

时间的简明历史

——从大爆炸到黑洞

S.W 郝京 著

张 礼 译

清华大学出版社

内 容 简 介

本书为通俗科学著作。书的前半部介绍对时空认识的演变以及量子物理、宇宙论和粒子物理基础，后半部介绍了黑洞物理学、暴涨宇宙模型、黑洞的辐射以及黑洞热力学。作者本人曾在这些方面作出过重要贡献，书中对宇宙演化及时间在物理学中的作用提出了一系列根本原则问题。

本书除供广大非专业读者阅读外，对专业科学工作者也是有益的。

A BRIEF HISTORY OF TIME

From the Big Bang To Black Holes

Stephen W. Hawking

时间的简明历史

(从大爆炸到黑洞)

斯蒂芬·霍金 著

张 礼 译

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

北京昌平振南排版厂排版

北京京辉印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本, 787×1092 1/32 印张, 5.75 字数, 129 千字

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

印数, 0001—5000

ISBN 7-302-00642-3/O·102

定价: 2.30 元

致 谢

1982年在哈佛大学作了勒布讲座的演讲之后，我决定尝试写一本关于空间和时间的通俗书。当时已经有相当数量的关于早期宇宙和黑洞的书，有非常好的，例如斯梯凡·温伯格写的《最初三分钟》，也有很坏的，这我就不提名了。但我觉得这些书中还没有讨论到引导我进行宇宙学和量子理论研究的那些问题：宇宙是从哪里来的？它如何开始，为什么要开始？它会有终结吗？如有，是如何告终的？这些都是我们大家感兴趣的问题。但近代科学已变得如此技术性强，以至只有极少数专家能够掌握用以描述它的数学。不过，关于宇宙起源和结局的基本概念是可以不用数学而用一种没有受过科学教育的人也能懂的形式叙述清楚的。这就是我在本书中要尝试的。读者可以判断我是否成功。

有人告诉我，我收入书中的每一个方程式都会使销售数减半。因此我决定不用方程式。但在最后我确实放进了一个方程式，即爱因斯坦的著名方程式 $E=mc^2$ 。我希望它不会嚇退了我的潜在读者的一半。

除去很不幸得了ALS（运动神经疾患）以外，我在几乎其他每一个方面都是幸运的。我从我的妻子简和我的孩子们

罗伯特、露西和梯米得到的帮助和支持使我得以过着相当正常的生活并有一个成功的事业。我还很幸运选择了理论物理，因为一切只要用脑子就可以了，因此我的残疾没有成为严重的障碍。我的科学同事无一例外都是最有帮助的。

在我事业的第一个“经典”阶段中，我的主要同事和合作者是罗杰·潘若思，罗伯特·格若区，布兰登·卡特和乔治·埃里斯。我感谢他们，为了给予我的帮助，也为了我们共同进行的工作。这个阶段以1973年埃里斯和我写的“时空的大尺度结构”一书作为总结。我并不建议本书的读者为得到进一步的信息去参考那本书：它是高度技术性的，也很难读。我希望从那时起我学会了如何写得使人易于看懂。

我工作的第二个“量子”阶段从1974年开始。我的主要合作者是葛里·吉本斯，唐·裴济和吉姆·哈脱。我深深感谢他们，和我的研究生们。他们在物理和理论两个方面的意义上给予我很多帮助。要跟上我的学生一直是很大的激励，而且使我得以避免墨守成规。

在本书写作中得到我的一个学生布赖恩·维特很多帮助。我在1985年写完第一稿后得了肺炎。我作了气管切开手术，它使我丧失了说话的能力，使我几乎无法与人交流。我想大约我不能完成本书了。但布赖恩不仅帮我修改稿子，还帮助我用上了称为生活中心的通讯程序，它是由加利福尼亚州松尼维尔的文字处理公司的瓦尔特·渥尔托斯捐赠给我的。用它我可以写书和论文，并通过由加利福尼亚州松尼维尔的语言模拟公司捐赠的语言综合器和人对话。综合器和一个小型个人计算机是由戴维·梅森装在我轮椅上的。这个系统使得我和以前大不相同了：事实上我现在能比我丧失声音以前更好地

和别人对话。

我从见过初稿的许多人那里得到如何改进本书的建议，特别是本书的编者，矮脚鸡出版社的彼得·古扎尔迪寄给我一页又一页的评论和关于他认为我没有解释清楚问题的质疑。我必须承认当我接到他一张需要改动的地方的大单子时，我曾很激动，不过，他是很正确的。我可以肯定，他坚持折磨我的结果，促成了一本更好的书。

我很感谢我的助理柯林·威廉姆斯，戴维·托马斯和雷蒙·莱夫雷姆；我的秘书久蒂·费拉，安·拉尔夫，车里尔·比灵顿，和苏·梅西；和我的护士们。没有由冈维尔和凯厄斯学院，科学及工程研究委员会，和莱涅尔休姆，麦克阿瑟，纽菲尔德和拉尔夫·史密士基金会所提供的科研和医疗费用的支持，这一切都没有可能。我很感谢他们。

斯蒂芬·郝京

1987年10月20日

前 言

我们为日常生活奔忙，而对世界却不甚了解。我们很少去想一下使生命得以存在的日光的产生机制，想一下把我们粘在地球上的引力，如没有它我们就要被甩到空间中去，或想一下构成我们的原子，我们在根本上要依赖于它们的稳定性。除去孩子们（他们还不知道不该去问重要的问题），我们中很少人花时间去想一下宇宙为什么是它现在这个样子；宇宙从何处来，或它一直就是在那里的；是否有一天时间会倒转，结果跑到原因之前；或是人类的认识有没有一个最后的界限。甚至有的孩子都要知道黑洞是什么样，最小的物质小块是什么；为什么我们记得过去却不记得将来；如果过去曾是混沌状态而今天却是有序的，这又是为什么；为什么有一个宇宙等等。我曾遇到过他们中的一些人。

在我们社会中由家长或教师用耸肩或引用记得并不清楚的宗教箴言来回答大部分问题，这是习以为常的。有些人对此感到不舒服，因为它们如此生动地暴露出人类知识的局限。

但哲学和科学却被这些询问所推动。愈来愈多的成年人愿意问这类问题，有时他们得到使人吃惊的回答。我们正在扩展我们探索的视野，从最小的原子到最大的星体。

1974年春天，在海盗号空间船在火星上登陆约二年前，我在英国参加一个由伦敦皇家学会发起的探索如何搜寻地球

外生命的会议。在休息时我看到一个大得多的会正在邻近的大厅中举行。出于好奇我走了进去。很快我就理解到我正在参观一个古老的仪式，这个星球上最古老的学术组织之一的皇家学会新会员的就职典礼。在前排一个坐在轮椅中的青年人正在很慢地把他的名字签在一个本子上。这个本子的早期一页上签有艾萨克·牛顿的名字。当最终他签完字时响起了激动人心的欢呼声。在那时斯梯芬·郝京已是传奇式的人物了。

郝京现在是剑桥大学卢卡锡数学教授，这是一度由牛顿，以后又由迪拉克这两位著名的极大和极小世界的探索者所持有的职务。他们是称职的继承人。郝京的这第一本为非专家写的书可以给予普通的读者多方面的教益。和本书幅度宽广的内容同样有兴趣的是它提供的作者思想如何发展的一瞥。在本书中有关于物理学、天文学、宇宙学的前沿以及作者治学勇气的揭示。

这也是一本关于上帝的书。或者是关于上帝不存在的书。上帝一词充满了篇章。郝京出航以探索对爱因斯坦所提出问题的回答，这个问题是：上帝在创造宇宙时他是否有所选择。如郝京明白说出的那样，他是在试图了解上帝的想法。这就使得这番努力的结论更出人意料之外，至少到现在是这样：我们的宇宙是一个在空间没有边缘的、在时间没有起始也没有终结的，也使创世者无事可做的宇宙。

卡尔·塞甘
康乃尔大学
纽约州依萨卡

目 录

致谢

前言

1 我们关于宇宙的图象	1
2 空间和时间	14
3 膨胀的宇宙	32
4 不确定原理	48
5 基本粒子及自然界的力	56
6 黑洞	71
7 黑洞并不那么黑	87
8 宇宙的起源和结局	100
9 时间的箭头	124
10 物理学的统一	133
11 结论	146
阿尔伯特·爱因斯坦	151
伽里略·伽利雷	153
艾萨克·牛顿	155
名词解释	157
索引	163
附录	174

1 我们关于宇宙的图象

一位著名的科学家（有的人说是贝尔传德·罗素）有一次作关于天文学的公开演讲。他描述了地球如何绕太阳转动，而太阳又如何绕被称为星系的巨大的星体集合的中心而转动。演讲完毕时，坐在屋子后面的一位老夫人站起来说：“你刚才告诉我们的都是废话。世界实际上是一个由巨龟的背所支持的平盘。”科学家在回答之前优雅地一笑，说：“那么这个巨龟又站在什么上面呢？”老夫人说：“你可真聪明，年轻人，真聪明！但下面是一只又一只的龟呀！”

多数人会觉得作为无穷多级的龟塔式的宇宙图象很可笑，但何以知道我们就了解得更好些呢？关于宇宙，我们知道些什么？了解得如何？宇宙从何处来，又到哪里去？宇宙有起始么？如果有，那么在此以前又发生了什么？时间的本性是什么？它会有个终结么？由于奇妙的新科技所导致的物理学的新突破对这些长期存在的问题中的一部分提供了答案。某一天这些答案对我们会成为像地球围绕太阳转动一样显然，也许像龟塔一样可笑。只有时间（不论它可能是什么）才能告诉我们。

早在公元前340年，希腊哲学家亚里斯多德在他所著的

“关于天体”书中就给出两个论据足以使人相信地球不是平盘而是圆球。首先，他理解了月蚀是由地球走到太阳和月球之间造成的。地球在月球上的影子总是圆的，而这只有地球是球形才有可能。如果地球是圆盘，它的影子就会是拉长的椭圆形，除非每次月蚀都发生在太阳正好直接在圆盘中心下面。第二，希腊人从他们的旅行经验知道，在南方看北极星，它在天空的位置要比在北方看时低一些。因为北极星在北极上方，在北极它出现在观测者头顶上，而对从赤道上观测的人，它出现在地平线上。从在埃及和希腊对北极星的视位置之差，亚里斯多德甚至给出了一个估计，地球周长是400,000运动场，不知道一个运动场有多长，它可能有200码。这使亚里斯多德的估计为现在公认数值的二倍。希腊人甚至还有第三个论据：地球是圆的，否则为什么船在地平面上出现时先看到船帆而后看到船身。

亚里斯多德认为地球是静止的而太阳、月球、行星和恒星在围绕地球的圆形轨道上运动。他相信这一点，是因为他由于一种神秘的原因感觉到地球是宇宙的中心，而圆运动是最完美的。这个观点在公元二世纪被托勒密发展成为一个完全的宇宙学模型。地球站在中心，被八个球面所环绕，这些球面上载有月球、太阳、星体和当时所知道的五个行星：水星、金星、火星、木星、土星（图1.1）。行星在它们各自球面上的小圆上运动，这是为了说明它们在天空的复杂运动。最外面的球面上载带着所谓固定的星体。它们彼此间的相对位置不变，而一起在天空中转动。在最后一个球面之外还有什么，从来没有说得很清楚，但它肯定不是人类可观测的宇宙的一部分。

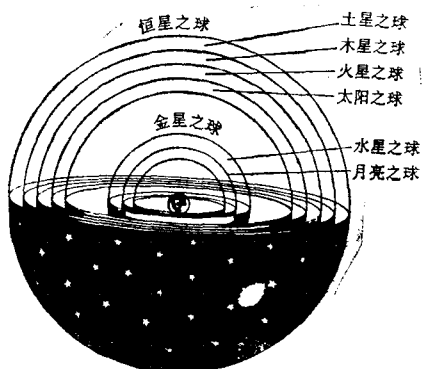


图 1.1

托勒密模型提供了一个较为精确的体系，它能预言星体在天空的位置。但为了正确预言这些位置，托勒密必须作出一个假定，即月球运行的轨道使它在某些时间距地球比在其它时间要近两倍。这意味着月球在某些时间看起来要比另一些时间大两倍。托勒密承认这个缺陷，但即使如此他的模型也一般地被接受了，虽然还没有普遍地被接受。基督教会选定它作为依据于圣经的宇宙模型，因为它有一个巨大的优点：在恒星球外面为天堂和地狱留有充分的余地。

在1514年波兰牧师尼古拉·哥白尼提出一个更简单的模型（起初可能是怕被自己的教会指责为异教徒，哥白尼匿名传播了他的模型）。他的想法是太阳静止于中心，而地球与行星运动于围绕太阳的圆轨道上。将近过了一个世纪，这个想法才得到认真的对待。那时两位天文学家——德国人约翰内斯·开普勒和意大利人伽里略·伽利雷，公开支持哥白尼理论，

虽然他们所预言的轨道和观测的轨道并不完全符合。对亚里斯多德-托勒密理论的致命打击于1609年到来。在这一年伽里略开始用刚刚发明的望远镜观察夜空。当他观察木星的时候，发现它由几个小卫星或它的月球所伴随。这意味着并不是像亚里斯多德和托勒密所想的那样，一切东西都要直接围绕地球旋转。（当然仍可以“相信”地球在宇宙中心静止，而木星的月球围绕地球以极为复杂的轨道转动，这才能给出它们围绕木星转动的外貌。不过哥白尼理论却要简单得多。）同时约翰内斯·开普勒修改了哥白尼理论，建议行星并非在圆轨道上，而是在椭圆轨道上运动（椭圆是拉长了的圆）。这个理论预言就和观察完全符合。

对开普勒而言，椭圆轨道是为了和观察相符而专设的假定，并且是不令人喜欢的假定，因为椭圆不如圆来得完美。他几乎是偶然地发现了椭圆轨道和观测相符，但他不能使这个结果和他的想法——行星由于磁力围绕太阳旋转——相一致。只在很晚以后，在1687年当艾萨克·牛顿爵士发表他的《自然哲学的数学原理》时对这一点才提供了解释，这部著作可能是物理学文献中最重要的单本专著。在这部著作中牛顿不仅提出物体在空间和时间中运动的理论，而且发展了为分析这些运动所必需的复杂数学。此外牛顿还假设了万有引力定律，据此定律，宇宙中任何物体都被任何一个其他物体所吸引，物体质量愈大，或物体相距愈近则引力愈强。正是这种力使物体落到地面上。（牛顿为落到他头上的苹果所启发的故事几乎肯定是不足凭信的。牛顿自己只说过他正在沉思的状态下坐着，被苹果落地所提醒，想到了引力的概念。）牛顿进一步证明了根据他的定律，引力使月球在绕地球的椭

圆轨道上运动，使地球及其他行星在绕太阳的椭圆轨道上运动。

哥白尼模型摆脱了托勒密的天球，而且同时也摆脱了宇宙有一个自然边界的概念。由于恒星除地球自转所导致的在天空旋转以外并不改变它们的位置，而认定恒星和我们的太阳是类似的物体，只是相距我们更远而已，是很自然的事。

牛顿理解到，根据他的引力理论，星体彼此吸引，因此它们不可能基本上不动。它们是否会在某处落到一起呢？在1691年牛顿写给当时另一位位于前列的思想家理查·本特莱的一封信中，牛顿认为如果只有有限的星体分布于空间的有限区域中，这肯定会发生。他提出如果有无限多的星体在无限空间中近似均匀地分布，这就不会发生，因为他们找不到一个中心点可以落到一起。

这个论据是在谈及无限的概念时会遇到的陷阱之一例。在无限的宇宙中每一点都可以被选为中心，因为任何一点都在每一侧有同样无限多的星体。只在很晚以后才被正确地认识到：考虑有限的情况，星体会彼此趋近落到一起。现在问，在此区域以外放上近似均匀分布的更多星体，会有什么变化。根据牛顿定律，新加进来的星体对原有的星体没有造成任何区别，它们仍以同样的速度落到一起。我们可以加入任意多的星体，它们仍会往一起坍落。现在我们知道，在重力恒为吸引的情况下不可能有无限宇宙的静态模型存在。

回顾一下二十世纪前思想界的一般气候是有趣的：没有人认为宇宙是在膨胀或在收缩。被普遍接受的是：宇宙从来就是永恒存在于不变状态中，或者说在过去被创造出来的某个时候，差不多就像我们现在所观察到的样子。这可能部分地

源于人们相信永恒真理的存在，他们以为即使他们自己会衰老和死亡，但宇宙是永恒而不变的，从此得到安慰。

即使那些理解到牛顿引力理论证明宇宙不可能处于静态的人也没有想到要提出宇宙是在膨胀的想法。相反地，他们设法修改理论，使重力在距离很大时变为排斥。这对他们关于行星运动的预言并没有多大影响，但它允许无穷多星体的分布可以处于平衡状态——近处的星体的吸引力被远处星体的排斥力所平衡。即使如此，我们相信这种平衡是不稳定的：如在某个区域内星体稍稍相聚近一些，它们之间的吸引力就变得更强大一些，并胜过了排斥力，这样星体就继续落到一起。另一方面，如星体稍稍相距远一些，排斥力就胜过吸引力而将它们驱散。

通常认为德国哲学家海因利希·奥尔伯斯是另一个对无穷静态宇宙提出反对意见的人，他在1823年著文论及这个理论。实际上许多牛顿的同代人曾提出过这个问题，甚至奥尔伯斯并非第一个提出有道理的反对论据的人。但这篇文章却是第一个引起广泛注意。问题是：在一个无穷的静态宇宙中几乎每一条视线总会止于某一个星体的表面。因此可以预期整个天空即使在夜间也会和太阳一样明亮。奥尔伯斯的反论据是：远处星体的光会被中间的物质吸收而减弱。但如发生这种情况，中间的物质将终于会升温，直到它发出和星体一样明亮的光。唯一可以避免整个夜空和太阳表面一样明亮的结论的办法是假定星体并非一直在发光，而仅在过去某一时刻被点燃。在这种情况下吸收物质还没有加热到足够，或者远处的星光还没到达我们这里。这就把我们带到究竟是什么能最初使星体点燃的问题。

当然在这以前很久就有过关于宇宙起始的讨论。根据一些早期的宇宙学以及犹太教、基督教及穆斯林教的传统说法，宇宙是从过去一个并不很久的有限时间开始的。关于这个有起始的一个论据是一种感觉：必须有一个“第一原因”解释宇宙的存在。（在宇宙中你会认为一个事件是由于一个更早的事件引起的。但宇宙存在的本身只能用它有一个起始才能类似地解释。）另一个论据是由圣·奥古斯丁在他所著的《上帝之城》一书中提出的。他指出人类文明在前进，我们记得谁作了这件事或谁发展了那项技术。所以人类，或者包括宇宙，不可能存在很长时间。圣·奥古斯丁根据创世纪提出一个约在纪元前5000年的日期作为创造宇宙的时间。（有趣的是这和最后一次冰河期，即纪元前10,000年差不多，考古学家告诉我们那是文明真正开始的时期。）

另一方面亚里斯多德和多数希腊哲学家不喜欢创造宇宙的想法，因为它过多地带有神的干预的色彩。因此他们相信，世界和人类一直存在，而且将永久存在。古人曾考虑过关于上面提到的文明进步的论据，他们的回答是洪水和其它灾害周期性地发生，每次都把人类带回文明的开始期。

此后依玛纽尔·康德在他的纪念碑式的著作（但也是晦涩的）《纯粹理性批判》中详细地论述了宇宙是否有起源以及是否局限于一定空间中的问题。他称这些问题为纯粹理性的背反（即矛盾），因为相信宇宙有一个起始的论纲和相信它的反论纲即宇宙从来就是存在的有同样具有说服力的论据。他说明论纲的依据是：如果宇宙没有起始，那么在任何一个事件之前都有无限长的期间，他认为这是荒谬的。他说明反论纲的依据是：如果宇宙有一个起始，那么在此之前也

有一个无限长的期间，为什么宇宙要从一个特定的时间开始呢？实际上他说明论纲和反论纲用的是同一个论据。它基于一个没有明说出的假定：回溯过去，时间延续无穷，这和宇宙是否从来就是存在的无关。我们将看到，在宇宙起始以前时间是没有意义的。这一点是圣·奥古斯丁首先指出的。当有人问他，上帝在创造宇宙以前在做什么时，他并没有以“他在给问这样问题的人准备魔鬼”作答。他回答说，时间是上帝所创造的宇宙的属性。在宇宙起始之前时间并不存在。

在大多数人相信基本上是静态而不变的宇宙时，宇宙是否有一个开始实际上是一个玄学或神学的问题。人们可以把观察到的东西用宇宙从来就存在的理论或在某一个时间宇宙被启动使得它看起来就像一直就存在一样的理论同样好地给予解释。但在1929年艾德温·哈勃作了具有里程碑意义的观测：不论你往哪个方向看，远处的星系在很快地离我们远去。换句话说，宇宙是在膨胀。这意味着在早些时候，物体彼此相距更近些。实际上在过去200亿年以前，它们可能都在同一个地方，因此那时的宇宙密度是无穷大。这个发现最终把宇宙起始的问题带入科学的领域。

哈勃的观察提示曾有一个时间，称为大爆炸，当时的宇宙是无限小而无限紧密的。在此条件下一切科学的定律，以及它预见将来的能力都失效了。如果在此以前还有什么事件发生，它们也不能够影响现在所发生的事。它们的存在可以忽略，因为它们没有可观察的后果。我们可以说时间在大爆炸时有一个起始，意为更早的时间是不能给予定义的。应该强调的是，这种时间的起始和前文所讨论的是很不同的。在一个不变的宇宙中，时间的起始只能由宇宙之外的一个存在

所加在宇宙之上，对于时间的起始并没有物理上的需要。我们可以想像上帝在过去一个随便什么时间创造宇宙。相反，如果宇宙在膨胀，可能有物理上的原因使它有一个起始。我们还可以想像上帝在大爆炸时创造宇宙，甚至在以后一个时间创造，使得宇宙看来曾有一个大爆炸一样。但认定宇宙是在大爆炸以前被创造的就没有意义了。膨胀的宇宙并不排除创造者，但对他在什么时间进行这项事业却给予限制！

为了讨论宇宙的本性和讨论诸如宇宙是否有起始，是否有终结等问题，你应该弄清楚什么是科学的理论。我将采取一个单纯的观点：理论是一个宇宙的模型，或是它的一部分，加上一系列将模型中的数量和我们进行的观测联系起来的规则。它只存在于我们意识之中，此外没有任何真实性（不论这意味什么）。一个理论如能满足两个要求就是好的理论：它必须在只包含少量任意要素的模型基础上准确描述一大类观察的结果；它必须对将来要进行的观测结果给出确定的预言。例如亚里斯多德关于一切物体都是由土、空气、火和水四种元素所构成的理论，简单的程度是够格了，但它不能作任何确定的预言。另一方面牛顿的引力理论基于一个更简单的模型：所有物体都彼此吸引，引力和一个称为质量的量成正比，和物体间的距离成反比，但它却能对太阳、月球和行星运动给出高度准确的预言。

任何物理的理论永远是临时性的，意思是它只是一个假说：你永远不能证明它。不论实验结果和某一个理论一致多少次，你永远不能完全确定下次的结果不会和理论矛盾。另一方面你可以证明一个理论为错误，只要找到甚至一个与理论预言不一致的观测即可。像科学的哲学家卡尔·泡泼尔