

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

时间的奥秘

 **eBOOK**
网络资料 免费下载

目 录

第一章 时间机器的研究	(1)
超越空想	(1)
窥视未来	(3)
到未来去	(4)
因果律怎么样了?	(8)
‘前进好说,倒退可怕’	(9)
侵入过去的困难	(11)
梦想成真?	(12)
利用蛀洞	(14)
神秘的蛀洞	(15)
无人能解的谜	(17)
借助于古人回到过去	(22)
第二章 时间停止	(24)
黑洞之花开遍宇宙	(24)
奇怪的地平线	(26)
时间与空间对换	(30)
各种各样的黑洞	(30)
为什么能观测到黑洞?	(33)
黑洞的形成过程	(34)
脐带般的蛀洞	(36)
第三章 宇宙中最短的时间	(40)
宇宙的模型	(40)
膨胀的宇宙	(43)
最初发生过大爆炸?	(46)
宇宙中最短的时间?	(48)
从不可思议的高温开始	(51)
超光速的急剧成长!	(54)
为什么暴涨?	(56)
暴涨之后	(57)
最初存在过相互作用?	(60)
还剩两种力	(63)

爱因斯坦的宿愿	(64)
匆匆忙忙的描述	(67)
第四章 一切均从量子力学的时间开始	(70)
不确定性原理	(70)
确确实实的理由	(73)
介子的魔力	(75)
从“无”开始的大膨胀是怎样发生的？	(76)
黑洞的蒸发	(78)
抑制病魔的气力	(78)
真空中产生的磁石	(81)
只有反粒子被吞没	(84)
膨胀结束后的宇宙	(87)
特小黑洞到哪里去了？	(88)
宇宙的结局	(89)
第五章 霍金的虚时间	(94)
奇点是什么？	(94)
奇点真的存在吗？	(96)
霍金的思想	(98)
路径积分指出光的路线	(100)
为了消除奇点	(101)
大爆炸之前的虚数时间	(104)
不曾存在的东西	(104)
实数就是一切	(106)
五花八门的解释	(107)
四维的勾股定理	(109)
奇点的消除	(111)
时间是虚的吗？	(113)
虚时间引发大爆炸！	(115)
第六章 霍金的逆转时间	(116)
重新认识时间	(116)
心灵的时间	(117)
自然界趋向平衡	(119)

普里戈津的时间	(122)
“天增岁月人增寿，还是过去好啊.....”	(126)
修正思路的霍金	(130)
收缩宇宙的熵	(133)
巨大的矛盾	(135)
时间的逆转是怎么回事？	(138)
时间是对称的吗？	(139)
第七章 永恒（？）的时间	(142)
出现了‘超弦’	(142)
26 维	(144)
6 维是在哪里消失的？	(144)
玻色子与费米子	(147)
‘超对称粒子’	(149)
影子世界	(151)
宇宙里充满了负能电子！	(153)
宇宙整体就是个大黑洞	(156)
到其它世界去	(157)
奇怪的蛀洞	(159)
没有终结的终结	(162)
后记	(164)
中译本责编的话	(168)

作者介绍

都筑卓司 1928 年生于日本滨松市。曾先后在海军士兵学校、第一高中、东京文理科大学学习并获得理学博士学位。现任横滨市立大学教授。

他最喜欢在都市的繁华街上漫步，无论走到哪个城市都要到市中心、火车站去看看，对市中心的变化极为感兴趣。遗憾的是，随着时间的推移，没有去过的地方正变得越来越少。

他著有多部畅销书，拥有一大批读者。

都筑卓司
时间 不思议
讲谈社 1991

图字：01 - 97 - 1747 号
图书在版编目（CIP）数据

时间的奥秘 /（日）都筑卓司著；王旭译．—北京：科学出版社，1997
ISBN 7 - 03 - 006037 - 7

.时... . 都... 王... .时间 - 通俗读物 .P19 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字（97）第 07212 号

科学出版社出版
北京东黄城根北街 16 号
邮政编码：100717
中国科学院印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

前 言

“时间到底是什么？”如果你这样问别人，多半会得到“你真是闲得没事干了”之类的回答，就此不了了之。可以说，时间之类的东西并不是人们每时每刻都在认真思考的对象。日复一日不就是时间吗？被时间所迫每天忙得不可开交。大概这就是多数人的感觉。

尽管时间已成为与我们密切不可分离的物理量，但是单独地分析它并把它客观化却十分困难。时间同长度、质量一样也是物理的基本量，但是我们看不见它，也不像力或温度那样通过与身体的接触而感知。况且时间本身很少成为自然科学的主要角色，总是安于充当变量或参数之类的配角。这些或许就是时间的特征。

物理学所研究的量，如重量、动量、能量、电量都是作为研究对象的物体所具有的特性，唯独时间是人类与自然现象融洽地共有的属性，而且只能沿着一定的方向经过。留意思索一下，它真是个奇妙的东西。

相对论使我们对时间的看法有了一些变化。而从远古持续到遥远的将来这种‘性质’令人不得不承认：时间是与众不同的。所谓远古，它从何时开始？所谓将来，又到何时终结？还是像蓝色的天空一样漫无边际？把时间当作主角去思考时，很自然地会产生这些疑问。思索的结局将落到宇宙的创生及终结这类问题上去。

宇宙有过开始吗？如果有的话，它是什么呢？……这类疑问给我们在日常生活中有些疲倦的大脑带来了既突然又新鲜的感觉。每天被工作、考试（对于学生）所逼迫的我们从凡俗世界超脱出来，置身于这样非现实的思索中去也许没有什么不好。忙忙碌碌中的欢喜或伤悲与巨大的宇宙和永恒的时间相比较，实在微不足道。

特别是近几年来，坐轮椅的物理学家斯蒂芬·霍金发表了他精妙的学说，并且于1985年及1990年来日本讲学，1991年初夏又再次应邀访日。非专业的人们对宇宙论的关心也因此日益高涨，早期宇宙到底是什么，等待黑洞的命运又是什么……，他的讲演引起了大家极大的兴趣。他的论文更是将20世纪初诞生的相对论与量子力学这两大理论漂亮地结合在了一起。

本书以前文所提到的时间这个奇妙的概念（？）为主题，主要追溯了物理学的最新发展。所谓时间绝非简单，它有各种各样的表现方式：人类意识到的时间、天文时间、生物时间、宇宙时间、虚时间等等，如此分类可谓数不胜数。笔者选择了读者最关心的七个话题写成本书。

对于深入的理解，相对论与量子力学当然是不可缺少的。如果从正面涉及这些内容，就离不开复杂的数学。本书的目的不是去进行专业研究，例如时间的前与后是什么状态？而是，解答这些问题时如果涉及到宇宙的话，就对宇宙进行通俗易懂的说明，这才是本书的目的。有关相对论与量

子力学的读物在蓝皮丛书中已出版过很多册，读者可参考那些书籍。

宇宙究竟是什么？它怎样创生？面向带有这类疑问的非专业读者，尽可能直观地通过大家熟悉的事例进行说明。因此不得不牺牲掉严谨的、定量的内容。“不准确的语言没有意义”——我认为这是专家的傲慢。各位读者在不知不觉中明白其要点，或者多少能有些那样的感觉的话，本书的目的也就达到了。

最后，在本书的执笔过程中，得到了讲谈社的末武亲一郎先生的大力帮助，谨致衷心的感谢。

都筑卓司
1991年初夏

第一章 时间机器的研究

超越空想

在古希腊神话中，宇宙之神宙斯把关有各种邪恶的盒子交给了人类最初的女性潘朵拉，结果是贪欲、虚荣等邪恶从盒子里飞出来污染了人类世界，最后只有希望留在了潘朵拉的盒子里。

人类拥有丰富的想像力，自古以来不断产生着无穷无尽的愿望并将其变成现实。想飞上天空，就发明了飞机；想探知深海，就发明了潜水艇；为延长寿命，研究出各种医药；为窥视肉眼看不见的天体，造出了各种射电或 X 射线望远镜；1969 年，人类登上了月球；到今天已经进入了普通百姓也能乘坐火箭进行宇宙飞行的时代。

但是，“今儿到 18 世纪去闲逛一遭怎么样？”“去瞧一眼明年的样子”之类的愿望像仍然锁在潘朵拉盒子里的希望一样，至今仍未实现。换句话说，时间机器与永动机和长生不老药一样，仅仅是幻想的故事。

然而，幻想故事也各有不同，是像长生不老药那样无法实现呢？还是从原理上讲（从物理学的立场出发）存在可能，也许能成为现实呢？大家一定对此很感兴趣。第一次把这种兴趣写进小说的是英国作家赫伯特·乔治·威尔斯（1866—1946）。为什么在空间里可以前后左右自由地移动，而在时间里就不行呢？作为小说主人公的发明家解开了这个谜，发明了能穿越时间旅行的机器，开始了前往未来世界的旅行。这就是威尔斯的《时间机器》一书的概要。威尔斯本人经过苦读曾获得理学学士学位，决不是对科学一无所知之辈。

图 1—1 “要飞上天去……”莱特兄弟正在研究飞行的原理

但是，威尔斯的小说所描述的是 19 世纪的末期。当时，时间流逝是绝对的。不论是物理学还是哲学、人类、动物、地球还有天体都按照同一步调在‘时间’这条道路上行进……所以在当时，时间机器不过是个空想。

图 1—2 H.G.威尔斯（1866—1946）。英国小说家、文学评论家。

早年勤奋学习获得过理学学士学位，后来成为一位科普作家

窥视未来

一位天才的物理学家阿尔伯特·爱因斯坦出现了，根据他在 1905 年发表的狭义相对论以及 1915 至 1916 年发表的广义相对论，‘时间’不再像是一条单向流淌着的大河一样不可阻挡，而似乎是各向都能通行。

详细内容放在以后的章节中介绍，如果世界上存在比光还快的粒子的话，那么说时间可以倒转就不见得被看成是胡说八道了。物理学界称之为超光速粒子，据报道在美国的一些大学里正进行着寻找它的研究工作。但是，这种奇妙的粒子的能量的平方是负数，用数学表述的话，能量（或质量）是虚数，的确是个难以理解的值。关于虚数，我们将在介绍霍金的理论时再作详细描述。

如果明天从地球上某个地方放出超光速粒子并在遥远的天际使它折返的话，这个超光速粒子就有可能回到今天的地球上。如果把超光速粒子设想为摩尔斯电码，明天的信息就可以在今天获得……将得出非常奇妙的结果。现实中超光速粒子究竟是否存在？能否使远去的超光速粒子“向后转”折返？如果能，折返回来的结果会不会产生什么特别现象呢？遗憾的是，这些都是无法解答的问题。尽管如此，正如后面的宇宙论中将要阐明的那样，把超光速粒子完全排斥在思考对象之外是行不通的。

利用超光速粒子仅仅获得未来的信息没有什么意思，人类本来是想要自由地到未来或过去中去，所以才想到时间机器的……

到未来去

在此有必要整理一下我们的思路。尽管爱因斯坦认为宇宙是唯一的，但是在本世纪 70 年代，对于用他的理论推导出的黑洞那样特殊的时间领域，人们进行了各种各样的研究，其结果是，相当多的物理学家认为，存在着两个或更多的宇宙。被吸入宇宙黑洞中的东西将通过蛀洞飞进另一个宇宙中去。

当然，在黑洞那样的极度超重的地方，人实际上将粉身碎骨，但我们先把这样的情况搁在一边（作为一种论点，假定人可以活着通过黑洞）。从旅行的角度来看，遗憾的是，走进另一个宇宙的人是走回到了过去，还是经历了未来？我们无法进行比较。

由此看来，能进入不可知的另一个宇宙中去的时间机器没有什么价值，只有那些想这么干的人（比如被通缉的罪犯之类）才会关心这样的机器。对于生活在这个世界上的正常人来说，重要的是，在地球上依据‘物理的原理’，人类——干脆地说就是我们自己——能否飞到未来或者回到过去？

根据狭义相对论的结论，以高速作‘相对’运动的双方，自己一方经过了十年而对方却可能只经过了五年。这一点已经通过观测一种叫 μ 粒子的基本粒子的实验证实。也就是说，我和你可能不再共有同一个时间。

比方说，大双在地球上，而小双乘火箭出发了，出发时两人年龄都是 20 岁。小双在广阔的宇宙中周游一圈后回到了大双的住处，会出现什么情况？大双已经 30 岁了，小双却只有 25 岁。

这样的故事有时会受到读者的质问，甚至会遭到读者的驳斥。两人的关系难道不是‘相对’的吗？将小双乘坐的火箭看作是静止不动的，大双与地球或者整个太阳系以及整个银河系一起统统沿着相反方向转一圈然后回到小双所在之处，这样考虑不也一样吗？所谓相对不就是这个意思吗？那么，为什么说，只有小双会变年轻呢？

这样的抗议是很自然的，但是，我们所说的‘相对’双方仅限于各方均以不变的速度运动的情形。如果速度发生了变化（称之为加速，比如直线运动的快慢发生了变化，再如匀速圆周运动——速度的方向发生变化，也是加速），双方就不再是‘相对’的了，这时必须考虑广义相对论的效应。

图 1—3 蛀洞是宇宙间的通道

与惯性系相比，非惯性系一方——速度或者增大或者减小，确切地说不论速度的大小还是方向发生了变化的一方——由于引力加速度 g 的变化，时间变慢了。由于这个原因，返回基地的小双由于受火箭起飞后的加速、飞行中的转向以及着陆前的减速的影响，要比始终在地球上的大双年

轻。这就是传说中的“山中才数日，世上已千年”。后来在美国使用空军飞机所进行的实验证明了这一点。在向东飞行的飞机上由于离心力与地球自转的离心力相抵，使得飞机上的 g 变小了；而在向西飞行的飞机上由于与地球自转方向相反，所以 g 变大了一点点，科学家们测出两架飞机之间存在 10^{-12} （皮）秒数量级的时间差。在现实生活中，一皮秒的影响可谓微不足道，对东飞的大双与西飞的小双来说，尽管飞行前后他们都和睦地生活在一块，不过小双所经过的时间短了一些……他老得慢了一些。

本想一样地学习、一样地运动，可是实际上小双的学习与运动却很微小很微小地少了一点点……这样的事情说明了令人吃惊的道理。在相对论问世以前，人们想也没有想到过。虽说那个时间差微乎其微，但是‘经历的时间不一样’的结果使物理学家、甚至哲学家们大吃一惊。对于这个按照相对论必然得出的结论，1916年之后的一段时期里在德国及其他欧洲国家时常可以听到‘恶魔的学说’“犹太人的阴谋’之类的窃窃私语。

在希特勒时期，物理学家中怀疑相对论的大有人在。经过后来各种实验的证实，在20世纪末的今天，任何人都能很自然地接受相对论的观点了。如果你同意这么说的话，先把现实的可能性放在一边，自己乘上火箭在广阔的宇宙中周游一大圈后再回到世界上。不只是皮秒那样的微小，理论上可以到达一年之后、十年之后、一百年之后的世界。如此说来，具备加速能力的火箭就成了把自己送往未来的时间机器。

图 1 - 4 在希特勒时期，物理学家中也曾有人怀疑过相对论……

因果律怎么样了？

因此，飞向未来的时间机器的原理不必用宇宙论来研究，也不必提起超光速粒子。只要我们自己或带着家人、朋友等乘上火箭飞一大圈再转回来就行了。公元 3000 年也罢，一万年也罢，只要火箭加速度足够大（暂且不考虑那样的技术是否现实），就能到达所想去未来，通过适当地操纵火箭，就能回到地球上。

关于时间机器，总是存在着因果律（先有原因然后才有结果，这个当然的规律）的问题。比如，回到过去把自己的祖先杀害的话，那一瞬间自己本身会怎样的问题。可是，进入未来的旅行却不用担心因果律的问题。自己已经——照地球的人所说，在遥远的过去——乘火箭离开了地球，所以古代的自己出现在未来世界中不会产生任何矛盾，那里的人们一定会用好奇的目光打量古装的我们。宇宙旅行归来的自己大概会对他们说‘我们那时德国曾分成东西两德，后来又统一了’或‘苏联正在进行改革’之类的话，一直留在地球上的人则会回答我们说‘那些事情，在历史书上学过了’，‘您曾经见过往昔，对那些事情大概很熟悉，可是 21 世纪发生过哪些事？您大概就不知道了’。说不定我们自己会被反问住。

对于走到未来的例子，如果自己出发时已经有了孩子的话，当然就会在那里遇到自己的后代。假如说发生了某种纠纷，自己与子孙之间进行决斗，也不会与因果关系发生矛盾。如果死的是自己，那么自己的生命在那里完结，而子孙仍将繁盛；如果死的是子孙那么此后自己的子孙就将断绝。反正人类即使侵入未来的世界也不会引发值得特别一提的‘使历史发生混乱’的事件。

‘前进好说，倒退可怕’

拘泥于因果律的人也许会想到这样的情形，到一百年后的未来去旅行时，曾亲眼看到 A 家子孙兴旺，也就是说 A 家在延续是铁的事实。然后回到当今（即出发时的世界），这是个带点（确切地说是非常）不讲道理的方法，把 A 一家全部杀害的话会怎么样？不一定非要回到当今，回到 50 年后的世界去把 A 家杀害。无论如何也干这件事的话，在那个时刻 A 家就应当断绝了，可是在一百年后的世界里 A 家确实是人丁兴旺的。这不是个矛盾吗？……确实如此，这是个矛盾。

图 1 - 5 透过柏林墙上的小洞正在窥视东侧的美国国务卿贝
克（1989.12.12）。“我们那时德国分成东西两部分……”

时间机器总伴有这样的矛盾，而利用山中遇仙效应进行的未来旅行就不会产生矛盾。小双乘坐的加速火箭返回地球时，已经是一百年后的地球了，他不可能回到过去的世界中，虽然小双本人及火箭乘员们的年龄没有怎么增长。假定返回时地球是 2100 年的话，他们就不可能回到 2100 年以前的世界中去。2100 年时大双确实已经死了，不过是他的子孙们来迎接曾经与他们的曾祖父情同手足的小双罢了。无论使用怎么样的加速火箭都不可能回到 2100 年以前去，所以返回去杀害 A 家先祖是不可能的。因此，因果律安然无恙。

下面是个合乎情理的例子，有助于我们更容易地理解山中遇仙效应。年老的男人如果想使自己变得年轻，与年轻的女人结婚，两人不可能变得同样的年轻，老人乘上火箭等待女人变老后回来，一对老人结婚倒是可能。所以，山中遇仙的故事是符合物理道理的，我们不禁会问，难道传说的作者已经懂得了或者是已经预知了相对论？……

侵入过去的困难

加速火箭无疑能到达未来世界，但各位读者所希望的时间机器应该是更加畅行无阻的。威尔斯所描述的时间机器是在实验室里类似马车座位的一种装置，坐上它适当地按下各种按键就能进入未来也能回到过去。驱动机器需要巨大的能量，按键操作似乎也不如人意，反正小说中的机器原则上既能走进未来也能回到过去，机器出了故障陷入困境……这类故事的添加使小说引人入胜。大家都认为凡是时间机器就能把乘客送到他想去的时代。

前文说过，人类到未来的旅行已经被相对论所解释，到过去的旅行是否也能用物理学的知识来考虑呢？

纯朴地考虑，将山中遇仙效应倒过来使用就是一种办法。自己一人留在地球上，而周围的社会全体都用某种方法加速绕一圈回来的话，地球上的自己老了，回来的其它却都年轻，社会也没有经历那么长的岁月。这不也可以说是自己走进了过去的世界嘛。关键在于除了自己变老之外什么也没有发生，回来的社会也无法倒退回出发以前的时代去。这一点也没有意思，实在称不上是时间机器。

我们之所以期待时间机器，是因为想看到出发前的虎门销烟、火烧赤壁、鸿门宴、荆柯刺秦王等过去的事情，走下机器进入那个时代亲身经历当时的事情。这才是称其为时间机器的价值所在。

但是，不论怎样利用相对论的山中遇仙效应都不可能退回到过去，所能实现的只是在前往未来的过程中把时间延长或缩短。单靠以往的相对论只能走进未来，而不能闯回过去，只要退不回过去就不会与因果律发生矛盾。

梦想成真？

把幻想暂时抛开，从科学的观点看，回到过去的旅行不过是个空想故事。可是在 1988 年底，一件惊人的事情发生了，美国物理学家基普·索恩等三人发表了令人吃惊的观点，据说根据他们的观点，回到过去的旅行在原理上是可能的。

不是带有一半幻想的故事或是记者笔下的读物，基普·索恩是相对论的权威，而且在美国有一份当今物理学界最具权威的学报叫做《物理评论》，关于可能实现过去旅行的论文就发表在这份杂志的快报版《物理评论通讯》上。

坦率地讲，时间机器在大多数物理学家的眼中是个弃之不惜、只有好事者才视之可贵的玩艺儿，从公共的立场出发总不愿涉及它。因为是相对论的权威发表的论文，日本的新闻界尽管篇幅很小还是对此进行了报道。但是，也许是索恩的论文过于暧昧，令记者难以理解，有关新闻报道（如 1988 年 12 月 5 日的《朝日新闻》等）无论怎么反复细心地阅读，说老实话，还是弄不明白为什么能够回到过去。

图 1 - 6 有关基普·索恩博士的论文的报道
(朝日新闻, 1988 年 12 月 5 日)

后来，有关宇宙的电视节目也介绍了这一观点，笔者用录像机把它录下，翻来复去地看了许多遍也没有全部看懂。尽管这样，按其情理考虑，索恩想阐明的大意也许就是下面这么回事。

利用蛀洞

在宇宙中存在着蛀洞，从一头进入就会从另一头穿出。虽然还不知道它实际上是什么东西，有人认为它是从黑洞进去从白洞脱出的隧道，虽说是隧道也不像穿过大山或横贯海底连通两岸那么简单，它里面的时间和空间都是极度扭曲的，是通常的想象无法承受的暗道。

索恩把隧道的两个口（一方为入口的话，另一方就是出口）作为 A 和 B（图 1 - 7），A 和 B 都是因量子论观点产生的极其微小的洞口，随着巨大的能量的注入而不断被扩大。洞口附近乃至其中心部没有任何障碍通行的点（数学上称其为奇点）。

图 1 - 7 <AUTHOR>基普·索恩的解说图

好了，假定某人住在 B 处并使 A 处开始振动，由于振动是最简单的加速运动，所以 A 的时间慢于 B 的时间，渐渐地越差越多。当 B 处已是 1998 年时，A 处也许刚到 1993 年，这时此人尽可能快地从外面由 B 处到 A 处，他所处的世界转眼就变成了 1993 年。但是，现在还不能马上说他走进了过去的世界，因为 A 与 B 毕竟不是同一个地点（世界）。像东京与大阪，坐上新干线列车很快就能去，拨个电话马上就能通……还不是这样的关系，我们必须把 B 和 A 看作是不同的世界。

根据索恩的理论，来到 1993 年 A 处的此人跳进蛀洞 A 从蛀洞 B 跳出，通过蛀洞不需要时间，因此跳进的瞬间也是跳出的瞬间。这样，从洞里出来的他周围与 A 一样为 1993 年，地点为出发点 B。B 正是他的故乡，离开故乡时是 1998 年，再次出现在故乡时却是 1993 年，因此他实现了回到过去的旅行。

按照以往的相对论，移动到过去是不可能的。基普·索恩借助于蛀洞使不可思议的行动成为可能。在此隧道里进入的时刻与出去的时刻完全相同，这是他的理论的核心。上面就是《物理评论通讯》上载文的要点。

听了上面一席话，有的读者也许会感叹‘的确是个办法……’并得到十分的满足。总觉得似懂非懂或到底是怎么回事压根儿没闹明白的人也一定不少。所以，下面用另一个易懂的例子来说明索恩的观点。

¹ 蛀洞：也有的书称为时间隧道，一种纯粹的假设，没有任何事实根据。——责任编辑

神秘的蛀洞

我们不再使用蛀洞 A 或 B 之类的提法。从一开始就把静止的 B 看作地球，把 A 看作火箭。某人曾在地球上，他发射了无人火箭（或者是有朋友或家人乘坐的有人火箭，也无妨），火箭可以通过遥控——或者干脆从一开始就把它的舵设计为——加速飞行后再回到地球。假定走时是 1988 年，回来时地球上 1998 年，火箭中是 1993 年，这没什么了不起，就是我们已经介绍过的山中遇仙效应。

但是，接下来就不一样了。地球上的人登上归来的火箭，里面是 1993 年的世界，植物及动物等从出发以来只过了五年，这是多次说过的相对论的结论。

如果此人再打开门走下火箭的话，外面仍是 1998 年的地球，既不有趣也不新鲜。因此，基普·索恩构想了一个模型，按照此模型，火箭与地球（或宇宙的其他地方也无妨）之间不是靠‘门’而是靠蛀洞连通的。也就是假定山中遇仙效应的火箭内部实际上连着蛀洞的一个口而另一个口连着地球（想回到过去的人所静止的地方）。

于是，（打开门）进入 1993 年的火箭的此人，这次不是再打开火箭的门而是通过蛀洞出现在地球上。通过蛀洞的过程不消耗时间，其出口与入口一样是 1993 年，结果此人从 1998 年的地球出发登上火箭、穿过蛀洞出现在了 1993 年的地球上。这就是基普·索恩论文的本来面目。

读者在此也许要问，洞的一头是 1998 年，火箭里面是 1993 年，那么洞中是多少年？需要说明的是，此洞是将时间、空间凝缩（？）成极限的产物，在其内部什么时间、什么洞的长度之类的常识的提问都是无意义的。前文也讲过，不可以把它想成是通常感觉的隧 16 道。

洞的一头是 1993 年，另一头是 1998 年，于是从火箭的 1993 年一头进入，从另一头出来的话是 1993 年……这是索恩的结论。那么假如从 1998 年的地球一头进入，而从火箭里出来的话，那里是什么时刻？是 1993 年，还是 1998 年？

敏锐的人会马上在脑海里产生这样的问题。它的答案是：如果从 1998 年的地球一头进入蛀洞的话，将来到 1998 年的火箭里。出入洞的时刻总是相同的。即使洞的一头被加速，使得出口与入口的时间不一致，入洞时刻就是出洞时刻……这就是蛀洞的奇妙之处。这里的所说的时刻应该是指在火箭加速以前相对静止时所测量的时间。

所以把话退回当初，火箭加速运动后返回，其内部是 1993 年，留在地球上的人是 1998 年。下面与以前说的不一样：不是通过门而是通过蛀洞进入火箭的话会发生什么呢？当然是进入了 <AUTHOR>1998 年的火箭，从火箭的角度来看则是出现在未来（？）的世界中了。

在地球上静止未动的人如果通过门进入火箭里面是 1993 年，如果通过

蛀洞进入的话里面则是 1998 年。相差的五年（即 1994 年、1995 年等）到底在什么地方消失了？就是吵嚷，也没办法。所谓蛀洞就是那样的奇妙之洞，我们只能这样解释。

无人能解的谜

在这里将碰上读者朋友们早已经准备好的最大难题。经历过 1998 年的人物，很可能会出现 1993 年的地球上，这是《物理评论通讯》所刊论文的观点。如果真是这样，此人将遇到五年前的自己。

图 1 - 8 穿出蛀洞是 1993 年

‘原来五年前的自己是那样年轻啊，还带点幼稚呢’一边感慨一边看，这没什么不可以的。可是，人总有自己的好恶，‘不愿意从一旁看自己，受不了’。边说边一刀子捅过去的话，会发生什么事情？

这正是用时间机器回到过去旅行时碰到的最难解答的问题，无论怎样考虑都无法避开矛盾，就连科幻小说作家们也挠头的问题。那么基普·索恩的论文里是怎么写的呢？

遗憾的是，关于这一点什么也没写。既然一边说能使人类通过的蛀洞并不全是胡说八道，而另一边对因果律的破坏却一句也没有触及，也许不去触及是理所当然的吧……笔者的看法如此。多么聪明睿智的物理学家、哲学家、思想家都无法回答。

‘请告诉我，如果把幼年的自己或自己的祖先杀死的话，现在的自己会怎样？’提这种问题本身就是不讲理，强求没有的东西，跟哭闹着要求把月亮摘给他的孩子一样。

如此，作为时间机器存在的问题‘返回过去把幼时的自己杀死的话会出现什么情况’这个矛盾总是遭到人们的指责。其实，总以‘时间的旅行者’自居也是片面的想法。

被遇到的一方，即留在过去的，也是‘自己’。旅行者一方的自己也许立刻会意识到那就是幼时的我，幼时的自己一方也许不会想到年老的我（或长大的我）又回来了。原因是，幼时的自己还不知道时间机器，因此做梦也不会想到多少年后的自己会出现在那里。

在有关时间机器的幻想小说里，总是把进行时间旅行的自己作为第一人称（或主人公），所以，遇到的孩提时代的自己只不过是个客体（对象物）。虽然可以自由地联想‘小时候真可爱啊’，但是这其中难道多少没有些不公平的地方吗？

因为是两位自己同时登场，进行思考的自己的肉体同时分成了两个，灵魂必然附着在双方身上。当然，随着年龄的增长，喜好、判断力及其他方面等会发生变化，不过人的本质——只要不是丧失全部记忆——总不会变得面目全非。所以说灵魂同时附在两位的身体上控制言行等各方面，奇怪的事态发生了。

在那里，同为自己的大人与孩子擦肩而过时自己用哪一方的眼睛看对方呢？道理上讲哪一方的眼睛都是自己的，如果说句‘今天天气真好’

等寒暄一下的话，也可算做是自言自语一类。如果大人一方为研究逻辑体系而将小孩杀死的话，结局是自己把刀刺进了自己的身上，这或许也叫自杀……。虽然在感情上是自杀，可是把刀刺出去的大人在那一瞬间会如何呢？因为发生了自己在童年时代被杀害的事实，所以他忽地消失了。你看，又碰上先前的那个矛盾了。

但是，如果是孩子杀了大人的话，那一瞬间什么也没有发生，虽然那个孩子背负上了后来将遭人杀害的命运……。再说如果被人当场发现，被以杀人罪起诉投进监狱的话，此人的生涯就将与原来发生显著的不同。

这些例子说明如果假定人能够倒退回过去的话，因果关系就会一塌糊涂。与此同时，自己如果回到了幼时，因为两人的肉体中都存在自己的灵魂，就将出现类似于一个演员同时扮演两个角色的情况，结果是一片混乱。然而，时间机器的故事讲得都是移动方的自己，还没有听说过同一个人扮演两个角色的故事。或许是不愿把事情搞得过于繁杂，怕把读者的头脑搞乱。幻想小说也罢，非幻想小说也罢，故意使事情复杂化的恶作剧都是不好的。穷根究理的东西会被读者敬而远之。用尽可能简单的假设来考虑事情，才是人们所希望的。

图 1 - 9 两位的眼睛都是自己的！

借助于古人回到过去

还有一个原因使得基普·索恩的理论不能成为完全的时间机器。虽说能回到自己的过去，但是想退回自己出生以前（或干脆说懂事以前更好）是办不到的。按照他的思想是以自己的意志使旁边的 A 洞振动起来，或者用山中遇仙效应来说就是根据自己的意志使火箭出发。使在 A 洞附近即火箭内部比地球上的自己时间变慢，而不是让时间倒退。所以，即使自己进入 A 附近即火箭里再通过蛀洞回到地球上，也只能是在 A 洞开始振动之后或火箭发射之后的地球。看到（正确说是经历）幼时的自己这件事虽为可能，而回到自己出生以前的世界是不可能的。

那么，用基普·索恩式的思想能否实现 H.G. 威尔斯型的时间机器呢？自己的记忆力极佳，对幼年时代的事记得很清楚，回幼年时代没意思，感兴趣的是更远的过去。想看看伽利略在比萨斜塔上做的实验、驶向新大陆的哥伦布船队、莱特兄弟正在进行的第一次飞行、富兰克林在雷雨中放飞的风筝等等，想仔细地参观……。即使基普·索恩的理论能够行得通，上述要求也仍是一张不切实际的订单吗？

虽然索恩并没有讲那么多，但这未必是无能为力的事情。只要在自己出生以前，有人使 A 洞开始振动就行了。在很久以前，曾有聪明的人为我们发射了加速火箭（不论可能性大小，只要有可能都统统予以考虑）。进入自远古就开始振动的 A 洞或者火箭之中，通过蛀洞来到地球上，就能回到古代。不是因为自己想回过去的‘这个意志’而制造了飞往过去的旅行机器，多少借助他人的（即在古时候使洞口或火箭开始运动的人的）力量，这也是没有办法。因为除此之外，没有能够实现到出生前的过去旅行的方法。

反过来讲，用现在技术的所有精粹，发射具有巨大加速度的火箭，把它租给一百年后、二百年后出生的人，这或许是个赚钱的好办法……。尽管这种想法很俗气，但是会发生什么呢？也许有人要说人类再长寿也不过百年，这种赚钱的方法指望不上。但事情并非这样，自己坐进火箭，用五年时间加速飞回来后从门里出来，此时地球为静止状态，时间过得快——已是 2200 年。

‘欢迎，欢迎，想去 2000 年地球的人请乘这支火箭，票价才一百万元。喂，坐好的人只要跳进里边的这个洞……。怎么样，昔日的地球也满不错吧。’

大概是这么回事。不过，与用这种方法赚钱相比，自己操纵火箭穿过蛀洞在时间中的旅行本身要有趣得多吧……。

第二章 时间停止

黑洞之花开遍宇宙

在有关宇宙空间构造的问题中，最令人感兴趣的内容之一是黑洞。今天，白洞、蛀洞等概念经常出现在书籍或杂志里，并且与科幻小说相结合编织着一个个诱人的故事。

特别是 70 年代以来，霍金等人提出，在宇宙的创生期曾产生过大量的特小黑洞，它们按照量子力学的原理不断地蒸发。在宇宙的早期，黑‘洞’曾经成群地出现，如同遍地盛开的鲜花一样。有关通常所说的黑洞（比太阳大得多的恒星塌缩而成的东西）的研究，开始于广义相对论问世后不久。

后文中还会作详细介绍，第一次世界大战时，德国天文学家史瓦西曾经从过军，他在俄国战场上的战壕中对爱因斯坦的方程式进行了演算，发现了一个意味极其深长的解。

根据这个解，光与其它物质一样也会被引力所弯曲，不过这个弯曲量极其微小。1919 年，爱丁顿等人通过非常细腻的实验，利用日食测定恒星的位置，终于观察到了光在太阳附近的弯曲。如果在比太阳重得多（严格地说是质量大得多）的恒星附近，光的弯曲就会更大。

恒星也罢，天体也罢，根据广义相对论的公式，如果空间中存在巨大的引力场，光将沿着引力的方向发生弯曲。质量越大，引力场（用 g 表示）越强。天体表面引力场的值随着距其中心（正确地说应该是引力中心）的距离变短而增强。也就是说，又小又重（密度高）的星体更容易吸引光。因此，如果存在引力值足够大的天体的话，它将把光完全地吸收掉，当然，不仅是光，所有东西都将落入其中，我们不可能从那里获取任何东西或信息。

1916 年，史瓦西从俄国战场给爱因斯坦寄出了一封信，信中谈了广义相对论的解中存在着如此特殊的东西。不幸的是，此后不久他于同年 5 月 2 日死在波茨坦的一家医院里。

爱因斯坦当时并没有对这个解表示太大的兴趣。的确，如果恒星被压缩成差不多一个点大小时，其周围就会出现强烈的引力场。这个就连光也无法脱出的球半径后来被称为史瓦西半径，对于太阳的质量来说，这个半径是 2.95 千米，对于地球这样的小星体来说是 8.88 毫米。不论是太阳还是地球，如果能够成为小于这个值的天体就会变成史瓦西所预言的奇怪空间。也许爱因斯坦以及其他的物理学家、天文学家当时都认为这是不可能有的事情，即使在理论上承认其作为数学结果的存在，在实际中也似乎过于脱离现实（脱离物理）。

图 2-1 第一次世界大战时的德军战壕。

史瓦西曾经是这些士兵中的一员

回顾物理学的发展历程，类似于黑洞这样的由数学演算得来，而实际

上是否存在的令人迷惑不解的例子不胜枚举。即使是在当今，此类问题也大量存在于物理学的前沿课题之中。

奇怪的地平线

话题又回到了第一次世界大战刚结束的时候，史瓦西已经求出了解，不过当时还没有黑洞这个名字。史瓦西对半径的计算准确无误，由天体的质量、万有引力常数以及光速，可以很简单地求出。

当时的相当于黑洞的模型很简单。如果有一个光源处在史瓦西半径的稍微外面一点的位置上的话，光的大部分将被吸入黑洞，但也有一小部分可能沿着外侧飞出。对于半径之内的情况，我们完全无法了解。那里是密度很高的球体呢？还是其质量完全集中在中心一点上呢？对此我们无从知晓。不过，至少从数学上看可以认为质量集中于中心部。由于质量集中于中心一点，所以那里的密度为无限大。所谓无限大来自数学上的极端情况，我们把它叫做奇点。

谈到黑洞时经常会出现奇点这个名词，简单地，我们可以把它解释成分数的分母成为零时的点。自然界里原本不应该存在那样的量。它是由于数学的不完整性所产生的呢？还是在宇宙的某处真实存在的奇怪的点呢？目前还没有答案。不管怎样，请读者们把奇点想象为极其奇妙的点吧。

关于史瓦西半径之内的情况，我们什么也不知道，不妨暂且把它解释为中心存在着奇点。

假定有一只火箭正在不断地接近黑洞，我们在远处进行观测。引力场随着沿球面半径方向的接近而越来越强。处于强引力场中的表会慢于观测者的表，不只是表，火箭的速度也在变慢，里面的人的动作以及衰老的速度也趋于缓慢。当达到史瓦西半径上的球面处时，火箭及其中的人都不动了，人也不再变老了。我们所认识的从过去不停地流逝向未来的时间，在那里停止了。

史瓦西半径所对应的球面叫做视界。

一方面，坐在火箭里的人通过视界进入了黑洞内部。另一方面，在外边的人看来火箭则是停止的，里边的人（姑且不去想他是否已被强大的引力所粉碎）能够继续前进，这一点实在令人难以置信，奇怪！但是，这种奇怪之处正是相对论。

图 2 - 2 视界上火箭大滞涩

外边的人会认为火箭一个接一个地停滞在视界上，火箭内的人却感到行进顺利，一点儿也没有什么滞涩。两边的说法出现了不一致，作为外边的人来说‘停滞’是唯一的情报，而火箭里的人无论怎么喊‘顺利极了’，声音均不可能传到史瓦西半径之外去。

在相对论中类似这样的矛盾还有很多。

宇宙浩瀚，用目前最大的望远镜能够看到一百亿光年之外的天体。如果有一只速度接近光速的超高速火箭飞过，旁观者会看到火箭的长度缩

短了，这是爱因斯坦的狭义相对论的结论。

反过来，在火箭内部的人看来，外面的景物也在自己的前进方向上收缩了。假定火箭的速度已经极其接近光速，根据洛伦兹收缩，景色将前后大幅度地缩短，十万光年甚至一百亿光年之遥的天体会一下子出现在他的眼前，宇宙全体都在这个方向上缩短，变得扁平了。

到十万光年远的星体去，无论坐多快的火箭至少也要花十万年以上的的时间；到一亿光年远的地方就必定要用一亿年以上的的时间，这样的说法正确吗？根据飞得快距离就会缩短的事实，难道不能更快地到达远处的星体吗？

举个更极端的例子，光当然是以光速传播的，假若我们的眼睛附着在光子上（如果说眼睛太大不可能附着在光子上的话，那就假定在光子上附着有能够判别距离的灵魂），由于洛伦兹收缩，广大的宇宙应该被压缩成一个薄片。

太玄妙了！实在难以置信，但是没有其它的解释办法。与此相比，一方面是由于滞涩而停止而另一方面却是顺利地行进之类的矛盾显得似乎更简单了。‘如果光子长有眼睛的话’，这是狭义相对论的极限状态，而‘视界处的停止’则是广义相对论的结果……。

时间与空间对换

话又说回到本章的开头，让我们站在穿越视界的火箭的立场上来考虑。火箭如果是垂直地穿过视界的话，它将径直飞向黑洞的中心；如果是斜着穿过视界的话，它将绕着螺旋落向黑洞的中心。总之，随着穿过时与视界的交角的不同，之后的路径也不同。但是，有一点却是相同的，那就是火箭都只在中心的引力作用下飞行。

也许话题有些跳跃，请想一想我们现在对于时间和空间处在什么样的立场上呢？对于空间，原则上我们可以随心所欲地去任何想去的地方；对于时间，则不以我们的意志为转移，只能由过去走向未来。让我们与进入黑洞的火箭作一番比较。

一旦进入黑洞就绝对倒退不出来了，飞往中心的奇点的路径已经被限死，恰似在普通空间中的‘时间’一样，前进的道路是不可改变的，自己的足迹就象表针一样，命中注定只能前进。因此可以说，在视界之内时间与空间发生了对换。史瓦西在他的解中用数学算式证明了这一点。

各种各样的黑洞

与其说因为在解析广义相对论的公式的过程中证明在空间里的某些地方存在着超出想象的东西（即后来所称的黑洞），倒不如说出于数学上的兴趣，科学家们进行了大量的研究。例如，把黑洞的视界假定为完全的球面的作法并不能适用于所有的情形。德国人赫尔曼·瓦尔研究了椭圆形的视界。

1963年，新西兰数学家克尔求出了带自转的黑洞的解。前文说过，爱因斯坦的公式仅仅预言了黑洞的存在，至于它是否处于静止则是由解析算式的人自由附加的条件。所以，克尔提出把黑洞想像为像海中的涡流或像台风眼一样的旋转的东西应该更具有普遍性。

电流在竖立于空中的天线里振荡时就会产生电波，电荷所产生的电场跟不上电荷的运动速度——电场滞后于电荷，我们有理由认为电波会出现上述现象。与此相同，当引力源不住地自转时，它将拖曳着引力使其含有自转方向（球的切线方向）的成分。进一步说，奇点将在史瓦西球面上相当于赤道的位置上形成复杂的环状。

也是在同一时期，美国物理学家约翰·惠勒提出了黑洞这个命名。以前的研究始终没有脱离出由爱因斯坦的公式推导出的特殊解的范畴，过分些说，在20世纪60年代之前，黑洞不过是个数学玩具。在弄清楚黑洞的自转之后，科学家们才真正意识到‘黑洞不是寻常的东西’，从而再次掀起了新的研究热潮。

黑洞除了能自转、具有角动量以外，是否还具有其它的性质呢？许多专家对此进行了研究。比如地球，有陆地、海洋、大气、表面有冷热之分等等，包含了丰富的变化；再比如月面，有沙漠、环形山，呈现着复杂的模样。然而黑洞却像得不到任何信息的暗球（？），所附属的性质只有质量、电荷以及角动量等三种。除此以外，我们无法进行黑洞A如此如此、黑洞B那般那般……之类的区分。

图 2-3 引力的旋涡—自转黑洞！

人们常说黑洞只有三根‘毛’（信息），足见黑洞的无情，由于所能获得的信息少得可怜，有人甚至说黑洞象个‘秃瓢’。对于那么巨大的黑洞，我们所掌握的知识与对一个基本粒子的了解程度差不多。

尽管难度很大，科学家们还是动员了天文台的各种观测手段在现实宇宙中进行了寻找黑洞的工作，找到了相当多的好象是黑洞的存在，特别是位于天鹅座天鹅颈部的X-1最为有名，还有人提出在银河系的中心也存在着巨大的黑洞。

为什么能观测到黑洞？

怎样在地球上观测看不见的黑洞呢？气态的氢或其它物质被旋转的引力场吸引在到达视界之前产生强烈的舞动，从力学角度讲就是被急剧地加速，在这种条件下会放出波长短于可见光的电磁波——X射线。可以说，这些X射线是落入黑洞中的物质最后的也是徒劳的遗迹。

由于大气层的遮盖，来自天外的X射线很难到达地面。1962年，美国人布鲁诺·罗西在民间企业的协助下发射了载有X射线观测装置的火箭，从此诞生了X射线天文学。后来在天蝎座以及其它位置找到了许多辐射X射线的星体。火箭的观测时间只有大约5分钟，后来用发射地球卫星的方法代替了火箭，观测时间得到大幅度的延长。在这个时期，科学家们通过火箭和气球等手段，确认了在天鹅座X-1处存在着大质量的星体，但是，这并不等于认为在那里有一个单独的黑洞，确切地说应该是，通过X射线发现了黑洞的伴星。

如果两颗星都处于静止状态的话，它们在万有引力的作用下最终将会猛撞到一块。如果它们都在重心连线的垂直方向上同向旋转的话，就会永远地转下去。太阳和地球、地球和月亮都是这样的力学关系。当两颗星的质量差不多时，看上去就会感到它们在相互围绕着旋转。如果双星中的一方是黑洞的话，我们就能够通过观察其伴星来得知黑洞的存在。

实际上，在永久的旋转过程中，双星的可见星周围的气态氢等物质不断被黑洞吸收，因而在它的伴星附近就会放出X射线。

图 2 - 4X 射线天文卫星 ‘阿斯特罗 C’

黑洞的形成过程

黑洞不再是个单纯的理论上的推断，作为一种真实存在的可信度越来越高。科学家们在着手于星空中寻找黑洞的同时，开始了对黑洞的形成机理的研究。

自古以来，天文学家们就致力于星体的一生的研究。恒星最初是由作为星际物质浮游于宇宙中的尘埃聚集而成的。太阳就是一个典型，它的内部发生着由氢原子核结合成氦原子核的聚变，那里的温度高达数千万度，但是太阳的表面温度却只有六千度左右，这样的状态最稳定，恒星在该状态下能够维持数十亿年。

最终核聚变将从中心部向外扩展，恒星开始膨胀，成为很明亮但温度却不那么高的状态，这就是红巨星。

在这个变化过程中，巨星内部的氦开始凝缩，凝缩产生的能量又使温度再次升高，当蓄积的能量超过极限时，就会发生大的爆炸，在发出光的同时恒星缩小，这就是新星。从字义上看新星似乎是新的星，其实不然，它来自略带陈旧感的红巨星，是老龄之星。最终，星体中心部的氦原子核进一步凝缩成铁原子之类的低能量物质。

新星在引力作用下进一步塌缩，成为中心处具有相当高温度的白矮星。在经典理论中，白矮星就是恒星一生的终结，随着核物理学的发展，科学家们发现还能进一步形成中子星。

具有一定质量的恒星将成为密度很高的白矮星，之后星体由于自重进一步塌缩，使得原子全部被压碎，核外电子与原子核里的质子相结合变成了中子，整个星体成为只有中子的原子核的集合……可以说此时星体本身就是一个巨大的原子核。

中子星的密度大约是每立方厘米 10^{12} 克。一块方糖大小的物质重达一百万吨，相当于好几艘当今世界上超级油轮的运力。如果中子星再进一步塌缩，其密度再增大一千倍、一万倍……时，就将成为黑洞。

但是，最近的研究成果表明，恒星的一生并不一定都按照上述的过程进行。质量小于太阳的 8 倍的恒星，其能量在宇宙中散失后，成为白矮星然后冷却下去。质量在太阳的 8 倍以上、20（或 30）倍以下的恒星，即使是在新星爆发后，仍然具有很大的能量，它将经过长期的演化最终成为中子星，但是还不具备更强的塌缩能力。

研究表明，中子星的半径多在 10 公里左右。大于该范围的星最后将变成黑洞，成为吸收一切物质的宇宙之洞。但是，对于上述根据天体初期的质量去预测它的晚期的方法，存在着不同的观点（很多人认为初始质量为太阳的 2—3 倍的恒星也有可能变成黑洞），因此我们还不能断言哪一种方法是绝对可以信赖的。宇宙学的研究之难，由此可以略见一斑。

脐带般的蛀洞

宇宙起始于大爆炸，大爆炸的余势使得宇宙至今仍在继续膨胀。据说大爆炸发生在大约 150 亿至 160 亿年前，也有一种观点认为发生在大约 100 亿年前，确切的时间尚不很清楚。宇宙中的恒星一生终结后，演化成密度极高的状态，进而演化成黑洞。宇宙中似乎存在着相当数目的黑洞。

关于宇宙的创生，本书将在后面的章节中详细叙述。在最初的暴胀时期，膨胀的速度超过了光速。‘标准’观点认为只产生了一个宇宙，但是也有的观点认为当时产生了多如泡沫的宇宙。

广义相对论的结论之一表明，真空的宇宙压力是一个负的解。加拿大的韦森等人证明，这种负压力能产生大量的物质，成为大膨胀的导火索。当时在旧真空中产生了众多的新真空，它们一个个都形成了宇宙。

新真空的不断产生使得旧真空走向崩溃，于是世间充斥着众多的新宇宙，被新真空摧毁的旧真空在引力作用下变成了黑洞。

被众多的新真空（宇宙）所围挤的旧真空变得极其狭小，形成的产物叫做特小黑洞。当然，特小黑洞与以前所说的由恒星塌缩形成的黑洞在‘形成的机理’上是不同的。微小的、可以说是无数的黑洞在这一时期里产生了，但是，它们毕竟太小，逃脱不了终将消失的命运。霍金用量子力学的手段阐述了这个观点。

我们将泡沫般众多产生的宇宙称为婴儿宇宙，霍金以及美国的西德尼·科尔曼等人认为，在创生期诞生过众多的婴儿宇宙。有关量子力学的知识将在第四章作介绍，在创生后的 10^{-44} 秒至 10^{-43} 秒之间，按照量子力学观点，宇宙（当然比现在的宇宙小许多个数量级）的能量在时间上不是平均、恒定的（我们称之为涨落）。因此，产生的婴儿宇宙也是东一个、西一个，大的大、小的小。而且从一个婴儿宇宙的涨落又能产生新的宇宙，新宇宙再生儿育女……，构成了一幅子、孙宇宙的场景。

这些宇宙之间由蛀洞连结——象脐带却不是脐带。这些管子的直径只有初期宇宙的大小——仅有 10^{-33} 厘米，人要想从中通过的话，必须先想办法把洞扩大，就连从理论上证明可以通过蛀洞回到过去的基普·索恩本人也根本没提怎样才能把洞口扩大。

图 2 - 5 振荡产生的子宇宙和孙宇宙

蛀洞的特征是‘在途中’没有时间与空间，干脆没有时空的定义。入口的时间就是出口的时间。如果说人的身体无法通过的话，只有灵魂过去也行，灵魂在瞬间沿着蛀洞进入另一个世界，莫非那里就相当于佛教所说的彼岸？

蛀洞是连结不同宇宙的虫眼，它也能通往同一宇宙的其他地点。这表明，索恩的说法确实在理论上是成立的，科幻作品中经常描述的‘瞬时空

间移动’现象也是有根据的。

第三章 宇宙中最短的时间

宇宙的模式

正如大家所熟知的那样，爱因斯坦在 1915 年至 1916 年间完成的广义相对论将宇宙空间各处的弯曲状况用数学公式作了表述。虽然在他的研究中没有触及‘宇宙的边缘是什么状态’的问题，但是爱因斯坦并没有忽视把宇宙作为一个整体来考虑的重要性。

宇宙中存在无数的天体，它们会不会在万有引力的作用下全部聚成一堆呢？这种担心并不是毫无根据的，因此，爱因斯坦在描述宇宙状态的方程式中加入了一项‘宇宙常数’，用它表示斥力，避免了天体全部集中的问题。

后来，随着宇宙观测技术的进步，爱因斯坦领悟到没有必要考虑如此特殊的常数，他说，“在方程式中加入宇宙常数是一生的失策”。不过，关于宇宙常数究竟是否需要的问题，至今仍然没有定论，最近，不少学者认为宇宙常数仍然有保留的必要。

图 3 - 1 加入宇宙常数是一生的失策

1920 年前后，广义相对论刚问世的时候，人们（甚至包括学者们）的宇宙观是相当单纯的。相对论把原来三维的空间与时间放在同等的立场上考虑，进行了数学公式化。现实中，与上下左右前后都能自由移动的空间相比，只能沿着固定方向经过的时间有很大的不同。爱因斯坦对空间进行了深刻的思考（虽然他并没有断言空间是封闭的……），然而关于时间，他却并没有发表任何具体的意见。当时人们都认为时间是从过去流向未来的单方向永远延续的东西。空间是封闭的——爱因斯坦的头脑中充满了打破常识的新思想，至于从远古流向未来的漫长的时间，其整体又是怎样呢？爱因斯坦也许顾不上去考虑这个问题。

爱因斯坦的广义相对论公式与牛顿的力学公式一样，是用微分方程式来描述的。有关时间及空间的边缘部分的状况（称为边界条件），是由解方程式的人所自由设定的。因此，以广义相对论的公式为基础，众多的学者们提出了各种各样的宇宙模型。

荷兰天文学家德西特在假定宇宙中不存在物质的前提下，求出了广义相对论方程式的解，结果表明宇宙会不断地膨胀下去。通过改变宇宙常数的符号与大小，他又提出了宇宙是封闭的观点。如果平行的两束光最终交汇，宇宙就是封闭的；而如果这两束光渐渐远离的话，宇宙就是开放的。

当然，不存在物质（不存在天体）的宇宙只是一种近似，现实并非如此。不过德西特毕竟是第一个求出方程的解并提出封闭宇宙观点的人，他的模型被称为爱因斯坦-德西特宇宙（1932 年）。

前苏联数学家弗里德曼求解了不带宇宙常数的方程式。与德西特不同，在弗里德曼的模型中有天体存在，也就是说，宇宙的平均密度不是零

而是某个数值。计算结果表明：如果宇宙的平均密度很小，宇宙就会永久地膨胀下去；如果宇宙的平均密度大于某一数值，宇宙就会在膨胀到一定程度后反过来收缩，如此循环往复，当然该周期长达数百亿年。弗里德曼的解至今仍是宇宙的基本模型之一。

比利时天文学家勒梅特的模型表明，一定大小的宇宙会发生突然的迅速膨胀。该模型成为后来的大爆炸理论的先驱。

如上所述，许多人致力于求解广义相对论的方程并得出了具有各种特征的解。但是，解中的时间究竟有哪些涵义呢？关于这一点，任何论文都没有明确的阐述。时间也许会像封闭的空间一样，经过大迂回后回到原来的出发点——某些论文似乎有这样的意思，但是，大家都回避对时间做出明确的表态。这样做也是可以理解的，在空间是封闭的还是开放的问题尚无明确的证据时，比空间更复杂的时间是什么？它有无始终？就是逼问这些问题，也不会有人有说三道四的依据。

后来，各种各样的宇宙论不断地问世，理论和观测都在不断地进步。第一个直接把时间的初始与终结作为问题研究的是进入 20 世纪 80 年代以来斯蒂芬·霍金的理论。

膨胀的宇宙

本世纪 30 年代初期，美国天文学家哈勃(1889—1953) 的工作给宇宙论带来了巨大的改革。哈勃生于密苏里州，在芝加哥大学学过物理，后来到英国在牛津大学学习法律成为一位律师，其后，由于兴趣的转移，他再次回到芝加哥大学学习天文学并获得博士学位。在其他国家里，通过律师资格考试后再转行搞自然科学的事例令人难以置信，然而在美国，看来人们有很大的自由去选择自己的天职。

1920 年，哈勃来到威尔逊天文台工作，他仔细地观测了许多恒星的固有运动。起初，哈勃测量了 18 颗已知距地球距离的恒星，结果表明从它们发来的光全部存在着红移，他对此吃了一惊。所谓‘红移’，用通俗易懂的说法就是：从构成恒星物质的分子观点推定的本来是偏蓝的光，我们看到时却感到它偏红。哈勃于 1929 年发表了他的观测结果。如果恒星一边后退一边发光而且光速（相对于观测者）是不变的话，根据多普勒效应，我们接收到的光的波长就会长于其原来的值。声音将变向低音，光将偏向红色。

哈勃的观测结果发表后，一些理论家提出了宇宙膨胀说：星星在逃逸，而且距离越远的恒星逃逸速度越快。据说哈勃本人一开始并不支持该学说，宇宙在膨胀？不是在说胡话吧？如果恒星表面存在很强的引力场的话，也会造成红移现象。总之应该慎之又慎才对……

哈勃进一步对恒星进行了观测。如果恒星带有自转，那么它的一端会靠近地球而另一端则会远离，他详细研究了各种可能因素，结果表明：红移只能用星体的后退来解释。

星体在后退也就是宇宙在膨胀，通过观测所发现的这一事实使哈勃名载史册。不过，在爱因斯坦时代想也不曾想过的宇宙膨胀学说真正得以定型，是在第二次世界大战之后的事情。

图 3 - 2 埃德温·哈勃

1946 年，第二次世界大战结束后翌年，一位名叫乔治·伽莫夫(1903—1968) 的学者提出了宇宙起源于大爆炸的令人惊叹的学说。伽莫夫生于俄国的敖德萨，在前列宁格勒大学取得博士学位，后来到德国的哥廷根大学、丹麦的哥本哈根大学等当时量子力学的发祥地学习，其后，他又到过剑桥大学以及巴黎、伦敦等地的大学，伽莫夫像候鸟一样地迁徙于众多的大学之间，1934 年他来到美国并在那里定居。

在美国，伽莫夫曾经担任乔治·华盛顿大学以及科罗拉多大学的教授，他的研究领域涉及物理学、天文学甚至生物学，他在晚年研究过 DNA 的遗传密码。伽莫夫还是一位多产的科普读物作家，他的作品被翻译成多种文字出版，许多学者就是在少年时代被他的书吸引、受其影响走上物理学的

研究之路的。伽莫夫考察过原子核中基本粒子的隧道效应、研究过高温高压的星体的性质，他的研究课题内容十分广泛。不过，伽莫夫这个名字使我们首先联想到的还是大爆炸宇宙学说。该学说最初并没得到大家的信任，或许在大家的眼里，伽莫夫的研究课题过于分散，大爆炸不过是假说之一罢了。

但是，随着基本粒子理论的发展，理论研究逐步趋向于用统一的观点去理解自然界中存在的力，因此有必要回到宇宙的创生时期，考察当时的情况。所谓宇宙的创生……难道就是伽莫夫所预言的大爆炸？除此之外找不到别的更可信的学说，人们开始相信大爆炸有充分的理论根据。此外，彭齐亚斯和威尔逊于 1965 年发现的存在于宇宙空间各方向上的强度相同的宇宙背景辐射，作为大爆炸遗留下来的电波来解释，更使大爆炸理论越发可信。宇宙的初始即时间的初始是什么？……候鸟型物理学家伽莫夫首先触及了这个问题。

最初发生过大爆炸？

今天，很多人都知道宇宙是从大约 100 亿年或 150 亿年前的大爆炸开始的，虽然它还没有被大篇幅地写入学校的理科教科书，但是大多数科学家都相信，确实发生过大爆炸。

但是，持不同观点的也大有人在。加利福尼亚大学的汉内斯·阿尔夫本名誉教授根据自己研究的等离子体理论提出了宇宙创生的学说。等离子体是超高温物质的振动形态，阿尔夫本教授认为星团以及银河系都产生于等离子态的物质。他与奈尔分享了 1970 年度诺贝尔物理学奖。

按照阿尔夫本教授的计算，宇宙的创生不是在 150 亿年前，而是应当更早。虽说他的理论并非毫无根据，但是赞同他的人的确为数不多。需要指出的是，有关宇宙的学说还有许多。

根据大爆炸理论，假定宇宙的创生发生在 150 亿年前，那么，在此之前是什么状态？或者，200 亿年前是什么状态呢？大家很自然地会关注这些问题。

遗憾的是，在相当长的时期里没有人从正面回答这个问题。最初发生了大爆炸，之后如此如此、这般这般……之类的理论不胜枚举。它们的核心都相同，那就是‘最初发生过大爆炸’。

毫无疑问，即使在今天，从某种意义上来说，大爆炸就是时间的开端。在大爆炸以前，时间只是形式上的抽象的东西，这样去说明绝对没有错。关于时间的这个断头，霍金不是把它作为一个断点，而是把它圆满地衔接了起来。正因为如此，他的理论才在今天引起了人们的广泛关注。

但是，霍金在他的理论中引入了诸如虚数、路径积分等复杂的数学概念，说实在的，普通读者很难弄明白，就连专家们也多半只能做到‘在数学上’的理解。因此，我们把复杂的内容放到稍后的章节中去，先沿着大爆炸学说在 60 年代、70 年代、80 年代的发展来一步步地介绍。

宇宙中最短的时间？

大约 150 亿年前，宇宙突然发生了大爆炸。大爆炸的起因是什么？如此巨大的能量来自何处？关于大爆炸，明摆着存在这些问题。而且这些问题在很长的时期里并没有被弄清楚（更确切地说，是没有被追究）。目前的理论认为：大爆炸发生于一无所有的（严格说来是观测不到任何东西的）空间——真空之中。那么，大家又会问“这里所说的真空又是什么呢？”让我们还是沿着大爆炸学说的历史发展过程作一番追溯吧，就当最初发生了大爆炸，从此开始我们的话题。大爆炸的令人惊异之处在于：在极短极短的时间内，宇宙创生了，几乎与此同时，宇宙从掌中玩物般大小极不寻常地急速膨胀了起来。

第一步，我们先来适应各种数量的表现方法。1 太记为 10^{12} ，1 皮记为 10^{-12} ，10 的肩头所标的数字（称为指数）如果是负数的话，其绝对值越大，数的整体值就越小。数学中的数字都是单纯的数字（无量纲数），在以‘客观存在’为研究对象的物理学等其他学科中，我们总是先将某种含义（单位）赋予数字 1，然后针对研究对象的大小用不同的数值来表述。常用的有 1 米（长度）、1 千克（质量）、1 秒（时间），我们把这套规定方法叫做国际单位制，并且规定（至少在科学研究中）不使用因国而异的诸如英尺、磅等单位。

图 3 - 3 最初从掌中玩物般大小的宇宙开始.....

采用国际单位制，我们说宇宙的大小约为 100 亿光年（ 10^{26} 米），宇宙迄今为止的寿命约为 100 亿年（ 3×10^{17} 秒）。再举个微观量的例子，20 世纪初科学家们对原子进行研究时特别定义了一个叫做‘埃’的单位，折合成国际单位制的话，1 埃相当于 10^{-10} 米，按照国际度量衡委员会的正式命名，它是 1 纳米的十分之一。下面列出的是正式使用的词头：

(数量级)	(名称)	(符号)
10^{12}	太	T
10^9	吉	G
10^6	兆	M
10^3	千	k
10^2	百	h
10	十	da
1	(单位)	
10^{-1}	分	d
10^{-2}	厘	c
10^{-3}	毫	m
10^{-6}	微	μ
10^{-9}	纳	n
10^{-12}	皮	p
10^{-15}	飞	f
10^{-18}	阿	a

20 世纪 30 年代以来，随着基本粒子理论发展的需要，为了表示原子核以及更加微小的质子、中子的大小，人们提出了 10^{-15} 米的微小尺度并称之为 1 费米（飞米），以纪念著名的原子核物理学家恩里科·费米（1901—1954）。

在测量基本粒子的平均寿命时，我们需要使用时间的微小单位。例如汤川秀树博士提出的 π 介子，带正或负电荷的 π 介子的平均寿命约为 10^{-8} 秒（1 亿分之 1 秒），不带电荷的中性 π 介子的平均寿命更短，只有 10^{-16} 秒（带电 π 介子寿命的 1 亿分之 1）。科学家们测量了许多不稳定的基本粒子的平均寿命，发现这些数据几乎都分布在 10^{-8} 至 10^{-20} 秒之间的范围内。

长度以及时间是否存在最小单位？用当今的名词来说就是：这两种量究竟是数字式的，还是模拟式的呢？随着从 50 年代到 70 年代基本粒子理论特别是‘场论’的迅速发展，最小单位问题渐渐地被提上议事日程，成为重要的研究课题。一些科学家认为；长度的最小单位应该是基本粒子的大小（ 10^{-15} 米左右），时间的最小单位应该是基本粒子的寿命（ 10^{-8} 至 10^{-20} 秒左右）。

如果把物质不断地进行分解的话，我们最终将得到分子、原子乃至基本粒子，它们是构成质量和电荷的最终要素。同样地，关于长度和时间是否也同样存在不可再分的最小量呢？许多人联想到了这个问题。

最小要素是否存在？应该怎样去理解它？这个问题是过去 40 年来的重要课题，至今仍有人在从事这方面的研究。随着理论研究的发展，许多

新观点（例如：比基本粒子更小的夸克、存在于宇宙创生时的大爆炸后 $10^{-30} \sim 10^{-40}$ 秒的瞬间）的问世，科学家们越来越迫切地感到重新认识时间和空间的最小要素（包括这样的最小要素是否存在）的重要性。

从不可思议的高温开始

据说爆炸般的膨胀开始于宇宙诞生后 10^{-44} 秒。这次剧烈的爆发就是所谓的‘大爆炸’， 10^{-44} 秒究竟有哪些含义呢？

人类能够通过自己身体的新陈代谢感知时间的经过。视觉上，人能感知的最小时间间隔约为 0.1 秒，如果画面的变化速度快于 0.1 秒，人眼将把它当作是连续的，电影和电视都利用了这个原理。

虽然生理感官不能直接感觉到，我们应当承认存在更短的时间。但是 10^{-44} 秒，用语言描述的话就是 1 秒的 1 亿分之 1 的 1 亿分之 1、再 1 亿分之 1 的 1 亿分之 1、再 1 亿分之 1 的 1 万分之 1，如此短暂的时间的确超出了一般人的想象，然而却绝对不容忽略。霍金指出：正是因为时间是如此的短暂，根据量子力学原理才能爆发出巨大的能量。

从宇宙诞生至大爆炸开始的 10^{-44} 秒称为普朗克时间，我们也可以把它理解为光通过宇宙的最小长度 10^{-35} 米所需要的时间（在这里不必计较多少存在的一些误差）。

物理学研究从早期的宇宙论发展到当今的大爆炸理论，有理论根据的最小长度与最短时间就是上述两个数值。

大约 30 年前，基本粒子理论曾经一度走进了死胡同。按照当时的理论，电子与电子或电子与光子的相互作用应该发生在时空中的一个点上，那么在该点上就不可避免地出现了无限大……特别是能量无限大的问题。

朝永振一郎博士等人利用重整化理论克服了这个困难，但是并没有彻底解决问题，原因在于，只要仍把空间与时间看作是连续的量就总会与无限大的困难纠缠在一块。根据量子理论，能量、电荷以及角动量都是量子化的量，同样地，用量子观点看待时间与空间的话，又该怎样修正物理理论呢？科学家们在这方面做了大量的工作。

世界上的物理现象（比如粒子之间的相互作用）不是发生在一个点上，而是发生在一定的区域内（尽管该区域很狭小），以汤川秀树为代表的京都学派从上述观点出发，提出并发展了非局限场理论。不过在当时还没有夸克的概念，因此，最小长度只能是基本粒子的大小—— 10^{-15} 米（1 飞米），相应地最短时间则是光通过该长度的时间—— 10^{-24} 秒。

后来，人们出于利用统一场理论解决不可思议的巨大能量的来源问题的需要，提出了比非局限场理论中的最小单位更小得多的普朗克尺度。粒子生成时的能量越大，所要求的时间就越短，由于普朗克常数与这类微小的量（正确地说是两个量的乘积——详见本书第四章）相当，最近十几年来，科学家们对普朗克尺度进行了研究。

此外，我们还必须研究宇宙诞生时的温度。摄氏零度相当于绝对温度 273 度（记为 273K），不过对于一万度、十万度的高温来说，使用摄氏温度也罢，绝对温度也罢，几乎没有差别。所以从现在开始，我们只使用绝

对温度。

诞生时的宇宙是个无比炽热的火球，温度高达 10^{32}K （1 亿度的 1 亿倍的 1 亿倍的 1 亿倍），它是有史以来所有物理学领域中存在过的最高温度，与它相比，核聚变或氢弹爆炸所产生的高温显得根本不值一提。

由伽莫夫创立的大爆炸理论指出：宇宙从如此不可思议的高温开始，发生了大膨胀。过去相当长的时期里，人们采用的宇宙模型是：象爆炸一样，‘普通地’越变越大。

超光速的急剧成长！

前面说过，宇宙最初时只有巴掌般大小。随着宇宙论的发展，最新研究表明宇宙在刚诞生时应该更小，说出来会吓你一跳，只有 10^{-35} 米！或 10^{-33} 厘米——1 厘米的 1 亿分之 1 的 1 亿分之 1 的 1 亿分之 1 的 10 亿分之 1，我们称之为普朗克长度，因为它与量子力学理论的核心普朗克常数 h 的数量级相同。

让我们遵照关于宇宙爆炸的最新理论再描述一遍当时的情形吧！宇宙诞生后 10^{-44} 秒，真空的相变——突如其来的空间秩序的重新排列——引发了大爆炸。此时的温度为 10^{32} 度。稍后在 10^{-36} 秒时（无论 10^{-44} 秒还是 10^{-36} 秒都是极其短暂的一瞬，用‘稍后’一词并不准确，但是我们实在找不到贴切的词汇，只好不得已而用之了），温度为 10^{28} 度，宇宙的膨胀速度急剧地加快、远远超过了光速。相对论告诉我们光速是客观世界里最快的速度，但是在宇宙开天辟地时，这个结论并不适用。

此时——后来的研究表明——出现了各式各样的宇宙。异常的急剧膨胀也许有些像在爆发了严重通货膨胀的国家里，印钞机日夜不停地猛印钞票的情景，我们把它叫做‘暴胀’。暴胀从 10^{-36} 秒持续到 10^{-34} 秒，它起因于真空性质的变化。暴胀也叫第二次相变。随着体积的急剧膨胀，温度由 10^{28} 度迅速下降，暴胀结束时，宇宙温度为 10^{27} 度。

暴胀使宇宙增大了 $10^{29} \sim 10^{30}$ 倍（1 亿倍的 1 亿倍的 1 亿倍的 1 百万倍），在暴胀过程中出现了黑洞宇宙和白洞宇宙。

图 3 - 4 暴胀的宇宙

关于宇宙的暴胀模型，我们做了一番仿佛亲眼所见般的描述。当初真的发生过那样的事情吗？或者干脆问：为什么必须持那样的看法呢？伽莫夫的大爆炸学说已经足以令我们吃惊了，难道还觉得不够，我们还必须接受在宇宙创生的瞬间发生过急剧膨胀的假定？

在伽莫夫提出大爆炸论之后，科学家们从各个角度进行了研究，在详细的计算过程中发现：用伽莫夫模型（开始发生了大爆炸然后就那么膨胀下去）解释不了的事情越来越多，层出不穷。

为什么暴胀？

让我们抛开繁杂的数值，用弗里德曼模型设想一下宇宙的初始状态。弗里德曼在相对论问世后不久求出了引力场方程的解，结果表明：如果宇宙空间的密度（一定体积内的质量）较大的话，宇宙将收缩；反之，宇宙将膨胀。

对于现在所看到的宇宙，我们有理由认为在目前的低密度下它将单纯地膨胀下去（虽然数百亿年后宇宙很有可能转入收缩状态），可以说：宇宙现在处于非常稳定的状态。但是，对于诞生后 10^{-43} 秒的宇宙来说，如果它的密度大于某个值（哪怕仅仅大一点），今天它应该收缩得更小；如果它的密度小的话（哪怕仅仅小一点），宇宙的膨胀速度就将过快，使得星云以及银河等统统烟消雾散，到今天什么也剩不下。所以，如果用正统的大爆炸（不含暴胀）观点去分析的话，出现今天这样安定的宇宙的概率微乎其微。期待几乎为零的小概率事件的发生，就如同把获得彩票的头等大奖列入家庭的经常收入一样地不切实际。

但是，引入暴胀概念后，原先如同老人的皱纹一样分布不均匀的物质密度就会在一瞬间被扯平，结果，物质在所有的方向上全都均匀地扩展开来。科学家们称之为宇宙初期的平坦性，计算表明，它的结果将形成今天这样的宇宙。日本的佐藤文彦和美国的阿兰·古斯等人指出：为解决宇宙初期的平坦性问题，有必要使用暴胀概念。

暴胀学说还有许多存在的理由。例如，从四面八方传到地球的宇宙背景辐射等信息为什么都相同呢？从任一方向以及其相对方向上传来的信号都好象‘事先商量好了似的’，强度完全相同。假定一方是 50 亿光年远处的 A 点、另一方是相对方向上 50 亿光年远处的 B 点，两点进行联系要发出同样的信号，联络本身就得用掉 100 亿年，因此，我们只能认为这些辐射源是宇宙开天辟地时的产物。它们向外界‘播放完全相同的消息’，而且在各个方向上完全对称的观测结果只能解释为‘所有的消息均出自一处’。最初只有一个处于中心信息源的小宇宙，它以远远超过光速的速度扩散向四方，从遥远的天际向地球发来了相同的信息，我们只能这样解释。基于这些理由，我们才不得不做出了‘宇宙中发生过暴胀’的结论。

暴胀之后

暴胀结束后，宇宙开始了通常的大爆炸膨胀。从宇宙诞生起（其实根本来不及测量） 10^{-11} 秒后，第三次相变发生了。这时的温度为 10^{15} 度（1 拍度），宇宙的大小为 1 千万公里——大约 30 光秒，该尺度比现在的月地距离（1.3 光秒）稍大，但比日地距离（8 光分）小得多。第三次相变对于解释自然界中存在的‘力’的分离过程至关重要。

终于（？）到了诞生后 10^{-4} 秒（1 万分之 1 秒），此时宇宙开始了第四次相变，温度为 10^{12} 度（1 太度），与最初时相比，冷却了许多。第四

次相变也是最后的相变，它又被称为夸克·强子相变。

说到夸克，现代物理学认为 6 种夸克与 6 种轻子是构成物质的最小单位。两个夸克可以结合成一个介子，三个夸克可以结合成质子、中子等重子，介子与重子统称为强子（它们都是由很强的力结合而成的粒子）。

在第四次相变发生前，夸克赤条条地（单独地）四处飞来飞去。以目前的条件，即使用最大的粒子加速器也不能从中子或质子里分离出单独的夸克，根据理论计算，把强子分解成自由夸克至少要 1 太度以上的高温。所以随着宇宙的演化，在第四次相变中当温度降到了 1 太度以下时，夸克失去了自由，组成了强子。也就是说，在宇宙诞生后大约经过 1 千分之 1 秒的时候，裸夸克的身影消失了，宇宙成为只有基本粒子的世界。

一旦出现了质子、中子或介子，其后便尽是我们所熟悉的物理学知识了。宇宙诞生 3 分钟后，温度降到 1 吉度左右，质子与中子开始结合成原子核。

此后大约 10 万年左右的这一段时间里——尽管从人类的感官来看，‘这一段时间’相当漫长——宇宙的温度从 3 亿度降低到 3 千度左右。大家都知道，原子在 1 万度以上的高温中将无法维持其原有形态，虽然原子核仍然相当稳固，但是已经维持不住核外电子了。原子核将与电子分离开来形成所谓的等离子态。

图 3 - 5 随着温度的下降而失去自由的夸克

当温度继续下降到大约 3 千度时，核周围聚集上电子形成了原子。在此以前的高温时期，电子在空间中四处飞舞，光与之发生碰撞被散射，因此谁（当然是谁也没有了）也无法用光来推测宇宙的样子。但是在宇宙诞生 10 万年以后，电子被吸附在原子核周围，在空间里横冲直撞的电子数锐减，光终于能够不受干扰地沿直线行进了。电子‘垃圾’的消失使宇宙得以澄清，我们称之为宇宙的‘放晴’。从垃圾的缝隙里泄漏出来的光则构成了彭齐亚斯和威尔逊所发现的宇宙背景辐射。

在 10 万年时的放晴是宇宙演化的最新段落，从那以后它就一直以大爆炸后的余势膨胀至今。于是，宇宙的膨胀终于在 150 亿年之后被地球上的哈勃所确认。

诞生 10 万年之后，宇宙中物质分布的涨落（在空间上分布的不均匀性）很大，在密度高的地方氢原子开始汇聚成群，渐渐演化成星系、星团。在广阔的宇宙中，最早是氢、氦等分子的形成，物质在万有引力作用下一部分一部分地聚集起来，从宇宙开天辟地后 10 万年到 150 亿年后的现在，经过漫长的演化形成了我们所见的满天繁星，这样的想像大概不难被大家接受。

如果说银河起源于宇宙空间各处物质分布的涨落的话，那么在遥远的往昔（开天辟地之际），不是说曾经出现过许多宇宙吗？……这类疑问，

不禁涌上我们的心头。很多专家对此提出了各自的见解，霍金就是其中的一位，笔者将在稍后的章节里详细地介绍他的理论。

最初存在过相互作用？

宇宙的诞生以及演化的过程决不只是宇宙物理学的研究课题，在物理学的另一个重要领域——基本粒子物理学中，随着研究的深入，也不可避免地追溯到了宇宙创生的时候，微小的基本粒子研究竟然牵涉到了广大的（虽说诞生时也很微小）宇宙。今天，基本粒子物理学和宇宙物理学如同小车的两轮一样构成了人类对自然界最终奥秘的探索，它们的意义十分深远。

所谓基本粒子理论，顾名思义就是研究把物质不断分割下去最终将得到什么的学问。现在的观点认为，6种轻子及6种夸克是构成世间万物的最小物质单位。让我们在这里更进一步深入地（也许应该说是更唯心地）做一番思考。我们必须首先见到某种粒子然后才能够承认它的存在；用肉眼难以辨认的，使用显微镜去观察；用显微镜也观察不到的，则用云室或气泡室通过飞行的径迹来确认，就像飞机在高空飞过后留下的白烟一样，粒子与过饱和水蒸汽相碰撞（相互作用）会产生小水滴，光被这些小水滴散射到眼里与视神经发生相互作用，就可以被我们感知。如果没有相互作用，我们就不可能认识任何对象。避开哲学的、转弯抹角的说法，干脆痛快地说来就是：没有相互作用与不存在世间万物两种说法完全等同，所以，‘自然界最初存在过基本粒子’也就等同于‘最初存在过相互作用’。大家也许会觉得‘因为存在着粒子，所以才有粒子间的相互作用’这样理解似乎更自然些，但是，反过来去考虑‘正因为有了相互作用，才使粒子的存在得以承认’才是正确的思路。

关于相互作用，笔者在这里不打算讲述基本粒子论，只把结果告诉大家。按由强到弱的顺序写出来就是

强相互作用

电磁相互作用（中间力）

弱相互作用

引力

一共4种。虽然最近出现了还有第五种力的说法，但是有关第五种力还没有得到证实，充满疑团。在本书中，我们遵循主流的观点，只考虑四种力。

强相互作用把质子与中子紧密地结合成原子核，熟悉核力的朋友还知道：在介子的媒介下，质子与中子结合在一起，所以可以把强相互作用看作介子与质子等的结合……。不过这种说法已经过时，今天，我们已经弄清了夸克的行为，在介子与质子或中子之间发生着夸克的交换。乍一看好象是介子在作媒介，然而真正移动于粒子之间的是夸克。

所以，我们把强的强相互作用理解为发生在夸克之间的作用力。

电磁相互作用是我们身边最常见的、发生在带电粒子之间的作用力，

它的媒介是光子——构成电波、热辐射、可见光、X射线、射线的粒子。说到身边，也许有人要问：我的身边确实有很多电器，但是也有很多其它东西，能说全部都是电磁相互作用吗？答案是：是的，可以说全部都是。

固体是大量原子或分子组成的具有一定形状的存在形态。固体之所以能够存在是由于相邻原子之间的电子以各种形式（共价键、金属键、离子键、范德瓦尔斯键等等）结合在一起的缘故。即使是似乎与电毫不相关的物质也是由于构成它的原子中电子的结合而形成的，人的身体之所以能长成这个样子，也是因为原子在电子的结合力作用下组成了大的有机分子，有机分子又在电子的作用力下组合成手、足和躯干。总之，生物之所以能保持生物的形态并具有生物的机能，全得归功于原子核周围的电子。电磁相互作用（当然其它相互作用也不可或缺）使人类得以在这个世界上生存，这么说并不过分。

我们比较一下 与 的强度。在化学反应中，平均到每个原子或分子上的能量大约为 1 电子伏特（ 1.6×10^{-19} 焦耳）；而原子核的破碎或聚合的能量需要用百万电子伏特来表示，可见强相互作用与电磁相互作用在强度上相差十分悬殊。利用石油、煤炭发电依靠的是电磁相互作用，而利用原子能发电依靠的则是强相互作用。

还剩两种力

关于弱相互作用，可以举出中子衰变成质子的反应，虽然在我们的日常生活中不容易找到它的例子，但是在物理教科书里它还是经常出现的。

弱相互作用广泛存在于基本粒子的变化过程中，它的强度是电磁相互作用的 10 万分之 1、强相互作用的 1 千万分之 1。

温伯格和萨拉姆提出中间玻色子是弱相互作用的媒介子。1983 年，意大利实验物理学家卢比亚率领他的研究小组，利用欧洲核子研究中心（CERN）的位于法国与瑞士国境上的大型加速器，成功地找到了中间玻色子。

与前三者相比，引力的引力要弱得多得多。当我们用力扔出一块小石子时，与此行为有关的是质量以及重力（引力）。我们平时所说的‘力’几乎都是四种相互作用中的第 1 种——引力。这种我们最熟悉的力与其他三种力相比，难道真的那么不一样吗？

确实……真的那么不一样。

当两个质子接近时，将出现电荷的斥力，这是第 2 种的电磁相互作用；同时在两个质子之间还存在万有引力，即第 1 种的引力。万有引力只有在 一方为地球那样的大质量物体时，另一方的我们才有轻重之感。所以，基本粒子之间的万有引力（起因于质量的力）实在小得可怜。来源于质量的力与来源于电磁的力相比，小得令我们无法想像。

通常力学上所说的‘重量’其实指的都是质量。质量互相吸引。从人类的日常生活到天体之间都离不开由于质量的集中而产生的引力。另一方面，大家都知道电荷有正负两种。由于内部的正负电荷互相抵消，物体表现出中性。所以在日常生活中——电器制品除外——电磁力很难表现出来。为什么电荷有两种，而质量却只有一种呢？这又是物理学家们必须解开的一个谜。

爱因斯坦的宿愿

我们在进行有关宇宙诞生的说明时，途中插进了基本粒子理论所研究的四种相互作用的介绍。从某种意义上说，介绍四种相互作用这件事本身就表明了宇宙学的发展。

也许有夸大话题之嫌，请大家思考一下如下的问题：自然科学是什么？物理学又是一门什么样的科学？应该怎样去看待它呢？

下面这个例子或许应该归入化学的范畴：氢、碳、金，它们的不同之处是什么？它们最重要的区别是什么？……有人也许会说：这三种东西的存在形态不同、软硬不同、导电性不同、价格不同……这样的回答没有什么意思，因为类似的不同点太多了。三者都是由原子组成的，氢原子核中有 1 个质子、普通的碳原子核包含 6 个质子和 6 个中子、在金原子核中有 79 个质子和 118 个中子，在它们的原子核外都有与质子个数相同的电子……。这样去回答才最科学、最严谨。金原子中的质子与氢原子中的质子是同一种东西，这三种看上去性质完全不同的元素不过是质子与中子的个数不同罢了……。透过现象看到本质，才是成功的研究。所谓科学就是要用这样的方法去分析事物解决问题。

物理学所追求的是，最基本的粒子到底有几种？答案是：6 种夸克和 6 种轻子。不过，如同前文所介绍的，与粒子本身相比，它们之间的相互作用更能反映本质。所以，当今物理学的最基本的课题是，能不能把看上去有四种的相互作用统一到同一种起源上去呢？按照这一思路，许多理论物理学家们正在从各个角度研究这四种力，寻找它们的相似或相同之处，试图最终把它们归结为同一种力在不同情况下的表现。

历史上第一位考虑到上述问题的人是爱因斯坦。在完成广义相对论之后，他开始了将电磁力与引力统一为一种概念的尝试，这项工作一直持续到他的逝世。

万有引力的公式与电磁力的公式非常相似，都是平方反比律，只是力的来源不同，一方是质量，另一方是电荷。既然它们的公式如此地相似，那么力的起源也不应该不同，无论是引力还是电磁力，似乎当然能用同一个公式来表达。

爱因斯坦，这位建立起超越一般人的想像的相对论的巨匠，从 1933 年来到美国的普林斯顿开始，直到 1955 年 76 岁时逝世，始终致力于将电磁力与引力统一描述的研究。为了消除这两种力的差别，爱因斯坦费尽了心力。

虽然爱因斯坦进行了许多的类比研究（比如类比电磁波预言了引力波），但是遗憾的是，他的研究没有获得成功。爱因斯坦执着地试图统一的是前文介绍过的与两种力，后来人们批评说应该首先调查与甚至与的关系。爱因斯坦常常挂在嘴边的‘统一场理论’一词至今仍在使

用，不过含义已经发生了变化，指的是将 电磁相互作用与 弱相互作用相统一的理论。

如今，统一场理论已经由温伯格和萨拉姆完成，把夸克的相互作用也统一进来的理论被称为大统一理论。以大统一场理论为基础，再把引力也包括进来的尝试被称为超引力理论。从基本粒子理论出发去逼近超引力理论，似乎是绝望的（据说需要一台宇宙大小的环状带电粒子加速器！）。关于大统一理论的研究，正在热火朝天地进行。

图 3-6 75 岁生日时，爱因斯坦接受了
以他的名字命名的医学院的模型

匆匆忙忙的描述

本章回顾了宇宙诞生时的情景，并且从此引出了有关基本粒子理论核心问题的各种相互作用的介绍。那么，对于各种相互作用，大统一理论以及超引力理论真的存在吗？理论上的东西……实际上曾经发生过那样的现象——我们的愿望如此。但是，那些现象在现在的宇宙空间里是不可能发生的。要想把相互作用看成是来自于同一起源的话，就必须假定存在能量非常非常高的粒子，在这个假定下，我们只能想到宇宙刚刚创生时的原始火球。

为了介绍基本粒子理论，我们追溯到宇宙的初创期。 10^{-44} 秒以及 10^{32} 度等极端的数字，从某种意义上来说，是从统一原理出发倒着推算出来的。

让我们以力的分离为主要目标再来分析一遍宇宙的创生。本应该从现在出发倒退回过去——宇宙的温度越来越高、四种力依次统一……。为了避免出现混乱，我们仍按以前的方式从诞生开始按时间顺序来进行。

第一次相变 10^{-44} 秒后 10^{32} 度

从宇宙诞生到此前，力没有任何区别，只有一种原始力。这时，引力首先分离了出来，因为引力分离得非常早，所以它与其他力相比，才显得很不一样，特别是在强度上相差甚多。

第二次相变 10^{-36} 秒后 10^{28} 度

这时，强相互作用分离了出来。以前夸克与轻子都在散乱地自由飞舞，现在两者出现了区别。暴胀发生了，粒子与反粒子相碰撞、湮没为光子。此时正粒子的数目略多于反粒子，因此后来剩余的正粒子才组成了世间万物。

第三次相变 10^{-11} 秒后 10^{15} 度

这时，弱相互作用分离了出来。在第三次相变后，四种力都已经形成。

第四次相变 10^{-4} 秒后 10^{12} 度

这时已经没有力的分离，在这次相变中，自由飞舞的裸夸克们被禁闭了起来，从此在宇宙物质中只能找到现在的基本粒子了。

上述的一切均发生在极其短暂的一瞬间，初次听到这番介绍的人大概会在惊异之余流露出怀疑的目光。但是，如果不这样想像，我们就无法解释今天所面对的自然界中的‘力’。

在人们经常用悠久之类的词汇所形容的宇宙中，力竟然形成于说时迟那时快的短短一瞬间。

开天辟地时，只有 10^{-33} 厘米的小宇宙，只有 10^{-44} 秒的时间。时间在我们的主观印象中似乎是无限可分的，但是物理学的研究告诉我们：不存在比 10^{-44} 秒更短的时间（的现象）。

与其说不存在，不如说这是人类智慧的极限。

第四章 一切均从量子力学的时间开始

不确定性原理

艾萨克·牛顿认为光是由微粒组成的；而荷兰人惠更斯却受运河水面上扩展的波纹的启发，提出了光的波动说。

后来，费尔内尔、杨、傅科等物理学家通过实验证实了波动说。但是，如果只把光看成是波的话，就无法解释光电效应（光照射到金属表面时，从金属中逸出自由电子的现象）。必须把光看成是具有一定能量的弹丸（微粒），才能使计算结果与事实相吻合。

本世纪初，原子构造的秘密被揭开了，科学家们发现：只有将围绕原子核的电子的能量设想为不连续的、跳跃的值，才能解释原子发出的光的波长。

进入 20 世纪以后，一件崭新的、用经典物理学无法预料的事情开始出现了。第一次世界大战战事正酣的时候，在中立国丹麦出现了一位名叫玻尔的物理学家，他提出了适应于时代的物理学新理论。

玻尔的理论后来被称为旧量子论，该理论不过是以牛顿力学为基础加上一些附加条件，将连续的物理量（如热和光等）改成量子化的量罢了。

第一次世界大战结束后，欧洲终于恢复了平静，然而既不是在战败国德国，也不是在战胜国英国，而是在它们中间的哥本哈根聚集了一群充满朝气的物理学家。德国的海森堡、瑞士的泡利、英国的狄拉克等人都投师于玻尔的门下，他们共同完成了新的量子力学理论。不确定性原理可谓量子力学的基石。

所谓不确定性原理是海森堡于 1926 年至 1927 年间提出的微观世界的基本法则。对于原子或比其更小的电子等粒子，如果我们精确地测量了它的位置 x ，就无法测出它的动量 p （粒子的质量与速度的乘积）。如果一方的测量准确度为百分之百的话，那么另一方的测量准确度就是零。

作为妥协，我们允许位置 x 存在一定的误差，记为 Δx （读做德尔塔，用来表示误差的大小），相应地动量的误差记为 Δp ，两者都有一定的含糊程度。海森堡指出：两个误差的乘积与普朗克常数 h （以第一个提出量子概念的普朗克的名字命名）的数量级相同，写成公式就是 $\Delta x \cdot \Delta p \approx h$ ，不确定性原理揭示了这两个误差的相互关系。

式中使用了约等号，原因在于误差范围（ Δx 、 Δp 的大小）的定义方法的不同会使结果发生一些变化。例如：可以把粒子存在的概率限定在 0.5 以上，也可以把 Δx 的范围放得更宽，各种定义因人而异。有些书中只给出了两个误差乘积的上限，使用的是小于等于号。

普朗克常数为 $h=6.6 \times 10^{-34}$ 焦耳·秒。

图 4 - 1 海森堡（左）和玻尔（右）
（摘自《海森堡的思想和生涯》）

有的读者会问：在物理学书上常常看到不确定性原理的公式，它的作用到底是什么呢？下面我们来举一个例子。

固体由数不清的原子规则排列组成，这些原子都在一个狭小的空间里振动着，这种振动——叫做晶格振动——在温度升高时变得剧烈，反之当温度下降时趋于缓和，振动的强度与绝对温度成正比，如果温度下降到绝对零度（摄氏零下 273 度）的话，原本整齐排列的原子就将全部无声无息地静止下来。世界上不存在比绝对零度更低的温度，温度是微观粒子运动的宏观表现——触到原子振动剧烈的物体时，我们会感到烫手——绝对零度下，所有的东西都将完全静止，世界将是一片死寂。

但是事实并非如此，不确定性原理指出：即使在绝对零度下，运动也不会完全停止。

固体中的原子都被局限在狭小的（1 埃，即 10^{-10} 米）区域之中，可以说原子的位置是比较确定的， Δx 较小，因为 h 是定量，所以 Δp 就会较大。因为原子形成了固态的结晶，所以它应具有相当大的动量。

动量的平方除以质量再除以 2，就是动能 $\frac{(\Delta p)^2}{2m}$ 。也就是说，局限于狭小空间里的原子将不容否认地具有一定的动能。该动能与温度无关，是原子本身所固有的。我们称之为零点能。

通常习惯用 ν 表示原子的振动频率，零点能等于 $\frac{h\nu}{2}$ ，它与原子的质量、振动时的弹性系数无关（不过， $\frac{h\nu}{2}$ 仅仅是一个方向上的能量，由于结晶中的原子是在 3 维空间里运动的，所以实际值应该是它的 3 倍）。

因此，原子振动的能量不是 $h\nu$ 的 0 倍、1 倍或 2 倍……，而只能是 $h\nu$ 的 $\frac{1}{2}$ 倍（好像单位的年终奖金，这个数是每个人都至少能拿到的最低奖金）、 $\frac{3}{2}$ 倍、 $\frac{5}{2}$ 倍、……。

确确实实的理由

不确定性原理要求我们重新认识根据经典理论得出的绝对零度下能量为零的结论，所谓量子论就是用量子的眼光看待世上的万物，即使在绝对零度下能量也不会变成零。在相对论里，时间 t 是继三维空间的位置之后的第四维。在分析力学里，继动量（它也有 x 、 y 、 z 三个方向）之后的第四维是能量。时间与能量之间也成立不确定性原理，用 t 、 E 分别表示它们的误差范围的话，就是

$$t \cdot E \sim h。$$

这个公式是不确定性原理的第四维表述。

量子力学教科书在一开篇就告诉我们：原子内电子的能级是确定的不连续值。围绕原子核旋转的电子，其轨道半径越小，能量就越低，当电子由外层轨道跃迁到内层轨道时，能量的差额就以光的形式放射出来。教科书还教给我们，光谱上的亮线对应于原子内的电子跃迁。

不仅是有关原子的问题，关于箱子里气体分子的动能，过去也一直认为它的值是确定的，并以此为基础进行各种计算。但是，如今出现了不确定性原理，能量的大小不再是完全确定的了，而是存在 E 的模糊程度。这一切的确使我们感到不适应。

物理学通常所研究的多为恒稳态的情形。所谓恒稳态指的是无论经过多长时间，该状态永远保持不变。小提琴的弦在振动时，不动的地方（节点）永远不动，振动最强的地方（波峰）始终振幅最大。原子核周围电子的轨道也总是确定的。恒稳态的例子多得举不过来。非恒稳态的研究难度就大多了，很难总结出非恒稳态的物理规律，一般的教科书很少涉及这个范畴。

恒稳态现象不随时间变化永远处于同一状态，也就是说，时间的范围 t 是无限大。在这种情况下，因为一切都没有变化，所以等同于说时间已不再存在了，依据不确定性原理， E 就非常非常小，能量成了确定的量。量子力学的研究对象有很多是恒稳态，因此在这些场合里能量是确定的值（量子力学称为能量固有值），而不是有一定模糊范围的量。

介子的魔力

在恒稳态问题中，能量是确切的量，初学量子力学的人总是难以摆脱习惯思想的影响。根据测不准原理，当时间的间隔很微小时，能量的变化就会变得非常显著，能量就有可能出现在一无所有的地方。汤川秀树提出的介子就是这样的典型事例。

汤川认为，介子从原子核中的质子或中子飞出，然后被其他的质子或中子吸收，这种机理使核子（构成原子核的粒子）紧密地结合在一起。

科学家们精密地测量了原子核的质量，发现它几乎等于质子与中子的总质量。我们知道，粒子结合时会放出能量。因为能量就是质量，所以结合后的质量应该略小于粒子质量的总和，我们称之为质量亏损，尽管这个差远远小于原子核的总质量。

汤川的介子质量大约为质子质量的 9 分之 1。如果在原子核里真的存在这样重的粒子的话，就会造成严重的影响，原子量（基本等于原子核的质量）将会乱套，因为化学书上所记的原子量都不包含介子的质量。

科学家们把介子看作是由不确定性原理推导出的能量（根据我们熟知的公式 $E=mc^2$ ，能量与质量在本质上是一回事）。

介子的存在时间等于光通过原子核所需的时间，大约为 10^{-24} 秒。从不确定性原理的公式可以推算出，这时能量的不确定性 E 为 10^8 电子伏特，换算成质量大约为电子质量的 2—3 百倍。虽然元素的原子核质量各有其确定的值，但是，按照量子力学的观点，只要时间足够短暂，就可以认为存在足够大的能量或质量。

图 4 - 2 在哥伦比亚大学讲学的汤川秀树

从“无”开始的大膨胀是怎样发生的？

量子力学是研究微观世界的科学，很难相信它竟然会与宏观的宇宙发生关联。然而，当代宇宙学的研究涉及到了异乎寻常的短时间，所以在有关宇宙创生期的研究中，量子力学发挥着巨大的作用。

能量守恒定律指出：在一个不与外界发生作用的系统中，能量的总和是不变的。能量守恒定律似乎是物理学乃至所有自然科学的金科玉律。但是，量子力学却不客气地抛开了这些传统的固有观念。根据不确定性原理^作，在从宇宙诞生到大爆炸开始的 10^{-44} 秒的时间里，能量为介子质量的 10^{21} 倍，即 1 太倍的 10 亿倍。

宇宙起源于无，巨大的能量是怎样从无产生的呢？当然，宇宙初期的真空状态到底是什么？至今仍然是深奥的谜。在那个不可思议的短暂时期，所谓的真空的实体是什么？用现有的知识还不可能完全地解答。不过，根据不确定性原理，从无迸发出巨大能量决不是什么矛盾的事情。

被禁闭的能量膨胀形成大爆炸、特别是大爆炸开始时的暴涨。被禁闭的能量处于极不安定的状态，这一点可以用量子力学来说明。

洗脸盆里的水，只要水面低于盆边就不会溢出来。然而，量子力学指出：被禁闭的物质能够越过（越过一词似乎有些不妥，应该说是穿过）高墙跑到另一侧去。这叫做隧道效应。水的例子过于经典了，想像微小的物质象雾霭一样地透过墙壁……。被局限在狭小范围内的宇宙能量终于在隧道效应下突破高高的城墙，引发了大爆炸。

^作 者在这里曲解了不确定原理。根据不确定原理，如果时间的不确定程度是 10^{-44} 秒，则能量的不确定程度约是 1010 焦耳，或说介子质量的 10^{21} 倍。但能量的不确定程度不是能量本身，如果书中的推理可以成立，那么，到了 10^{-34} 秒，能量就应该为 1 焦耳；……

黑洞的蒸发

宇宙创生后开始了大爆炸。 10^{-36} 秒时，发生了暴涨。此时飞散出无数的泡沫般的小宇宙，在它们的间隙中形成了特小黑洞。这些特小黑洞后来怎么样了？对此，霍金提出了在他的学说中最著名的黑洞蒸发理论。

黑洞作为恒星的归宿被人们挂在嘴边。黑洞虽然是广义相对论的结论，但是在爱因斯坦时代，如此高密度的星体是不可思议的。到了本世纪60年代，各种各样的观测结果使科学家们越来越相信黑洞是真实的存在。70年代后，随着宇宙学的蓬勃发展，人们又意识到黑洞不一定非要有多大，它也可以很小。在当时的宇宙学家们之间流传着这样的话：“有一个名叫斯蒂芬·霍金的年青聪颖的数理学者发表了令人震惊的黑洞蒸发学说。”

以前，人们认为黑洞一旦形成就只能越来越大（黑洞越大，视界的面积就越大，也就是黑洞的膨胀），而决不能缩小乃至消失。但是，一位在当时毫无名气的轮椅上的青年人发表的推翻常识的观点，令关注黑洞的物理学家们大吃一惊。

抑制病魔的气力

在介绍霍金的理论之前，让我们先认识一下他本人。

1942年，霍金生于英国的牛津，父亲是一位生物学家。霍金从小就树立了长大当一个科学家的理想，但是，他的学习成绩并不特别出众。在牛津念大学时，霍金当过赛艇运动员，他还十分喜欢音乐。从现在的霍金身上，我们很难想像到这些性格。大学毕业后，霍金到剑桥攻读研究生，在那里结识了同样学习数学和物理的罗杰·彭罗斯，彭罗斯年长霍金11岁，后来，他们二人在宇宙论的研究上既合作又竞争，取得了许多成果。

图4-3 斯蒂芬·霍金

然而，这位运动员在1962年20岁时，从中东旅行回来后，四肢突然出现了麻木、肌肉疼痛等症状，患上了一种叫做肌肉萎缩性脊髓侧索硬化症的疑难病症。这种病比小儿麻痹症可怕得多，开始是全身的肌肉和神经患病失去功能，最后侵入大脑和心脏。医生认为多数患者在发病后只能存活二、三年。但是，霍金没有向命运低头，自己想干的事情多得干不过来，没有时间去计较疾病，他以这样的气概压倒病魔投身于宇宙论研究之中，取得了一个又一个的成就。

1965年，霍金与在研究生院时就相识的简·伊德结婚，她在婚前很清楚霍金所患的疾病。如今，他们膝下有了三个健康可爱的子女。

患病8年后，28岁的霍金开始了轮椅生活，但他始终没有停止研究。1974年，霍金提出了黑洞蒸发理论，同年被选为英国皇家学会会员，该会的会员们多为功成名就的老者，霍金当选时年仅32岁，真可谓破格。41岁时，他就任剑桥大学的最高职务——卢卡西安教授，该职务是古代的牛顿以及现代量子力学创始人之一的狄拉克等大名鼎鼎的人物曾经担任过的最高荣誉职务。

1985年春末，霍金在京都大学的佐藤文隆教授等人的精心安排下首次访问日本，他用仅能做微弱动作的手指操作安装在轮椅上的电脑按键，再由助手或护理人员将电脑的显示变成语言，就这样，霍金完成了题为《论时间的方向》的讲演，听众为之大受感动（佐藤文隆在《揭开量子宇宙的奥秘》一书中全文介绍了这次讲演）。霍金的视力很好，极其讨厌周围的人所给予的超出必要的帮助。繁忙的工作和身体的障碍并没有阻挡住他，1990年秋和1991年6月，霍金又两次访问了日本。

真空中产生的磁石

话题又转回到量子力学上，霍金用量子力学从理论上解释了特小黑洞的消失。

以前的观点认为黑洞具有确定的视界，到达视界的所有物质包括电磁波都被吸入黑洞里，它是空间里绝对只有进没有出的地方。虽然使用的不是量子力学，霍金的好友彭罗斯曾经指出：如果黑洞带有自转的话，那么到达视界的物体并非一定被吸收，也有可能是在视界处被反弹回外界。

对于沿自转方向与视界成小角度飞来的物体，黑洞将把它吞没，获得该物体的动能使自己长得更大。然而沿着自转相反方向飞来的物体会怎样呢？因为引力不是指向球心而是指向自转的方向，所以该物体将阻碍黑洞的自转并抵消掉一部分自转的能量。在这种情况下，旋转的黑洞将把入侵者（整体或者一部分）反弹回去。

也就是说，由于复杂的原因，对于旋转着的黑洞来说，它的视界并不是一个把入射光完全吸收的面。彭罗斯指出了黑洞性格的复杂性。

这时，霍金的量子论问世了。彭罗斯的学说归根到底仍是一幅力学的或者说是经典的图象。必须用量子论的观点去分析所有的事物——这是霍金全部思想的核心。

前文曾经多次讲过，只要时间极其短暂，即使是在真空中也可能有能量存在。比如：在一瞬间里，从‘无’产生出某种粒子及其反粒子（因为能量和质量是一回事，所以有能量出现就意味着产生了具有质量的粒子），该过程转瞬即逝。这是遵循量子力学规律的现象。

话有些跑题。四五十年前，基本粒子物理学家们为了研究电子与光子的相互作用创立了场论这个工具。今天看来，只有得到完善的量子力学才是我们分析微观现象的唯一的、威力无比的武器。

不过，量子力学也不是万能的，棘手的问题仍然不断出现，其中之一便是真空空间的问题。以前，真空并不是宇宙论的研究对象，大小适中的中空容器就是真空的典型。

根据量子力学，真空中诞生了电子和带正电荷的反粒子（正电子），如果这两种电荷的中心相重合的话，就不会出现任何问题，普通的原子（只要不是在强电场中）都如此。但是，如果正、负电荷分离开来的话，就形成了电偶极子。我们可以把电偶极子想像为棒状的、分子大小的东西（有些分子，比如水蒸气的分子，本身就是偶极子型的结构）。不论大小只要具有偶极矩（两极的强度与距离的乘积）的东西都是偶极子。偶极子与具有N极和S极的磁石棒很相似。

真空中本来没有任何东西存在，但是却诞生了电偶极子，我们把这种现象叫做真空的极化。电子与正电子成对地大量出现，在它们的作用下又不断诞生了子偶极子、孙偶极子，使得空间里充满了偶极子，此时，空间

的极化率达到了无穷大。

在一无所所有之处出现了无穷大的极化率，常识看来无法理解的事情却是用量子力学认真推导出的结果。我们尽管感到困惑，却不得不接受它。量子力学本身也许有缺陷？带着这个问题，不少学者进行了检查，结果表明量子力学是如此的完美，几乎到了无懈可击的程度。无穷大的问题是场论中最令人头痛的问题。

图 4 - 4 空间里充满了偶极子

朝永振一郎精彩地运用了重整化理论，从无穷大中减去无穷大，得出了有限的值。朝永发现，只要将电子的质量（在原理上）看作是无穷大，就能圆满地解决极化的无穷大等其它的（无穷大）问题。对于电子的实际质量，朝永采用了实验测出的真正的值。

图 4-5 由于重整化理论而获得诺贝尔奖的朝永振一郎博士

只有反粒子被吞没……

量子力学是一门十分奇妙的科学，离开它，我们找不到别的能够如此精巧地解释微观世界的手段。量子力学的奇妙性使我们感到它的奇妙之处正是真实之处。

上一节讲了真空中的极化现象，霍金把该现象运用到了黑洞的周围——视界附近。在视界外面一点的地方，根据量子力学的规律，真空中会产生粒子及其反粒子，这些反粒子很可能被黑洞中的正粒子吸引，进而被黑洞吞没。本应是粒子与反粒子再结合消失恢复原状，但是在黑洞附近的特殊条件下，正、反粒子却被永久地分离了开来。

正粒子留在了外面，反粒子掉到了里面。因为反粒子的能量为负值，所以它将抵消掉黑洞的一部分能量，从而使黑洞的能量减少。如果这种事情不断发生的话，黑洞最后就会消失，减少的能量以粒子的形式飞散到了外部，类似于水滴蒸发成水蒸汽一样，霍金称之为黑洞的蒸发。

在宇宙的暴涨时期曾经出现过数不清的特小黑洞。根据几何学原理，球越小对应于单位表面积的体积也就越小。特小黑洞仅比普朗克长度稍大一点。由于表面附近粒子-反粒子对的创生，特小黑洞不断地蒸发，最终一个个地消失了……

那么，特小黑洞是否全部在宇宙中消失了呢？目前尚无法判断。如果在 150 亿年后的今天仍有特小黑洞存在的话，它的大小大概与基本粒子（ 10^{-15} 米）差不多。

在如此微小的体积里竟包含了 10 亿吨的质量。特小黑洞具有极强的引力，因此很难想像在我们周围有它存在。假设与地球相撞的话，特小黑洞可非同一般的陨石，它将把整个地球撞扁！

图 4 - 6 只有基本粒子大小的特小黑洞就足以把地球撞扁

如果特小黑洞经过太阳系附近，它很可能会改变行星的现行轨道。没准儿现在在宇宙的某一处，特小黑洞正在蒸发（或许用爆炸一词更加贴切）之中呢。

科学家们使用各种望远镜对天空进行了全方位的观测，遗憾地，没有找到特小黑洞的踪影。与宇宙的历史相比，人类的文明史毕竟十分短暂，认为在某一段短时间内‘一定能’找到某种现象的想法并不符合实际——自我感觉过于良好。

膨胀结束后的宇宙

以霍金为首的许多学者认为：虽然宇宙目前仍处于膨胀阶段，但是它将最终达到极限然后转入与现在相反的收缩阶段。在弗里德曼所预言的三种宇宙模型（无限膨胀、大小恒定、先膨胀后收缩）之中，第三种后半段缩小的宇宙模型似乎最为可信，不过它的条件是现在宇宙的平均密度必须大于某个值（临界密度），才能最终发生在引力作用下的收缩。宇宙的平均密度到底有多大？科学家们围绕这个问题进行了探索。

现在的宇宙中，除了天体、宇宙尘埃和宇宙射线之外是否还有其它的质量？科学家们碰到了这个难题。有一种观点认为，宇宙空间里飞散着的能够穿透天体的中微子（它是轻子的一种）拥有质量。该观点是当前多数科学家的观点。

在中子分解成质子与电子的过程中，必然有中微子产生。但是不知为什么，在高中物理教材的最后几页中虽然涉及到了衰变，却提也没提中微子的名字。也许是教材的编写者们认为中微子对高中学生来说有些过于深奥吧。

不管高中物理是不是教授中微子，大家都最好懂得在宇宙中四处飞散着中微子。那么中微子的质量是多少呢？以前的书里写的都是零，基本粒子物理学家们在作出中微子与光子一样质量绝对为零的断言的同时，感到了迷惑。中微子是一种相互作用极其微弱的粒子，我们对它的了解还十分肤浅。如果中微子拥有（哪怕是微不足道的一点点）质量的话，现在的宇宙密度就将增大许多，足以满足最终转入收缩的条件。

在考虑宇宙密度是否大于目前观测值的问题时，我们也不应该忽略黑洞的存在。虽说特小黑洞已经基本上蒸发殆尽了，但是，如果在宇宙空间的这里或那里还存留着特小黑洞的话，宇宙的密度也会大于推测值，从而满足收缩的条件。不过，在基本粒子物理学中，与特小黑洞相比，从事中微子研究的学者似乎更多一些。

特小黑洞到哪里去了？

用量子力学解释黑洞消失的理论是划时代的。在黑洞蒸发理论中，除去‘使用量子力学’之外，还要求黑洞必须很小。质量为太阳的数倍或数十倍的大黑洞再过 100 亿年、1 太年也不大可能消失。伽莫夫在介绍隧道效应时曾经夸张地比喻栅栏里的狮子有跑到外面的可能性，与这个例子相比，大黑洞的消失更加不可能。所以，霍金的蒸发理论与其说适用于现在倒不如说更适用于过去。在宇宙创生期曾经大量出现过的特小黑洞后来到哪里去了呢？霍金十分精彩地解答了这个疑问。

现在的宇宙大概既包含有大黑洞又在不停地膨胀。许多学者相信再过 100 亿年或 200 亿年，宇宙将膨胀到最大状态，然后在质量之间的引力作用下转入收缩。目前还说不清楚所谓转换期是怎么一回事，恐怕宇宙间的万物将处于极度的平衡之中（完全停滞不前的状态）。对某个国家或某个民族而言，所谓鼎盛期指的是最成熟的状态，兴许这种人文的过程与宇宙的自然现象有惊人的类似之处呢。

在宇宙的收缩期，众多的天体或许将沿着与膨胀期完全相反的过程去演化，最终与大爆炸完全相反地收缩于一点。这个过程名叫大塌缩。

膨胀期的相反过程是收缩期。有关宇宙现象的诸多预言会成为真的现实吗？遗憾的是谁也没有经见过。有的学者认为这两个过程完全不一样，先是成长期也就是现在我们所生存于其中的宇宙，然后是鼎盛期、衰老期。当然，宇宙不是生物，不能用青年和老年去划分，研究老化的宇宙是个难度很大的课题。

宇宙结局

霍金认为宇宙的结局是大塌缩，有关他的理论我们将在后面的章节里介绍。大塌缩理论认为，世上的万物，包括此时此刻静止于此地的、以光速飞行的或以其它各种速度运动的物体，它们的终点都是大塌缩。

因为我们无法画出包括时间在内的四维图，所以把空间假定为二维（ x 、 y 平面），表示时间的轴与之垂直，为了使各轴的单位均用长度来表示，用时间 t 与光速 c 的乘积作为纵轴。在该图上，从现在时间发出的各方向上的光将在 xy 平面上方形成一个 45 度的圆锥，我们称之为光锥。从现在时刻出发的所有物体和信息都在光锥内侧向上方运动，反之，从过去到达现在的所有物体和信息都是从 xy 平面下方的光锥内侧上来的。光锥图经常出现在有关相对论、宇宙论的读物里，利用它可以深入浅出地说明：只有在喇叭口的内侧的双方才能交换信息（或相互作用）。

光锥本身并不难懂，但是它的终点，也就是我们所在的宇宙的归宿是什么状态呢？

结局是到达视界上，光锥的前方只能是视界……按照霍金的说法，特小黑洞能够逐渐蒸发掉，但是对于大黑洞来说，量子力学就不太适用了。随着不断地吞没外界的物质，黑洞将渐渐地膨大，数百亿或数千亿年以后，宇宙空间里将充满了一个个的黑洞。

在我们今天所看到的由空间、天体以及由天体集合成的星系所构成的宇宙中，随着黑洞的影响范围的扩大，正常的空间逐渐被压缩，物体离视界越来越近，最后，整个宇宙被黑洞占满，演化到最终点的大塌缩。

但是，有一部分学者认为宇宙决不仅有一个。宇宙 A 中的物质被吸入视界后会怎样呢？用常规的力学观点来分析的话，它将在强引力场的作用下无限地接近中心，最终落入任何物理规律都不适用的奇点。

还有人认为：落入黑洞的物质的确无法摆脱强引力场的吸引，在不带自转的黑洞里，物质将径直落向中心；在带有自转的黑洞里，物质将绕着螺线落向中心；但是在下落的途中存在着叫做蛀洞的出口，物质将穿过蛀洞出现在另一个宇宙 B 之中（图 4 - 8）。

这些理论虽然还没有得到证实，但却不失为一种观点。如果暴涨真的产生过大量的宇宙的话，那么认为落入黑洞的物质能够在瞬间转移到其它宇宙中去的之间才能进行通信观点就不是毫无根据的胡思乱想。通向其它宇宙的‘那个出口’就是白洞，它与黑洞正好相反，是只向外界吐出物质的洞穴。

图 4 - 7 只有喇叭口（光锥）内侧的事物

图 4 - 8 光锥的尽头是视界。在视界处有

蛀洞连通着其他的宇宙 B、C、……。

t_A 、 t_B 、 t_C 分别是各宇宙的时间

白洞那样的东西真的、或者说是有可能存在吗？遗憾的是，除了占星师之外，无人能够断言，我们也从未听说过在宇宙的某处有个好象是白洞的东西之类的报道。黑洞的存在已经几乎得到了肯定，而白洞的真实性却仍然处于探讨阶段。读者也许会认为对待黑与白的态度有失公平，但是谁也没有办法。归根结底，问题的症结在于质量之间只存在引力，不存在斥力。

但是，抛开科学的根据不谈，不少人认为，黑洞的‘前途’就是白洞，世界一定是‘对称’的，偏袒一方的做法不妥当……。这种感觉使我们有些相信白洞的存在，再者说，被吸入黑洞中的那些物质最终怎么样了呢？它们都集中到了物理规律都不适用的奇点上的说法未免有欠科学。虽说黑洞内部是不可知的，但是我们还是希望能够掌握它的一些正经的规律。总应该有个结尾吧……

稍微守旧一点，从质量守恒的角度来分析，我们也会很自然地追问：消失在洞里的物质是不是转世到另一个世界上了呢？——虽说这样的问话带点宗教色彩。有黑洞就应该有白洞，有人干脆认为大爆炸开始时的微小的宇宙就是一个白洞。

人如果掉进黑洞就不会再保持原来的形状，人的身体将在强引力下化为夸克、轻子或能量（也就是光）。如果人有灵魂的话，也许灵魂能够从黑洞经过蛀洞穿出白洞，这样的想像也许最得当，似乎多少有点罗曼蒂克。这一切都是来自于量子力学所允许的最小时间的浪漫……

第五章 霍金的虚时间

奇点是什么？

1974年，年仅32岁的斯蒂芬·霍金发表了黑洞蒸发理论，其实早在4年前28岁时，他就曾经提出过膨胀宇宙的奇点定理：在宇宙的初创期不可避免地存在着奇点。

前文讲过，在通常黑洞的中心存在着奇点，在旋转黑洞的赤道上存在着环状的奇点。在介绍黑洞、大爆炸、大塌缩的读物里，‘奇点’这个陌生的名词频频出现。既别扭又难懂，难道就找不到其它的表达方法吗？读者们大概都有这样的抱怨。

但是，我们只能原样照搬地使用这个数学名词。所谓奇点，浅显易懂地说（也许笔者的解释并不浅显易懂），是一个非常奇特的点，它存在于黑洞中以及大爆炸的起始点、大塌缩的终结点。

前面讲过，在数学上当分数的分子为有限值，而分母变成零时，或者三角函数里的正切函数 $\tan x$ 当 x 成为90度时的值都是无穷大。当 x 从89度开始渐渐接近90度时， $\tan x$ 的值就无限地接近正无穷大；反过来当 x 从91度开始一点点地变小接近90度时，函数值将无限地接近负无穷大；当 x 正好是90度时，函数值（的绝对值）为无限大，无法判定其正负。数学上的奇点就是如此奇妙的点。

虽然简单地使用了无穷大，但是笔者个人认为这样的数在物理学里是不存在的……人们为了进行加减乘除开平方等各种数学计算，引入了分数、无理数、负数等等，但是无论什么数都不许被零除，在每一所学校里教师都这样严格地教导学生。无穷大只是嘴上说说而已，实际中从不使用。比如：我们说宇宙的大小为150亿光年，尽管极为广阔，但绝不是无穷大。

笔者认为，把数学套用到物理的现实世界时，所谓无穷大的数只是不得已而暴露出的不真实的数值。尽管是不真实的数值，如果它能够给我们带来方便的话，用之也无妨。

下面举个简单的例子。在物理问题中经常出现‘有个质量为 m 的点’之类的用词，质点是为了把力学问题简化而设想的非现实的点状物体，常有脑子好用且爱钻牛角尖的学生提出‘那个质点的密度是多大？’的问题，令教师为难，最合适的回答也许是‘不考虑质点的密度’。事实上正是因为所处理的问题不涉及密度，我们才放心地把‘质点’的概念引入力学之中。

在物理学里，对于（认真去分析的话）很奇怪的概念，只要我们不是直接地研究它，通常都采取默认的态度，这样的事例很多。当其影响不可避免时，则重新修正我们的思考方式。质点是力学中的约定俗成的概念。当我们分析发生在时空中的电子-光子相互作用时，也会出现刚才说过的无穷大的困难，该困难至今仍未得到完美的解决（或理解）。

奇点真的存在吗？

接下来我们要讨论的问题是霍金等人指出的宇宙的奇点。对于不带自转的黑洞来说，视界或者说史瓦西半径以内的任何物质（包括光）都不可能跑出来，它们都落向中心点。黑洞大概是密度极高的球状物体……我们很愿意这样去想像，但它也可能是由中子星进一步缩聚而成，仍然保持着天体的形状。总之，黑洞的形状无人知晓。

原因在于，谁也无法知道黑洞之中究竟是什么状态。从它的外面来想像，我们只知道中心的引力值是无穷大，所以不妨认为黑洞内部的质量全部集中在中心点上。

由于引力强的地方空间弯曲得也厉害，随着接近中心，弯曲程度也愈来愈激烈。假如在不带自转的正球形黑洞里，空间将一下子靠向中央（那里的情景很难打比方，也很难想像），并且急剧地弯曲起来。在任何曲线的任何部位上，只要取无限短的一小段，都可以将其视为某个圆弧的一部分，圆的半径越小，曲线在该处的弯曲程度就越大。

我们乘火车时，在转弯处的铁路旁边经常能够看到标有转弯半径的标记，列车的设计时速越高，所要求的最小转弯半径就越大。我们将半径的倒数（1除以半径）叫做曲率，曲率越大，曲线越弯曲。

图 5 - 1 蚊香的中心也是个奇点

新买来的蚊香是由二根盘成一片的，二根都从外缘盘向中心，由外向内，曲率越来越大。不过蚊香比较粗，如果是一根细线紧密地盘向中心点的话，在终点处曲率的理论值将成为无穷大，在到达终点前需要绕无数圈。

重要的是，在黑洞的中心引力为无穷大，空间曲率（谁也无法想像三维空间如何弯曲）也是无穷大，因此该点被称为奇点。

奇点是作为数学上的极限被提出来的，在现实世界里那样的东西是否存在呢？如果数学计算的结果令我们不得不承认黑洞的中心是奇点的话，落入黑洞中的物质在到达奇点之前或许经过蛀洞从另一侧的白洞飞了出来……这种解释也许能成立吧。

霍金的思想

彭罗斯和霍金以前的理论研究认为：宇宙始于大爆炸终于大塌缩，即宇宙从奇点创生并且终结于奇点。在奇点处物理定律失效，所以有关初始及终结的问题被排除到了物理定律的适用范围之外，但是对于从不回避实际问题的科学家来说，在感情上不能容忍奇点这样的超现实的东西。在数学上碰到奇点时，总是想方设法绕道而行，换句话说，绝对不承认分母为零的事情。大家可以从稍后的介绍看出，霍金的思想正是如此。

霍金为了调查宇宙从大爆炸到大塌缩的路径，使用了一种特别的数学手段——路径积分。

最先使用这种方法的人是擅长用画图的手段求解物理问题的美国物理学家理查德·费曼，他与朝永振一郎、施温格共同获得了 1965 年度诺贝尔物理学奖。当时朝永与施温格用数学公式完成了量子电动力学的理论体系，费曼用方便易懂的图解方法（横轴为空间，纵轴为时间）进行了同样的工作。

图 5 - 2 理查德·费曼

费曼图被广泛运用于物理学的各种领域，它表示了研究对象怎样从过去演变到未来，例如电子放出或吸收光子的过程，费曼用直观的视觉反映了自己的研究。

因此，某个物体从 A 地点（或状态）过渡到 B 地点（或状态）时，其中过程是怎样变化的即沿哪一条路行进的呢？费曼擅长用图研究这类问题。大家可能感到路径积分是先通过图进行分析然后再把分析过程数学公式化的方法。路径积分已经成为理论物理学的最重要的手段之一。

实际上，有关路径积分的计算是非常繁琐的，例如时间积分就有无限多种组合方法。下面的例子也许不一定适当，为了便于理解还是请大家一起来看一下。

路径积分指出光的路线

光在真空中（如果忽略引力的影响）沿直线传播。在空气中，由于各处空气的浓淡不同，光有时会弯曲，原因在于光在浓的空气里传播速度会降低。假如考虑从 A 地到 B 地的光总是选择所需时间最短的路径的话，当大气的浓淡分布非常复杂时，利用路径积分方法能找出其中的捷径。

如图 5 - 3，假定光从 A 地出发越过海湾到达 B 地，A 与 B 之间能够引出无数的连线，我们任取一条来计算光所需的传播时间，先求从 A 到它附近 A_1 点所需的时间、沿着连线再求从 A_1 到附近 A_2 的时间、再求从 A_2 到 A_3 的时间……如此类推，先分段计算最后求和。因为每一处的光速都不一样，所以尽管很繁琐但是却没有别的办法。由于是对 AB 间的路径求和，所以称为路径积分。为找出最短路径，需要将无数的路径积分进行比较。

实际上，科学家们使用了一种叫做变分法的数学手段，非常巧妙地求出效率最佳的一条路线，光将沿着该路线从 A 传到 B。海水温度低，贴近海面的空气比较冷，密度较高，而上空则比较暖和，空气密度也较低，所以光线实际上是从 A 出发沿着一条曲线到达 B 地的，海市蜃楼现象就是这个道理。

力学里也有类似的叫做最小作用原理的方法。在物理学的研究物质基本性质的分支——基本粒子物理学中，路径积分法是非常有效的方法。

图 5 - 3 路径积分的一例。在所有的路线里，
只有按实线传播时，光所需的时间最少

不过，适用于基本粒子论的路径积分必须符合量子力学的要求。量子力学原本就是把所有的可能性都加以综合考虑的理论，所以在 AB 间的任何路线上都存在光通过的可能性。霍金利用了这种数学手段，用量子力学的观点计算路径积分，分析了宇宙的路径——宇宙的演化过程。

为了消除奇点

彭罗斯与霍金起先也认为宇宙起始于奇点、终止于奇点，从现在的宇宙向过去追溯的话，总会到达‘再没有以前’的一点——奇点，后退的终点也就是宇宙时间的起点，在该点上，质量为无穷大、弯曲为无穷大、其它的基本物理量都是无穷大，令物理学家们无从下手。宇宙似乎确实存在着起点，但是，宇宙是怎么开始的？在开始之前是什么样子？一切都笼罩在迷雾之中。

这些奇怪的概念都是爱因斯坦的广义相对论的必然推论，使人感到很无奈。但是，霍金并没有因此放弃努力，他把量子理论用到路径积分里发展了原来的路径积分方法，提出了‘无境界’宇宙模型。霍金勇敢地否定了自己以前提出的奇点定理，找出了回避奇点这个数学疑难的方法。

不过，无境界宇宙也不是个一提就懂的概念。虽然时空不可分割，为了便于理解，这里只考虑时间，所谓无境界就是没有任何断头的意思，霍金的结论用另一种说法来说就是：任何时候都存在时间，即使在大爆炸之前或大塌缩之后也不例外。

霍金的宇宙模型是个象地球一样的球形，球的表面代表宇宙空间，北极点对应于大爆炸。宇宙从北极点开始，球的纬度对应于宇宙的大小，随着时间的推移，宇宙逐渐沿北纬 80 度圈、70 度圈、60 度圈……的方向扩大，现在是宇宙诞生后大约 150 亿年，大致相当于北纬 40 度附近，再过 100 亿年左右宇宙将膨胀到最大状态——赤道上，然后转入收缩，进入地球模型上的南半球，最后是大塌缩，即模型上的南极点。

用地球来打比方是为了便于大家理解，重要的是：不把北极点和南极点当作特殊的点。的确，从几何学的角度看，极点与表面的其它部分完全相同。当然，地球的南、北极是自转的轴，按照纬度的定义，它们分别对应于南、北 90 度。霍金的宇宙模型里的南北极没有任何特殊的构造。

霍金与哈特尔一起消除了大爆炸和大塌缩的宇宙奇点，用地球来比喻他们的模型再恰当不过了，无论是在北极还是在南极都不存在无穷大或者其它的特殊因素。

图 5 - 4 在霍金的宇宙里没有奇点

大爆炸之前的虚数时间

如果将宇宙比作地球的话，最初的大爆炸就相当于北极点，请读者容忍一下接受这个说法。霍金在使用路径积分法的同时把时间虚数化（关于虚数我们将在下一小节详细介绍），从而化解了时间的境界。各位一定会问，这到底是怎么回事？用地球作比喻的话，大爆炸以前的宇宙对应于哪个部位呢？难道存在比北极点更‘北’的地方吗？

答案是，用路径积分法确实能够使时间的境界消失，由于大爆炸以前的时间是个虚数，所以无法用图或模型来表示。这里又冒出来一个叫做虚数的讨厌的数学概念，使用数学武器求解物理问题时，难免会陷入这样的窘境。不管怎样，按霍金的办法去做的话，就会出现‘过去存在过虚时间’这样的事情，如果我们把过去看成虚时间的话，就可以不带奇点地‘平坦地’解释宇宙的初始与终结。

笔者绝对没有抬出虚数为难大家的意思，不过，在继续我们的话题之前有必要介绍一下虚数的概念以及它‘在实际问题中所代表的含义’。

不曾存在的东西……

平方后等于负1的数称为虚数，用 i 表示。 i 的3倍记为 $3i$ 、7倍记为 $7i$ ，它们都是虚数。1与-1的平方都是1，平方为-1的数原本是没有的，虚数是在‘如果有的话’的前提下提出的概念。由实数和虚数组成的数叫做复数，复变函数是专门研究复数的数学分支。

把不曾有的数当做仿佛真的存在一样地去研究，这样做未尝不可以。

我们再多举些数学味道更浓的例子，比如 $\arcsin 5$ （正弦值为5的角度）、 $\lg(-8)$ （-8的对数）、 $\frac{3}{0}$ （零分之3）等等，它们都是‘不存在的数’。引入 i 的概念以后，对 $\arcsin 5$ 之类的怪数也可以进行计算与分析，只要容忍 i ，就可以对其它的怪数置之不理，进行漂亮的数学处理。我们是不是对 i 太迁就了呢？

笔者建议对数学感兴趣的读者思索一下这个问题。如果您认为它不公平的话，就请您自己消除这种不公，创造一门新的数学分支。

只将虚数 i 数学系统化是有其充分理由的，复数可以适用于从加减乘除四则运算到微分积分的各个数学领域，‘可以不矛盾地数学系统化’。 $3 + 2i$ 与 $5 - 4i$ 的和是 $8 - 2i$ ，其它的演算也一样没有问题。虽说从现实观点看，初始的 i 本身是个奇妙的数字，但只要承认它的存在，其它方面就可以万事大吉。

有点象非欧几何的情形：只要承认‘通过一点可以画出一条直线及其平行线’的非欧几里德公理，就不会遇到其它的矛盾。不过非欧几何可以应用于球面，它具有实际的意义。

有人也许会问：假如把 $\frac{4}{0}$ 与 $\frac{3}{0}$ 之和定义为 $\frac{7}{0}$ 如何？当然这样的定义很草率。问题是其它的数学计算无法进行，如果对于除了 i 以外的其它不存在的数，数学法则也能够成立的话，数学家们应该早就把它形式化了。

所以人们引入了叫做 i 的虚数，它冠冕堂皇地进入了教材并成为数学家的研究对象。

实数就是一切

数学是以公理为基础、没有矛盾地拓展的理论，而物理学则是以自然界为研究对象的学问。由于物理学中常常定量地分析事物，所以大量地借用了数学家们所设定的数及其演算规律。不过，物理学家从未向数学家支付过专利费（或使用费），因为数学的发展很大程度上依赖于物理学的需要，两门学科相辅相成。现在的问题是，物理学怎样看待虚数 i 。

长度是最单纯、最直观的物理量之一，为了表达长度，人们定义了基本单位——1 米，因此有了物体的长度为 7 米、0.8 米等说法。32 千米也罢、2.734 米也罢，各种长度都有它的表达方法。

边长为 1 米的正方形，它的对角线长度约为 1.414 米，纯粹派的人士可能讨厌使用暧昧的近似值，那么说对角线长 $\sqrt{2}$ 米也无妨。对于时间、速度、质量等各种量，只要定义其单位，然后使用数字就能正确地表达量的大小。这里所说的数字指的是包括 $\sqrt{2}$ 这样的无理数在内的实数，换言之，物理学的研究对象和实数之间（借用数学家的话）是一一对应的关系，用全部实数能够完全地记述自然界，从这个意义上说，在物理学里不应该有虚数或复数的市场。

不错，在交流电理论中确实运用了复变函数，但那只不过是为了图方便，如果你不嫌烦的话，运用正弦、余弦等实函数也完全可以解决问题。

从现实问题出发很难理解复数（特别是一部分为虚数）所表示的量。我们很容易理解 3 个苹果的意思，当别人向你借 3*i* 个苹果时怎么办？毫无办法！教室的黑板到对面墙壁的距离是 12*i* 米、这箱桔子重 4*i* 千克之类的话，谁也没有听说过。

五花八门的解释

在经典物理学里，实数就是一切（虽然为了方便有时也使用虚数），但是在量子力学里情况就复杂多了。例如，在氢原子有一个电子，按照玻尔的旧量子论，电子是绕原子核公转的粒子，即，电子是个颗粒，它围绕着原子核旋转。经典力学的模型不难理解。

但是创立于本世纪 20 年代的新量子力学指出，应该把电子理解成是聚集于原子核周围的云团，电子不是一个颗粒，而是一团云。为了用数学公式描述这团云，就得使用复数，电子以及其它的微观对象都属于复数范畴，金属中的自由电子以及封闭箱子里的气体分子的状态原则上都要用复数来记述。因此，虚数已经大量地介入到了物理学之中。

虚数不是个不明不白的数吗？用它记述的对象是什么东西呢？量子力学认为粒子具有波的性质，数学上用波函数描述波的状态，然而波函数是个复数。

所谓复数波是什么样的波呢？无人能够画出它的图象。波函数描述的是对象物（原子或电子）的状态，而不是眼睛所看见的影象。人眼所能看到的是荧屏上出现的波纹状的痕迹——它对应于物体的能量的大小及变化。

波函数的确表示了粒子的存在位置，不过我们计算空间中粒子的存在概率时必须把复数平方（正确的说法是，复变函数与它的共轭函数相乘）后转变成实数才行。计算某个波函数所表示的粒子的能量时，我们通过求解量子力学的公式得出的是实数的能量值（在量子力学中称为本征值）。

这段文字或许令您费解，让我们再复述一遍其中的要点。用于描述粒子状态的波函数是由实数与虚数的和构成的复数，通过对式子进行变换一定能得出实数值，这种方法就是量子力学，我们把用量子力学公式求出的所谓各物理量的理论值与实验测量值相对比进行各种分析，虽然人无法看见复数所表示的东西，但是这样做并不矛盾。

量子力学真是妙不可言，测量数值是实数，而谁也看不到的状态却用奇妙的复数来表述。

那么，是不是可以认为复数所表述的状态是真实的存在呢？

例如，某个电子的状态用复数来记述，求解它的能量时，使用量子力学公式来计算得出了实数值，没有问题。结果没有问题能否说明其余一切也都没有问题呢？爱穷根究理的人（或形而上地研究问题的人）一定会拘泥于这样的困惑。

电子在被观测到之前，它的能量大小及存在位置均为不明，云一样存在的电子真的是个复数的东西呢？还是，因为我们对观测之前的事情一无所知，为了方便起见才使用了数学家创造的复数呢？电子的实体就是虚数呢？还是，虚数根本没有实体，使用虚数只不过是为了能够顺利地进行以

后的各种计算呢？

一场哲学争论好象开始了，关键的是，无论持哪一种观点都不会给以后的研究带来妨碍。物理学家们好象并不愿意过分深入地探讨这些纯哲学的问题。如果一定要说清楚的话，以玻尔为首的哥本哈根学派似乎持有粒子本身就是复数的观点，与此对立，对作为量子力学基础的‘不确定性’持反对意见的爱因斯坦等人则认为宇宙的根本是实数的东西，他们的真实思想，笔者无从知晓。总之，如果有一百位物理学家的话，大概就会有一百种对量子力学的解释……

四维的勾股定理

为了介绍虚数，笔者用了相当大的篇幅。正象举例说明的那样，虚的物理量实在令人难以理解。关于大爆炸以前的虚时间能不能更通俗易懂地讲解一下呢？面对这样的要求，笔者实在无能为力。

反正示意图是画不出来的，普通的时间尚无法看见，更别提看见虚时间了。我们的意识在一定程度上能够推定时间的经过，如果这时间是虚时间的话将会怎样呢？谁也说不出来。霍金为了避开奇点用数学公式表示了时间的连续性，但是他却回避不了大爆炸前的虚时间。

虚时间的提出，消除了宇宙创生于奇点的困惑。接下来，笔者用比较易懂的狭义相对论的公式，再对虚时间进行一些讲解。

狭义相对论认为，光速是不变的，长度及时间随测量方法的不同而不同，时间与长度具有同等的资格。因此狭义相对论的公式是四维公式。

设 x 、 y 、 z 为三维空间坐标的互相垂直的三个轴， t 为时间。为了使时间成为用长度表示的维，把时间与光速 c 的乘积 ct 作为代表第四维的轴。

假定光从 A 点出发沿直线（按狭义相对论观点）到达 B 点，所需时间为 t ，则 AB 间的直线距离为 ct 。一般地说，时间轴与 x 、 y 、 z 轴中的任何一个轴都不是互相垂直的，长度 ct 中含有各个轴的成份，光走过的距离 ct 相当于以 x 、 y 、 z 为三边的立方体的对角线之长，满足三维勾股定理

图 5 - 5 勾股定理

$$(ct)^2 = x^2 + y^2 + z^2。$$

也可以写成

$$-(ct)^2 + x^2 + y^2 + z^2 = 0。$$

如果将相对论的时间记述为三维空间里的一维时间的话， $-(ct)^2$ 与 x^2 、 y^2 、 z^2 之和总应该为零。请注意：在数学处理上必须不带任何区别地看待时间与空间。四维几何学很难用我们的常识去理解，在四维几何学里从一开始就把 ct 作为一个独立的坐标，而不是光传播于 x 、 y 、 z 三维空间里……。四维空间中的距离并不一定为零，而是一个定数，四个维的平方之和表示四维超立方体对角线的平方（称为扩张的勾股定理），即，在四维几何学中，时间与空间之间存在下述关系：

$$-(ct)^2 + x^2 + y^2 + z^2 = (\text{常数}) = S^2$$

S 是个定值，与光从 A 到 B 的过程有关。

这个公式是四维时空里的物理学公式。在原来的勾股定理中，各边的平方均为正值，只有与时空间有关的时间项的平方为负值，也就是把 $-(ct)^2$ 看作是加上一个负的项。

奇点的消除

以上述知识为基础，让我们看一看对应于宇宙创生的（被认为是奇点的）北极点。（纵向的）经度线长表示时间，（横向的）纬度线长表示空间（在模型上，空间只有一维——圆圈）。球面上近距离两点（时空）间的距离的平方等于纬度线方向上距离的平方与经度线方向上距离的平方之和。纬度对应于空间，为正值；经度对应于时间，为负值。

但是，把这个规律应用到北极点上就会遇到困难，因为从北极点引出的线都是经度线，如图所示在那里距离的平方只有负数值，所以必须特殊地对待北极点——不得不把它看作奇点。这个模型叫做弗里德曼宇宙的时空。

为了回避奇点，霍金等人使用了德西特的时空模型。在弗里德曼模型里，北极点象尖屋顶一般地突起，而德西特模型则圆滑地象个皮球，北极点与其它点一样，看上去没有任何不同。

图 5 - 6 费里德曼宇宙的北极点是奇点

图 5 - 7 弗里德曼宇宙的北极（左）和
德西特宇宙的北极（右）

在北极点附近，即宇宙的初期（或宇宙还很微小的时期——因为在霍金的理论中并没有规定宇宙的起点）时间为虚数 it ，于是时间项的平方

$$-(ict)^2 = (ct)^2$$

就成了正值，因而在北极点及其附近的任何位置，时间及空间的平方都是正值，没有任何特别的点。

时间是虚的吗？

刚才介绍了利用虚时间消除奇点的方法。此时此刻各位读者大概是一种似懂非懂的心情，对数学式子按部就班地进行拆解是难度很高的工作，况且时间到底是什么？当你意识到这个问题的同时，也会感到它的难度。让我们到下一章再继续探讨有关时间的问题。前文中出现了由狭义相对论导出的公式

$$-(ct)^2 + x^2 + y^2 + z^2 = S^2,$$

这个公式是否在暗示我们时间是个虚数呢？聪明的读者一定意识到了这一点。勾股定理中的各平方项都应该是正的……。

上一节讲过，这个公式是扩展了的勾股定理，该命名本身就不同于各平方项均为正值的普通的勾股定理，扩展的勾股定理表示了四维时空中的光速不变性。如果想把它改成勾股定理的原样的话，就必须把时间定义为虚数 it 。

在除了量子力学以外的场合，我们所碰到的物理量都是实数，然而在这里当我们按正统的勾股定理的观点求平方根的话，时间却成了虚数。

于是，有的哲学家（？）认为，现实的时间本身就是虚数，这种观点的确有它的道理。从过去到将来推动包括我们自己在内的整个世界的‘时间’是实实在在的呢？还是虚无缥缈的呢？与长度及质量不同，时间在某种意义上说是无法感受的，它或许是虚的。不过……无论用什么样的词汇去表达，坦率地说，谁也说不清楚。

如果从 $x^2 + y^2 + z^2 = (ct)^2$ 出发换一种写法，把空间坐标移到等号右边的话，扩展后的勾股定理就变成

$$(ct)^2 - x^2 - y^2 - z^2 = r^2,$$

r 为四维空间里的某个定值。这时，时间成了‘确确实实’的量，而空间 (x 、 y 、 z) 却成了虚量……，在数学上，这样做没有什么不可以的，但是从物理学的角度来看，这样做毕竟离现实世界太远，没有说服力。只从纯哲学的意义（？）去讨论让哪一项为负的问题，大概不会有任何价值吧。

虚时间引发大爆炸！

宇宙的创生是我们用虚时间研究的问题之一。最初，能量被封闭在非常非常狭小的空间里，四周是无法逾越的高墙，但是根据量子力学的隧道效应，里面的能量会贯穿墙壁跑到外面……

这是量子宇宙论对大爆炸起因的解释。笔者在这里想说的是，利用虚时间也可以解释大爆炸的发生。

假设在宇宙的最初（如同霍金所提倡的）时间是虚数，由于

$$\text{力} = \text{质量} \times \text{加速度} = m \times \frac{x}{(t)^2},$$

加速度为距离除以时间的平方，所以当时间为虚数时，力的符号变为负（反方向）。难以逾越的高墙反过来变成了深深的堑壕，在力学上势能（位置能）的符号发生了变化，封闭着能量的口袋在一瞬间消失，从而揭开了宇宙大爆炸的序幕，在此瞬间里时间由虚变实，变成了通常的膨胀。

利用虚时间不仅能消除奇点，而且还能解释大爆炸的起因。话题似乎又转回到了一开始的问题上：虚时间是什么？由虚变实是怎么一回事？那个过程给周围带来了哪些变化？……这些事情都超越了我们的想像。

第六章 霍金的逆转时间

重新认识时间

宇宙从诞生到今天已经经过了 150 亿年，今后时间仍将漫长地延续下去。如果宇宙是个开放系统，它将无休止地膨胀；如果宇宙象大多数学者所预测的那样是个封闭系统，它在膨胀到最大点之后将转入收缩，无休止地缩小。那么，从大爆炸转入大塌缩的这种演化方向是否就是时间呢？所谓时间，是否可以这样地用常识去认定呢？

的确，我们在阐述宇宙诞生之后的过程时使用了 10^{-44} 秒后、1 分后、10 万年后等时间单位。但是，对于收缩的宇宙是否还可以原样照搬地使用这些说法呢？在扩大‘时间’概念的涵义以前，我们有必要先从根本上去认识它。

把宇宙诞生期的时间当做虚数，就能消除奇点。关于虚数时间，我们虽然作了探讨，但实际大家仍然会感到心中无数，从某种意义上可以说是在玩弄数学游戏，通过把时间定为虚数，从而得出与空间的三维完全对称的公式。所谓‘起始’就是时间的起点，如果将四维座标中的时间与其他各维一视同仁，不去特殊看待的话，所谓宇宙‘起始’的起跑线（奇点）也就不再存在了。所以，关于宇宙诞生期的虚时间，希望各位读者在无奈之余委屈一下接受它。

宇宙正处于膨胀期，现在没有问题。时间沿着从大爆炸到今天再到未来的方向前进，宇宙由小到大地膨胀着。银河、星体、植物以及人类全都随着光阴的流逝在‘时间’大道上行进着。

但是根据‘封闭宇宙说’，当宇宙膨胀到最大后转而开始收缩——简单地说是倒退——的时候，我们是否还能用原有的观点去看待时间呢？在霍金的地球模型上，在北半球上南下的过程中一切正常，问题是，越过赤道进入南半球后，在向南极推进的过程中，‘时间’将变成什么样子呢？

心灵的时间

长度、面积以及重量等都是基本的物理量，人能够通过视觉或触觉感知它们的大小。还有冷热的程度，人最初也是通过皮肤所受到的刺激进行判断的，后来人类掌握了物质（如水银或酒精）热胀冷缩的规律，发明了温度计，从而成功地把温度客观化、视觉化、数值化，热学渐渐地发展成了物理学的一门基础分支。

各种物理量几乎都来源于人的视觉或听觉、触觉。味觉和嗅觉虽然也是人类的基本感官，但是却没有被客观化并成为定量的物理学分支。

然而对于任何人在任何时刻都在经历着的时间，人却不能通过五官去感知^任。

我们在睡眠中不知道时间的流逝，多数人大概都有过这样的经历，午觉睡到太阳落山，醒来后常常会将黄昏错当成早晨。集中精力做事情时，会感到时间过得飞快；等待某人（或某事）时，又会感到时间过得太慢。然而，这些都不过是心理上的错觉。从远古到将来，时间的步调是一成不变的，我们对此深信不疑。

重要的是‘深信不疑’这一点。当你觉得天刚黄昏而抬腕一看手表指针却指着晚上 10 点时，你会想‘这只表快了’；而如果街上所有的表都指向晚上 10 点时，你又会想‘今天我的脑袋有点奇怪’。这说明无论人有多么自信，时常也会感知时间的变调。

当街上的时钟都指向晚上 10 点，夜幕已经完全降临时，如果全城的人们都在吵嚷：“怎么回事儿，不是刚刚吃过午饭吗？怪事，怪事，天翻地覆了”的话，会怎么样呢？大概一定会成为电视上的头号新闻，如果电视台也报道有关时钟的快慢以及昼夜转换的速度的疑问的话，那简直就是科幻作品中的世界了。

只有自己一人的话暂且不提，当全城的人或绝大多数都这么说的话，或许与相信钟表相比人类会更相信多数人的所言，‘既然大家都这么说，一定有某种原因使钟表都乱套了吧……’

我们把人类用自己的感官（神经）所判断的时间称为‘意识（心灵）的时间’，既然物理学起源于人的五官，那么可否说时间也发祥于意识的时间呢？因为大家都这么想，所以众人的说法比钟表或星星的运动更正确……这种随大流的做法显然缺乏根据。

自然界趋向平衡

不考虑太阳和月亮的运行，也不考虑我们的意识，‘时间’可以用我们身边变化着的事物来定义。

比如，在坡路上有一只皮球，它将会顺着坡滚下去，那么皮球的位置就相当于一只钟的作用，地球表面附近的自由落体也同样，还可以举出许多例子，象水在压力作用下流过管道、导线两端的电位差引起电流等等。在这些例子里，物体（物质）的移动都是单向的不可逆转的。

为什么物体会下落呢？（你也可以说这是理所当然的事情）如果物体处于势能能够自由减少的状态时（不是在架子上，而是在空中），它就有使势能立刻减少的倾向。在落下过程中，势能转变为动能，最后落到地面上时动能又转化为热能。

相比之下，因为与压力和电压有关，水管及电流的例子显得要复杂一些。在水管的例子里，贮水罐中的水位（位势能）随着时间的推移而降低；在电流的例子里，由于导线中的电阻而使电能转变为热能。这些例子都有一个共同点，就是各种状态只能沿着特定的方向变化。

把金属棒的一端靠在热的物体上，而将另一端靠在冷的物体上时，你就会发现热量总是从热的一方传向冷的一方。热传导定律所揭示的正是这个规律。

热量从高温处转移到低温处，在这个过程中虽然没有能量的损失，但是关键在于高温热源被冷却，低温热源被加热，自然界的秩序总是朝着平衡的方向演变。

所谓高温，对固体或液体来说，指的是其原子或分子的振动较为激烈，对气体来说，则是指分子的速度（动能）的平均值较高。于是，当用某种方法（如前面提到的金属棒）将高温与低温相连接时，速度快的分子就会与速度慢的分子混合，朝着平均化过渡。

物体下落过程中势能在降低，自然界有积极地朝这个方向演化的趋势。与此相比，不同温度的平均化过程却似乎有些消极，在这个过程中没有能量的得失。单纯地从能量的角度来看，似乎从低温处传到高温处也没有什么不可以，但实际上绝对没有这样的事情发生。

热传导之类的与能量得失无关的物理现象叫做不可逆过程。热力学第一定律指出，包括热能、机械能在内的能量的总和是恒定不变的，热力学第二定律则指出，不可逆过程是不能逆转的。

热力学第二定律告诉我们，自然界中的分子（速度快的分子与速度慢的分子）只会相互混合得越来越均匀，而永远不会自动区分开。

人类把混合的状态用数学来表述，称其为熵。混合得越均匀，熵也就越大。自然界在不受限制的状态下，熵将变得越来越大。

把1万张扑克牌铺到地上，开始全部使牌的正面朝上，这是最有秩序

的状态（从数学观点看这样的排列方法只有一种），此时的熵最小。

图 6 - 1 风一阵阵地吹过……

最后正、反面各有 5000 张

一阵风吹过……，假如有 1 张牌被吹翻，状态稍微乱了点（排列方法有 1 万种）。被吹翻的牌增加到了 2 张、3 张、……正、反面牌的张数不断变化下去时，熵越来越大。最终的状态是 5000 张牌正面朝上、另外 5000 张牌反面朝上，这种状态的熵最大。

这时再有风吹来时，尽管又有许多牌翻了面，但从整体看来，正、反面各有 5000 张的事实却没有改变。所以在这个例子里熵不断增大，达到最大值（饱和）后稳定下来。

普里戈津的时间

熵是个热力学名词，也许大家觉得它不太好理解。玻璃板（规则状态）的熵小，碎成玻璃渣（无规则状态）后熵大，熵只能变大不能变小。大家只要记住这几条就行了。

规整地种植农作物的耕地的熵小，而杂草丛生的荒地的熵大。

5张扑克牌在手时，同花顺、有4张同点……等高点牌时的熵小，只有一个对子时熵大，5张杂牌（毫无规律）时的熵最大。

按出版时间排列在书架上的杂志的熵小，排列毫无顺序时熵大，插放得越乱熵就越大，喜欢收拾的人的房间熵小，懒于打扫生活邋遢的人的房间熵大。

从热力学或统计力学的观点看，熵的大小就是无序的程度。

有位名叫普里戈津的科学家用热力学的方法，以熵为主题研究了从热流、电流到化学、生物学甚至包括社会现象在内的各个领域。

伊里亚·普里戈津1917年生于莫斯科，在比利时的布鲁塞尔大学取得学位，他从1951年起任该大学教授，并加入了比利时国籍。1967年，普里戈津到美国任德克萨斯大学热力学及统计力学研究所所长。1977年，他由于在‘非平衡态热力学特别是耗散结构的研究’方面的工作而获得了诺贝尔化学奖。

不少读者对耗散结构这个名词也许并不陌生，‘耗散’的日常含义是向四处飞散，在这里则指能量的耗散。

能量有品质高低之分。懂得一点热力学的人都知道：1升0℃的水及1升100℃的水组合起来要比2升50℃的水有用，因为利用前者的温度差能做许多事情，两者虽然能量相同，但是能量的品质却不同。皮球落到地上，它的动能变成热能，这个过程不可逆的原因是因为动能的品质高。能量的品质越高，它的熵就越小。

能量的耗散过程也就是它的熵增大的过程。普里戈津第一个用数学方法证明：在熵不断增大的非平衡态之中，能够出现安定的构造——耗散结构。

大气在地表附近受热后上升到高空，其中水蒸气会形成漂亮的鳞状云……这是最常见的耗散结构之一。由天体中的核聚变或引力塌缩所产生的幅射充斥着宇宙，宇宙的不断膨胀又降低了这些幅射的密度。现在，宇宙仍处于非平衡态。

普里戈津还对宇宙诞生时真空分离为物质与引力能量的过程进行了热力学计算，证明该过程也是熵的生成过程。

用日常的语言很难说明普里戈津的研究内容，说来说去，归结成一句话就是，自然界中的一切单向演化的现象（不可逆过程）总是伴随着熵的生成或增大。由于不可逆过程是随着时间一起推移的，所以熵的生成（增

大)与时间不可分割。

图 6 - 2 伊里亚·普里戈津，俄裔比利时科学家

有些物理学家认为在宏观世界里时间有可能出现逆转，普里戈津对此持怀疑态度，他对熵增大方向上‘时间的指向’的存在性进行了详细的研究。

普里戈津提出了‘内部时间’的概念，内部时间与天文学上所用的时间有着本质的不同，它由局部时空里的非平衡体系确定，生物以及我们人类的思维都属于非平衡体系的范畴。普里戈津的理论具有浓厚的形而上学的色彩，理解他的理论必须以持有与他相同的观念的思维为前提。

图 6 - 3 鱼鳞云是耗散结构

虽然很多物理学家^时和化学家都认为‘时间指向熵增大的方向’，但是象普里戈津这样明确地表述自己论点的人并不多。刚才提到的意识时间——人类以五感之外的某种‘第六感官’所感觉到的‘过了很长’的时间，只能解释为人体生理上的新陈代谢。

研究表明，人的神经一旦建立一个回路，这个回路将能存在很久而不会被破坏。孩提时代学会的游泳、自行车、竹马等本领，即使长期不用也能很快地找到感觉，这是不可逆转的变化，过去的事情作为记忆留在脑海中，而未来的事情当然是无法知道的。可见，人的生理与物理的不可逆现象一样。霍金常说的‘意识时间’就等于‘熵时间’，普里戈津证明了这一点。

所谓熵时间，举例来说的话，比如一滴红墨水滴入一盆水里，开始是球状（过去），之后稍稍散开（现在），……最后整盆水成为粉红色的溶液（将来），我们可以用这个过程去定义时间。人的意识正是通过脑细胞或胃的感觉等所有这类的生理过程，在这些过程的不可逆变化中，感受到了‘时间’的流逝。

^时 间是客观的，也是可以被人们感知的。详细论述参看书后的编者的话。——责任编辑

“天增岁月人增寿，还是过去好啊……”

对比一下霍金在 1985 年 6 月和 1990 年 9 月两次访问日本时所做的讲演，我们就能发现他的有关宇宙时间的学说发生了很大变化。不少介绍霍金的观点的书将新、旧两种学说混在了一块。

霍金所论述的是数百亿年之后的宇宙时间，谁也无法用实验或观测去证实，我们所能做的只是把他的学说作为一种观点去理解。霍金完全摒弃了他本人曾经建立的旧的时间概念，提出了 180 度大转变的新见解。

笔者从霍金在 1985 年所做的旧讲演开始介绍。在地球模型上，当宇宙膨胀到最大——到达赤道时，时间将发生逆转。也可以说，从此开始‘退回到过去’。

我们把时间分成宇宙时间与熵时间，宇宙时间是霍金定义的时间，而熵时间是热力学的时间，它与普里戈津所说的人类的意识时间是同一个概念。霍金认为，在地球模型的南半球上宇宙时间与热力学时间都将发生逆转，也就是说，以赤道为分界，北半球与南半球是完全对称的。

把宇宙时间逆转的话，我们就可以用同样的方法去理解大塌缩和大爆炸，当然也就可以通过引入虚时间来消除奇点，还可以按与北半球完全相同的模式去解释大塌缩前的 10^{-44} 秒（因为宇宙时间已经被逆转，所以这里应该说是 10^{-44} 秒之后）、 10^{-36} 秒……关于宇宙的创生过程，我们已经做了大量的推测，把它反转过来，我们还能推测宇宙的终结过程，而不会碰到什么麻烦，因此，我们可以简便地用物理的语言记述宇宙演化的全部过程。

那么，热力学时间即意识时间的逆转又是怎样一回事情呢？

前文说过，意识时间从有序指向混沌，它的方向与熵增大的方向相同。意识时间的逆转就等于熵增大定律的逆转，那么热力学第二定律将怎样呢？难道在宇宙尺度上、在某一段时间（也许是数百亿年）里，我们可以无视热力学第二定律的存在吗？

按照霍金的旧模型，宇宙在膨胀到最大后将平稳地转入收缩，同时宇宙的熵也从增大转为减少，这时在有意识的生物（例如人类）眼里收缩的宇宙会被看成正在膨胀的宇宙，因为它（他）的意识时间是倒流的。

但是，意识时间倒流的生物该是怎样的生物呢？假定我们从宇宙之外观察该生物的话，所看到的应该是如下这一番光景。

他（？）的尸体从墓地中出来，死而复生。开始是老人，然后成了青年，最后上了岁数（？）成了婴儿。不是‘人过青春无少年’，而是‘人过青春无老年’，在老年的他的大脑里有丰富的经验和学习到的知识，随着他渐渐地变得年轻，这些经验与知识也一点点地失去。‘光阴似箭，日月如梭’之类的感慨也随着脑海里记忆的失去而加深……这一番描写未免太拟人化，实际情况应该是：我们所说的‘意识’不可能存在于时间倒流

的世界里。随着学习知识积累记忆，大脑的神经回路不断地增加，把这个过程逆转过来的情形实在无法想像。

图 6 - 4 所谓倒流的时间.....

霍金并没有说会有那样的生物存在，但是在他的模型的南半球上，通过生物的意识所观测到的应该是宇宙的膨胀。

物理学就是物理学，生物学就是生物学，宇宙就是宇宙，持这种观点也不算傲慢。物理定律在推动生物学研究上所起的直接作用毕竟有限，反过来也一样。但是，热力学第二定律应该是放之四海而皆准的金科玉律^很，我们应该能够闭上眼睛放心地把它套用到宇宙上去。

霍金的高年级同学彭罗斯提出了不同的学说，他认为，在宇宙的后半期即模型的南半球上，宇宙时间将会由南向北逆转，但是意识时间（热力学时间）仍将沿着原来的方向越过赤道南下。因此，在彭罗斯的理论中，意识时间没有断点，熵始终是增大的，花瓶一旦被打破就不能复原、台风刮过树木倒下、老的生物死去新的生物诞生.....与现在的自然现象没有丝毫的矛盾。

又因为宇宙时间是倒流的，所以对应于大塌缩的南极点相当于大爆炸，因此从宇宙时间的角度来看，宇宙随着该时间的推移而膨胀着。

但是，意识时间与宇宙时间的方向相反是怎么回事呢？这又是一个难题。

让我们回忆一下霍金最初的说法。霍金当初把宇宙时间的方向假定为宇宙膨胀的方向，这里所说的宇宙必须是一个没有尽头、没有边界的封闭的有限的时空。

彭罗斯的宇宙时间实质上与霍金相同，但是，彭罗斯提出的在宇宙转入收缩期之后熵仍然将继续增大的观点，究竟是否正确呢？

^很 多科学家并不这样看，比如，根据温伯格在《引力论与宇宙论》中的叙述，宇宙中的总熵是恒定的。——责任编辑

修正思路的霍金

1990年9月，霍金在佐藤胜彦教授等人的精心安排下出席了在东京大学举行的宇宙论国际会议并发表了讲演。在讲演中，霍金否定了自己5年前的理论，完全改变了时间的方向。他的旧理论未免有点过于‘对称’：把结束倒过来就是起始，熵随着宇宙的膨胀而增大又随着宇宙的收缩而减少。霍金的同事佩奇以及学生雷蒙拉夫拉姆经过研究提出，在宇宙的膨胀期和收缩期，所有的现象都将完全不同。

热力学计算表明，当气体的体积膨胀时，它的熵会增大。由于活动空间变大，气体分子能够在更大的范围内运动，所以其混乱程度也随之增大。对液体或固体来说，伴随着体积的膨胀，内部分子所受的限制会减少变得更宽松，在数学计算上宽松度的增加与熵的增加是密切相关的。从上述事实似乎可以推断，在收缩期宇宙的无序程度（熵）将降低……时间必须指向熵增大的方向，因此霍金在旧理论中将时间逆转了过来。

图 6 - 5 霍金的理论与彭罗斯的理论

然而其后的研究表明，收缩期决不是膨胀期的简单逆转，把收缩期称为衰老期似乎更加合适。

把宇宙比作人的一生说的话，青壮年时期身材最高大，与其说渡过青壮年时期后返老还童身材越缩越小，倒不如认为上了岁数后步履越来越蹒跚，身材也越来越佝偻。佩奇等人指出，在宇宙空间缩小的过程中，宇宙的混乱程度仍将不断增加。他们推翻了时间逆转说，提出了时间延续说。在地球模型上，即使越过赤道也不会遇到什么时间的断点，意识时间将一如既往地南半球上继续南下。佩奇等人的理论与彭罗斯的理论是等同的。

在宇宙空间中，巨大的黑洞不断地吞并着其它天体，随着黑洞的数目不断增加，它们将出现在宇宙空间的各处。在黑洞的视界里面，没有规规矩矩的时空间，也许用词有些不雅，我们不妨将黑洞内部看作是个‘腐烂的斑点’。晚期的宇宙空间中到处都是片腐败的景象，惨不忍睹。诞生于大爆炸、大蓬勃发展时期曾经是那样地天真幼稚的宇宙，到了晚年竟然遍体腐斑，实在令人在感情上无法接受。

说来说去，我们毕竟生活在宇宙的发展期，而不是衰老期。在这个宇宙中，只有人类拥有特别的智慧，人类到底是不是理解力强能做出正确判断的动物？尽管关于这一点还存有很大的疑问。霍金指出，正因为存在人类这样的有智慧的生物、正因为人类能够提出‘为什么与宇宙膨胀相同熵将在时间方向上增大’这样的问题，所以宇宙的收缩期对于人类的存在是不适合的。这样的思考方法叫做人择原理，问题最终归结到了‘会思考的人类’的身上。

收缩宇宙的熵

容器中的气体的熵随着温度的升高或体积的增大而增大，熵与容器的表面积没有直接的关系。当然如果体积增大 1000 倍的话，表面积也将增大 100 倍，从这个意义上我们不能说熵与表面积毫无关系，但是表面积的增长程度不及体积，无法从表面积去推定熵。

然而霍金却把黑洞的熵与它的视界面积联系起来，1972 年他与布兰顿·坎特、吉姆·巴丁等人联名发表论文，提出了黑洞视界面积与熵的数学关系。当两个大小相同的黑洞发生碰撞合并成一个黑洞时，新黑洞将有多大呢？把两个相同大小的泥球揉成一个大球时，体积成为单个的 2 倍，所以大球半径为单个的 $\sqrt[3]{2}$ 1.26 倍，大球表面积为单个的 $(\sqrt[3]{2})^2$ 1.59 倍。

熵是无序度的总和，2 个的集合应为 2 个之和，有时（根据熵的定义）还应大于 2 个之和，对象物越多，其总的无序度就越大于它们单个的无序度之和。与房间里有 2 个孩子玩耍的情形相比，4 个孩子在玩耍时混乱程度是前者的 3 倍、4 倍甚至更高，而不是 2 倍。

从黑洞的中心到视界面的长度叫做史瓦西半径 R ， $R=2GM/c^2$ ，这个公式可以简单地推导出来（假定从质量 M 的天体上发射速度为光速 c 的人造卫星）， G 为万有引力常量。

这里，我们不想研究黑洞的大小，只想研究一下它的表面积（与 R^2 成正比）。

假设 2 个相同大小的黑洞合并成了一个，那么大黑洞的表面积将不是普通的力学所指出的 1.59 倍。因为 R 与 M 成正比，所以 R 变为单个黑洞的 2 倍，表面积变为单个黑洞的 4 倍。2 个相同的黑洞合并后大黑洞的半径为单个的 2 倍（表面积为 4 倍）、3 个合并后大黑洞的半径为单个的 3 倍（表面积为 9 倍）……合并后的大黑洞的表面积将异乎寻常地急剧增大，这是黑洞特有的性质。

熵也是这样，2 个物体合并后，总的熵不是简单的加法和，而是更大。因此，黑洞的表面积对应于它的熵——这样考虑显得极其适当。在宇宙的收缩期，黑洞时而吞并星体、时而互相碰撞合并，宇宙的熵就在这些过程中随着黑洞表面积的增长而增加。反映到地球模型上去，由赤道指向南极的方向就是熵时间的方向，也就是意识时间的方向。

不过为什么黑洞的表面积就是它的熵呢？对于这个严谨的追问还真有些不好回答。如前所述，从热力学角度能够做出相当合格的解释。但是熵本应是无序的程度，关于黑洞的内部我们一无所知，我们只知道根据量子力学理论，在黑洞的表面附近（当然在宇宙的各处都有可能）有粒子对产生，其中一个被黑洞吞没另一个逸散到宇宙中，如此奇妙的现象只可能发生在黑洞的表面上。不受任何其它因素的影响就能产生复杂的现象，这样

的地方应该很混乱，状态更趋于无序。也许这一番解释有些牵强，但是把黑洞的表面积当做它的熵的想法似乎并非毫无道理。

前文说过，在黑洞里面时间轴与空间轴是对调的，这也是一种很有趣的观点，有它的合理性。霍金似乎认为黑洞的中心是与大塌缩的终点一样的奇点，所以他曾经认为与南半球上的演化过程相同黑洞内部的时间也是逆转的，不过后来霍金在否定收缩期时间逆转的同时指出，即使在黑洞的内部，时间也不会逆转而应该顺行。

在黑洞内部，说时间是逆转的也罢顺行的也罢，或者说时间就是空间也罢，说来说去，大概只会使各位读者感到糊涂。事实是谁也没有见过黑洞内部的样子，理论家们都是根据自己的推算做出各自的结论，这些结论因人而异，彼此相去甚远。重要的是……这里所讨论的是人类尚不很（更应该说是完全不）了解的事情，所以读者朋友们通过阅读本书，如果能了解到当今宇宙学研究的一些最新动态的话，本书的目的也就达到了。

巨大的矛盾

统计力学指出熵增大过程是不可逆的，统计力学研究的是大量的微小粒子的整体的现象。然而假如我们去追究一个一个的粒子的运动情况，就要用力学理论记述每一个粒子的运动。我们把宏观的结论与微观的分析作一番对比，研究箱子里气体分子的熵增大过程。

当气体分子都集中在箱子的一角，箱子的其它部分是真空时，此状态的熵最小。如果解除了对气体分子的限制，不一会它们就会均匀地分散到箱中的各个部位使得各处的密度都相同，这是熵最大的状态。所谓‘自然’就是指总是向着熵增大的方向演化最终达到最大值，通过此例我们可以清楚地看出这一点。

但是，让我们从分子尺度上再分析一下这个例子。分子经过频繁的碰撞最终均等地分布于整个箱中，对每一次力学的碰撞来说，都可能有与之正好相反的碰撞发生，假如把2个分子的碰撞拍摄成电影，将胶片由后往前倒过来放映，观众也不会感到有什么奇怪之处。可见自然界里有可能发生与时间方向相反的分子碰撞。

在刚才的例子里，气体开始时集中于一角后来扩散到箱内各处，如果我们在某个瞬间对该气体的所有分子都发出向后转的命令，将会怎样呢？假定分子在接到命令后都按照同样的速度朝相反方向退回。刚发出命令时气体密度是均匀的，在运动速度分布上也是既有快的分子也有慢的分子，各有适当的比例，一切都很自然。也就是说：刚开始向后转时，气体仍然处于熵最大的最自然的状态。

然而气体执行向后转的命令就相当于时间被逆转。各粒子均按照原路返回，经过各次逆向的碰撞.....最终气体的分子都集中到了箱子的一角，也就是从熵比较大的状态转变到熵比较小的状态去了。但是，谁也没有见到过这样的事情，它不符合热力学第二定律。

把上面这些对比归纳起来就是，对于任何微观分子的碰撞，其逆碰撞是可能发生的；但是观察由许多分子组成的宏观集团时，就不可能见到逆现象的发生。对于一个个的粒子来说，无论数量有多大都应当遵循力学的有关定律，每个粒子的运动都是可逆的，然而粒子集团的变化却是不可逆的，这是热力学和统计力学的结论。熵时间即意识时间的箭头指向众多粒子的集团的变化方向。从力学观点看，对每个粒子来说，时间的箭头指向前后任何一方都是可能的，但是对于粒子集团的统计结果却只能指向一个方向，这难道不是一个巨大的矛盾吗？

图 6-6 时间的箭头指向粒子集团的演化方向

时间的逆转是怎么回事？

笼统地说集团就是那样的东西，这么做不太好，我们有必要弄清楚个体与集团到底有什么不同。

这个问题的难度相当（应该说是非常）高。坦率地说它的解释（或解决方法）因人而异。笔者下面试举三例。

（1）因为不确定性原理的存在，即便使分子的方向逆转，它们也不会再聚集到箱子的一角去。

这是一种把量子论抬出来回避问题的做法。尽管微观世界服从量子力学的规律，但是假若没有量子力学，这个问题也必须有个解决吧？

（2）命令所有的分子都向后转实质上就相当于已经把状态确定为熵最小的状态。

这种说法值得考虑，分子均匀分布在箱子各处，速度各不相同（在统计学上服从玻尔兹曼分布），向后转的状态是一种非常特殊的、完全不同于其它场合的状态，对于分子的数目按特定速率分布的场合来说，它与分子都集中到箱子一角的结局完全相同。所以一眼望上去的话，气体充满整个箱子和气体聚集在箱子的一角两种情况完全相同，当你观察气体的时候，它的熵最小……说了一大堆，大概举手同意的人不多。

（3）如果命令宇宙中所有的粒子都向后转的话，熵也许就会减少。

笔者最相信这种说法——尽管存在许多的反对论点。既然我们研究的是箱子里的分子，那么除了分子之间的碰撞之外，分子与箱壁之间也当然存在着碰撞。由于箱子也是由原子构成的，所以这种碰撞也是粒子之间（气体分子与构成箱子的原子）的碰撞，对于构成箱子的原子的振动来说，也必须命令它们向后转回到过去。因为气体分子与箱子之间存在着热平衡，所以箱子原子的振动也被卷入问题之中，还有箱子与周围环境的热平衡……如此下去，牵涉的面越来越广，很快就会涉及到地球上的所有事物，不仅如此，因为地球无论在力学上还是热学上都绝对不是孤立的，它每时每刻都接受着来自太阳的光子，所以发出‘向后转’的命令就等同于让飞往宇宙各处的光子都调过头来飞回太阳。光子与分子、原子不同，它总是发生着生成与湮没。如果能使粒子的所有现象——在整个宇宙的尺度上——全部‘向后转’的话，弥漫于箱子里的气体也许就会集中到一个角落上去。

其实这里所说的‘向后转’对应到地球模型上就相当于使北半球上南下的时间强制调转方向，人类的大脑活动也被逆转（未来成了记忆，过去却变得未知），时间的方向指到相反方向上。但是，不仅是箱子里的气体，而且要使全宇宙的粒子都调转方向，说得到却做不到。实际上所谓时间逆转的说法都是些‘无法实现的讨论’。

时间是对称的吗？

基本粒子物理学非常重视有关对称性的研究。把算式中代表位置的坐标符号改为负值叫做空间反演，记号为 P。通过空间反演能够把右旋粒子改成左旋。

任何基本粒子都有正粒子及其反粒子。对光子或不带电的 π 介子等粒子来说，反粒子就是它自己。把所有的正粒子都换成其反粒子的变换叫做电荷共轭变换，记号为 C。

还有时间变换，把时间的符号改变即把过去和将来完全对调叫做时间反演，记号为 T。

基本粒子理论指出：如果同时进行上述三种反演的话，结果应该完全相同。这个定理叫做 CPT 定理，它是在 1955 年由泡利等人证明的。

问题是 T 变换，它的结果中究竟会不会出现什么异常之处呢？如果单纯地考虑力学碰撞的话，T 变换似乎不会引起任何变化。那么这个结论是否适用于整个基本粒子论呢？遗憾的是我们还不知道单独进行 T 变换会得到怎样的结果，因此我们转而研究 C 和 P 同时进行的 CP 变换。

讲解 CP 变换的读物有很多，好象在几乎所有的场合里结果都不变。

但是 对有些弱相互作用来说 CP 变换真的保持对称吗？有人提出了这个疑问。1964 年，菲奇和克罗宁发现：在中性 K 介子的衰变过程中，CP 守恒有遭到破坏的现象，当 K 介子衰变成 π 介子时，大约有 0.3% 左右的不对称现象发生。由于这项发现，他们分享了 1980 年诺贝尔物理学奖。

如果 CP 守恒遭到破坏的话 那么有关 T 变换的对称性也将不复存在(因为 CPT 变换是绝对对称的)。关于 CP 不守恒的原因，有一种说法认为：在宇宙早期，正粒子可能在数量上略多于反粒子，所以现在的宇宙才由正粒子组成。宇宙早期关于时间的非对称性正说明了剧烈的大爆炸及其后的暴涨宇宙。

不过上述结果来自于基本粒子的物理学，有关 T 变换的对称性遭到破坏的问题怎样才能与熵时间联系起来呢？这是个很困难的课题。

霍金为了回避宇宙的奇点引入了‘时间的逆转’，然而从热力学的角度去分析又不得不依赖于‘逆转的思维’，实在太困难了。

第七章 永恒（？）的时间

出现了‘超弦’

目前的物理学理论认为夸克是最基本的粒子。夸克共有 6 种。

前文说过，自然界中最重要的不是物质而是力（相互作用），力有 4 种形式，这 4 种力是不是都起源于同一种力呢？科学家们开始了对力进行整理（或者说是统一）的工作。温伯格和萨拉姆完成了弱力与电磁力的统一理论，他们所预言的相互作用中间传播粒子——中间玻色子后来被欧洲核子研究中心的卢比亚等人找到。其后，科学家们转入了把强力与弱-电磁力统一起来的工作，这就是大统一理论。

大家都熟悉磁石，无论是棒状的还是弯成马蹄形的、甚至微小的原子或基本粒子都有 N 极与 S 极，似乎‘磁石的本质就是如此’，与 N 极相对的另一端是 S 极，而且两者磁量的绝对值相等。但是，同意‘凡是磁石就一定有两极’就相当于认为强力与电磁力是完全不同的两种力。

如果大统一理论成立的话，自然界里就应该存在只有 N 极或只有 S 极的磁单极子。磁单极子与质子衰变都是大统一理论的证据，该理论认为三种相互作用是对称的，如果其中一种力与另外两种力分离开来的话，‘对称性就遭到了破坏’。

当然，在研究大统一理论的同时，不少科学家已经在进行着将引力也统一进来即向超引力理论挑战的尝试，这就是‘超弦’理论。在发展到超弦的过程中，物理学经历了各种各样的曲折与艰辛。

20 世纪 50 年代，随着种类繁多的基本粒子（特别是重子）被发现，当时成了基本粒子的种类急剧增加的时期，如果把反粒子也算上的话，当时基本粒子的种类超过了 300 种。发现一种基本粒子就能获得诺贝尔奖……已成为昔日的神话，科学家们开始把新发现的众多的粒子看作是更加基本的粒子的激发态，也就是说，在**高能状态下粒子会表现得好像是另外一种粒子。

在经典物理学里，弦的振动就是一种激发态，弹奏小提琴或古琴的孩就会出现基本振动以及波长为基本振动的一半（因此音频高于 8 度）的倍振动、波长为基本振动的 $1/3$ 的 3 倍振动……

基本粒子归根结底是弦或者是象弦一样的东西……科学家们受琴弦的启发建立了超弦理论。伦敦大学的迈克尔·格林、加州理工学院的约翰·施瓦茨以及日本的南部阳一郎等人都为超弦理论的发展做出过贡献，但是这套理论得到物理学界的承认却是 20 世纪 80 年代后期的事情。

所谓的‘弦’既可以是带有两端的线头状、也可以是封闭的环状，它们的长度——说出来令人吃惊——为普朗克长度 10^{-35} 米量级。普朗克长度在这里第一次出现在基本粒子理论中，该长度与宇宙开天辟地时的大小密切相关。

26 维

在超弦理论中，最令人无法想像的是它的维数，我们所居住的世界由 3 维空间和 1 维时间组成，合计 4 维，然而超弦理论在一开始就想定为 26 维。为什么会出现这么多的维数呢？

超弦理论是把自然界中的一切事物都归纳起来进行解释的最基本的理论，强力也罢，引力也罢，都必须包括在内。但是，在理论中加进新内容反映到数学上就是增加变量（叫参数更合适），在几何学上就表现为增加维数。

虽然我们人类最多只能感觉到 3 维，但是数学是研究抽象概念的理论，在数学上不必顾忌这一点，10 维也好、26 维也好，任凭你自由地设定。当然，维数还是越少越好……

6 维是在哪里消失的？

在完成了广义相对论以后，爱因斯坦致力于引力与电磁力的对称性研究，在他称之为统一原理的课题上，爱因斯坦耗尽了余生。

万有引力定律与电磁力的库仑定律非常相似，力与距离的平方成反比、与量（质量或电量）的乘积成正比，相同的形式绝对不是偶然的一致。电荷激烈加速时，电场及磁场无法跟上它的变化从而形成电磁波传播到空间里。如果巨大的天体也振动起来的话，那么以光速传播的引力场也会形成引力波，它的道理与电磁波完全相同。

如果上述推理成立，把引力理论与电磁理论统一起来证明它们都起源于一处的工作就显得十分诱人。本来它们之间存在着决定性的不同——在电磁力中有吸引力与排斥力而在引力中却只有吸引力。但是为什么会有此不同呢？着实令人感到奇妙。爱因斯坦把自己后半生的心血全部倾注到统一场的研究中，但是他没有获得成功。

1921年，当时统一场理论还十分诱人，有位名叫克尔策的学者提出：在4维（或4个变量）的时空间里不可能研究电磁的量，为了使电磁量也具有与引力一样的资格，必须再增加1维。后来克莱因用拓扑学方法绘出奇妙的壶状图形支持了克尔策的观点。因此人们称之为克尔策-克莱因理论。

这个5维几何学（数学上用 5×5 的行列式来描述）结果并不成功。现在回过头来看，相互作用还应当包括弱相互作用和强相互作用，一开始就把电磁力与引力结合起来的说法没有道理，特别是与其它力相比引力的强度弱许多数量级，所以统一引力的工作应该放在最后去进行。

到了本世纪50年代，虽然人们还不清楚是什么原因，但是已经放弃了统一引力和电磁力的努力。

结果暂且不论，笔者在这里想要说明的是，为了解释新现象就不得不增加变量（参量）的个数。‘超弦’作为能够从整体上解释4种力的超引力理论的有效手段而问世，在最初的计算里必须有26维，后来经过整理减少到10维。也就是说，利用常识无法想像的10维时空中的弦的振动，能够综合地解释世界上的所有粒子以及它们之间的相互作用。

图 7-1 自然界的根本是弦？

现实世界由包括时间在内的4维构成，按照超弦理论，如果世界是10维的话，那么其余的6维到哪里去了呢？是消失了，还是普朗克尺度的微观世界领域仍然是由10维构成的呢？超弦理论在形式上太数学化，无法与现实进行对比。

现在我们所能感知的只是3维空间以及1维由过去流逝向未来的时间，那么在消失掉的6维里有没有时间呢？这6维全是空间吗？如果有时

间的话，消失的时间又是怎样的东西呢？超弦理论还远远没有完善到能够回答上述问题的程度。关于这个用数学公式写成的理论，如果想作一番通俗易懂的介绍的话，我们也许只能说：构成自然界的最基本的单元是封闭在 10^{-35} 米尺度内的象弦一样的东西，它们存在于 10 维世界中。

玻色子与费米子

绝大多数科学家都认为自然界在根本上应该是对称的，不过就基本粒子而言，对称性还有另外一层涵义。我们可以把基本粒子分成两大类，一类是在同一种微观状态（量子状态）上无论数量多少都能共存的粒子，如光子、介子等，这类粒子即使位置及速度都相同彼此之间也能和平共处。我们在研究这类粒子的分布问题时需要使用玻色-爱因斯坦统计。相对论之父爱因斯坦在 1905 年提出了光是由粒子组成的光量子说。光量子（后来被称为光子）就具有上述性质，为了纪念爱因斯坦和印度科学家玻色，这种统计用他们的名字命名。玻色-爱因斯坦统计也简称玻色统计，服从玻色统计的粒子叫玻色子。

与玻色子不同，另一类粒子在一种状态上只能有一个存在，如电子、质子、中子、3 种中微子等，原子的 K 层上有 2 个状态、L 层上有 8 个状态、……一个状态上只能存在一个电子。有关这类粒子的分布统计以 2 位量子力学的开拓者——意大利的费米和英国的狄拉克——的名字来命名，叫做费米-狄拉克统计，简称费米统计。服从费米统计的粒子叫费米子。

基本粒子以及更基本的夸克不是玻色子就是费米子。对于质量更大的原子或分子来说，其统计十分近似于上述两种统计的中间值，为了方便起见，我们也用一套数学公式来记述，这就是经典统计也叫麦克斯韦-玻尔兹曼统计。

氢分子是最轻的分子，它由 2 个氢原子组成，加上回转自由度等因素，用经典统计反而方便。氢原子的质量虽然是氢分子的 2 倍，但是它却表现出了量子效应（因此经典统计不再适用）， ^4He 由偶数个费米子集合而成所以是玻色子，它的同位素 ^3He 由奇数个费米子组成因而是费米子。

数学计算证明，玻色子的集合体在超低温下会出现叫做玻色凝聚的特殊状态。液氦在绝对温度 2.19 度以下时所表现出的奇妙性质就是一个例子，容器中的低温液氦会自然地爬过器壁流到外面，而它的同位素 ^3He 就不会这样。

基本粒子（从模型上来说）都带有自转。力学上称为具有角动量，质量越大、自转得越快，角动量就越大。但是粒子的角动量非常奇妙地与它的质量无关，都是相似的值。以普朗克常数 h 除以 2 的值 $\frac{h}{2}$ 为单位（角动量是质量与速度、长度的乘积，它与 h 具有相同的性质），粒子的角动量只能是 0 倍、 $\frac{1}{2}$ 倍、1 倍、 $\frac{3}{2}$ 倍、……

粒子具有自转角动量也就相当于粒子带有磁矩（好象一条小磁石），我们把粒子的角动量和磁矩统称为自旋，并把单位 $\frac{h}{2}$ 也省略掉，只说自旋

为 $\frac{1}{2}$ 或自旋为1等等。于是作为研究对象的粒子分为自旋为整数（0, 1, 2, ……）的玻色子和自旋为半整数（ $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, ……）的费米子。繁琐的数学证明过程笔者略去不提，只希望各位读者记住这个结论。

“超对称粒子”

本节将探讨粒子的对称性问题。世界上的粒子分为玻色子与费米子两类，玻色子就是彻底的玻色子，而费米子从一开始就是费米子，这其中是不是不够公平有欠对称呢？

在基本粒子中，6种轻子本身已经是最基本的不可再分的粒子，介子和重子则是由2~3个夸克组成的。轻子与夸克的自旋都是 $\frac{1}{2}$ ，它们都是费米子。

每一种相互作用都有其传播粒子，我们把这些粒子称为规范粒子，它们中最为我们熟悉的是电磁相互作用中必不可少的光子，它的自旋为1。传递强相互作用的粒子叫胶子，它的自旋也为1，构成质子的3个夸克就是由胶子紧密地结合到一块的。

弱相互作用的传播粒子是中间玻色子，包括带电荷的W粒子和不带电的Z粒子，它们的自旋也都是1。

引力相互作用的传播粒子叫引力子，各种间接的研究表明，它的自旋似乎应该等于2。引力比其它力弱得多，因此与引力密切相关的引力子很难被观测到。从相互作用的‘形式’去分析，一定存在起结合作用的传播粒子，地球上的万物之所以受到向下的重力，就是因为它们在它们与地球之间发生着传播粒子的交换。所谓引力波正是引力子以光速在宇宙空间里飞行时的身姿，在这个意义上引力与电磁力非常相似。

构成物质的最基本的粒子都是费米子，而传播各种相互作用的粒子却都是玻色子。

超弦理论研究的正是费米子与玻色子的对称性。为了表示它的程度强于一般的对称性，我们称之为超对称性。超弦理论必须有10维才行。

在超对称性的研究中，出现了超对称粒子的概念。夸克的超对称粒子为S夸克，轻子的超对称粒子为S轻子，它们的自旋都等于零，全是玻色子。

对于相互作用的传播粒子来说，光子的超对称粒子是光微子，自旋为 $\frac{1}{2}$ ；胶子的超对称粒子是胶微子，自旋也是 $\frac{1}{2}$ ；中间玻色子的超对称粒子分别是W微子和Z微子，它们的自旋也都是 $\frac{1}{2}$ ；引力子的超对称粒子是引力微子，自旋为 $\frac{3}{2}$ ；这些超对称粒子都是费米子。如果上述的超对称粒子都存在的话，自然界就真正是完全公平、不偏不倚的了。超弦理论正是追求自然界最基本的普遍性的理论。

超对称性一词写成英又是super symmetry，超对称粒子由此得名susy。虽然用现有的带电粒子加速器无法观测到裸夸克，更别提去观测引

光子，但是我们也不能排除在某些条件下通过实验间接地观测超对称粒子的可能性。欧洲核子研究中心的卢比亚领导的研究小组在发现中间玻色子的同一时期曾经高兴地宣布终于找到了超对称粒子，但是后来发现那是一次误认，结果是一场空欢喜。

影子世界

超弦理论预言了超对称粒子的存在，现实真的是这样吗？基本粒子理论的使命是将粒子的种类归纳到尽可能少的程度。最初人们认为构成自然界的最基本粒子只有轻子加上 3 种夸克，但是没过多久夸克的种类增加到了 6 种，而且每一种夸克又有 3 种不同的颜色，再加上反夸克的话，总数达到了 36 种。虽然有的观点认为颜色的不同只是形式上的分类并不表示性质的差异，但是，曾经减少了的数目又不断地增多起来……使人感到似乎基本粒子理论的命运就该如此。

现在，如果同意超对称理论的话，基本粒子的种类又将增加 1 倍，超对称粒子真的存在吗？循规蹈矩的人大概会认为这种做法简直是胡来。

图 7-2 与我们的世界完全 相同的‘超对称粒子’的世界

超弦理论指出，超对称粒子只通过引力与通常的粒子发生关系。引力的强度远远弱于电磁相互作用，因此发现超对称粒子的可能性实在微乎其微。尽管超对称粒子就在我们的周围，但是我们却几乎不可能看到它的身影。所以有人把由超对称粒子组成的机构叫做影子世界，它由 S 夸克和 S 轻子组成，与我们的这个世界完全相同，不过我们看不见它。这种说法也许令人感到不快，但是理论结果就是如此，谁都无能为力。

宇宙里充满了负能电子！

前文说过，爱因斯坦在广义相对论公式里加入了宇宙常数，因为他担心如果缺少了该常数字宙中的天体就会在万有引力的作用下全部聚成一堆。后来哈勃通过观测发现了宇宙的膨胀，因此只要处理方法得当，没有宇宙常数也不必担心出现天体集中的计算结果，这时科学家们心里才踏实了下来。但是，宇宙是无限地膨胀下去呢？还是膨胀到某个最大值以后转入收缩呢？这个问题还没有真正弄明白。

不过，我们大致可以预测，如果宇宙中的质量较多、宇宙物质的平均密度大于某个值（我们称之为临界密度），宇宙将会在万有引力作用下发生收缩。那么，临界密度应该是多大呢？它的推测值因人而异、五花八门，不过很多人相信临界密度大约是平均每升 1 个质子的程度。

那么，现实宇宙的密度是多大呢？这个问题的答案也是五花八门，有人认为它是临界密度的 2—3 倍，也有人认为它甚至小于临界密度的 1%。按后一种观点，宇宙会不会永远膨胀下去呢？不会的，只要把爱因斯坦公式中的宇宙常数改变一下符号（把宇宙常数当作引力去考虑）就行了。那么，这样做的理由何在呢？

我们曾在前文中简单地提起过，在宇宙中到处都飞舞着能贯穿天体的中微子，人们至今还没弄清它的质量到底是不是零，假若中微子具有哪怕很微小的一点质量的话，宇宙的密度就将增大很多。

再说如果果断地承认影子世界的存在的话又会怎么样呢？自然界里存在一个看不见的由超对称粒子组成的影子世界，它仅仅通过引力与现实世界发生关联。影子世界的存在将会阻止宇宙的无限膨胀。它到底是什么？

话题离开了影子世界，我们在学习量子力学时就曾经碰到过看不见的粒子。很早以前，人们就已经懂得了电子的存在，英国人狄拉克曾经列出方程计算过电子的能量，因为方程式是二次的，所以出现了正、负两个解，一般对负的解均予以舍去，但是对数学极度忠实的狄拉克显示了他的卓见，这种负能量的电子后来被称为负能电子。狄拉克指出，负能电子所留下的空穴就是正电子。

我们都知道正电子，但是负能电子到底是什么东西呢？它应该充满整个空间，偶而出现空缺时就会表现为带有正电荷的正电子，因为我们很少见到正电子，所以负能电子在空间里几乎是满员的状态，至少地球周围的空间如此。

正电子是宇宙中分布最普遍的一种粒子，因此无论是在太阳附近，还是在银河系的中心，还是在仙女座以及遥远的类星体附近，都应该大量地存在着负能电子。如此数量巨大的负能电子真的存在吗？这个疑惑油然而生。但是，根据狄拉克的结论，我们不得不认为宇宙中充满了负能电子。在宇宙的膨胀过程中，随着空间的不断扩大，负能电子的数目也应该不断

增多。

也许从某种意义上讲负能电子只是形式上的东西，不能把它与实在的粒子等同看待。负能电子是我们碰到的通过逻辑推理必然充满整个空间的唯一一种粒子。那么是否还会出现类似的粒子呢？所有的基本粒子都有其反粒子，在研究这些反粒子时，我们能不能不把它们能量假定为负值呢？为什么只对正电子想像出负能电子那样奇妙的东西呢？其它粒子的情况又是如何呢？

这类问题很难懂，很少有人涉及这些话题[^]。即便是请教专家，也只能得到些‘信则有，不信则无’之类的回答，的确使人感到无奈。

我们之所以在这里讨论负能电子，是因为我们不得不把它当做充满了宇宙空间的无处不在的东西来考虑。前文说过，大爆炸是发生在真空中的。当时会不会不是真空，而是负能电子或者相当于负能电子的某种东西呢？负能电子的能量是负的，我们又该如何去看待发生大爆炸时的真空的能量呢？就算是假想也罢，在充满了奇妙粒子的真空中所发生的相变能够产生巨大的变化也许是顺理成章的事情，这样的模型难道不值得我们研究吗？

图 7 - 3 P.A.M.狄拉克。1933 年他与
薛定谔一起获得了诺贝尔物理学奖

遗憾的是，这类问题与其说是没有得到解决，倒不如说是好象还无人涉及。

[^] 们在宏观世界总结出来的热力学第二定律并不是在任何情况下都成立。比如说，在微观世界，对于少数粒子的行为（如正反粒子对湮没而生成两个光子，或，两个能量足够大的光子碰撞而生成正反粒子对），热力学第二定律便不再成立。再比如，在宇观世界，对于半径大于 10 光年的孤立气体团，该定律能否成立也值得研究。读者如有兴趣可参看张邦固所著《恒星起源动力学》第七章。——责任编辑

宇宙整体就是个大黑洞

解释宇宙的理论有很多，虽然这些理论确实相当详细地解释了宇宙的某些现象，但是它们在解决问题的同时又带来了许多新问题，下面就是这样一个例子。

形成黑洞必须有高密度的天体，只要天体的质量足够大就有可能形成足够高的密度。如果把地球压成一个黑洞的话，半径只有 8.9 毫米；如果把太阳压缩成黑洞，其半径为 2.95 千米。密度比的计算结果表明，太阳大约为地球的一千亿分之一。

让我们按这个比例来估算一下宇宙的总质量。假定银河系中有 1 千亿颗太阳般大小的恒星而整个宇宙中又有 1 千亿个银河系那样的星系的话，那么史瓦西半径大约为 100 亿光年。

已知现在宇宙空间的尺度约为一百数十亿光年，如果沿用史瓦西公式的话，我们所在的宇宙整体就成了一个大黑洞。然而我们却丝毫不感觉到周围存在着任何奇怪的现象，光在笔直地传播、地球表面只有很弱的引力场（根本没有强到能够使光发生弯曲的程度），什么时间与空间的对换、什么时间的逆转……我们一点儿也感觉不到。重要的是，史瓦西公式仅适用于引力场极强的情形。

但是有一种观点认为，有一百几十亿光年大小的我们这个宇宙被包含在史瓦西半径之内，隔绝于外界。黑洞只能接收外界的信息，却不能向外界传出信息。也许我们的宇宙在某种意义上是孤立的，不同的是，里面的我们无法得到外面的信息，因此宇宙也许更象一个白洞。兴许在我们的宇宙之外还存在着各种各样的宇宙，没想到我们自己倒成了坐井观天的青蛙（尽管这口井大得出奇），除了自己的宇宙以外什么也不知道，从物理原理来说，我们不可能与外界进行信息交换。这种说法似乎过于夸张。

到其它世界去

笔者曾经介绍过宇宙初期的暴涨，那里曾经涌现出过许多泡沫状的大小不一的宇宙，它们由蛀洞连结在一起。所谓蛀洞，如果真的存在的话，它们的粗细只有 10^{-35} 米，假若用什么办法使之扩大的话——象基普·索恩曾经强求过的那样——人就有可能瞬时地转移到其它世界中去。当然大概只有神仙才能完好无损地穿过极强的引力场。

蛀洞另一头的宇宙是与我们的世界相似呢？还是完全不一样呢？无人知晓。不过从都起源于宇宙诞生期的同一大爆炸来看，按照对称的观点，我们应该能够运用物理学的知识去解释那里所存在的基本粒子。也有可能由于某种原因，在分化时被分离的宇宙里反粒子略多一些，那么该宇宙就应该是个反物质组成的世界。

关于该宇宙中时间的经过，最好的方法可能还是通过熵来判断，该宇宙大概也是沿熵增大的方向演化，这正是时间的本质。

不过，谁也无法保证在那里有生命、甚至有智慧生命存在。首先，自然界合成有机物的概率相当低，如果说人类的大脑是在一连串的偶然事件中形成的，形成的概率应该极其微小。当然这并不等于肯定只有我们人类才能主宰一切，在广阔的宇宙里兴许存在着头脑更发达的动物。

虽然大家公认碳有机物是生命的基础，但是也有些学者认为可能存在由硅或锗等元素形成的人。虽然在地球上四价的而且最轻的碳原子是形成巨大的有机分子的骨干，但是其它的四价原子（如硅或锗）在特定的温度、压力等条件下难道就不可能形成硅或锗的有机物吗？除了超铀元素之外，谁也不可能找到第 93 种元素，因为我们已经找到了从氢到铀的、按质子与电子数目的大小顺序从 1 到 92 的全部所有的元素，而且原子序数不可能出现非整数的情况。

关于另外的未知世界，无论您有多么旺盛的好奇心，笔者在此还要劝您先不要考虑这样的旅行，就算能够成行，那里的环境（温度、压力等）能否适应人类的生存？谁也不知道，而且谁也无法保证还能再回到我们的宇宙。

奇怪的蛀洞

有的观点认为蛀洞所连结的是同一个宇宙，这个观点非常令人感兴趣。先把能否通过蛀洞的问题放在一边，根据该观点，如果穿过蛀洞的话就能够在瞬间从地球移动到金星、天狼星、天鹅座、仙女座等天体上去。这类故事经常出现在科幻小说以及动画片里。

假如人真的能够到达其它星球并想走出火箭，他必须穿上极其坚固的耐高温高压的宇航服，否则将立刻丧失生命。让我们暂不考虑这些细节。总之，如果蛀洞大量存在，就有可能在宇宙里自由地移动。根据我们以往的知识，从地球到银河系中心即使乘光子火箭至少也得花 3 万年，如果能够通过蛀洞旅行，就根本用不着费那么多的时间了。

我们在一些书里经常可见蛀洞的示意图，蛀洞象管子一样将一个个球状的宇宙连接起来（蛀洞的形态很象连结物体的把手）。然而在这类图中，我们看不出它的各部分所表示的究竟是时间还是空间？如果全都是空间，通过蛀洞就能在瞬间移动到其它地点。

但是，如果蛀洞的方向就是时间轴，那就意味着它的入口与出口的时刻是不一样的。从现代的一头进去，我们可能会出现在滑铁卢的战场上或法国大革命的人群中；如果另一头通向未来，我们则可能到达 2050 年甚至 3000 年的世界。

我们曾经介绍过基普·索恩煞费苦心的办法，现在看来他大概认为蛀洞只是移动一点距离（完全不移动时间）的隧道。索恩的蛀洞都不与时间轴平行，他的前提其实是只能移动距离，因此才能利用相对论的山中遇仙效应成为回到过去的方法。

如果我们按这个思路考虑下去，就会发现时间与空间是不一样的。虽然爱因斯坦曾经把时间作为第四维（或第一维）坐标，创立了四维几何学并且用极其对称的公式进行了表述，但是它只不过是一种形式。在现实中，移动位置与移动时间完全是两码事。

假若蛀洞只沿着时间轴移动而完全不移动空间，那么，就象威尔斯的小小说《时间机器》所描述的那样，回到了同一实验室的过去的环境中。不过这种事情似乎不太可能，因为我们的地球在不停地自转和公转，太阳系在不停地绕着银河的中心旋转，就连银河系也并非静止不动。

所以，如果您想操纵威尔斯笔下的时间机器到 100 年前的同一地点去，结果您很可能将到达宇宙空间的某个意想不到的根本无法生存的地方。这样说也许显得有些不尽情面，按照那本小说的情节，主人公们确实是通过操纵机器在地球上的同一地点移动时间的。

图 7—4 奇怪的蛀洞！

没有终结的终结

宇宙的时间确实非常复杂，就连大名鼎鼎的霍金，其关于时间的观点也先后发生过 180 度大转变。宇宙膨胀时熵时间将不断增加，到此还好说，但是收缩期的时间就不好说了，霍金起初认为它的指向将发生逆转，但后来他发现原先的理论有错误，并把它修改为收缩期里时间不会发生任何逆转仍按原方向前进。

上面的一番话是以宇宙在膨胀到一定程度后转而收缩的模型而言的，如果膨胀永远地持续下去，也就是说宇宙是个开放体系的话，结果又将怎样呢？如果宇宙物质的密度很低的话就存在这种可能性。

关于这个问题，众多的专家们发表过各自的见解，说法五花八门，没有定论。在宇宙里的所有恒星的内部都发生着核聚变反应，开始时氦占多数，到后来随着能量最低的铁的不断形成，聚变反应终将结束。根据大统一理论，质子的衰变将使宇宙中充满各种各样的粒子，据分析质子的最长寿命约为 10^{32} 年，当宇宙到达这个年龄时，所有的重粒子都将消失，只剩下轻粒子。那时在宇宙中大量发生的将是正、反粒子对的产生和湮没以及形如几个粒子围绕某个重心旋转所形成的简单原子（？）一样的结构。在经历了漫长的时间后，巨大的黑洞也已蒸发殆尽。据推测，到那一天需要经过 100 兆年（ 10^{14} 年），这个时间比宇宙的年龄长 1 万倍以上。今天我们所看到的众多天体终将化为黑洞，银河附近不能直接形成黑洞的天体将在接近、碰撞等过程中获得动能，从而脱离银河并终将被宇宙中的黑洞所吞没。

伴随着黑洞的不断增长，宇宙中的有形物体终将完全消失。

按照有关熵的理论，黑洞将尽可能地合并成大黑洞，从而使其表面积不断增大，但是量子力学却又不允许这种情形出现……这是一种结论。

然而，另一种结论指出：宇宙将无休止地膨胀下去，因此永远不会出现物质或能量在空间中均等分布的状态。虽然自然界总有趋向无序（或平均化）的倾向，但是这种倾向赶不上宇宙的膨胀。所以，尽管熵将会无限地增大，却永远不会达到热死状态。如果不断地倾倒垃圾，很快就会把垃圾场给堆满到不能再堆的地步，但是如果把宇宙看作是一个垃圾场，不断的膨胀将使垃圾场自身也不断地扩大，永远不会出现没有空地的局面。

把熵的增大看作时间的话，时间将无边无际、永无休止地持续向未来，这是开放宇宙的终结。我们的这个世界的终结真是这样的没有终结吗？

后 记

伽莫夫是预言了大爆炸的伟大科学家，同时他又是一位创作了众多的科幻作品的艺术家。科学家应该用严谨的目光看待自然界的一种人，似乎与艺术家在性格上相去甚远。艺术家是‘给大众带来快乐的人’（根据辞典的解释），而科学家则是在获取知识的过程中自身感受到快乐的人。所以，我们或许应该把伽莫夫看作是将人类在研究自然的过程中的浪漫介绍给广大读者的人。

作为本书主题的时间的奥秘就是从宇宙说起的大浪漫话题。也许有人会觉得浪漫固然精彩，但是它不应属于科学的范畴之内。的确，如果科学只包括那些已经得到确证的东西，那么在本书所涉及的内容里包括了浪漫的、甚至永远属于浪漫范畴的部分。“我不接受这些含糊不清的东西”——这样的意见本身也称得上是一种观点。

如果按照这种观点对科学进行严格规定，那么微观世界的量子力学与宏观世界的相对论、还有很可能存在于宇宙空间中——特别是天鹅座 X - 1——的黑洞等大概算得上是真正的科学。

科学与浪漫的界限是很难划分的。大小只相当于一块方糖却重达数亿吨的高密度物质在 30 年前仅仅是空想，至于由这种物质形成的星体将把光吞没进去……简直如同天方夜谭，然而现在科学家们已经开始着手对中子星以及黑洞进行探索，浪漫已经超出它的固有疆界进入了科学的领域之中。象这样起源于好奇心、脱离常识的东西最终作为真实得到承认的事例在科学史上不胜枚举。

特别是在以时间为主题的本书中，最令人感到奇妙的是虚时间。如同正文中所介绍的，当我们设定四维时空间并且“一本正经”地将勾股定理沿用过来的话，时间轴就成了虚轴 ict ，霍金利用虚时间避开了在大爆炸及大塌缩中所出现的奇点。那么，如果说宇宙诞生时为虚时间、现在为实时间的话，它们之间的界限在哪里呢？到底是在哪一瞬间由虚转实的呢？十分遗憾，霍金没有给出答案。

也有的学者认为我们现在的时间就是个虚数，这种观点非常有趣。与眼见为实的长度、宽度等不同，人类只能感觉到其‘经过’的时间在数学上是个虚数。这种超脱凡俗（应该说超脱实数）的思维本身就称得上是一种罗曼蒂克。

诞生于本世纪初的量子力学和相对论都是打破了旧观点的震惊世界的理论，它们的可靠性已经经受住了考验。量子力学成了今天微电子技术的不可缺少的基石，它早已突破了仅仅作为一种学术理论存在的意义，依据用量子力学计算出的电子的各种运动形态，人类生产出了各种日常生活中必不可少的产品。量子力学和相对论都是科学史上的大革命。

宇宙从诞生到现在已经度过了一百五六十亿年的时间。有关宇宙的框

架，科学家们正在努力地用相对论和量子力学来进行解释。

本书介绍了这些前沿的课题，笔者在感到这些说法有道理的同时，在自己的脑海里也不时出现“真是这样的吗？”之类的疑问。

相对论和量子力学都是在快到公元 2000 年时由擅长思考的叫做人类的生物所创立的科学，它们的精彩和伟大不容怀疑。但是，靠它们就能解释长达 100 多亿年的宇宙历史吗？

人类的历史还将持续多久？或许终将会有灭亡的一天。但是至少在 21 世纪、22 世纪或今后相当长的时间里，人类文明将持续下去，这一点应该没有问题。

我们正在试图用 20 世纪的相对论和量子力学来解释一切，这实质上意味着将来不会再出现比它们更完美的基础理论，果真如此吗？19 世纪的人无论如何也不曾想过相对论和量子力学，依此类推，将来的人一定会创建开拓出我们今天无法预料的‘什么’。难道相对论和量子力学已经使基础理论达到了完美无缺的程度、剩下的只是如何运用的问题了吗？……

从当今的物理学的实际情况来分析，量子力学和相对论不应该是基础理论的终点。我们承认它们的伟大并不等于认为它们已经到了登峰造极、无出其右的程度。

然而目前我们只能使用已有的武器去解释自然界，本书的目的就是想介绍这些努力的来龙去脉。虽然笔者无法预测，兴许在 100 年或 200 年后的将来，人类会发现更为基本的原理并对宇宙作出与今天完全不同的解释。在大自然面前，人类必须永远抱着谦逊的态度。

中译本责编的话

本书在‘时间’的题目下包容了物理学的许多前沿课题，语言通俗，幽默风趣，引人入胜。对于激发青少年对科学的兴趣，普及科学，一定会起较大的作用。

然而，在编辑完本书之后，不得不对有些问题在这儿作一说明。本书介绍了相当多的在物理学前沿领域的科学家（有的甚至是杰出的科学家）的观点，但是，其中的一些并没有被实践证明，也没有被其他科学家接受。这里就几个最根本性的问题作一简单地叙述。

1. 时间的客观性

时间是客观的还是主观的，这是科学与神学的分水岭。并且，这儿没有中间状态，只要被人们左右就不是客观的。

时间是物质运动的持续性，它与作为物质运动的广延性的空间一样，是客观的。

而作为人们对物质客观性质的反映，自然会带有主观性，时间是如此，空间也是这样。例如，对于经常锻炼的人，尤其是运动员来说，十公里路‘不算远’，而对于不常运动的人，十公里就‘太远了’；即使是同一个人，当他一天走一百里时，他会觉得，前九十里和后十里一样，这也就是‘行百里者半九十’成语的含意之一吧。再比如说温度，如果您先把左右手分别放入冷水和热水中1分钟，再把双手放入同一盆温水中。那末，根据左手，您会觉得这盆水较热；而根据右手，您又觉得它较冷。同样温度的铁块会比木块凉些。这样的例子不胜枚举。但是，这些并不能说明，空间、温度等不是客观的，同样，书中的例子也不能说明时间不是客观的。

2. 时间的度量

长时期以来，人们都用太阳或月亮相对于地球的运动来度量时间。现代，人们发现上述单位不稳定，便改用铯 133 原子基态两个超精细能级之间跃迁辐射的 9192631770 个周期的持续时间来规定 1 秒。

由这些度量也可以看出，时间是客观的。

书中介绍了用熵来度量时间的观点。然而，这种做法是行不通的。原因是，理论上，在微观世界，对于少数粒子的运动，如正负电子碰撞产生光子，熵无定义；在宇观世界，许多科学家（如温伯格等）并不认为熵恒增加。实践上，熵并不是可以直接测量的量。

3. 时间有无头尾？

时间是物质运动的延续性。物质是不灭的，并永远运动。反映在物理学中，便有质量能量守恒定律。书中用不确定原理（ Δt ）（ ΔE ） $\sim h$ 从真空（无）中产生了宇宙。但是，这种论述是不能成立的。编者在注中已说明了，由 $\Delta t \sim 10^{-44}$ 秒得到的是 $\Delta E \sim 10^{10}$ 焦耳。并不是说宇宙的 $E \sim 10^{70}$ 焦耳。实质上，今天观测到的宇宙总能量约为 10^{69} 焦耳。可以说，能量守恒是物理学中最普遍的规律。

物质不灭，并且永远运动。必然的结论就是时间无头尾。当今的宇宙来源于大爆炸，并不等于说，大爆炸就是时间的头。因为在大爆炸前，宇宙也必然存在，并且运动！

书中值得讨论的地方还很多，编者曾加了几个注。但是，要说清楚这些问题，还远远不够。这也正是物理学的魅力之所在。

张邦固

1995.10.16

《生活与科学文库》已出版的图书

- | | |
|----------------|------------|
| 时间的奥秘 | 都筑卓司 著 |
| ——从时间隧道到霍金 | 王 旭 译 |
| e 的奥秘 | 堀场芳数 著 |
| ——从 e 的发现到电脑程序 | 丁树深 译 |
| 的奥秘 | 堀场芳数 著 |
| ——从圆周率到统计 | 朴玉芬 译 |
| 走路与健康 | 藤原健固 著 |
| ——对身心都有益的运动 | 田 林 译 |
| 睡眠是什么 | 松本淳治 著 |
| ——探索睡眠与梦的世界 | 王健平 毕晓白 译 |
| 漫话功能食品 | 石仓俊治 著 |
| ——防病、减肥、抗衰老 | 周永春 钱海和 译 |
| 健康常识的 50 个误解 | 冈 惺治 著 |
| ——感冒乃万病之源 | 赵 伟 何 华 译 |
| 婴幼儿保健 | 柳林等 著 |
| 优生咨询 第二版 | 薛沁冰 主编 |
| 衰老与抗衰老 第二版 | 郑 集 著 |
| 漫谈癌症的预防 | 陆建邦 主编 |
| 健身祛病小功法 | 王培生 著 |
| 赏花与养花 | 薛守纪 刘 金 编著 |

百则偶然科学发明

男性学咨询 第五版上册

男性学咨询 第五版下册

女性学咨询 第二版上册

女性学咨询 第二版下册

疾病与性保健

青春期性保健

碘·生命·健康

图解实用经络健身术

孙永旭 编著

马晓年 贾孟春 主编

马晓年 贾孟春 主编

马晓年 主编

马晓年 主编

马晓年 夏恩菊 主编

马晓年 主编

李 晔 编著

杜淑贤 齐建国 编著

内容简介

本书从诸多方面讨论了人们似乎已经十分熟悉的“时间”。其理论基础涉及最新的物理学理论，然而，叙述深入浅出，通俗易懂；语言风趣幽默，引人入胜。本书适合于初中水平以上，对“时间”等基本物理量和基础物理理论感兴趣的读者。

