

思辨的宇宙

——霍金量子宇宙学思想的哲学分析

◎ 周祝红 著



科学出版社
www.sciencep.com

思 辨 的 宇 宙

——霍金量子宇宙学思想的哲学分析

周祝红 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书系统地阐述了霍金量子宇宙学探索的科学思想和科学原则,同时尝试结合西方经典科学哲学和思辨哲学对霍金量子宇宙学的基本原则和科学思想本身进行哲学反思,以期能在一个较高的层次上展现出科学与人文、自然与精神的深刻统一。

本书面向自然科学、科学思想史、科学哲学、思辨哲学相关领域的学者以及关注科学思想的一般读者。

图书在版编目(CIP)数据

思辨的宇宙:霍金量子宇宙学思想的哲学分析/周祝红著. —北京:科学出版社, 2006

ISBN 7-03-016462-8

I. 思… II. 周… III. 霍金, S.—宇宙学—研究 IV. P159

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第133231号

责任编辑:胡 凯/责任校对:包志虹

责任印制:安春生/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

西 源 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2006年1月第一次印刷 印张:14

印数:1—2 000

字数:262 000

定价:32.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

序

这是一部具有特色的科学哲学著作。作者花了大量精力去弄清广义相对论的基本框架，努力理解以黑洞物理和量子宇宙学为中心的现代时空理论的进展，并以此为基础展开了科学哲学的研究，特别是有关认识论的研究。

历史上哲学曾强烈影响过自然科学的发展，但近半个世纪以来，哲学对自然科学的影响越来越小，大多数哲学工作者不愿花费巨大精力去弄清现代自然科学的前沿，而宁愿把研究范围缩小在自己较为熟悉的人文领域，虽然也有少数人介入量子论和相对论的讨论，但对科学的理解一直停滞在 20 世纪初的水平上，哲学界对 20 世纪中期以后的时空理论、宇宙学的重大进展很少注意，然而，正是这些进展可能导致物理学的新革命，导致人类对宇宙的新认识，导致新的时空观念。

我高兴地看到，周祝红博士的论著进入了这一领域。虽然我认为，哲学要想重新对自然科学产生重大影响尚需几代人的努力，但我还是认为，作者的论著迈出了重要一步。

从本书中可以看出，作者是中国哲学界对现代时空理论了解最好的人之一。她对广义相对论、黑洞物理、现代宇宙学和奇点问题的阐述是正确的，做到这一步，她肯定付出了辛勤的劳动。

应该强调，现代时空理论主要是由彭罗斯和霍金两个人在爱因斯坦相对论的基础上发展起来的，在黑洞理论和现代宇宙学的研究中，霍金的贡献大一些，而在时空奇异性的研究中，彭罗斯的贡献更大一些。

作者在书中对上述物理理论做了哲学上的分析与评价，探讨了物理界尚无法回答的一些“为什么”的问题。我这是第一次看到水平较高的陈述和评价霍金思想的科学哲学著作。

本书能起到向哲学界介绍现代时空理论，同时向物理界介绍哲学思想的双重作用。它站在了科学的前沿，有创新性。

赵 峰

中国引力与相对论天体物理学会前理事长

2005-03-20

前 言

本书是我博士论文的深入和继续。本书主题是我的硕士导师陈克晶教授(武汉大学哲学学院)选定的,他认为我有自然科学的背景又很愿意亲近思辨哲学家的思想,而霍金既是最杰出的科学家,其思想又极具思辨特质,这就为两种截然不同的思维方式的交汇提供了绝好契机。在拙作的写作过程中,陈克晶教授给予了我始终如一的支持和帮助。

本书第一部分对霍金科学思想的系统阐述得益于赵峥教授(中国引力与相对论天体物理学会前理事长)的相关著作。赵峥教授对广义相对论和量子力学的论述既清晰透彻又不回避艰深的数学,对其著作的反复研读帮助我找到了深入理解霍金量子宇宙学核心物理及数学思想脉络的途径。赵峥教授还对我借助海德格尔诗化哲学解读霍金科学思想表示赞赏,说没想到哲学还可以不是教科书上的概论原理,还可以是鲜活而有生命的。邵长贵教授(湖北大学)花费一星期时间审阅了拙作的第一部分,从自然科学维度提出了宝贵的意见,并从原则上肯定了我对霍金科学思想的把握。科学家的肯定给予我的信心和慰藉难以尽述。

邓晓芒教授(武汉大学哲学学院)和彭富春教授(武汉大学哲学学院)所开设的哲学经典著作课程引导我走进了康德、黑格尔、马克思、海德格尔。他们的哲学是人类哲学思想的高峰,其艰深与精微也是众所周知的,没有这两位老师的指引,要去攀登如此险峻的思想之峰是我想都不敢想的事。

本书经典科学哲学部分的写作得到了桂起权教授(武汉大学哲学学院,本书是桂起权教授主持的“当代物理学前沿的哲学问题研究”课题的子项目,属教育部人文社会科学重大项目,批准号:02JAZJD720012)、童鹰教授(武汉大学哲学学院)、王贵友教授(武汉大学哲学学院)不间断的批评指正,江天骥先生的著作《当代西方科学哲学》是我身边随时翻阅参照的书籍,已然翻破了。

本书的工作涉及自然科学、科学哲学和思辨哲学诸多领域,我的导师李光(武汉大学发展研究院)教授放手让我进行探索和尝试,让我博采众长,让我自由地思想。同时,导师特别要求思想的深入浅出,他认为思想只有传播才有生命,真正深刻的思想总是明晰而朴素的,能够被尽可能多的人理解。这实在是极高的要求,因为只有对思想有了真正透彻的理解才有可能“浅出”一二,只好绞尽脑汁慢慢打磨了。

在此谨向各位老师致谢!将本书献给我的亲亲宝宝和他的爸爸!

作 者

目 录

序

前言

绪论	1
1 霍金的宇宙学探索	6
1.1 时空奇点	7
1.1.1 奇点定理的理论和观察背景	7
1.1.2 奇点证明的前提和方法	9
1.1.3 奇点困境与反思	16
1.2 黑洞不黑	25
1.2.1 黑洞辐射	26
1.2.2 黑洞辐射的物理及几何说明	29
1.2.3 引力、热、量子和时间	36
1.3 量子宇宙学	40
1.3.1 宇宙路径积分	42
1.3.2 虚时间	46
1.3.3 宇宙自足解	48
1.3.4 人择原理	52
1.3.5 观测者与思想者	54
2 霍金宇宙学探索的哲学分析	59
2.1 经典科学哲学的逻辑	60
2.1.1 科学说明的逻辑	60
2.1.2 科学理论的形式结构	62
2.1.3 科学发现和辩护的逻辑	65
2.1.4 霍金的立场	69
2.2 真理的逻辑	75
2.2.1 先天直观形式	77
2.2.2 知性的先天思维形式及先天原理	82
2.2.3 判断力和理性的范导原理	88
2.3 科学理性的边界	91
2.3.1 宇宙拥有所有可能的历史	92

2.3.2 “虚”化实时间	93
2.3.3 人与宇宙相互规定	95
2.3.4 思想在边界处	96
2.4 科学理性的内在目的	97
2.4.1 自然事物和现象的因果说明和目的说明	97
2.4.2 思辨哲学的内在目的论	104
2.4.3 内在目的论作为科学宇宙学的范导原则	111
2.5 科学理性的人文内涵	115
2.5.1 辩证理性与科学理性的关系	115
2.5.2 辩证思维的本质	120
2.5.3 科学思想中宇宙、生命、时间的人文性	133
2.6 科学理性以人为中心	159
2.6.1 科学有关“实在”的梦想	159
2.6.2 辩证理性的客观性	163
2.6.3 科学认识结构	174
结语	212

绪 论

史蒂芬·霍金被公认为是继爱因斯坦之后最伟大的理论物理学家之一，他最重要的科学探索工作是奇性定理、黑洞辐射和宇宙自足解。

奇性定理预言：自然科学中统一定义的、可测度的时间不是无限延伸的，而是有起始或是终结，时间中断的奇点也意味着因果性失效和科学预见性的丧失。

霍金证明奇性定理的前提和方法具体而深入地显明了时间属性、因果结构和科学最一般规律及原则之间内在的本性关联，它们相互规定。科学时间的命运等同于宇宙的命运和科学规律的命运，时间的终结也意味着宇宙的生与死和科学预见性的丧失。

黑洞辐射的发现是惊人的。经典意义上的黑洞是僵死的只进不出的无底深渊，而霍金证明任何黑洞都向外辐射能量粒子，并能在最后的爆炸中消失掉。

黑洞辐射部分地统一了引力、热和量子三大学说。引力不是力而是时空弯曲的结果，是时空拓扑的力学效应、经典效应，黑洞热辐射则是时空拓扑转换的边界效应、量子效应。引力与热连接的桥梁是量子不确定性。

宇宙自足解是霍金运用量子路径积分方法解决奇点困境的尝试。它描写了一个自发创生、指数膨胀的宇宙，并做出了两项可观测的预见。霍金坚持应该依靠科学理性而不是异在于人的力量来回答：宇宙是如何起始的，将如何运行。

在量子学说中路径积分是等价于波动力学和矩阵力学的量子方法，其思想甚至更深刻。它是对物理事件的整体性描述，是最有可能和广义相对论相协调的量子方法。其最核心的思想是——任何物理事件，包括经典事件都拥有所有可能历史。

霍金将路径积分思想推广到宇宙时空结构本身，将宇宙理解为拥有所有可能的时空结构，据此写出宇宙波函数，再借助虚时间和无边界假设得出宇宙自足解。

奇性定理宣告了时间的起始和终结，暗示出经典的量子、引力和热理论都是不完备的；黑洞辐射的发现部分地统一了引力、量子和热学说；宇宙自足解则是对奇性定理的否定，“拯救”了科学预见性和时间。

“时空奇性”和“引力场量子化”是新世纪理论物理学的两大困境，霍金的研究正是解决此两大难题的尝试。众所周知，19世纪和20世纪之交物理学“晴朗天空的两朵乌云”——“黑体辐射”和“以太漂移实验”带来了20世纪科学革命的狂风暴雨，导致了量子学说和相对论的创立。科学家们认为“时空奇性”和

“引力场量子化”困境的解决很可能导致 21 世纪的科学革命,实现新的“伟大综合”即量子、引力和热三大理论的统一。因此尽管黑洞辐射的预言还未得到观测支持,宇宙自足解也只是个玩具般的简单数学模型,还有许多细节有待说明,科学界仍然认为霍金的尝试极有价值,预示了自然科学统一的前景。对这样一个位于科学思想前沿的科学家从事科学活动的基本原则和科学思想本身进行哲学反思,无疑能够深化科学认识和科学思想,是极具现实理论意义的一件事。

如何反思?最直接而自然的途径是借助 20 世纪经典科学哲学的成就,因为经典科学哲学是对 20 世纪科学革命的哲学反思,而霍金的科学探索工作无疑是这场革命的继续并很可能是新的科学革命的起始。

0.1 经典科学哲学的逻辑

我们哲学反思的第一部分是运用经典科学哲学的思想成果分析霍金证明奇性定理的前提和方法;阐释霍金量子宇宙学可能的结构体系;展现霍金综合量子、引力和热三大学说创新理论的思想进程。我们发现,霍金探索宇宙奥秘的基本原则和方法与科学哲学所确立的科学说明的逻辑、科学理论的形式结构以及科学发现和辩护的逻辑是符合的。同时也注意到,霍金理论中的许多深刻思想仅仅依据科学哲学难以给予哲学层次上的理解和说明。

霍金自己也不认同仅仅从科学哲学的视角对其方法和思想的评价。他认为,科学的职责是寻求描写宇宙怎样(how)运行的理论,哲学的天职则是依据科学的成就追问为什么(why)的问题。而现在的科学哲学却没有跟上科学理论的进展,多半背离了自己的职责。霍金认为康德哲学代表了“追问为什么”这一伟大哲学传统。

从霍金的科学假说中我们找到了最应该追问为什么的主题:

1. 为什么时间是自然科学最根基的概念?
2. 为什么时间属性、自然科学最普遍规律以及科学认识原则之间存在着相互规定的内在关联?
3. 为什么“美”的或“形而上学”的要求可以成为创新科学理论的范导原则?

那么,代表了“追问为什么”哲学传统的康德哲学是否能回答霍金的上述为什么,或至少给予启发呢?这是 0.2 节真理的逻辑所要分析论述的。

0.2 真理的逻辑

康德纯粹理性的直观形式、先天原理和范导原则的确能够帮助我们从理性原

则的维度深入阐明霍金的科学思想,但霍金思想本身的思辨特质却难以仅仅依据理性原则加以说明。霍金认为,黑洞视界和宇宙事件视界给人类的观测也即是给科学的检验划定了边界,这不但给科学带来了超越于量子不确定之上的不确定性,也使得科学理性的可检验原则走到了尽头。霍金的思辨思想恰是理性原则运用到极致时产生的。

是否能够对这种理性原则运用到极致的思想做出某种可能的理解或说明呢?

0.3 科学理性的边界

这样的理解便是借助海德格尔的存在哲学对霍金科学思想中的思辨特质给予一种人性化的阐明。

科学理性原则运用到极致会为自己划定有所不能的边界,那么理性原则形成和扩张的起点是否是科学理性的中心呢?

另外,霍金科学思想的思辨特质暗示着科学与人文思想内在而自然的融合,这是科学思想的失误还是其本性的体现?

以下各章便是从内在目的论、科学思想的人文性及科学认知结构的维度回答上述疑问的尝试。

0.4 科学理性的内在目的

首先说明哲学思想中内在目的论的真正内涵及其作为科学认识范导原则的合理性,进而说出霍金量子宇宙学没有明确表达但却潜在蕴涵的思想:人是目的,宇宙作为有生命的整体,只有向着智慧生命才能展开其过去、现在和未来无穷丰富的本性。

0.5 科学理性的人文内涵

明确了科学理性与辩证理性的关系以及辩证思维的否定性和反思性本质所展现的人文内涵,并以此为基础去尝试完成科学中有关宇宙、生命、时间思想的人文性自觉。

0.6 科学理性以人为中心

通过考察科学认知结构及其扩张方式尝试说明,即便从纯粹认识的角度来看,科学的成长也有着独特的中心或者说起点,那便是人自身的结构。

霍金是经典意义上的自然科学家,也是极富创造思维和想像力的科学思想家,他的科学思想触及到了科学认识最深层的主题,如:为什么时间的命运等同于宇宙的命运和科学原则的命运;为什么要追求理论的和谐优雅;为什么科学理性要回答宇宙是如何起始的这本属形而上学的问题;为什么一个科学家的思想极富思辨特质;科学中“客观实在”究竟意味着什么等等。

本书并未提出新的科学或哲学观点,而是想要在结合科学哲学、思辨哲学和前沿科学思想方面做一点探索性的工作。

1. 对霍金的宇宙学探索做出了较为系统的兼顾科学思想和科学原则的阐述。科学家往往只关注霍金理论的数学推演和物理说明,而哲学家又容易停留于霍金思想的科普层面难以深入,我们的阐述既回避艰深的数学又突显了深刻的科学探索基本原则和有创见的科学思想。

2. 运用20世纪经典科学哲学的思想成果分析新世纪之交最前沿的科学成就,展现自然科学基本原则和方法的强大生命,这是少有人做的工作。经典科学哲学依据的自然科学背景通常是20世纪初的科学革命,现在,科学又有了长足的发展,自然科学的总趋势已由20世纪的“简化兼并”转向21世纪的“综合统一”,以探求科学本质为己任的科学哲学理应做出回应。

3. 从某种意义上可以说,经典科学哲学的兴起是从对康德理性哲学的批判开始的。科学哲学各学派几乎都认为,20世纪的科学革命和相对论所揭示出的时间相对性已经把康德作为自然科学真理性根据的“先天综合判断”和“先天直观形式”彻底证伪了。这种批判仅仅涉及了分离的具体观点和结论,却将宝贵的思想结构和反思精神遗忘了。而我们运用康德纯粹理性的直观形式、先天原理和范导原则从理性维度深入阐明了霍金科学思想中仅仅依据科学哲学所无法回答的“为什么”,这无疑创新之举。

4. 借助海德格尔的诗化哲学对霍金思想中的思辨特质给予一种人性化的阐明亦属创新。依据海德格尔理解霍金一般而言绝无可能,因为他们之间思想的差异巨大得似乎难以跨越,并且他们对待科学的态度也根本不同。当现代后现代的人们从人文哲学视角反思科学的时候,通常是取海德格尔的立场批评科学对自然无休止的追问和科学技术化的发展已开始跨越自己的界限伤害到人类心灵了。可是当我们透过具体的观点深入到思想背后的关系和结构时就发现,在思想的深处和边界处他们是相通的,具有共同的辩证本性。

5. 当代科学哲学极少用“思辨”的或者“内在目的论”的方法理解科学思想,认为用黑格尔式的思辨考察现代科学是不合时宜的,科学家们也难以接受科学思想中的思辨特质。我们的工作却表明,科学理性需要辩证理性的帮助才能完成对宇宙、生命、时间的理解,科学思想的人文性是其辩证本性的显现,是其不能逃避的宿命。

当然，我们的工作初步而不完整的，仅仅是一种尝试，进一步深入的主题只能是以后的事了。

1 霍金的宇宙学探索

霍金宇宙学的主要成就有三个~~方面~~：奇性定理、黑洞辐射和宇宙自足解。

奇性定理预言：自然科学中统一定义的、可测度的时间不是无限延伸的，而是有起始或是终结，时间中断的奇点也意味着因果性失效和科学预见性的丧失。

奇性定理的前提无可置疑。“因果性成立”，是科学理性最基本的要求；“广义相对论正确”，已被无数实验所验证；“有物质存在”，人类观测所及的时空都是这样。

证明奇性定理依据的是现代微分几何和广义相对论，经过了许多专家的反复推演，得到了世界科学界的承认。

霍金证明奇性定理的前提和方法具体而深入地显明了时间属性、因果结构和科学最一般规律及原则之间内在的本性关联，它们相互规定。科学时间的命运等同于宇宙的~~命运~~和科学规律的命运，时间的终结也意味着宇宙的生与死和科学预见性的丧失。

宇宙中竟然存在科学规律不成立的地方，霍金对此深感不安。他相信科学规律必然处处成立，即使是在宇宙的开端处。这一信念引导他做出了更深入的研究成果。

黑洞辐射的发现是惊人的。经典意义上的黑洞是僵死的只进不出的无底深渊，而霍金证明，任何黑洞都向外辐射能量粒子，并能在最后的爆炸中消失掉。

可以通过量子学说中的路径积分、格林函数、博戈留波夫变换等方法说明黑洞辐射的物理根源，也可以通过时空度规的转换“直观”到其几何根源。

黑洞辐射部分地统一了引力、热和量子三大学说。引力不是力而是时空弯曲的结果，是时空拓扑的力学效应、经典效应；黑洞热辐射则是时空拓扑转换的边界效应、量子效应。引力与热联系的桥梁是量子不确定性。

由于黑洞“视界”或说非平凡时空拓扑“边界”的存在，导致视界内信息的丧失，这便给科学引入了新的超越于量子不确定性之上的不确定性。霍金认为，科学中的不确定性是本质上的，不可能消除。

宇宙自足解是霍金运用量子路径积分方法解决奇点困境的尝试。它描写了一个自发创生、指数膨胀的宇宙，并做出了两项可观测的预见。霍金坚持应该依靠科学理性而不是异在于人的力量来回答：宇宙是如何起始的，将如何运行。

在量子力学说中路径积分是等价于波动力学和矩阵力学的量子方法，其思想甚至更深刻。它是对物理事件的整体性描述，是最有可能和广义相对论相协调的量子方法，其核心思想是——任何物理事件，包括经典事件都拥有所有可能历史。

霍金将路径积分思想推广到宇宙时空结构本身，将宇宙理解为拥有所有可能的时空结构，据此写出宇宙波函数，再借助虚时间和无边界假设得出宇宙自足解。

虚时间如量子波函数一样是数学抽象，本身没有直接物理意义，但却可以延拓到实时间，描写时间从无到有的生成过程。

依据霍金，无边界假设还仅仅是一种假设，可说是第一原理，不能由其他原理导出，是由形而上学的理由提出的：其一，人是宇宙之内的观测者，人类的观测总是在有限区域而不是在无穷远处进行，人不可能观测到整个宇宙；其二，可以不再需要祈求上帝或异在于人类理性的力量为时空设定边界。

霍金证明的奇性定理宣告了时间的起始和终结，暗示出经典的量子、引力和热理论都是不完备的；黑洞辐射的发现部分统一了引力、热和量子；宇宙自足解则是霍金对自己所证明的奇性定理的否定，“拯救”了科学预见性和时间。

1.1 时空奇点

宇宙空间有限还是无限？时间是否有起始和终结？这几乎是人类思想永恒的话题。霍金的第一个赢得了世界声誉的研究工作便是证明了时空奇点的存在。奇点是科学预见性失效的地方，时空在那里遭遇到了自己的边界，那是时间的起点或是终结。

1.1.1 奇点定理的理论和观察背景^①

霍金从事奇点研究是在 20 世纪 70 年代。当时背景辐射的发现公布了，天文学有了一个新术语——黑洞(black hole)，大爆炸宇宙学已由纯粹数学的奇思异想成为可检验的理论物理研究的最前沿。

理论背景

广义相对论预言“坍缩”形成“黑洞”：广义相对论方程告诉我们，质量超过大约三个太阳的星体在它“生命”终结的时候会向内“坍缩”形成所谓黑洞。这种星体会使周围的时空完全弯曲向自身，使中心物质与宇宙相分离，光线从

① 参见 M White and J Gribbin. Stephen Hawking: A Life in Science. New York, Penguin Books, 1992.

此类客体近旁经过时会弯曲得非常厉害，以至于会绕中心的“星体”做闭合的圆周运动而不能逃到宇宙的其他地方去。显然，没有光线发射出来的东西肯定是黑的，所以得名“黑洞”。由于没有东西可以比光逃得更快，这也意味着没有任何东西从这样的星体内逃出来，它是一个任何东西能落入而不可能逃出的无底深渊。

起初理论界并不把相对论方程对黑洞的预见当真，因为许多已知的星体质量比太阳质量的三倍还大，但并未“坍缩”，而且预计黑洞的密度要比原子核还大，当时的理论界认为这显然是不可能的。但随着观测证据的积累，20世纪60年代末科学界普遍承认，黑洞极有可能在我们的宇宙中真正存在着，当然其真实性还有待理论和观测的最后确认，这主要是因为许多天文观测上貌似“黑洞”的星体既可以用黑洞理论解释，也可以用其他已有的经典理论说明。

大爆炸宇宙学得到科学界确认：广义相对论宇宙方程又说，宇宙不可能是静态的，它要么收缩要么膨胀。观察显示宇宙在膨胀。那么在很久很久以前，当星星们紧紧挤在一起的时候，宇宙的情景该是怎样？方程预见在大约150亿年之前，宇宙是一个无限致密的奇点，宇宙是从奇点经过大爆炸诞生的。有越来越多的证据确认广义相对论方程预言的真实性，这鼓励了更多的理论计算，更多新预见，更多观察事实，这种自激的螺旋向上的循环最终带来了我们对宇宙诞生理解的革命性变革，到1976年，大爆炸宇宙学终于得到科学界初步确认。

需要注意的是，不能将大爆炸理解成位于虚空中的原始原子向外爆炸，星体如大爆炸的碎片在空间中疾飞开来。广义相对论方程告诉我们，是时空自身在膨胀，奇点也是时空自身的奇点。

宇宙自身可看成是“黑洞”的反演：黑洞最重要的特征是其时空完全弯曲封闭起来，光线只能在“视界”(event horizon)上绕中心的奇点(或奇环)无休止地运行。黑洞可以很小，它的时空弯曲得很厉害；也可以很大，光线环绕平缓的视界运行。

渐渐地宇宙学家们开始意识到：其实整个宇宙的行为方式在某些方面很像一个最大的黑洞，所有物质靠引力连在一起形成自我包容的整体，时空弯向自身的曲率最平缓，但与黑洞有一样最大的不同是，黑洞把物质拉向自己、拉向奇点，而宇宙从大爆炸开始就向外膨胀，宇宙就如一个黑洞的反演。

彭罗斯(R. Penrose)“宇宙监督”假说：英国Birkbeck大学数学教授彭罗斯是最早认真思考黑洞观念的人之一。正是他用现代微分几何严格证明了每个黑洞都必然包含奇点(或奇环)，它是黑洞的中心，是物质粒子没法不撞上去的地方。奇点处不但物质而且时空本身也会消失，因果规律和科学规律都将不再成立。宇宙中竟然存在科学规律失效的地方，作为一个以发现自然规律为己任的科学家总会深感不安，于是彭罗斯提出“宇宙监督”假说来改善我们的处境。“宇宙监督”(cosmic

censorship)假说认为:奇点都安全地藏在黑洞视界之内,奇点处的科学规律虽然不存在了,可是并不会给黑洞视界之外的观察者造成影响,所谓“自然憎恶裸奇点”。显然,这样的“宇宙监督”不过是权宜之计。

彭罗斯对奇点的研究引起了霍金极大的兴趣,但霍金认为自然对奇点的憎恶并不能保护我们不受到时间开端处奇点的影响——如果它确实存在的话。霍金关于时间开端处奇点性质的研究工作正是从这一理论背景出发的。

观察证据

“黑洞”、“大爆炸宇宙学”曾被看作仅仅是纯粹数学的奇思异想,它们能够成为现代物理学的前沿理论,没有观察证据的支持是不可能的。最重要的观测是微波背景辐射和类星体的发现。

微波背景辐射:大爆炸宇宙学预言,有冰冷的背景辐射充满着整个宇宙,这是大爆炸留下的,是宇宙创生的回声。计算得出背景辐射的大致温度为 3K。随着雷达和无线电通信技术的发展,相关的无线电天文学也飞速发展起来,人们开始设计和建造微波望远镜来进行这一工作。美国的研究小组基地在普林斯顿大学,领导人是迪克(R.Dicke)。1965 年迪克接到距普林斯顿仅 30 里远的贝尔实验室彭齐斯(A.Penzias)的电话,请教这位微波专家为什么贝尔实验中的微波望远镜总受到令人迷惑的微波干扰,无论把望远镜指向天空中的什么方向都可接收到,这是一种各向同性的微波辐射信号,温度约 3K,他们尝试了所能想到的所有办法清除干扰,却徒劳无功只好作罢。迪克马上意识到,彭齐斯其实是测到了大爆炸遗留的背景辐射。接下来普林斯顿的探测者完成了同一测量,全世界的天文学家也都重复了这一观测。彭齐斯和其合作者因这一发现而获得了诺贝尔奖。

类星体^①:20 世纪 60 年代天文观察家吃惊地发现来自 3C273 光源的红移达 16%,而典型的星系红移要比这小得多,约为 1%。接着又发现了许多更大红移的辐射“星”。在宇宙学中红移用来测量距离,所以这些星体不可能是星,而是前所不知的看起来像星星的客体,是类星的对象或说“类星体”。这样大的红移意味着“类星体”距离我们非常遥远,能被观察到就说明它产生的能量非常惊人,现有的理论都不能很好地解释其产生能量的机制,天文学家想到,这也许就是黑洞。

1.1.2 奇点证明的前提和方法

霍金是最早依据广义相对论方程认真地做出黑洞预见的科学家之一。那时虽

① Stephen Hawking: *A life in Science*, p.107.

然第一个类星体已被辨认出了,但也仅有少数人相信黑洞的存在和宇宙确由奇点生成。1965年他和彭罗斯合作研究时间开端处的奇点问题。

最初他们尝试解描写宇宙膨胀的相对论方程,但追溯到大爆炸事情就变得越来越复杂了,物质粒子会不断碰撞反弹产生一个混沌而杂乱的大火球。于是,霍金和彭罗斯发展出一种新的数学方法来分析时空点的联系方式,其中没有物质粒子间混乱的相互作用,而使时空自身膨胀或坍缩的意义突显出来。

要理解这种新的数学方法,对相对论中几个重要基本概念的澄清是必要的。

世界线^①

(t, x, y, z) 坐标表示四维闵可夫斯基(Minkowski)时空中的一点,或称一个事件。随着时间的流逝,一个点无论是否运动都会在四维时空中划出一条线,称为世界线。如图 1.1.1 所示。

四维时空中运动点的运动速度与其所划出的世界线类别的关系如下:

$v < c$	类时世界线
$v = c$	类光世界线
$v > c$	类空世界线

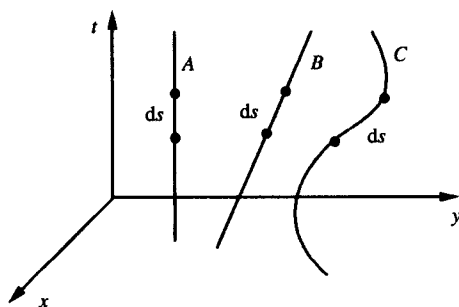


图 1.1.1 四维时空中的世界线

相对论中世界线上两点间的“间隔”定义为

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$$

这与纯空间中的距离有很大不同。比如光信号走过的世界线“距离” $ds^2 = 0$, 而在通常三维空间中,光走过的距离 $ds = c \cdot dt$ 。

① 赵峥. 黑洞与弯曲的时空. 太原: 山西科学技术出版社, 2001, 27。