

全世界科学家在世界范围内的联合行动

GRAINES
DE SCIENCES

光·能

问不倒

做中学



法大卫·威廉让布斯 迪通埃·保罗 主编
赵济鸿 俞佳乐 译

《科学的种子》十年精华
法国版“十万个为什么”
全球最有影响力的科学普及图书



做中学 问不倒

光·能

[法] 大卫·威廉让布斯
迪迪埃·保罗
赵济鸿 俞佳乐

上海科学技术文献出版社

图书在版编目(CIP)数据

光·能/(法)大卫·威廉让布斯等主编;赵济鸿等译.-上海:
上海科学技术文献出版社,2010.8

(问不倒)

ISBN 978-7-5439-4441-1

I.①光… II.①大…②赵… III.①光能-少年读物 IV.
①TK01-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第142452号

29 notions-clés pour savourer et faire savourer la science

© Éditions Le Pommier - Pairs, 2009

Ouvrage publié avec le concours du Ministère français chargé de la Culture -
Centre National du Livre

本书获得法国国家图书中心翻译资助

DIVAS INTERNATIONAL (迪法国际)代理本书中文版权。

contact@divas.fr.

Copyright in the Chinese language translation(Simplified character rights only)©

2010 Shanghai Scientific & Technological Literature Publishing House

All Rights Reserved

版权所有,翻印必究

图字:09-2010-083

责任编辑:张 树

封面设计:许 菲

光·能

[法]大卫·威廉让布斯 迪迪埃·保罗 主编

赵济鸿 俞佳乐 译

出版发行:上海科学技术文献出版社

地 址:上海市长乐路746号

邮政编码:200040

经 销:全国新华书店

印 刷:江苏常熟市人民印刷厂

开 本:787X1092 1/16

印 张:6.25

字 数:94 000

版 次:2010年8月第1版 2010年8月第1次印刷

书 号:ISBN978-7-5439-4441-1

定 价:18.00元

<http://www.sstlp.com>

前言

十几年来，每年出版的《科学的种子》图书像自然界中的种子一样随风播撒。1996年，在法国科学院的支持下，诺贝尔物理奖得主乔治·夏帕克（Georges Charpak）倡导在法国小学开展名为“动手做”^①（在中国叫“做中学”——译者注）的实践活动，《科学的种子》系列丛书因此问世。该丛书面向科学爱好者、学生家长和中小学教师推出，丛书的每一册都由才华横溢的科学家撰写，分为十几个章节，涉及丰富多样的科学主题。丛书的编写还得到了许多在职教师的大力协助，他们并非专业科研人员，却对科学知识充满了好奇，在品味到科学的乐趣之后，愿意将科学知识传授给自己的学生们。

有不少家长坚信，在“科学”一词面前，自己只能裹足不前。孩子用天真的眼睛打探身外的世界，他们想在家中重温课堂上的实验，与生俱来的好奇心驱使他们提出一个又一个问题，家长们却往往无言以对。希望在孩子成长的道路上，《科学的种子》丛书能帮助家长学会与孩子分享科学的乐趣。

为庆祝《科学的种子》的第十个生日，我们推出了特别的丛书——《问不倒》。事实上，自2006年以来，法国的学前班、小学和初中的教育实践都要遵循一个名为《公共基础知识与能力大纲》的官方文件，该文件规定了法国中、小学校在七大领域中应该传授给孩子们的知识。因此，这并不是传统意义上的教学大纲，而是一个核心，学校具体的课程设置、教师的教学方法和家长的辅导都围绕这个核心展开。《公共基础知识与能力大纲》的原则已经体现在很多欧洲国家的教育体系中，在此，我们无意对其合理与否做出详细的判断。

《公共基础知识与能力大纲》共涉及七种能力，基础数学与科技知识是其中的

^① 该活动法文名为“La main à la pâte”，意为“动手和面团”，简称“动手做”。——译者注

第三种能力。本丛书关注与数学密不可分的自然科学，我们将重点放在观察和实验上，因为观察和实验体现了自然科学的特色。《公共基础知识与能力大纲》明确借鉴了“动手做”项目的教学理念，在提问、操作和实验中，让孩子们体会到科学的乐趣，他们的好奇心、批判精神和创造力得到发展。面对种种自然现象和科技产物，孩子们的想象力、表达、论证和写作能力得到锻炼，思想由此形成。

全法国的孩子们究竟要具备哪些科技知识？我们真心希望，作为知识国度的一个组成部分，科学和它的孪生姐妹——技术，能像文学、艺术、音乐和其他众多人类实践一样，成为这个国度里最美丽的风景。当然，这个角落包含着丰富的知识，孩子们要知道……孩子们要了解……通过不断知道和了解的学习过程，初中毕业的青少年对于身外的世界有了合理的表述。这片领地中还蕴藏着巨大的财富：通过观察、提问、分辨，学会推理因果，了解可见与不可见，过去、现在和未来……孩子各种能力的发展使他们获益匪浅。对21世纪的地球公民来说，这些能力比以往任何时候都要不可或缺。当然，人类的能力并非是科学赋予的，科学只是启发了孩子的心智，而科学实践又使得他们的能力得以发展，尤其是在孩童和少年时代，因为这个阶段孩子脑部结构和认知功能的形成将影响其终生。

本丛书借鉴《公共基础知识与能力大纲》中主要的科学主题和编写脉络，围绕着宇宙的结构、地球、物质转变、生物、光、能量、人类及其对生态系统的影响、科技产品、数字处理和自动化程序等主题，选取《科学的种子》丛书的精华文章，并做了必要的信息更新。根据以上主题，丛书分为九大部分，每一部分选取若干文章，各部分都有对相关主题的介绍。丛书将让孩子们在成长的过程中，对科学从惊讶到理解。我们将解释如何通过课堂、家庭、日常生活和博物馆中的观察和实验，使孩子们逐渐接受某些复杂的科学概念。我们愿意帮助家长和老师们去衡量，对这些科学主题的了解在孩子们思想形成中起到了怎样的宝贵作用。

从幼儿园到小学，再到初中四年^①的学习生活是一段很长的道路。从蹒跚学步的幼儿园宝宝到初中毕业的少年，未来向他们打开，发展思想、了解世界的很多机

① 法国初中分四个年级，分别称为第6年级、第5年级、第4年级、第3年级。——译者注



会或许被抓住，也时常被错过。本丛书编写的目的在于帮助孩子们度过他们成长过程中的这些关键时期。

自2000年以来，由五十多个最发达国家组成的、总部设在巴黎的经济合作与发展组织每3年会对15岁的青少年进行PISA测试。该测试主要面向其成员国，也会涉及其他一些愿意参加测试的国家。测试内容包括三个方面：阅读能力、数学能力和科学能力。与法国的初中、高中会考不同，该测试的目的并非通过习题来检测学生掌握的知识，而是考察他们如何运用在学校学到的知识去理解日常生活中遇到的情况，如何面对复杂的实践做出反应。2006年的测试结果说明，在科学领域，法国青少年的能力正好处于平均水平，这个情况本身已经不值得骄傲，更何况其结果差距悬殊。有些青少年表现优秀，他们可能成为令人艳羡的科学方向的学生，然而也有很多青少年面对提问无言以对。值得注意的是，这些孩子们在四年前小学毕业，当时“动手做”活动刚刚开始在校园开展，而四年初中阶段大量的科技教育也不曾帮助他们在测试中取得成功。

法国社会学家克里斯蒂安·鲍德洛（Christian Baudelot）在其新作《共和国精英主义》（2009年出版）中详细分析了PISA测试的结果：测试成绩优秀的青少年将拥有和其他人截然不同的命运。法国因为前者获得了科学力量，他们将成为诺贝尔奖得主、优秀的科研人员、工程师，在飞机、火车和医药制造领域的技术力量。至于后者，小学做课堂实验时，他们的眼睛还闪烁着好奇的目光，但初中阶段的教育并没有使得科学得到理解、技术被赋予价值，到了15岁时，他们已经失去了拥抱未来的力量。

然而，这并不是致命的，因为PISA测试成果分析指出，在科学、数学和法语方面，一个绝对具有说服力的事实是：一个国家的低分学生（测试失败）越少，该国在测试中表现优秀的青少年就越多，加拿大和荷兰便是如此。也就是说，关注学习困难的孩子们不仅能使他们进步，也会让涌现优秀青少年的基数增加。可见，法国所选择的，尤其是初中阶段推行的面向精英的精英式教学，并非培养大量精英的最好选择，而其他学生付出的代价对他们而言是悲剧性的。他们学习失败，因为这个失败，在很长时间里，他们的自信心受挫，甚至完全失去自信。

十多年来,“动手做”实践在法国和其他国家中小学的开展让我们学到了关键的一课:着眼于观察、提问、投入等实践的科学教育,帮助老师、家长,甚至那些被想当然认为是失败者的孩子本人看到了自身的价值。

作为文化知识的一个神秘领域,科学,通过适当的教学法,向那些出生并不优越,并非来自物质丰裕、教养优秀的家庭的孩子们敞开了大门,就如同加斯帕·蒙热^①(Gaspard Monge)在法国大革命中所理解到的那样。

希望在《公共基础知识与能力大纲》中不断发芽的科学的种子能让每个家庭的孩子分享这份宝贵的财富……

皮埃尔·雷纳(Pierre Léna),伊夫·凯雷(Yves Quéré)

法国科学院院士

贝阿特里丝·萨勒维亚(Béatrice Salviat)

法国科学院教育培训代表团成员

相关链接:

《公共基础知识与能力大纲》: www.education.gouv.fr/cid2770/le-socle-commun-de-connaissances-et-de-compétences.html

经济合作与发展组织/PISA测试: http://www.oecd.org/document/24/0,3343,en_32252351_32235771_38378840_1_1_1_1,00.html

^① 法国数学家、化学家,画法几何学创始人,法国大革命后曾任巴黎高等师范教授、综合工学校负责人,培养和影响了许多几何学家。——译者注



CONTENTS

目录

光 / 1

光 / 5

天空的色彩 / 32

能 / 45

能源守恒和退降 / 48

石油 / 55

可再生能源 / 71

术语表 / 85

译后记 / 89

从生命诞生那一刻起，我们就与光结下了不解之缘。光不仅是视觉的来源，也是生命的源泉。没有光，世界将陷入一片黑暗，生命也将不复存在。

光，是大自然赋予我们的宝贵财富。它不仅照亮了我们的世界，也照亮了我们的内心。在黑暗中，光代表着希望；在迷茫中，光代表着方向。让我们一起探索光的奥秘，感受光的魅力。

光

光，是宇宙中最神秘的存在。它穿越亿万光年，来到我们的眼前。它不仅是能量的载体，也是信息的传递者。通过光，我们可以观察到遥远的星系，也可以感受到大自然的脉动。让我们一起走进光的奇妙世界，揭开它的面纱。

光

光，是大自然赋予我们的宝贵财富。它不仅照亮了我们的世界，也照亮了我们的内心。在黑暗中，光代表着希望；在迷茫中，光代表着方向。让我们一起探索光的奥秘，感受光的魅力。

天空的色彩

天空的色彩，是大自然最美丽的画卷。从清晨的朝霞到傍晚的晚霞，从晴朗的蓝天到雨后的彩虹，每一种色彩都蕴含着大自然的神奇与奥秘。让我们一起仰望天空，感受那份宁静与美好。天空的色彩，不仅是视觉的享受，更是心灵的洗礼。在蓝天白云的映衬下，我们的心灵仿佛得到了净化，所有的烦恼都随风而去。让我们一起走进天空的色彩世界，感受那份宁静与美好。

① 法语中“lumière”具有光和电磁波两种含义。光是一种电磁波。电磁波按频率分类包括无线电波、微波、红外线、可见光、紫外光、X射线和伽马射线等等。本章节中这个单词有时意指光，有时意指电磁波。——译注 太阳很（solaire）这个词会让人感到好奇，因为它听起来很熟悉。

物质世界自诞生之时起，甚至亦可能在其形成之前，光便已然存在。新降生命从睁开眼睛向这个世界投去懵懂初瞥起，光便开始不离其左右，在各种颜色的炫彩和画家的调色盘之中，在太阳的光辉和璀璨的星光之下，在为阅读照亮的灯光之下，在照相机和老花镜的神奇之中，我们都能见到光的身影。但是自科学创立以来，光这个自然现象还没有被完全掀起它神秘的盖头，并依然是引起一系列问题的所在，因而我们将立足于此，力臻为处于孩童到青少年这一阶段的读者们逐步揭开这层面纱，使得光这一物质有可能为大家所认识、了解和掌握。那么如何把视觉所带来的这一抽象的感受——亦是初生生命的感受——升华为一个已经构建起来的认知？这个认知将为儿童和青少年概述自各个时期之初以来的漫长研究历程，帮助大家来理解这个自然现象。

无法捕捉的光线是通过我们的肉眼被感知，而非那种能被触及的物质。在阳光之下我们能见其夺目的风采，而在黑夜之中则不见其身影。当它未及视野范围之时，我们的肉眼无法感受到它的存在，只有当火花迸射或光线被一些物体反射回来的时候，它才会映入眼帘。糅入了光明和黑暗的那些阴影是最早让孩子们产生惊奇的游戏场地，因为这些阴影在他们玩耍的院子里如影随形，让孩子们觉得它们延长或缩短了玩耍的时间，当然事实并非真的如此。这些玩耍的游戏向孩子们显示了什么是不透光的以及什么是透明的。然后，光线并不是如人类长久以来所认为的那样出自自己的眼睛，而是来自于照亮房间的灯光，与这一事实的证实相比，对于光路就是一些笔直的线条的理解已经是一项理性的绝妙操练。伴随着这些多姿的光影，孩子们就已经在探索不曾被雷诺阿抑或凡·高用竭过的色彩所具有的无穷无尽的奥秘。当宝贝们在幼儿园里用刷子在画布上快乐地涂涂画画，与这些神奇的奥秘进行了亲密接触之后，孩子们就会像牛顿（Newton）那样去思考、猜想阳光照射在



DVD 碟片表面所折射出来的白色光芒，或是像笛卡儿那样去观察绚丽的彩虹，在稍后他们懂得拿捏各个元音之间的配合——声波的长短——之前，去探索发现被兰波（Rimbaud）大为赞美的那些元音所具有的纯净色彩。

渐渐地，孩子们就会明白光与一个晦涩却又日常的概念，即能量，休戚相关。光传输了能量，这个能量来自于太阳，它造就了地球气候的脆弱平衡，并且还能够被太阳能电池板所捕捉吸收。正是这个能量使得植物可以利用水和二氧化碳通过光合作用促进自身生长，为人类提供食物，石油和煤炭以化石的形态所贮存下来的也正是它——能量。相反，正是能量匮乏这一自然条件决定了深海类动物的进化。

因为光的表现变化万千，有时眼睛就发挥不了作用，这正是身体力行的感受和观察所揭示的。它们便是我们身处其中却看不见的其他一些电磁波：无数的无线电波、会对皮肤产生伤害的紫外线。除了传送能量和都极为迅速这两点之外，所有这些电磁波还具有什么共同之处？而说到传输便让人不禁对传输的时间产生了疑问：光速是所有各种传播速度中的魁首，它遥遥领先却又具有可测量性。

根据天文学家的观察，我们关于时空深处的所有认识都来自于光，它产生于这些时空深处，穿梭过亿万岁月，展现出一个星云的曼妙姿态，或是揭示了围绕着另一颗恒星运动的一颗行星的存在，就像我们的地球绕着太阳运转那样。每天早上我们从时事新闻中得到的所见所闻是由承载着消息的无线电波传送给我们的，接收自火星漫游者发送过来的无线电波也是如此发送信息的。因此在许许多多与光有关的例子的验证下，中学生们就能够懂得在物质世界里信息的传递与能量的传送是协同一致的。

如果说这个被传输过来的能量并不来自光源，那么它又来自哪里呢？光是由能量转换所产生的，这个能量或来自电力（灯泡）或来源于核能（太阳），它们首先产生气体或固体的发热，或是生物化学（萤火虫）的升温。

关注完阴影，继续光的游戏便会获得关于镜子的发现。大家都知道在孩子们提出任何关于镜子的的问题之前，它便对孩子们具有一种吸引力。它能够通过反射或折射改变光线的方向，然后将其能量聚集起来成为无数科技仪器的源泉，这是多么新奇的力量呀！透镜、眼镜、望远镜还有摄影机打开了一个广袤无垠的影像世界，信息

技术从此能够以二进制形式编译、交换、操控这些影像。人类的眼睛是物种漫长进化的结果，它可以看成是一个透镜和一张感光表层即视网膜的组合。但是接下来在大脑里发生了什么事情呢？这仍然是引起广大青少年疑问和奇想的一个问题。

关于光的这个初步教程将在初中阶段结束时才会完结。我们可以先让孩子们通过许多简单又不失精彩的身体力行和观察初识这些奥秘，这些方法和活动将教会他们如何进行观察。还有就是：培养孩子们推理能力，了解什么样的东西是无法被立即触摸到的，让他们学会在我们的日常用语中辨识诸如蓝色、紫外线或红色等，使他们不再对照相机这样的日常物件一无所知或漠不关心。

这就激发了青少年们的求知欲，使他们想知道更多关于光这种变幻不定且非物质体的传递使者：光和物质两者之间是如何互相影响的？激光是怎么运动的？为什么光能够在真空的环境下在星系之间进行传播？为什么它的轨迹服从于重力作用？为什么没有任何物质可以超越光速？



光

皮埃尔·莱纳 (Pierre Léna)

人物出场顺序：

第一幕 传播路线

柏拉图 (Platon)

阿尔哈曾 (Alhazen)

费马 (Fermat)

爱因斯坦 (Einstein)

第二幕 速度

罗默 (Römer)

斐索 (Fizeau)

爱因斯坦

第三幕 旅行者

开普勒 (Kepler)

尼普瑟 (Niepce)

梅耶 (Mayer)

第四幕 事物的本质

牛顿 (Newton)

杨 (Young)

爱因斯坦

第一幕 传播路线

洒满阳光的露天咖啡座被包围在一片蝉鸣之中。一道几何形墙体在阳光下发白得耀眼，一片阴影勾勒出它的棱线。松树在碧空的映衬下，轮廓尤为清晰。远处，地中海波光粼粼，西南边，圣维克图瓦尔山在炙热的空气中波动。

索菲： 瞧！你现在正沐浴在一片光明之中，同时也正沉浸在它的历史之中哦！尤里斯 (Ulysse) 横穿海岬之时，他站立在船头迎风高歌赞美如玫瑰花瓣般的晨曦，与此同时皮赛阿斯 (Pythéas) 正扬帆驶向黑夜的北欧。在迪涅山脉东部，法布里·德·佩雷斯克 (Fabri de Peiresc) 第一个为猎户座大星云命名，它曾让我们在黎明时分激动不已。你看见那个马赛方向的山峰顶了吗？在那里斯特凡 (Stéphan) 和斐索 (Fizeau) 首次大胆测量了一颗星球的视直径 (一阵沉默)。嘿！你没听见我说话吗？我知道只有塞尚 (Cézanne) 和他热爱的大山才能让你心动！

让： 说对了，因为我对物理学家们研究的光是一窍不通。相比较而言，我更喜欢画家所用的丰富无穷的色彩和彩绘大玻璃窗闪耀着的虹彩。不过，我还是会听

你讲的，而且还会免不了跟你提一堆问题，因为我承认光对我来说确实很奇特：一粒沙子，就是一种物质，我能够触摸到它，并且也了解当把它进行分割后，我最终可以得到分子、原子。我还想象得到那些微小的电子在金属丝线中蜂拥传输着电流，就像江河之中奔腾的水流一样。但是光呢？它似乎来自于火，在其他物质表面反弹回来，呈现出千万种颜色散落开去？它极为变化无常，并且具有一种抓不住的非物质性。如果我是个盲人的话，我还能感受到阳光照射在我皮肤上的热量，但是却抓不住热量的来源。

索菲：确实是这样，我们的感觉会欺骗我们：诸如柏拉图之类的伟人都相信光出自眼睛。我们的语言还保留着这样的痕迹：“投去一瞥目光，目光轻轻掠过”……

让：看吧，虽然我的视野笼罩了这片普罗旺斯，但是显而易见是太阳的光芒普照着它！

索菲：亲爱的让，这在当时却很少为人所知：你的认识得自于2 500年后的哲学、初等教育和物理。我们还记得德谟克利特(Démocrite)和卢克莱修(Lucrèce)，这些“主张原子说的人”想要尽可能地将自然独立于人和人的感觉之外来进行描述（就是我们所说的“以客观的方式”）：对他们而言，那些身体表现了一些“崇拜的对象”或“幻影”，各种灵巧的外表，它们“(……)脱离自身体的皮相本身，(……)保持着其形态展立于空气中，(……)再现出外部的物体，进入到我们之中(……)”。

让：所以我承认光是某种从一头运动到另一头的东西，但是它顺着怎样的路径运动？

我感觉光线是一条直线：我留意到那些阴影或是被云彩所遮挡的太阳光芒就是那样，它们勾勒出云朵的轮廓，形成一个光圈，又或是小激光器射出的一道红色光束，你可以用它来指示图表。



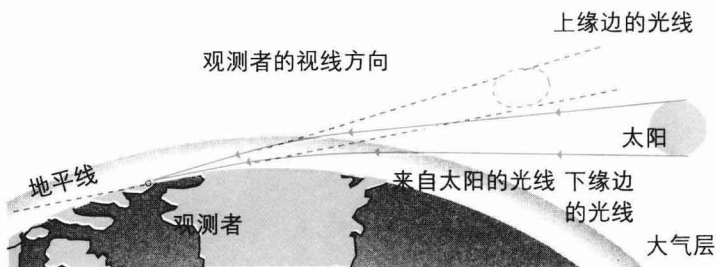
索菲：非常棒的观察。

让：可是，我也注意到有时候光线会偏离或弯曲，为什么会这样？

索菲：你还看得很仔细呢！这一切也没有逃过在西西里岛的阿基米德(Archimède)的法眼，他是这样描述折射的：“如果你在容器底部放置一个物体，并且把这个容器移开到看不见那个物体为止的位置，那么在你把这个容器用水灌满的时候在这个距离的位置上你又可以看到那个物体了。”为了对此寻得一个解释，从阿拉伯光学仪器制造者阿尔·海塞姆(al-Haytham)(即阿尔哈曾，1039年卒于开罗)直到皮埃尔·德·费马(Pierre de Fermat)(1601—1665)，人们经历了一段漫长的思考之路。你知道海市蜃楼，就是光线弯曲的另类效果，常常被认为只有沙漠旅者才能看到。然而我们几乎每天都能看到，就在日出或日落之时：在你看见星辰出现在地平线的那一刻时，其实它已经落到地平线之下，因为光线的轨迹已不再呈一条直线，而是经过地球非均质性大气层的折射，光线才到达眼球，并使之形成太阳的形状。一个关于反常的大气折射的极端情况就是由航海家巴伦支(Barents)(北冰洋的发现者，1597年北冰洋以他的名字命名)记载的，让他与全体船员极为惊诧的便是，他们看到太阳在极夜的情况下重现在地平线上，而就在此时这颗星体早在几天前就已沉下地平线了！反常的大气折射具有罕见但相似的效果，这就很容易解释这一观察到的现象。

让：我还是觉得不可思议，光线并不反射……为什么它所需时间最短？

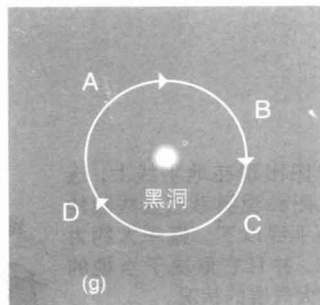
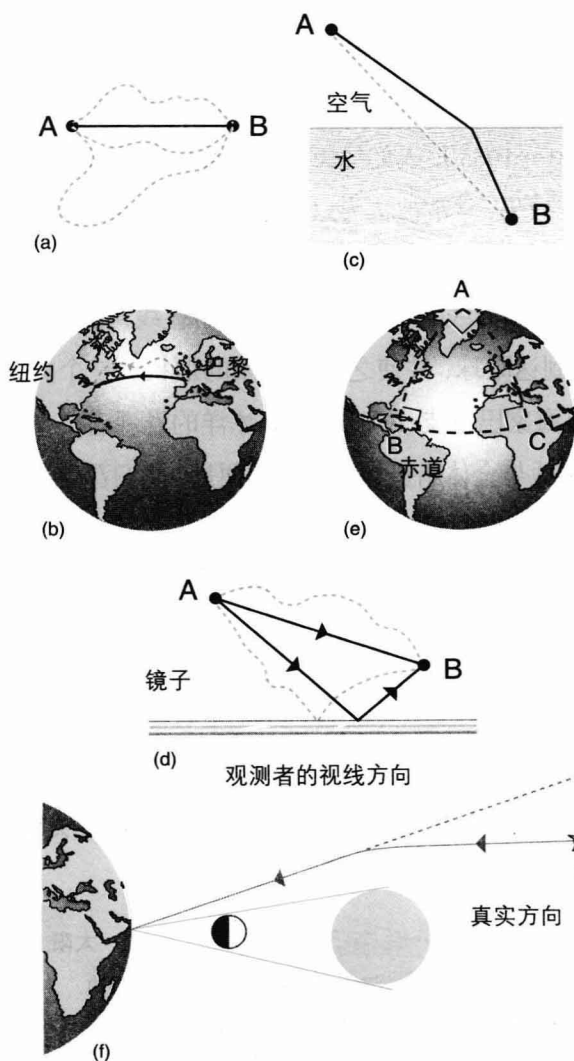
当夕阳出现在地平线上，连接太阳和观测者的直线却伸向地平线以下。概率大约为20%，并且它取决于当地的地球大气层的状况。



索菲：你问得非常深入：皮埃尔·德·莫佩尔蒂 (Pierre de Maupertuis) 在 1744 年对关于物体运动方面的费马原理进行了概括，他的“最小作用量原理”为现代力学做出了贡献。哎，我没办法跟你解释为什么现实事物遵循了这样一种经济原理：事实就是这样。你很惊讶吧，这就是发现的秘密所在。

通过思考，关于“从一点到另一点的最短路线”的变化如下：(图 a) 欧几里得几何学中的直线；(图 b) 限制在一个球体表面，最短长度 (实线) 或最短时距 (虚线)。(图 c) 从 A 点到 B 点光线的传播路径，实线表示最短时距，虚线表示两点之间的最短长度。(图 d) 光传播中两种均有可能发生的传播路径 (实

线)，一条是通过在镜子表面发生的反射进行传播，另一条则是直接传播，这两条路径相对于它们附近的那些路线都是时距最短的。(图 e) 这是一个表面为球体的几何，在这个几何中几条“直线”的三段 (大圆弧) 构成了一个三角形，这个三角形的内角和为 270° ($3 \times 90^\circ$)。(图 f)，这是来自一颗星球的光线的传播路线以及当发生日全食时光线的传播路线：对于地球上的观测者来说，月球完全遮住了太阳；那一刻天空变得非常阴暗，在那几分钟里人们可以看到天上的星星。观测者朝表面的方向 (虚线) 观测可以看得见星星 E，而按光线真正的传播方向 (实线) 观测则看不到，这是因为受到太阳的影响，光线传播发生了弯曲。(图 g) 在黑洞附近，空间极为扭曲 (物质极度集中，比如太阳的质量集中到一颗半径为 1 米的球体中)，以至于光线沿着围绕这个质量的圆圈运动 (例如，圆圈 ABCDA……)：光线无法发散出去。





光线是沿直线传播,对还是错?

直线是属于几何学(即数学)的概念而非物理学:在我们所处的熟悉的空间里,在所有可能的路径中,它是连接A点到B点最短距离的长度。我们可以用各种精确的方式来证实光线一般就是沿着这样一条路径运动的(例如,一把精确的尺子的边缘)。然而,当光线的传播介质发生变化(先是空气然后是水),又或是光线在一个不均质的传播介质中(例如,温度变化不定的大气层,盐度分布不均的水),从一点运动到另一点,这时光线便会发生折射,这个现象就表明了此时光线的传播路径不再是一条直线。

费马在1661年陈述了他的那条著名原理(此条陈述经过其研究推论的验证,此处不做示范证明):“光线从A到B沿着最短时距传播。”从这条陈述出发,费马猜想光的速度可以根据它所处的传播介质而发生改变,这在当时还仍然是一个不具任何考证的假设,他毫不费力地找出了从A点运动到B点时发生了折射的那些光线的准确轨迹。当时他这样写道:“(……)我的研究成果曾经是最令人惊异的,最出乎意料的,也让人感到从来没有过的开心。”(见上图c和图d)

在有一些空间里,最短路径的定义并不是我们所熟知的几何学(也称为欧氏几何学)中的直线:例如,一个球体的表面。如果要从巴黎出发去纽约,那么最短距离的路线(按欧氏

几何学)就要横穿地壳;相反,如果就飞机的情况而言,只能沿表面运动,那么最短距离的路线便是地球上的一段大圆弧(我们把在这个球体表面所能标画的最大圆圈称为“球面大圆”:地球上的赤道和经线都是大圆线,但纬线就不是了)。最后,如果假定一个飞行员必须在最短时间内完成规定航程,而我们又知道飞机的地速视风而定,后者从一点到另一点又是变化不定的,那么这个飞行路线将会变得更为弯弯曲曲(上图b)。我们可以在一个球体表面画出一个“三角形”,它的边就是些大圆弧(即对于这个球体空间而言的“直线”),但是这个三角形的三内角总和 S 不再等于 180° (上图e)。

让我们一起来思考一下这三颗形成三角形的星球A、B、C,以及将三者连接在一起的光线。这些内角总和 S 是多少呢?从爱因斯坦时代开始,我们知道立体几何与其所包含的空间总量有关:一个完全真空的空间符合欧几里得几何学原理($S=180^\circ$),但是一旦它包含了物质(或能量),这个几何数学在万有引力的作用下就发生改变(此时 $S \neq 180^\circ$)。这样,当情况从一个平面(符合欧几里得几何学)转变为一个球体的表面(不再适用欧几里得几何学)的时候,我们认为,它曾经属于欧几里得几何学的概念,而现在它或多或少地发生了曲线变化。在太阳的领域中,万有引力效应非常弱小(三角内之