

光^①

光 天空的色彩

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

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，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

第一幕 传播路线

柏拉图 (Platon)

阿尔哈曾 (Alhazen)

费马 (Fermat)

爱因斯坦 (Einstein)

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。

第二幕 速度

罗默 (Römer)

斐索 (Fizeau)

爱因斯坦

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！

第四幕 事物的本质

牛顿 (Newton)

杨 (Young)

爱因斯坦

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

光

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2500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。

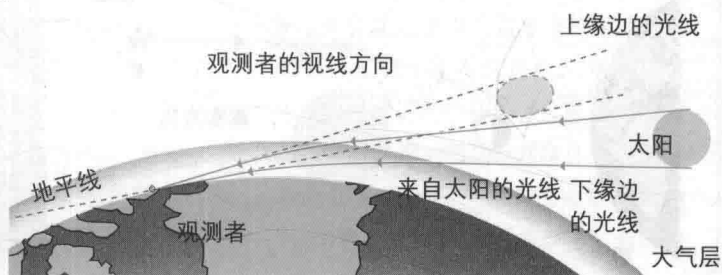
索菲：非常棒的观察。

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。

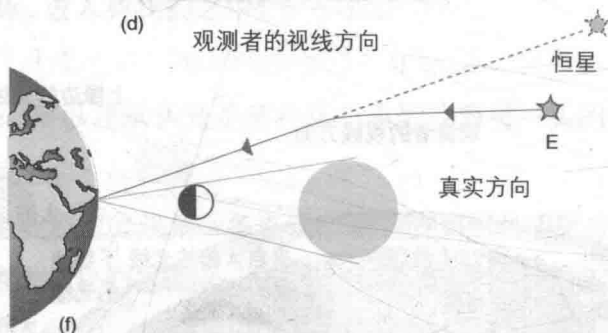
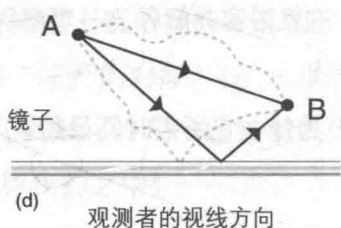
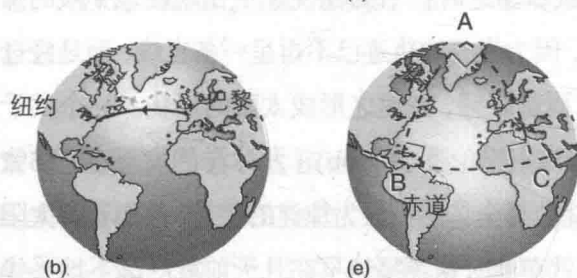
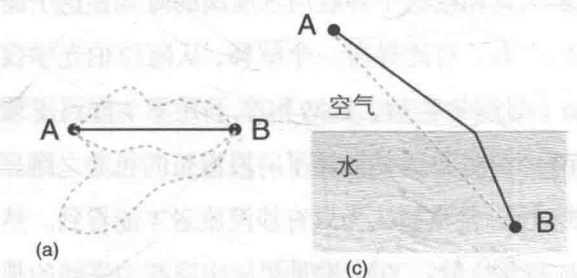
让：我还是觉得不可思议，光线并不反射……为什么它所需时间最短？

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。

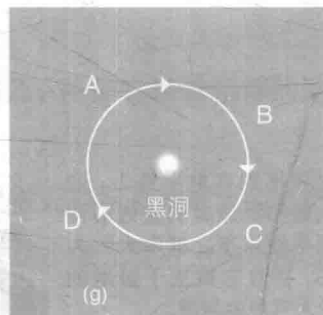


索菲：你问得非常深入：皮埃尔·德·莫佩尔蒂(Pierre de Maupertuis)在1744年对关于物体运动方面的费马原理进行了概括，他的“最小作用量原理”为现代力学做出了贡献。哎，我没办法跟你解释为什么现实事物遵循了这样一种经济原理：事实就是这样。你很惊讶吧，这就是发现的秘密所在。

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周运动(例如，圆圈ABCD……)：光线无法发散出去。



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周运动(例如，圆圈ABCD……)：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了(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

和 S 并不等于 180° ，偏差大约为百万分之一），这已经在1919年发生的日全食中得以验证（图f）。我们由此可以明白为何费马原理（最短时距）适用至今，但是光线可以不再按熟知意义的直线传播：黑洞领域中的光线运动就是一个特例。

结论：最为常见的便是，光线并不是严格地沿直线（即符合欧几里得几何学意义的直线）传播，而是它总是遵循最短时距的路线运动。然而在日常生活中，我们在测量和建筑学上使用视觉上的直线走向还是有道理的。

第二幕 速度

夜幕降临，群蝉噤声。银河在天空划下一道闪闪银沟，映衬出黑松的情影；灯塔射出的光束扫过远处的地平线。

让：普罗旺斯的夜晚真是太美了：你快看那颗星星，就在南方靠右边的位置，它好红啊。

索菲：你大概想说：心宿二在过去发出的光是多么的红啊，因为你看到的是360年前的它，而你看到的在它附近的银河则是4万多年前的银河！光可以让你见识到时间的纵深。想象一下，发射光线的这个源头就像被置于一颗洋葱最中心的位置。围绕着它的每一个光层就是一个时间阶段，它以 C 速度离开这个光源并源源不断地到达远方的观测者那里。谁知道就在这一刻的心宿二怎么样了？谁知道它现在是否还仍然存在？

让：所以我所看到的这片星光熠熠的天空就像是一个展品摆放杂乱的博物馆，这些各具年代的古老物品错落并置，互为比邻。你让我看到了多么神奇的一副“跨时空”景象！话说回来，光“这玩意儿”传播的时候是不是具有某种速度？下雷雨的时候，我观察到雷声和闪电之间存在时隙——我知道声音的传播速度大概是每秒300米，但是闪电似乎是即刻便能看见了。

索菲：即刻？光的传播速度极为迅速，这是毋庸置疑的：伽利略(Galilée)还曾试图



测量光的速度,但是没有成功。再说回到声音:你是怎么测量它的速度的?

让: 非常容易!我站在离一座峭壁一定距离的地方,缓慢且有节奏地击掌。回音传回到我这边,当传回来的回声恰好与随后的拍击声吻合的时候,那么我就把这个节奏累加起来,一直到再也听不到回声为止:我知道来回的持续时间正好等于分隔两次掌击的时间,即我能够测量的时间值。那么我只要测量一下从我这里到峭壁的距离,就可以了。假设从我这儿到峭壁的距离为75米,重合的节奏是每半秒一次掌击,那么声音的速度便是 $2 \times 75 / 0.5 = 300$ 米/秒。

索菲: 非常正确。那我们也用一个有些类似的方法来测量一下光的速度:我们只需将距离拉得足够远,以及找一个能够持续稳定发出光线的光源——就像一个“记号”(参考下页的图片)。你看东边那颗很亮的星星:那是木星,你可以辨识得出来,那是因为它不闪。你用双筒望远镜看可以辨识出木星光环和它的4颗卫星,这些卫星几十个小时绕木星一周:每次公转时,它们都会精确地运动到木星光环后面。这就是一个规整的“记号”了。至于说距离嘛,根据地球的位置算,它大概在6亿至9亿千米之间不定:当地球朝着木星运动的时候,这些稳定规则发光的“记号”会跟我们呈现出时而紧凑时而分开的景象。1676年天文学家阿累利乌斯·罗默(Olaüs



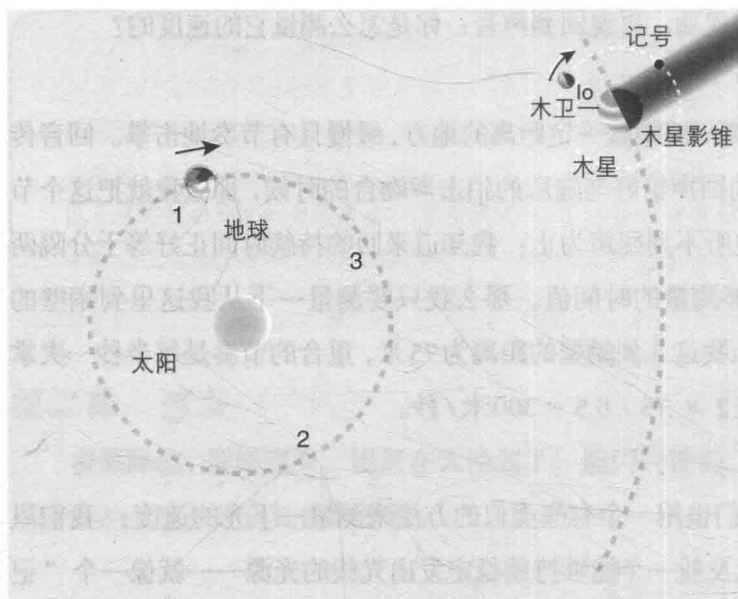
根据阿累利乌斯·罗默研究的

光的速度

木星卫星之一(此处是木卫一)

进入木星影锥,不再被太阳光所照射,卫星会定期消失(每152 000秒一次),因此它们被选作为那些“记号”。这些“记号”发出的光一直行进到地球上,后者本身在其轨道上做围绕太阳的公转运动(以30千米/秒的速度)。当公转运动使地球靠近木

星时(在位置1),从地球上观测到的这些“记号”之前的距离缩小,光线传播经过的路线不断缩短。当地球运动到位置2,并且远离木星的时候,情况则相反:这些“记号”之间的时距就增加了。在位置3,木星—地球之间的距离几乎恒定不变,这些“记号”恢复其152 000秒的周期。一年中,这些“记号”的周期变化便是光速具有一个有限数值的证明。



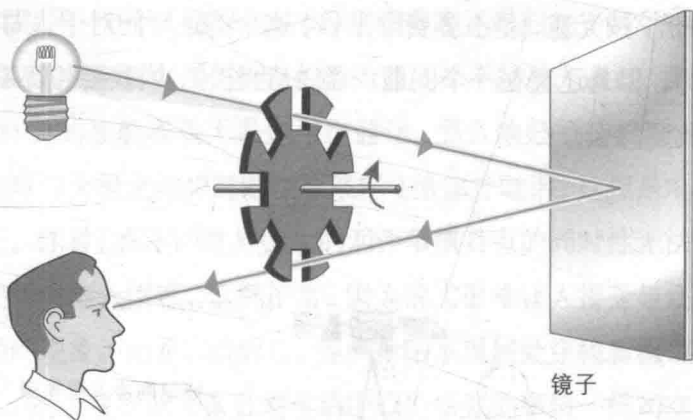
在两个记号之间，地球运动距离为 $30 \times 152\,000 = 4\,560\,000\,000$ 千米，光线传播走完这段距离费时 15.2 秒。这些“记号”在位置 1 处分隔 $(152\,000 - 15.2)$ 秒，在位置 2 处分隔 $(152\,000 + 15.2)$ 秒，在位置 3 处则是 152 000 秒。差异虽细微（大约为万分之一），但在数月内用累积效应还是可以测量出来。

Rømer) 就是这样，在巴黎凭借一个精确的时钟以及持续几个月的观察证实了光的速度是有限的。稍迟些，这个数值就被建立起来了：差不多是 300 000 千米/秒（我们称之为 c 来代替光速），即当木星距离地球最近的时候，光从木星到地球用时 2 000 秒。再后来，其他的科学家（伊波利特·斐索（Hippolyte Fizeau），莱昂·傅科（Léon Foucault））对光在空气中和水中的速度进行了测量，最后还证实了阿尔哈曾和费马的假设：光速值取决于光线的传播介质。

让：但是我们不能弄个更简单点，可以在家里操作的方法吗？

索菲：可以。到目前为止我们已经讲了肉眼所能见到的光，而且还让你注意到我们在感官上产生的那些错觉。你看那架飞机，看见它的灯光了吧。它还发射出很多其他的电磁波，比如飞机的喷气发动机由于高温会释放出红外线。视网膜上的光感受器无法感知红外线，但是一部红外线摄像机就能捕捉到这些光线。这架飞机还发射射频，飞行员就是以此与地面控制站进行联络沟通。这些无线电波也是电磁波，可以传输音频信息：在驾驶舱，话筒根据其接收到的声音进行调波，而在地面控制塔

斐索对空气中光的速度进行的测量。齿轮的转速逐渐加快，观察者在光源发出的光经过镜子反射之后看到光线消失继而又再现。



这边则过程相反，无线电波在扬声器中被变成声音释放出来。那么让我们再回到你的问题：当打电话到一个很遥远的国家的时候，这个电话通信也是靠无线电波传输，也就是电磁波，你是否注意到那个微小不常见的时间间隙？它有时候会使电话两头的问和答声音衔接不连贯。

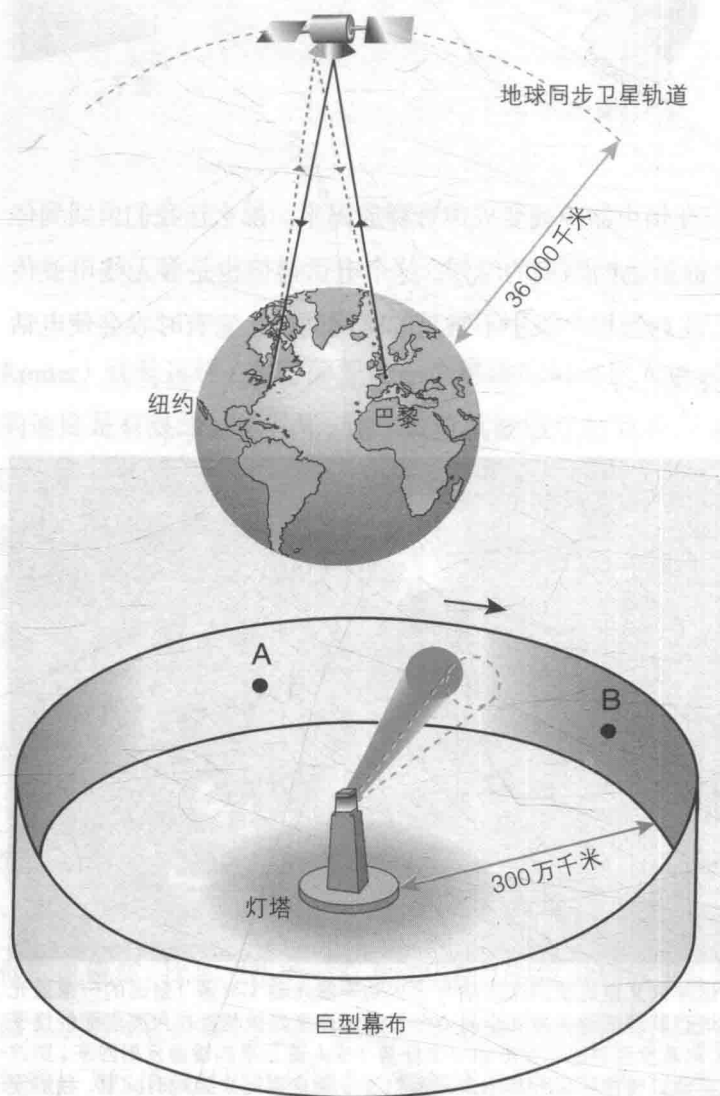
让：嗯，是的，这让人很不舒服，但是我也注意到这个现象并不总是发生。我猜想这些通话按照更短的路径，时而通过离地36 000千米远的地球同步卫星传输，时而通过海底光纤传输。但在这两种情况中，都是电磁波在传递信息。那么我们看一下：这样一个通话来回就是36 000千米的



这架天文望远镜用来对由一个大功率激光器（光源）射出的一束蓝光进行整理成形并将其引向一个方向。这束光被装置在月亮表面的镜子（阿波罗登月时所完成的一个任务）或人造卫星的镜面反射回来，则这架望远镜便收集到其回来的反射波。从这束光来回的时间里，我们便可以得出与反射物体之间的距离，并可以精确到厘米。

©CERGA/CNRS

4倍，按光速，差不多费时半秒，这个持续时间对于人耳来说是完全可以感觉得到的。但是还存在一个问题：到21世纪末，当我要与正勘探火星的曾孙女联系，那我要怎么办？



上图：以光速C进行的电话传输。

下图：有一座大功率灯塔发出的光线投射在远处围绕着它的圆形幕布上（绕一圈10秒）：光斑在幕布上的运动远远超过了光速C！然而，这个光无法使位于A处的信息发射点向B处传送信息。

索菲：你点到了现实世界中的另一个令人惊讶的结构，这个发现还得归功于阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）：宇宙中任何信息传播的速度都不超过光速C。如果你的曾孙女想要在12月31日的凌晨准确无误地与你通话，那么她必须在4至20分钟之前（这得根据那天地球与火星之间相对的位置来定）给你打电话，这便是电磁波到达你那头所需的时间。你看，在不同地方发生的两件事情具有的同时性无法用身体力行去确定……这使得你陷入困惑，这很正常，因为确实很难让人接受与众人皆知的事情如此背道而驰的现象。但是，请耐心，等到太阳系里到处穿梭着携带手提电话的宇航员的那一天，这个现象就会像日常生活中众所皆知的事情一样司空见惯了。

让：但是我还有不明白的地方：你看天际边那盏很亮的灯塔，灯光照一圈为10秒（参见上页的图）。想象一下，在距离灯塔300万千米处设置一个环绕它的圆形幕布：这个幕布的圆周长为 $2\pi \times 3\,000\,000 \approx 19\,000\,000$ 千米，而这个光斑绕一圈为10秒，那么不就是超过了光速C？

索菲：推理得很细致：我并没有说没有“任何东西”可以超过光的速度，而只是说在两地之间传递信息，再没有比光速C更快的速度了。你所说的灯塔发出的光点在幕布上从A运动到B的时候没有传递任何的信息。

第三幕 旅行者

阳光铺洒在露台上，透过群松散落下一片斑驳的阴影，对面的一片橄榄树跃舞在午后夏炙中，蝉鸣声声不绝地萦绕在耳边。一张乒乓球桌摆放在游泳池边。索菲和让两个人有一搭没一搭地打着球。

让：今天，我想知道那个以光速C运动的“东西”是什么，说到底，光到底是什么呢？它是不是挺像这些小小的乒乓球？

索菲：别急嘛，我们还没讲到呢，而且讲这个之前咱们还要再兜个圈子：首先我们先问一个问题，以光速在传递的是什么？

让：亲爱的，你得讲得通俗易懂点！光传递的就是热量呗。

索菲：听我慢慢道来：热量是你通过皮肤得到的感觉，又或者说它是使温度计上升的物质。还有，你知道发热亦是一个物体的原子所做的无序激烈运动。

让：哦，对，我本来应该说光传递了能量，虽然我并不是很清楚它是如何传递的。我知道能量可以表现为很多形态，但是当形态发生变化时，能量还是得以很精确地保存下来——比如，我可以用焦耳或卡路里来测量它的质量。因此，如果说光似乎给一个物体带来了能量，例如使其变热，这就是因为光传递了这个能量。

索菲：是的。其实，当光与物质相互作用时，所传递的能量可以由很多物质转变而来。它可以通过被物体的原子几乎完全吸收从而使得物体发热，又或者它能够产生化学反应：你看我们面前的这些橄榄树，1845年德国物理学家朱利叶斯·罗伯特·范·迈尔（Julius Robert von Mayer）发现了在叶子中发生的光合作用，这个过程将太阳光的能量转移到被称为ATP的分子中——细胞中的三磷酸腺苷——将贮存在水分子 H_2O 中的氧变成氧分子 O_2 释放出来。还有诸如新闻报纸的发黄页面，照相胶片中银离子发生的转变，就在1816年由尼塞福尔·尼埃普斯（Nicéphore Niépce）首创了类似的转变^①，又或者就像被称为“视紫红质”分子发生的化学变化那样，这个视紫红质存在于视网膜的感光细胞中，并且位于能够引起直到大脑皮层的光感的一系列结构中的初始端。

让：哇，光传递的能量所产生的作用真是令人惊讶啊！

^① 法国人尼塞福尔·尼埃普斯在1816年用氯化银感光纸存影了黑白负片，用沥青涂于铅锡合金板，经8小时曝光后，得到正片。——译注

索菲： 诸如此类的还有很多：每当光所带的能量使原子中逸出可供产生电流或电压的电子，就会产生光电效应。这既是利用硅所做的太阳能电池板的原理，也是构成我们数码相机里人工感光器中极小的光电管的工作原理。光还可以让无线电天线的金属的电子处于运动状态，然后便产生出一股电流：调频收音机和探测来自遥远星系的光波的无线电望远镜都是如此运作的。

让： 我想我已经弄明白了：与光一起运动的“某事物”就是能量，包括在那些星系间的物质空间中运动的能量。我是否可以把用光线运输能量与用声音传输能量进行类比？你听，松树上的蝉是如何通过蝉翼的颤动来发出声音的能量：声波在空气中传递能量，使它最终到达我的耳朵，并让我的耳膜发生了震动。

索菲： 是的，我顺便留意到你刚才说的话，你已经很好地理解了“空”这个概念——当我们借助泵将某个容积中的所有微粒完全排除干净时所得到的空间——它并不是什么物质内容都没有，因为它能够包含能量。但是这个话题就扯得太远了……不过在结束这个话题之前应该承认，能量是一个没有特定方向的量（大多数学者认为，这不是一种力，也不是一个矢量）。然而，能量的传输是沿着一个明确的方向进行，即光线的方向：光是否还传输了另一种量，某种具有一个方向的事物？在对几个实验的叙述中，你会感到十分惊讶。咱们来想象一个被抽空了所有微粒的玻璃容器，在这里面用一根细线吊一块很轻的金属反光片（参见下图）。我们用激光束或是太阳光照这块金属片：我们看到金属片会发生移动，就像受到了光线的推动。因此运动表现出明确的方向，我们认为这块金属片得到的不仅有能量，还有“运动”（人们称之为动量，因为运动的物体根据其质量和速度能或多或少地含有动量）。和能量一样，动量可以表现为多种多样，但是它在变化中得以保存下来；思考一下台球桌上两颗球发生的撞击：如果白色的那颗球停下来了，那么红色的那颗便带着白色那颗球的动量滚动开去。因此，我们可以推测光也传输了某一种动量，一种它能够传递的冲量，而后者可以产生按一定方向进行的运动。