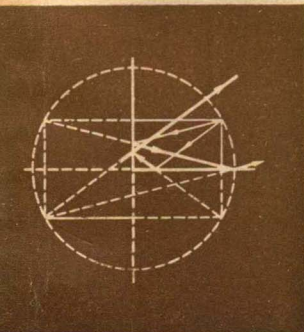
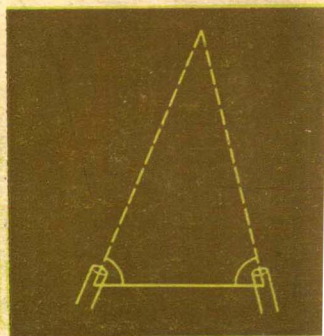
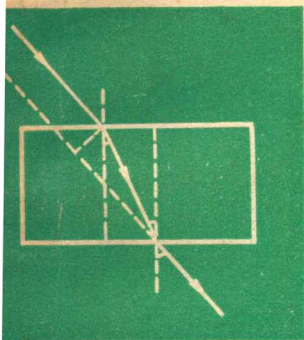


高中物理教学参考读物

# 几何光学

上海教育出版社



上海市物理学会中学物理教学研究委员会编

194105

高中物理教学参考读物

# 几 何 光 学

上海市物理学会  
中学物理教学研究委员会编  
上海教育出版社

高中物理教学参考读物

几 何 光 学

上 海 市 物 理 学 会

中学物理教学研究委员会编

上海教育出版社出版

(上海永福路123号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷四厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 5.25 字数 111,000

1958年3月新知识第1版

1958年7月新1版 1963年3月新2版

1981年10月新3版 1981年10月第13次印刷

印数 260,101—308,100本

统一书号：7150·30 定价：0.44元

## 修订版前言

上海市物理学会中学物理教学研究委员会从 1956 年开始所主编的一套《高中物理教学参考读物》共 14 册，先后经过四年的时间，到 1959 年陆续出齐。编写目的是以当时的《中学物理教学大纲》为依据、结合中学物理教学的需要，帮助教师更好地掌握教材，以提高教学质量。问世以来，颇得读者的支持和关怀。在文化大革命前曾多次重印，其中有几本印数多达数十万册。其间也曾根据读者所提意见作过修订和适当补充，重新排版出了几次修订本。粉碎“四人帮”后，为了满足广大师生对物理参考书的需求，又重印了一次。但物理科学近年来发展较快，它在社会主义建设和实现“四化”的过程中起着重要的作用，为了适应这些要求，原书不足之处很多，须作进一步的修订。为此，我们在维持原书面目不过多改变和原篇幅不过多扩大的前提下，根据教育部最近颁布的《全日制十年制中学物理教学大纲》（试行草案）和当前中学物理的教学情况，在内容上适当加深加广；处理教材的方法上力求新颖，以供教师备课时参考，并对学有余力的同学提供课外补充读物，加深理论和扩大知识面。单位制以 SI 制为主，如有必要亦适当介绍其他单位制。适当更新插图内容，增补一些有参考价值的例、习题。删去比较陈旧烦琐的内容，努力做到取材精练新颖，争取能够反映我们国家的新成就。

本书原由束世杰同志提供若干意见，由陈泰年，杨逢挺同志编写，现参加修改的同志为丁源。由于我们对中学物理的教学经验不足，又是在匆忙中完稿，疏忽和错误不妥之处在所难免，请读者随时予以指正。

本书原由束世杰同志提供若干意见，由陈泰年，杨逢挺同志编写，现参加修改的同志为丁源。由于我们对中学物理的教学经验不足，又是在匆忙中完稿，疏忽和错误不妥之处在所难免，请读者随时予以指正。



# 引 言

光学的研究使人们对物质世界，包括分子世界内物质的组成和构造，有了深刻的认识。人们虽然很早就累积了许多有关光的现象的知识，使光学成为物理学中发展得很早的一个部门，但是对于光的本性的认识，从牛顿的微粒说，发展到惠更斯的波动说，麦克斯韦的电磁说，再发展到爱因斯坦的光子说，却经历了一个长时间的辩证过程（详细内容见《物理光学》）。到今天已确定光是既有波动性，又有微粒性的物质。以此为契机，又进一步发现了一切微观粒子都既有波动性，又有微粒性。经过科学家们的研究，已经建立了把这两种特性统一起来的理论，现在这理论还在继续发展之中。

光学是物理学中很重要的分科，主要研究光的发生和本性、光的传播规律、光跟物质的相互作用以及这些知识在各方面的应用。因为光学的内容丰富，范围广泛，为了研究方便起见，一般分为几何光学（也叫做光线光学）、物理光学（也叫做波动光学）和量子光学三大部分。几何光学以光的直线传播为基础，讨论光的一些基本现象和光通过光学系统成象的原理以及它们的应用；物理光学根据光的波动原理，研究光的干涉、衍射、偏振和色散现象以及它们在科学和技术上的应用；量子光学是根据光的微粒性研究光和物质相互作用时所产生的光电效应、荧光、磷光和激光等现象。三大部分中的几何光

学是中学阶段学习光学的中心内容。

我们的祖先对于几何光学的研究有着巨大的贡献。早在二千三百年以前，伟大的学者墨翟在他所著的“墨经”内就有八条关于光学的记载。例如“景不徙，说在改为。”经说“景，光至，景亡；若在，尽古息。”是说明影(景)的成因，光所照到的地方，不能成影，成影的地方，就是光所不能到的地方。经“景倒，在午有端。”是说明针孔造倒象的原因，在于光穿过小孔而成光束的关系。经“鉴洼，景一小而易，一大而正，说在中之内外。”是说明凹镜成象的性质，人在凹镜的曲率中心(中)之外，可以看到自己的缩小而倒立的象，在焦点内可以看到放大而正立的象。经“鉴团，景一。”经说“鉴者近，则所鉴者大，景亦大，其远，所鉴小，景亦小，而必正。景过正故杳。”这是说凸镜只有一个正立的虚象，物近象大，物远象小。“墨经”里的八条光学，对于光学知识已作了比较完整的叙述。西方国家最早的光学著作是欧几里得著的“光学”，它要比“墨经”迟一百多年。所以“墨经”在科学史上有极高的地位。

“考工记”是我国一部最早记载古代工艺的书(公元前四世纪)，记有“金锡半谓之鉴燧之齐”。告诉我们铜(金)锡各半的合金(齐)所做的凹镜可用作取火(燧)的工具。在“淮南子”(公元前二世纪)上有“阳燧见日而然(燃)为火”。把凹镜(阳燧)的取火作用说得更清楚了。晋张华著的“博物志”有“削冰命圆，举以向日，以艾承其影，则得火”。可知在公元三世纪我们的祖先已知道利用透镜向日取火了。西方国家直到十三世纪开始才有金属磨制的凹镜，远落后我国十几个世纪。

东汉初年，张衡(公元78—139年)已发现月的盈亏以及知道月食和日食的初步原因。到北宋，沈括(1031—1095年)对于光的直进做了许多实验，在他所著的“梦溪笔谈”中载有：

“若鸢飞空中，其影随鸢而移，或中间为窗隙所束，则影与鸢遂相违，鸢东则影西，鸢西则影东。又如窗隙中楼塔之影，中间为窗所束，亦皆倒垂。”其他对于球面镜成象、凹镜向日取火的实验、月的盈亏、月食、日食和虹的成因等，在“梦溪笔谈”中都有详细记载。我们祖先在光学上的许多贡献，是值得我們自豪的，在教学中如能作适当的介绍，可培养同学的爱国热情和民族自豪感。

光学知识在科学和技术上的应用极为重要，光学仪器已成为应用最广泛的工具。例如，望远镜是近代大地测量中不可缺少的仪器；显微镜可用来研究和检查冶炼产品，检查精密机件，发现和鉴别细菌，检查农产品的病害，解剖生物和检查纤维。利用光的干涉可测定精密工具的表面光洁度、物体表面的平度、煤矿中沼气的含量、星体的视直径，并且可用氦 86 的橙红线的波长或激光的波长来标定标准米。至于照明技术、照相、印刷、通讯等等应用光学的知识和设备，是大家所熟知的。所以，光学在机械工业、冶金工业、燃料工业、半导体工业、大地测量、医药卫生、文化教育、科学研究以及国防军事等方面都有极重要的应用，并且应用的范围在不断地扩大。光学现象和理论研究的重要性也可以理解了。



# 目 录

## 引 言

第 1 章 光的传播	1
一、光源	1
二、光的直线传播	2
三、光的速度	4
第 2 章 光度学	8
一、光能	8
二、光度	9
三、照度	10
四、照度定律	11
五、亮度	14
六、光度计	15
第 3 章 光的反射	18
一、光的反射和反射定律	18
二、平面镜	20
三、凹镜和凹镜公式	26
四、凹镜成象的性质	27
五、凹镜的缺点	31
六、凹镜在技术上的应用	32
七、凸镜的成象	33
第 4 章 光的折射	37

一、光的折射和折射定律	37
二、折射率	38
三、全反射	42
四、棱镜	45
五、透镜	48
六、凸透镜的成象	55
七、透镜的组合	61
八、凹透镜的成象	68
九、透镜的象差	70
十、色象差和消色差透镜	73
十一、折射线作法	77
十二、球面镜、透镜成象的直角坐标图解法	79
<b>第5章 光学仪器</b>	<b>84</b>
一、实象光学仪器和虚象光学仪器	84
二、眼睛和眼镜	85
三、放大镜	91
四、显微镜	92
五、望远镜	95
六、潜望镜	100
七、测距仪	102
八、照相机	103
九、幻灯	106
十、电影机	107
十一、体视镜	108
<b>附录一 光学杂例</b>	<b>110</b>
<b>附录二 复习参考题</b>	<b>134</b>
<b>附录三 计算题、作图题和论证推导题</b>	<b>143</b>

# 第 1 章

## 光的传播

### 一、光源

眼睛所以能看见物体，是由于物体对我们的眼睛引起光的感觉。象太阳、电灯、日光灯等能够发光的物体，叫做发光体或光源。太阳是最大的光源。不发光的物体，只要受到发光体的照射，能反射出光来引起眼睛的感觉，我们同样可以看见。在白天可以看见直接受到阳光照射的建筑物和树木，也可以看见在室内间接受到阳光照射的物体。恒星是发光体，行星是太阳光的反射体，虽然它们同样有光照达地面，但是把行星叫做光源就不适当了。

物体所以能发光，大半是由于物体的温度很高，就是所谓热发光。金属和碳热到约  $1000\text{K}$  时发生可见的暗红的光，温度再升高光色就变黄，热到约  $2000\text{K}$  时成白炽。太阳表面的温度大约是  $6000\text{K}$ ，内部温度大约是  $15500000\text{K}$ ，所以发光

极强。物体在约 1000K 以下就能发出红外线，温度超过6000K 时发出的紫外线的比重增加。红外线和紫外线是看不见的光，所以金属在 1000K 以下看不见它发光，到 6000K 以上，发光强度反而减弱了。大多数发热的化学反应也同时发光，但化学发光不一定是热发光。其他象生物发光、稀薄气体放电时的发光以及荧光和磷光等都不是热发光。

物体究竟为什么能发光呢？据研究，有的是由于自由电子的振动，有的是由于分子振动和旋转的能级的变化，有的是由于原子内的核外电子能级的变化，有的是由于原子核的反应，也有的是由于阴阳电子对的转化，原因很多。在原子结构内可以讨论一部分，但在这本书内不可能讨论得很全面。

## 二、光的直线传播

光在同一种均匀媒质里是沿着直线方向传播的。针孔所造的象上下倒置，左右对调，就是光的直进所造成的现象（图 1-1）。针孔愈小，所造的象愈清楚；通过针孔的光愈少，所造的象愈暗淡。针孔的直径小到 1/100 毫米，所造的象又模糊不清了，这是由于孔的大小接近于光波的波长时衍射现象

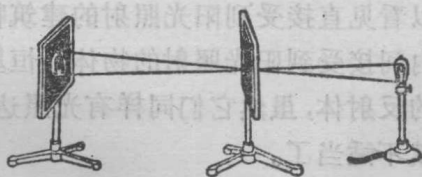


图 1-1

象显著的原故，简单地说，光在这种情况下不再是直线传播了。针孔照相机是最简单的照相机，针孔相当于普通照相机

的镜头。可在课外指导同学制作硬纸的针孔照相机，用来摄取风景或静物的照片，激发他们学习光学的兴趣。在针孔照相机内，象长跟物长的比等于象和针孔间的距离跟物体和针孔间的距离的比，象愈大也就愈暗淡。

表示光进行方向的直线叫做**光线**。许多光线围绕着一轴线分布的，就叫做**光束**。假使光束内的光线会聚于一点，这一点就叫做**光束的焦点**。

均匀发光的小球形物体，如果它的大小比它到观察点的距离小得多，则把它叫做**点光源**。点光源所发的光照射到不透明体，在它的后面形成跟物体相似的黑暗部分，这叫做物体的**本影**。本影的大小决定于光源、物体和象屏三者间的相对位置，可通过所作几何图形来理解。假使发光体不能当作点光源，那么在本影的周围还有暗淡的**半影**形成。假使光源比物体大，本影很小，在离开物体较远的地方就只有半影了。

当月球的影子投射到地球表面时，就发生**日食**。月球本影的长约等于地球半径的 57 倍~59 倍，而地球和月球间的距离约等于地球半径的 55 倍~67 倍，影比地球小，所以日全食时地球上只有一小区域内的人可以看到。地球的影子投射到月球表面时发生**月食**。地球本影的长约等于地球半径的 216 倍，远远超过地球和月球间的距离，影的大小超过月球，所以月食时，地球上各处可以同时看到。

**【例】** 把一电灯放在半径为 0.2 米的球形毛玻璃罩中，挂在离地面 3.5 米高的地方，假使在灯竖直方向的下面离地面 0.5 米的地方，放一半径为 0.1 米的球体，求球体本影和半影的半径。

**解** 如图 1-2 所示：

$$AA_1 = AA_2 = \text{灯罩的半径} = 0.2 \text{ 米,}$$

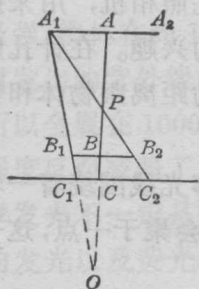


图 1-2

$BB_1=BB_2$ =球体的半径=0.1米,

$AB$ =灯和球体的距离=3米,

$BC$ =球和地面的距离=0.5米。

由图可知,  $\triangle APA_1 \sim \triangle BPB_2$ ,

$$\therefore \frac{AP}{BP} = \frac{AA_1}{BB_2}, \frac{(3-BP)}{BP} = \frac{0.2}{0.1},$$

得

$$BP=1(\text{米}).$$

因

$$\triangle PBB_2 \sim \triangle PCC_2,$$

$$\therefore \frac{BB_2}{CC_2} = \frac{PB}{PC}, \frac{0.1}{CC_2} = \frac{1}{1.5},$$

所以半影的半径= $CC_2=0.15(\text{米})=15(\text{厘米})$ 。

又

$$\triangle OAA_1 \sim \triangle OBB_1,$$

$$\therefore \frac{AA_1}{BB_1} = \frac{OA}{OB}, \frac{0.2}{0.1} = \frac{3.5+OC}{0.5+OC},$$

得

$$OC=2.5(\text{米}).$$

因

$$\triangle OCC_1 \sim \triangle OBB_1,$$

$$\therefore \frac{CC_1}{BB_1} = \frac{OC}{OB}, \frac{CC_1}{0.1} = \frac{2.5}{3}.$$

所以本影的半径= $CC_1 \doteq 0.0833(\text{米})=8.33(\text{厘米})$ 。

### 三、光的速度

光的速度是物理学中一个重要的物理恒量。由于光的速度极大,十七世纪以前不知道它的量值,人们有一个很天真的想法,以为光的传播是不需要时间的。在1607年,意大利科学家伽利略首先作测定光速的尝试。他命甲乙两人在夜间各带一盏灯,分立在两个山顶上,甲先迅速取去灯罩对乙发出信号,乙在看到信号之后,立即取去灯罩对甲发出信号,伽利略想从两山顶间的距离和光的往返时间来计算光速。这个测法



的原理是正确的，但是光传播得极快，1秒内可绕地球七周半，当时两山相隔约1.5公里，光经历的时间极短，不能精确地测定，所以他的实验失败了。在伽利略以后的三百年间，经过不少科学家的努力，终于测出了光速。下面介绍三个比较有代表性的测定方法。

丹麦天文学家勒麦从观察木星的一个卫星的食，在1675年首先测得了光速。他观察一个木星的卫星连续两次食相隔的时间（两次初食或食完相隔的时间）约42小时，也就是卫星绕木星公转的周期是42小时。根据他长期的观察，发现地球和木星渐远时，卫星的视周期逐渐增加。木星绕日公转的周期大约是12年，当地球和木星在 $T$ 和 $J$ 是两者相距最近的位置，大约半年之后，地球和木星在 $T'$ 和 $J'$ 是两者相距最远的位置（图1-3）。发现在这段时间内卫星公转的视周期大约增加1000秒，勒麦断定这是由于光多经过一段路程的关系。因为这段路程大约等于地球轨道的直径，根据当时的数字计算，勒

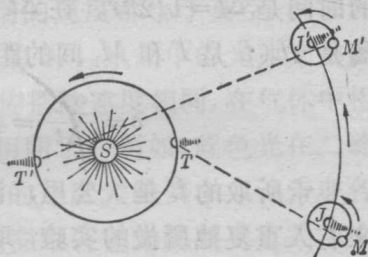


图 1-3

麦测得的光速是215000千米/秒。

法国科学家斐索，在1849年第一个用齿轮法就地面上的路程测求光速得到了成功（图1-4）。光从点光源

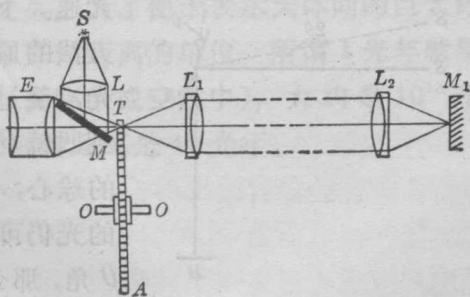


图 1-4

$S$  出发, 通过透镜  $L$  后, 由涂有薄银层的玻璃片  $M$  反射而焦集在齿轮  $A$  的边缘  $T$  点, 齿轮  $A$  可绕轴线  $OO$  旋转。光通过齿轮的空隙后先由透镜  $L_1$  造成平行光束, 再由透镜  $L_2$  焦集在平面镜  $M_1$  上。由  $M_1$  反射的光逆着原路到达玻璃片  $M$ , 一部分仍反射到  $S$  点, 另一部分可通过  $M$  和目镜  $E$  为观察者所见。

当齿轮转动时,  $M_1$  反射回来的光如能通过两齿隙间的空隙, 观察者可以看到光。假使转速加倍, 反射回来的光碰到轮齿, 观察者看不到光, 当转速增加到三倍时, 又可看见光了。假使  $A$  有  $n$  个齿, 目镜中第一次发现黑暗时的转速是  $r$  次/秒, 那么每个齿或齿隙的宽度是  $A$  圆周的  $1/2n$ , 转过这样角度所需的时间是  $\Delta t = 1/2nr$ 。在  $\Delta t$  时间内光往返一次所经过的距离是  $2L$  ( $L$  是  $T$  和  $M_1$  间的距离), 所以光速

$$c = \frac{2L}{\Delta t} = 4nLr。$$

斐索所取的  $L$  是 7 公里, 测得光速是 315000 千米/秒。后来有人重复他所做的实验, 取  $L$  等于 23 公里时, 测得光速是  $(299870 \pm 50)$  千米/秒。这个数值跟应用天文学方法所得的结果符合。

法国物理学家傅科在 1862 年用旋镜法在实验室内测得

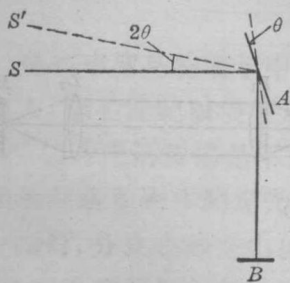


图 1-5

光速。下面简单地介绍他所用的方法的原理。从点光源  $S$  发出的光, 经过可旋转的平面镜  $A$  反射到凹镜  $B$  上, 因  $A$  的转动轴在  $B$  的球心,  $A$  镜不旋转时,  $B$  镜反射的光仍可回到  $S$ 。假使  $A$  镜转过  $\theta$  角, 那么光反射到  $S'$  (图 1-5)。根据  $A$  镜旋转的角速度、光源和

$A$  镜间的距离、 $B$  镜的曲率半径以及  $S$  和  $S'$  间的距离, 可以求出光速。傅科测得的光速是  $(298000 \pm 50)$  千米/秒。

傅科又做了一个很重要的实验, 他在光路  $AB$  上放了充满水的管子, 直接求出光在水中传播的速度。根据牛顿的微粒说, 光在水中传播的速度应大于它在空气中传播的速度。傅科用实验法证明光在水中传播的速度小于空气, 是一个否定牛顿微粒说的强有力的证据。

现在公认的真空中的光速是  $299792.458 \pm 0.0012$  千米/秒, 一般情况可用  $c = 3 \times 10^{10}$  厘米/秒。光在空气中传播的速度, 略小于真空中传播的速度, 但相差无几, 也可当作是  $3 \times 10^{10}$  厘米/秒。光在其他媒质里传播的速度都小于真空, 例如光在水中传播的速度大约是真空中的  $3/4$ , 水晶中的光速大约是真空中的  $2/3$ 。各色光在真空中传播的速度相同, 在气体中相差极小, 但是在其他媒质中就不相同了。例如, 蓝色光在二硫化碳中的传播速度比红色光传播的速度大约要小  $1.4\%$ 。各色光在其他媒质中传播速度的改变跟各色光的频率有关, 这方面的知识将在物理光学中研究。

从地球的尺度来说, 光速固然很快, 但从天文学的尺度来说, 光速还是有限的。太阳光到达地面需要 8 分 18 秒, 北极星光到达地面要 44 年之久。为了便于表示天体间的巨大距离, 在天文学上采用光年来做距离的单位。所谓 1 光年就是光在一年内通过的路程 (真空中或空气中), 大约是  $10^{13}$  千米。所以, 北极星和地面间的距离是 44 光年。