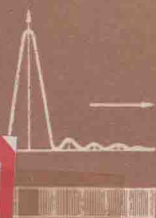
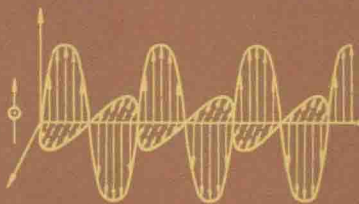


# 物理光学

上海教育出版社



高中物理教学参考读物

---

# 物 理 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

物 理 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

(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 4.75 字数 99,000

1960年5月第1版

1981年10月第2版 1981年10月第12次印刷

印数 447,001—493,000本

统一书号: 7150·876 定价: 0.41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复印刷，个别部分印数多达数十万册。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《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，以供教师备课时的参考，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，增补一些比较有参考价值的例、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。

本书原由潘大勋同志编写，现仍由潘大勋同志修改。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。

# 目 录

<b>第 1 章 光的学说发展简史和光的波动学说的基本</b>	
<b>概念</b> .....	1
一、光的学说发展简史.....	1
二、光的波阵面和光线.....	7
三、惠更斯原理.....	10
<b>第 2 章 光的干涉现象</b> .....	13
一、光的干涉的意义和实例.....	13
二、干涉条件 干涉的基本原理.....	15
三、用干涉实验测定光波波长.....	20
四、定域干涉(薄膜干涉)原理、楔形空气膜和牛 顿圈.....	21
五、干涉现象在科学研究和工业生产上的应用.....	26
(一)检查光学玻璃表面的质量 (二)检验轴 承钢珠(或滚柱)的质量 (三)迈克尔孙干涉 仪 (四)镜头镀膜 (五)全息摄影技术	
六、干涉现象的实验技术.....	33
<b>第 3 章 光的衍射现象</b> .....	37
一、光的衍射现象的意义和实例.....	37
二、惠更斯-菲涅耳原理.....	39

三、衍射问题的类型 菲涅耳式单缝衍射	40
四、夫琅和费式单缝衍射 多缝衍射	46
五、衍射在光谱仪器中的应用——衍射光栅	51
六、衍射在光学仪器中的应用	55
七、衍射的实验技术	56
<b>第4章 光的偏振</b>	<b>60</b>
一、偏振的意义 自然光、平面偏振光和部分偏振光	60
二、反射和透射起偏振法	63
三、双折射起偏振法	66
四、二色性起偏振法 人造偏振片	68
五、起偏振镜和检偏振镜 马吕定律	70
六、偏振光的应用	72
(一)避免眩光的设备 (二)照相机的偏振滤光片 (三)立体电影的摄影和放映 (四)偏振光在工业技术上的其它应用	
七、偏振光的实验技术	75
<b>第5章 光的色散现象和光谱</b>	<b>77</b>
一、色散现象和实例 棱镜光谱和媒质色散特性	77
二、光谱学和光谱仪器	82
三、光谱的分类、光源和发射光谱	87
四、吸收光谱和基尔霍夫定律	90
五、光谱分析和它的应用	92
<b>第6章 不可见射线、电磁学说、量子学说、光和质粒的二象性原理</b>	<b>97</b>
一、紫外线的性质	97

二、红外线的性质	99
三、荧光和磷光的性质、紫外线和红外线的应用	100
四、伦琴射线的性质和应用	103
五、光的电磁学说和电磁波谱	109
六、光的旧量子学说 光电效应定律	111
七、光电效应的应用	117
(一)光电管 (二)光敏电阻(光阻器、光电 晶体管) (三)光电池 (四)电视摄像管	
八、光和质粒的二象性(即两重性)	123
附录一 复习题	130
附录二 复习题参考答案和提示	139



# 第 1 章

## 光的学说发展简史和光的波动学说的基本概念

### 一、光的学说发展简史

在几何光学里,我们学习过关于光现象的某些性质,我们是在“光线”这个基本概念上来研究的。然而,我们在那里学到的光的性质,远不是光的全部的、普遍的性质,而仅仅是一部分。如果要深刻一些来考察光现象,那就立刻接触到光的本性问题。光是什么?光现象究竟属于哪一种过程?是机械过程,还是电磁过程,还是更复杂的过程呢?必须回答这些问题,才能使我们比较彻底地了解光现象,掌握光的关键问题(光的本性或本质),并进一步掌握有关光本性方面的规律,才能更好地利用它来为生产服务。物理光学这门学科的任务就在于研究光的本性及其规律性,以及它在生产方面的应用。物理光学的系统,是和光的学说的发展史有密切联系的。因此,

我们先介绍光的学说的发展简史。

在光的本性问题上，许多世纪以来曾经同时存在着互相矛盾的论点。但是随着新的光学现象的发现，以及新的光学实验方法的应用，人们对光的现象的认识不断加深；新的理论便代替了旧的理论，使光的学说逐渐趋于完善。光的学说的各个发展阶段之间，常常在基本论点上有着不可调和的矛盾，这种矛盾促进了学说的发展。光的学说的发展史十分明显地表现出它的辩证法特点；因为它显示了：对立的、互相矛盾的论点的斗争，推动了人们认识的深化和光的理论的发展。按照历史发展程序来说，代表性的光的学说有微粒说、波动说、电磁说、量子说四方面。在本章中，将简单地介绍前两类学说，其余的分别在以后几章中介绍。

在十七世纪末期，牛顿提出了光的微粒学说<sup>①</sup>。据他看来，光是由一种具有完全弹性的球形

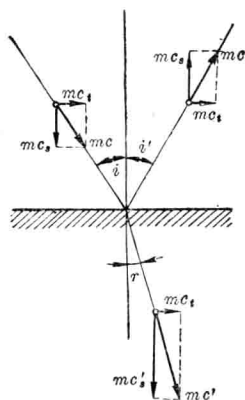


图 1-1 微粒学说对反射和折射现象的说明

微粒大量地聚集成功的，这些微粒以高速度作直线运动，并且只有在媒质发生变更时才会有速度的变化；速度的变化则用媒质对微粒的作用力来解释。

图 1-1 是微粒说对反射和折射现象的说明图。设微粒在真空中具有速度  $c$  和质量  $m$ ，则它的动量便是  $mc$ 。当微粒斜向着媒质的分界面飞射时，动量  $mc$  可以分解成平行于界面的分动量  $mc_t$  和垂直于界面的分动量  $mc_s$ ，这些分量在真空中保持不变。但当微

<sup>①</sup> 发表于 1704 年的《光学》一书中。

粒一旦透入媒质界面，那就会受到媒质的冲击力。牛顿认为这种力的方向应当垂直于界面，并且对于某些微粒表现为排斥力而对另外一些微粒则表现为吸引力。凡受到排斥力的微粒，在钻进界面以后，分动量  $mc_s$  在短距离内减小到零并被迫逆转方向，而分动量  $mc_t$  则方向大小不变。总的说来，受排斥力的微粒，在透穿一短距离后就回出界面，并依反射定律确定的方向进行。

至于那些受到吸引力的微粒，则由于力对于分动量  $mc_s$  的影响，使其数值变大为  $mc'_s$ （力的加速作用）。但分动量  $mc_t$  则大小方向不变，因此在媒质中的合动量  $mc'$  的数值增大了，方向则更靠近界面法线。这就是折射作用的说明。

牛顿的论点基本上是错误的，但也不能认为完全没有意义。在折射的解释里，由图看得出：
$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{mc_t/mc}{mc_t/mc'} = \frac{c'}{c}$$
，这就给折射率以一定的物理意义，指明它是光微粒的两个速度之比。而这在斯奈尔确定折射定律时，却没有提到过。此外，微粒学说在一定程度上指出光的“微粒性”，这在近代的学说中仍被保留着；不过要注意，近代的“光的两重性学说”中提到的微粒性是有着更深刻、更复杂的意义的。

微粒说的结论认为：光在媒质中行进时，折射线靠拢法线，这是和实验符合的。但同时又认为：媒质中的光速应当大于真空中的光速，即  $c' > c$ ；这个不符合事实的结论由于当时的实验水平还比较差，所以没有得到反驳。但在 1850 年，傅科用高速旋转镜法，测定光在水中的速度约是空气中速度的  $3/4$ ，就明确地证明了微粒说的谬误了。此外，在 1675 年勒麦曾经用天文学方法测定光在真空中的速度约是 215000 公里/秒。具有这样巨大的速度的粒子流，在当时是很难想象

的,尽管勒麦的实验当时还没有被科学界所深信,但也给微粒论者带来一定的困难。

和牛顿同时代的惠更斯提出了原始形式的弹性波动学说。他认为光是在一种特殊的弹性物质——“光以太”中进行的弹性机械波动。这个学说是根据光现象和声现象间的类似性得出来的。按照他的看法(1690年发表的“论光”):光波是按球面形式传播开去的;如果光遇着障碍物上的开孔,则在孔内的光以太微粒发生振动并向障碍物后面发出球面形波。这个理论认为光是波动,但没有对光的波长、周期性等与波动有密切联系的概念加以解释,因此也不能说明那些与光波波长有关的现象,如“衍射条纹”等。但尽管如此,惠更斯的学说仍有其重要性,原因是他第一次指出光的基本特性之一——波动性。并且,根据他的学说,的确能够说明光在相同媒质或不同媒质中的传播方向问题,以及与此相关的反射和折射定律。在这些方面的论证方法,初级的光学当中还是经常引用着的。

直到十九世纪初期,惠更斯的原理得到了补充。在1802年托马斯·杨完成了光的双缝干涉实验,并且提出了“光干涉原理”,这种原理是在假设光波具有一定波长(或频率)的基础上来阐述的。稍后在1817年,他又根据菲涅耳和阿拉谷研究过的“偏振现象”和“偏振光的干涉现象”实验,提出光是横波的假设;这就初步补充了弹性波动学说。

1815年前后,菲涅耳根据干涉原理,并总结他自己和同时代学者关于干涉、衍射的多种实验;对波动学说作了更重要的补充。他的论点在后面要讨论,菲涅耳的补充在定量地处理光干涉、衍射问题上是很有用的。弹性波动学说也用来说明透明媒质的色散现象。

即使是经过补充以后的弹性波动理论，也是有许多缺点的。因为这理论包括着不少自相矛盾的假设，而难于自圆其说，其中主要的矛盾表现在光以太是否存在的问题上。鉴于波动是和物质分不开的，而弹性的机械波总是某种物质性媒质的微粒振动的传播过程，所以如果光真的是波动的话，那末假设一种物质性媒质的存在是完全必须的。这种假想的媒质（当时把它叫做“光以太”）的质点的振动便产生了光波。力学中的弹性波的性质知道得比较早，这方面的例子象地震时地壳中传播着的“地震波”，以及机车在铁轨上行驶时轨道内部激起的应力波等。因此只要将力学中的弹性波和光学现象联系起来加以对比，就能推测到光以太必须具有的特性：

(1) 由于光能在真空和透明物体中传播，因此“光以太”必须均匀地弥漫在宇宙之间，并且能渗进各种物体内部。

(2) 弹性体力学能够证明：横波只能在固体中激发，它的传播速度是和固体的性质有关系的，并且可以用公式：横波速度 =  $\sqrt{\frac{\text{切变模量}}{\text{密度}}}$  来计算。既然在实验中已经确定光是横波，并且有每秒三十万公里的高速度，那末，作为波动的负载者的“光以太”必须是切变弹性极强（比钢铁的大千万倍），但密度却又是微不足道的透明固体。这种东西的存在显然和我们的经验相违背，因为很难想象其他物体在它里面运动时竟会不受到阻力。

(3) 此外，弹性体力学的理论和实验都证明了，在固体里面激起横波时，一般地伴同着会激起纵波，而且后者的传播速度比前者还要大些。但光的偏振实验却十分肯定地证明光是一种“纯粹的”横波，丝毫不含任何纵的振动。这样看来为了解释这种事实，还必须认为“光以太”和一般透明固体有区

别,它在性质上更为复杂。又因为光在不同媒质中速度不同,所以还必须假定在不同媒质中(如水和玻璃)的“以太”,也是有差别的。总之波动学说指出光本性的一方面——波动性,但在解释光是哪一种波动这个问题上却弄错了。

弹性波动学说在以太问题上的矛盾,在1871年首先被麦克斯韦的电磁学说部分地解决了。麦克斯韦的学说起源于总结电磁学中的几个经验定律,并在这基础上预言电磁波的存在——这在1888年由赫兹的实验所证实。电磁学说认为光也是一种电磁波,这学说假设另一种媒质“电磁以太”的存在,它本身是不动的,但它的状态则能够作周期性变化,并且以一定的速度传播,这学说和它的各项推论在当时是和各种光学实验的结果相符合的,因此在光的认识上我们又跨进了一步。麦氏的理论称为“经典的”光的电磁波学说。他的论点发表在1864年的《电磁场的动力学》一书。

在1881年迈克尔孙和摩莱根据长时期实验的结果,相当精密地证明了:不论观察者如何在运动,所测定的光速总是一个常量。1905年爱因斯坦依据这个实验基础作出了狭义相对论,认为以太的存在是不可能被证明的,这是相对论电动力学的一个论点。

后来发现的光电效应和其它一些实验又启发人们去认识光的另一特性——微粒性或粒子性,认为光在发射或被吸收的时候,它的能量是一份份的,每一份能量叫一个“量子”(能量微粒),这就是旧量子论的基本观点,在二十世纪二十年代,旧量子论又发展成“量子力学”和“量子电动力学”,这些学科是以微观客体的波粒二象性(两重性)为基础的现代理论;按照现代的观点光是同时具有微粒性和波动性的,光的微粒性表现在传播过程中或与其它粒子发生相互作用时,象一颗颗

分立的,不连续的粒子(早期称为量子,后期改称为光子);光的波动性表现为光子在空间中的分布可以用一种抽象的波动来描写——叫作“几率波”,光子的几率波是和旧的经典电磁波的性质一致的。

马克思列宁主义告诉我们:客观过程的发展是充满着矛盾和斗争的发展,人的认识运动的发展也是充满着矛盾和斗争的发展,一切客观世界的辩证法的运动,都或先或后地能够反映到人的认识中来。正是这样,由于光现象本身充满着矛盾——最突出的是微粒性和波动性的矛盾,这就反映到人们对光认识的分歧上。历史上微粒说和波动说曾经从十八到十九世纪并存着一个长时期,并曾引起激烈的争辩,这刺激人们去从实践上来解决问题,而导致了理论的提高和认识的深刻化。

## 二、光的波阵面和光线

由于光具有波动性,所以在运用光的弹性波学说和电磁波学说来解释光波和光波的相互作用时,常能得到和实验相接近的结果,如反射、折射、干涉、衍射、偏振等都是。在初级光学里,可以用弹性波动学说或电磁波的理论作为基础,来讨论这些问题,而暂时不牵涉到光的量子论。这样做不致于发生误会,而在接受概念和数学处理方面却有许多便利之处。

我们先来讨论波的两个重要概念——光波的**波阵面**和**光线**。波阵面指的是在波动存在的那个区域里,振动位相相同的那些点的轨迹,它通常是个曲面。一般可以从球面波和平面波两种情况,用实际例子来说明波阵面的意义。

(1) 球面波(图 1-2) 假定在各向同性的媒质里,有一

个波源  $O$ , 它和媒质连在一起并且作着谐振动, 便在它的四周

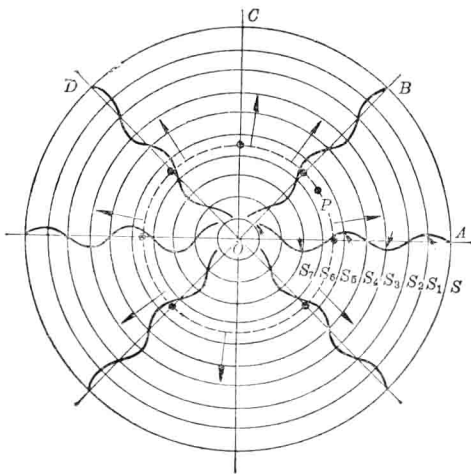


图 1-2

的媒质里产生波动。由于媒质的物理性质沿着各个方向都是相同的, 所以波沿着各方向的传播速度都相同。经过一定时间  $t$  后, 媒质中的扰动将达到一个用球面  $S$  所表示的位置, 而在  $S$  所包括的区域里的所有质点都处在振动状态之中。为了区别这些点的振动状态, 我们可以设想, 当波动没有产生以前, 所有质点可以看作静止地排列在从  $O$  出发的辐射线上。当  $O$  开始振动后, 这种振动便挨次地传递到周围的质点。因此在经过时间  $t$  后的一瞬间, 各质点排列在一系列辐射形曲线上, 它们都是波浪形状, 但振幅随着离开波源的距离而减小。在媒质中扰动所到达的最终位置用球面  $S$  表示。设波的传播速度是  $v$ , 容易看出:  $S$  的半径是  $R = vt$ , 这个球面上的媒质质点刚刚要开始振动, 因此它们的位相(用角度来表示)都是



零。再里面去一些有一个球面  $S_1$ ，它上面的质点都具有最大的位移，因此位相都是  $\frac{\pi}{2}$ 。更里面一些的球面  $S_2$  上的质点的位移又是零，而位相是  $\pi$ ；依此类推， $S_3$  相当于  $\frac{3\pi}{2}$  的位相， $S_4$  则相当于  $2\pi$  的位相，……。上述的每一个球面代表一定的振动位相，同时也代表一定的位移，因此称为**等相面**，又称为**波阵面**。图 1-2 里的波阵面是每隔四分之一波长画上一个的。容易看出，波阵面是无数多的，每经过空间的一点，就可以画一个波阵面，来代表那一些质点的振动状态。波阵面中最前面的一个  $S$  称为**波前**，它代表波所到达的最终位置。还必须注意：波是以一定的速度  $v$  来传播的，每一个代表一定位相的波阵面（例如代表  $\frac{\pi}{2}$  位相的  $S_1$ ）也应当看作用这个速度来传播，因此波的传播速度也可以看作是：代表一定位相的波阵面的传播速度。上述那种波称为球面波。

(2) 平面波 这是指波阵面是互相平行的平面的那种波。这种波可以用图 1-3 所表示的方法产生。在一块弹性媒质的一端贴上块平板，并使板作谐振动。这样，原先处在平行直线  $AA'$ 、 $BB'$ 、 $CC'$  等上面的质点，在开始激发后，都形

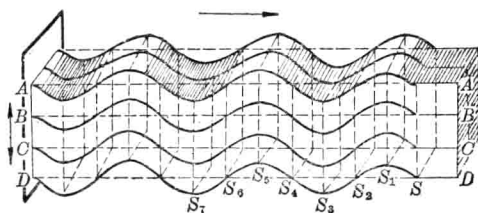


图 1-3