

# 光的认识与应用

高 强 阮秉梁 沈 峰 唐晓亮

(东华大学应用物理系 上海 200051)

光与人们的生活和生产非常密切。人们的视觉与光是密切相关的,人们借助光来观察世界,从事生产劳动,光也是人们通常遇到的一种最普遍的自然现象,所以,人们从很早起便对光产生了兴趣,并开始了研究。

光学的起源可以追溯到二三千年前。我国的《墨经》就记载了许多光学现象。西方也很早就有光学知识的记载。至于光学实验,像我国古代的墨家的针孔成像、赵友钦的“小罅光景”等实验,其方法之巧妙,规模之巨大,在科学史上都是罕见的。光学真正形成一门科学,应该从建立反射定律和折射定律的时代算起,它奠定了几何光学的基础。光的本性也是光学研究的重要课题。微粒说和粒子说的争论构成了光学发展史中的一根红线。由于有了这一系列学说的支持,从小孔成像、影子戏到激光手术刀、光缆传输、全息技术,光的应用也越来越高科技化。

## 一、最早对光的认识和朴素的应用

我国古代取火的工具称为“燧”,有金燧、木燧之分。金燧取火于日,木燧取火于木。根据我国古籍的记载,古代常用“夫燧”、“阳燧”(实际上是一种凹面镜)来取火。晴天时用金燧取火,阴天时用木燧取火。阳燧取火是人类利用光学仪器会聚太阳能的一个先驱。讲到取火,古代还用自制的古透镜来取火。公元前2世纪,就有人用冰作透镜,会聚太阳光取火。《问经堂丛书》、《淮南万毕术》中就有这样的记载:“削冰令圆,举以向日,以艾承其影,则火生。”我们常说,水火不兼容,但制成冰透镜来取火,真是一个奇妙的创造。用冰制成的透镜是无法长期保存的,于是人们便用玻璃来制造。

上的人物和事例,虽然看上去逻辑清楚,易学好记,但传给学生的是一种假象,似乎物理学的发展可以按实验加逻辑推理实现,似乎伟大物理学家基本不走弯路,很少犯大错误。这种重构的历史不利于培养学生物理素质中最重要的百折不挠的求知精神。其次,准历史往往简化物理发现被公认的曲折历程,

## 二、光的认识走上了科学探究化的道路

### 1. 早期的认识——光的直线传播及相应的应用

#### 光的直线传播和针孔成像、影的认识

公元前4世纪,墨家就做过针孔成像的实验,并给予分析和解释。《墨经》中明确地写道:“景到(倒),在午有端,与景长,说在端。”这段文字表明小孔成的是倒像,其原因是在小孔处光线交叉的地方有一“端”,成像的大小与这交点的位置无关。从这里也可以清楚看到,古人已经认识到光是直线行进的。北宋的沈括在《梦溪笔谈》中也记述了光的直线传播和小孔成像的实验。他首先直接观察在空中飞动,地面上的影子也跟着移动,移动的方向与飞的方向一致。然后在纸窗上开一小孔,使窗外飞的影子呈现在室内的纸屏上,沈括用光的直进的道理来解释所观察到的结果:“东则影西,西则影东”。墨家对本影、半影也作了解释。与此相连,墨家还根据物和光源相对位置的变化,以及物与光源本身大小的不同来讨论影的大小及其变化。影子戏等便是基于这些认识而产生的。

#### 折射定律和对面镜的认识

折射定律是莱顿的力学教授菲涅耳(1591—1626)发现的。惠更斯和伊萨克·沃森两人把折射定律叙述如下:在相同的介质里入射角和折射角的余割之比总是保持相同的值。

墨家在《墨经》中对凹面镜和凸透镜都作了明确、详细的记载。沈括对凹面镜的焦距作了测定。他用手指置于凹面镜前,手指靠近凹面镜时,像是正立的,渐渐远移至某一处,则没有像;移过这段距离,像就倒立了。这一实验,既表述了凹面镜成像原理,

似乎逻辑清楚有实验验证便可得到公认。实际上,实践对真理的检验往往要经历一个过程,不是一蹴而就的。最后,准历史的重构往往使我们难以正确领会物理发现中所需要的团队精神,这些都有违引入史料的初衷,值得认真对待。

同时也是测定凹面镜焦距的一种粗略方法。我们的祖先,利用平面镜能反射光线的特性,将多个平面镜组合起来,取得了有趣的结果。如《庄子·天下篇》的有关注解《庄子补正》中对此作了记载:“鉴以鉴影,而鉴以有影,两鉴相鉴,则重影无穷。”这样的装置,收到了“照花前后镜,花花交相映”的效果。

### 望远镜和显微镜

在13世纪时欧洲人消化了从阿拉伯人那里得到的光学知识。在1278年科林思的大主教莫尔贝格将哈增关于抛物柱面镜的论文翻译成拉丁文。吸取了阿拉伯思想源泉的中世纪作家中杰出的人物是罗吉·培根,他著有光学,并且人们误认为折射望远镜是他发明的。

第一个望远镜可能是由出生在韦塞尔的米德尔堡的眼镜制造师利佩尔兹海在1608年制造的。他不是用玻璃,而是用水晶制造了透镜。而后,他完成了最初的双筒望远镜、显微镜的发明几乎也在这个时候。现在通常认为是由约安尼代斯和他的父亲发明的,虽然惠更斯把这归功于得勒贝尔。

新仪器的使用很快就传遍了欧洲。望远镜和显微镜的发明,使人们看到了更远的天体和很小的微生物,人们的认识范围扩大了。

### 虹和色散

虹是一种大气光学现象,唐初的孔颖达曾概括了虹的成因,他认为“若云薄漏日,日照雨滴则虹生。”明确指出产生虹的3个条件,即云、日、“日照雨滴”。德国也有一位传教士西奥多里克,曾模仿天上的彩虹。他用阳光照射装满水的大玻璃球壳,观察到了和空中一样的彩虹,以此说明彩虹是由于空气中水珠反射和折射阳光造成的现象。笛卡儿对彩虹现象也有兴趣,他用实验检验了西奥多里克的论述。

英国物理学家牛顿从笛卡尔的棱镜实验得到启发,又借鉴于胡克和玻义耳的分光实验,把棱镜散射的光投到6—7米多高的天花板上,从室外由洞口进入的阳光经过三棱镜后直接投射到对面的墙上。这样,他就获得了展开的光谱。

### 2. 粒子说和波动说的对立

16世纪末17世纪初,第一台望远镜的出现推动了近代光学的发展。由于当时条件的限制,对光的认识出现了两派。其一是牛顿的粒子说,认为光是由粒子组成的,因为光的许多现象也都可用光粒子来解释;其二是惠更斯的波动说,认为光是一种波。由于他的理论的原则性存在缺陷且言过其实地

认为光的一切特性都可用波动理论来解释等等原因,使当时的人们主要信奉牛顿的微粒说。

牛顿对光学作了大量的实验,得出了诸多理论,在此理论上还发明了反射望远镜。然而牛顿并不是一个纯粹的光粒子说的坚持者和波动说的偏执反对者,只不过更倾向于他的微粒说。牛顿在做牛顿环实验中并没有以波动的角度去解释,却硬把它建立在粒子说的基础上。由于牛顿当时权威实在太大,而他的继承者又毫无保留地坚持他的粒子说,致使当时的物理学家普遍接受牛顿的光粒子学说。

在以后的一个世纪中,很少有人对光的粒子说提出质疑。人们对光的片面理解使光的发展在这一世纪中停滞不前,直到托马斯·杨发现了光的干涉现象。但杨的理论刚开始并没有受到人们的足够认识。虽然他的实验设想极为周到,但理论中并没有用到18世纪就使用的数理解析方法,而只是定性地讨论,因此没有受到当时的重视。杨对此感到厌倦,丧失了信心,暂时中断了对光的研究。

波动论的转折点出现在菲涅耳的理论之后。菲涅耳把惠更斯的理论和杨的干涉原理结合起来,对光的直射和衍射提供了完整的理论,建立了波动论的基础。它的理论提高了人们对波动论的信任度,同时人们也发现这些理论无法解释偏振(双折射)现象。经过多年时间,杨与菲涅耳分别独立地想到了光是横波传播的假设。菲涅耳从横波出发,圆满地解释了光的偏振现象。然而这个理论遭到了光粒子说者的强烈反对。泊松根据他的理论,推导出圆盘后面会出现亮斑的结论,他同时认为这是非常荒谬的。而事实上泊松亮斑的确出现了。至此,光的微粒说开始崩溃。

菲涅耳的研究成果标志着光学进入了一个新时期:弹性以太光学时期。这个学说成功地在牛顿物理学中打开了一个缺口,被人们称为“物理光学的缔造者”。

在这里我们看到,波动说的理论并不是所想的那样从杨发现了光的折射现象便兵不血刃地推翻了微粒说。其中的艰辛,困苦以及当时所受的压力,也只有他们才能体会到。但我们看到了正是由于这两种学派激烈的辩论才使得光的本性进一步被人们发现,才推动了光学的发展,而不像在牛顿那个时代整整停滞了一个多世纪。

### 三、光学发展和应用的新阶段

德国物理学家爱因斯坦是20世纪著名的物理  
现代物理知识

学家,对物理学最大的贡献是创立了狭义相对论和广义相对论。1905年3月发表了论文“关于光的产生和转化的一个推测性的观点”,把普朗克在1900年提出的量子观点扩充到光在空间中的传播,提出了光量子的假说。他认为,光对于时间平均值(即统计的平均现象)来说表现为波动,光对于瞬时值(即涨落现象)来说表现为粒子。这是物理学史上第一次揭示微观客体的波动性与粒子性的统一,即波粒二象性。论文的最后,用光子假说极明白地解释了光电效应,由于光电效应的发现,他获得了1921年的诺贝尔物理学奖。

### 全息技术

全息照相不用透镜成像方法照相,而是利用光的干涉和衍射的照相方法。全息照相记录的不是物体的像而是物体反射的光波,然后用相干光照明重现物体发射的光波。用全息照相发明人伽伯自己的话说:“照片包含了能再现2维或3维物体所需的全部信息”,所以叫做全息照相。

### 激光和光谱

现代光学的发展可谓突飞猛进。1960年7月7日,《纽约时报》报道了美国加州休斯实验室的梅曼成功进行了“激光器发生新的原子辐射光”的实验。他第一个在红宝石上获得了激光并取得了激光发明的优先权。仅仅过了几个月,几种不同类型的激光器相继问世,12月氦氖激光器试制成功,这是一台连续运行的激光器,使激光成为一种新型光源。这种光具有亮度高、方向性好、单色性好等特点,立即得到广泛的应用。“激光”成为20世纪60年代最响亮的名词之一。1964年初期,普罗霍罗夫和巴索夫因为激光器的发明而获得诺贝尔奖。自此,各类激光器相继发明,并且在激光波长的扩展,激发能量,

功率的提高和超短脉冲的获得以及小型化等几个方面取得了进展。斯坦福大学的肖洛教授将激光应用于光学谱研究,由此发展出激光光谱学这门学科。哈佛大学的布洛姆伯根教授开创了非线性光学,在科学研究和实际应用上具有重要意义。布洛姆伯根教授指出激光器是相干波源,特点是具有高度单色性,高指向性和高强度。激光可控热核反应是激光的一个重要应用,这将使人们利用核聚变时释放出来的巨大能量作为新的能源。埃米特于1972年开始领导美国激光核聚变研究。现在美国利弗莫尔实验室的NOVA固体激光设置在 $10^{-4}$ 秒时间可输出10万焦耳的光能,功率达 $10^{14}$ 瓦,已接近于达到热聚变所需的激光能量。中科院上海光机所也已建成大能量固体激光系统——神光装置。

1970年以前,光谱研究不论是吸收光谱还是荧光光谱都受到多普勒宽度的限制。多普勒宽度一般是几千兆赫,而由核的磁矩,电极矩,同位素效应等引起的原子能级超精细结构通常是从几十兆赫到几千兆赫,大部分已被多普勒宽度掩盖而无法观测。肖洛发明的饱和吸收光谱方法不受多普勒影响而观测到超精细结构,该光谱大大提高了光谱的分辨率,故可用来将激光频率锁定于原子的超精细结构谱线上,可使激光的波长精确稳定到9到10位有效数字。肖洛及其小组还开创了偏振标记光谱及双光子无多普勒光谱等高分辨率激光光谱方法。

光学,既古老又年轻。说它古老,是因为人们很早就研究了光;说它年轻,是因为即使到了今天,人们对光的本质还有争议,还在研究。科学还在不断地发展,随着我们对光的越来越深入的研究,我们会更全面和正确地了解光,光应用的前景将更加灿烂!

## DESY 公布重大新项目计划

据《CERN快报》2001年第4期报道,DESY实验室2001年3月23日在汉堡所作的重要陈述中,正式宣布了33千米周长超导正负电子对撞机的计划。这台TESLA(意为TeV能量超导直线加速器)加速器的对撞能量为500GeV,并可扩大到800GeV。它还将有一间综合的X射线激光实验室。

在为粒子物理学研究服务的同时,这台加速器还将提供对凝聚态物理、化学、材料科学和结构生物学进行研究的设备。

人们普遍将TESLA这样一台高亮度正负电子对撞机看成是粒子物理学研究继LHC质子对撞机之后的自然而然的发展,LHC目前正在建造中,预定于2006年开始其物理运行。

这台500GeV对撞机的造价估计为31.36亿欧元,X射线自由电子激光器的加速器部件2.41亿欧元,自由电子激光器的实验设备2.90亿欧元,粒子探测器2.10亿欧元。建造这台加速器将总共需要7000个人年,历时8年。

(卞吉 编)