

相对论通俗演义

张轩中◎著



中国科普大奖图书典藏书系

囊括新中国成立以来，著名科普、科幻作家经典获奖作品，
展现科学之真、善、美，传播知识、激发兴趣、启迪智慧！

中国科普作家协会选编推荐



长江出版传媒 湖北科学技术出版社

中国科普大奖图书典藏书系

相对论通俗演义

张轩中◎著



长江出版传媒 湖北科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

相对论通俗演义/ 张轩中著. —武汉: 湖北科学技术出版社, 2017. 12

ISBN 978-7-5352-9871-3

I. ①相… II. ①张… III. ①相对论—普及读物
IV. ①O412. 1-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 288986 号

相对论通俗演义

XIANGDUILUN TONGSU YANYI

责任编辑: 高 然 彭永东 胡 静

封面设计: 胡 博

出版发行: 湖北科学技术出版社

电话: 027 -87679468

地 址: 武汉市雄楚大街 268 号

邮编: 430070

(湖北出版文化城 B 座 13—14 层)

网 址: <http://www.hbstp.com.cn>

印 刷: 仙桃市新华印务有限责任公司

邮编: 433000

710×1000 1/16

13.875 印张

2 插页 198 千字

2018 年 5 月第 1 版

2018 年 5 月第 1 次印刷

定价: 35.00 元

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

中国科普大奖图书典藏书系编委会

(以姓氏笔画为序)

顾问	王麦林	王梓坤	王绶琯	刘嘉麒	
	杨叔子	杨振宁	张景中	章道义	
主任	叶永烈	周忠和			
副主任	王康友	卞毓麟	何 龙		
编 委	王直华	王晋康	尹传红	冯伟民	曲 颖
	任福晋	汤书昆	刘华杰	刘兴诗	杨焕明
	李 元	李毓佩	吴 岩	吴国盛	张之路
	张开逊	陈芳烈	陈 玲	林之光	金 涛
	郑永春	孟 雄	星 河	夏 航	郭曰方
	催丽娟	隋国庆	董仁威	焦国力	颜 宁

选题策划	何 龙	何少华
执行策划	彭永东	
编辑统筹	彭永东	
装帧设计	胡 博	
督 印	刘春尧	
责任校对	蒋 静	

总序

ZONGXU

中国科普大奖图书典藏书系

我热烈祝贺“中国科普大奖图书典藏书系”的出版！“空谈误国，实干兴邦。”习近平同志在参观《复兴之路》展览时讲得多么深刻！本书系的出版，正是科普工作实干的具体体现。

科普工作是一项功在当代、利在千秋的重要事业。1953年，毛泽东同志视察中国科学院紫金山天文台时说：“我们要多向群众介绍科学知识。”1988年，邓小平同志提出“科学技术是第一生产力”，而科学研究和科学技术普及是科学技术发展的双翼。1995年，江泽民同志提出在全国实施科教兴国战略，而科普工作是科教兴国战略的一个重要组成部分。2003年，胡锦涛同志提出的科学发展观既是科普工作的指导方针，又是科普工作的重要宣传内容；不是科学的发展，实质上就谈不上真正的可持续发展。

科普创作肩负着传播知识、激发兴趣、启迪智慧的重要责任。“科学求真，人文求善”，同时求美，优秀的科普作品不仅能带给人们真、善、美的阅读体验，还能引人深思，激发人们的求知欲、好奇心与创造力，从而提高个人乃至全民的科学文化素质。国民素质是第一国力。教育的宗旨，科普的目的，就是为了提高国民素质。只有全民的综合素质提高了，中国才有可能屹立于世界民族之林，才有可能实现习近平同志最近提出的中华民族的伟大复兴这个中国梦！

新中国成立以来，我国的科普事业经历了：1949—1965年的创立与发展阶段；1966—1976年的中断与恢复阶段；1977—

1990 年的恢复与发展阶段;1990—1999 年的繁荣与进步阶段;2000 年至今的创新发展阶段。60 多年过去了,我国的科技水平已达到“可上九天揽月,可下五洋捉鳖”的地步,而伴随着我国社会主义事业日新月异的发展,我国的科普工作也早已是一派蒸蒸日上、欣欣向荣的景象,结出了累累硕果。同时,展望明天,科普工作如同科技工作,任务更加伟大、艰巨,前景更加辉煌、喜人。

“中国科普大奖图书典藏书系”正是在这 60 多年间,我国高水平原创科普作品的一次集中展示。书系中一部部不同时期、不同作者、不同题材、不同风格的优秀科普作品生动地反映出新中国成立以来中国科普创作走过的光辉历程。为了保证书系的高品位和高质量,编委会制定了严格的选编标准和原则:一、获得图书大奖的科普作品、科学文艺作品(包括科幻小说、科学小品、科学童话、科学诗歌、科学传记等);二、曾经产生很大影响、入选中小学教材的科普作家的作品;三、弘扬科学精神、普及科学知识、传播科学方法,时代精神与人文精神俱佳的优秀科普作品;四、每个作家只选编一部代表作。

在长长的书名和作者名单中,我看到了许多耳熟能详的名字,倍感亲切。作者中有许多我国科技界、文化界、教育界的老前辈,其中有些已经过世;也有许多一直为科普事业辛勤耕耘的我的同事或同行;更有许多近年来在科普作品创作中取得突出成绩的后起之秀。在此,向他们致以崇高的敬意!

科普事业需要传承,需要发展,更需要开拓、创新!当今世界的科学技术在飞速发展、日新月异,人们的生活习惯和工作节奏也随着科学技术的进步在迅速变化。新的形势要求科普创作跟上时代的脚步,不断更新、创新。这就需要有更多的有志之士加入到科普创作的队伍中来,只有新的科普创作者不断涌现,新的优秀科普作品层出不穷,我国的科普事业才能继往开来,不断焕发出新的生命力,不断为推动科技发展、为提高国民素质做出更好、更多、更新的贡献。

“中国科普大奖图书典藏书系”承载着新中国成立 60 多年来科普创作的历史——历史是辉煌的，今天是美好的！未来是更加辉煌、更加美好的。我深信，我国社会各界有志之士一定会共同努力，把我国的科普事业推向新的高度，为全面建成小康社会和实现中华民族的伟大复兴做出我们应有的贡献！“会当凌绝顶，一览众山小”！

中国科学院院士
华中科技大学教授

杨叔子^{ニロ一ニ}
九.廿八

张轩中是北京师范大学广义相对论专业毕业的研究生,从本科到研究生阶段,他陆续学习了引力与相对论专业的基础课程(包括广义相对论、整体微分几何、群论、高等量子力学、量子场论、量子统计、黑洞物理、宇宙学、弯曲时空量子场论、量子引力等),并在难度极大的现代微分几何、高维引力和量子引力方向进行了钻研。同时,对文学、历史和科普的爱好驱使他阅读了许多科学史方面的书籍和资料,并在研究生期间进行了科普创作。他的高级科普作品《相对论通俗演义》在网上发表后,受到许多年轻人的喜爱。

我虽然对网上文学的语言不大习惯,但对他勇于实干、创新的精神及作品中内容的正确与生动深感钦佩。

有志青年都应该知道,自己的创造旅程应该从年轻时开始,万里之行,始于足下,路在哪里?路在脚下。

历史上杰出的科学家、工程师、文学家、艺术家、政治家大都在 20~30 岁就有所成就,甚至做出伟大贡献。牛顿和爱因斯坦的重大成就大都产生于 20~40 岁。青年人应该注意:奇迹不是老头子、老太太创造的,而是年轻人创造的。青年时代就应该开始自己的创造生涯,最重要的是勇于迈出第一步。

轩中学习和工作的北京师范大学相对论小组是目前国内最强的相对论研究团队之一。它诞生于改革开放的初期。它的创始人刘辽教授,1952

年毕业于北京大学物理系,1957年被错划为“右派”。他在平反前的20多年中承受了巨大的政治压力和精神压力,正是在这样的逆境中他开始了自己的相对论研究生涯。他的思想在爱因斯坦的弯曲时空中游荡,那美妙的科学理论给他压抑的心灵带来了少许的安慰。即使在文化大革命的漫长夜中,刘辽先生仍在劳改的疲劳之后,继续广义相对论的钻研,并在牛棚中收了两个因反林彪而被打成反革命的青年学生(杨以鸿、刘忠柱)作为自己最早研究相对论的弟子。

改革开放的春风,使刘辽先生获得了施展才华的机会。在天文系和物理系的老师的支持下,他带领一批中青年教师展开广义相对论的研究,在全国各地举办广义相对论讲习班,并开始正式招收研究生,为广义相对论在中国的传播做出了重要贡献。

1981年至1983年,北京师范大学相对论组的梁灿彬先生赴美追随国际著名相对论专家罗伯特·沃尔德和罗伯特·盖罗奇教授学习广义相对论,把用整体微分几何表述的现代广义相对论形式引进中国。梁先生把大量精力投入到现代微分几何与广义相对论的教学中,对推动中国的相对论研究做出了重要贡献。

在过去的20多年中,北京师范大学的广义相对论小组是中国最活跃的相对论研究团队之一。其研究小组内容覆盖经典广义相对论、时空的因果结构、场方程的严格解、黑洞物理、弯曲时空量子场论、暴胀宇宙学、量子宇宙学、黑洞与时间机器、量子引力等。从经典到量子,展开了一个宽大的研究扇面。

近年来,虽然老一代的几位教师(物理系的刘辽、梁灿彬、王永成、赵峥、裴寿镛;天文系的李宗伟、曹盛林、吴时敏等)逐渐退休,但新一代的几位年轻有为的教师(物理系的朱建阳、马永革、刘文彪、周彬、高思杰;天文系的朱宗宏、张同杰等)已经承担起科研与教学的重担,并翻开了北京师范大学相对论研究新的一页。

轩中正是在这一学术环境中成长起来的。轩中在本书中不仅用生动

的语言介绍了相对论建立发展的历史、它的物理思想,而且介绍了现代微分几何在相对论中的应用,以及若干研究前沿。

几何与算术,原本是最早应用于自然科学的数学工具,有文字的记载可追溯到公元前的古希腊时代。此后,几何与代数有了长足的发展。牛顿时代(17世纪),微积分开始创立,但还没有成熟到可以得心应手地运用的程度。因此,牛顿的物理研究主要以几何为工具,《自然哲学之数学原理》中有大量几何图形。

此后的100多年中,微积分飞速发展,逐渐取代几何成为物理学研究的主要数学工具。拉格朗日的著作《分析力学》是一个明显的标志,该书没有一张图,拉格朗日把几何“彻底”赶出了物理学。这种情况一直到爱因斯坦建立广义相对论、黎曼几何作为工具被引进,几何学才再次返回物理领域。

20世纪中期以后,由于彭罗斯、霍金等人的努力,现代微分几何被引进相对论研究,并逐渐扩散到物理学的其他领域。现代微分几何与爱因斯坦等人使用的古典微分几何有所不同,其特点之一是把“坐标”赶了出去,使坐标系的应用处于可有可无的地位,这是一般物理工作者所不熟悉的。

轩中曾追随梁灿彬教授和马永革教授学习过现代微分几何。他是马永革教授的研究生,在马教授的指导下做过相对论研究。轩中在本书中,尝试用幽默的语言对现代微分几何及广义相对论的若干前沿作通俗的介绍,并取得了一定的成功。

希望本书能引起青年读者对现代几何学与相对论的兴趣,也希望轩中能在科研和科普工作中再接再厉。

中国物理学会引力和相对论天体物理分
会前理事长、北京师范大学物理系教授

赵 峥

2007年8月28日

序 二

当张华邀请我为他的书作序时,我欣然接受。在中国,我们需要更多受过专业训练的科学工作者来投身于科普事业,因为只有如此科学才能够更好地融入主流文化之中。我个人认为,科学不仅仅是人类发展技术、探索未知世界所倚重的一种方法,它更是我们的一种生活态度和思维方式。有一天当科学能够深深植根于传统中国文化,也许就是我们实现科教兴国的强国梦的时候。

本书伊始在回顾整个引力理论发展的同时穿插了很多的人物轶事,之后作者以自己的视角介绍了其钟爱的旋量和扭量。通读全书,作者流畅的文笔和富有感染力的文字给我留下了极为深刻的印象,本书的写作风格将会有助于读者尽快地熟悉这一陌生的领域。相信本书会吸引一大批读者,尤其是那些希望能尽快对相对论有所了解的高中生和大学低年级的学生。

在最近 30 年中,随着相对论天体物理的迅猛发展,GPB(B 型引力探测器)实验技术的日益成熟,LIGO(激光干涉引力波天文台)和其他地面探测引力波实验已开始读取数据,再加上极有发展前景的空间引力波探测实验 LISA(激光干涉空间天线)的开展和一些旨在验证爱因斯坦广义相对论理论的实验提案相继问世,促使相对论的研究进入一个崭新的时代,而整个学科面貌的改观又迫使理论工作者们越来越多地和从事天文物理、宏观量子力学、量子光学、计算物理、空间科学、统计学及实验物理的同事们进行交流与合作。

在未来的 20 年里,可以预见相对论将会与越来越多的学科交叉,蓬勃发展。

张华的这本书将可为以后从事这方面研究的学生们提供一个有趣的补充教材。

中国科学院数学和系统科学
研究院应用数学研究所研究员

刘润球

(白珊 / 译)

附：“序二”英文原文

When Zhang Hua asked me to write a preface for his book, I gladly agreed to do so. In China, we need more people who understand science to write about science for the general public. This will help to assimilate science into the Chinese culture. Personally I hold the view that science is more than just advancing our frontier in knowledge or technologies, it should also be a way we think and live our daily lives. One day when science takes root in our culture, perhaps that is moment we realise the aspiration of being a strong nation through science and education.

The book begins with a historical introduction of the development of gravitation theory and then concludes by a very personal account of spinors and twistors Zhang Hua is very fond of. I am very impressed by the literary style and fluency of the writing. No doubt this will help the readership to acquaint with the subject.

The book will appeal to a very wide spectrum of readerships, in particular to the high school students and beginning undergraduates whom want to have a glimpse of the subject.

In the last three decades, due to the advance in relativistic astrophysics, the

GPB experiment, LIGO and other ground based effort to detect gravitational radiation, plus the very ambituous proposed LISA project in space and a host of other proposed experiments in space to test Einstein's theory of general relativity, the research in general relativity has already entered a new era. This change of landacape in general relativity also forces theoreticans to have a better understanding and collaboration with their colleagues in astrophysics, macroscopic quantum mechanics, quantum optics, computational physics, space science, statistics plus possibly experimental physics as well.

It is likely that general relativity research in China will become more interdisciplinary in the next two decades. Zhang Hua's book may serve as supplementary reading material for students whom take an interest in this field.

目 录

第一章	大学毕业生爱因斯坦	001
第二章	牛顿站在他的肩膀上	008
第三章	伽利略：自由落体与等效原理	015
第四章	牛顿的惯性系与马赫原理	019
第五章	光速的测量	023
第六章	闵可夫斯基：把勾股定理推广到时空中	027
第七章	从法拉第到麦克斯韦	033
第八章	狭义相对论	038
第九章	普朗克：爱因斯坦的伯乐	045
第十章	朗之万：双胞胎悖论	049
第十一章	专利审查员的奋斗	052
第十二章	广义相对论	057
第十三章	宇宙膨胀	060
第十四章	最早的光	064
第十五章	黑洞	068
第十六章	钱德拉塞卡	071
第十七章	史瓦西解	075
第十八章	伯克霍夫定理	080
第十九章	外笛亚解：耀眼的火球	088
第二十章	从可见光到电磁张量	094

第二十一章	外尔张量	104
第二十二章	克尔解和卡特运动常数	113
第二十三章	二分量旋量	121
第二十四章	时空为什么是四维的	126
第二十五章	贝肯斯坦	135
第二十六章	爱因斯坦流形	145
第二十七章	四元数	152
第二十八章	扭量方程	160
第二十九章	返璞归真：开方	168
第三十章	宇宙学常数：最完美的错误	176
第三十一章	霍金辐射	184
参考文献		190
附录（一）		192
附录（二）		194
跋		199

第一章 大学毕业生爱因斯坦

(1)

2016 年年初，发生了“引力波事件”，美国的激光干涉引力波天文台 LIGO 宣布发现了引力波。到了 2017 年 10 月，引力波探测项目得到了当年的诺贝尔物理学奖。同年 10 月，双中子星碰撞发出的引力波也吸引了大众的眼球，因为在引力波发射的同时探测到了引力波的电磁对应体，中国的“慧眼”卫星与南极天文中心都捕捉到了相关信号。

引力波是广义相对论的一个预言，所以当引力波被发现的时候，相对论也成为一个大眾很有兴趣的热门话题。

相对论基本上是爱因斯坦一个人创建的。回顾相对论的思想历程也是非常有意思的。爱因斯坦创建相对论的过程并不是一蹴而就，我们可以从爱因斯坦大学刚毕业的那段时间开始说起。

爱因斯坦读大学的时候，实际上可以算是一个师范生。在 1900 年爱因斯坦大学毕业以后的两年里，他没有找到一个正经的工作。因为他当时有一个女朋友，开销比较大，所以他以做家教维持生计。

1902 年 2 月 5 日，出现在瑞士《伯尔尼都市报》的一则广告这样写道：

由苏黎世联邦工学院教师文凭持有者
阿尔伯特·爱因斯坦
为大学生及中小学生
提供最完善的
数学和物理
私人授课
正义街 32 号, 二楼
免费试听

刊登这个广告的青年人,就是大学刚毕业的爱因斯坦。爱因斯坦当时的情况其实相当不妙——虽然爱因斯坦出身于小企业主家庭,类似于浙江地区的很多私营企业主。这种创业阶段的小公司,其实风险很大。爱因斯坦父亲的生意也没有做得很好,曾经有一段时间他父亲的企业试图与当时也是小企业的西门子公司竞争政府项目,但终究失败了。

很明显,爱因斯坦对他的数学物理还是很有自信的,不过他年轻时代的落魄,有点像周星驰电影《喜剧之王》里的尹天仇——尹天仇一心想成为一个电影明星,曾经站在大海边高喊“努力,奋斗”,但尹天仇的演艺经历非常坎坷,他只能在街坊福利院给街坊邻居与妓女们讲解如何演戏,很多人嘲笑他是“死跑龙套的”,尹天仇严肃地回应:“其实,我是一个演员!”

爱因斯坦也差不多,大学毕业以后,他其实已经离开了学术圈,虽然他的理想是成为一名科学家,但他也成了一个游离在主流科学界之外的“小混混”。

当然,与尹天仇一样,爱因斯坦实际是一个天才。他虽然连一个正经的工作都没有,但他已经掌握了当时最前沿的数学物理知识,他的内心深处其实已经积聚了很多力量,这些力量来自于科学知识。更为重要的是,爱因斯坦后来把学到的很多知识融会贯通,渐渐形成了自己的思想体系。

爱因斯坦当时掌握的这些科学知识非常芜杂,有些是他已经知道的,有些是他还不知道的,我们可以慢慢来看一下。