

上海科普图书创作出版专项资助

追光

—— 光学的昨天和今天

雷仕湛 屈炜 缪洁 著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

追求理想光源
追踪光的足迹
追问光的身世
追赶光学新时代

上海科普图书创作出版专项资助

追光

—— 光学的昨天和今天

雷仕湛 屈炜 缪洁 著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

光,我们很熟悉,它很普通,也很重要。与我们熟知的水、空气一样,是人类赖以生存的必要元素。没有了光,我们便失去维持生命活动的能源、失去维持生命呼吸活动所必需的氧气,整个世界便没有了生命信息。为了探明光是什么,光与人类生命、生活的关系,科学家进行了长期的研究探讨;为了制造出更适合人类生活、生产需要的光源和光学技术,人们进行了长期的努力与奋斗。正是一代又一代人的不懈努力和追求,才有了光学科学技术今天的辉煌。本书将向读者全面展示光学发展的漫长历程。

本书可供广大青少年、学生、科学工作者了解、学习光学技术阅读;也可作为学校师生、青年科技人员和企业管理人员提高科学素养和创新意识的参考读物。

本作品由上海科普图书创作出版专项资助

图书在版编目(CIP)数据

追光:光学的昨天和今天/雷仁湛,屈炜,缪洁著.

—上海:上海交通大学出版社,2013

ISBN 978-7-313-09985-3

I. 追... II. ①雷... ②屈... ③缪... III. 光学 IV. 043

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 133355 号

追光——光学的昨天和今天

雷仁湛 屈 炜 缪 洁 著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

上海交大印务有限公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:15.75 插页 4 字数:274 千字

2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

印数:1~2 030

ISBN 978-7-313-09985-3/O 定价:39.80 元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话:021-54742979

序 言

光,它很普通,也很平凡,我们天天见到,几乎是无偿地享受和利用着它带给我们的便利。然而,在科学家们的眼里,光并不普通,也并不平凡,它对生命的存在、人类的生活和生产活动具有重大意义,可以说,没有了光,我们这个世界将有可能停止一切的活动。

科学家们对“光”做了长期的研究,并取得了一系列成就,弄清了许多问题,例如:光是什么?光在生命活动中的作用有哪些?光与人类身体健康的关系等。光是什么这个问题讨论争辩了很长时间,现在基本上知道光有波动性和粒子性,但是,这两种性质如何统一,还需要继续探讨研究。为了发挥光在人类生活和生产活动中的作用,以获得亮度更高、性能更好的光源,科学家研究开发了一系列方法、技术,使得我们的生产和科学技术水平不断地提高,随之我们的生活质量也相应地获得提高。

本书向读者展现了科学家们长期从事光学科学研究和应用取得的成就,展示了科学家们善于对微小事物仔细观察、不畏困难和嘲笑、在不可知的天地中摸索前进、坚忍不拔追求成功的精神。所介绍的内容能够激发广大青少年学生、年轻科学工作者勇于开拓创新、大胆探索科学,激励他们有勇气挑战我们对物质世界的认识,挑战习惯思维准则,并从中得到很好的科技创新教育榜样,也从中获得许多现代光学科学技术知识。



中国科学院院士
上海科技期刊学会理事长

前 言

光,它与空气、水一样,是人类生存的必要元素。人们的一切生产活动也必须在有光照射下才能进行,看书学习也离不开光的帮助。没有光,我们这个世界便沉没在黑暗之中,万紫千红的春色、姿态优美的舞台艺术也荡然无存,没有了我们这个繁花似锦的世界。

人类很早便开始对光做观察和研究,追问光是什么?追踪光在人类的生命活动、生存环境以及生产活动的足迹。随着社会文明和科学技术的发展,人类掌握光的知识不断丰富和加深,终于形成了一门学科——光学。古今中外有许多科学家对光学持之以恒地研究,发现了许多光学新现象,开拓了许多光学新技术、新光学科学领域;特别是在20世纪60年代发明的激光器,它有极好的单色性、相干性和极高的亮度,更是使光学领域发生了重大变革,使得古老的光学技术更加兴盛。

在现代科学技术前沿上,光学正发挥着越来越重要的作用。大至观察宇宙天体,小到探索微观世界,都需要光学知识。在社会文明建设、现代生产活动和科学研究中,各行各业与光学的关系日益紧密。本书将对古今中外科学家对光学发展的追求,他们对光学的研究和发展做出的杰出贡献,光学各主要领域的基础知识和在社会发展中的主要作用,做比较全面、系统的介绍。

光学是一个很大的领域,而且又在不断发展,我们的介绍难免会有不足和不妥,望读者不吝指正。

雷仕湛 屈 炜 缪 洁

2013年6月

目 录

第 1 章 追问光的身世	001
1.1 光明的来源	001
眼睛发射射线	001
自然发光体	001
人体发光	003
1.2 光的基本性质	003
光的直线传播	003
光的反射	005
光的折射	007
光的颜色	008
光的传播速度	009
光的压力	011
1.3 光是什么	016
光是一种波动	016
光的电磁波性质	018
光波动的直接证明	020
光的微粒说	024
光子	026
继续追问光的本性	030
第 2 章 追踪光的足迹	034
2.1 维持生命活动	034
制造人类生存的食物	034
制造生命活动需要的氧气	036



光合作用	039
太阳光“撑起”人类生存保护伞	041
2.2 感知世界	042
视觉是人类认知世界的窗口	043
光辐射产生视觉	043
视觉适应性和视觉后像	045
2.3 光辐射保健康	046
维护皮肤健康	047
合成人体需要的维生素 D	047
提高人体免疫力	048
医疗疾病	049
光动力学治疗癌症	050
发明光学显微镜	052
侦查致病元凶	056
常用光学显微镜	057
用 X 光透视人体腔内器官	063
用内窥镜窥视人体内部	067
光活检	068
2.4 构筑快乐生活	070
视觉艺术享受	070
能唱能演的唱片	072
结缘电视	073
构建温馨生活空间	076
嫩肤美容	077
2.5 拓展眼睛视力	078
光学望远镜	078
初探天外世界	080
光学反射望远镜	082
把望远镜做大	086
环视宇宙	089



2.6 构建“地球村”	093
快速传送信息至关重要	094
信息沿波导传送	096
2.7 物质成分分析	099
光谱	099
元素特征光谱线	102
惊人的分析灵敏度	103
探知天外世界物质成分	104
宇宙在膨胀	105
发现新元素	107
揭开原子内部世界结构	109
了解分子结构	111
了解物质结构	111
2.8 构建物理基本单位	113
时间“秒”	113
由光辐射定义时间秒	114
长度单位米	115
光的波长用于长度基准	115
合二为一	116
第3章 追求理想光源	118
3.1 光源的主要特性	118
光源的亮度	118
光源的单色性	119
光源的相干性	120
光源的色温	121
3.2 自然光源	121
太阳光	122
太阳发光的秘密	122
3.3 人造光源	123



火光源	124
第一只电灯泡	124
气体放电光源	127
场致发光光源	129
半导体光源	130
3.4 需要变革光源发光机制	131
远距离光学探测需要高亮度光源	131
光武器需要高亮度光源	132
科学技术研究需要高亮度光源	134
精密计量需要相干性好的光源	135
通信技术发展需要高相干性光源	136
出路在创新光源的发光机制	137
微波激光器	138
向光学波段拓展	140
3.5 激光器问世	142
梅曼研制成功世界第一台激光器	142
中国的第一台激光器	145
“激光”一词的由来	146
气体激光器问世	147
极高亮度的光源	148
极高相干性	151
巨型激光器	152
微型激光器	154
3.6 同步辐射光源	156
同步辐射	157
光源结构	158
上海光源	159
3.7 开拓光学新纪元	160
开通信息高速公路	161
信息高速公路主干线	162



光纤放大器	164
推出工业生产新技术	165
开创信息存储新技术	175
制造用之不竭的能源	179
开辟医疗新手段	186
提升科学研究能力	192
实现全息照相	199
实现死光武器的梦	200
第 4 章 追赶光学新时代	206
4.1 非线性光学	206
光倍频	206
光自倍频	208
光频率相加和相减	209
光学饱和吸收	209
光学双光子吸收	211
光学自聚焦和自散焦	212
自散焦介质中的光束自聚焦	214
受激拉曼散射	214
受激布里渊散射	216
4.2 瞬态光学	219
瞬态受激拉曼散射	219
光学回波	221
光学自感应透明	223
高速摄影	226
介质内部变化瞬态过程探测	229
激光皮秒光谱	230
皮秒衍射光谱	231
皮秒荧光光谱	232
皮秒吸收光谱	233



皮秒拉曼光谱	233
4.3 微光光学	234
超微弱发光	234
生物灵敏动态指标	235
人体超微弱发光	238
超微弱发光机制	240
超微弱发光探测	241



第1章 追问光的身世

人类的生存离不开空气、水,同样地也离不开光,人从呱呱出生接触到大自然的第一印象也是光明。那么光是什么,人类很早便开始对它进行研究,对光本质的认识经历了一个较漫长的过程。

1.1 光明的来源

眼睛发射射线

世界为何会明亮,我们为何能够看见周围的物体,古代一些学者最先给出的解释是,人的眼睛发射一种射线产生触觉的结果,就像盲人靠手中的拐杖探路那样。我们睁开眼睛能够看见周围一草一木,而闭上眼睛则什么也看不见,就是因为睁开眼睛时眼睛的射线能够往外射出,闭上眼睛时没有射线往外射出的原因。同样的,我们只能看见眼睛前方的物体,看不见后面的物体也是因为眼睛是朝前方发射射线。但是,这个见解明显地被质疑,比如为什么我们在暗室里睁开眼睛什么也看不见,而太阳落山了,我们睁开眼睛也看不见周围的物体。因此,这个见解很快便被否定。

自然发光体

人们从日出的光辉、落日的红焰、彩虹的绚丽色彩到天空中闪烁的星光、世界的明亮,意识到那都是太阳这类发光体发射的“光”给带来的,不是人眼睛发射的。光源发射的光照射物体,从物体上反射的光进入人的眼睛引起视觉,我们便看到物



天空中的太阳光辉

体的存在。这是人类对光的第一个认识：光明来自光源，即来自发射光的发光体。

人们在日常的观察中发现自然界有各式发光体，它们都能够给我们带来光明。太阳是最大、最强的发光体。除了它之外，一些动物、植物、雷雨时天空中闪闪的雷电也发光，甚至人体本身也发光。这些是自然发光体。不同的生物会发出不同颜色的光，多数

发射蓝色光或绿色光，少数发射黄色光或红色光。生物的进化程度越高，发光强度也越高，发光颜色范围也越大，从紫色到可见光和红外。生物进化水平越高，发射的光辐射越向红外波段扩展。

自然界有许多动物，如萤火虫、鞭毛虫、海绵、水螅、海生蠕虫、海蜘蛛和鱼等都发光。在动物世界里人们最先、最熟悉的发光体是萤火虫，古时候夜间就有人用它照明。夜晚常在近海作业的渔民，甚至是长住海边的人经常能看到海面上有光带，这是一些藻类发出的，当它们在大量繁殖时，它们产生的光辐射似乎把海洋都燃烧了起来。

海洋里许多鱼类，如光脸鲷、龙头鱼、灯眼鱼以及一些鲨鱼等会发光。光脸鲷体长 8 cm 左右，发蓝绿色的光，发出的光强度还很强，能使离它 2 m 远的人看清手表上的数字，难怪潜水员有时用它当手电了，夏威夷短尾乌贼可以说是发光鱼类中的佼佼者。它们之所以有发光的本领，是因为其体内有一种发光菌，这是一类在正常的生理条件下能够发射可见荧光的细菌。发光水母有时候也被叫做“水晶果冻”，是世界上最有力量的发光海洋生物，它们生活在北美洲西海岸的海域。

植物在生长发育阶段也发光，1923 年苏联科学家 G. Gurwirsh 第一次观察到一个处于快速细



萤火虫在发光



胞分裂状态的洋葱头的根部能发射微弱的紫外光,这种现象称为生物体的超弱发光。在日本的雨季,每到梅雨季节,就会有大量蘑菇从倾倒的树干上或者湿地上冒出来,但是与一般蘑菇不同的是,这些蘑菇会发出令人胆寒的绿色光芒,这种绿光是由一种酶发生化学反应产生的。

人体发光

最令人感到新奇的是我们人类也是发光体。在1911年,英国医生华德·基尔纳(Walter Kilner)利用双花青染料涂刷的玻璃屏,发现人体外周有一圈强度微弱的光晕,它的宽度大约15 mm,色彩瑰丽,忽隐忽现。这个有趣的发现吸引了世界众多科学家的注意。接着,俄罗斯工程师基里(S. V. Kirlian)做了类似实验,又发现人体在500 V以上的高电压和频率50 kHz的电场作用下也会发出明亮的光晕。俄罗斯科学家西迈扬·柯里尔和他的妻子瓦伦丁娜,用高频电场摄像术还拍摄了人体明亮、有颜色的辉光照片。此后,许多科学家开展了对人体辉光现象的观察和研究,发现每个人自呱呱坠地直至离开人世,始终都在发射一种辉光。

至于人体发射辉光的道理,目前科学家还继续在探讨,现在较流行的看法是,它很可能是人体发射的二次辐射,使空气电离而产生的荧光现象。根据热辐射原理,温度处于绝对零度以上的物体均能发射辐射,不过,这种热辐射的波长很长,在远红外波段,不在人眼睛产生视觉的波长范围,产生的辐射强度也很微弱,所以眼睛一般是感觉不到的。人体也有一定温度,也会产生红外辐射。其次,组成人体的组织都有一个固定的光辐射能量吸收带,在外来电磁场能量激发下,如在受到包括来自宇宙空间的可见光、紫外线以及来自地球本身的X射线等激发,会产生二次辐射,使人体周围的空气发生微弱的电离辐射。

1.2 光的基本性质

光的直线传播

一些日常所见的自然现象,如人在太阳光下会出现自身的影子,森林里各棵树的树叶中透射的太阳光呈现笔直的光柱,从窗户上的小孔射进室内的太阳光是一束笔直光柱等,意识到光是直线传播,这是人类认识光的第一个特性。事实上,如



果光不是直线传播,身体就不会完全挡住太阳光,也就不会出现明显的身影。同样,如果光不是直线传播,从树叶之间透射进来的太阳光、从窗户小孔射进室内的太阳光就不会形成光柱。



太阳光下的人体影子



从树叶中间透射的太阳光柱

大约二千四五百年前,我国杰出的科学家墨翟和他的学生便做了世界上第一个小孔成像的实验,它更进一步地证明了光直线传播这一性质。虽然墨翟讲的并不是成像而是成影,但是道理是一样的。他对这个实验现象解释说,这是由于光穿过小孔如射箭一样,是直线行进的,人的头部遮住了上面的光,成影在下边,人的足部遮住了下面的光,成影在上边,这便形成了倒立的影。这是对光直线传播的第一次科学解释。

光的直线传播性质,在我国古代天文历法中得到了广泛的应用。我们的祖先制造了圭表和日晷,通过测量日影的长短和方位,以确定时间、冬至点、夏至点;在天文仪器上安装窥管观察天象,测量恒星的位置。

此外,我国很早就利用光直线传播这一性质,发明了皮影戏。汉初齐少翁用纸剪的人、物在白幕后表演,并且用光照射,人、物的影像就映在白幕上,幕外的人就可以看到影像的表演。皮影戏在宋代非常盛行,后来还传到了西方。

科学家根据光直线传播的性质发展了一门称作几何光学的学科,研究光的传播和成像规律。在几何光学中,用一条带箭头的直线表示光的径迹和传播方向,把组成物体的物点看做是几何点,把它所发出的光束看做是无数几何光线的集合,光线的方向代表光能的传播方向。在这些假设下,根据光线的传播规律,研究物体被透镜或其他光学元件成像的过程以及设计光学仪器的光学系统等都显得十分方便和实用。



光的反射

在平静河面可以看到桥的一幅像,但它是桥的倒像。同样在池塘水面看到山的倒像、树的倒像。在池塘洗手时会见到自己的像,那也是一个倒像。夜间在池塘里见到天上的月亮。这些现象是由光的反射产生的,这是人类认识光的另外一个性质——光的反射。光在传播路径上遇到光滑的表面时会改变传播方向,掉头往回传播。



桥在平静水面形成的倒像



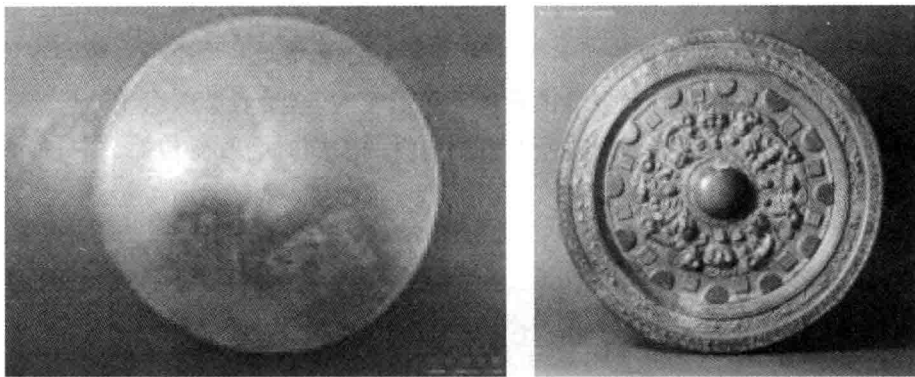
树在平静水面形成的倒像

在人类的认识中,光的最大规模反射现象发生在月球上。我们知道,月球本身是不发光的,我们见到它的光亮是反射的太阳光。相传为记载夏、商、周三代史实的《书经》中就提起过月亮发光这件事,可见在那个时候人们就已经有了光的反射观念。战国时的著作《周髀》里也有记载:“日照月,月光乃生,成明月。”

利用光反射这个现象进行成像是光反射现象的头一个实际应用。起先人们是用盆子装的水面作为光的反射面,当做镜子使用,这镜子被称为“监”。西周金文里的“监”字写起来很像一个人弯着腰向盛有水的盘子里照自己的像。到了周代中期,随着金属冶炼工艺的进步,开始了使用铜和锡或银铅等制作铜镜的历史,并把“监”字的下边加“金”,成了“鉴”。铜镜一般制成圆形或方形,其背面铸铭文饰图案,并陪钮以穿系,正面则以铅锡磨砺光亮,可清晰照面。齐家文化墓葬中出土的一面距今已有4000多年历史的小型铜镜,其造型、装饰均较原始,应是目前考古资料中所知最早的一面铜镜。在周代后期也开始研究平面镜反射成像规律,《墨经》中就指出:平面镜成的像只有一个,像的形状、颜色、远近、正倒,都全同于物体。



《墨经》中还指出：物体向镜面移近，像也向镜面移近；物体远了，像也远了，彼此有对称关系。



古代的铜镜

中国古代有一种称“透光镜”的奇妙镜子，它的外形跟古代的普通铜镜一模一样，也是金属铸成的，背后有图案文字。反射面磨得很光亮，可以照人。按理说，当一束光线照到镜面，反射后投到墙壁上时，看到的应当是一个平淡无奇的圆形光亮区。奇妙的是，在这个光亮区竟出现了镜背面的图案文字，好像是“透”过来似的，故称“透光镜”。上海博物馆珍藏的一面西汉透光镜，背面刻的“见日之光，天下大明”这8个字，甚至连同花纹都“透”在那个光亮区之中，清晰可见。这实在是令人难以想象。不但中国历代科学家都研究它，近代国外诸多科学家也感到惊奇，把它称为“魔镜”，纷纷进行研究，企图揭开其中的奥秘，在19世纪曾引起过热烈的讨论。近几年，中国科学工作者运用现代科学技术手段对透光镜进行研究，终于揭开了其中的奥妙。

在春秋战国时代，还出现了球面反射镜。根据反射面呈凹形和凸形的不同，分为凹球面镜和凸球面镜。凹球面镜能使光线会聚，而凸球面镜则使光线发散。人站在这种球面镜前，也能在镜中成像，我国的《墨经》对球面镜的成像规律就有具体而且是相当准确的叙述。书中介绍说，凸球面镜成像情况比较简单，不管人站在镜前什么地方，所成的像总是正立的、缩小的像，而凹球面镜的成像情况则复杂一些。从远处向凹镜面走来，当他还在球心以外时，就看见自己缩小、倒立的像；当走过了球心，进入球心和焦点之间时，将看到自己的放大、倒立的像；再向前进，走过了焦点，又看见自己放大的、正立的像。