

TURING 图灵新知

(日) 大栗博司/著 逸宁/译

卢建新/审读

大 栗 先 生

の

超 弦 理 論 入 門

Superstring Theory

九 次 元 世 界 に あ っ た 究 極

の

論

超弦理论：

探究时间、空间及宇宙的本原



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TURING 图灵新知

大 栗 先 生

(日) 大栗博司/著 逸宁/译

卢建新/审读

の

超 弦 理 論 入 門

Superstring Theory

九 次 元 世 界 に あ っ た 究 極

の

理 論

超弦理论：

探究时间、空间及宇宙的本原

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

超弦理论:探究时间、空间及宇宙的本原/(日)
大栗博司著;逸宁译.--北京:人民邮电出版社,

2015.1

(图灵新知)

ISBN 978-7-115-37386-1

I. ①超… II. ①大… ②逸… III. ①超弦 IV.

①O572.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第246507号

内 容 提 要

超弦理论是继牛顿力学、爱因斯坦相对论之后,时空概念的第三次革命。超弦理论统一了引力理论与量子力学的矛盾,本书中,大栗教授以通俗、风趣的语言讲解了量子物理基础、弦理论到超弦理论的最新发展、超弦理论的理论原理及证明,并在超弦理论下重新思考与探究了时空概念。

-
- ◆ 著 (日)大栗博司
译 逸 宁
审读 卢建新
策划编辑 武晓宇
责任编辑 乐 馨
装帧设计 broussaille 私制
责任印制 杨林杰
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
- ◆ 开本:787×1092 1/32
印张:9.75
字数:167千字 2015年1月第1版
印数:1-4 000册 2015年1月北京第1次印刷
著作权合同登记号 图字:01-2014-5226号
-

定价:39.00元

读者服务热线:(010)51095186转600 印装质量热线:(010)81055316

反盗版热线:(010)81055315

广告经营许可证:京崇工商广字第0021号



Standing on Shoulders of Giants

序言一

中国科学技术大学“长江特聘”教授 / 卢建新

大栗博司（Hiroshi Ooguri）是国际弦理论领域著名学者，在弦理论的相关形式理论发展方面做出了国际领先性的工作，是拓扑弦理论四位创始人之一。他在《超弦理论：探究时间、空间及宇宙的本原》这本旨在启蒙更多的日本青少年对科学、对物理的兴趣的科普读物中，以娓娓动听的语言把这门通常让人望而生畏的研究领域通俗易懂地展现出来。该书不仅解释了为何在考虑引力时，用于描述可观察世界的粒子物理标准模型所基于的法则失效，同时强调了取而代之的最有希望的候选理论是超弦理论。超弦理论的发展已经历了 40 余年和两次革命，目前人们对它的理解和认识与早期相比不可同日而语，作者对这些发展在书中都给了很好的描述，有些地方的描述非常精彩和独特。特别值得强调的是作者在书中用浅显的语言阐述了引力、空间和时间的深刻内涵，这在科普读物中非常罕见的，很可能是首次。

另外，作者在本书中生动地描述了自己是如何进入这一激动人心的研究领域，希望通过这本书的努力能起到激励年轻人对科学的心趣和热忱，并回报社会和纳税人长期对他从事超弦理论这种基础研究的支持。

本书是作者写的科普读物《引力是什么》和《强力和弱力》的总结篇。《引力是什么》在日本得到了广泛好评，目前的发行量已达到17万册。而本书在日本已是第7次再版，同样得到了读者广泛的好评，作者也因此在本年度获得了日本科普读物唯一的奖项——讲谈社科学出版大奖。

当收到邀请为该日文原著的中译本写序推荐时，我也是首次读到这本书，并被这本书的内容深深地吸引，与作者在很多地方有共鸣之处。我在正式接受这一邀请的同时，也主动提出帮助修改中译初稿中一些专业内容翻译不到位的地方，希望本书的出版能尽可能地向读者还原出原著描述的内容。我深信这本科普读物的中译本对中国的青少年同样会起到对他们在科学、物理的兴趣方面的启蒙作用。我也深信该书对广大读者们正确地了解超弦理论及其内涵，以及引力、空间和时间的本质方面有帮助。当你打开这本书，开始阅读旅程时，相信你会用自己独特的方式体会到她的魅力所在。

序言二

中国人民大学物理系教授 / 朱传界

《超弦理论：探究时间、空间及宇宙的本原》是由大栗博司写的一本科普著作，是由日文翻译过来的。由于不懂日文，我没有阅读原著，但我欣喜的发现书中除人名部分不太习惯外，其它部分尤其是专业部分的叙述都很贴切，这也许与我们同为东方人有关。

大栗博司现任美国加州理工学院卡弗里讲席教授和设置于日本东京大学的卡弗里数学物理联合宇宙研究机构（Kavli IPMU）研究主任，是一名世界知名的理论物理学家，其主要研究方向是超弦理论，在黎曼面上的场论、拓扑弦理论和各种理论的对偶性等方向，做出了重要的工作。据书中介绍，这本《超弦理论：探究时间、空间及宇宙的本原》应该是在2013年继《引力是什么》和《强力和弱力》之后的第三本科普著作。超弦理论的宏伟目标之一就是统一自然界的四种相互作用力，因此这些科普著作也是大栗博士关于宇宙世界的三部曲。通过阅读手上的这本《超弦

理论：探究时间、空间及宇宙的本原》，我现在急切地想知道大栗博司在他的另外两本书里又是如何向我们描叙浩瀚的宇宙和奇妙的微观世界的。

单就本书而言，著者通过插叙个人经历的笔法，生动地描述了超弦理论的两次革命。从为什么是弦开始，通过介绍现在我们所知道的微观世界和描叙微观世界的标准模型，以及遇到的各种困难和解决方法，引入了超弦理论，再写到超弦理论的几起几落，清晰地告诉了我们超弦理论的世界会是什么样的：空间和时间都是一些有用的幻想吗？他们又是如何像温度一样由很多粒子和弦的运动呈现出来的呢？本书内容安排巧妙，各章相互关联，著者在前言中关于本书的阅读方法赘述的几点个人建议，完全毁灭了我要逐章介绍每章内容的冲动。

我们知道，历史上电现象和磁现象的研究最终由麦克斯韦给出一组方程完成了电磁理论的统一，但这组方程带给人们关于时空观念的改变却直至 40 年后由爱因斯坦提出狭义相对论。现在粒子物理的标准模型在发现希格斯粒子后也尽善尽美，但宇宙学的大爆炸标准模型却因更精确的实验对粒子物理的标准模型提出了挑战：暗物质和暗能量是什么？如何解决这些问题，从根本上就是要解决引力理论和量子力学相互矛盾的问题，而超弦理论就是最有希望的候选者。对探索这些问题有兴趣的读者，我强烈推荐这本《超弦理论：探究时间、空间及宇宙的本原》。

前 言

从古至今，人类从未停止追问“空间是什么”和“时间是什么”。我们早已习惯了空间和时间的存在，将其视为日常生活的前提。但是，只要静下心来重新思考它们是什么，就会发现这是十分深奥的问题。我们目前感知到的空间为具有长、宽、高三个度量的三维空间，感知到的时间为从过去到未来的单向流动。可是随着科学的发展，关于空间和时间的观点却在发生着巨大的变化。

物质是否独立于空间与时间？人类从古希腊时代开始就一直积极探索这一问题。公元前 4 世纪的哲学家亚里士多德认为，自然界不存在纯粹的“真空”，他认为“自然界厌恶真空”。无论空间还是时间都是伴随着物质及物质的运动而定义的，也就是说物质不独立于时空而存在。

此后，亚里士多德提出的这一时空概念在欧洲统治了两千多年。

但是到了 17 世纪，艾萨克·牛顿掀起了时空概念最初的革命。牛顿为了完成力学理论，他引入了从物质独立出来的“绝对空间”和“绝对时间”的概念。空间是自然现象的容器，是独立存在的。时间在宇宙的任何角落都是一样的。这种观点与我们普通人对空间和时间的感觉很相近。牛顿的力学对低速运动的描述非常成功，构成了现代社会的科学基础，其“绝对空间”和“绝对时间”的观念因此为一般大众所接受。

不过，进入 20 世纪后，出现了关于时空概念的第二次革命。阿尔伯特·爱因斯坦推翻了牛顿的空间和时间绝对不变学说。

爱因斯坦在 1905 年发表了狭义相对论，认为空间和时间会因观测者的速度而伸缩；并于 1916 年发表了广义相对论，认为空间和时间的伸缩可以揭示物质之间的引力。空间和时间不仅仅是物理现象的容器，还与其中的引力有着密切的关系，在引力的作用下会产生伸缩变化。

也许我们对时空的伸缩一无所知。但是，爱因斯坦的理论与我们们的日常生活是紧密相连的。例如智能手机和汽车导航使用的 GPS（全球定位系统）定位，必须把广义相对论和狭义相对论中提到的时间伸缩计算进去才能精准定位。

然而，故事并没有在爱因斯坦这里结束，现在正要兴起时空概念

的第三次革命。这是一种出人意料的说法，即空间只不过是一种呈展，即衍生的概念^①。

虽然爱因斯坦主张在引力的作用下空间和时间是伸缩的，但是他并不怀疑作为自然现象框架的空间和时间的存在。不过随着后来物理学的发展，这种观点发生了改变。

大约在爱因斯坦发表引力理论（广义相对论）10年后，微观世界的法则——量子力学得以确立。于是我们发现，引力理论与量子力学之间存在严重的矛盾。攻克这一矛盾并建立统一两者的理论，成了现代物理学的重大课题。

本书所讲述的超弦理论就是解决这一课题的相关理论。这个理论认为，物质不是由粒子组成的，而是类似于线状的“弦”。虽然这一关于物质组成的超弦理论还未得到实验的验证，但是它是能够解决引力理论和量子力学之间矛盾并将二者统一的理论，是描述基本粒子的终极统一理论中的最有力备选理论，非常值得我们期待。

超弦理论既是关于物质的理论，又是关于空间和时间的理论。超

① 指空间在基本规律作用下的体系形成新的层次而呈现出的一种特性。呈展论（emergence），认为物质结构是分层次的，每个层次都会展现全新的性质，这些性质已超出了基本规律如基本粒子物理领域，可以被称作层展性质，与其相关的现象就是层展现象。

弦理论的研究中发现了令人震惊的现象，那就是空间的维度变化。我们所熟知的三维空间会变成四维或二维空间。另外，根据不同的观测方式，在三维空间出现的现象也同样会出现在九维空间。

下面举个例子来说明。日常的生活经验告诉我们，冰是坚硬的，是由形态自由的水凝固而成的。但是在微观世界里，它们的特性差异是用分子的结合方式来解释的。分子本身并不具备冰的特性和水的特性，单独看每个分子，冰和水就没有区别了。数量庞大的分子聚集的时候，由于聚集方式不同，冰和水才具备了各自不同的特性。

另外，如同冰和水的区别那样，“温度”也是一个次生性概念。我们日常生活中感知的冷暖是用“温度”这个标准来衡量的。但是在微观世界里，各个分子自身不具备温度特性，温度只不过是分子平均能量的表现。从分子的层面上讲，温度这一概念也是不存在的。那么或许可以说，温度是我们从微观世界层面中产生的呈展效应^①。

超弦理论就是以空间维度为对象，进行了与上述例子类似的思考与研究。例如空间的维度变化、观测方式差异下不同维度空间中出现的相同现象，我们也并不能确定这些是否是空间这一概念的本质。或

① 简单说即是宏观层面对微观现象的一种等效描述，或者说是对其更本原的规律在宏观层面上的一种刻画。

许就像温度只不过是分子运动的表现那样，“空间”也是某种更加本原东西所表现出的次生概念，也就是说“空间”也只是我们在本原层面上的呈展结果。超弦理论中就是这么讲的。

这么一说，你可能会想：怎么尽是些打破常规的言论。但是，物理学家可不是喜欢打破常规的人。相反，他们非常保守。例如，他们会执着于已经确立的理论，不会轻易摒弃，直到山穷水尽，无路可走。当然，如果爱因斯坦的理论能够不改变，那是最好了。所以打破常规的言论与物理学家的精神追求是不相容的。我们物理学家早上去大学上班时，可不是突发奇想“好，今天就掀起时空概念的革命吧”，继而开始搞起研究的。我们平常思考的是关于各个物理现象的具体研究课题。

不过，对于研究最尖端的基本粒子物理学来说，引力理论和量子力学都很重要。因此，我们正在探求一种能够消除引力理论和量子力学之间的矛盾，并能将二者有机结合的新理论。各种应运而生的理论相继被推翻，最后留下了以“弦”为物质基础的超弦理论。

另外，在该理论的数学逻辑确认研究过程中，我们发现了空间的维度变化这一惊人的现象。也就是说，对自然本质的科学探求，引领我们不得不重新思考“空间是什么”。我撰写本书的目的就是想让大家

也能够理解这一点。

关于本书的阅读方法，下面赘述几点个人建议。

我在撰写这本书时，使用了最低限度的相关专业背景知识，来介绍超弦理论的最新研究成果。不过，为阐述后面内容做准备，第一章和第二章将先讲解一些关于量子力学和基本粒子论的基础知识。

如果有的读者想尽早阅读超弦理论部分，或者感到这两章读起来有困难，不妨先阅读第三章，真正介绍超弦理论是从第三章开始的。掌握了该理论的全貌后，如果还想深入了解的话，可以再回过头来阅读前面的章节。

第三章介绍了超弦理论体系下作为物质基础的基本粒子和粒子之间的作用力。另外还解释了“弦理论”转变为“超弦理论”的原因，并详细讲解了两者的差异以及发展过程。

第四章阐明了超弦理论中关于“空间的维度限定”之理由。超弦理论的一大特征是，空间的维度是确定的。本书尝试对其中的原因进行解释说明。不过，刚开始阅读的时候不要觉得太难，即使以“在超弦理论中维度是确定的”为前提轻松地阅读，也不会为后面内容的理解设置障碍。

第五章的内容脱离了超弦理论的主线，介绍了引力和电磁力等自然界中所有力的统一原理。这个原理叫作“规范场论”。关于基本粒子的基本理论（标准模型）和之后登场的超弦理论都涉及了这个原理，所以本书尽量简单又准确地解释了“规范场论”。不过，如果觉得概念过于抽象，难于理解，只要记住“规范对称性”这个词语后，接着读下一章就可以了。在后面的内容中会再次遇到“规范对称性”这个词时，若想对其深入了解，可返回第五章阅读。

从第六章开始，超弦理论终于成为了主角。

第六章讲述的是“第一次超弦理论革命”，这次革命使超弦理论在基本粒子理论的世界里一举成名。第八章讲述的是“第二次超弦理论革命”，这次革命使超弦理论飞跃到了一个新的高度。这两次“事件”介绍了超弦理论研究中的戏剧性的进展与突破。另外，夹在这两章之间的第七章，记述了我自己迷上超弦理论和投身该理论研究的原委。

第九章提出了空间是“呈展”的观点。通过超弦理论的研究，我的世界观被彻底颠覆了。我也想让大家拥有这样的体验，这就是我撰写本书的动机所在。

如果空间是呈展的话，那么时间是否也是呈展的？大家也都很关心这个问题吧？过去和未来，它们真的有什么区别吗？时间到底是什

么呢？最后的第十章是关于时间的思考。

每章的开头会引用与本章话题相关的文学作品或历史文献做简单引导。另外，每章结尾的小专栏可以让读者放松休息。单独阅读这些内容亦是阅读本书的乐趣所在。

拙作《引力是什么》和《强力与弱力》中的插图基本上都是我自己画的。至于本书，插图虽不是很多，但图表的数量不少，所以是委托专业人员制作的。不过，书中科学家们的肖像画与前两本书一样，都是我自己画的。因为我觉得我了解他们的研究内容，可以在画中更多地表现其内涵。

大家可以根据自己的习惯，用不同的阅读方法来体会本书的乐趣。

接下来，就让我为大家解释一下物理学家认为“空间是呈展”的理由吧。