



three steps to the universe

from the sun to black holes to the mystery of dark matter

通向宇宙的三级阶梯

从太阳到黑洞，再到神秘的暗物质

〔美〕戴维·加芬克尔 〔美〕理查德·加芬克尔◎著 庾君伟◎译



科学出版社

Three Steps to the Universe

通向宇宙的三级阶梯

——从太阳到黑洞，再到神秘的暗物质

〔美〕戴维·加芬克尔 〔美〕理查德·加芬克尔 /著

庾君伟 /译

科学出版社

北 京

图字：01-2012-4220

This is a translation of

**Three Steps to the Universe : from the Sun to Black Holes to the Mystery of
Dark Matter**

By David Garfinkle and Richard Garfinkle

Licensed by The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, U. S. A.

Copyright © 2008 by The University of Chicago.

All rights reserved.

图书在版编目(CIP)数据

通向宇宙的三级阶梯：从太阳到黑洞，再到神秘的暗物质/(美)加芬克尔(Garfinkle, D.),(美)加芬克尔(Garfinkle, R.)著；庾君伟译。
—北京：科学出版社，2014.6
(混沌沿岸)

ISBN 978-7-03-041253-9

I. 通… II. ①加… ②加… ③庾… III. ①宇宙探测—普及读物
IV. ①P159.4-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 128658 号

责任编辑：侯俊琳 杨婵娟/责任校对：蒋萍
责任印制：赵德静 /封面设计：可圈可点工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

安泰印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销



*

2014 年 7 月第 一 版 开本：720×1000 1/16

2014 年 7 月第一次印刷 印张：19 1/2

字数：227 000

定价：39.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

致 谢

我们想要感谢下面这些人：我们的父亲诺顿·加芬克尔（Norton Garfinkle），他是第一个建议我们合作的人。我们的妻子金姆·加芬克尔（Kim Garfinkle）和亚历山大·凯莉（Alessandra Kelley），感谢她们在写作本书期间对我们的宽容（实际上，她们一直包容我们）。亚历山大绘制了书中的示意图。沃纳·以色列（Werner Israel）非常仔细阅读了全部书稿，并提出了很多极有用的建议。加拿大高等研究院“宇宙学和引力”研究项目组成员，每年的年度会议上，他们都会提供天体物理学和宇宙学研究进展中很多有用的信息和深刻的见解。最后，我们要感谢詹妮弗·霍华德（Jennifer Howard）和埃文·德维特（Erin DeWitt）。詹妮弗·霍华德是一个完美的编辑（她是思想开明和“残酷”的完美组合）。埃文·德维特细致地编辑加工让本书通俗易懂。我们得到的帮助远远不止于此。对此，我们感谢万分。

前 言

为什么人们知道明天太阳会照常升起？为什么我们知道日常生活中有很多常识是正确的？比如说，冰上很滑或者用火柴可以点燃燃气炉。

我们看到太阳每天都会东升西落，感受到在冰上行走会打滑，每天都会使用天然气，等等。这都是我们的日常生活经验。但是，我们如何获得那些遥远物体的信息呢？例如，太阳和星星。此外，我们又如何获得那些我们看不见的物体的信息呢？比如物理学家研究的暗物体：黑洞、暗物质和暗能量。我们将通过探寻存在于科学家思维中的三类世界来发现这些物体，即我们看见的世界、我们能够弄清楚的世界，以及我们自认为知道的世界。

路在哪里？

在通向宇宙的旅程中，我们将会探索三类不同的隐喻世界：感知世界、探测世界和理论世界。科学的理解正是建立在这三类世界的相互联系之中。

“感知世界”就是我们每天所经历的一切，包括我们的所见、所听、所闻、所触、所尝，以及带来的相关记忆。我们的思维，

大多数时间都沉浸在这个感知世界里。现实中，我们好像是在这个感知世界里生活，然而实际上，我们每天都会多次触及它的边界。

假设你正在用手机给你的朋友打电话。你看着手机键盘，然后按键拨号。很快，你就会听到朋友的声音。在你问“这是如何实现的呢”这个问题之前，这些都是感知世界的一部分。你的朋友在数英里之外，你听到他的声音是因为你耳朵旁的这个“金属塑料盒”。这是怎么回事呢？

要想弄明白究竟是怎么回事，需要知道手机的作用，以及它是如何与你周围的世界发生联系的。朋友的手机会吸收他的声音在周围空气中产生的振动，然后发出振动形式相同的无线电波。无线电波被你的手机接收之后，就会产生相同的振动，于是你就听到了朋友的声音。其实，你听到的并不是你朋友真实的声音，而是手机根据无线电波信号“重建”的复制品。值得注意的是，这里用到了一种我们看不见、听不到、闻不出、摸不着的特殊事物，即无线电波。那么，我们是怎么得知无线电波的存在呢？又如何证明前面的解释是正确的呢？

我们有一些设备，如手机和其他的无线电接收器，可以产生我们能够察觉到的效应（如朋友的声音或者最喜欢的电台播放的音乐）来反映无线电波的存在。利用这些设备，我们可以将这个未被感知到的部分（如无线电波）和已被感知到的部分（如声音）联系起来。像这些我们不能直接意识到它们存在，但是可以通过间接方法（也就是利用设备）证实其的确存在的部分，就是我们所说的“探测世界”。正如我们一直生活在感知世界里一样，我们也一直生活在这个探测世界里。在这三类世界中，我们

最不在意的就是探测世界。我们的精力都集中在感知世界里。比如，人们关心得更多的是通过手机听到朋友的声音，而并不关心手机如何传递朋友的声音。

这种对探测世界的不在意，是科学思维和非科学思维之间最大的差别所在。尽管生活在探测世界中，我们还是趋向于将它产生的效果归入感知世界中，这就会导致很多奇怪的想法和错觉。我们盯着电脑屏幕，然后进行各种操作，就好像互联网真的在我们面前。只是大多数人认为的这种真实其实并不存在。互联网是设备、硬件和软件的结合体，它能导致产生“真实”的错觉。互联网中的设备（数以百万计的计算机）之间依靠电话信号和无线电信号进行通信。电话信号和无线电信号的存在依赖于探测世界，并让我们产生对感知世界的感知（如出现在计算机屏幕上的网页）。

探测世界的这种“隐藏”特性，通常被称做“用户友好”（user-friendliness）。所谓“用户友好”，指的是在不理解原理的情况下，利用看不见的实际存在的物体的能力。“用户友好”为日常生活带来了很多便利。但是，要想弄清楚这个世界究竟是什么样子的，要想探索我们眼睛看不见、耳朵听不到的世界，就需要跨过“用户友好”这层障碍，然后才能认识到“舒服层面”之外的精彩世界。和其他很多隐藏着的事物一样，我们无法直接看见的世界，总是令人好奇。

不管轻松感知事物背后隐藏着什么，就放弃轻松感知事物所带来的舒适感，听起来可能会让人觉得不太舒服。但比起手机和互联网所带来的便利，探测世界在人们的生活中更加重要。人类思维最强大的力量之一就存在于探测世界中，这就是能辨别出背

后真正在发生着什么。比如说，有人摔伤了胳膊。他想知道是不是摔断了，于是就去看医生。医生用 X 射线进行了检查。医生看着 X 射线照片，然后说胳膊确实是摔断了，需要打上石膏。摔断的胳膊和 X 射线照片就是看得见、摸得着的物体。但是，当他想要知道“这是如何实现的”时，一场对感知世界之外的探索就会发生。

X 射线设备会发出一类名为 X 射线的辐射。X 射线和可见光很相似，只是波长更短，我们的眼睛看不见它们。和可见光会引起普通相机胶片感光一样，X 射线照射在胶片上时也会产生化学反应。冲洗胶片时，被 X 射线照射到的部分和未被 X 射线照射到的部分的颜色就会不同。X 射线很容易穿透皮肤和肌肉，但要穿过骨骼并不太容易。结果，骨骼在 X 射线的照射下会在胶片上留下影子。照片被冲洗出来后，这些影子就成了此人和他的医生看到的 X 射线照片。

前面既介绍了 X 射线设备能做什么，也介绍了 X 射线设备不能做什么。X 射线照片显示的是足够结实、可以阻挡 X 射线的物体与 X 射线可以穿透的物体之间的差别。但如果认为“X 射线显示物体内部”这个初步结论是正确的，那么，我们就不会意识到 X 射线并不能轻易区分两类对 X 射线都透明的物体，因此也就无法看见它们内部的很多损伤。如果人们知道某种物体是如何工作的，那也就会明白它的局限性，因此，可能就想做得更多。X 射线摄影术的实用性和局限性推动了其他检查身体内部方法的发明，比如超声波扫描和核磁共振成像。

前面只是对手机通信和医学上利用 X 射线进行诊断的简单说明。手机通信更完整的介绍涉及很多细节，比如手机的各个元件

是如何工作的；无线电波在空气中是如何传播的；嘴和声带是如何发出声音的；声音在空气中是如何传播的；耳朵又是怎么听到声音的；等等。同样，对医学上利用 X 射线进行诊断的更完整的说明，包括诊断设备是如何产生 X 射线的；X 射线为什么会让胶片感光；以及为什么骨骼比肌肉更容易阻挡住 X 射线。

手机和 X 射线设备都配有使用介绍，甚至产品特点说明书。但人类生来并没有这样的“说明书”。树木、星星、飓风和火山等也没有。那么，我们又怎么得知它们是如何“运转”的呢？知道了它们的“运转”方式后，我们又如何利用它们呢？

简而言之，这正是科学努力的方向，即试图去了解和利用我们周围的世界。这种了解，一部分是由我们感知和探测到的事物组成的——仅仅是一部分而已，剩下的部分就是人类的智力集合，即理论。这个纯智力创造的世界，就是我们所说的三类世界中的最后一类。理论世界将感知世界和探测世界编织在一起，构成了一个清晰的图像。理论有两种不同的功能，这两种功能似乎是相反的：一是整体解释事物是如何运作的，以及为什么能发生；二是作为科学探索的起点，创建新思想和新知识。

现代电流理论与物质的基本结构和能量有关，认为电流是亚原子粒子（电子）的流动。电子会与处在流经路程上的物质发生相互作用。对这个理论更详细的了解已经使科学家和工程师们创造出许多可以用来操纵电子流动的设备，比如电子显微镜和计算机。

电流理论及其应用使得这类设备的出现成为可能。但当用理论指导实验并用它来建造实际的设备时，理论本身也在接受检验。如果在探测世界和感知世界里，实验结果和设备的实际情况

与理论预期不相符，电流理论就会受到质疑。当理论受到质疑，就需要依赖于实验。为了检验理论世界，实验需要在探测世界和感知世界里进行。

因此，科学的进程通过理论、探测和感知形成了一个循环。理论能指导探测和感知，感知会对探测结果提出质疑，探测结果可能对理论提出挑战。这个动态的过程是科学最重要的组成部分，同时也是人们最不了解的部分。人们经常谈论理论，同时，观测和探测有时候也会在讨论科学问题时被提及。但是，真正的动力，也就是让科学真正成为科学的动力，是这三类世界之间的相互一致，而这却正是普通大众所不知道的。这并不是因为科学家想要让自己的工作保持神秘，而是因为很多方面都是科学研究中最难解释的。我们打算尽力去做这件事情，因为我们认为这很值得让公众知道。我们认为，科学家和普通大众之间的交流障碍不但是没有必要的，而且已经对科学家和普通大众都造成了一定的损害。

我们希望通过介绍科学研究的方法来建立科学家和普通大众沟通的桥梁。我们也不回避那些在公众的通常印象中，会使非科学家深感畏惧的科学问题。我们还希望从另一个方面缩小科学家与普通大众之间的距离。科学常常令人有一种优越感。对于科学问题，人们有一种崇尚权威的倾向。向普通大众展示科学家是如何工作的，可以揭开科学研究中普遍存在的这层神秘面纱。更夸张地说，我们希望做些可以弥合普通大众和科学家之间鸿沟的事情。请记住，本书由习惯构想宇宙的科幻作家和习惯分拆宇宙的相对论教授合作完成。“大言不惭”是我们共同的缺点（这种廉价的幽默，本书中还有很多）。更理智地说，我们将会在这个鸿

沟之间建立更好的沟通，引出更好的笑话。

那么，为什么要尽最大的努力在这个鸿沟上“架桥”呢？为什么我们——包括科学家——不能简单地舍弃可探测的世界和理论世界，而仅仅生活在一个我们看得见、尝得到、摸得着的真实的、可感知的世界呢？好吧，请往下看……

马克·吐温、阿尔伯特·爱因斯坦和真相

科学有很多令人着迷之处。我们只是对想要了解的真相进行了小小的投资，就有大量的猜想作为回报。

——马克·吐温

我是依靠想象力任意创作的艺术家。想象力比知识更重要。知识是有限的，而想象力则可以环绕世界。

——阿尔伯特·爱因斯坦

马克·吐温当然是一位富有敏锐洞察力的幽默大师，他能将“令人不舒服”的想法具体化为讽刺性的语言。他认为科学家应该跟着事实走，而不是杜撰奇异的理论和痴迷于疯狂的推测。爱因斯坦的观点好像与马克·吐温的观点相反。爱因斯坦认为，天马行空的想象力比与真相有关的知识更重要。但是，知识与想象力之间的鸿沟，本身就是个错觉。作家认为，真相是想象的基础；科学家则认为，想象会揭示真相。

让我们只考虑马克·吐温的评论的表面价值，因为这只对文学作品中最吝啬的守财奴是公平的。为什么在科学研究中我们不能仅遵守事实呢？首先，值得注意的是，在科学研究中有两类事实，这点很重要。一类直接来自于我们的感觉（感知世界），另一类则来自实验仪器的测量结果（探测世界）。当植物学家去数

豆类里豌豆的数目，这个数目就是感知世界的一部分。当微生物学家用显微镜去测量细菌的长度，这则属于探测世界的一部分。

刚开始时，我们可能对接受第二个世界（探测世界）感到很高兴，但现在，可能会感到不安。我们怎么知道显微镜显示的究竟是什么？我们又怎么能确定所测量到的与直接感知到的一样呢？难道我们不需要一些解释仪器是如何工作的理论吗？我们为什么会相信这些理论呢？我们又如何去避免“探测验证了理论的正确性，理论解释了探测的正确性”的循环论证呢？如果我们感觉之外的两个世界都有这些问题，为什么我们不能仅仅存在于感知世界里？其实我们可以，只要我们只想回答某类特定的问题，比如“你能看到天上那颗星星有多亮吗”，而不是“为什么它会如此之亮”或者“它究竟是什么”之类的问题。不知道这些问题的答案，我们同样能生活。我们也能接受感知的局限性，并继续简单地生存在这个感知世界里。

至少，我们可以选择不去回答它们，但人类好奇的天性却不允许我们如此。对于大多数人而言，“想要了解更多”的愿望太大了，无法被忽略。这种愿望可能仅仅只是“爱打听”而已。你可能很想知道邻居关上门之后正在做什么，或者想知道环球旅行中会发生什么。这样，就有了流言蜚语（以及比它更系统的“表兄弟”，即新闻媒体）。流言蜚语既不是直接的感知也不是确定无疑的事实。但是人们这种“想知道”的愿望已经非常普遍，足够支持所有的报纸、杂志、电视和互联网生存。这些媒介提供了没完没了的报道。

探索未知的诱惑力是如此之大，使一些研究自我心理约束的老师集中大量精力研究“不去观察”的艺术（对此类研究的讨

论，不同的作者在不同的书中均有涉及)。但这也仅仅是通过让好奇心“摆脱缰绳，自由飞翔”而获得知识的增长。如果换用一种受过训练的、专业的方式去探索未知，得到结论，并用这种方式确保已知的资料得到证实，那么，这就是科学。这是科学的另外一种定义：专业“爱管闲事”。科学家严谨地使用并检验理论，利用可靠的仪器设备来探索未知世界。利用科学仪器就可以进入探测世界。通过合适的硬件（和软件，因为很多工具就是人类的思维），我们不但深入到了双手无法触及的世界，踏进了双脚无法到达的世界，而且探测到了感觉不到的世界。但是，为了探索未知世界，我们必须要知道这些工具是如何工作的，以及在什么情况下它们的测量结果是可信的。

以显微镜作为突破人类先天不足的标准工具为例。以下是“显微镜究竟是什么”和“生物学家为什么使用显微镜”的标准解释：小于肉眼分辨极限的物体，在没有仪器帮助的情况下，肉眼是无法直接看到它们的。此类物体中就包括与许多疾病有关的细菌和病毒。除此之外，所有生物都是由细胞构成的，因此，了解细胞的功能是理解生物体工作方式的关键所在。我们对生物体最基本的了解依赖于那些小到肉眼无法直接观察到的物体，然而，显微镜解决了这个问题，让我们看见了肉眼看不见的情形。也许正因为如此，科学家才会变得很谨慎。

对于虽然也很小，但又不至于小到肉眼无法直接观察到的物体，我们可以拿裸眼直接观察到的结果和通过显微镜观察到的结果进行比较。结果表明，显微镜可以将微小物体的图像放大。当观察只能用显微镜才能看见的物体时，我们会假设显微镜给出的是这个微小物体的放大图像。然而，事情并不是如此简单。显

显微镜中的图像会因为镜头上有灰尘或者载玻片上有番茄酱而受损失真。为了弄清楚引起图像失真的可能原因，就有必要明白显微镜的工作原理。在正确使用仪器之前，我们首先要对仪器有很好的了解。为了理解仪器的工作原理，我们就会再次丧失“用户友好”的属性体验。

显微镜的例子对于后续章节中所要讨论到的对象而言，并不是十分合适的。显微镜其实就是将镜头组合在一起以便观察眼睛看不见的微小物体的仪器。这和望远镜很相似。望远镜是利用镜头的组合来观测遥远的物体的仪器。望远镜是我们遥望头顶广阔深邃的宇宙时经常谈论到的观测工具。因此，望远镜的标准解释与显微镜类似：绝大多数天体非常遥远，人们无法用裸眼直接看见它们。望远镜可以聚集更多来自遥望天体的光，放大天体的图像，并提高图像的分辨率。

和显微镜一样，望远镜的图像也有可能失真。导致失真的原因可能是磨制目镜或者物镜时存在缺陷，也可能是目镜和物镜本身的性质造成的。毕竟，镜头都有自己的光学特性和结构特性，这就可能影响我们看见的图像。天文学中，一些失真有自己的名称：色差和球差。色差是因镜头对不同颜色的光有不同的弯曲程度而产生的，球差描述的是最简单的圆镜产生轻微失真的图形的趋势。只要知道了可能出现错误的来源及这些来源的性质，科学家就可以消除那些可以被消除的错误，同时修正那些不能被消除的错误。

望远镜和显微镜呈现的是感知世界极限的一个方面：裸眼的分辨率。比起其他类型的感知，我们更依赖于眼睛所看见的，但这种视觉感知的局限性更加极端，是多方面的，而不仅仅是受简

单的分辨率限制。可见光只是宽广的电磁波谱中一个很窄的范围。所有的电磁波都可以看作是光，它们与普通的可见光之间的区别仅仅是波长不一样。“波长”是一个由类比得到的词。当我们观察水的波动时，波长就是一系列海洋波中两个相邻的海浪最高点之间的距离。光是电和磁的现象（后文有详细介绍）。对于光而言，波长就是两个相邻的电场最高点之间的距离（后文也有详细介绍）。更实际点说，光的波长就是光的颜色。我们看见的不同的颜色代表不同的波长。

电磁波谱可以用一个代表不同波长的数轴来表示。在可见光区域，我们看见的颜色是连续分布的，因为波长不同的可见光在我们的视觉系统里呈现出的是不同的颜色。其他波长的电磁波都有名称：比可见光波长更长的是射电波、微波和红外线；比可见光波长更短的有紫外线、X射线和伽马（ γ ）射线。它们都是我们看不见的光。每种光都有相应的用途，而且都有相应的探测仪器来探测它们。如果只局限于我们能感知到的一些事实，那就永远也不能观测到我们眼睛无法分辨的波长范围。

利用仪器才能探测到我们原来感知不到的世界，并把眼睛看不见的转化成我们能够看得见的。只有这样，我们才能把目光延伸到广大的不可见的波段范围。据说诗歌就是在我们将眼睛看不见的部分转化为眼睛看得见的部分的过程中遗失的那部分。毫无疑问，我们永远也无法在某些潜在的视觉艺术领域进行艺术创造。因为，我们无法直接看见X射线波段的天空或者生物体发出的红外线辐射。对于诗歌而言这是损失，对于科学而言则不是，因为我们可以建造X射线望远镜和对红外线敏感的仪器。通过探测，我们能间接得知那里究竟在发生着什么。

回到事实。明白了自身的局限性和探测仪器的益处之后，我们就会有了解探测世界的需求，因为我们只能间接得知这些事实。在成为理论之前，我们可能想要尽量与事实保持一致。有两个原因使得这种想法并不可行。一是，探测器中各种各样的瑕疵（如显微镜载玻片上的番茄酱或者望远镜镜片的球差）会导致我们接收到的信息出现失真。用科学术语来说，探测器所探测到的既有信号又有噪声。为了准确测量，我们首先必须要弄清楚产生噪声的原因，然后作相应的修正。这就需要有相应的理论来解释探测器是如何工作的。二是，即使用最好的仪器或探测器，我们也只能测量我们想要理解的那部分信息。在仪器的局限性和自然规律之间，我们能弄清楚的非常有限。对于遥远的天体，这种限制尤其明显。例如，目前我们只能确定太阳系中其他行星的存在，但还无法得知这些地外行星的地表究竟是什么状态（假设它们都有地表——虽然发现的大多数地外行星是气态巨行星）。

对于我们无法直接测量的物体，如感知世界和探测世界中未知的部分，我们能做哪些工作呢？我们用理论来填补“漏洞”。为了将感知、探测、理论这三种世界组成一个整体，我们需要一些与完整体系有关的理论。这些理论要尽可能的简洁、自洽，这就要求人们在创立理论时要尽量简单，同时还要与我们感知和探测的结果一致。

简洁性主要是从方便人们理解的角度出发的。创作出富有想象力、看起来既完美又辉煌，还能抓住科学家的心的故事可能很容易。人们很难放弃这些简洁、完美的理论（和人们很难舍弃任何美丽的物体是同样的道理）。但是，一个科学的理论中必定含有一些会被它的创立者和使用者舍弃的内容，必定有些内容会受

到质疑，如果质疑成功，这部分内容就会被抛弃。如果过于依赖某个理论，人们就会背离科学真正的目的：建立理论解释事实，而且所建立的理论不但要能准确预测未来将发生的事情，还要让科学家建造能按照所期望的方式工作的仪器。建立理论时的简洁性要求，让人们的思想中避免了很多不必要的附属物而成为壮观的理论——需要强调的是，有些人已经喜欢上了简洁性，尽管如此，也要谨慎运用简洁性要求。

从实践的角度讲，科学的理论应该预言我们能测量的一些效应。当对这些效应的测量结果与理论预言一致时，会证实或者至少支持这些科学理论。技术的进步会带来更先进的仪器，更好的仪器测量会使结果更精确。因此，对理论的证实或者否定是一个持续不断的过程。如果实验结果和理论预言一致，我们就会对理论更有信心。如果实验结果和理论预言不一致——而且，我们能确信实验的设计和操作都是正确的——那么，就该去寻找一个更好的理论。探测世界和理论世界之间的分界线是变化的。那些目前无法探测到的物体在将来就可能变得可探测到。有时候有些物体，如无线电波，前天还不能直接被看见，到昨天就可以了，到今天就得到了大规模的应用。

无论多努力，想要独自生活在这个事实的世界，都是徒劳的。因为，我们生活在一个三类世界中。感知世界、探测世界和理论世界都是建立在用我们的思维所认识到的基础之上的。每部分科学都由这三个步骤通向这些世界：从观察到探测，再到理论。每个步骤，往前是理解物质世界重要组成部分，往后则组成了我们对生活的理解部分。

通常的教科书对科学的介绍都强调假设和实验，但并不去区