

KE XUE WEN GONG

科学文丛

五彩缤纷的物理世界

——光的世界



科学文丛

五彩缤纷的物理世界

——光的世界

(41)

广州出版社出版

图书在版编目 (CIP) 数据

科学文丛. 何静华
形继祖 主编. 广州出版社. 2003.

书号 ISBN7-83638-837-5

I. 科学... II. III. 文丛

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 082275 号

科学文丛

主 编: 何静华
形继祖

广州出版社

广东省新宜市人民印刷厂

开本: 787×1092 1/32 印张: 482.725

版次: 2003 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

印数: 1-5000 套

书号 ISBN 7-83638-873-5

定价: (全套 104 本) 968.80 元

光学的发展

——代序

刚刚降生的婴儿,很快就适应了外界的光亮,并且逐渐从光携带的信息中学到许多东西。所以,人类最初的光学研究大概就是“我们怎样看见周围的物体”之类的问题。

古代社会的光学研究不是系统的,但有些研究水平并不算低,像《墨经》中的光学知识涉及到几何光学中的一些基本命题。

17世纪,光学研究进入了一个新的阶段,取得了很多的成果,如望远镜、折射定律、色散实验、双折射现象等;同时也提出了许多问题,如光的本性、光速的测定等。

19世纪,光学研究取得了极大的进步,干涉和衍射的研究大大促进了波动光学的发展,最终确立了光的波动说的地位,麦克斯韦的电磁场理论实现了电、磁、光的综合。光学技术的发展也为测量“以太风”提供了强有力的手段,迈克尔逊-莫雷实验的否定性结果为狭义相对论的建立提供了实验基础。

20世纪,量子理论的发展促进了对光的量子性的认识,从而建立了光的波粒二象性理论,使人们对光的本性的认识得到了进一步飞跃。爱因斯坦的光子概念作为新光学——量子光学的开始对现代光学产生了深远的影响。

50~60年代,激光的产生使古老的光学发生了深刻的革

命,为人类对自然界的认识和改造提供了一种锐利的工具。激光的方法和技术产生了许多新的学科,如全息光学、光学信息处理、纤维光学、非线性光学等,这些课题仍是当今光学研究的热点,特别是激光应用技术越来越受到人们的重视。

我们撰写的这本小册子只涉及上述内容的一小部分,由于作者的水平所限,所阐述的内容也是比较肤浅的。不过,作者还是不揣冒昧,希望这本小册子中肤浅的内容能给读者朋友们一些有益的东西。

目 录

光学的发展——代序	(1)
-----------------	-------

一、光源和影像	(1)
---------------	-------

1. “立杆见影”	(1)
2. 小孔成象的实验	(4)
3. 巨大的发光体——太阳	(6)

二、反射和折射	(9)
---------------	-------

1. 模拟月光的实验	(9)
2. 借来天火烧敌舰	(11)
3. 镜子的传奇	(12)
4. 奇妙的“透光镜”	(14)
5. 从探照灯到“小月亮”	(16)
6. 从“阳燧取火”到“太阳帆”	(18)
7. 镜子的世界	(21)
8. 研究折射的人们	(23)
9. 冰透镜趣闻	(25)
10. 奇妙的“蝴蝶杯”	(26)
11. 眼镜的发展	(28)

12. 折射望远镜	(30)
13. 从牛顿的“礼品”说起	(35)
14. 可以看见细胞的仪器	(40)
15. 捉住光的投影	(43)
三、色散、光谱和光速	(47)
1. 谁持彩练当空舞	(47)
2. 白光不“白”	(48)
3. 天空为什么是蓝色的?	(50)
4. 神秘的“暗线”	(52)
5. 发现了“太阳元素”	(54)
6. 世界的色彩	(56)
7. 天文学家测光速	(60)
8. 实验室内测光速	(62)
9. 光速是极限吗?	(66)
四、干涉、衍射和偏振	(70)
1. 托马斯·扬的“双缝干涉”	(70)
2. 五彩缤纷的肥皂泡	(72)
3. 法国科学院的悬赏	(74)
4. 冰洲石里的世界	(76)
5. 偏振光的妙用	(79)
五、光的本性和效应	(81)
1. 光的微粒说	(81)
2. 光的波动说	(82)
3. 光的压强	(84)
4. 从光电效应引发的	(87)

5. 光合作用	(90)
六、激光和它的应用	(93)
1. 奇妙的激光	(93)
2. 光通信	(96)
3. 全息照相术	(100)
4. 光导纤维	(102)

一、光源和影像

1.“立杆见影”

物体在光线的照射下,就会投下或深或浅的影子。这大概是最寻常不过的自然现象了。

由于太阳提供人类需要的光明,人们的生活基本上是循着“日出而作,日入而息”的规律。“日出”和“日入”的时刻已将一天明确分为昼和夜了。此外,还可以根据太阳在空中的不同位置来估计时刻或时间,这为精确的测量提供了基础。然而,由于太阳的光芒太耀眼了,直接观测太阳的位置的确是有困难的。

古时候,人们还发现,随着太阳的位置不同,它投射在地面的影子(如树影、房影、人影)会随之缓慢移动,而且将太阳在空中的位置同地面物体的影子联系起来并不困难。如果我们实际测量一下,就可以发现,影子的方向和长短变化是有规律的,借此完全可以确定出一天的时刻。

据《史记》记载,战国时期,齐国为了抵御晋国和燕国的侵扰,派一位战将率军前往,同时有一位“监军”随同前往督战。将军同这位“监军”商定了出发的日期,决定于次日中午时刻出

发。

第二天,将军集合好队伍后,就在地面上插了一根木杆(称作“表”)来测定时刻。到了中午时刻,“监军”竟未到。“监军”的迟到为军纪所不容,为此斩了“监军”。这个故事的结果并不重要,但是,他们测定时刻的“表杆”却引起了科学家的重视。这可以说明,至少在战国时期,我国已出现了地平式日晷。

日晷的结构极其简单。它是立一根叫做“表”的木杆。在阳光的照射下,木杆投在地面上的影子具有一定的长短和方向。借此可知当时的时刻。可见这个影子就相当于钟表的指针,而太阳位置的变化就相当于在“拨动”指针了。

日晷的结构简单,因此易于普及。根据出土的日晷来看,它是古代很普遍的测时装置。象清代皇家的太和殿前就安放有日晷作为测时和装饰之用。

为了提高测时的精度,一些科学工作者对此进行了研究,其中最早的研究是先秦墨家学派做出的。

墨家在实验中发现,影子的大小与光源的远近和物体(如表杆)的斜正有关。具体地讲,木杆斜立时,影子就短;正立时,影子就长。而光源小于木杆时,影子就大于木杆;反之亦然。此外,光源距木杆远近也有类似的影响。

墨家关于日晷成影的变化情况的研究是很有意义的,它保证了日晷的测量精度,这也是为什么长期难于被别的测时装置完全取而代之的原因。

为了测定日影,古人还发明了一种装置——圭表。所谓“表”就是一根长为8尺的标准木杆。根据当时的度量标准,8尺长的表与人的(平均)身高等高;而“圭”就是水平放置在南北方向上的标尺。圭表主要测定影长。中午时刻测定影长最短,借此可以准确地确定节气的变化。

在西汉时期,当时的人就制造出铜制圭表。这种圭表将圭

和表两部分固定起来,以保证测量的精确度。祖冲之对铜制圭表很是赞赏,他说:“铜表坚刚,暴润不动,光晷明洁,纤毫尽然。”

表杆高为 8 尺并不能作为定制,原因是,地球是一个球体,在同一经度上纬度的不同使表影长度有变化。这种变化并不是成正比的。为了不使差别太大,就要加大表杆的高度。最有名的圭表位于河南登封县告成镇的古观象台,它是元代著名天文学家郭守敬和王恂领导建立的。

告成镇的圭表高 36 尺,高出表上端 4 尺还有一根横梁,实际表高 40 尺。这是传统表高 8 尺的 5 倍。这可以大大缩小测量的误差。

然而,考虑到发光的太阳为一个面(不是一个点),加上空气扰动的影响,表端投射到圭面的影像就变得较为模糊。这为测量带来了很大的困难。

如何解决这个问题呢?他对此进行了研究。郭守敬首创了一种称为“景符”的观测器具。它有一个小部件,是一块带孔的铜片,并且可以调节铜片的倾斜程度。阳光透过小孔可以在圭面上形成清晰的像。这样,就可以精确地测量表影的长度了。

此外,对于圭面的制作,郭守敬也采取了很好的措施。这个石制的圭面长为 128 尺。为了保持圭面的水平和表端横梁的水平,郭守敬分别凿有水槽,以检验它们的水平情况。

由于郭守敬采取的各种措施,使它们的测量误差只有万分之五尺,折成今天的长度单位,约为 0.1 毫米。正是郭守敬如此准确的测量精度,使他领导编制的《授时历》的回归年长度为 365.2425 天,与今天的计算相比只差 20 余秒。西方的历书,在 300 年后才达到如此的精度。可见天文观测中光学仪器的重要性。

2. 小孔成像的实验

光线沿直线传播几乎是一个浅显的常识了。然而,怎样验证它,就要设计一个——不管是多么简单的——实验来加以验证。世界上最早作出这个实验的科学家是中国人,他们是战国时期的墨家学派。

墨家的科学家在墙壁上凿了一个小孔,当阳光照射进去,物体形成的像投射在屏幕上可以形成一个倒像。原因是,这个小孔的直径很小。后来人们又设计了一个实验来验证。

当屋外小孔前方站着一个人,阳光照射这个人,通过小孔在屏幕上形成颠倒的人像。这是因为光线经过小孔发生交错。足部遮住下面的光形成的影子在屏上部;而头部遮住上面的光,形成的影子在屏下部。

这样的实验看似简单,实际上并非完全如此。首先,实验的时间只能选在早晨和黄昏,站在小孔与太阳之间的人离小孔的距离差不多应有 200 米。

到了宋代,沈括也做了一个小孔成像实验,不过他的设计更加巧妙。沈括在窗户上捅了一个小孔,并用一个风筝做实验。他发现,风筝在东,经小孔形成的像在西;而风筝在西,经小孔形成的像在东。沈括还发现,楼和塔经小孔也会形成一个倒像。

为什么会形成倒像呢?沈括也进行了分析。他认为,关键在于窗纸孔要尽量小,这个孔的作用就像阳燧(铜制的凹面镜)的焦点一样。

南宋时的赵友钦虽为皇室后裔,但南宋末战乱不已,他为了避祸就隐居起来。赵友钦十分喜欢研究天文、数学和《周

易》，他对光学也有研究，其中最为有名的还是小孔成像的系列研究。

首先，赵友钦发现，日月都是球形的，小孔虽然不圆，但形成的像却都是圆的。这在观察日食变化时是很明显的。此外，他还观察了孔径和屏幕距离变化时对像的浓淡变化的影响。

赵友钦还认识到，以日、月为光源来研究成像规律是有局限性的。为此，他设计了新的实验以弥补原来的缺陷。

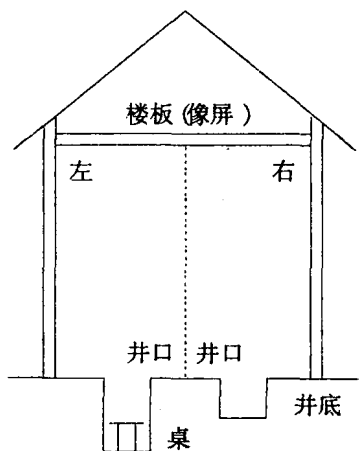


图 1

新的实验有一个大型的装置(图 1)，它是在一间房中分隔成两个部分，并各有一口径为 4 尺多的井，深度分别为 4 尺(右)和 8 尺(左)，左井内还放置了一张高为 4 尺的桌子。实验用光是由若干蜡烛提供的，即两块直径为 4 尺的圆板，上面插有 1000 多支蜡烛。井口盖有井盖，中心处开有小孔。上部的楼板兼作像屏。

新设计的装置，使用的光源具有较好的稳定性，不同深度

的井可以调节物距。赵友钦仔细地做了实验,并得到了很好的结果。

赵友钦的光学实验规模之大,在当时堪称世界之最。

小孔实验除了可以说明光线是沿直线传播的,它 also 具有很重要的应用价值。例如:元代著名天文学家郭守敬为了编制《授时历》,建造了圭表,以测日影。表杆很高,这样投射的影子,其表端常常变得模糊不清,并且造成了较大的误差。郭守敬消除这种误差的办法是,他在圭面上加了一个小部件。这个小部件是一片可以调节倾角的小铜片,铜片中间有小孔。这个小铜片在圭面上移动,使太阳、横梁、小铜片在一条直线上。这样,恰好使太阳的像投在圭面上。这个像是小而清晰的像,可以保证读出准确的杆影长数据。

从墨家到赵友钦的 1700 余年间,关于小孔成像的研究,到郭守敬终于结出了果实。

3. 巨大的发光体——太阳

按照天文学家的说法,太阳系的中心是一颗巨大的恒星——太阳。它离我们的地球有 149,000,000 千米。这就是说,太阳发出的光要走 8 分多钟才能到达地球。

太阳最明显的特征就是发非常明亮的光,当它直射时,我们会感觉非常热。那么它有多亮呢?通常,我们用“烛光”表示发光体的亮度。如果是 100 烛光,那就是说,它相当于把 100 支标准的蜡烛放在一起点燃得到的亮度。考虑到太阳离我们的距离,太阳的亮度竟高达 3×10^{27} 烛光。由于地球有厚达 100 多千米的大气层,使太阳光线减弱了约 20%。这样,看上去的亮度就只有 2.5×10^{27} 烛光。

如此高的亮度说明太阳辐射的能量是非常高的。太阳辐射的能量值一般称做太阳常数。在地球的大气层之上测量仅为 $1.95 \text{ 卡/厘米}^2 \cdot \text{分钟}$ 。它的意思是,太阳光直射在 1 平方厘米的面积上,每分钟可达 1.95 卡。换算成国际单位制,它是 $1.36 \times 10^6 \text{ 尔格/厘米}^2 \text{ 秒}$ 或 1.36 千瓦/米^2 。

看上去,太阳常数是一个不大的数字。如果考虑到日地之间如此遥远的距离,那可就不得了。实际上,我们接收到的能量仅为太阳发出的能量的 22 亿分之一。打一个比方说,如果地球周围冻上一层厚度为 100 千米的冰壳,若能将太阳的能量全部集中于地球上,不消一小时,千里冰层就会熔解而升腾为水汽了。

通常,蜡烛的火焰可以分为三个部分:焰心、内焰和外焰。太阳作为一个硕大的光体也可分为三个部分:光球、色球和日冕。

光球的下面是太阳的内部,我们是看不见的。光球只有 400 多千米厚,它的底层温度达 $6,000\text{K}$,顶层温度则只有 $4,000\text{K}$ 。这已是够热的了。

观看色球的最好机会是日全食时。当月亮恰好遮住光球时,可以看见色球的表面并不平整,有许多细小的“火舌”,好像一片“燃烧的草原”。最早拍下色球光谱是 1870 年的一次日全食时,它比光球的光谱要复杂得多。色球的温度也要高得多,低层可达 $10,000\text{K}$,高层则可达几万摄氏度。日冕的温度则可达 $100 \sim 200$ 万摄氏度。这种反常温度是挺有趣的。

对于日冕的观测只是 20 世纪 30 年代以后的事。日冕可分为内冕和外冕,它的物质非常稀薄,这也是对它观测的困难之所在。

在光球层中,有一种很重要的现象,这就是太阳黑子的爆发。关于它,中国有最早和最完整的记述。黑子并不影响太阳

的光芒,所以称为“黑子”是因为它的温度比背景要低 2,000 度左右。它虽然不容易被肉眼发现,但它的个头并不小,小黑子直径有几百千米,大的则超过 10 万千米。黑子的活动是有周期的,约为 11 年。

色球层中活动最剧烈的是“耀斑”,也称做“色球爆发”。它释放的能量是非常大的,十几分钟内可以释放几亿亿焦耳的能量,相当于 100 亿颗百万吨当量的氢弹爆炸。如果发生在地球上,则差不多每人要承受 2 颗氢弹的打击。这差不多是一次“世界末日”的惩罚了。

太阳发出光和热,对地球来说是至关重要的。例如,太阳常数很小的变化,对地球的气温就会有显著的影响,地球的冰川期就是明显的例证。

“太阳当头照”,听上去好像太阳颇有些孤芳自赏的意味。而且它毫不吝惜地释放着光和热,而且释放的速度是如此之快。也许有人会担心,它是否会很快熄灭呢? 太阳体积是地球的 130 万倍,质量为地球的 33 万倍。它每年损失的质量只占它的质量的 50 万亿分之一。到现在为止,60 亿岁的太阳消耗它的质量的四万分之一。因此,太阳的消亡只是遥远未来的事情,而真的到了“遥远的未来”之时,人类的进化也许可以不依赖太阳的光线了。

太阳是一个明亮的发光体,但从光学上讲,还有不少的问题有待深入探讨。

二、反射和折射

1. 模拟月光的实验

月亮绕地球运动是有周期的，古人也知道这一点。从表面上观察，朔望的变化是交替的，确定每个月的时间长度就依靠这种观测。

说到月相的变化，我们自然而然地就想到北宋著名词作家苏东坡的《水调歌头》，其中“人有悲欢离合，月有阴晴圆缺”的词句生动道出了兄弟多年未见的思念之情，以及东坡的超然态度。东坡知道，月相变化是自古就有的。其实在更古老的年代，我们的祖先就有类似的认识了。

我国最古老的月亮图发现在新疆的岩石上。这块岩石发现于第四纪的冲积层下，经测定可知，它距今已有几万年了。在这块石上，我们的祖先画下了从弯弯的新月到上弦月、满月、下弦月，到残月的连续变化，非常完整。对于满月的描绘是最令人惊奇的，在一个圆圆月面的南边、近南极处的左下方画有一个中心作辐射状的七条细纹线。据分析，这些细纹线是可以肉眼所能看到的第谷大环形山中心辐射出的巨大光脉。在今天，看到这些亮纹并不稀奇，但是尚处在“茹毛饮血”的蒙昧