

走进科学殿堂·物理篇

可畏的对称

"A small gem we can see deeply into with small effort and great pleasure."

Robert Schrieffer, Nobel Laureate in Physics



(美)
徐一鸿 著
张礼 译

清华大学出版社

走进科学殿堂 • 物理篇

可畏的对称

(美) 徐一鸿 著 张礼 译

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书介绍爱因斯坦和他的追随者通过近一个世纪的努力所构造的近代物理学基础理论的框架。他们将对称性作为指导原则,并深信这是揭示自然基础设计秘密的钥匙。本书第一部分从艺术、建筑、科学到物理学的弱作用宇称不守恒等方面探讨对称性与建筑设计到自然界基础规律的设计的关系;第二部分介绍爱因斯坦在创立相对论的过程中所得出的“对称性指挥设计”的观点;第三部分介绍对称性在认识和诠释量子世界中所取得的成果;第四部分介绍杨·米尔斯规范理论并将对称性思想再次引入物理学基础的舞台,在此基础上进一步探索“最终设计”及遇到的问题。

A. ZEE

FEARFUL SYMMETRY

EISBN: 0-691-00946-5

Copyright © 1986 by Anthony Zee

Preface and Afterword © 1999 Princeton University Press

All Rights Reserved

本中文简体字翻译版由作者授权译者翻译,由清华大学出版社出版发行。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2003-7564

版权所有,翻印必究。举报电话: (010)62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

可畏的对称/(美)徐一鸿著;张礼译. —北京:清华大学出版社,2005.4

(走进科学殿堂·物理篇)

书名原文: Fearful Symmetry

ISBN 7-302-10395-X

I. 可… II. ①徐… ②张… III. 物理学—普及读物 IV. O4-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第006256号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 陈朝晖

文稿编辑: 陈 力

版式设计: 刘祎淼

印 刷 者: 北京市世界知识印刷厂

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 148×210 印张: 11 插页: 2 字数: 300千字

开 次: 2005年4月第1版 2005年4月第1次印刷

书 号: ISBN 7-302-10395-X/O·445

印 数: 1~6000

定 价: 25.00元

1999年序

决

定写《可畏的对称》这本书,我感到很高兴。在1984年访问得克萨斯大学期间,和杰出的物理学家斯梯夫·温伯格(Steve Weinberg)谈话时,他的秘书送来的邮件中恰好有关于他第二本科普著作的评论,我们的谈话自然转到写科普书的问题。此前,曾几位物理学家鼓励我写一本关于量子场论的教科书。温伯格则不仅鼓励我写一本科普书,还把我介绍给他的出版人,并提出了有价值的建议。几个月之后,我就在纽约和温伯格的出版人共进午餐。我带来书中的一个样章,是关于守恒定律的。这一章开始的第一句就是“没有免费的午餐”。出版人笑了,并说“有”。从那时开始,不同的出版人、编辑和代理人请我去共进午餐或晚餐,我再次意识到,真是没有免费的午餐。好奇的读者可以在第8章中见到这句话,虽然它不再是该章的开头。

我为写了《可畏的对称》这本书而高兴,因为我收到了喜欢这本书的读者的热情信件(甚至礼物),因为我看到了使我感到温暖的书评,因为我听到了在国会图书馆发行的为盲人听的录音带中一位职业演员朗读我的书,还因为我看到我的书被译成几种文字,但最使我高兴的是这本书能使我偶尔可以离开物理学界。我被邀请到各种有趣的地方去作关于对称性的演讲,例如到孟买的国家表演艺术中心,在那里我体会到了古典印度舞蹈的对称性。我还被邀请到柏林艺术学院参加关于种族主义的国际讨论会。(种族主义和对称性有什么关系我就不清楚了。)《可畏的对称》这本书开始了我的写作生涯。从这本书的原稿中撤下来的一部分后来成了我第二本科普书《老人的玩具》的核心部分。不久我还发现《可畏

的对称》书中的部分内容被摘引到一本关于写作的大学教科书中，我还被邀请去一个关于创造性写作的讨论班作演讲。

迈克米伦出版社使我的书脱销，我感到不高兴。此后我还知道了关于出版业的一些令人吃惊的统计。因此在得知普林斯顿大学出版社准备出《可畏的对称》新版时我感到高兴，尤其因为我是普林斯顿大学校友。我感谢物理学家莫夫·戈尔德伯格(Murph Goldberger)、戴夫·斯佩吉尔(Dave Spergel)和山姆·特瑞曼(Sam Treiman)对这个项目的鼓励，感谢我的编辑垂沃尔·李普康布(Trevor Lipcombe)和当娜·克拉麦尔(Donna Kronmeyer)出色的工作。

感谢乔·波尔钦斯基(Joe Polchinski)和罗杰·设帕德(Roger Shepard)阅读我为普林斯顿大学版加的跋。我要再一次感谢所有读过部分或全部原书稿的物理学家：比尔·比阿莱克(Bill Bialek)、西德尼·科尔曼(Sidney Coleman)、莫瑞·盖尔曼(Murray Gell-Mann)、李政道、海因兹·佩格尔斯(Heinz Pagels)、斯梯夫·温伯格和弗兰克·威尔切克(Frank Wilczek)。最后我必须感谢格列青·徐(Gretchen Zee)多年来对我的支持和爱。

于圣巴巴拉(Santa Barbara)

1999年3月

序

在《可畏的对称》中，我希望讨论 20 世纪物理学的审美动机。比起解释近代物理学的现实内容来，我更希望传达给读者的是关于基础物理学得以运行的智能框架。

阿尔伯特·爱因斯坦曾说过：“我希望知道上帝是如何创造这个世界的。我对这样或那样的现象、这个或那个元素的能谱不感兴趣。我希望知道他^①的思想，其余都是细节。”

作为一个物理学家，我倾心于爱因斯坦的这种情感。大多数当代物理学家致力于解释特定的现象，这本是应该的，但同时有少部分爱因斯坦的精神后代却变得具有更高的目标。他们进入夜间的森林寻找自然界的基本设计，并以极端的自负宣称已经瞥见了它的一部分。

有两个伟大的原则引导着这个寻找：对称性和重正化。重正化是指不同特征长度的物理过程是如何相互联系的。虽然我也会谈到重正化，但我的着重点是对称性，并把它当做基础物理学家观察自然界的审美观点。

最近几年，人们对近代物理学的兴趣不断增长。对“新”物理学的展示不断涌现。现在许多人都知道有数亿的星系，每一个星系又含有数亿的星体。我们知道世界可以通过亚核粒子来理解，其中的多数只存活几亿分之一秒。听到这些，读者会感到吃惊和眼花缭乱。是的，近代物理的世界真是千奇百怪。带有希腊字母名称

^① 原著中，为与凡人的“他”区别，作者在提到上帝或神灵时用大写“他”表示，译文中用黑体“他”表示，以下同。——译注

的粒子随着量子的音乐狂舞,毫不遵守经典物理的决定论。但最终读者会带着失望的心情走开,虽然这些事实确实很新奇,但他们也枯燥烦人。

这本书是为愿意透过事实思考的好奇求知的读者写的。在我的想像中有这样一位读者的形象:这是我在年轻时一度遇到过的某个人;从那时起,这个人成了一位建筑家,一位舞蹈家,一位股票中介人,一位生物学家,或者一位律师;这是一位对近代物理学的思维和审美框架感兴趣的人。

这不意味着本书对近代物理惊人的发现不作解释。相反,在进入近代物理的知识框架的讨论之前必须对它们进行解释。但我希望读者合上这本书时不仅是对一些惊人的事实了解并认同,而且能认识到,如果没有这个框架,事实就仅停留为事实。

我并不想给出一个详细并全面的物理学的对称性的历史。将一个主要的发展归功于少数人的描述不符合历史,应该予以坚决的拒绝。谈到粒子物理的某些发展时,杰出的物理学家谢利·格拉肖(Shelly Glashow)曾说过:“挂毯是许多工匠共同完成的。在完成的工作中你辨认不出某一个工匠的贡献,松的和错的线头被掩盖起来了。这就是粒子物理的图画……标准理论并不是从一个物理学家的头脑中充分发展出来的,甚至不是从三个人的头脑中^①发展来的。它也是许多科学家,包括实验家和理论家,集体奋斗的结果。”但在一个科普著作中,不可避免地要简化历史,希望读者理解这一点。

于圣巴巴拉

1986年4月

^① 指创立电弱相互作用统一理论的三个人,格拉肖就是其中之一,请参阅第13章。——译注

致 谢

首

先,我要感谢我的妻子格列青,她机敏的和批评性的见解,以及她的关爱和支持,都是不能缺少的。在我进行写作过程中,她会阅读每一章。她会毫不客气地批评:“这个我不懂!”她在书稿上标注,我就会进行修改。

我们的朋友金姆·比乐(Kim Beeler)、克利斯·格罗思贝克(Chris Groesbeck)、玛沙·瑞特曼和弗兰克·瑞特曼(Martha Retman and Frank Retman)、黛安·舒福德(Diane Shuford),分别是心理学家、主修文艺历史的学生、律师、建筑家,他们读过稿件的各个部分,保证本书是非专业读者可以读懂的。

两位杰出的同事海因兹·佩格尔斯和斯梯夫·温伯格都出版过关于物理学的科普著作,他们鼓励我实现了写一本关于对称性的科普书的理想。他们慷慨地就写作和出版问题的方方面面对我提出忠告,并把我介绍给他们在出版界的朋友。

我对李政道、海因兹·佩格尔斯和斯梯夫·温伯格阅读原稿并给予有帮助的和鼓励的意见深表谢意。我还要感谢西德尼·科尔曼和弗兰克·威尔切克阅读第12章,莫瑞·盖尔曼阅读第11章,比尔·比阿莱克阅读清样。

我很幸运有查理·莱文(Charles Levine)作我的编辑。他的建议和支持是不可缺少的。我需要鼓励时,他给予鼓励;我需要批评时,他不吝批评。我把他作为朋友看待。

我的文稿编辑凯瑟琳·肖(Catherine Shaw)工作得很出色,因为我费了将近两个月的时间修改稿件以满足她的所有要求。她会不时地说:“这里我不懂!”因此,这本书变得更清楚易懂了。书稿

由编辑罗伯塔·弗洛斯特(Roberta Frost)进一步润色。

我还要感谢马丁·凯斯勒(Martin Kessler)在工作的前期给予了我有帮助的建议。

我从代理人约翰·布洛克曼(John Brockman)和卡廷卡·马特森(Katinka Matsen)的忠告中受益匪浅。

我很高兴由海伦·米尔斯(Helen Mills)担任书的设计负责人。她的兄弟罗伯特将在第12章中和我们见面。在他们的家庭中有着欣赏对称和平衡的氛围。

最后我要感谢德布拉·维特摩伊尔(Debra Witmoyer)、丽莎·洛佩兹(Lisa Lopez)、格雯·凯特荣(Gwen Catron)、凯蒂·多列姆斯(Katie Doremus)、卡伦·墨菲(Karen Murphy)和克列沙·瓦尔诺克(Kresha Warnock)打印稿子的不同部分。

绘图致谢

邦尼·布莱特(Bonnie Bright), 图 3.4, 5.2, 6.3, 7.2, 7.3, 7.4, 10.2, 10.3, 11.1, 11.3, 12.1, 12.2, 12.3, 14.2, 15.2

迈克尔·卡伦(Michael Cullen), 图 3.5, 3.9, 9.1, 11.7, 13.2, 14.1, 14.4

黄季军, 图 15.1

艾瑞克·均克尔(Eric Junker), 图 5.1, 5.3, 5.4

乔·卡尔(Joe Karl), 图 2.1, 2.3, 4.2

佩吉·罗伊斯特尔(Peggy Royster), 图 4.3, 13.1

克拉拉·维斯(Clara Weis), 图 4.1

格列青·徐(Gretchen Zee), 图 2.2, 7.1, 9.2, 10.1

目 录

I 1999 年序

III 序

V 致谢

1	I 对称性与设计	
	1 美的寻求	3
	2 对称性与单纯	8
	3 镜子另一端的世界	21
47	II 爱因斯坦的遗产	
	4 时间与空间联姻	49
	5 一个快乐的思想	72
	6 对称性指挥设计	90
97	III 来到聚光灯下	
	7 作用量无处不在	99
	8 女士和虎	108
	9 学习去读这本伟大的书	116
	10 对称性在凯旋	126
141	IV 了解他的思想	
	11 夜间森林中的八重路	143
	12 艺术的复仇	172
	13 最终设计问题	195
	14 力的统一	212
	15 傲气抬头	237

	16 造物主的思想	255
264	跋	
274	第 9 章附录	
277	跋的附录	
295	注记	
316	索引	



I 对称性与设计

美的寻求

我记得最清楚的是,当我提出一个自认为能使人信服而又合理的建议时,爱因斯坦一点也不表示反对,而只是说,“啊,多么丑!”当他遇到一个他认为丑的方程时,他只是对它不感兴趣,并且不能理解为什么有些人愿意花费那么多时间在它上面。他完全确信,在理论物理学中寻找一个重要结果时,美是一个指导原则。

——邦迪(H. Bondi)

美先于真

我和我的研究基础物理学的同事们继承了阿尔伯特·爱因斯坦的精神;我们也是在寻求美。有些物理方程是如此之丑,我们连看它一眼都不愿意,更不要说把它写下来了。我们承认,最高设计者^①在描述宇宙时当然只会用美的方程!当有两个可用于描述自然的方程时,我们永远会选择符合我们审美标准的那一个。“让我们首先来关心美,而真理会关照它自己的!”这就是基础物理学家庄严的口号。

读者或许认为物理学是精确的、有预言力的科学,并不适于从审美角度考虑。但实际上审美已经成为当代物理学的推动力。物理学家已经发现了一件奇怪的事:在基础水平上,自然是设计得很美的。我要和大家分享的的就是这种奇妙的感觉。

^① 原著在提到自然、上帝以及具有类似含义的名词时都用大写,译文用黑体字表示。——译注

训练我们的眼睛

什么是美？探求审美意义的哲学家连篇累牍地讨论它。但审美价值的绝对定义仍在虚幻之中。首先，时尚在变。鲁本斯(Rubens)^①的贵妇人已不再出现于杂志封面上了。从一个文明到另一个文明审美感觉都不同。东方和西方风景绘画的风格不同。布拉曼特(Bramante)和贝聿铭的建筑设计有不同的美。如果在人类创作的领域内没有审美的客观标准，在谈论自然的美时又该用什么审美体系呢？我们该如何判断自然的设计呢？

在本书中，我要解释当代物理学的审美规则如何构成了可以严格表述的审美学体系。正如我的艺术史教授说的，人们应该“训练自己的眼睛”。对于建筑的鉴定，文艺复兴时期的建筑家和后现代的建筑家有同样的指导原则。同样地，物理学家应该训练他们的内在的眼睛来观察设计自然的普遍指导原则。

内在的美和外在的美

当我在海边找到一个鹦鹉螺(更大的可能是在贝壳商店)，它的美会把我迷住。但是一位发育生物学家会告诉我，完美的螺线是贝壳不均匀生长的结果。但即使我知道了这一点，作为一个人，我对鹦鹉螺的美的迷恋不会减少，但作为物理学家，我要超越人们能看到的外在的美。我要讨论的美，不是拍岸的惊涛或者当空的彩虹的美，而是蕴藏在物理定律中的更深刻的美，正是这些定律决定着水在不同形式下的行为。

① 鲁本斯，画家。由于当时的审美标准，他所画的美女体态都很胖。

在设计师的宇宙中生活

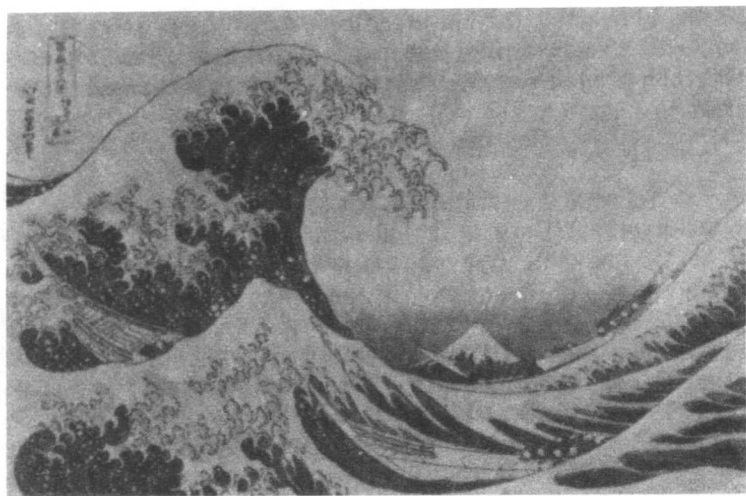
从爱因斯坦以来的物理学家被一个深刻的事实所震惊,我们在观察自然进入越来越深的层次时,她变得越来越美丽。为什么会这样呢?我们也许会生活在一个内在很丑陋的宇宙中,就像爱因斯坦说的,“一个混沌的、无法通过思考来理解的世界。”

沿这条思路思考会在物理学家思想中唤起类似宗教的感觉。在判断一个描述宇宙的物理理论时,爱因斯坦会问他自己,如果他就是上帝,他会创造这样的世界吗?基础物理学家相信存在一个根本的设计。

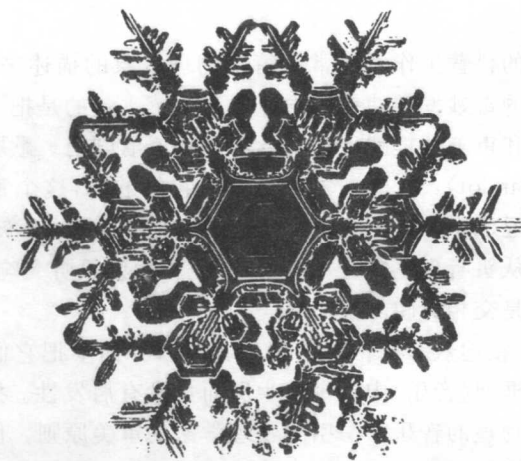
音乐与歌词

物理学的科普工作者经常用特定物理现象的描述来款待读者,用近代物理的奇妙发现使他们吃惊。我更感兴趣的是把当代基础物理的知识性和审美性框架传达给读者。就说歌剧吧。歌剧迷们喜欢图兰朵(Turandot),但首先并不是因为它的歌词,这个荒诞的故事是因为普契尼(Puccini)的音乐而走红。另一方面,不知道故事情节而把歌剧从头听到尾也是不容易的,更不用说只听交响乐部分了。音乐和歌词是交相辉映的。

同样地,叙述众多的特定物理现象(歌词)而不把它们放在近代物理的审美框架(音乐)中也令人生厌而且没有启发性。我希望给读者的是近代物理的音乐——引导物理学家的审美原则。但正像抽走声乐部分的话剧是毫无意义的一样,脱离真实的物理现象来讨论审美也是空洞无物的。我必须叙述物理的歌词。最后我必须承认,作为基础物理学家和歌剧爱好者,我的心是更靠近音乐(而不是歌词)的。



(a)



(b)

图 1.1 水在两个不同水平上的美

(a) 从神奈川远望富士山[北斋(Hokusai, 1760—1849), 明尼阿波利斯艺术学院(Minneapolis Institute of Art)提供]; (b) 雪花的显微照相[霍依特(R. B. Hoit)摄, 摄影研究者社(Photo Researchers, Inc.)提供]。