

科学新经典文丛

Spooky Action at a Distance:
The Phenomenon That Reimagines Space and
Time--and What It Means for Black Holes,
the Big Bang,
and Theories of Everything

幽灵般的 超距作用

重新思考空间和时间

[美] 乔治·马瑟 (George Musser) / 著

梁焰 / 译

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

科学新经典文丛

Spooky Action at a Distance:
The Phenomenon That Reimagines Space and
Time—and What It Means for Black Holes,
the Big Bang,
and Theories of Everything

幽灵般的
超距作用



重新思考空间和时间

[美] 乔治·马瑟 (George Musser) / 著

梁焰 / 译

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

幽灵般的超距作用 : 重新思考空间和时间 / (美)
乔治·马瑟 (George Musser) 著 ; 梁焰译. — 北京 :
人民邮电出版社, 2017. 3
(科学新经典文丛)
ISBN 978-7-115-44638-1

I. ①幽… II. ①乔… ②梁… III. ①物理学—研究
IV. ①04

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第030176号

版 权 声 明

Spooky Action at a Distance: The Phenomenon That Reimagines Space
and Time - and What It Means for Black Holes, the Big Bang, and
Theories of Everything

Copyright © 2015 by George Musser

Simplified Chinese translation copyright © 2017 by Posts & Telecom
Press

Published by arrangement with Scientific American / Farrar, Straus and
Giroux, New York

through Bardou-Chinese Media Agency

博达著作权代理有限公司

All rights reserved

-
- ◆ 著 [美] 乔治·马瑟 (George Musser)
译 梁 焰
责任编辑 刘 朋
责任印制 彭志环
- ◆ 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: 880×1230 1/32
印张: 9.25 2017年3月第1版
字数: 199千字 2017年3月北京第1次印刷
著作权合同登记号 图字: 01-2016-4644号
-

定价: 45.00 元

读者服务热线: (010)81055410 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广字第 8052 号

内容提要

空间是什么？我们大多数人一般不会问这个问题。空间是物理学的“住所”，物理学只能在空间里“玩耍”；事物在空间中存在，在空间中运动和形成。然而在过去的几十年里，物理学家发现了一个奇特现象，它超越了空间和时间的管辖范围。这个现象称为“非定域性”，即两个粒子无论相距多么遥远却同步共舞，看起来像魔法。爱因斯坦看到这种现象时惊讶得找不出一个合适的词，便称之为“幽灵般的超距作用”。

最近这个现象显得更加神秘，因为其他形式的非定域现象相继被发现。在黑洞里、在粒子碰撞中甚至在引力的运作中，都发现了这种“幽灵般的超距作用”，潜在地它威胁了我们对物理现实的最基本的理解。如果空间不是我们以为的那个样子，那么空间到底是什么？

在本书中，著名科学作家乔治·马瑟试着回答这一问题。马瑟对非定域性问题进行了大胆探索，采访了试图解释这个问题的科学家。他带领我们踏上史诗般崎岖漫长之旅，走进观察粒子的实验物理学家的生活，走进观察星系各向均匀性的天文学家生活，走进揭开大爆炸之谜的宇宙学家的生活。他考察了20世纪科学的重大发现和重大混乱，跟踪了非定域性这个非常有争议的话题，展示了尽管实验证据无可争议，但科学家们却提出了截然不同的解释。科学家们的结论不仅挑战我们对空间和时间的理解，而且也挑战宇宙起源的解释。那些卓有见识的物理学家提出了新的物理学大统一理论。

献给塔利亚和埃利安娜。

关于本书的评论 |

宇宙两端的两个亚原子粒子真的有瞬间链接吗？是不是任何预言这种链接的理论必然是有缺陷的或不完整的？显示这种链接的实验结果是否被误解了？这样的问题挑战了我们最基本的空间距离和时间概念。在本书中，乔治·马瑟优雅地穿行于这些极其烧脑的难题之中，探讨它们的历史、科学和哲学，阐述了科学领域最前沿的思想。

——马里奥·利维奥，天体物理学家，
畅销书《巨人铸成大错》《黄金比例》作者

这本书充满富有智慧的隐喻和冷面的幽默。广受赞誉的科学传播者乔治·马瑟是一位完美的导游，他带领我们通过虫洞和涌现的维度到物理学的最前沿做了一次神奇的旅行。空间的本质到底是什么？追问这个问题可能永远地改变你思考真实世界结构的方式。

——马克思·泰格马克，物理学家

现代物理学正在摧毁我们周围的空间，宇宙再也不是从前的那个宇宙了。在这本引人入胜的书中，乔治·马瑟带领我们穿越科学和哲学的丛林，走到世界的一个边缘地带，那里有截然不同的景象。

——肖恩·卡罗尔，加州理工学院理论物理学家，
《寻找希格斯粒子》作者



定域性一直是富有成果的和可靠的原则，它指导 20 世纪物理学走向胜利。然而，定域性法则应用于量子理论时却显得如同幽灵一般，一些理论物理学家正在质疑定域性本身。这本书生动地介绍了这些迷人的困惑和猜测。

——弗兰克·维尔泽克，诺贝尔物理学奖获得者

不懈追问现代物理学遇到的众多难解之谜，而这些谜团的解决可能解释量子粒子和黑洞的怪异现象，揭示自然的内在统一性。

——《科克斯书评》

乔治·马瑟像一位出色的导游，他带领我们到物理学前沿领域做了一次迷人的旅行，直逼科学中最古老的问题之一，即什么是空间？绝妙之处在于，我们越是深入探讨这个问题，这个问题就变得越来越有魅力。

——李·施莫林，圆周理论物理研究所创始教员，
《物理学的困惑》作者

乔治·马瑟巧妙地追踪了我们探索这个奇异现象的历史，书中涵盖了从弦论到多重宇宙以及物理学统一理论等诸多富有挑战性的话题。

——《科学》杂志

一次非常令人愉快的阅读体验……通过精湛的写作技巧将大量信息有机地组织起来，带你前往物理学前沿领域，去看看那些你应该了解的、引人注目的神秘现象。这本书将点亮你一年的阅读时光。

——戴维·艾克，《天文学》杂志

雄心勃勃的写作计划……将晦涩难懂的物理学理论转换成趣味盎然且为外行人所能轻松阅读的语言，作者在这方面做了里程碑式的工作。

——劳伦斯·A. 马歇尔，《博物志》杂志

围绕着这个被爱因斯坦称为“幽灵般的超距作用”的概念，科普作家乔治·马瑟进行了出色的研究，将曲折的历史故事和颠覆性的哲学猜想结合起来……证明这是科学领域中最引人注目的争议之一。

——《自然》杂志

平易近人，富于想象，思维清晰，语言幽默……马瑟的写作精彩纷呈，他巧妙地捕捉到了探索宇宙奥秘过程中的兴奋和沮丧。

——《出版人周刊》

一本非常重要的书，包含有人类理解空间、时间和宇宙本质的最新进展的深刻洞察。认真读读这本书很有好处，物超所值！

——约翰·格里宾，《华尔街日报》，

《寻找薛定谔的猫：量子物理和真实性》作者

富有启发性，而且有很强的趣味性。这是一本难得的好书，它带领我们超越早期流行的物理学理论，进入当代物理学的荆棘丛林。

——吉姆·霍尔特，《纽约书评》，

《世界为何存在》作者

一个优秀的科普作家必须向我们展示，那些构建了科学理论的科学家是有可能出错的，然后告诉我们为什么，以及去掉了人类的弱点或缺陷之后，该理论仍然是可靠的。《科学美国人》撰稿人及编辑乔治·马瑟的这本新书令人瞠目结舌，任何经过良好检验的科学概念都不会像超距作用这样令人匪夷所思。表面上看这本书讨论的是量子纠缠，实际上是探讨的是观察者之间的纠缠。马瑟提出了艰深难懂的“非定域性”物理学概念，而且他问的不是这件古怪事情的真假问题，而是既然科学家们已经对这件古怪的事情知道了那么长时间，但为什么很多人不愿意面对它。

——亚当·高普尼克，《纽约客》作家

马瑟探讨了人类博弈非定域性效应的历史，介绍了量子力学研究人员、天文学家、宇宙学家以及许许多多其他的人在如何思考宇宙到底是怎样运作的，同时揭示了研究人员在推进他们对物理世界的理解的过程中是多么混乱、非线性和惊心动魄。

——萨拉·勒温，space.com

马瑟是一位机敏的作家。他的这部新闻写作风格的图书文笔流畅，通过丰富的人物访谈，触及了科研人员的内心世界，其中穿插着他们的生活小插曲，读起来令人愉快。作为一个实验物理学家，我从中学到了很多，对这个曾经令我困惑的领域有了新的想象、新的理解和新的洞察。

——詹姆斯·米伦，《物理世界新闻》杂志

我同意其他许多人的看法，认为马瑟是最优秀的报道物理学前沿研究的科学作家之一……他的书有很多引人入胜、不拘一格的想法，读完之后连续好几天我一直在思考它。

——本·P. 斯泰因，《科学探索》电视栏目

目 录 |

- 引言：爱因斯坦的空中楼阁 / 1
- 第1章 形形色色的非定域性 / 14
 - 闭嘴，好好算！ / 21
 - 观天者与攀冰者 / 27
 - 玩水泥的人和雕塑家的女儿 / 33
 - 地下室里的粒子 / 42
- 第2章 非定域性的起源 / 51
 - 机械的宇宙 / 55
 - 机器里的魔法 / 66
 - 引力论战 / 73
 - 质疑牛顿爵士 / 82
 - 定域性的新麻烦 / 90
- 第3章 爱因斯坦的定域性 / 94
 - 定域性让物理学保持理性 / 99
 - 量子力学的奇特横空出世 / 104
 - 物质的波 / 107
 - 1927年的大辩论 / 111
 - 1930年的大辩论 / 113
 - EPR论文 / 115
- 第4章 大辩论 / 118
 - 非定域性这个案子 / 120
 - 分歧缘于动机 / 124
 - 选择一：放弃自由意志？ / 128
 - 选择二：粒子是占卜水晶球 / 130
 - 选择三：平行宇宙 / 132



选择四：放弃现实主义 / 134

德累斯顿会议上的唇枪舌剑 / 137

让我们务实一些 / 139

超越量子思考 / 142

披着别名的非定域性 / 144

不管怎样，空间走向终结 / 149

第5章 非定域性和物理学的统一 / 153

量子场论 / 156

与粒子分道扬镳 / 160

永别了，场 / 162

超强纠缠 / 164

横跨规范 / 167

爱因斯坦的引力理论 / 174

量子引力 / 186

回到黑洞 / 190

第6章 时空的终结 / 197

现实的“胶水” / 201

当空间不是那个“地方”时 / 207

互联成网生成空间 / 214

在矩阵内部 / 219

全息的现实 / 223

矩阵中的毛刺 / 227

结语：幅面体 / 236

更像青少年 / 244

参考文献 / 251

致 谢 / 284

引言：爱因斯坦的空中楼阁

20世纪90年代初我读研究生，第一次听说非定域性^[1]时，不是我的量子力学教授告诉我的，他不打算讲非定域性，连提都不想提。一次我在附近的书店闲逛，发现了一本新出版的书《有意识的宇宙》，书中声称“从来没有发现比非定域性更违反日常对物理实在的直觉”。这让我很吃惊，了解这个现象有一种品尝禁果^[2]的感觉。

在日常用语中，“locality”（局域性、本地性）这个词指邻里、小区或其他地方，有点儿夸大其辞。但它的本意，远在17世纪就是“地方”的概念，意思是任何东西都有个地方。你总可以指着这个东西说：“它就在这儿。”如果你不能指出它在哪里，那它一定不是真的存在。如果老师问你作业在哪里，你说我的作业不在任何地方，那你可得解释清楚。

我们体验的世界拥有地方或位置的属性。我们有很强烈的地方的感觉，属于一个地方关系网的感觉。和所爱的人分离会让我们感觉痛

[1] nonlocality，非定域性，也有人翻译成“非局域性”。——译注

[2] 源自《圣经》，亚当和夏娃偷吃了禁果，从此被逐出伊甸园。——译注



苦，和想帮助的事物相距太远会让我们感到无能为力。可现在，量子力学和物理学其他分支暗示，在深层次也许不存在地方这个概念，也不存在距离这个概念。物理实验可能把两个粒子的命运绑定在一起，表现得就好像一对魔术硬币，总是和自己的伴侣同时同一面朝上或朝下。这一对难兄难弟步调如此一致，尽管没有任何“力”穿行于二者之间。这两个粒子可能会旋即分开到宇宙两端遥遥相对，而仍旧步调一致。它们违背了定域性原则，超越了空间的局限。

显然，大自然选择了一个很特别、很巧妙的平衡：在大部分情形下它遵守定域性原则，而且如果人类存在，它就必须遵守定域性，然而大自然悄悄在基础层面留了一个非定域注脚。这两个方向的张力就是本书要讨论的。对研究非定域性的人来说，所有物理学之谜，物理学家这些日子遇到的跨越物理学各分支的疑点，不仅包括量子粒子的古怪现象，而且还包括黑洞的命运、宇宙的起源以及自然的内在统一性。归根结底，非定域性是始作俑者。

对爱因斯坦来说，定域性是更大的哲学问题的一个侧面：为什么人能够做科学研究？为什么这个世界构造得让我们能够讲出道理？爱因斯坦于1936年写了一篇著名的文章，说最不可理解的是宇宙竟然是“可理解的”。乍一看，这句话本身就不可理解。宇宙不是那么显然有理性的，它任性狂野、变幻无常，充满了误区、妄为、不公和不幸。宇宙里发生的大部分事情都挑衅理性思维，尤其是浪漫的时候和开车的时候。然而在这个令人费解的背景下，世界又令人欣慰地呈现出规律性的光芒：太阳总是从东方升起，手里的东西一松手总会落下，雨后常常出现彩虹。人们研究物理学是基于这样的信念，即这些规律性并不是个别令人满意的现象，而隐约说明物理学底层是有秩序的，虽

然从表面上看生活是杂乱无章的。

爱因斯坦的意思是，物理学家真的不应该指望有秩序。世界不一定非要有秩序，世界本来不一定要遵纪守法，在另一种情形下，它本来可以混乱无章到底。一个朋友写信问爱因斯坦，问他说的“可理解性”是什么意思。他回信道：“一种先验知识，就是说人应该期待的原本是混沌无序的世界，不可能被头脑理解的。”

尽管爱因斯坦说可理解性是一个我们永远不可能理解的“奇迹”，但他还是试图理解。他在整个职业生涯中都在试图明确说明是什么让宇宙有合理性，他的思想奠定了现代物理学课程的基调。比如他认识到，自然的内在运作是超对称的，即如果你换一个角度看世界，看起来是一样的。对称性将扑朔迷离的已发现的粒子动物园^[1]组织起来，形成秩序；粒子的整个族群在一定意义下彼此非常相似，互为镜像。虽然很多属性为我们能够理解这个世界带来希望的曙光，但爱因斯坦总是提到“定域性”，认为定域性是最重要的属性。

对于定域性概念，不同人的用法存在微妙的差别。对爱因斯坦来说，它有两个侧面的含义。第一个他称为“可分性”，意思是你可以把任意两个物体分开，或把一个物体的两部分分开，而一个一个分别考虑，至少原则上可以。你可以把餐桌旁的一把椅子移走放在餐厅的一角，这把椅子的属性（大小、款式及舒适度）不会变化。整个餐厅的属性是所有餐桌餐椅的属性的总和。如果每把椅子可以坐一个人，那么4把椅子可以坐4个人。整体是部分之和。定域性的第二个侧面，爱因斯坦称之为“局部作用”，意思是两个物体之间的相互作用只能

[1] zoo of particles, 科学家已经发现了几十种基本粒子，列出一个长长的粒子名单，称之为“粒子动物园”。——译注

通过直接碰撞或雇佣中介将二者联系起来。和我相隔一定距离的人，我知道我不能影响他，除非跨越距离亲自来到他身边，能摸着他的脸，跟他面对面谈，或能打他一拳。不管怎样，能和他直接接触，或选择一个中介代办。现代技术并没有逃避这一定域性原则，只是启用了新的中介。电话把声波转换成电子信号或无线电波，信号通过有线或无线方式传到另一端，然后信号被转换回声波。沿途每一步，必须直接接触一下另一个东西。要是电线中有头发丝那么大的裂痕，消息就走不了多远，好像在没有空气的月亮上尖叫。简而言之，可分性定义了什么是物体，局部作用规定了物体能做什么。

爱因斯坦在他的相对论中捕捉住了这些原则。具体地，相对论说任何物体的运动都不能超过光速，如果没有这个速度限制，物体的运动速度可能无限快，那么距离就失去了意义。物理学家们以为，所有自然之力必须慢慢地、迂回地、费力地穿过太空，而非如物理学家从前以为的那样，一下子跳越太空。这样相对论给出了一个测量办法来测量分开的物体之间的孤立程度，从而保证它们的鲜明个性。

对你来说，相对论和其他物理定律要么令人欣慰地说明了宇宙的深层秩序，要么是大煞风景的规矩，令人烦恼，好像严厉的父母剥夺了你全部的生活乐趣。这取决于你的心态。要是我挥挥胳膊就能飞起来，那该多好！可对不起，谁也不行。要是我们能凭空创造新能量，那么许多世界难题不就解决了？可对不起，物理定律不允许。物理定律只允许能量从一种形式转化成另一种形式。现在你瞧瞧，又来了一个苛刻限制——定域性，毁掉了人类超光速宇宙飞行和有心灵感应的梦想。球迷永恒的希望是他们可以通过在胸前划十字，或从座位上站起来大喊几声有见地的话，助自己心爱的球队一臂之力。不幸的是，

定域性让他们的希望破灭。如果你的球队正在输球，而你又特别认真地想去帮忙，那对不起，你非得亲自跑到球场上去。

但定域性对我们是有好处的。它让我们有自我感觉，让我们相信我们的思想、我们的感觉是属于我们自己的。恕我直言，约翰·多恩^[1]先生，每个人的确是一个孤岛，完全孑然独立的孤岛，人与人之间相隔大海一样宽广的空间，我们应该感恩这点。如果没有定域性，世界就会充满神奇魔幻，但不是那种快乐的、迪斯尼乐园似的神奇魔幻。如果球迷们希望从自己的客厅控制比赛，他们一定要小心自己到底想控制什么，因为对方球队的球迷也会有办法控制比赛。全国各地数百万赖在沙发上看电视的球迷会拼命给自己的球队一点好处，使得比赛本身失去意义，变成了球迷的意念比赛，而不是场地上运动员的比赛。不仅仅体育比赛，整个世界都会跟我们不友好。在没有了定域性的世界里，你身体外面的东西能伸到你的体内去而无须穿过皮肤，而你自己的身体对自己的体内状态将失去控制权，和环境融为一体。那么，根据定义，这就是死亡。

* * *

爱因斯坦将目光锁定于定域性原则，把定域性原则当作理解自然的关键先决条件，这凝结了两千年的哲学和科学思想之精华。对亚里士多德和德谟克利特等古希腊思想家来说，定域性使理性解释成为可能。如果物体之间能通过直接碰撞彼此影响，那么你就可以一个一个

[1] 约翰·多恩(John Donne)，是英国詹姆士一世时期的玄学派诗人。他曾写道：“没有人是孤岛。”因此这里作者说：“对不起，每个人的确是个孤岛。”——译注



地按顺序解释事件：“这个撞击了那个，那个撞上了另一个，然后另一个又撞上了其他什么东西。”任何事情有果必有因，这个原因是由时空中一系列不间断事件顺序链接导致的。不可能有什么事令你不得不举起双手嘟囔着说：“然后奇迹发生了。”古希腊哲学家嘟囔的并不是奇迹——他们不是无神论者。即使上帝，他们觉得，也应该用清楚可解释的规则对这个世界施加影响。定域性不仅对哲学家和科学家寻求那种类型的解释很关键，而且对采纳的方法也很关键。定域性保证他们把一件事和另一件事分开，一个个分别理解，一步一步地建立起世界的整个图景。他们不会面对一次性全部解决——这是不可能完成的任务。

1948年，爱因斯坦在生命的最后阶段写了一篇短文总结了定域性的重要性：“物理学概念指向一个真实的外部世界……那些声称独立于主观的真实存在的东西……这些东西据称是彼此独立存在的，意思是存在于空间的不同地方……如果没有这一假设，没有这一空间中相互隔开的物体彼此独立存在这一源于常识的假设，那么我们熟悉的物理思想几乎是不可能的。而且如果没有这一分隔，就没人能看得出来物理定律是怎样构造出来和怎样得到检验的。”

定域性之所以有如此普遍的重要性，因为它是空间这个概念的精髓所在。我的意思不仅仅是指“外层空间”这一宇航员和小行星的领地，而且包括环绕在你我之间、我们的身体和其他一切东西占据的空间，比如我们挥舞棒球棒所需的空間，或者我们打开卷尺测量距离的空间。不管你是通过望远镜观察行星还是用望远镜偷看你家邻居，你都在通过空间窥视。对我来说，这美丽的景致来源于跨越空间的令人晕眩之感，一种当你意识到山谷另一边的那个小点点实际上就在那里，只要你的手臂伸得足够长就能够着的、水平晕眩之感。