



HOW GOD
DESIGNED
THE WORLD
Einstein's
enigma

上帝如何设计世界

爱因斯坦的困惑

张天蓉◎著

爱因斯坦：
玻尔，
亲爱的上帝不掷骰子！

玻尔：
爱因斯坦，
别去指挥上帝该怎么做！

霍金：
上帝不但掷骰子，
他还把骰子掷到
我们看不见的地方去！

清华大学出版社

上帝如何设计世界

爱因斯坦的困惑

张天蓉◎著



HOW
GOD
DESIGNED
THE WORLD
Einstein's
enigma

清华大学出版社
北京

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

上帝如何设计世界:爱因斯坦的困惑/张天蓉著. —北京:清华大学出版社,2015

ISBN 978-7-302-39609-3

I. ①上… II. ①张… III. ①物理学—普及读物 ②数学—普及读物
IV. ①O4-49 ②O1-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 049767 号

责任编辑:胡洪涛 王 华

封面设计:蔡小波

责任校对:王淑云

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮编:100084

社 总 机:010-62770175

邮购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:148mm×210mm 印张:7 彩插:2 字数:157 千字

版 次:2015 年 6 月第 1 版

印次:2015 年 6 月第 1 次印刷

定 价:35.00 元

产品编号:062302-01

造物者的奥秘
——写在广义相对论
诞生 100 周年

当你仰望繁星密布的夜空、环顾神秘莫测的宇宙，你可能会提出种种疑问：星星到底有多少？宇宙究竟有多大？实际上，从远古时代起，人类就开始了对天体运行及宇宙起源的探索和思考，无论是西方旧约中的上帝创世纪，还是中国神话中的盘古开天地，都将天地宇宙描述成处于永恒的运动和变化之中。即使后来人类掌握了科学这个锐利的武器，也仍然赋予宇宙以动态的图像，而非静止和一成不变的。既然宇宙处于不停的变化之中，那么，它变化的历史如何？它是否有一个起点和终点？它是如何演化成我们现在所观察到的这

种形态的？它未来的命运如何？对这一大串问题，也许每种宗教，甚至每个人都有自己的说法。但我们更感兴趣的是，科学家们如何回答这些问题，更为具体地说，物理学家们是如何回答这些问题的？

科学是人类走向文明过程中创造的奇迹，是古往今来成百上千个科学家心血和智慧的结晶。科学研究探索的是万物之本。万物之本是什么？从古到今，不同学派给出了不同答案。毕达哥拉斯认为“万物皆数”。但万物皆由物质构成，万物之本应与研究物质的物理学有关。物理学是“究物之理”的科学，探讨研究从无限小的微观世界到无限大的宏观世界，担当了“上穷碧落下黄泉”的艰巨任务。

在物理学中，有一个伟大的物理学家的名字，写在了每一个现代基础物理理论的篇章中，他就是爱因斯坦。

其实，何止是物理学。在伟大的科学巨匠中，爱因斯坦在公众中的影响力无人能比，他的头像连小学生都认识，他的名字家喻户晓。如今，这位伟人离开这个世界已经超过半个世纪了，他所作出的几项最杰出的贡献，包括 1905 年提出光电效应和狭义相对论，以及 1915 年建立的广义相对论，也都已经是一百年之前的故事了。

尽管每个人都知道爱因斯坦的名字，但却未必了解他的工作。就此而言，爱因斯坦和牛顿在公众心目中的印象不一样。经典的牛顿力学实例，在日常生活中随处可见：当你坐在加速运动的汽车上，能感觉到力的作用，你知道如何运用牛顿第二定律来计算加速度和力的关系；当你和对面跑过来的朋友撞在一起，大家都感觉伤害痛楚时，你会用牛顿第三定律，即作用力等于反作用力来解释这个现象，因为那是中学物理的内容。但如果问你，爱因斯坦对物理学的贡献到底是些什么呢？那就不是人人都能说出一个所以然的了。也许很

多人都能用一个词汇来回答这个问题：相对论啊。然而，相对论又是什么呢？爱因斯坦为什么想到了要创立两个相对论呢？相对论在物理学中以及各门科学、各行各业中有哪些应用？这两个理论与我们的现实生活能关联起来吗？大多数人可能就难以回答了。

1905 年被称为爱因斯坦的奇迹年，这一年内他发表了 6 篇有影响力的论文，分别引领了物理学三个不同领域中的研究方向。其中的狭义相对论彻底改变了人们的经典时空观；有关光电效应的文章揭开了量子革命的篇章；另一篇则从分子运动的理论解释了布朗运动，对统计物理有所贡献。

100 年前的 1915 年，爱因斯坦提出了他最引为得意的广义相对论，这个理论至今仍然是天体物理及宇宙学中建立天体星系运动模型以及宇宙演化模型的理论基础。近年来该领域中热门研究的大爆炸理论、暗物质、暗能量等，也都与此有关。

爱因斯坦曾经说过一句名言：“我想知道上帝是如何设计这个世界的。”

我们不妨将上文中的“上帝”理解为“大自然”。因此，爱因斯坦提出了物理学，也是科学研究的一个最基本问题：大自然的秘密是什么？大自然的脉搏如何跳动？大自然在造物时遵循哪些基本原理？

上帝是如何设计这个世界的？这是爱因斯坦的困惑，也是对科学感兴趣的广大读者的困惑。中国是数学物理大国，喜欢思考物理中“大”问题的成年人和青少年都不少。中国人从古时候开始，就对造物主的秘密、宇宙的起源等问题潜心探索、追寻不止。本书的目的便是向广大读者介绍两个相对论的基本概念，带领读者探索、了解爱

因斯坦建立相对论的大概思路历程。此外,作为相对论的应用,也简单介绍与这两个理论相关的天文、宇宙学方面的最新进展。使读者体会到科学家“认识自然规律、探索大自然造物秘密”的科学方法,从而启发公众对科学的兴趣和思考。

令人感到十分遗憾的是,爱因斯坦将他天才的后半生贡献给了一项前途渺茫的研究。他一直在理论物理中寻找一条统一之路,想要将所有的物质及各种基本的相互作用囊括在一个单一的理论框架中,那是爱因斯坦最后的梦想。尽管爱因斯坦为此奋斗了几十年都没有获得成功,但这个大统一之梦已经深深扎根在理论物理学家们的心中,一直是理论物理学研究的中心问题之一。

在这本小小的通俗读物中,作者首先用短短的篇幅,简单概括了牛顿力学及麦克斯韦电磁理论。然后,从经典理论碰到的困难引出爱因斯坦建立相对论的思考和历史过程。第1章主要介绍狭义相对论的基本概念。第2章介绍广义相对论少不了的数学工具:黎曼几何。对此,作者尽量少用公式,而是从几何直观和物理应用的意义上来引进黎曼几何,并重点突出内蕴几何思想的重要性。作者在第3章中叙述解释了几个狭义相对论引发的有趣佯谬及质能关系式。第4章介绍广义相对论的基本思想,第5章则是主要介绍了宇宙学中的大爆炸理论、暗物质、暗能量等假设的来龙去脉、最新研究状况等。本书使用轻松有趣的语言,配以精美的图片,由物理专业人士写成,适合各个领域的大学本科生、研究生、对科学感兴趣的高中学生,以及所有渴求科学知识的大众阅读。

作者在书中尽量避免使用技术术语和令人心烦的数学公式,而代之以优美流畅、引人入胜的文笔,并用图解的方法,来介绍看起来

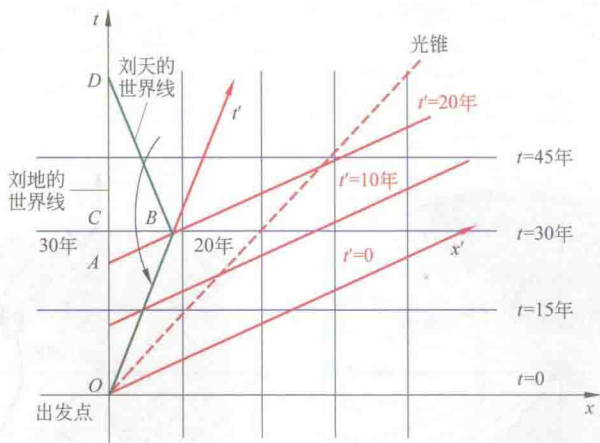
深奥的物理理论。因为公式都可以在相关的教科书里找到，而科普书不同于教科书，它的目的是激发读者对该学科的兴趣，进而也带领读者轻松入门。实际上，很多学生所缺少的不是公式和运用公式来进行计算的技巧，而是建立公式和理论时科学家们的思路历程。科学家们是如何发现问题的？他们历经了一些什么样的困难？他们又是如何想到了解决问题的方法的？因此，本书将少量的公式和推导放到了附录中。并且，写出这些式子的重点也不是公式本身，而是通过叙述公式背后的故事，探讨发现自然规律的历史，使读者从看起来枯燥无味的数学中发现其背后隐藏着的生动灵感和科学精神。

此外，本书虽然是一本科普书，却着眼于追寻自然和宇宙的本质问题，因而也包含一些具有真正学术价值的材料，涉及许多奋战在科研前线的科学家正在思考、解决的问题。而且处处以物理学理论为根基，令一般读者感到别开生面、值得一读，也会令专业人士感到分外亲切，轻松了解或重温黎曼几何、相对论这些听起来神秘高深的理论。

本书也将介绍与爱因斯坦相对论思想有关的几个基本物理学原理：最小作用量原理、对称性原理、相对性原理、等效原理等。广义而言，这几个基本原理已经超越了物理原理的范围，可以说成是大自然的基本原理，也许这就是爱因斯坦所追求的“上帝造物”的部分秘密？当读完本书之后，可能对爱因斯坦的疑问，你能得出一些自己的新理解和新结论。

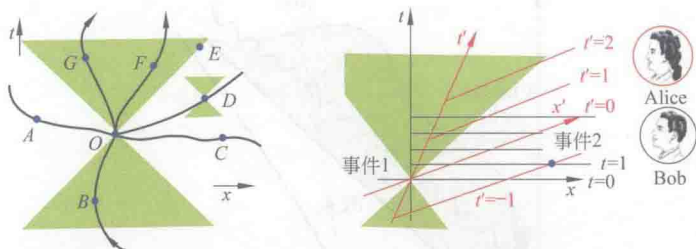
一百年过去了，伟人是否后继有人？理论物理、天文及宇宙学路向何方？这些不是容易回答的问题。然而，广义相对论建立后的这段历史时期中，为了继承这位先辈的衣钵，众多科学家们始终在努力奋斗。

况且，谁能说本书的读者中，就没有将来的第二个爱因斯坦呢？



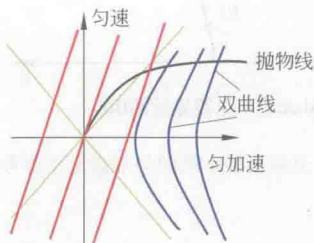
双胞胎中的每一个都认为对方的时钟更慢

图 3-2-1 地球惯性系（黑色直角坐标）和飞船 1 号惯性系（红色斜交坐标）中同时的相对性



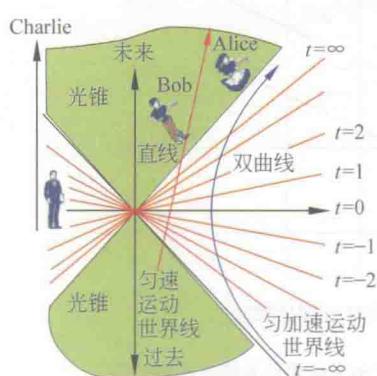
(a) 事件之间的关系

(b) 类空事件之间无因果关联

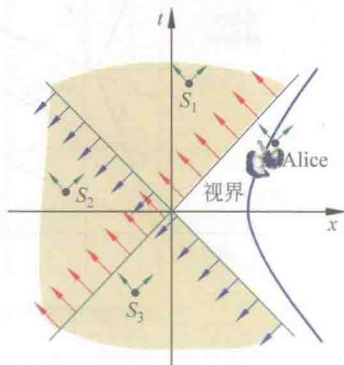


(c) 匀速和匀加速运动粒子的世界线

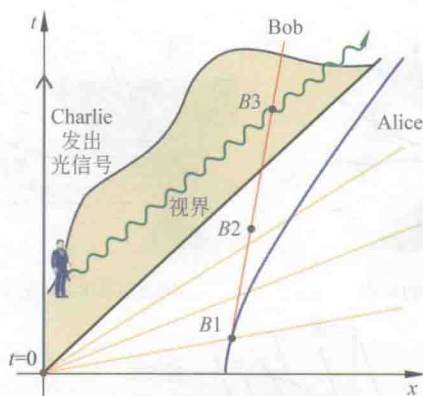
图 3-4-2 二维闵可夫斯基时空中事件之间的关系



(a) 匀速和匀加速参考系



(b) Alice的视界



(c) Alice看不见视界后的Bob

图 3-5-1 匀速运动参考系和匀加速运动参考系

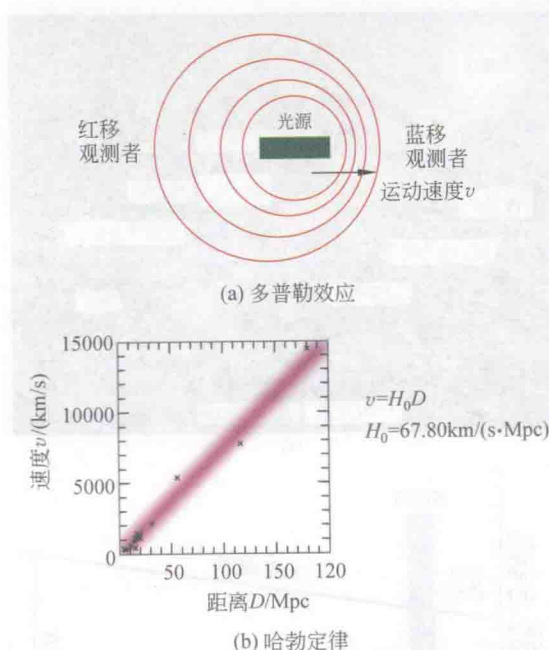


图 5-1-1 多普勒效应和哈勃定律

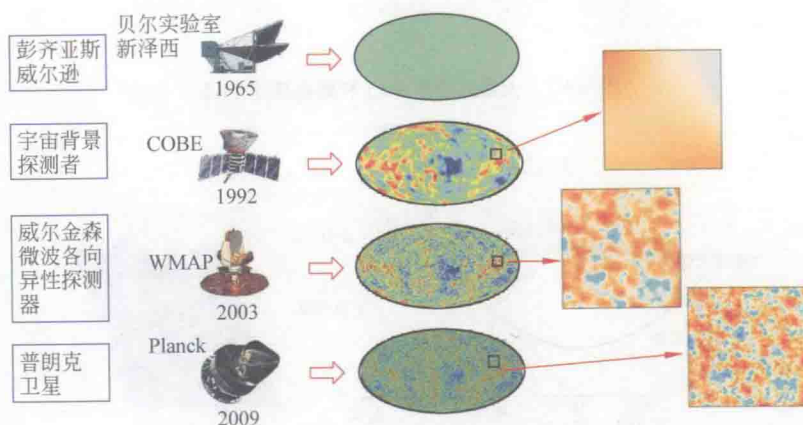
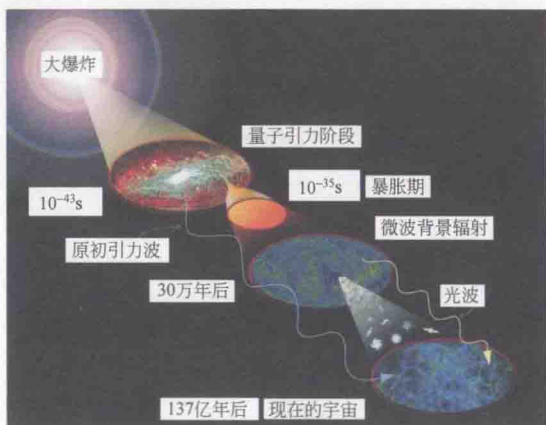
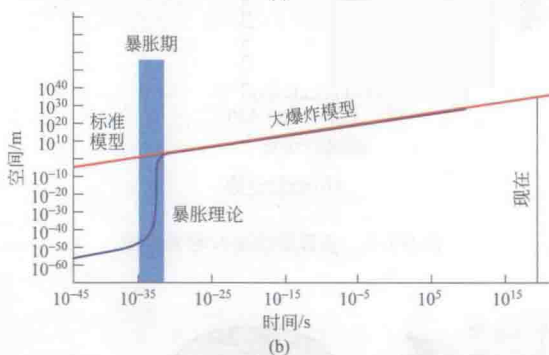


图 5-3-1 微波背景辐射观察的进展

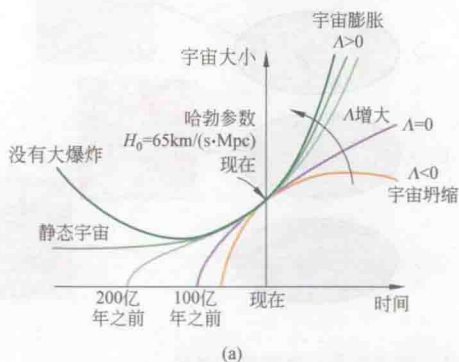


(a)

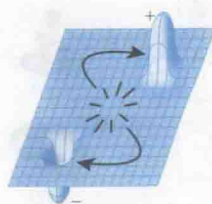


(b)

图 5-4-1 大爆炸模型 (a) 和暴胀理论 (b)



(a)



(b)

图 5-7-2 宇宙常数的数值对宇宙模型的影响 (a) 和真空涨落 (b)

目 录

Who will save
Moor's law?

1 时间空间之谜 // 001

1. 牛顿点亮的火把 // 003
2. 电磁交响曲 // 010
3. 寻找以太 // 016
4. 相对性原理 // 027
5. 什么是“同时”？ // 030
6. 万有引力 // 032
7. 量子革命 // 039

2 黎曼几何 // 047

1. 几何几何 // 049
2. 迷人的曲线和曲面 // 054
3. 爬虫的几何 // 061
4. 爱因斯坦和数学 // 066
5. 矢量的平行移动 // 073

6. 阿扁的世界 // 077

7. 测地线和曲率张量 // 083

3 相对论佯谬知多少 // 091

1. 双生子佯谬 // 093

2. 同时的相对性 // 097

3. 闵可夫斯基时空中的固有时 // 101

4. 四维时空 // 104

5. 匀加速参考系上的 Alice // 111

6. 飞船佯谬 // 116

7. 质能关系 $E = mc^2$ // 119

4 引力和弯曲时空 // 123

1. 等效原理 // 125

2. 圆盘佯谬和场方程 // 132

3. 实验证实 // 137

4. 时空中的奇点 // 141

5. 霍金辐射 // 145

6. 黑洞战争 // 148

5 茫茫宇宙 // 153

1. 宇宙学常数的故事 // 155

2. 大爆炸模型 // 163

3. 永不消失的电波 // 170

4. 探索引力波 // 174

- 5. 暗物质 // 179
- 6. 引力透镜 // 184
- 7. 暗能量 // 188
- 8. 路在何方? // 194

附录 // 197

- 附录 A 伽利略变换和洛伦兹变换 // 197
- 附录 B 张量 // 198
- 附录 C 度规张量 // 201
- 附录 D 协变导数 // 202
- 附录 E 质能关系简单推导 // 204
- 附录 F 用飞船 1 号的坐标系解释双生子佯谬 // 205

参考文献 // 207

1

时间空间之谜

