改变电子的运行速度，因为光子将能量转移到电子上去了；当1个夸克与1个胶子发生反应时，变化要大一些：夸克会改变颜色。当1个红色夸克在辐射1个胶子时会变成蓝色，这时，胶子带走1个红色电荷，但也带来了1个蓝色电荷，换句话说，它带1个正红和一个负蓝电荷。当它遇到一蓝色夸克时，蓝色电荷便会变成红色电荷。在这种反应过程中，红色和蓝色夸克互相反应，同时改变颜色。

**读者：**那绿夸克又是怎样变化的呢？

**作者：**绿夸克也辐射胶子，如，“走一个绿的，来一个红

的”，总共有6种改变夸克颜色的胶子。此外，也有3种不改变颜色的情况，但不是指这3种组合根本不发生变化，红夸克保持红色，蓝夸克保持蓝色和绿夸克保持绿色。一共有8个只带1个电子的胶子，见图6-5。

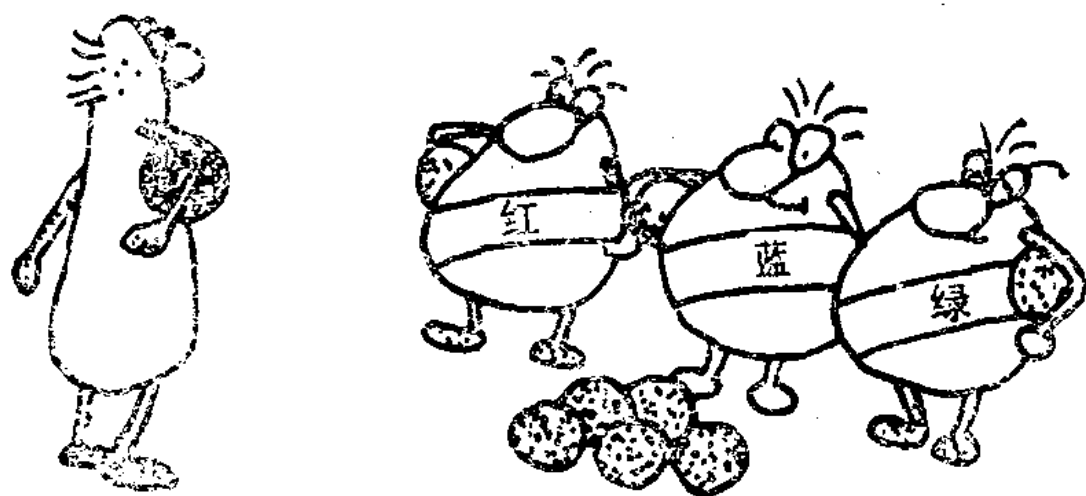


图6-5 3个带色夸克和8个胶子

**读者：**请等一下，8个胶子是怎么回事我还没弄明白。

**作者：**每个胶子都能将一种颜色变成另一种颜色。这里有几种改变颜色的可能性：红→绿，红→蓝，绿→红，绿→蓝，蓝→红，蓝→绿，红→红，绿→绿，蓝→蓝。不考虑后3种颜色不变的可能性，即那些将3种颜色中一种驻于自身的过程：红→红+绿→绿+蓝→蓝。这样，胶子的总数就不是9个，而只有8个。我这里所引用的理论为量子染色动力学（QCD），该理论是于70年代初由理论物理学家建立的，接近于麦克斯韦尔的电磁理论，这两种理论均为纯理论。麦克斯韦尔理论和染色动力学之间的主要区别是，电动力学中只有1个光子，而染色动力学中则有8个胶子。

**读者：**理论上看来是不错，可事实又是怎样呢？人们能在实验室里发现胶子和夸克吗？

**作者：**迄今为止，人们尚未将夸克和胶子真正列为可直接观察的自由粒子。根据染色动力学理论，夸克和胶子都不能作为自由粒子从质子和中子中孤立出来。例如，人们利用SLAC“显微镜”看到质子中的夸克，但不能把它与其它夸克孤立开来。

**读者：**我又让你给搞糊涂了，从理论上说，夸克似乎可以从质子体内取出，可事实又怎么不行了呢？

**作者：**我们现在回顾一下原子物理学。氢原子为一组合系统，由一个质子和一个电子组成。相对来说，采用合适波长的电磁波辐射可较容易地从原子中取出电子，因为在氢原子中电子和质子之间的电吸引力有一特殊性质，电子距质子愈远，电吸引力也就愈弱，电力随距离的平方变弱这一点你是知道的吧，只要为电子加一约14电子伏特的能量，电子便能离开原子键和“它的”质子向外飞出，如果电力随距离不是以平方方式减弱，那情况就不是这样了。夸克的由胶子产生的力（染色力）不随夸克间的距离减弱，它保持恒定。当您用近似法解开量子染色动力学方程时，您便可获得这一结果，可到现在该方程还没被准确解开。

**读者：**这就是说，到目前为止人们还说不清两个夸克之间的力是怎么回事？

**作者：**您说得对，但没说清。已有许多迹象表明，这种力是可以解释清楚的，如近似计算和相对论。但

是要进行计算需要昂贵的计算机，而结果却十分简单：夸克之间的力是不变的，至少在间隔较大时是这样。在间隔为 $10^{-2}$ 厘米时的两个夸克之间的力与间隔为1厘米时的力相等，令人捉摸不透。从理论上说，质子内的1个夸克可与其同伴离得很远，如我们可说它们相距1厘米（一般情况下为 $10^{-13}$ 厘米）。如果我们要将其分开，则需消耗可将1吨物体举起1米高的能量，要将1吨矿石装上卡车需要多少能量您知道吧。现在，我们再举个例子。假设，把1升水中的夸克相互分开1厘米，我们就得为此耗费相当于几千万颗氢弹所释放出的能量。

**读者：**你刚才说过，夸克在质子中的间隔约为 $10^{-13}$ 厘米，这您是怎么知道的呢？

**作者：**夸克间的特征距离与质子的量有关。核物理学家早已知道，质子不是一种点状粒子，而是一种直径约为 $10^{-13}$ 厘米的粒子。为了精确测出质子的直径，科学家做了大量的实验。因此，我们可以把质子看成是一个直径为 $10^{-13}$ 厘米的小球体。至于说质子为什么与电子截然不同，长期以来科学家尚未找到一个满意的答案。直到夸克和染色动力学理论的创立才给解答这一问题带来了一线希望。今天，我们知道，质子是由3个夸克构成的，因此，质子不是基本粒子，它为扩张物体，其直径约为质子内部夸克的平均间隔。

**读者：**尽管如此，可我还是不明白，为什么质子的直径刚好是 $10^{-13}$ 厘米，而不是 $10^{-10}$ 或 $10^{-16}$ 厘米，其大

小靠什么确定？

**作者：**现在，我要你想一想氢原子是怎么回事。氢原子的大小是由原子核和电子之间产生的电力和量子力学的测不准原理确定的。在讨论原子物理时，我专门强调过，原子量是明确规定的。一般来说，氢原子的直径约为 $10^{-8}$ 厘米，它不会大也不会小。夸克之间的测不准性和染色力确定了质子的直径( $10^{-13}$ 厘米)。宇宙间的质子，无论它在地球上，还是在星系中，其直径始终是 $10^{-13}$ 厘米，如氢原子直径，质子的直径是自然中由力给定的特征长度。

**读者：**另外，我还想知道的一个问题是质子的“三重性”。为什么一个质子非要有3个夸克，而不是2个？

**作者：**2个不行，因为夸克之间作用的力不允许，2个夸克会互相撞击，如同2个电子之间互相排斥的电力一样，所以，2个夸克不能结合，也不能构成1个粒子。

夸克之间的染色力有一很有趣的特性，它能使夸克始终保持与颜色中立物体（不显色物体）相连。此外，一个质子不是由3个带任意颜色的夸克构成，而是由红色、绿色和蓝色夸克构成，这3种颜色为最佳组合。因此，我们可把质子看成白色，因为红绿蓝三色混合后可变成白色。质子外表不带颜色，为白色物体。因此，就整体而言，质子和胶子无相互作用，它只能与带颜色的物体，即夸克和胶子产生反应。这里，我想说一下原子物理中的另一种类似

的现象：一个氢原子由 2 个带电的粒子，即质子和电子构成，2 个电荷相互补偿。就氢原子本身来说，它是不带电粒子，质子类似电子，但它是由 3 个带颜色的粒子（夸克）构成的。质子本身没有颜色，因为夸克的三种颜色会相互抵消，因此，质子是“白色”的。现在，我们知道了为什么质子是由 3 个夸克，而不是 2 个，4 个或更多的夸克构成的道理。由夸克构成“白色”粒子的可能性在于：3 种不同颜色的夸克相互组合，质子结构的三重性正好直接与颜色的三重性有关，2 个夸克绝不能构成一“白色”系统。现在我们来试一下，假设只有 1 个绿色和 1 个蓝色夸克，缺第三个红色夸克便不能构成无色体，同样，其它情况也是如此，构成一“白色”物体必须是 3 个夸克，缺一不可。

**读者：**那么介子为什么能由 2 个夸克构成呢？

**作者：**注意，1 个介子是由 1 个夸克和 1 个反夸克构成的，这里的前缀“反”非常重要。如果 1 个夸克和 1 个反夸克，如 1 个红夸克和与其对应的反夸克放到一起，肯定是组不成一“白色”物体，在这种情况下，颜色能相互补偿，再度出现一“白色”物体——介子。一般来说，无色结构的形成有两种可能性，一种是 1 个夸克和 1 个反夸克，另一种是 3 个不同颜色的夸克。两种可能性都是自然形成的，第一种在  $\pi$  介子中（当然，其它介子也是这样）；第二种在质子中。现在，我们知道了为什么没有自由夸克，因为夸克不是“白色”物体，而是带 3 种颜

色的物体，按染色动力学游戏规则是不允许的。要生成自由夸克，我们需消耗巨大的能量。

**读者：**那如何理解质子中夸克之间的染色力呢？要是我没有理解错的话，这种力远大于电力。

**作者：**这种力是比电力强，但强得不多，至少我们观察质子内部时是这样。只要夸克紧挨在一起（间隔为 $10^{-14}$ 厘米）这个力就不会太强。只有当人们要将它们相互分开时这种力才变得很强。因此，物理学家为它起了个名字：不规则游离。当夸克挨在一起时，就如自由粒子。我们现在想象一下被奴隶主用铁链拴在一起的奴隶，要是他们老老实实地呆着，那么他们还有一定的活动余地，但要是有一个奴隶想离开他的伙伴，铁链便会把他拉回。我们知道，质子是由3个夸克构成的，染色力就是把它们拴在一起的“铁链”。从总体上看，1个质子可通过空间自由运动。但质子内的夸克不能，它必须随其它两个伙伴一起运动。在染色动力学中，夸克间的染色力在间隔大时（大于 $10^{-14}$ 厘米）才变强，直至达到一定的强度后才保持稳定。人们把这种现象叫做“红外奴隶”。在物理学中，人们有时也把大的间隔叫作红外间隔。

**读者：**红外奴隶到还不是太糟，因为你说过，夸克间的力在距离较远时不变。为对单个夸克进行研究，人们可以用足够的能量把1个夸克与其同伴分开，虽然所需的能量极大，但至少从理论上说是可以实现的。

**作者：**遗憾得很，我得让你失望了。从理论上也无法实现。其原因是：为方便起见，我们来观察一下介子，假设，我们有足够的力，能把介子中的夸克与反夸克分开。当我们把夸克互相拉开时，见图6-6，需向该原统注入能量。我们知道，能量可以转换成质量或反之（1个中性介子可衰变成2个光子）。当我们将能量“注入”介子时，便会出现这种现象，从“无”中，即能量中，产生出新夸克和反夸克，注入的能量变成新的夸克和反夸克。现在，我们再来观察一下夸克/反夸克对是怎么产生的。首先，拴住夸克的“铁链”突然断开，新生成的反夸克抓住老夸克，形成介子，同样，新生成的夸克与老反夸克“结为伉俪”。这样，我们的实验便无法继续下去了。我们原想将2个夸克分开，可产生出了2个介子。这正是你失望之处：人们试图将1个夸克与其伙伴分开，可结果是只能产生介子，别的一无所获。当人们将1个夸克和1个反夸克相互分开时，会在2个夸克间产生1个新夸克/反夸克对。人们可获得2个介子，但在介子之间无染色力，因此，介子很容易分开。我倒想起我童年时玩吹肥皂泡的游戏，你小时候肯定也爱玩这种游戏吧！

**读者：**当然爱玩啦，可肥皂泡与夸克又有什么联系呢？

**作者：**我们假设，你吹出了一个特别大的肥皂泡，现在你手里拿着一把刀子，想把慢慢落地的肥皂泡劈成两半，这时你会发现什么呢？

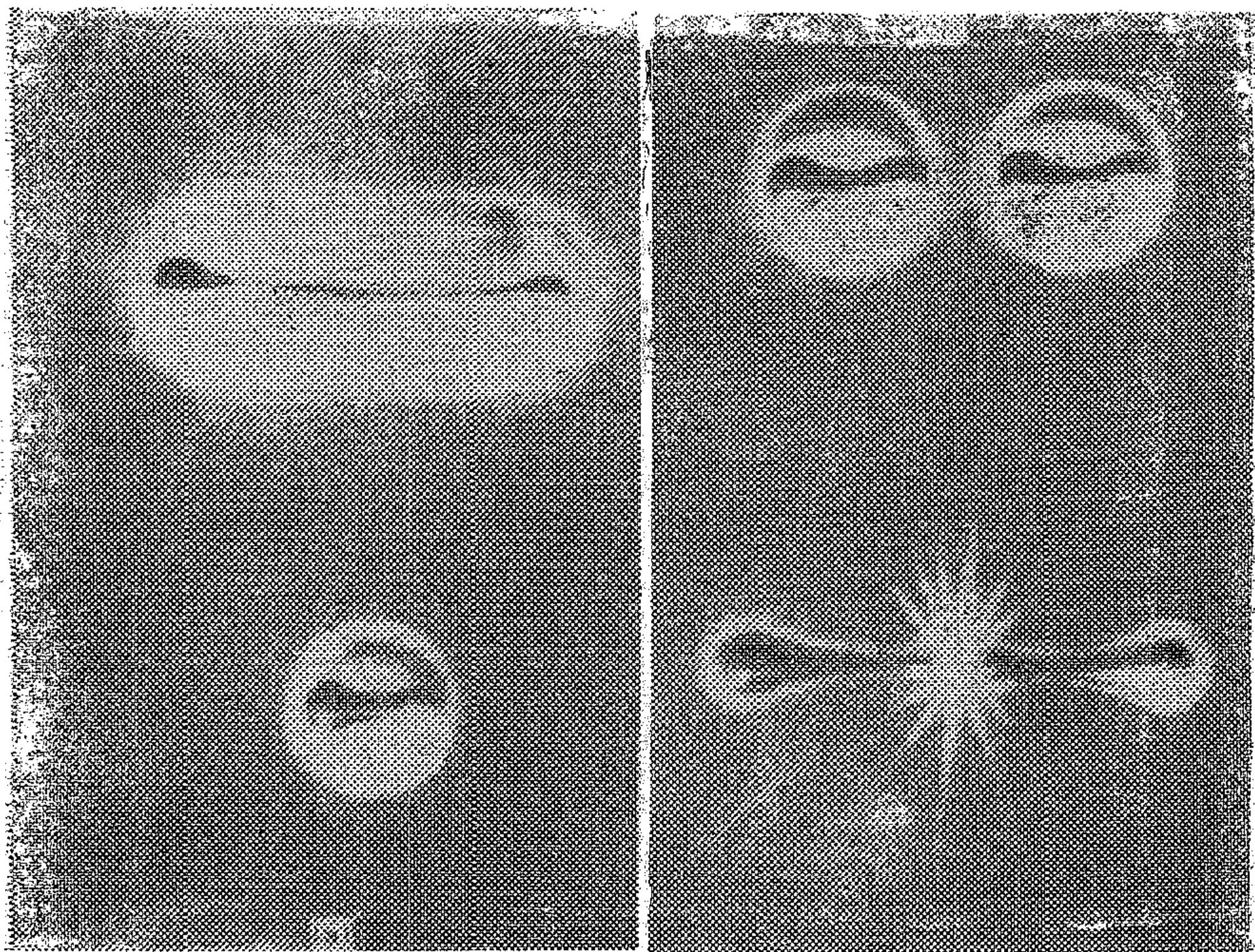


图6-6 将夸克和反夸克分开时的情景

(a) 未分开时；(b) 分开时。

**读者：**肥皂泡是不能劈成两半的。假如你想把它劈开，那么只能将它破灭掉。要是您运气好的话，只能把一个大气泡分成几个小肥皂泡。

**作者：**我正好想说明这一点。人们无法把1个肥皂泡切成两个半个的肥皂泡，顶多能让它变成2个或数个小肥皂泡，而介子类似肥皂泡。此外，你可把介子想象成小肥皂泡，谁要想把一个介子切开，终究是

不会成功的，最多只能产生出新介子——新肥皂泡。

**读者：**介子和肥皂泡的相似性倒是很有趣。可又怎么能知道夸克是不是真的这样呢？难道有人试过把1个介子切成两半？

**作者：**人们利用电子/正电子湮灭做过类似的实验。你可能还记得，1个电子和它的正电子会相互毁灭吧。

**读者：**还记得，在毁灭的同时总是产生2个光子。

**作者：**你说得对，不过电子和正电子的能量相对来说很小。如果电子和正电子以很大的能量正面碰撞，那在湮灭时还将会产生别的过程。例如，可从“无”中产生出1个夸克和1个反夸克。

**读者：**这是不是说，有自由夸克存在呢？

**作者：**不能这么说。要是我说，产生出1个夸克和1个反夸克，只能是在湮灭后间接产生出了1个夸克和1个反夸克，这个夸克马上与1个反夸克或1个新生反夸克结合，组成1个介子。

**读者：**很有意思！把1个电子和1个正电子加速到一足够高的能量时，再让它们相互碰撞会产生1个介子或许多介子。

**作者：**我们可以设想一下，当电子和正电子互相碰撞时，它们会互相湮灭，同时产生出1个夸克和1个反夸克，要么是 $\bar{u}u$ 对，要么就是 $\bar{d}d$ 对。如果电子/正电子对能量够的话，两个新生夸克便会以光速飞离。当它们相互离开足够远时，又会从“无”中产生出新夸克/反夸克对，如此连绵不断。最后，人

们可看到一排介子，它们或多或少向同一方向飞行，即离开夸克及反夸克的诞生地。人们把在电子/正电子湮灭实验时观察到的这种布局叫做喷射。第一次较清楚地观察到的喷射现象是1979年在汉堡的电子/正电子Speicherring PETRA设备进行的实验中。这台设备能将电子和正电子的能量加速到 $2 \times 10^{10}$ 电子伏特（美国1980年在加利福尼亚州的SLAC研究中心也建造了一台类似的Speicherring，命名为PEP）。人们发现，在电子/正电子湮灭过程中经常出现两种粒子喷射现象（见图6-7）。无疑，这些喷射是由我们上面所描述的过程

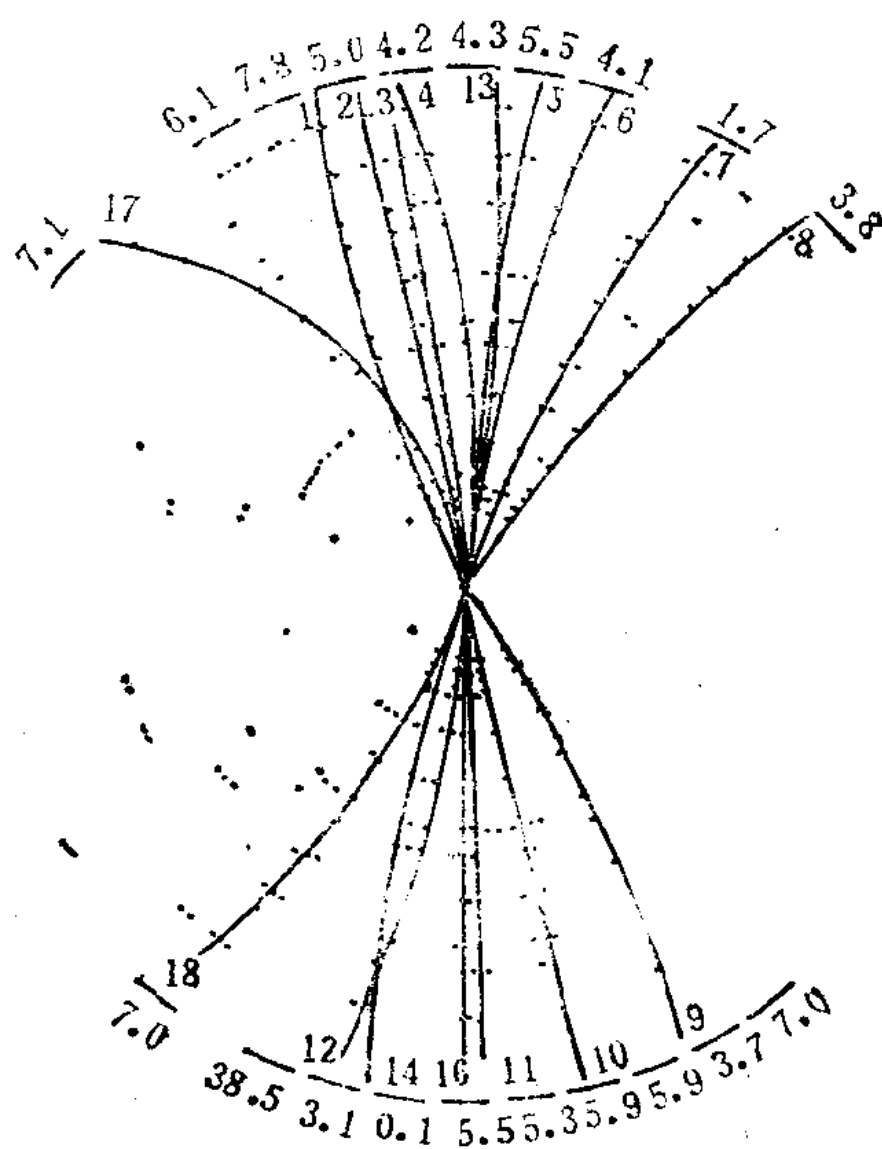


图6-7 电子/正电子湮灭时的两种典型喷射现象

上图为电子/正电子湮灭时产生的夸克/反夸克对“碎片”。

产生的。我们可将粒子喷射叫作夸克“碎片”，这些“碎片”是在电子/正电子湮灭时产生的。为此，物理学家把粒子喷射产生过程称作夸克“碎裂”，所以我们可以说，可从喷射现象中间接观察到夸克。

**读者：**如果我们从来没有直接观察到过自由粒子，那我倒要问，是不是说夸克的存在根本就不合理。人们无法观察到的东西怎么能证明是存在的呢？

**作者：**这里，我得反问你一句，什么叫“存在”和“观察”？谁也没有用肉眼直接观察到过电子，也只是间接观察到过它，研究由它所产生的效应而已，如在粒子检测仪中产生一痕迹。夸克的特殊性质是，它只能生存在粒子内，不能把它与粒子分开。但这只是个大小问题。假如一个物理学家的身高只有 $10^{-15}$ 厘米（没有如此矮小的物理学家），他就能在质子内散步。对一个观察家来说，夸克也像电子一样，只是不难分开。对这种物质可分的外行话我倒觉得很有意思。日常生活的经验告诉我们，一个物体是可分的，谁都知道，要用斧子劈开木块，需要能量，如将这个能量按比例代入木块的质量等价关系式，该能量很小，甚至可以忽略不计。同样，与原子或原子核的质量相比，要捣毁一个原子或原子核所需的能量也很小。对夸克来说，我们第一次遇到这种情况，即破坏质子或夸克时介子所需的能量相等或大于粒子的质量。新夸克及反夸克是从“无”中产生出来的，因此，无法将它们分开。这样就清楚了，我们平时的物质可分概念必须加以修正。夸

克是质子或介子的一部分，但人们无法将它们分开，它始终与后者连在一起。

结束讨论时，请允许我把夸克物理的主要观点综合一下。质子和中子是由3个夸克，即由u（电荷 $2/3$ ）型和d（ $-1/3$ 电荷）型夸克构成。当然还有其它夸克，但它们对结构稳定性作用不大，因为这些夸克构成的粒子寿命很短，所以本书中没有提起过它们。另外，你肯定知道，夸克带有颜色，作用于夸克间的染色力使得自然界无孤立的夸克，它们只能生存在“白色”物体中（质子、 $\pi$ 介子等）。染色力是胶子交换时产生的。胶子跟夸克一样，带有颜色，因此也不能是自由粒子。最后，我再提一下核力，它是将质子和中子固定在原子核上的力。如今我们知道，核力不像电力或染色力，不是自然力，实际上是夸克间染色力间接产生的力，所以，在原子物理中，近10年来，人们一直在研究它，它是一种十分复杂的力。10年前，物理学家就开始对粒子感兴趣，因为他们想了解在原子核内部作用的力。今天所获结果非常令人吃惊：人们发现了一个新世界，即夸克、胶子和染色力世界。

## 第七章 质子的衰变与统一的物理

从原子核、质子和中子的结构看，它们都不是不能分割的基本粒子，是由夸克构成的。但构成原子外壳的电子却是不能分割的基本粒子。迄今为止，无论从实验中，还是从理论上都未能找出构成电子的粒子。同样，中微子和夸克也是这样，没有找到比它们更小的结构。如果电子、中微子和夸克是由更小的粒子构成，那么后者必须“挤进”一极小的空间。实验人员声称，电子的直径不可能大于 $10^{-17}$ 厘米，这就是说，电子要么是点状，无内部结构，或是其直径不到质子的万分之一。科学家也为夸克和中微子得出了类似的结论。

因此，电子、中微子和夸克均为无结构基本粒子。下一步要讨论的内容将以这一假设为依据。

电子、中微子和两个夸克u与d相互有亲缘关系吗？初看起来，这个问题很少有人会提。一般来说，电子和u夸克之间的差异很大，电荷数也不一样，电子带有1个电荷，u夸克带有 $2/3$ 个电荷。此外，u夸克带颜色：红色、绿色或蓝色，但电子是无色的。且完全不受强相互作用的影响。这样，可以看出，电子和夸克之间的差异是很大的。几年前，尽管物理学家提出了一种假设，即电子、中微子和夸克u和d之间有密切的亲缘关系。但这里不打算讨论，只想提一下有关电荷的问题。

为什么计算出的u夸克的电荷是2/3，正好是电子电荷或正电子电荷的2/3呢（不考虑电荷前面的符号）？如果电子和夸克之间无密切关系的话，那就无法理解电荷之间的奇特关系。

d夸克的电荷类似u夸克，可为什么它的电荷是电子电荷的1/3呢？质子的电荷为+1；它由3个夸克的电荷组成： $+1 = 2/3 + 2/3 - 1/3$ 。然而，对这个问题有人也许会问：为什么质子的电荷正好与电子的电荷一样呢？要是电子和质子的电荷不一样，那么后果将不堪设想，这时，原子的电荷就会互相碰撞，人类的世界就不会是现在这个样子，也不会有较大的物质聚集。因此，夸克带2/3个和-1/3个电荷不是一种偶然现象。

怎样确定两个不同物体之间是否有亲缘关系呢？对此，人们在不断地寻求这一问题的答案。对此人们有不同的观点，一种观点是上面提到的观点，即电荷之间的奇特关系。现在，再来观察一下所有的基本粒子（包括夸克的颜色），并将其描述如下（r, g, b表示红、绿、蓝）：

$$\begin{pmatrix} \nu_e & | & u_r & u_g & u_b \\ e^- & | & d_r & d_g & d_b \end{pmatrix}$$

这里，一共涉及到8种物体，6个带色的夸克、电子和中微子。对于电子、中微子和相应的反粒子；现在用轻子这个词表示。电子和中微子场为轻子。因此，人们把上面提到的8种轻子和夸克统称为轻子-夸克家族。

仔细观察一下这个“家族”，你发现了什么？有没有什么特别之处吗？现在把轻子和夸克的电荷写出来：

$$\begin{pmatrix} 0 & 2/3 & 2/3 & 2/3 \\ -1 & -1/3 & -1/3 & -1/3 \end{pmatrix}$$

你也许马上会发现，所有家族成员的电荷之和均为零。这里，给出一种简单的计算方法：

$$-1 + 3(2/3) + 3(-1/3) = 0$$

至此已经发现了轻子和夸克之间另一个重要关系，即所有轻子-夸克家族成员的电荷数之和为零。这并不是偶然现象。在自然界有一种原理：即电荷数之和必须是零。但是，只有当人们将夸克的3种颜色都计入（每个夸克均以3种颜色出现），电荷之和才会为零。如果不考虑颜色，那么轻子和夸克的电荷数便不是零，而是  $-1 + 2/3 - 1/3 = -2/3$ 。

为了弄清电荷之和是零这一现象。物理学家假设，轻子和夸克是通过一大的对称原理相互结亲的。同样，轻子和夸克不外乎是相同基本物质原始粒子的不同的表现形式。

可以假设。1个电子和1个u夸克完全是相同基本物质的体现；电子和u夸克只是该物体轻子-夸克原始粒子的不同表现形式。这并不是毫无根据的推测，而是经得起推敲的理论。物理学家特别对两种相近的理论作了研究。这里只提一下这两种理论的原理部分，不作详细讨论。第一种理论是所谓的SU(5)理论，这一理论由霍华德·乔治和谢尔登·格拉什夫两人于1974年发表（格拉什夫于1979年获诺贝尔物理奖）。

SU(5)理论给出两种能得出轻子和夸克的原始粒子，SU(5)理论的标志不外乎就是轻子和夸克之间对称数学关系。

同样，彼得·闵科夫斯基于1974年（伯尔尼大学教授）和我本人及乔治在加利福尼亚理工学院共同研究一种只出现1

个轻子-夸克原始结构的理论。人们将其称为SO(10)理论，对该理论中出现的对称在数学上人们用SO(10)符号表示。SO(10)假说的主要特点是：所有轻子、夸克和反粒子相互都有亲缘关系；它们只是一种源于同一原始物体的不同表现形式。

在SO(10)理论中，轻子-夸克原始粒子就像变色龙。有16种不同的表现形式，它们能变换16种不同的颜色：

$$\text{原始粒子} = \left( \begin{array}{cccc|cccc|cccc} \nu_e & u_r & u_g & u_b & \bar{u}_r & \bar{u}_g & \bar{u}_b & \nu_e \\ e^- & d_r & d_g & d_b & d_r & d_g & d_b & e^+ \end{array} \right)$$

这里并不要求读者用轻子和夸克的一般理论去揭开世界上所有的谜，因为许多问题至今尚未找到答案。然而，人们相信，至少通过SU(5)或SO(10)理论可对自然界的几种观点加以说明，下面提一下这两种理论的最重要的结论。

无论是SU(5)，还是SO(10)理论都认为：在轻子和夸克之间存在着亲缘关系，由于它们未呈冻结状态，所以只有当人们采用相当高的能量对轻子和夸克进行研究时，才能发现它们之间的关联。这种试验所需能量巨大约为 $10^{24}$ 电子伏特，相当于 $10^{15}$ 个质子的质量（约为 $10^{-9}$ 克物质），这用加速器是无法实现的，当能量达到 $10^{24}$ 电子伏特时，轻子和夸克之间的所有区别都将烟消云散。这时，电子和u夸克之间也就没有差异了。

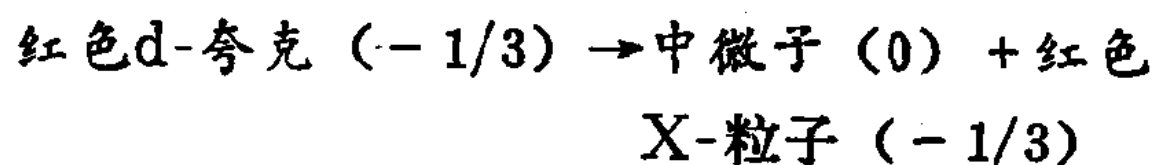
由于测不准关系，1个粒子的能量、脉冲或速度均与相应的空间有关，该空间便是测量粒子位置的界限。上面提到的 $10^{24}$ 电子伏特的能量给出一空间间隔，该间隔约为 $10^{-29}$ 厘米，这样，普朗克基本长度“仅”比 $10^{-29}$ 厘米小千分之一。在这么小的间隔上，轻子和夸克之间无任何差异。因

此,从仅为 $10^{-29}$ 厘米的间隔上根本观察不到单个的电子,而“只”有轻子、夸克原始粒子,所以,人们无法区分电子、中微子和夸克之间的差异。

这里,读者也许要问?那轻子和夸克的电荷为什么不一样?夸克的色又是怎么回事呢?答案是:全部差异均在电荷与颜色之间烟消云散。电力与染色力“仅”是一种及轻子/夸克的不同原始自然力的表现形式而已。人们平常所知道的电力与亚核染色力也有亲缘关系,染色力能使3个夸克形成1个质子。

电力和染色力之间之所以有亲缘关系,是因为除这两种力外还有第三种力,这也是下面要讨论的问题。这里,权且称之为X相互作用,因为物理学家把这种能产生新力的粒子称作X粒子。

X相互作用性质奇特,它能使1个夸克变成1个轻子、1个夸克变成1个反夸克和1个电子变成1个正电子,它像魔术师一样,能把轻子/夸克家族成员中的某些成员变成这一家族中的成员。在讨论染色力的时候曾说过,只要放出或吸收胶子夸克的颜色会发生变化,例如1个红色夸克会变成1个绿色夸克。X相互作用与其相似,当1个夸克释放出1个X粒子时,便自动变成1个轻子/夸克家族成员,例如变成1个正电子。这时,X粒子带有颜色和所需电荷。例如:



括号内为规定电荷数。X粒子也像夸克那样,为带色物体,带有 $1/3$ 个电荷。

X力被理论物理学家纳入轻子-夸克统一理论范畴,以便

最终物理上统一的观点。在SU(5)或SO(10)理论中只有1个轻子/夸克原始自然力，电力、染色力和X力只不过是这种原始自然力的各种表现形式而已。

迄今为止，人们尚不清楚，是否真有X力存在。X力非常微弱，它比电力还要弱。从理论上说，只有当轻子和夸克靠得很近，即 $10^{-29}$ 厘米时方能达到这个力。在间隔特别小时，X力的强度与电力和染色力一样。

X力与核力相似，只是后者特别弱。当离原子核的距离大于 $10^{-13}$ 厘米时，就已测不出这个力，只有紧挨着原子核时核力才变强。然而，各种力的相应距离各异。核力的临界距离为 $10^{-13}$ 厘米，而X力的临界距离为 $10^{-29}$ 厘米（对读者来说，对核力可能了解得多些。这里提一下，X力的临界距离与X粒子的质量有关。电力和染色力是由光子、质子和胶子求出的，它们无静止质量，因此也没有X力。X粒子的质量为 $10^{24}$ 电子伏特。轻子和夸克成为一体时的临界能量是根据爱因斯坦的质量和能量等价理论由X粒子的质量给定的）。

要观察X力，就必须让2个电子或1个电子和1个夸克靠得非常近，即 $10^{-24}$ 厘米，也就是说，根据测不准关系，必须将这2个粒子加速到相当高的能量： $10^{24}$ 电子伏特。然而，如此高的能量在地球上根本无法实现，即使人类沿地球赤道都建满了加速器，就目前的技术水平来说，还无法将粒子的能量加速到 $10^{24}$ 电子伏特。

然而，至少有一种方法有直接观察到X力的希望。这就要回到轻子和夸克统一理论的有趣结论上来：物质的不稳定性。

宇宙中充满着不稳定的粒子，它们不断生出新的，但又

在很短时间内衰变的粒子。你大概还能想起大气层外由宇宙射线产生的介子吧，它们衰变得就很快，其衰变物始终“轰击”地球表面（包括人体）。此外，中子也不是稳定粒子，大约生成后11分钟便衰变成质子、电子和中微子。

究竟是什么给出了稳定的物质呢？现在，来看一看金刚石吧。金刚石非常坚硬，而且永远如此，它还是几十亿年前在地球上形成的。可从那时到现在它并没有什么变化，因为它是由电子和夸克形成的，电子和夸克能自由共存，所以永远也不会发生变化。

金刚石为什么永不变化呢？谜底是：质子的稳定性。长时间观察1个中子就会发现，它会变成1个质子，1个电子和1个中微子。可质子不一样，无论您观察多长时间，质子还是质子，它不会变成其它粒子。

可这是什么道理呢？大家知道，在自然界，无论在哪个基本变化过程中电荷本身都不会改变。例如，中子衰变时，初始电荷为零（中子不带电荷），最终衰变产物的电荷也为零，因为质子和电子的电荷被相互抵消。假如1个质子发生

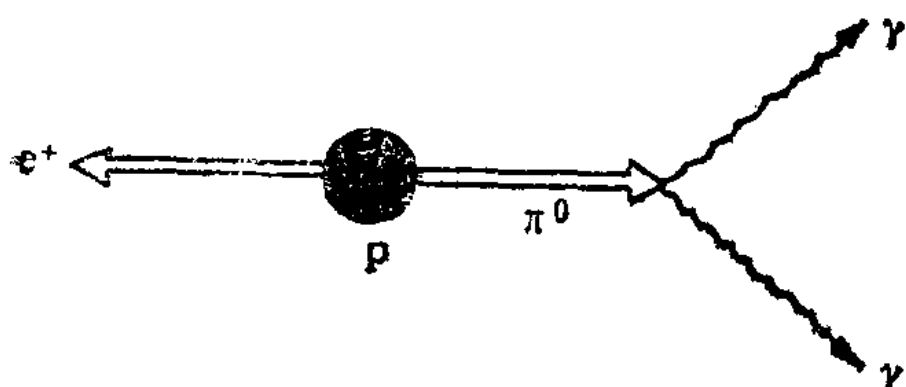


图7-1 假设的质子衰变

质子会自行衰变成1个正电子和1个中性 $\pi$ 介子， $\pi$ 介子在生成后会再次衰变成2个光子。

衰变，它也必须遵循这一定律，其它别无选择。现在，来看看质子衰变的可能性。1个质子能衰变成1个正电子和1个光子，或变成1个正电子和1个 $\pi^0$ 介子， $\pi^0$ 介子又会衰变成2个光子，见图7-1。衰变时可在

正电子中找到电荷。

人们希望能看到质子的这种衰变，然而，却什么也没有发现。所以，可以说质子是一种稳定粒子，它可以立即衰变成1个正电子和1个介子，但它却拒绝发生这种变化。实验人员声称，质子至少已生存了 $10^{29}$ 年。

读者也许会感到奇怪，人们是怎样得出结论，说质子生活了这么多年，地球统共才50亿岁，这个结论是实验人员在地球上得出的呀。

值得一提的是，人们在做这项实验时并不是观察1个质子，而是观察大量的质子。此外，人们也可以根据人类的生存得出质子的寿命：大于 $10^{16}$ 年。人体内约有 $10^{28}$ 质子，如果质子的寿命是 $10^{16}$ 年，那么人们可以期望从这 $10^{28}$ 质子中约有 $10^{12}$ （ $10^{28}$ 除以 $10^{16}$ ）质子在一年内衰变，每小时约有3万次衰变。因为质子每次衰变都会放出高能粒子，如光子、 $\gamma$ 量子。人体任凭这些生成粒子的持续轰炸，然而，人体却经受不了其长期轰炸。

从统一的轻子和夸克理论中得出的有趣预言是：质子是衰变的。其寿命约为 $10^{31}$ 年，这一寿命仅比目前确定的 $10^{29}$ 年多一点（精确值取决于专门模型。但SU(5)和SO(10)理论的说法是，质子的寿命大于 $10^{32}$ 年）。

关于质子的衰变可作如下描述。上文说到的X相互作用能使轻子和夸克相互转换，前提是：假定相互激发的粒子距离不得大于 $10^{-29}$ 厘米，而组成质子的3个夸克间距离平均约为 $10^{-14}$ 厘米，这与 $10^{-29}$ 厘米相比已是一巨大的间隔。假如把后面的间隔说成是1毫米，那么质子中夸克的平均距离相当于从太阳到月球的距离。尽管如此，质子中的2个夸克在其连

续通过质子内部时偶尔也会离得很近（小于 $10^{-29}$ 厘米），运用测不准关系可很方便地计算出这种几率，约为每 $10^{31}$ 年1次。根据这一结果得出： $10^{31}$ 质子中每年平均有1个质子有“机会”出现其2个夸克以 $10^{-29}$ 厘米的距离靠近这一现象。（不知人们知不知道，要用多少物质才能获得 $10^{31}$ 个质子。17吨水中约包含这么多质子）。

当2个夸克靠近到 $10^{-29}$ 厘米时，便出现新的X相互作用。读者也许可以想一下，这时：1个夸克便会变成1个轻子，如，正电子。此外，质子自身也发生变化，释放出1个正电子，有时也会释放出1个中微子。一般情况下只保留一个能再次衰变的 $\pi$ 介子。因此，质子也不是一种永远不消失的粒子，其寿命约为 $10^{31}$ 年。这里，不打算讨论质子的精确寿命。重要的是，质子不可能永远生存，而随着时间的推移也会发生衰变。因此，金刚石也并非是能永远存在的物质。

图7-2所示质子衰变成1个正电子和2个光子的现象引

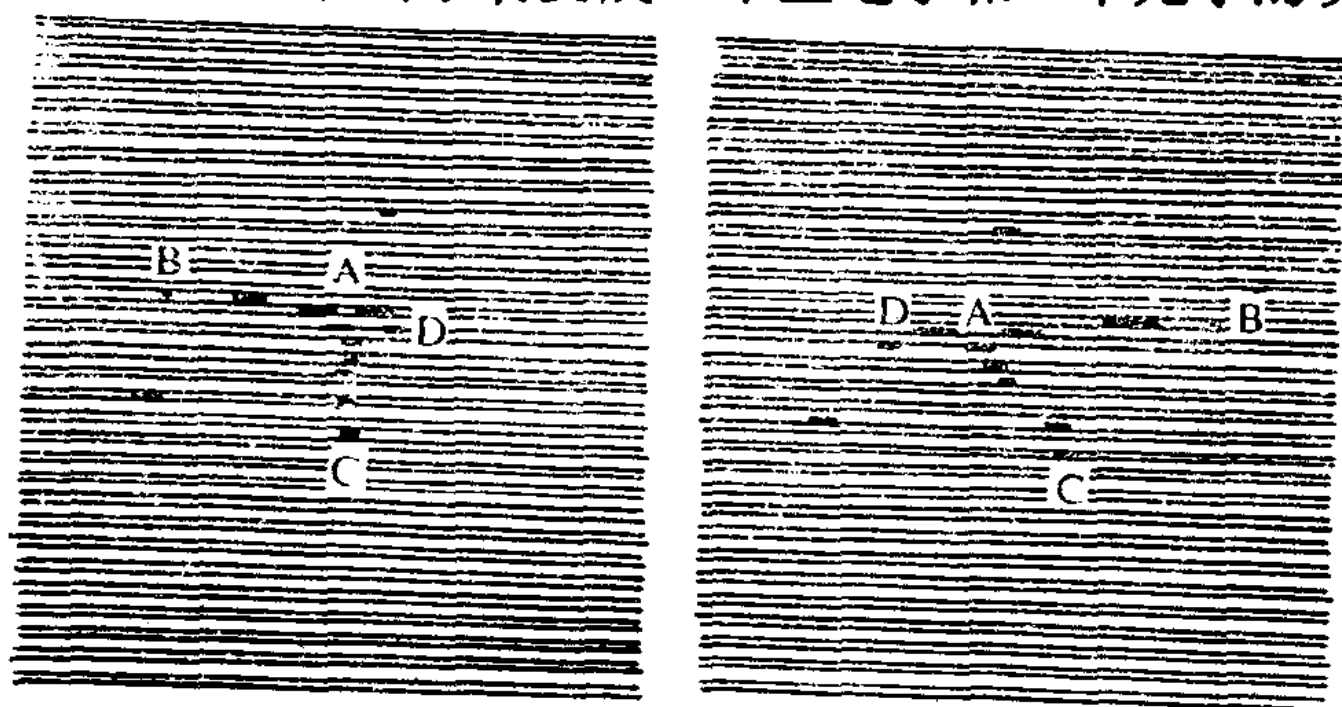


图7-2 1982年在勃朗峰隧道粒子分析仪上发现的新结果  
它用来解释质子衰变现象， $p \rightarrow \pi^+ \pi^- u^+$   
( $u$ 粒子为轻子，其质量约为电子的200倍)。

起了人们的注意，在这种衰变时，质子的大部分物质转换成光子，即光。此外，正电子实际上是以光速飞离质子的，这种衰变也是爱因斯坦质能量等价理论的最好范例。假如能成功，50升水中所含质子在一年时间里衰变所释放出的能量足以供美国全国使用一年。当然，这里仅是一种幻想而已。要使质子衰变加速和获取如此高的能量看来是不现实的。

有一点是不可忽略掉的，即利用化学催化剂原理可使质子衰变加速。SU(5)理论认为，自然界应有新的、质量非常大而且非常奇特的物体，即所谓的磁单极子存在，至于这种粒子是怎么回事，这里不打算详细讨论。重要的是，这种物体很重（约为 $10^{25}$ 电子伏特），并能在能量达不到 $10^{24}$ 电子伏特的情况下相互变换为轻子和夸克。如果这种粒子与质子相撞，后者便会发生变化，马上释放出轻子和光子。

足够量的磁单极子缩成一小体积时便构成一部很理想的物质毁灭机，例如，人们可用少量的物质与磁单极子发生反应，用这种方法可以获得由 $\gamma$ 量子形成的强辐射能量。因此，足够量的物质与磁单极子反应会引起爆炸。一个这种“炸弹”的爆炸威力将比一枚氢弹的爆炸威力大100倍。

人们在许多试验中试图寻找这种磁单极子，但至今仍一无所获。因此，要想像产生 $\pi$ 介子那样用加速实验产生磁单极子是不可能的。发现磁单极子唯一的可能的方法是对物质进行精确研究，尤其是对宇宙射线的研究。人们可以接受这种说法，在大爆炸时，宇宙中产生了大量的磁单极子，今天肯定还有不少残留在宇宙中，有可能采用合适的粒子计数器来证实这一点。目前，已经开始使用这种方法，但至今还是毫无结果。

这里要强调的一点是，宇宙中磁单极子的密度已不是很高了。因此，人们也不要抱将来能从磁单极子中获取能量或制造磁单极子炸弹的希望。

记住，如果质子真能活到 $10^{31}$ 年，那将会发生什么情景呢？地球上每年经质子衰变损失的物质有0.1克。人活一辈子，1个质子在人体内的衰变仅为10%，也可以这么说，每10个人中只有1个人“有幸”经历1次质子衰变。

多年来，物理学家正准备用精确的实验来检验质子的稳定性。为防止宇宙辐射效应的干扰，这类试验都是在地下进行的，如印度南部的戈拉尔金矿矿井或法国和意大利交界的勃朗峰隧道，在隧道里实施的实验中，意大利物理学家于1982年发现了一次不敢绝对肯定的质子衰变过程（图7-2）。

如果目前正在美国进行的新的的大型实验能成功的话，便能找到一准确的答案。眼下，许多研究小组正在对大量的水进行研究（1万吨水中，约含 $10^{23}$ 个质子）。供研究的水池建在克利夫兰东部的莫顿盐井600米深的地下。只要有1个质子发生衰变，便会释放出快速运动的粒子，如，光子或正电子，见图7-3，当这些粒子穿过水面时会发出蓝色的光，这种现象人们称之为切伦科夫效应，这一效应首先是由玛丽·居里夫人在巴黎作铀试验时发现的。铀是一种放射性元素，其原子核不稳定，产生衰变时（类似中子衰变）释放出快速运动的粒子。30年代，人们在试验铀和其它“放射性”元素时观察到了这种罕见的光，苏联科学家帕米尔·阿列克谢耶维奇切伦科夫对此进行了详细研究。

在克里夫兰实验中质子衰变时出现的切伦科夫光是用光敏管，即光电倍加器记录下来的。在大水池的周围装了大约

2400个光敏管。从图7-3中便可看到1个质子衰变成1个正电子和2个光子的情形。切伦科夫光以特征光锥形式放出，因为是3个粒子放出的光，所以图中看到的是3个这种“光锥”。



图7-3 莫顿盐井试验中发现的1个质子衰变释放出1个正电子和2个光子的情景  
衰变时，3个粒子产生3个切伦科夫光“光锥”。（用光敏管测得）

物理学家借助于克里夫兰实验和别的实验于80年代观察到了质子的衰变现象，但前提是，质子的寿命不会大于 $10^{33}$ 年。如果简单的轻子和夸克标准理论论据可靠的话，且质子的寿命约为 $10^{31}$ 年，那么在将来，人们每年都能观察到几十次质子衰变。

目前，除了在克里夫兰人们在“追猎”衰变的质子外，许多国家都在从事这种实验，或正准备做，例如，美国犹他州的休尔沃-金和苏联高加索地区的巴克桑塔尔实验室。眼下，法国，意大利和德国的几个物理研究小组正在实施一项大型实验，该试验已在法国的格勒诺布尔和意大利都灵之间的费雷瑞斯蒙特隧道内进行了好几年了。物理学家在这项试验中采用一专门设计的电子装置对1500吨铁进行了观察。

无疑，质子衰变的发现是一项重大的发现，这使人们知道，质子和所有原子核都不是永存的，它们将随着时间的推移而消失。质子和原子核之所以能突然变成一种物体，也有它的历史，其历史与几百万年前生活在地球上的，后来又绝种的恐龙尤相似。如果质子在 $10^{31}$ 年后绝种，世界将会变成什么样子呢？这是否意味着宇宙的末日呢？

其实，死亡与新生是紧密相连的，如果质子最终绝迹，人们可以想象得到，它们又将在某一时期重新诞生出来。

## 第八章 魔 炉

你也许见过玻璃吹制作坊那熊熊燃烧的熔炼炉吧。玻璃会在这被加热到好几百度的熔炉里熔化。现在，想象一下有一种可以将温度任意升高，但烧不化炉壁的熔炉吧。然而，它又不是真正的熔炉，是一种“魔炉”。

假设，这个魔炉的炉膛为100升，加热前的炉温为 $20^{\circ}\text{C}$ 。

温度是什么？当将一个物体加热时会发生什么变化？当物体加热时，其原子及分子开始活跃，并不停地运动着。例如，炉壁上的原子会不停地围绕着一个点来回游动，游动的幅度取决于温度，温度愈高，游动的幅度也就愈大或相反，这里，温度只不过是一个独立原子和分子运动能的量具而已。

当温度为绝对零度，即摄氏 $-273^{\circ}\text{C}$ ，原子便静止不动，但这是不可能的，因为到目前还未曾达到过。

因为温度的绝对零点作用特别，所以人们都以该点来对温度计数。此外，人们常说的开氏温度是以英国物理学家洛德·开尔文命名的。开氏零度，即为 $-273^{\circ}\text{C}$ （严格地说，绝对零度后还有一小数点）。一般来说，293K表示 $+20^{\circ}\text{C}$ ，即室温，水在 $100^{\circ}\text{C}$ 或373K时煮沸。

现在，假设，把炉膛内的空气全部抽光，这时，炉膛内什么也没有。这里所说的“无”，只是炉膛内是“空”的。炉壁

不断运动着的原子连续辐射出电磁射线，包括光子，充满炉膛。

射线的特性是由温度确定的，炉内温度愈高，光子的平均能量也就愈大，温度与光子的平均能量成正比。此外，光子数取决于温度，由绝对零度起以温度的三次方形式增加。这样，充满炉膛的光子气体的总能量，即光子能，以绝对温度的四次方增加。如果将温度升高因数定为2，那么光子气体内所含能量升高一个因数 $2^4 = 16$ 。

人们特别感兴趣的问题是光子气体的能量密度，它是由量子力学和热动力学定律确定的。当温度为1 K时，炉内光子气体每个容积单位的能量密度为4.72电子伏特/升。要求出较高温度时的能量密度，只要用上面给定的数值与温度的四次方相乘。例如，当人们将炉温升至1000K时，炉内每升光子气体的能量为 $4.72 \times (1000)^4$  电子伏特 =  $4.72 \times 10^{12}$  电子伏特，相当于近5000个质子的静止能量。

人们感兴趣的另一个量是光子气体中光子的平均能量，它与温度成正比。当人们将炉温升高1K时，光子能量平均增加 $8.617 \times 10^{-5}$  电子伏特。如果炉温仅为1K（即 $-272^\circ\text{C}$ ），那么光子的平均能量为 $8.617 \times 10^{-5}$  电子伏特。如果炉温为1000K，那么光子的平均能量就为0.086电子伏特。

做完上述准备工作后，便可实施下面计划中的实验了。假设，人们所用的炉子耐高温性能极好，无论多高的温度都不能把它烧穿，当然了，现实生活中没有这种炉子。

现在给炉子加温，在开始加温的很长一段时间里变化不大，炉膛内光子气体的能量持续上升，正像前面所说到的那样，以温度的四次方上升。只有当温度达到60亿度时才出现

奇怪的现象。现在再回忆一下正电子和电子相互湮灭时产生两个光子的过程。该过程也可以相反的方式进行，即，当两个光子相遇时，可以“无”中生出一个正电子和一个电子，但前提是，光子要有足够的能量。此外，每个光子的能量必须与电子的质量相等，即 0.511 兆电子伏特。这样，只要炉内光子的平均能量达到 0.5 兆电子伏特以上，便会产生电子/正电子对。当温度达到 60 亿度时，炉内光子便占据统治地位，然而，这时需要满足它们的条件，因为除光子外还有电子和正电子存在。

当然，这里所要求的 60 亿度的温度在宇宙中用一般方法是无法达到的，恒星内部的温度也“只”有几百万度。

现在，将这想象中“魔炉”的温度继续升高，当达到 60 亿度时，在电子、正电子和光子间便形成一平衡，这就是说，每个空间单位中的电子、正电子和光子数相等。轻子和光子的平均能量也相等。通过两个光子的连续撞击产生出电子和正电子，同时连续消灭掉两个光子。同样，光子数与电子和正电子数相等。

当一个电子和一个正电子互相湮灭时，一般都是产生两个光子，但也有例外，这有一个称之为弱相互作用的微妙过程，这就是电子和正电子湮灭成一中微子/反中微子对的过程，即  $e^- + e^+ \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_e$ 。

通过该过程，炉内的“电子-正电子-光子汤”便会不断地变成中微子和反中微子。现在假设，这些粒子被炉壁反射，不往外飞（这也是一种无法实现的假设），结果呢，不仅在电子、正电子和光子之间有一平衡，中微子也成了这盘汤中的平等伙伴。这样，炉膛中便充满着电子、正电子、中微子、

反中微子和光子。

现在，继续为炉子加温，这时炉内运动粒子的能量继续增加，最后，其平均能量达10亿电子伏特，温度高达 $10^{13}$ 度，该温度可产生出质子/反质子或中子/反中子对。两个光子或1个电子和1个正电子相互碰撞又产生出1个质子/反质子或1个中子/反中子对。目前，这种过程再也不是理论推测，已在大型加速实验室中观察到了，例如，在汉堡的PETRA加速器上就观察到了这种现象。

当炉内温度超过 $10^{13}$ 度时，除光子、中子和 $\pi$ 介子外，所有强相互作用粒子都参与炉内的这种过程。这样便使得问题更加复杂化，因为这种强相互作用粒子很多。这里，不打算详细讨论这个问题，因为这样做不合算，而且你马上就能看到，当温度进一步升高时，这一过程又变得极为简单。

现在，为炉子继续升温，至 $10^{14}$ 度，这时，炉内粒子的平均能量达100亿电子伏特。当达到这一温度时，人们会看到令人吃惊的现象：炉内已没有质子和中子，除光子、电子、正电子和中微子外，还有夸克和胶子。粒子的平均能量大得使质子和中子无法作为物体存在，只能分解成其构成物：即夸克和胶子。这时，夸克和胶子的密度很大，它们之间的平均间隔不到 $10^{-13}$ 厘米；这就是说，炉内的夸克、反夸克和胶子如自由粒子（电子或中微子）那样运动。所有粒子之间都保持平衡。电子和正电子不断地湮灭成光子或夸克/反夸克对，后者再湮灭成胶子，电子/正电子对或中微子/反中微子对。这种连续变化的结果是：有相同数量的电子、正电子、中微子、反中微子、光子、u夸克，d夸克和胶子存在（这里提一下，它们之间的差异很小，且是由夸克的染色特性引起

的)。

现在，为想象中的炉子继续加温。在此以前，已经完成了一次想象中的魔炉实验，人们不仅能从理论概念中找到根据，而且也能在加速实验室完成的实验中找到证明。如果把炉温升至 $10^{14}$ 度以上时，便无法用实验来证明了，只能以理论为依据。但这一点在一个想象中的炉子中是可以实验的。现在就接着往下讨论吧。

当温度达 $10^{20}$ 度时，炉内所有粒子的平均能量达 $10^{16}$ 电子伏特，但还是有4种粒子存在。最后，将炉温升至 $10^{28}$ 度，这时，平均能量达 $10^{24}$ 电子伏特。现在回忆一下：在轻子和夸克标准理论中也碰到过这么高的能量。它是由假设的X粒子的质量确定的；通过其共同作用，轻子和夸克成为一整体。只要把温度升至 $10^{28}$ 度以上，X粒子也会参与这个过程，后者有助于使轻子，如电子，转换成夸克或相反。

最后，在炉内发现一种轻子：夸克、光子、胶子和X粒子混合物，所有这些粒子的出现频率几乎一样，这样，就可很容易区分出轻子和夸克或光子、胶子和X粒子之间的差别，前者和后者构成一个整体。当温度达到 $10^{28}$ 以上时，粒子便失去其特性。

计算一下 $10^{28}$ 度炉温时的能量密度对继续往下研究是非常有益的。这时，每升体积的能量密度约为 $10^{112}$ 电子伏特。就连物理学家也无法测得这一密度。人们估计，宇宙中观察到的夸克和电子的能量密度约为 $10^{89}$ 电子伏特。如果把所有这些粒子都压入体积为一升的空间，那么这一空间的密度比人们想象的炉子在 $10^{28}$ 度时的密度还低得多。但是，请不要

忘记，这里所进行的实验是一种想象中的实验，实际上是永远不会发生的。

尽管如此，还是没有理由中断这项实验。若将炉温升至 $10^{32}$ 度，这时粒子的平均能量可达 $10^{28}$ 电子伏特以上。现在，先抛开理论物理，到一玄妙莫测的新领域去看看。当能量达到 $10^{28}$ 电子伏特时，人们通常关于空间和时间的概念将会彻底崩溃，这至少是量子力学曾经预言过的(见第四章)。当温度达到 $10^{32}$ 度或更高时会发生什么事件，至今仍是个未知数，也许到了这个温度和能量密度时，人们根本无法继续讨论这些粒子了，粒子的概念也许会跟空间和时间的概念一样失去意义，见图8-1。

在这项想象中的实验里，魔炉的温度从0K升至 $10^{32}$ 度，最初，炉内是空的，可最后，炉内充满着由轻

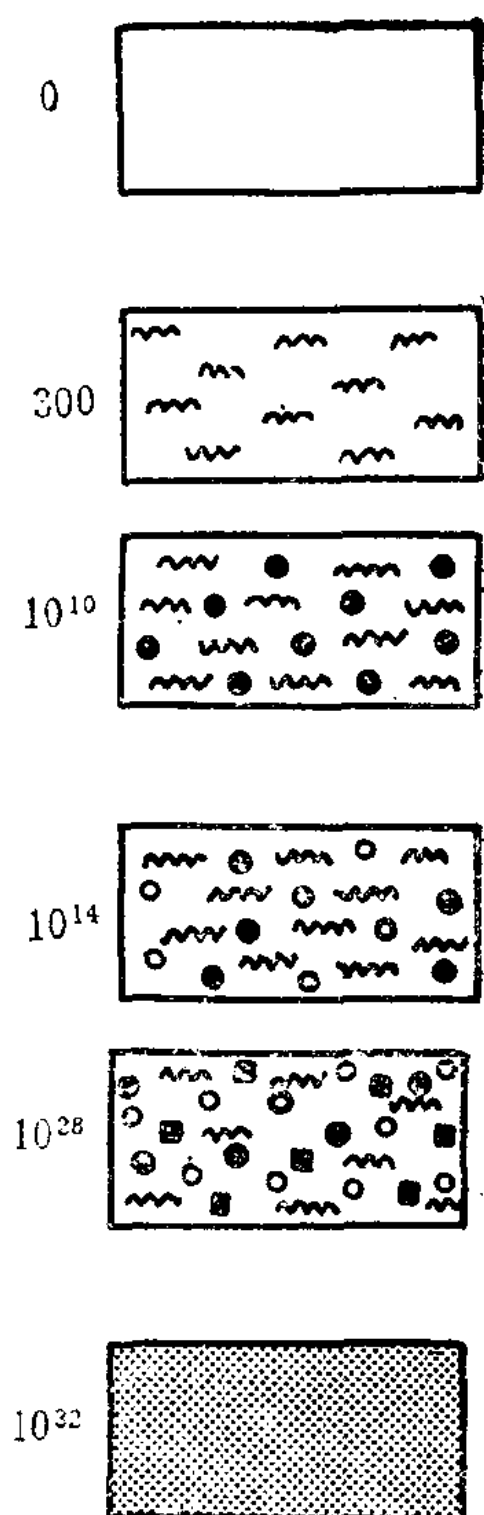


图8-1 魔炉加热时的温度变化情况  
当温度为0K时，炉内是空的，随即 将温度升至300K(27°C)时，炉内充满热射线：光子。当温度达 $10^{10}$ 度时，射线中除光子外，还有电子和正电子(黑点)。当温度达 $10^{14}$ 度时，出现由光子、电子、正电子、夸克和胶子组成的等离子体胶子用空白圈表示；当温度升至 $10^{28}$ 度时，出现X粒子(方块表示)。然而，当温度升至 $10^{32}$ 度时还会出现什么，谁也无法知道。因此，我们平常的空间和时间概念也就不适用了。

子、夸克、光子、胶子和X粒子形成的异常活跃的射线（其中还有一些从未在此讨论过的粒子）。

现在，我们把这个过程颠倒过来。从 $10^{32}$ 度开始，让炉子慢慢冷却，直至0K。当温度低于 $10^{28}$ 度时，X粒子便从炉中消失，剩下的只是轻子、夸克、光子、胶子及其它几种粒子的混合物，当温度降至 $10^{13}$ 度时，夸克和胶子消失，只剩下轻子和光子，最后降至绝对零度，再往炉内看时，炉子成了空的，经冷却，所有粒子全部消失。轻子之间和夸克之间相互湮灭，剩下的光子和中微子经冷却到绝对零度时也悄悄溜走了。

现在，回过头来再看看炉温在 $10^{28}$ 度以上的情况。这时，炉内有轻子、夸克、光子、胶子，特别是X粒子。大家知道，X粒子一旦生成后便马上衰变成正电子和反夸克： $X \rightarrow e^+ \bar{d}$ ；反X粒子相应地衰变成电子和d夸克： $\bar{X} \rightarrow e^- d$ 。鉴于这一过程，炉内的轻子、夸克和X粒子之间不断地变换着。一会儿你就可以详细观察一下这一过程。

在自然界，人们发现了粒子和反粒子之间的一种特殊的反对称性。在某些过程中，粒子和反粒子行为各异。这一效应是美国一研究小组1964年发现的，为此，该研究小组的物理学家詹姆斯·W·克罗宁和瓦尔·洛格斯登菲奇于1980年获诺贝尔物理奖。当他们1964年进行该实验时，谁也没有想到，这一效应能成为人们了解宇宙的钥匙。

这里不准备深入研究这一发现，但还是要提一下它的有趣的结论。

现在，来观察一下X粒子的衰变过程。有些X粒子不仅可以以 $e^+ \bar{d}$ ，还可以uu形式衰变，变成反粒子，即 $\bar{e} d$ 和 $\bar{u} \bar{u}$ 。

根据克罗宁，菲奇的发现及其它效应，人们希望能够区别出这些过程。例如： $\bar{X} \rightarrow \bar{e}d$ 过程可能要比 $X \rightarrow e^+\bar{d}$ 过程快一些，但在极端情况下，可能只好相信 $\bar{X} \rightarrow e^-d$ 和 $X \rightarrow uu$ 过程。1个 $X\bar{X}$ 对将衰变成 $e^-uud$ ，即1个电子和3个夸克，当温度较低时，又可能很容易地衰变成1个质子。这样， $X\bar{X}$ 对的衰变过程会直接生成氢原子，见图8-2。

魔炉中含有由所有可能的粒子和反粒子形成的射线，例如： $X$ 粒子的含量与 $\bar{X}$ 粒子刚好相等，可将它们归纳成 $X\bar{X}$ 对。

现在，来观察一下某一时间点上的炉内情况，部分 $X$ 粒子会在很短时间后发生衰变。如果每个 $X\bar{X}$ 对都衰变成 $e^-uud$ ，那么炉内的夸克和反夸克便会突然增多，这样，便从“无”中（能量）产生出夸克。仅此能获得物质吗？

遗憾得很，答案是否定的。要是刨根问底的话，便会发现，人们忽略掉了一个关键点。即 $X$ 粒子的衰变始终是在炉内进行的，衰变时还不断产生着新的粒子。人们面临的是一个物理学家

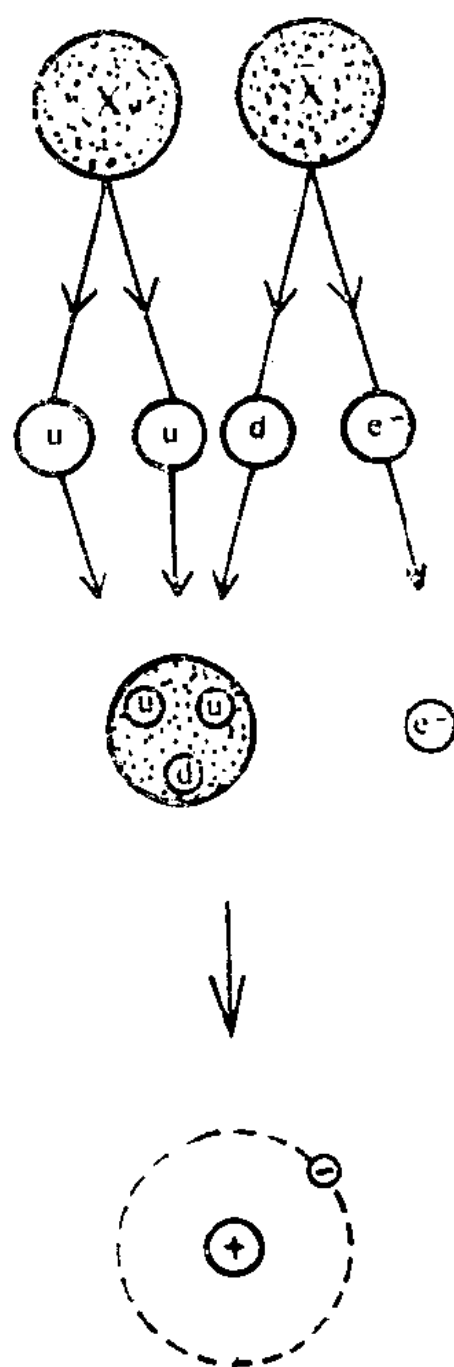


图8-2 1个 $X\bar{X}$ 粒子对衰变成3个夸克( $uud$ )和1个电子这种粒子对的衰变可生成构成宇宙物质的主要粒子——氢原子

叫作热平衡的问题，只要有这种平衡，粒子和反粒子之间便会完全对称，特别是炉内的夸克和反夸克数始终相等。只有一种可能会使产生的夸克多，反夸克少：但这要打破炉内的热平衡。

这样，便可以完成这项实验的最后一步，也是最重要的一步。将炉温升至 $10^{28}$ 度以上，并继续试验，尽可能快地将炉子冷却。因为这炉子在人们的脑子里，所以，人们能够很容易地将炉子挪到很远很远的地方去，那就把它送到星际间空间去吧，这一点特别重要，因为接着要进行的实验十分危险！现在，去掉炉壁，放出加热到约 $10^{30}$ 度的等离子体。

这时，原先被封闭住的炽热的等离子体便失去控制，以光的速度向外疾飞，引起爆炸，这是失去热平衡引发的物理结果，压缩在炉内的粒子谁也顾不上谁，四处乱飞，特别是能在很短时间内衰变的 $X$ 和 $\bar{X}$ 粒子，根本无法生成新的粒子，因为热平衡已彻底被摧毁。当这一过程结束后，再来数一数夸克和反夸克数，结果并不怎么令人吃惊：自然是夸克比反夸克多。

当炉子爆炸后，所有不稳定粒子都发生衰变。随着时间的推移，夸克和反夸克相互结合，不是形成介子，就是形成质子和中子及反粒子。然而，中子也会重新衰变成质子和轻子)。最终总是夸克比反夸克多，即质子比反质子多。如果把爆炸后残留在宇宙中的尘埃搜集起来，反质子将与相应的质子相互湮灭。剩余的一些质子与周围飞行的电子结合，变成氢原子。

这样，便成功地从“无”中，从纯能量中“制造”出了

物质，这与前面说过的反向质子衰变有关。当质子衰变时，物质转换成辐射能；辐射能也能转换成物质，见8-3。

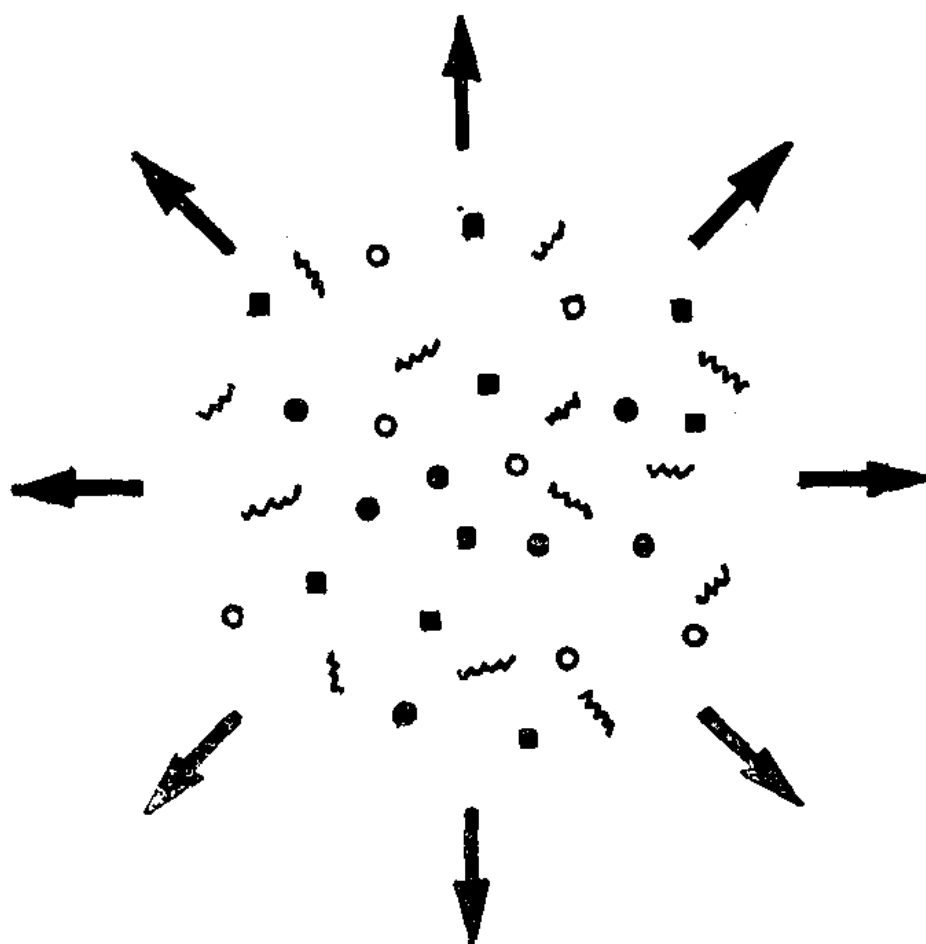
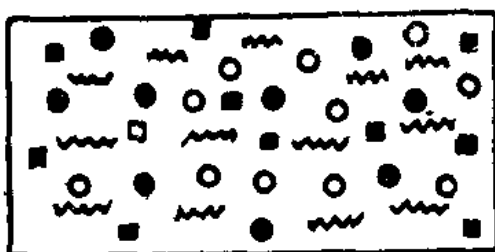


图8-3 能量物质转换过程

当炉温升至 $10^{28}$ 度以上时，炉子发生爆炸，爆炸后的尘埃中，夸克多于反夸克及质子多于反质子。宇宙中的物质也许就是这类爆炸的产物。

于是，人们的目的达到了。最初是一座空炉子，当人们将其加热至 $10^{23}$ 度高温时，发生爆炸，产生出了物质：氢原子。

宇宙中的主要物质场是由氢原子构成的。将氢原子说成爆炸残留物是否更接近事实，爆炸初期的温度是在  $10^{28}$  度以上吗？银河系、恒星、行星和人类都是由这种爆炸尘埃构成的吗？

## 第九章 可以探索的宇宙

如今,每个成年人再也不会对地球感到陌生了,只是觉得地球变得愈来愈小。在一个地球仪上,人们可以找到自己在地球上的位置。

今天,人们借助于大型天文望远镜已能够说出宇宙与地球的某些相似之处。与宇宙相比,地球显得太渺小了。当然,若用人类使用的度量单位来观察宇宙,宇宙的确显得十分巨大,仅人们居住的银河系就拥有几千亿颗恒星,宇宙中还有许许多多这样的星系。

在地球上,人们用肉眼只能观察到3个星系,1个是前面说到的仙女座星云,另2个是麦哲伦云,它们均为小星系,人们在地球的南端才能观察到它们。相对来说,它们离地球倒不是太远,只有10万光年多一点。银河系、仙女座星云、大小麦哲伦云和其它一些小星系构成了人们居住的这个星际海洋的近邻,即所谓的本星系群,该星系群的范围差不多可以视为银河系与仙女座星云之间的距离,约200万光年。

过去的50年内,天文学家用大型天文望远镜成功地观察到了距地球几十亿光年之遥的宇宙。人们仔细研究了上千个星系,据估计,宇宙中人们可以观察到的星系竟达上千亿个之多。

几百年前,只有少数几个人对地球有大致地了解,大部

分人对地球这个行星都觉得深不可测。然而，今天的情形就大不一样了，地球似乎变得愈来愈小，到外国去旅行已不是什么新鲜事了，电视和无线电把遥远的世界搬到了自己的家中。

近来，人们认为宇宙的发展过程与地球相似，人们把宇宙视为一个整体。并对宇宙的结构进行了积极地研究，要绘制宇宙图已不是什么难事了。

一般来说，人们开车或步行外出总习惯用千米这个长度单位来计程。也许谁也不会对1千米是多远感到陌生吧。

但如果要研究宇宙的结构，如，星系的分布，不但千米这个单位显得不合适，而且包括人们经常使用的“光年”也显得不那么特别合适了，光年只适用于研究人们自己的星系，因为星系中两个恒星之间的距离为光年量级。

星系之间的平均间隔远比几个光年要远得多（银河系距仙女座约200万光年），因此，在这里我打算引用一个更大的长度单位，即百万光年，缩写为MLJ（1MLJ相当于 $9.46 \times 10^{18}$ 千米）。要是在后面说到宇宙结构，请尽可能想起百万光年这个单位。这样，你就会感到，宇宙并不是不可探测的了。

如果用百万光年来测量宇宙，宇宙也就显得不是那么庞大了。后面将会看到，人们能够观察到的那部分宇宙范围可达2万MLJ。现在，如果把MLJ想象成是1毫米，那么能观察到的宇宙的直径仅为20米，相当于一座20米×20米×20米的礼堂。这里，把1MLJ $\hat{=}$ 1毫米作为宇宙长度单位。

当然，用MLJ单位无法看到人们自己的星系。因为它只相当于一粒直径为0.1毫米的砂粒。银河系距仙女座为

MLJ, 即2毫米。

在晴朗的夜空中可以看到, 银河系的几千亿颗星星在天空中的分布很不均匀, 大部分星星聚集在银河条带上。那是怎么回事呢? 是否这一区域的星星要比其它区域多? 星系的分布有什么特殊结构吗?

图 9-1 为宇宙中局部星系分布图, 即北半球星系图, 图中没有收进所有观察到的星系, 而只是收进了约 100 万个有一定亮度的星系。图中哪个部位亮, 哪个部位聚集的星系也就多。假如再仔细观察一下图 9-1, 会发现:

1) 星系不完全一样, 有亮也有暗。当将水彩颜料溶于一杯水中时, 也会出现这种纹影分布。在人们观察的这个区域内可以明显地看到星系聚集情况, 如图 9-1 的中央便是后发星系团。人们自己的本星系群便属于一较大星系团, 即室女星系团。在那里聚集着数千万个星系, 这是人们在观察室女座星图时发现的, 其中心距地球约 60MLJ (其宇宙长度为 6 厘米)。

2) 人们观察宇宙时, 尽管能看到星系密度的波动, 但感觉不到星系分布上的很大变异。

因此, 人们可以这么说, 在宇宙中, 星系的分布大致相同, 如同一群蚊子中的蚊子一样。然而在宇宙中的某些区域星系特别多, 但在其他区域又相应地少一些。人们还发现, 宇宙中还有没有星系的区域, 即洞, 这些洞的直径有的竟达 100MLJ。若用宇宙长度单位计算, 相当于一个足球的大小。要是撇开星系密度的波动不说便可推测出, 分布均匀的星系在宇宙中呈“漫游”状态。

假设事情就是这样, 那么可以说: 宇宙中任何区域的星



图9-1 宇宙的大小

中间圆弧(星系赤道)中看到的星系聚集情况,即后发星系团。

系都是一样的平等,没有特区,这就是所谓的“星际间的民主”。

现在,如把一名宇航员送到一个距地球 500MLJ 的地方,让他用远程天文望远镜观察宇宙,他所获得的星系分布将与图10-1所示分布情况不相上下,只有对其作详细比较时才能发现区别。假如他位于后发星系团,他便看不到图 9-1 所示星系的聚集情况,因为他正好在后发星系团之中。

现在来解释一下被宇航员称作“宇宙学原理”的理论。

该理论表明：在宇宙中，每个观察者，从任何一个地方向外观察所见到的宇宙都一样。若将该理论应用于地球表面，那么，人们在本星系团中的居住位置并不比别的位置好多少。

尽管宇宙学原理所获成就甚少，但它仍具有十分重大的意义，它是本世纪上半叶创立的现代宇宙学的关键，其支柱是美国新建天文台天体物理研究的结果，尤其是设在帕萨迪纳的芒特·威尔逊天文台和圣地亚哥北部的帕洛马山的天文台。

第一个研究银河系以外宇宙的天文学家是埃德温·哈勃。哈勃与他那不知疲倦的助手米尔顿·赫马森一起于1919年一到帕萨迪纳便投入对宇宙深处的研究工作。哈勃为建造天文台操碎了心，威尔逊山天文台不仅装备了先进的观察设备，还配备了物理检测仪。特别值得一提的是，哈勃对检验美国天文学家维斯托·斯莱弗以往的测量数据十分感兴趣。现在，来看看这些测量都包括什么？

大家都见过霓虹灯灯光吧，这种光是由进入氖原子的电子在不同能量状态之间来回跃迁时发出的：光子具有一定的能量（约1电子伏特）。所以，物理学家只要用合适的测量仪就可在很远的地方测出霓虹灯和其他光源的区别，如，白炽灯光，因为测量的是光子的能量，只要光源与能量一致，有氖原子释放的光子就是霓虹灯灯光。

现在，来做一个小实验。请你用浇花园用的水管射出一条强水柱，当水柱完全射向你的身体时，你就会感到一股作用到你身体上的力。现在你迎着水柱向前走，你便会感到作用到你身体上的水力（水能）加强，因为这时水是以较大的速度射向你的身体的，可当你顺水柱方向往前走时，水力便

会减弱，因为射向你身体的水的速度相对来说要慢一些。

刚才的实验也可用光来做。当光束作用于你的身体时也会有一个力，不过这个力十分微弱，你自己感觉不到。因此，得用市场上能买到的光谱仪来测量。为方便起见，仍采用霓虹灯光束。

首先，在你自己和光源相对静止的情况下研究氦光，接着你向光源运动，这时你便会发现，光子能量增大，你运动得愈快，光子能量也就愈大。这表明：光有颜色变化，向蓝色可见光移动（蓝色光的光子能量比红色光的光子能量大），这一效应类似朝水柱方向运动的状况。

当你离开光源时，便可获得相反的效应。光子能量减弱，光的颜色变红。如果你站着不动，挪动光源，也可观察到相同的现象：第一种情况下，光子能量加强，第二种情况下，光子能量减弱。

这样，你便有测出光源的速度的可能，而最简单的方法是精确测量来自光子的能量。用类似的方法也可以测出一个星系或一个恒星的运动速度。人们对由星系释放出的光能进行了研究，利用研究结果可精确测出其运动速度。

本世纪初，美国天文学家斯莱弗便开始研究远处的旋涡星云发出的光，他所发现的效应在天文学中叫作“红移”效应。旋涡星云所发出的光向红色光谱移动，因此他认为，旋涡星云正快速远离人们而去。

10多年后，哈勃开始研究斯莱弗发现的效应。1929年他有了自己的发现，这一发现为进一步探索宇宙指明了方向。哈勃发现，所有离人们很远的星系都在远离地球而去，距离地球愈远，离开的速度（退行速度）也就愈快。哈勃确认，大

熊星座图中的星系正以42000千米/秒的速度（相当于1/7光速）离地球而去。

哈勃指出，星系退行速度始终遵循一简单法则：如果一个星系距地球1MLJ，那么它便以15千米/秒的速度离地球而去。当距离增加到2MLJ时，其退行速度也增加一倍，即30千米/秒。一般来说，退行速度是由哈勃常数和MLJ的距离之积给定的（哈勃常数为每1MLJ15千米/秒至30千米/秒。大部分天文学家均取15千米/秒）。

一个距地球100MLJ的星系肯定是以 $15 \cdot 100 = 1500$ 千米/秒的速度离地球而去。上面说到的退行速度为42000千米/秒的星系按 $42000 : 15 = 2800$ MLJ，即距地球28亿光年（其宇宙单位为2.8米）。哈勃关系就是如此简单。

然而，难的是如何解释它。为什么离地球愈远的星系就运动得愈快？星际间的民主原则又是怎么回事？为什么所有星系都远离地球而去，是不是人们的星系不受它们的欢迎呢？

人们知道，哈勃关系不适用于仅几百万光年的距离。仙女座星云距地球200万光年，根据哈勃关系，它应以30千米/秒的速度远离地球而去。然而，仙女座和银河系均以30千米/秒的速度相互运动着，这也许是由引力造成的。

本星系群约以500千米/秒的速度离开室女星系团，但哈勃关系却要求1000千米/秒的速度，二者相差很大，原因可能是室女星系团的引力作用。因此，哈勃关系通常只适用于相互之间距离在100MLJ以上的星系。

那么，如何来解释哈勃关系呢？现在，来做一次退行的“心理实验”。假设，地球在一小时内增大一倍，地球表面的

距离也在一小时内延伸一倍,这样,从慕尼黑到维也纳的距离便不是500千米,而是1000千米,从罗马到巴黎的距离也不是1600千米,而是3200千米。一个在慕尼黑的观察者;他在地表延伸的这一小时内始终不断地测量着慕尼黑到维也纳的距离,他会发现什么呢?他发现,所有场所都在离开慕尼黑,例如,维也纳以500千米/小时的速度,赫尔辛基(延伸前距慕尼黑2000千米)以2000千米/小时的速度逃逸,因为地表延伸后赫尔辛基距慕尼黑是4000千米。慕尼黑的观察者便可找到一延伸参数:每千米/小时。地球上所有场所都在离他而去,且距他愈远运动也愈快。

那么巴黎的观察者又怎么样呢?他会发现,一切都以与慕尼黑观察到的相同速度离他而去。例如,罗马以1600千米/小时的速度离开巴黎。简言之,地球上每个观察者看到的现象都一样,一切都在离他而去,且离他愈远,运动也愈快。这样,所有观察员在任何观察点进行的观察均无优劣之分,这就是与“宇宙学原理”相似的“地质学”原理。

现在,把上面所获得的知识应用于宇宙星系退行,且可将后者视为星系间的运动。星系空间延伸,星系相互分开。如果它们是这么运动,那它们原先就是离得很近。这个原先到底是什么时候呢?假设,随着时间的推移,退行速度不变或只有稍许变化,这样便可确定出未知时间点。根据哈勃关系,一个离人们1MLJ的星系以15千米/秒的速度退行,那么这个星系是什么时候启程的呢?只要用距离(1MLJ =  $9.46 \times 10^{18}$ 千米)除以15千米/秒的退行速度便可得出其启程时间:  $6.3 \times 10^{17}$ 秒,即200亿年时间。若退行速度不变或只稍许变化,那么所有星系在200亿年前都是靠在一起的。

上述时间与人类计算地球和星球年龄的时间大致相符。人们认为，星系的年龄约为150亿岁。那么哈勃参数能给出宇宙形成的确切时间吗？

要回答这个问题首先得弄清人们在宇宙中发现的一种罕见物体——类星体。什么是类星体呢？

一个典型星系，如，银河系，所释放出的光量是已知的。星系离地球愈远，闪烁的光也愈弱。这样，人们观察到的正常星系距地球1000MLJ以内，大于这个距离便不易观察到。天文学家惊奇的发现，在宇宙中有离地球大于1000MLJ的星体，其退行速度达到  $2.5 \times 10^5$  千米/秒以上，这就是类星体。

类星体离地球很远，为发光较弱的星体，能发出一相当大的红移光。然而，当人们计算出距地球的距离时，便会发现，它实际上发光很强，某些类星体的发光强度是银河系的星系的千倍以上。因此，可以肯定，类星体是发光强度相当大的星球。可它们到底是什么呢？现在一般将它们说成是离地球极远的星系，确切地说，强度极强的光是由这些星系的核心发出的。

人们只能这么来理解类星体的巨大发光强度，即，在这些星核中，星系的中心正在发生巨大的爆炸，随着爆炸，大量的物质被转换成辐射能。产生能量最简单的说法是：这些类星体可能与中央有巨大黑洞的星系有关，这些巨大的黑洞大量吞噬着物质、大星的尘埃云及整个星系。同时，大量的物质以光和其它电磁辐射形式释放出（如伦琴光或无线电波）。

人们可很容易地估算出，一个类星体的能量转换最长不可能超过10亿年。到某一时期，其质量贮备，即能量贮备会枯竭，最后陷入能量危机，发光强度降至一般程度。这种简

单的见解能够解释，为什么类星体离地球这么远。在地球近处无类星体。人们能用肉眼观察到的类星体“起码”距地球200MLJ。如果仙女座是一个类星体的话，那人们便可像看戏那样观察它了。

就类星体来说，它也许与星系的早期发展及其青春期有关。人们今天能用天文望远镜观察到的类星体已经不是当时的样子了，因为光已经走了数十亿年了。因此，当人们观察类星体时，应回顾一下宇宙的早期发展史。人们看到的宇宙是几十亿年前的宇宙。前面说到的类星体在150亿年前还是一个发光极强的星系，可它现在是什么样子，谁也不知道。当人们现在观察到的光离开它时，宇宙才50亿岁，只相当于现在的四分之一。

银河系在其青春期可能也是一个类星体，其光在150亿年前便在宇宙中奔跑着，并且现在也能被远处的观察者观察到，而他们的星系在人们的天文望远镜里正好也是一个亮的发光类星体。

类星体星系青春期论点是以事实为依据的。迄今为止，人们对近2000个类星体进行了研究，还没有发现年龄超过180亿岁的。因此，可以假设，人们看到的类星体为宇宙的边缘。如果人们还想观察更远的宇宙，即更早的宇宙，那么就会看不到星系，因为当时还没有星系。下一章将讨论宇宙的童年。

## 第十章 爆炸的宇宙

从1912至1916年，阿尔伯特·爱因斯坦创立了广义相对论。无疑，该理论是人类的巨大精神财富。艾萨克牛顿所得出的时间和空间结论不受物质影响，能独立存在，而且均为绝对值，从某种意义上来说，是“上帝”规定的。

爱因斯坦的理论与牛顿的观点彻底决裂。广义相对论的观点是：宇宙中没有绝对空间，也没有绝对时间。无论是空间还是时间都不能与物质隔离开来，空间与时间的结构取决于物质。空间和时间均为一柔性连续统一体，它与存在的物质，一个星系或仅一个小行星紧密联系在一起。空间、时间和物质为一个整体，重力便是该整体的必然结果，如此这般环环相套。

这里，谈论了不少广义相对论的观点，当然，要理解宇宙学并不要求详细掌握广义相对论，但必须记住爱因斯坦理论的精华：即空间和时间都不是绝对值，均受物质的影响。

在第一次世界大战期间和战后几年中，爱因斯坦本人对宇宙学并不十分感兴趣。然而，就在这时另一个人却对宇宙发展作出了重大发现，他就是苏联列宁格勒的数学家亚力山大·弗里德曼，他对宇宙的结构的大小进行了思考：宇宙是无穷大的还是有限的呢？

现在，来观察一下地球表面，并再使用一次心理实验，

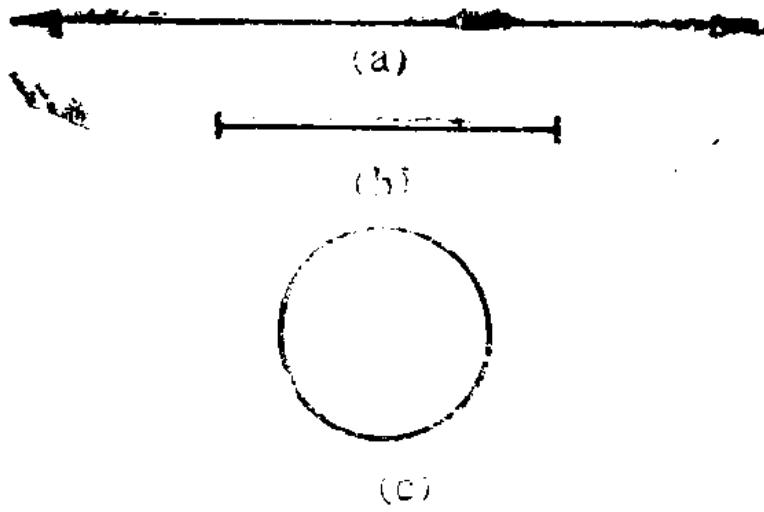


图10-1 一二维空间示意图

人们把一条无限延伸的直线称之为**一维无限大空间** (a)。一条有限的直线 (b) 为**一维有限空间**。圆周线 (c) **一维有穷，但是无限的**。一个在宇宙中散步的一维漫游者在一定的时间后又将返回到其出发点。

见图10-1。地球表面为一球面，它为一二维“空间”，这一二维平面是有限的，也是无限的。如果一个人在地球表面上向任意一个方向奔跑，那么他永远也不会发现地球的尽头，在一定时间后他又会回到出发点（不考虑海洋和其它障碍物）。奔跑中他可用计程器计千米数，当他又回到

出发点后看看走了多少千米，便可得出圆周长，再用它除以 $2\pi$ ，便可得出圆的半径——即地球的半径。

实际上，地球表面为一二维“穹形”空间，它既是有限的，但又是无穷的。对人们来说这里面并没有特别深奥的道理，因为大家知道二维球面是什么样子。但是，人是生活在三维空间里的，在地球表面不仅有东西、南北二维，还有第三维——上下维。

假设，罕见的变形虫似的二维生物没有第三维，它们在东西和南北的二维地球表面上艰难地生活着。现在它们也研究起自己所生活的二维空间。它们会惊奇地发现，自己的世界是有限的，但又是无穷的。它们无论向哪个方向爬行，在一定时间以后始终又回到它们的出发点。

现在，设想一个类似的三维穹形空间，它是无限，但又

是有穷的。假设人们生活在这个空间里。那么如何来解释这个空间是有限的呢？可以派遣一支考察队，随火箭始终向同一方向飞行。如果火箭在相应长的时间后又回到发射位置的话，那人们便是生活在一个有限的空间里。火箭所飞行的轨迹可说成圆周，用这个圆周长除以 $2\pi$ ，就可求出该空间的曲率半径。

亚力山大·弗里德曼用爱因斯坦的理论研究了简单“穹形”空间结构。他发现一个时间不发生变化的空间，静止的宇宙是不存在的。随着时间的推移，空间要么变大，要么缩小。要是变大的话；那么观察星系退行是再合适不过的了。

此外，弗里德曼对两种不同的情况作了区分。第一种情况，宇宙逐渐变大，并像气球那样最终达到一定的量，然后慢慢缩小。在宇宙中；当物质的密度大于宇宙延伸速度，即哈勃参数的临界值时，宇宙便会变大，它既是有限的，但又是无穷的，人们把它说成是封闭的宇宙。

第二种情况，若物质密度低于临界值，那么宇宙便会无休止地膨胀，空间便会变得无穷大，空间间隔也愈来愈大，星际相互分离，且永远也不会返回，也就是人们所说的开放的宇宙。

人们可以这么来解释弗里德曼所发现的两种情况，即如果人们在地球表面上将火箭垂直发射，可获知火箭的两种可能的命运。要么耗尽燃料后达到一高速（约大于11千米/秒，以克服地球重力）飞向太空；要么就是达不到这一速度，上升到最大高度后便重新跌落到地球表面。

第三种情况相当于有穷的大宇宙，当宇宙延伸到一定程度时便重新开始收缩。而火箭只要进入太空，便永远在空间

飞行，这就相当于无穷的大宇宙，永远“膨胀”——即星系总是相互飞离的现象。

弗里德曼宇宙模型的主要特性可用一种简单的方式加以说明。无论是封闭的宇宙，还是开放的宇宙都有一个起始时间点，宇宙在该时间点上开始膨胀。下面将会看到，初始的非常炽热的宇宙。

人们可将该起始时间点想象成“大爆炸”，“大爆炸”也像其它爆炸一样，能分离出物质。今天，人们观察到的星系相互飞离的现象便是大爆炸之结果。弗里德曼理论预言，随着时间的推移，星系“相互退行”的速度将会变慢。

星系退行速度变慢可以这么理解，只要再做一次火箭游戏就行了。当一枚垂直升空火箭的燃料耗尽时，速度便会变慢，就如同向空中投掷一块石块产生的效果一样。无论是火箭，还是石块都必须“克服”重力，这样，它便会失去动能，使速度变慢。物质也是这样，大爆炸抛出的物质没有引力。然而，宇宙中的所有星系都是相互吸引的，这样，随着时间的推移星系的速度就会慢下来。每个星系都必须抵御其他星系的引力，同时也失去动能。

交替影响星系的引力取决于每个空间单位内星系的多少。星系愈多，引力也就愈大，到一定的时候，星系便会静止不动，但静止的时间相对较短，以“相互脱荷”，重新运行。这就是有穷大宇宙，见图10-2。

如果宇宙中物质稀薄，星系便不能作返回运动，就像脱离地球重力场的火箭那样永远相互奔离着，这就是开放的宇宙。

目前在宇宙中观察到的现象是，星系是相互飞离的。无论

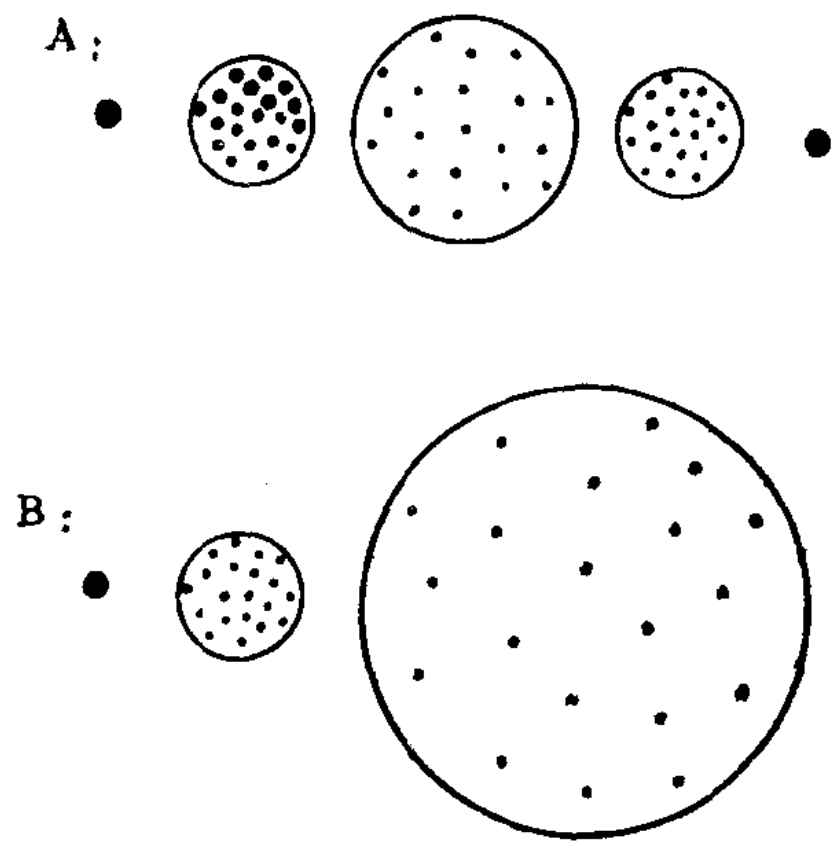


图10-2 宇宙动力学的两种可能性

(a) 宇宙膨胀，当达到最大限度时便重新收缩。当宇宙中的物质密度大于由哈勃参数确定的临界密度时，便会发生这一过程。这里指的是封闭宇宙。

(b) 宇宙始终膨胀，物质密度低于临界密度。这种宇宙为开放的、无穷大的宇宙。目前的宇宙尚处于膨胀阶段，将来是成为开放的宇宙还是封闭的宇宙，形势尚不明朗。

是封闭的还是开放的宇宙，随着时间的推移，星系的退行速度肯定是要变慢的。用哈勃参数便可描述星系的退行速度，这就是说，哈勃参数会随时间而减少，过去的参数肯定比现在的大。因此，哈勃参量不是一个不变量，它取决于时间，即自大爆炸后就开始的计时。但是，在这里还是将该量称哈勃参量。大部分天文学家所说的哈勃常数都不十分准确。

迄今为止，尽管人们作了积极的研究，但还无法确定出哈勃参数的时间关系。据称，随着时间的流逝，哈勃参数只略有减少。

封闭的或是开放宇宙的物质密度的临界值到底有多大

呢？怎样确定这个值呢？它是由哈勃参数和自然引力常数确定的。大家知道，哈勃常数带有一系数2。如果采用每百万光年为15千米/秒哈勃常量值，便可得到 $4.5 \times 10^{-30}$ 克/厘米<sup>3</sup>的临界值，该值不算特别高的物质密度，它相当于每立方米中约有3个氢原子。

宇宙中的物质密度是怎么回事呢？人们生活在一个星系中，要是估计一下这一星系中可观察到的物质，便可获得一约为 $10^{-23}$ 克/厘米<sup>3</sup>（每立方米约1000万个氢原子）的平均密度。这当然要比宇宙中的平均物质密度大得多，因此必须考虑星系之间巨大的空白区。如果不考虑这些空白区，那便会得到一约 $10^{-31}$ 克/厘米<sup>3</sup>的值，它仅为临界值的百分之几。

那么能不能肯定地说，宇宙中没有足够的物质，因而宇宙是一个封闭宇宙呢？

到目前为止，这一结论的正确与否人们还不敢断言。宇宙中有大量的既不是以星球也不是以星系形式存在的可见物质，如气体云团。此外，人们对宇宙中的巨大空间里是否有大量气体存在这一问题也不清楚。也许还有其它一些未被发现的各种物质，这个问题将在下面接着讨论。

最后要指出的是，人们所观察到的宇宙是有穷的。当然了，要是宇宙是无穷的，就要涉及到自大爆炸起便开始计算时间这样一个问题。200亿年过去了，人们在地球上才接收到远处星系发出的光，光最多也只是走了200亿年，换句话说，人们无法观察一个距地球400亿年的星系，因为它们发出的光还没有到达地球。

## 第十一章 造物的余音

在基础研究方面，美国的许多公司走到了欧洲的前头。例如在贝尔电话公司实验室工作的许多科学家只埋头基础研究，而对公司的产品毫不关心。

60年代初，贝尔电话公司实验室雇用了两名年青的射电天文学者，他们是纽约哥伦比亚大学的阿尔诺·彭西亚斯和帕萨迪纳的加利福尼亚理工学院的罗伯特·威尔森。彭西亚斯和威尔森的任务是改装安装在霍姆德尔，看上去像巨型听诊器的大型天线，以用它来与第一颗广播卫星进行无线电通讯。可彭西亚斯和威尔森却想用该天线搞一点“副业”，研究银河射线。在这里无论是对工程本身还是改进卫星的无线电通讯都得研究天线和接收机的灵敏度。

1964年春，彭西亚斯和威尔森发现了一罕见的效应。他们在7.35厘米的波长上发现一种具有特独性质的极强无线电噪声。一般情况下，用天线接收到的是来自天线的无线电信号，而不是这种噪声。当时似乎所有方向都能接收到这种波长为7.35厘米的噪声，其辐射类似温度为3K物体辐射的射线。难道宇宙中充满着电磁射线和光子吗？

弗里德曼在列宁格勒有一个名叫乔治·加莫夫的学生，他于1933年离开苏联前往美国工作。乔治的兴趣是新创立的核物理和天体物理学，他首次提出了宇宙以前比现在热

——“热爆炸”理论。1948年，美国《物理评论》杂志发表了一篇关于大爆炸的重要文章，作者是加莫夫的助手拉尔夫·阿尔芬和德国籍著名物理学家汉斯·贝特及加莫夫本人。实际上贝特并没有作什么工作，加莫夫之所以加上贝特的名字，因为他认为，这是一篇关于宇宙之物的文章，此外，他们的名字刚好对应于希腊字母的头三个字母： $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ （阿尔法、贝塔和伽玛）。

$\alpha\beta\gamma$ 理论认为，宇宙的原始状态为一巨热的核粒子混合物，大爆炸是由混合物的迅速膨胀引起的。加莫夫认为，今天人们在地球上和宇宙中发现的原子也就是当时大爆炸产生的尘埃。

现在， $\alpha\beta\gamma$ 理论早已过时，除了在许多工作中仍提到由加莫夫和他的助手阿尔芬及罗伯特·赫尔曼一道得出的重要结果外，谈论它的人就很少了。若宇宙起初很热，那么宇宙中肯定充满着大量的光子，这些光子还将会以均匀的无线电射线存在，这种射线相当于10K物体所辐射的射线。

现在人们知道，彭西亚斯和威尔森所发现的罕见无线电射线无非是宇宙大爆炸的余音。后来由罗伯特·迪克和P. J. E. 皮布尔斯及其他人在普林斯顿所进行的详细计算所证实。

当时，彭西亚斯和威尔森对天体物理学的预言未加以重视，直到1965年5月21日美国著名科技记者瓦尔德·沙利文在《纽约时报》上刊登了一篇报道后，他们才领悟到自己发现的重要性。文章说：“贝尔电话公司实验室的科学家们观察到了宇宙形成大爆炸的余音。”

1978年。彭西亚斯和威尔森因他们的发现双双获得诺贝

尔物理奖。加莫夫也应获得部分荣誉，可惜太晚了，他已于1968年在科罗拉多丹的博尔德与世长辞。

由彭西亚斯和威尔森发现的射线被命名为3K射线。人们在他们发现该射线以后，又进行了无数次实验，其中包括卫星实验。这里涉及到一种由2.7K，即极冷的物体辐射出的射线，该物体不仅能辐射出波长约为10厘米的射线，还能辐射出波长为1毫米的或更短的射线。遗憾的是，这些射线几乎全部被大气层所吸收。为此，人们要想观察它们必须用昂贵的气球或卫星来进行实验。

还好人们不能用肉眼观察宇宙的无线电射线，否则，由于大爆炸回波传到地面，将永远也不会有黑夜。

宇宙无线电射线光子的能量很弱，如彭西亚斯和威尔森所发现的射线，光子能量仅为0.00002电子伏特。但可见光的光子能量可达几个电子伏。

可以把宇宙视为一装满宇宙射线光子的容器（当然还有星系）。假设容器能膨胀，这样电磁射线波长也会“膨胀”，这便会导致光子能下降。人们今天观察到的电磁射线无非就是大爆炸后产生的热辐射“膨胀”射线，也就是说，随着宇宙的发展，射线温度不断下降，最初的宇宙要比现在的宇宙小1/1000，宇宙背景射线光子的能量范围为1电子伏特：可见光。然而，200亿年前谁也没看到过这种射线。现在，宇宙中光子的能量和温度还在不断下降。10亿年后，人们的后代（如果还存在的话）所测得的宇宙射线温度将只有2.5K，而不是像现在的2.7K。

不仅光子的能量下降，随着宇宙的扩大，光子的密度也会下降。现在宇宙中的射线温度为2.7K，光子密度刚好是

每升50万个光子，若与核粒子，即质子和中子数相比，这个数字是相当可观的。上一章已经说过，对一个封闭的宇宙来说，每立方米至少得有3个核子，即每升0.003个。人们观察到作为星球和星系的物质密度为临界密度的2%，即每升平均 $6 \times 10^{-5}$ 个核子。这样，便可得出其关系式

$$\frac{\text{光子数}}{\text{核子数}} = \frac{500000}{6 \times 10^{-5}} \approx 10^{10}$$

根据该方程，宇宙中每个核子平均拥有 $10^{10}$ （100亿）个光子，这是一个相当重要的数字。然而，上面给定的情况只是因数是已知的，因为人们有关物质密度的知识还很不够。但人们基本上可以肯定，宇宙中每个核子可分到1至100亿个光子。

对宇宙来说，光子/核子比例是一特征数，也可以说是质量标记，因为宇宙爆炸时既不产生新的光子，也没有光子被毁灭，且核子数不变，所以该比例从时间上看是恒定的，至少温度降至 $1000^{\circ}\text{C}$ 以下时，即宇宙早期时是如此。

## 第十二章 宇宙发展的八个阶段

通过对前面各章内容的了解，现在已经能够描述宇宙形成后的发展情况。大爆炸后的头几秒钟内宇宙肯定是处于极度变化之中，与当时的宇宙相比，如今的宇宙便显得索然无味。

根据第九章讨论的炉子冷却现象，可以设想将宇宙的发展分成数个阶段，这些阶段大多都极短，仅为一瞬间。

起点是原始大爆炸，这里将其视为时间零点，根据物理学家的外推法，这时的宇宙温度极高。在第九章中讨论物质产生时讲过，到目前人们还并不明白，物质怎么能承受大于 $10^{33}$ 度的高温，因为在如此高的温度下产生的能量密度违背了人们关于时间和空间的正常概念。这里，可很容易地估算出，在大爆炸和 $10^{-43}$ 秒时间内宇宙的温度曾达到过 $10^{33}$ 度。那么应如何描述当时的宇宙状况呢？当时有时间这一概念吗？

如果不懂的话，最好保持沉默。有些天体物理学家建议，不要去讨论 $10^{-43}$ 秒以前的宇宙状态，将该时间点视为宇宙发展的实际开端。然而这时的温度已降至 $10^{32}$ 度。我本人不同意这个建议。我认为，这个秘密（最初 $10^{-43}$ 秒）早晚终会揭开。它属于物质和引力统一理论。

要描述大爆炸后瞬间的宇宙发展，需要什么呢？从根本

上说，宇宙的早期与一相当单一的产物有关，其状态由一参量数据表征，即温度。只要知道温度，便可计算出哪种粒子在宇宙中起什么作用，多长时间出现这些粒子等等。这种情况类似第九章所讨论的炉子，只是炉子与宇宙的差别很大，炉子有一定的容积，但宇宙的容积是不固定的。宇宙是一个有穷或无穷大的系统。在初始阶段迅速膨胀，其膨胀速度取决于能量密度，即当时的温度和宇宙各个部分相互作用的引力。

当温度大于1万度时，各种关系非常简单。在大爆炸后瞬间宇宙中两个空间点之间的距离平方与时间成正比。若时间延长1倍，距离便增加4倍。这时，哈勃参数与时间成反比：膨胀速度也相对快速下降。

现在，就来看看宇宙发展的这几个阶段。

**第一阶段：神秘的头 $10^{-43}$ 秒。**

大爆炸后，从大爆炸到 $10^{-43}$ 秒时宇宙温度大于 $10^{32}$ 度。有关第一阶段的细节不详。

**第二阶段：从 $10^{-43}$ 秒到 $10^{-33}$ 秒——能量产生物质。**

时间从头 $10^{-43}$ 秒开始。开始温度约为 $10^{32}$ 度。宇宙中充满各种可能出现的粒子“原汤”，此外还有夸克、电子、中微子、光子、胶子和X粒子。尔后，宇宙温度迅速降低。到 $10^{-33}$ 秒时降至 $10^{28}$ 度以下。X粒子衰变，高热等离子体中的夸克多于反夸克，过剩的夸克变成后来组成星系、星球和行星的基本物质（原料）。

这里，一个重要参数是：“过剩”夸克比例和光子数。这个取决于X粒子衰变并可估计出的比例非常重要，其典型值在 $10^{-8}$ 和 $10^{-10}$ 之间。要计算该比例，必须有关于X粒子相互

作用的精确信息。可惜人们还没有这些信息。所以，目前人们还不能作出精确计算，只能大致估算。

这里要强调的一点是，夸克“过剩”部分很少。第二阶段结束时，宇宙由含有夸克、反夸克、光子和其它粒子的炽热等离子体构成。这样，“剩余”的夸克数与夸克及反夸克数相比便少得可怜，约为 $10^{-9}$ ，也就是说，10亿个夸克及反夸克只能留下一个“剩余”夸克。由X粒子遗留下来的夸克毫无用处。

第三阶段：从 $10^{-33}$ 秒到 $10^{-8}$ 秒——夸克冷却。

这一阶段的宇宙由含夸克、胶子、轻子和光子的等离子体构成，温度从 $10^{28}$ 度冷却到 $10^{14}$ 度以下。宇宙经历这一阶段后，“原汤”粒子的平均能量约为10亿电子伏特。

第四阶段： $10^{-6}$ 秒到 $10^{-3}$ 秒——进入质子时期。

当夸克和胶子的平均能量降至10亿电子伏特以下时，夸克、反夸克和胶子便开始大量毁灭。当夸克和反夸克碰到一起时便会相互湮灭，产生出两个光子或一电子/正电子对，同样，2个胶子也能转换成2个光子。如果宇宙中夸克和反夸克数相等，那么夸克和反夸克的命运也就注定了。在头 $10^{-6}$ 秒后完成的大规模死亡之中没留下一个这种粒子，所有夸克和反夸克全部相互湮灭。因此，X粒子衰变成剩余的夸克十分重要，10亿个夸克中也难找到一个想自杀的相应反夸克。幸存下来的夸克心甘情愿地停留在不断变冷的宇宙中。

人们知道，只要夸克之间的距离小到一定的程度，作用于夸克的力便加强。这就是染色力。夸克的结构始终是为三位一体式，加一个核粒子就形成一个质子或一个中子，该过程在第一毫秒（ $10^{-3}$ 秒）后结束。

这时的宇宙是由电子、正电子、光子和中微子构成的稠密气体组成的（每立方厘米约含 $10^{30}$ 个粒子）。此外，每立方厘米还有 $10^{27}$ 个质子和中子。这时，核核子的平均间隔为 $10^{-9}$ 厘米（为氢原子膨胀的1/10）。

宇宙动力学是由平均能量为3000万电子伏特的电子、光子等确定的，而不是由核粒子确定的，因为它的能量极低，仅为宇宙能量密度的百万分之一。

第五阶段： $10^{-3}$ 秒至100秒——辐射的宇宙。

在这个阶段宇宙冷却到10亿度。这时所发生的一系列过程是：

1) 中微子与其它剩余物质不断地相互作用。宇宙被塞得满满的，相互作用很弱的中微子很容易找到机会以光速穿过空间接受相互作用。但在1秒钟后便开始变化。这时，宇宙中仍然拥挤，但密度已经降低，以保证中微子与电子等碰撞。这时，中微子与剩余物质隔绝，独立生活，人们将之称为中微子去耦。

2) 第五阶段初期，宇宙中存在着数量相等的质子和中子，后者由许多u和d夸克构成；因为一开始u和d夸克数相同，因此质子和中子数必须相等，但中子的质量大于质子（约130万电子伏特）的质量。一旦粒子的平均能量降至一个相当于中子/质子质量差值时，许多中子便衰变成光子、电子、正电子和中微子。结果是：中子比质子少。第五阶段结束后，宇宙中约有75%的质子和25%的中子。这里要强调一点，中子数下降与中子的衰变无关。到第五阶段结束时，宇宙的年龄才100秒。可中子的寿命为11分钟，因此100秒后只有极少量的中子发生衰变。

3) 第五阶段进行的最重要过程是电子和正电子的湮灭，这一过程在第五阶段结束后的几分钟内完成。一旦电子和正电子的平均能量低于这些粒子的质量，电子和正电子便会大批死亡。电子/正电子对死亡，产生出光子。在这场灾难后只有少量电子能幸存下来，即人们视为原子外壳构件的电子。宇宙的总电荷应为零，只有这样，在宇宙中才能为每个质子找到一相应的电子。

第五阶段结束时的宇宙是什么样子呢？它由约10亿度的热光子和中微子“原汤”构成，此外，还包括质子和中子。在第五阶段，大部分电子和正电子相互湮灭，然而，宇宙中每个质子都有一个电子，因此，宇宙总电荷为零。

第六阶段：100秒至30分钟——由中子生成氦。

3分钟后，宇宙温度降至9亿度，这时，宇宙中的中子数进一步减少。这时，由87%的质子和13%的中子构成核子。此外，经常会出现一个质子和一个中子碰撞现象。接着在相当长的时间里它们靠在一起，呈连接状态，形成了所谓的氘。在该过程中，过剩的能量以光子形式辐射出去。

相对来说氘为一个弱连接系统，只需加入一定的能量它便可很容易地蜕变成一个质子和一个中子，若宇宙中的温度在10亿度以上，氘便不能长时间地生存下去。由于与其它粒子，主要是光子的不断碰撞，生成后便会马上被毁灭掉。只有当温度降至9亿度以下时才会发生一些变化，这时，粒子的能量不能马上容易地毁掉氘。

氘粒子不断相互碰撞，两个氘粒子很容易地组成一氦核，即由两个中子和两个质子组成一个原子核。原子核非常稳定，人们得用相当的能量才能将质子或中子从氦核中取出

(大约是分裂氘粒子能量的9倍)。

氦核的稳定性非常重要，在它合成氦后的很短时间里，实际捕捉到了全部中子并作为氦核的构件。该过程开始时，由核粒子形成的物质由87%的质子和13%的中子组成。氦核由两个质子和两个中子组成，不难算出，氦合成后的物质77%为氢、23%为氦。无论是无线电射线，还是氦的形成都是早期宇宙史的直接见证人，当时的宇宙要比现在的宇宙热得多。

第七阶段：30分钟到100万年——原子形成、光子独立。

头半小时所发生的变化不多。这时，宇宙继续冷却。电子、质子、氦核和光子相互碰撞。大约在30万年后，宇宙进入一新阶段：即原子时代。宇宙温度足以使质子和氦核能够借助电引力捕捉到周围运动的电子，这样便形成了氢原子或氦原子。

原子不带电，光子与带电物体相互作用，这时，射线与宇宙中其它物质分离。因此，很早以前宇宙中便有中微子存在，现在，中子在重复同一独立过程。大约30万年后，光子便开始独立生存。唯一发生的现象是通过宇宙的膨胀使其不断冷却，这样，光子便失去能量。

今天，也就是200亿年后，光子的温度被冷却到2.7K。人们观察到的宇宙无线电射线不过是30万年前宇宙辐射出的电磁射线的“冷却”。

第七阶段结束时，宇宙中物质由氢和氦原子构成；但人们发现的强烈的电子辐射和中微子辐射却是物质自身辐射的。至于将来的物质怎样则均取决于其成分和物质粒子间的力。

第八阶段：100万年至200亿年——物质堆积，形成星系、恒星、行星和生命。

将光子和宇宙中残留物质分离后，宇宙才能进入今天的时代：即物质为主体的时代。宇宙的膨胀取决于物质，这些物质又是以氢、氦原子的形式存在，只有少量以光子和中微子射线形式存在。

原始大爆炸假说预言，宇宙中主要由夸克和电子组成的物质是以氢、氦原子形态存在的。就地球而言，仅是宇宙爆炸后的一小堆物质而已，当然不能将地球看成是长期发展过程的结果。如果研究一下人类所处星系的物质成分便可发现，它们与大爆炸理论的预言是那么相似。大约22%的物质以氦的形式和77%的物质以氢的形式存在，其它元素仅占1%。氧只占人们星系质量的0.8%，最常见的金属——铁约为星系质量的0.1%。

上述数字表明，氦元素有些特殊，除了氢和氧以外，它是最常见的元素。从人们研究的星球种类看，其波动性很大，这与星球的年龄等因素有关。此外，在星系的任何一个区域里都经常可以见到氦和氢。对这种现象唯一的解释是：氦要比星系老得多，氢和氦是组成所有星系中星球的原始物质。也只有原始大爆炸假说能够解释，宇宙中为什么有这么多的氦和为什么宇宙中的氦能够均匀分布。

现今的宇宙，即宇宙发展第八阶段的主要特征是结构，这也是宇宙新的特性，这在头一个100万年结束时尚未出现。在前七个阶段，宇宙中无大的变化，能量和物质都是均匀分布的，宇宙中充满着相同形式的射线，没有时间上的变化，人们只知道宇宙会爆炸，温度在不断下降。

第八阶段开始时,宇宙由一种热的氢、氦原子气体构成。今天,即人类纪元二千年来,也就是宇宙大爆炸后的200亿年,人们发现宇宙中星系、恒星和行星的结构也跟人类一样,异常复杂。因此,可以把第八阶段说成是宇宙的结构时期,见图12-1。

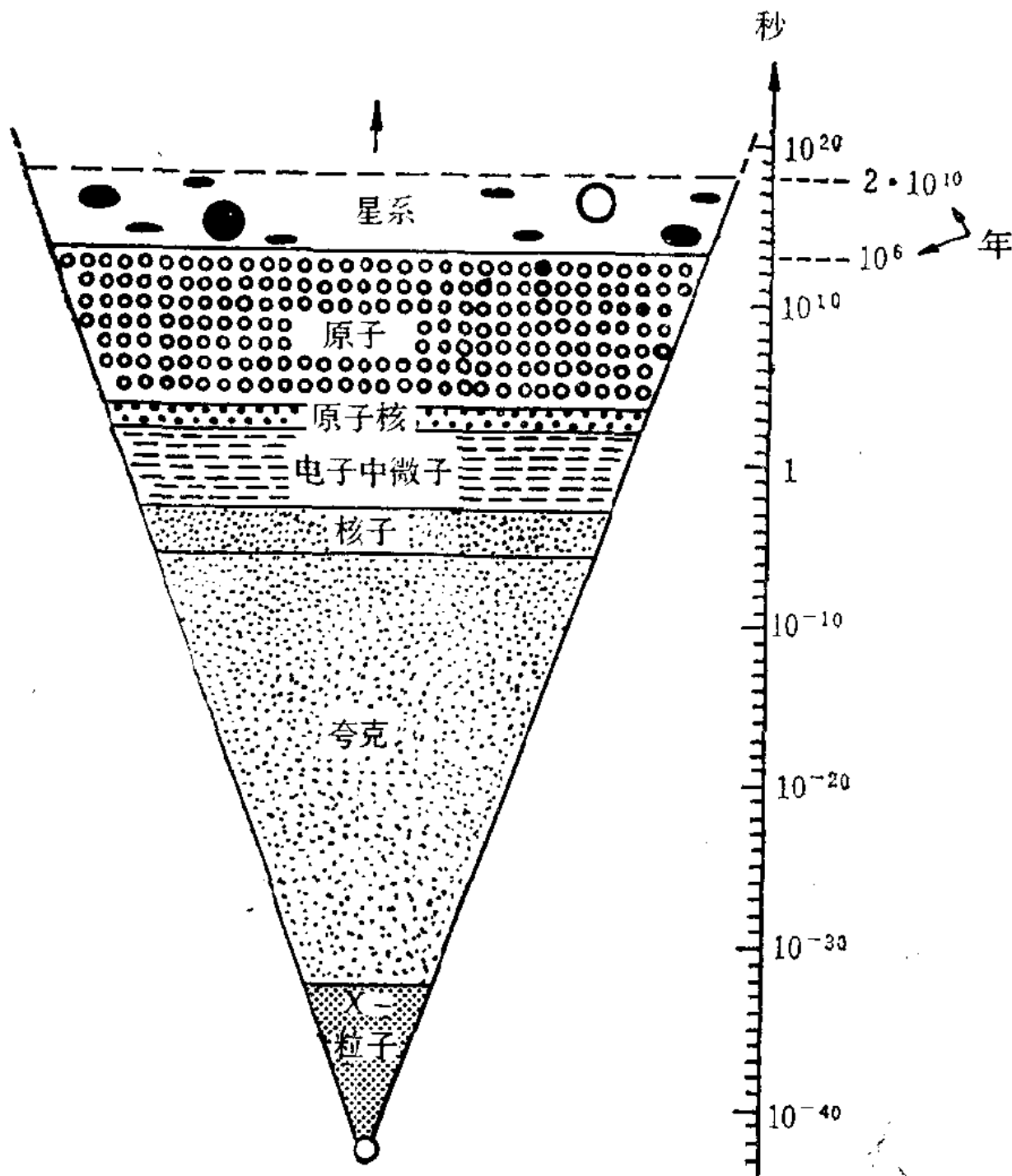


图12-1 宇宙发展示意图

从图中可以看到宇宙从大爆炸后的 $10^{-43}$ 秒至今各个发展阶段。

大约在大爆炸后10亿年的时候,因为物质的密度小波动形成了较大区域,在这些区域内,物质的聚集比别的地方

多。这些物质团通过将引力作用于周围的物质，使得又有许多物质被聚集到密集区。这样，大的氢、氦物质云团便成了不断膨胀的宇宙。

氢、氦云团发展成一巨大旋转的物质聚集团，这就是星系的前身。在气体云团内物质进一步压缩，形成相对来说比较小的球状结构。此外，引力不断压缩物质，直至其产生热核反应——氢、氦核熔化成其它原子核；第一个照亮星系间空间恒星。

大约150亿年前开始的这些发展过程只表示宇宙的漫长历史，其主要特点是连续变化、不断形成新的结构和不断衰败，以及幸存结构的消亡。像星系这么大的结构也有这种发展过程是很有意思的，它们一旦形成后便成为天空中特别亮的星球。因此，新形成的星系的辐射比老星系的辐射强度高，但也有些星系只是作为类星体昙花一现。

第八阶段初，宇宙的起步力量惊人。因此，第一个恒星不会生存得很久，随着巨大的爆炸，即所谓的超新星爆炸，结束其短暂的一生，但这为组成后来的恒星提供了新的材料：碳、氧、铁和重元素。很久以后，太阳和人们自己都从超新星爆炸中获益非浅。地球，包括人体的大部分物质均由超新星爆炸的尘埃形成，要是没有这些尘埃也就没有人类。

大约在46亿年以前，星际间的气体和尘埃形成了行星、地球。大约40亿年前，海洋中的分子产生出简单生物，由于当时太阳照射到地球表面的紫外线太强，简单尘埃又不断地被毁灭，就这样，通过连绵不断的生与死的进化，约在30亿年前，产生了宇宙间第一个较大的细胞结构。

在地球形成后的36亿年后，即10亿年前，地球表面发生

了变化，随着有机物质的相互作用，特别是海洋藻类的交替作用形成了以氮、氧为主的大气，大气也是生物进化的产物，是生物环境的一部分。当然，地球表面局部变化也会破坏整个大气层，例如：人们对热带原始森林的大肆砍伐。

大约6亿年前，即寒武纪，地球上发生过生命爆炸，突然之间产生出各种生物：软体动物、贝类、海绵、海星、鱼类及原始植物和昆虫。2亿年前出现了恐龙，约在6000万年前，这些动物又突然绝迹，这是由一次行星灾难造成的，例如：地球与某一小天体相撞。

恐龙的消失促进了哺乳动物的发展，最后达到其顶峰，产生了人类。这一过程大约是在30~50万年前开始的，至今仍在继续。

恐龙统治地球表面约1亿年之久，相对来说，人类统治这个世界才只几千年。不知人类能否像恐龙那样，也有如此长久的生命周期？

## 第十三章 世界末日

上一章已经看到，物理学和天体物理学已能描述自大爆炸以来宇宙的发展过程。今天宇宙正处于第八个发展阶段。它将来会发展成什么样子？人类目前还不能给出明确的答案，只能推测有各种可能，具体地说，有两种可能性。

大家知道，宇宙是膨胀的，远处的星系正飞离地球而去。哈勃参数告诉了人们有关宇宙原始大爆炸的初期膨胀速度。因为有某种在推动它的力，所以远处的星系并不是相互分离的，而是200亿年前原始大爆炸抛出的物质。

由于星系间的引力，随着时间的推移，退行速度将会变慢。如果速度太慢，最终会使星系停止运动。这样星系会被毁灭吗？或者宇宙会永远膨胀吗？现在，让我们来试答这两个问题。

远处星系退行速度变慢主要取决于宇宙间的质量。要计算宇宙的质量密度不难，这对阻止星系分离退行是十分有用的。这里说的质量密度为临界密度（ $4.5 \times 10^{-30}$ 克/厘米<sup>3</sup>），其值取决于哈勃参量。

人们会问：宇宙中质量密度比临界密度大还是小呢？这个问题只有通过实验才能回答。人们居住的星系的平均质量密度约为 $10^{-23}$ 克/厘米<sup>3</sup>。如将星际间空间考虑进去，平均质量密度为 $10^{-31}$ 克/厘米<sup>3</sup>。该值约处于临界值因数100范围内。然

而，宇宙中还有黑色的气体云团和不是以发光星球物质形式存在的其它物质，其质量密度可用不同的方法估算出。人们认为，“黑色”物质的质量密度与闪光物质的质量密度一样，甚至还大一些，但要将前者的质量密度靠近临界密度是不可能的。宇宙质量密度至多只是临界密度的1/10，也许还要低一些。

首先假设刚才的结论是正确的，事实上宇宙质量密度要比临界密度低得多。那么，在这种情况下，宇宙将会怎样变化呢？

刚开始变化不大，甚至数十亿年内还将有星系和恒星出现，只是它们变得愈来愈暗淡。恒星内核反应慢慢变弱，直至恒星熄灭。宇宙变得又冷又暗。

但这时的物质仍不断地衰变成射线，核物质愈来愈多。最后，约在 $10^{32}$ 年以后，大部分物质解体。在 $10^{40}$ 年后，已没有夸克，即没有核物质，原子也绝迹了。

那些不会绝迹的物体就是前面说过的黑洞。按广义相对论的说法，黑洞是静止的形体，世界空间和时间结构中的罕见物体，随着时间的推移不会发生变化，如果真是这样，最后宇宙唯一幸存的形体就是黑洞。

今天，人们知道黑洞的寿命也不是永恒的。黑洞的含义不光是黑色，且能吞噬大量的物质（如一个能吸光的黑色物体，然后将光转换成热能）；但量子论认为，黑洞是“热”的，这就是说，它们不停地辐射电磁射线，并丢失部分质量，因此它始终是热的。最后达到一高温，不仅能辐射出光子，还能辐射出电子/正电子对、夸克/反夸克对，以介子或质子/反质子及中子/反中子对的方式排列。

黑洞在结束生命时也会发生爆炸，即黑洞蒸发，同时，它们所捕捉的物质以射线形式返回宇宙。

黑洞的生存期很长，约达 $10^{66}$ 年，其质量相当于太阳的3倍。体积大的黑洞生存期更长。例如，一个质量与银河星系相仿的黑洞，其寿命可达 $10^{100}$ 年。这样，人们便可明白黑洞并不是永恒的，只是它的寿命比宇宙中其它物质的寿命更长而已。

宇宙发展的第九阶段，即最后阶段是这样的，不断膨胀的宇宙充满由光子和中微子构成的逐渐变冷的射线（在宇宙中是观察不到的）。对位于宇宙中的观察者来说，他只能看到一荒凉、僻静的空间，并不时地看到远处空间的一点点闪光——黑洞爆炸。爆炸时辐射出大量的电子和正电子、质子和反质子，后者飞离宇宙。但它们并不是永恒的物体，到 $10^{32}$ 年后，质子会重新变成正电子、中微子和光子，在宇宙来回飞行的正电子与电子相遇，并变成光子。

然而人们却等不到宇宙中只残留黑洞或将来再产生质量比一个星系更大的黑洞。大约到 $10^{100}$ 年后，黑洞爆炸残留物消失，这时，宇宙将是一片安静，充满无法察觉到的冷“光”和由中微子、电子和正电子构成的弱射线，这些“冷”光将踏上永久的旅途。

上述发展过程的前提是宇宙中可观察到的物质密度小于临界密度。然而，这里还忽视了一种可能性，即宇宙中的物质会不会比现在观察到的以星系和恒星形式存在的物质要多，而这些物质不是以质子和中子形式，而是以其它粒子形式存在的呢？

现在，来观察一下中微子，它是一种罕见的中性粒子，

与一般物质几乎无相互作用。可以假定，中微子为无质粒子。因为，迄今为止实验物理学家尚未找到中子有质量的证据，在所有实验中，中微子均以无质粒子状态存在着。然而，中微子拥有轻微的质量，但肯定其质量极小，仅为10电子伏特，即比电子质量的 $1/50000$ 还小。

读者也许现在会想：为什么非得为中微子找一个可笑的质量呢？中微子无质或有10电子伏特的质量对宇宙来说又有什么关系呢？

人们马上将会看到，问题并没有这么简单。现在来回忆一下宇宙发展的第五个阶段，细心的读者也许还记得，这一阶段是从一毫秒开始，约持续了100秒。从那时起，中微子与宇宙中的质子和电子便不相互作用。大爆炸后数秒钟内中微子便开始独自生活。

如果中微子肯定无质，即它也应像光子那样生存，宇宙将均匀地充满中微子和光子。宇宙中每立方厘米约含500个光子。大爆炸理论告诉我们，单位空间的中微子数量相等。精确计算结果是：目前宇宙中每立方厘米的中微子含量约为400个。

与光子海并存的还有一中微子海。宇宙的膨胀使得中微子也像光子那样在“冷却”，这就是说，随着时间的推移，中微子的能量不断下降。人们希望，宇宙中中微子的能量正好与光子相同。

如果中微子无质，则宇宙中微子海与光子海一样，对物质密度的作用都不大。但如果中微子有质量，哪怕很小，那情形就大不相同了。

关键是：宇宙中中微子比质子、中子和电子都要多。中

微子的很小质量，也将对宇宙中物质密度产生举足轻重的影响。

作一小小计算便可得出宇宙物质密度的中微子值： $6 \times 10^{-31}$ 克/厘米<sup>3</sup>，中微子质量（以电子伏特表示）。如果中微子质量为10电子伏特，便可得出其值为 $60 \times 10^{-31}$ 克/厘米<sup>3</sup>或 $6 \times 10^{-30}$ 克/厘米<sup>3</sup>，仅次于物质临界密度，然而比普通核物质的密度要大得多。

如果中微子的质量为10电子伏特，那么中微子海将比星系的物质密度高10倍，这个数字令人吃惊。若中微子质量大于50电子伏特，那宇宙中质量密度将大于临界质量密度。随着时间的推移，宇宙将停止膨胀，靠中微子海的引力来制动。

这样，中微子质量问题便成了中心问题。中微子到底是无质，还是有小的质量呢？中微子质量到底有多大？世界各国的物理学家正在对这些问题进行研究。

这里想就中微子质量问题谈几点意见：

1) 电磁学理论，尤其是光子学理论指出，光子没有质量，这与实验结果相符。但中微子有没有质量尚无定论。现代夸克和轻子理论还不肯定中微子一定无质。在某些轻子和夸克标准理论中甚至认为中微子有质量（如SO(10)理论）。遗憾的是到现在还没有找到论据。然而，值得注意的是，人们估算的中微子质量值为1~30电子伏特，这从宇宙角度看是十分有益的。

2) 前面已经说过，苏联物理学家于1979年公布了莫斯科实验的结果：中微子质量约为20电子伏特。当然，也能找到一些适当的理由怀疑实验的准确性。

3) 核电站在核反应时会辐射出部分无用中微子射线，如

果中微子有质量，核反应堆中微子射线肯定会受到某种影响。80年代初，德国物理学家鲁道夫·莫期鲍尔和美国物理学家费利克斯·贝姆带领了一研究小组对瑞士哥斯根核反应堆进行了研究，但没有找到中微子有质量的证据。另外，也没有得出20电子伏特质量的结论。至于中微子是有几个电子伏特的质量还是没有，看来眼下还确定不了。

4) 大家知道，许多星系都不是独立的而是作为星系群的一部分存在的，人们对几个大的星系团，如后发星系团进行过研究，当时是把它作为“遗弃物质”载入天体物理史的。这到底是怎么回事呢？

一个星系团内部的星系相互有引力作用。

星系团的某些星系是以相当大的速度彼此相对离开。如果人们突然中断引力，那么星系团星系便会在很短的时间后四散飞离，立即解体。

只要星系团中有足够的物质，万有引力便是星系团聚集的保证。但事情往往不是这样，对它们的详细研究已于70年代初开始。结果是：所研究的星系团都缺乏物质。星系都无法保证星系团的聚集，某些星系团只拥有形成群的十分之一的物质，那么，缺少的90%藏到哪里去了呢？

如果中微子有质量，这个问题便可有一个漂亮的答案，这也是当时许多天体物理学家所期待的答案。上面说过，中微子海类似于光子海。如果中微子有质量，那中微子海又将会怎样呢？再如果宇宙中中微子也像光子那样分布均匀，是不是每立方厘米就有约400个中微子了呢？

宇宙膨胀时，中微子在不断丢失能量。只要中微子的能量大于质量，那么它们便以光速运行。当能量小于质量时，

便会发生变化。如果中微子的质量是10电子伏特，那么在大爆炸后星系形成数十亿年以后便会出现这种现象，即中微子的速度突然慢下来。结果是：根据万有引力定律，中微子便会聚集成巨大的中微子云团，这样，宇宙中中微子的分布也就不均匀，而有相对大的中微子密度区域，若进一步膨胀，巨大的中微子云团便会像一台巨型吸尘器，“吸入”宇宙中剩余物质，中子、质子和电子。根据这一论点，星系团便是一巨大的中微子云团，在这个云团中星系像鱼在鱼缸里似的“来回游动，”见图13-1。失踪的物质“处于”中微子中。经

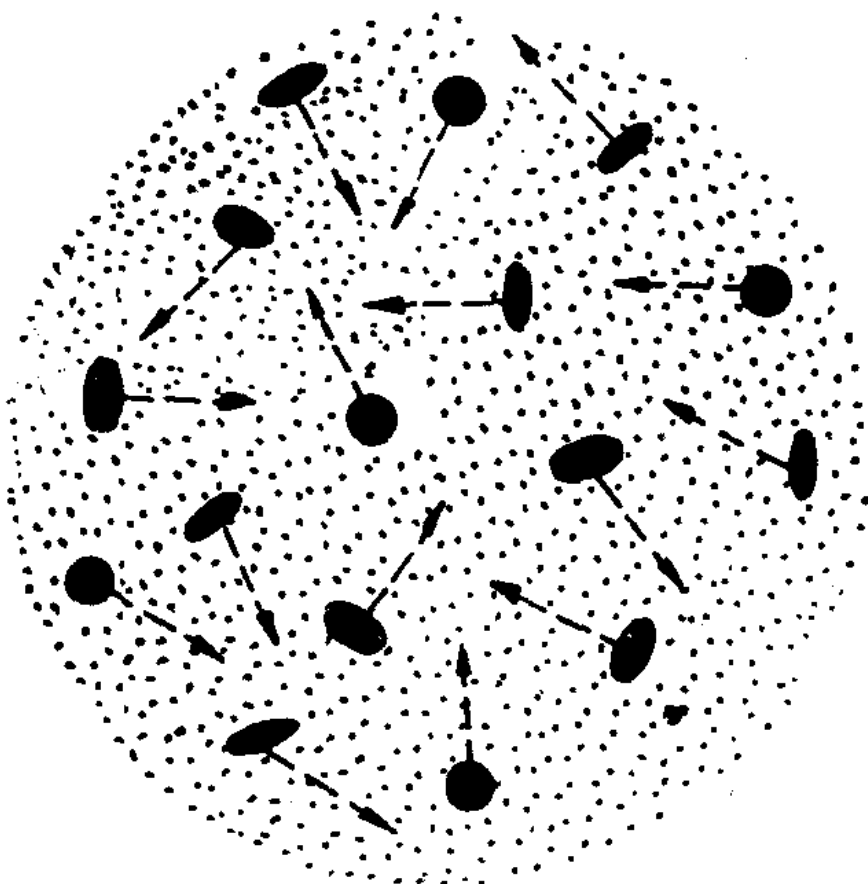


图13-1 星系团中高速运行的星系

星系团中星系有时是以相当大的速度运动的（图中用箭头表示）。引力是星系保持在一起的保证，要是没有引力，星系将立即解体。详细研究表明，星系的物质不足以形成星系团。如果中微子有质量，那星系团将是由大量中微子形成的“中微子云团”，并在星系中来回“游动”，所缺的物质将由中微子得以补充（用黑点表示）。

详细计算后得出，要获得所需效应，中微子的质量应在5电子伏特到10电子伏特之间。此外，星系团内部的中微子密度也可估计出，每立方厘米约含 $10^7$ 个中微子，密度相当高。

这里要提示一下，人们的星系也属一个星系团。在人们生活的空间里，每立方厘米约有1000万个中微子。地球和人们自己都在一巨大的中微子海里游泳，这个结论将使物理学家非常失望。如果证明有中微子“海洋”存在，便是对物理测量技术的一个挑战。

假如中微子的质量真是约10电子伏特，那人们肯定会得到这么个结论，即宇宙中大部分物质是由中微子构成的。星系、恒星和行星等一般物质对质量密度应起作用，它们只是“垃圾”，它们“污染了”纯静的中微子物质。

现在就要结束中微子区旅行了。人们发现要是中微子真有质量，且质量约为10电子伏特，那么将会开辟一全新的前景。假若中微子的质量不足1电子伏特，那众多的中微子在天体物理学中便起不到决定性的作用。

如果中微子的质量接近几个电子伏，那么宇宙的未来就与上面所描述的截然不同，在夸克、原子核和电子及正电子死亡后，宇宙中只有光子和中微子，大量的中微子将有可能转换成光子。当1个中微子和1个反中微子偶尔飞近时，有可能2个粒子都会被相互毁掉，变成2个光子。这一过程的概率是可以计算出来的，它取决于中微子的质量。质量愈小，毁掉的概率也就愈小。如果中微子的质量接近10电子伏特，那么得用 $10^{50}$ 年的时间才能将中微子赶出宇宙。在 $10^{55}$ 年后，宇宙中除黑洞外就只剩光子和少量的电子和正电子。

还没有什么能解释得了现今宇宙的不平凡的历史特征。

大爆炸后的瞬间射线便形成如今仍存在于宇宙中的物质。在 $10^{55}$ 年后，这些物质将以电磁射线，即光和电子及正电子的形式继续存在。但这还不能肯定中微子质量密度就比临界密度大。鉴于宇宙中物质密度，这种假设并不一定比目前天体物理学测得的最佳数据乐观，但它又不是完全虚无的。

如果是这样，那未来的宇宙是什么样子的呢？因为质量密度大于临界密度，所以又要回到一无穷大的封闭宇宙这个问题上来。远方的星系还将继续远离人们而去。也不知什么时候，例如大爆炸后的 $10^{12}$ 年后，宇宙将停止膨胀，星系开始收缩，宇宙发展的全部过程将以相反方向进行，见图13-2。如果那时还有天文学家和物理学家存在的话，那么他们将会发现，随着宇宙开始收缩，光子海洋的温度慢慢升高。

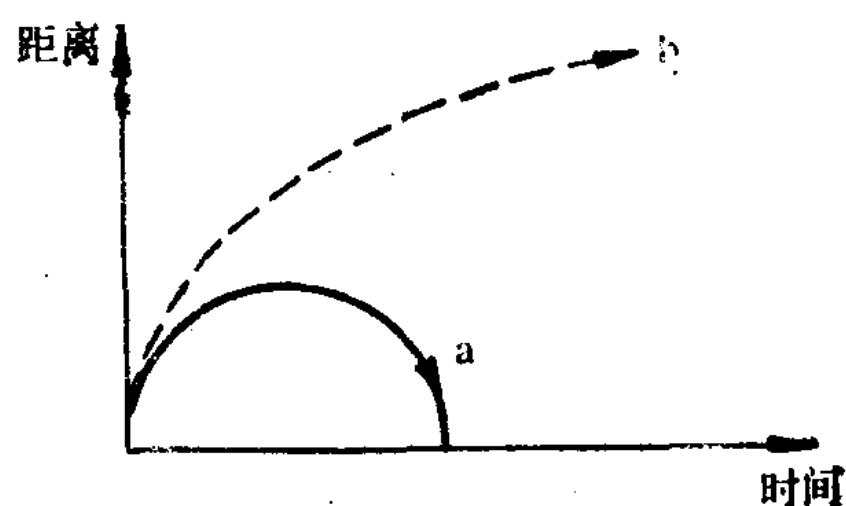


图13-2 宇宙发展的两种可能性

图中用星系间的平均距离与时间的关系加以描述。

(a) 宇宙从零点（大爆炸）开始膨胀，最终处于静止状态。接着，宇宙重新启动，再次发生大爆炸，在这种情况下，宇宙为有穷大；

(b) 大爆炸后，宇宙无休止地膨胀，宇宙为无穷大。然而，这里所采用的有关宇宙物质分布的测量数据并不是很精确的。如果中微子拥有质量，那么 (a) 也可能便属于 (b) 这一范畴。

宇宙中光子的能量增加,足以摧毁恒星和行星。这时,光子、中子、电子、质子和中微子便再次形成一热的气体,就像大爆炸后瞬间那样。宇宙中宏观结构全部被摧毁。最后,宇宙温度上升到 $10^{28}$ 度以上,粒子便与高温时轻子、介子、夸克、反夸克和其它粒子产生的X粒子撞击,X粒子便是寒冷宇宙的最后痕迹,比反夸克多的夸克从宇宙中消失。当温度升到 $10^{32}$ 度以上时,经 $10^{-43}$ 秒宇宙便进入其发展的最后阶段。

如前 $10^{-43}$ 秒那样,后 $10^{-43}$ 秒时宇宙将是一片黑暗。现在人们尚不清楚整个宇宙是不是会像数学家所说的那样,聚集成一点。如果是这样,那么便可以说,在聚成一点后宇宙中就再也没有空间、时间和物质了。那时将会出现什么呢?

可能会出现这种情况,通过至今尚未弄明白的万有引力效应使温度达到一最大值后不再继续上升,而开始下降,宇宙再次开始膨胀,进入新一轮循环,在温度降至 $10^{28}$ 度前产生过量的夸克,由它在新一轮的8个阶段中形成星系、恒星和行星。当然,人们没有理由反对宇宙发生多次循环的可能性,说不定人们目前所处阶段便有无穷无尽循环的第八个阶段。

广义相对论认为,宇宙的膨胀是由哈勃参量确定的,只要宇宙中质量密度与 $10^{-29}$ 克/厘米<sup>3</sup>的临界质量密度相等,宇宙便会静止不动。然而,所观察到的质量密度正好接近该值,最多为其1/50。这是一种令人吃惊的认识,为什么要把宇宙质量密度与临界质量密度联系在一起,它完全可以比临界质量密度大100万倍或是它的1/1000000。许多天体物理学家认为,也有质量密度等于临界质量密度的情况,这种情况

是由大爆炸以后宇宙的迅速膨胀造成的。这种推论若真实的话，那么宇宙的有穷或无穷均取决于物质分布的纯度。

关于宇宙的未来就讨论到这里。要么就是有绝望的第九个时期，即宇宙的冰川时期；要么就是宇宙从第八个阶段反向轮回。

在本书中主要描述了宇宙的发展过程，可以假设，大爆炸后宇宙就是像这里所描述的那样发展的。因此，可以说现在已经了解到了宇宙的主要发展过程，人们也可将这种认识与达尔文的人由简单生物进化而来的认识相比较。现代物理和天体物理学告诉人们，要用理性的方法去理解整个宇宙的发展。地球上生存的生物便是漫长发展史的见证。物质本身也是动态发展过程的产物。此外，生成物质的过程也是使物质消失的过程。

今天，人们了解到了宇宙的发展过程，但人们能不能从中看到这种宇宙发展背后的意义呢？或者宇宙的发展根本就毫无意义？人们的存在是不是宇宙的徒劳尝试呢？

目前，现代科学还回答不了这些问题。因此，人们要促进科学进步，学习自然界的连带关系，同时改变人们思考和处理问题的方式。但这不是说，科学没有价值。因此，这里有必要在本书即将结束时谈谈哲学和宗教问题。

## 第十四章 矛盾的统一

自伽利略奠定现代自然科学基础以来已经近400年过去了。本世纪中，人类发现了物质的结构（图14-1）和自然界的基本力，即三种将世界凝聚在一起的力：核粒子内部夸克之间的染色力，原子中较强的电力和无所不在的引力。如今，呈现在自然科学家面前的世界的特点是：异常简单。可又有谁想到过，这个五彩斑斓的世界，星系、恒星、动植物和人们自身都是由夸克u和d及电子构成的呢？人们只是大自然的一分子，大自然变幻无穷，包括各种各样的现象及许许多多的基本物质。

一般来说，标准体重为75千克的人是由以下各种成分构成的：

u夸克：	$7.0 \times 10^{28}$
d夸克：	$6.5 \times 10^{28}$
电子：	$2.5 \times 10^{28}$

当然，随意将这么多的夸克和电子摆在一起是造不出一个人来的，人要比纯粒子数复杂得多。因此，“人”这个系统不是电子和夸克的任意组合，而是必须以一定的方式组合，然后形成氢、氧、碳及其它原子，这些粒子严格地按生物化学规则在地球上经40亿年的演变，最后才进化成人类。

宇宙发展第八个阶段最重大的事件是结构的形成。大爆

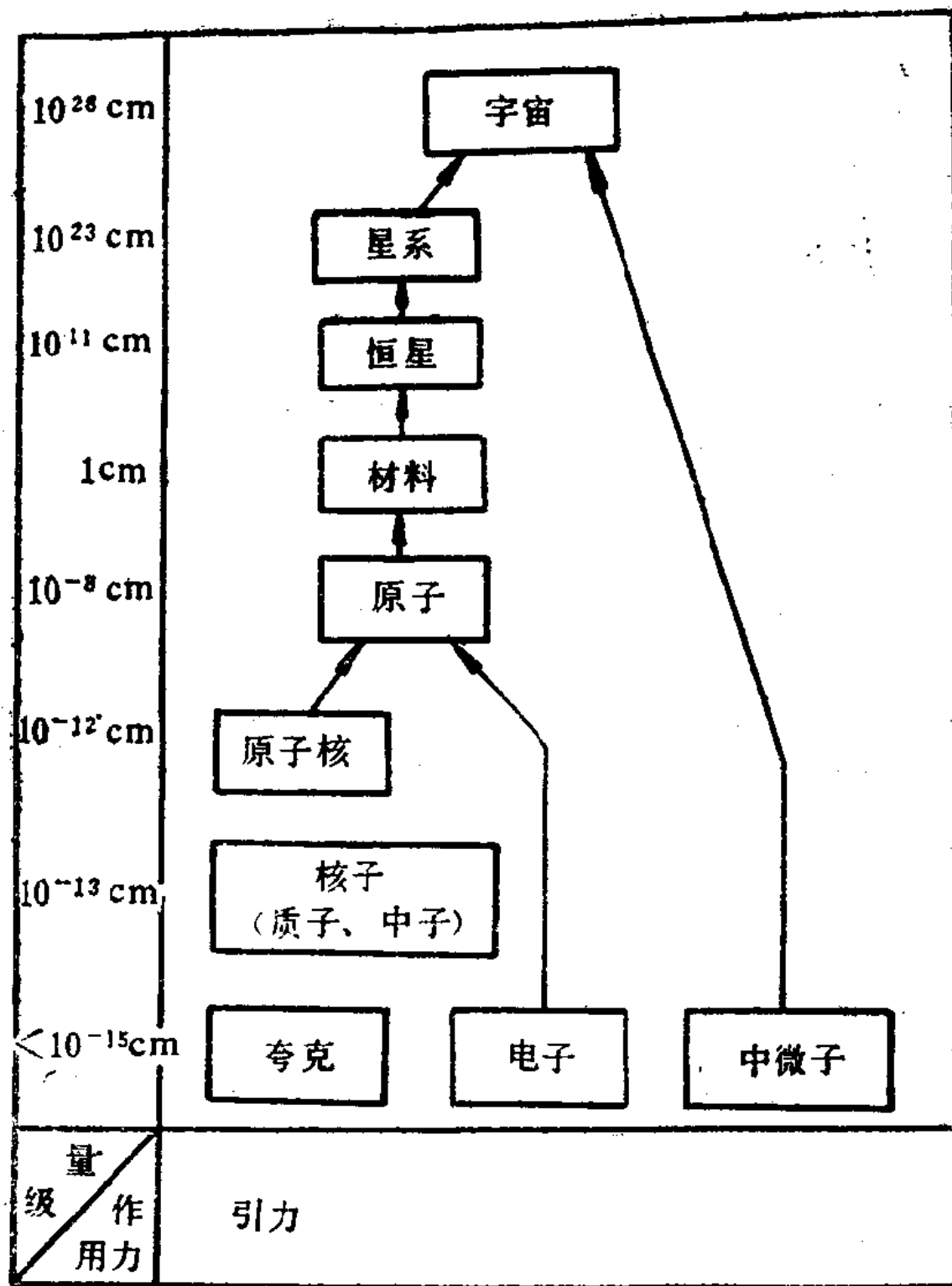


图14-1 等级森严的宇宙结构

物质是由夸克、电子和中微子构成的。强相互作用作用于夸克间；电磁相互作用无论对夸克，还是电子都十分重要。引力为另一种相互作用力，即弱相互作用，它对所有基本粒子来说都关系重大。

炸后的前七个阶段还没有形成相互作用的宏观结构，在这七个阶段中，宇宙充满着由粒子构成的炽热气体，这时的粒子无法分辨，地球上的一个电子和月球后的一个电子都属于其它粒子的“卵”，如果要真是卵的话，人们到可以为它们打上标

记，规定一个数字。但电子、夸克和其它粒子都非常小，无法进行标记。物质的基本结构物均无个性，千篇一律。

随着较大规模的物质聚集和星系原始状态的形成，宇宙进入一特殊阶段。

由许许多多的夸克和电子形成了各种宏观结构，某些物理学家猜测，在宇宙发展的第七个阶段已有这种宏观结构的萌芽，大量中微子组成巨大的中微子云团，中微子云团再通过引力将后来产生的氢和氦原子吸过来形成了星系。

人们今天观察到的星系、恒星、岩石或生物场为自第八阶段由相互作用所形成的结构。宇宙曾有过特殊结构，即人们能够分辨出的物体——岩石，人们可以描述岩石的结构，为其打上标记，许多年后仍能认得它。这种结构也是宇宙发展第八阶段的特殊产物。

宇宙发展第八阶段形成的所有结构都有其历史特征，它们的存在与变冷的宇宙有关，只有在冷的宇宙中才有可能出现星系和人类那样的宏观结构，这些结构都不是永恒的。当时这些结构都不存在，所幸存的都是由粒子构成的不断变热的气体或不断变冷的光子和中微子气体。可惜人类无法看到当时的各种变化。

宇宙中到底存在有多少特殊物体和结构呢？人们估计，宇宙中约有 $10^{80}$ 个夸克。由这些材料构成的恒星、行星、植物和岩石数量之多是无法加以形容的，仅第八阶段形成的新结构，即大自然的潜力，便是取之不竭的。

就如大自然形成那样，由许多结构相互作用产生的新结构具有令人吃惊的特性，许多以适当方式组合成的原子能够形成DNA分子，该分子具有再生能力，这对音乐家来说也

许并不奇怪，用几个组成音乐的音符便能谱出不同的乐曲：打击乐或巴赫的追逸曲。

夸克和轻子也许还不是构成物质的最小粒子，或许它们还是由比它们更小的粒子构成。现在用不着对此争论，物质肯定还有更小的基本结构，否则这不是意味着对物质微观结构的研究结束了吗？也许要不了多久，人们会创立一种类似“宇宙公式”的关于物质结构的完整理论。然而，这里要提示一下：这种理论是不存在的。用某一种理论是回答不了人们今天感兴趣的所有问题的。

此外，人们从某一理论中也找不出不同物体和系统的多重性。例如，量子色动力学的简单方程不仅描述了原子核内部夸克的特性，而且还描述了原子核。但是没有人会马上想到，对铁原子来说，168个夸克正好是由82个u夸克和86个d夸克构成，色动力始终作用于已知物体，即铁元素原子核，由26个质子和30个中子构成，色动力基本方程描述了铁的结构。铁原子核结构及所有原子核的结构都可用“原理”来描述，尽管用色动力方程不能直接求出原子核结构，但如果想了解原子核结构，可通过昂贵的实验和艰难的理论研究逐步加以了解。近几十年来，核物理学家在这方面取得了卓越的成就。

前面讨论了宇宙的形成和夸克、原子核和原子的产生过程。人们发现，这些粒子均与宇宙变冷期所形成的结构有关。一个飞越宇宙的氢原子便是一个历史性的物体，它既带有形成的痕迹，也带有将来被毁灭的因素。由于有这种认识存在，2000年前，古希腊便曾就发展与生存问题引起过一场争论。

伟大的古典哲学家赫拉克利特的一句名言是：“万物皆变”。他认为，宇宙间的物质均处于运动状态，都不是永恒的。

然而，巴门尼德则认为，世界总是处于存在状态。他还认为，变化只是幻象而已。从巴门尼德的哲学中派生出的另一种观点是，物质是由最小的，无法摧毁的原子构成的。

今天，人们可以说，无论是赫拉克利特，还是巴门尼德，他们只了解真理的一部分。物质是由夸克和电子构成的，但这些粒子也不是永存的。它们是历史性的物质，是大爆炸后瞬间产生出来的，在第八阶段结束后它们将消亡。因此，物质的生成与消亡也与宇宙中的其它事物一样。

从根本上说，大自然中没有绝对稳定的结构。化学家也许会把原子看成是稳定的，因为原子不受化学反应的影响。但物理学家却不是这么看，他会将原子再分下去，他会发现原子核也不稳定，一个带有足够能量的 $\pi$ 介子飞入铁原子核会使铁原子核裂变成许多小“块”。

事物都不是一成不变的，只要有足够的能量，人们便可摧毁任何一种系统。因此，这里引用一下“相对稳定”这个概念。宇宙中无论什么物体都是一种相对稳定的系统，不可能是永恒的，这就是说，这些系统始终与其它物体产生相互作用。此外，宇宙中的万物是不能完全隔离开来的，而且也无法将它们隔开，就拿一个距一个星系数为万光年的质子来说，它也不是单独存在的，由于各种力和场的作用，它始终与宇宙保持着联系。这种联系使得质子在某一时间内产生一次衰变。那么质子怎么“知道”，它与宇宙的联系会使自己消亡呢？这说明，宇宙中无孤立的物体，宇宙是不可分的，它

是一个整体。

人们必须从现代自然科学认识中吸取的一个教训是，要抛弃那种盲目地信奉各种起因和影响的原则。人们的大脑在任何情况下都可能产生错觉，每个自然过程都是一个或少数几个因果链的作用结果，都是按某种模式发展的，每个过程都需事先运行（这是人类固存的思维方式）。然而，宇宙中任何一种物体都与其周围物体有着各种关联，要描述其特性仅靠一个或少数几个因果关系是远远不够的。

如果要谈宇宙，就要联想到宇宙中各系统所包含的各种关系的复杂网络，这种网络便是宇宙发展第八阶段的典型产物，它只能在这变幻无穷的阶段中生存。

在宇宙的全部早期发展阶段是没有这种网络的，要描述其前七个阶段并不难。例如，只需用几个动力学参数，像温度就可以了。但要描述宇宙从大爆炸至第七阶段结束过程用一个单维因果关系是不够的。

第八阶段物体之间复杂的关系网络也可通过相应复杂的方式来描述。如，控制论和系统分析论。

人们从量子论中发现，要描述原子物理的微妙过程，人们平时应用的概念显得太粗浅了，无法准确预测出单个发展过程，只能预测出其可能性，量子力学描述的是一个未作肯定的未知世界。

今天，自然科学不仅要自然界存在的物体进行研究，还要对新生事物进行研究。人们设计出了计算机，建造出了复杂的加速器，生产出了新的化工材料等等，在此同时，研究人员为他们研究出的产品打上标记，但是，他们对新事物进行研究，往往偏重产品数量这一特性，而忽略掉更主要的

特性。

我喜欢把自然科学研究及技术应用与一处女地的开发进行比较，要开发一处女地，人们首先要派遣勘探人员前往勘察和研究，然后作出决定，在新垦处女地建造道路及公路，使之发生根本性变化。公路建成后，还得为公路划线，这样，使用起来更加方便。然而，人们一旦对公路习惯便会忘记过去，只看到这片土地上的公路部分。

自然科学与技术是不矛盾的，纯基础研究者与公路勘探人员一样，他们也在勘探新领地，收集数据；下一步便是技术勘察，即建造“公路”。人们建造公路时离不开勘探人员所汇集的知识，最后作出决定，“公路网”如何布局。然后，“勘探人员”——研究人员便马上对这些失去兴趣，转向另一项勘探任务。

只要我们能正确地应用这种方法，无需对方法加以指摘。然而，许多事情并非如此，人们高估了这些“公路网”的作用，可一旦人们习惯了，慢慢便会忘记，“公路网”是为开发这一地区而建造的；忘记了“公路网”本来的目的。

长期以来，批评这种方法不乏其人，弗里德里希·席勒是第一个站起来抨击“公路建设”的批评家，他在1797年写给特奥多尔·克尔纳的一封信中写道：“这是一种赤裸的，尖刻的理解，用这种观点来观察自然界令人难以捉摸。所有问题看起来都让人生畏，且神秘莫测。以此为标准的权威们只有空洞的词藻和窄隘的概念”。

自然科学家与勘探人员及“公路建设者”一样，席勒的这番话刚好是针对科学家、技术人员和“公路建设者”说的，他忘记了勘探人员，他那刻薄的、不可调和的论战使我们

想起了那些反对科学技术的激进分子。

如何对待席勒的批评呢？我们说，科学家或技术人员要想有所造就，他不能作唯理论者，即“纯公路建设者”，他应将可测物体作为真空的东西，尤其在科学思想“形成”时，潜意识，个人能力及直觉都起着决定性的作用。自然科学家，作曲家和诗人之间的差别不大，我的一个熟人，美国名牌大学的理论物理学家说过：“作为一名自然科学家，他的想象力要比诗人或音乐家高两倍”。其理由是：诗人或音乐家属自我创作，不考虑外界条件，但自然科学家要想研究出一点新东西必须考虑到受自然界支配的外界条件，后者要比诗人或音乐家难得多。

如今的社会已把指责自然科学家作为一种时髦，似乎科学家，工程师及技术人员成了现代文明的主要罪人。人们忽略掉了一点，即自然科学的成果是人类创造的结晶。

在批评家面前，自然科学家有一点是值得称颂的，他们知道，人们的文明基础是很薄弱的，奥斯维辛、西伯利亚的劳改营、贝鲁特大量屠杀巴勒斯坦人便足以证明这一点。

今天需确立一种战略，对两种观点加以调解，既要公路，也要秀丽的自然风光，不能把风景区都建满公路。

结论是如此的简单，但个别情况又是如此之复杂。如果人们将来为汲取能源而大量建造核电站将承担多大风险？或者，我们不要核电站，靠火力发电。这样，污染大气层又将会造成什么危害？又或者，我们放弃一定的技术领域？这些问题都没有明确的答案，因为涉及到许多无法解答的问题。从根本上说，这些问题类似无法解答的量子论问题。如，电子在什么地方？其速度是多少？迄今为止，尚无明确答案。

人们只能大致给出电子的位置和速度，但无法同时确定其位置和速度。如果人们通过实验能确定电子的速度，那情况又将是另一种样子，例如，实验中人们发现的速度为1000千米/秒——一个明确的答案。然而，这一答案是用电子仪器测出的电子速度。人们的物理系统受外界影响，通过对速度的测量，人们开创了一新的局面——与尼尔斯、波尔法则完全一致，即人们在大自然舞台上既是观众，又是演员。

从根本上说，互补原理也就是人们认识自然和社会的矛盾，这些矛盾可通过人们的努力来解决。有必要制订一个战略，用它来调解自然科学探索自然和对宇宙为一整体的直觉理解之间产生的矛盾。就物理学而言，成功地用量子论建立了一种语言，该语言能调解两个相互矛盾的电子描述方式之间的矛盾（测不准性）。如能成功是不是找到了克服现代工业社会中毁灭性矛盾的战略了呢？

## 第十五章 精神宇宙

数万年前，人类便开始系统地研究其周围的环境，并力图改变它。如今，人类生活在一个深深打上变化烙印的时代，同时，人类开创了一个新世界，即一个由各种标记、符号和语言组成的世界。

哲学家卡尔·R·波珀曾建议把世界分成三大部分，第一部分（世界1）为物理世界，相当于物质宇宙，电子、夸克和其它由电子和夸克构成的系统属于这个世界；第二部分（世界2）为主观感受，潜意识和心理世界；第三部分（世界3）为包括思想意识及其全部内容的世界。

从某种程度上说，波珀的这种分类法是随意划分的。那么又有谁能为世界2和3之间的分界线精确定义呢？这里不打算像波珀那样分得那么细，有一种分法就够了。第一部分与波珀划分的一样，仍把它叫做物理宇宙；第二部分包括波珀所划分的世界2和世界3，这一部分主要是心理逻辑特征和语言部分，称作“精神宇宙”，相当于柏拉图的理念世界。但是精神宇宙与观念世界不同，它是人类以及人脑的产物，其要素和“符号”均为人们有意识或无意识思维的相应的想象。为描述所观察到的各种现象，人们创造出了概念和特征这类符号，这样，人类的思维便与这些符号有机地联系在一起。

现在，把上述两种划分法与计算机比较一下，物理宇宙相当于计算机，为目标系统，即“硬件”，精神宇宙相当于计算机程序，即“软件”。然而，真正的世界与计算机之间又是千差万别，按程序工作的计算机如果不出错便能正常工作，一切都非常精确，不存在测不准性。但是，精神世界则是一活生生的，不断变化的宇宙，只是在极少的情况下才能对所用符号精确定义，概念及标记往往有相当大的模糊度。

从某种意义上说，精神宇宙相当于计算机的不断变化和连续调整的程序。当一台计算机的程序中断时，它便无法工作。人类精神生活和计算机运行之间的重大差别在于：人类的精神不会因为获得新观点和得出新关联而崩溃，人们的精神宇宙要比固定编制的计算机程序灵活得多。

人们在观察物理宇宙时会发现另一个重要差别，而计算机程序无法改变计算机的“硬件”，但人类可以改变自身的环境，在物理和精神宇宙之间有着永恒的相互作用。

人类在研究物理宇宙现象时发现了各种自然规律。以往，特别是上世纪末，人们认为，自然规律是精神宇宙的基本要素，因此，人们将其视为物理宇宙的主要支柱，世界骨架上的骨头，把物理宇宙的过程解释为自然规律的共同作用，如同钟表的齿轮，相互啮合。

今天，人们必须修正对自然规律本质的某些看法，自然规律并不是心理世界的成分，而是精神世界的成分，是人类大脑的创造，是人们心理世界的主要观点。但是，自然规律不是心理世界的骨架，宇宙不需要骨架。因为宇宙中有自然规律，所以几十年前，“绝对”的薄雾还宠罩着整个自然科学。

精神宇宙，即精神与观念的世界，是人类的伟大创造。前面已经提到：只有在宇宙发展的第八阶段，即逐渐变冷阶段才会有思维动物存在，才有思想和符号，这一阶段也将在很远的将来终结，而这也标志着思维世界的终结，精神宇宙随之自行消亡，因此，谁也无法去描述第八阶段结束时的情景。

人类为描述周围环境找到了某些接近真实观点的概念。然而，这些概念又均源于人们的亲身体验，而这些亲身体验又都是在宇宙发展过程中形成的，例如，有关空间的三维概念。还有每个人对自己周围空间都有一种直觉，即连接空间的两个点是一条直线。

人们在物理和数学进行了数百年研究后终于明白，人们对空间的直觉与真实情况是有差异的。周围空间的结构比人们想象的要复杂得多，例如，可以改变空间结构的引力场。一般来说，连接两个点最近的线不是直线，而是一条极细的微弯曲的线。因此，人们无法立即想象出一个无限的三维空间来，尽管有这种空间，（至少数学家的抽象思维是这样）或许人们的宇宙就是一个有限的空间。

人们的观念始终离不开有限空间这个概念。在空间以外肯定还有些什么。假如人们的宇宙是有限的，马上有人 would 问：宇宙以外还有什么呢？是不是有一种像一堵墙似的屏障把人们的宇宙和外界隔开呢？这是个无法回答的问题，也是一个毫无意义的问题。一个有限、但无穷的宇宙是一个封闭整体，“外面”什么也没有。

人们之所以要提这个“以外”的问题，是因为人们已习惯于有限大的容积，如一个球体，它有“内部”和“外部”之分。人类为描述环境所建立的概念和方法始终是大自

然的一部分，是大系统中的小系统。但是作为整体的宇宙是不能纳入一大系统的，它是独立存在的。因此，人们应该抛弃那种天真的观察问题的方式。如果人们用日常生活中观察问题的方法来观察宇宙，那就大错特错了。

另一个类似的问题是时间的终结问题，人们的宇宙是在约200亿年前诞生的。有人可能马上会问，大爆炸以前有什么东西呢？这同样也是个没有意义的问题，因为在宇宙诞生以前没有时间。在大爆炸前什么也不存在，既没有时间、空间，也没有物质。

大多数人似乎无法理解这个问题。人们的时间概念只是表明，可在任何一个时间点上规定以往的一个时间。人们所感受到的时间是一条不受外界影响，不断流动着的，但又无法让它停止的河流，时间概念也是人们从宇宙发展的长河中获得的。宇宙中似乎没有什么力量能左右时间流逝的。对空间和时间的建筑师来说，地球上所进行的各种过程就像一阵微风吹到钢铁结构的大厦上一样。一阵微风是刮不倒一座大厦的。然而，台风可对大厦造成威胁。人们如今所知道的物理过程有如能彻底改变空间和时间结构的台风。

前面讨论的黑洞便是个例子。宇宙大爆炸还为人们提供了另一个例子。大爆炸后瞬间，宇宙中发生的过程与人们日常生活中所碰到的过程截然不同，它们迫使空间和时间穿上一件紧身衣。宇宙诞生的最初几毫秒内，空间、时间和物质紧紧地相互交换在一起，这种变化可用宇宙学理论加以描述，外推结果告诉人们：空间、时间和物质都不是永恒的，它们是200亿年前由大爆炸产生的。

这样，人们能够知道：从日常经验中所得出的概念可借

助于自然科学作与宇宙有关的外推获得，可是对这种方法无恰当的解释。但人类创建的精神宇宙使人们能描述宇宙中的全部过程，这真是一个奇迹！

精神宇宙是由可以思维的大脑创造的，它包含着人类文明的全部智慧。今天，可以说，人们已经懂得微观和宏观宇宙动力学的最重要的观点，但这并不是说，精神宇宙也是封闭的，一成不变的宇宙。在宇宙中改造环境、发现新事物，产生新关联和新思想的过程是无止境的，只要有能思维的人类存在，就会不断发展和改造精神宇宙。此外，人类创造新事物的能力也是无止境的，未来充满着希望，也布满着危机。如今，没有人能纵观整个精神宇宙，因为随时都可能出现新的领域，即使是专家，他也只能熟悉他所研究的领域。

如今的时代是一个信息爆炸的时代，在今后数十年内，由于电子计算机和微电子技术的应用，这种发展速度还将加快。人们的知识将继续扩大，人类将对大自然产生愈来愈大的影响。然而，这些都不能作为个人目标，而应作为全人类的活动。

精神宇宙与心理宇宙不同，精神宇宙是一种可以加以控制的过程。科学研究是新知识的积累，不能不加限制，潜在的，可以获得的知识是无止境的。为此，人们无需去寻求什么标准，人们必须认识到，人的认识能力是有限的，科学的宇宙观也不可能达到尽善尽美。精神宇宙就如同人们自己创造的音乐那样，应该要让它听起来优美入耳。

人们不要一古脑儿地对精神宇宙的各种可能性都去讨论一番，但有一点是很重要的，每个科学家、工程师和技术人员都必须力求将自己的工作纳入自然科学知识的轨道。将来，

人们只有在极少见的情况下，才会将研究视为个人的目标。如果一专门领域的科学家不能理解研究工作的重要性，他就拿不到薪水，无权得到实施研究所需要的公共或私有设备。

以往，人们认为，只有在短时间内掌握更多的知识才能了解自然，天真地把自然科学工作者想像成蘑菇老人，能很快地捡到很多蘑菇。这种天真的想法显然是不切实际的。自然科学和技术就像音乐和绘画一样，只要人们了解到这一点，就可在精神宇宙中找到一个标准，但它的界限是非常灵活的。

## 第十六章 结 尾

数百年来，人类为研究宇宙的微观和宏观结构，研制出了远程天文望远镜，复杂的粒子加速器及昂贵的测量设备。同时，人类也以惊奇的目光注视着宇宙发展的第八个阶段千奇百怪的结构。但是，无论是在星际空间深处，还是在原子及原子核内部人们都无法找到人类生存的意义。对此，爱因斯坦曾说过：“认识真理是美妙的，但要将真理作为指南便显得苍白无力了，因为它无法解释人类奋斗的理由和价值。”

要解释人类生存的意义，就必须将人类也纳入宇宙整体。在宇宙发展的第八阶段，任何现象、物体均为独立结构。但它们又都是整体的一部分，宇宙中没有绝对自由，也没有绝对真理。如果人们忽略掉直觉与整体的关系，以寻求生存的意义，那将是一事无成。

法国著名哲学家布莱兹·巴斯噶这么说过：“我不知道，世界是什么，我自己又是什么……。我看到禁锢我的这个空间充满着罪恶，自己被拴在这个空间的一角。我不知道，上帝为什么要把我送到这个地方来；为什么赋予我的生命如此短暂，而不能长生不老。我发现，四周一切都是无穷尽的，我自己也像原子和影子那样，一瞬即逝，永不再回。我所知道的一切是，我会死去。我最不了解的是‘死亡’这个字眼，但它又是我无法逃避的现实。”

巴斯噶说得对，世界上没有人知道，地球为什么而存在，宇宙为什么要经历它那离奇的第八个阶段，不尽早结束其发展过程。此外，人们也不了解，宇宙为什么要发生大爆炸。这些问题如同大爆炸前的时间问题，毫无意义。针对这一点，阿尔伯特·卡米说过：“如果世界上突然失去幻想和光明，人类将无法忍受。因此，人类和人类的生存就如演员和布景之间的矛盾，本来就是一种荒唐的感觉而已。”

宗教对世界的未来也作过描写，在基督教的约翰启示录中描述了世界的悲惨结局，伊斯兰教义中也对最后审判作了详细的描述。

佛教是以因果报应为教义的宗教，教典中没有创立论，也没有终世论。按佛经记载从释迦牟尼“圆寂”之后经过了56.7亿年，人的寿命为8万岁。这时弥勒菩萨当下降人世而成佛。因此，地球上的人类可以继续活到那个时候。超自然者的神秘学家总是用潜意识来顽固地描述未来世界，但是，不管从那个角度看，都算不上客观的预测，再说，对数亿年后的预测，结果也不会准确。

然而，从人类发展历史看，自然科学和宗教是相互依存的，它们是人类宇宙观的互补，但也是相互制约的。爱因斯坦曾说过：“自然科学没有宗教是个跛足，宗教没有自然科学便是个瞎子。”

这里所说的互补并不是说用自然科学代替宗教。人们知道，自然科学和技术无伦理价值；另外，盲目崇拜的时代已一去不复返了。人们相信，增长知识和进一步掌握自然科学知识便可获得生存的意义，进入一理想世界。

人们知道，宇宙是一个整体，它有自己的发展史，但最

终也会走向毁灭。在过去的200亿年间，宇宙的发展始终是一个造物过程，在这个过程中，新结构不断诞生，旧结构相继死亡。因此，世界上任何东西都不是永恒的，包括人类，也会死亡，以自然方式适应宇宙发展第八阶段的全部过程。卡尔·波珀说过：“我们应当看到，尽管死亡无法避免，但它却为人类的生命带来了价值。我相信，要是没有死亡，人类便无法真正估价生命的意义。然而，我们知道，生命是有限的，而且我们能看到它的尽头，谁也逃脱不了这一现实，只有这样，生命才显得更有价值。人类，他是宇宙的一分子，他既不是环境的主人，也不是环境的奴隶，而是宇宙第八发展阶段的产物，带有大爆炸以来变幻无穷发展史的痕迹。同时，他又是历史的创造者。

如今的时代是宇宙形成后的200亿年的时代，在这个时代，人类应着眼于对地球的研究。当然，谁也不能把自己与地球分开，谁也抹杀不掉宇宙200亿年发展史，每个人都与宇宙第八阶段有关，没有这一阶段，也就不可能出现生命，更不可能有人类。

宇宙比电子夸克和星系的聚集、空间和时间要复杂得多，这也包括人类赖以生存的地球，因此，人类有义务维护宇宙！