

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

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  
上海教育出版社出版  
(上海永嘉路123号)

新华书店上海发行所发行 上海群众印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 5.625 字数 129,000

1960年5月第1版 1979年4月第11次印刷

印数 217,001—447,000本

统一书号：7150·876 定价：0.50元

# 目 录

<b>第一章 光的学说发展简史和光的波动学说的基本概念</b> .....	1
1. 光的学说的发展简史及其哲学意义.....	1
2. 光的波阵面和光线.....	8
3. 惠更斯原理及其应用.....	12
<b>第二章 光的干涉现象</b> .....	17
1. 光的干涉的意义和实例.....	17
2. 光波能发生干涉的条件、光波干涉的基本原理.....	19
3. 用干涉实验测定光波波长、菲涅耳双面镜干涉实验.....	26
4. 定域干涉(薄膜干涉)原理、楔形空气膜和牛顿圈.....	30
5. 透明媒质薄膜的干涉原理.....	34
6. 干涉现象在科学研究和工业生产上的应用.....	38
7. 干涉的实验技术.....	45
<b>第三章 光的衍射现象</b> .....	51
1. 光的衍射现象的意义和实例.....	51
2. 用波动学说解释产生衍射的原因.....	54
3. 惠更斯-菲涅耳原理及其用法.....	57
4. 衍射类型、菲涅耳型衍射的实例、日光和灯光下不易 观察到衍射条纹的原因.....	59
5. 夫琅和费型衍射原理和例子、衍射依赖于波长和开 孔大小的关系.....	70
6. 光栅和光栅光谱.....	77
7. 光栅的类型和构造.....	80
8. 衍射的实验技术.....	81

<b>第四章 光的色散现象和光谱</b> .....	89
1. 色散现象和实例、棱镜光谱和媒质色散特性.....	89
2. 物体的颜色及其解释.....	95
3. 光谱的重要性、光谱学和光谱仪器.....	99
4. 光谱的分类、光源和发射光谱.....	104
5. 吸收光谱和基尔霍夫定律.....	107
6. 光谱分析和它的应用.....	109
7. 色散、光谱的实验技术.....	116
<b>第五章 不可见射线、电磁学说、量子学说、光和质粒的     两重性原理</b> .....	126
1. 紫外线的研究和它的性质.....	126
2. 红外线的研究和它的性质.....	127
3. 荧光和磷光的性质、紫外线和红外线的应用.....	129
4. 伦琴射线的性质和应用.....	133
5. 光的电磁学说和电磁波谱.....	138
6. 光的量子学说、光和物质的各种作用.....	141
7. 光电现象和它的应用.....	146
8. 光的两重性和质粒的两重性.....	159
<b>附录 复习题</b> .....	166

# 第一章 光的学说发展简史和 光的波动学说的基本概念

**1. 光的学说的发展简史及其哲学意义** 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?也必须回答这些问题,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**这门学问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被发现,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:微粒学说、弹性波动学说、经典电磁波学说、相对论电磁场论、量子学说、光的两重性理论等;在多数课本中为了简单起见,将它们归纳成微粒说、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**。据他看来,光是由一种具有完全弹性的球形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。牛顿

从这种论据出发说明了光的直进现象、反射定律和折射定律。

图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喷射时,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

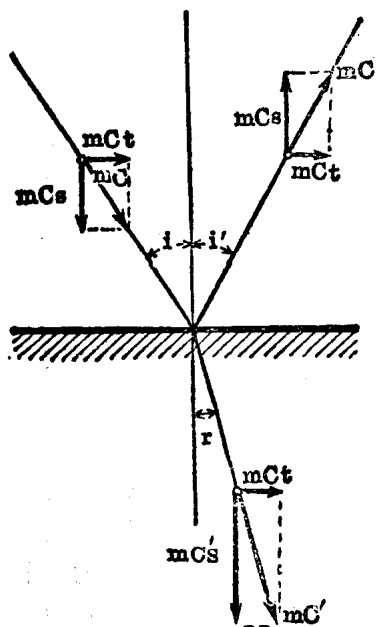


图1 微粒学说对反射和折射现象的说明

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  $mC_i$  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  $mC_i$  的影响，使其数值变大为  $mC'_i$ （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”，这个特性在近代的学说中还有其意义；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：光在媒质中进行时，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——“以太”中进行着的弹



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。但尽管这样，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的比较早,这方面的例子象地震时地壳中传播着的“地震波”,以及机车在铁轨上驶行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

$$= \sqrt{\frac{\text{固体的切变模量}}{\text{固体的密度}}}$$

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。这样看来为了要解释这种事实,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“光以太”,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,首先被 1871 年麦克斯

韦的电磁学说部分地解决了，他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①。

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。

按照现代的观点看来，光本身是一种特殊的物质，它和一般概念中的质粒（如电子、原子）同样是客观存在的实体，只不过形式不同而已，所以并没有必要去树立一种实际上不存在的“以太”概念来解释光的性质。

光电效应和其他实验又启发人们去认识光的另一特性——**微粒性**，认为光的辐射和吸收是以**量子**（能量微粒）作为单位的，这是旧的量子论的基本论点。最后量子论又发展为光的两重性理论，认定光（以及其他各种电磁波）是兼有着波动性和微粒性的特殊物质。

毛主席的实践论和矛盾论告诉我们辩证唯物主义的认识论、认识发展的规律、矛盾发展的特点和规律。这就很好地说明了光学发展史的哲学意义。“实践论”指出：“人类认识的历史告诉我们，许多理论的真理性的不完全的，经过实践的检验而纠正

① 麦氏最早的论文是“电磁场的动力学”，发表在1864年。

了它们的不完全性。许多理论是错误的，经过实践的检验而纠正其错误。”<sup>①</sup>光的微粒学说是完全而且基本上是错误的，经过各项实验（光速的测定、干涉、衍射等），在弹性波动学说中得到纠正，但后者依然是不完全的而且仍旧有错误（如在“以太”假设上），因此通过电磁波实验和推理，纠正了光是弹性机械波的看法而认为它是电磁波。以后迈克尔孙的实验又否认了以太的存在；而光电效应和其他实验则纠正人们对光只是波动的片面看法。以后我们要讲到，光的两重性学说也是通过“电子衍射”一类实验得到证实的。两重性学说的特点是它将过去一切关于光的实践和各阶段中的理论（都带有片面性的）加以总结和加工，而获得光的现象的比较完整的图画——也就是比较全面性的认识。

毛主席在“实践论”中指出：“认识的过程，第一步，是开始接触外界事情，属于感觉的阶段。第二步，是综合感觉的材料加以整理和改造，属于概念、判断和推理的阶段。”<sup>②</sup>在各个历史阶段中出现的代表性的光本性理论，正好是反映那个时代人们根据在实践（包括实验、观察和生产）中所获得的感性知识加以判断和推理所得结论。但是“只有感觉的材料十分丰富（不是零碎不全）和合于实际（不是错觉），才能根据这样的材料造出正确的概念和论理来”。<sup>③</sup>光的微粒说正是在极端缺乏感性材料下作出的结论，因而得出了“光微粒”等错误概念。同样，波动学说也是在缺乏感性知识的情况下获得的理论，因为在那时生产规模小，人们还不认识电磁波、光电效应等以及与之有关的实践，所以波动学说有片面性和错误，这至少表现在“以太”的假设和错误

① “毛泽东选集”第一卷，人民出版社1952年第二版，第281~282页。

② “毛泽东选集”第一卷，人民出版社1952年第二版，第279页。

③ 同上书。

光是机械弹性波这些方面，但由于这学说能同较多的光学实践相符合，我们说它比微粒说推进了一步。电磁波学说(经典的和相对论的)、量子学说、两重性学说等则一个比一个更接近实际、更趋于完全。但是，它们也都只是对光的一定程度的了解，都是相对真理，即使是站在时代尖端的光的两重性学说和“量子光学”、“分子光学”，也只能说是现阶段人们认识到的最符合实际的理论，却不能说它是绝对真理，因为还有某些光学现象不能彻底解释清楚。我们对光的认识还有待发展。

马克思列宁主义承认：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18—19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。电磁学说、量子学说等的发展也有类似的情形。理论的提高促进了生产力的发展，譬如光谱学的应用和它在各项生产事业的重要作用是人们熟悉的，光电自动控制、光干涉量度仪器、伦琴射线等也是显著的例子。

我们在学习光学发展史的时候，要运用辩证唯物主义的观点来加以分析。应该着重指出：人们对光的理解，是个认识深化的过程。因此，我们在以后的学习中，基本上是按着从弹性波动理论逐步过渡到光的两重性理论这个认识程序进行的。

**2. 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的理论作为基础，来讨论这些问题，在必要时再以电磁波学说作补充，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。可以从球面波和平面波两种情况，从实际例子来说明波阵面的意义。

(1) 球面波(图2)。假定在各向同性的媒质里，有一个波

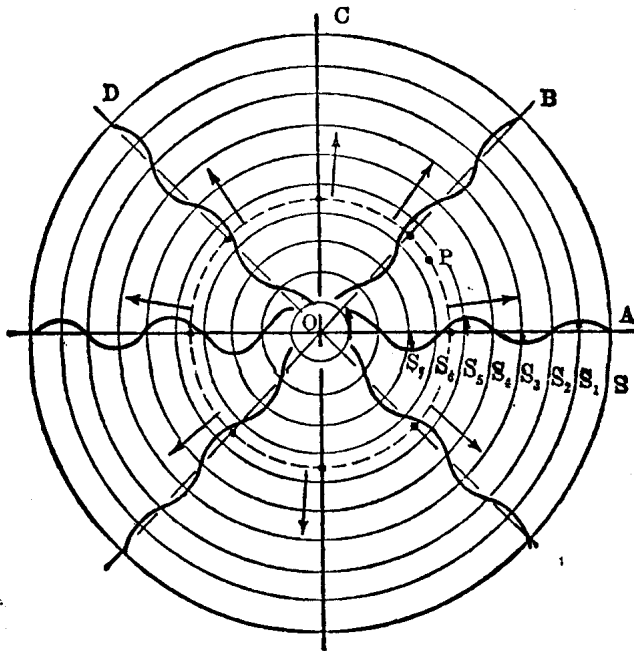


图 2

源  $O$ ，它和媒质连在一起并且作着谐振动，便有波动产生在它的四周的媒质里。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，所有质点可以看做静止地排列在从  $O$  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 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 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,都形成正弦形曲线。容易看出波阵面是彼此平行的平面  $S$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、……,这里代表零位相的平面  $S$  便是波前。

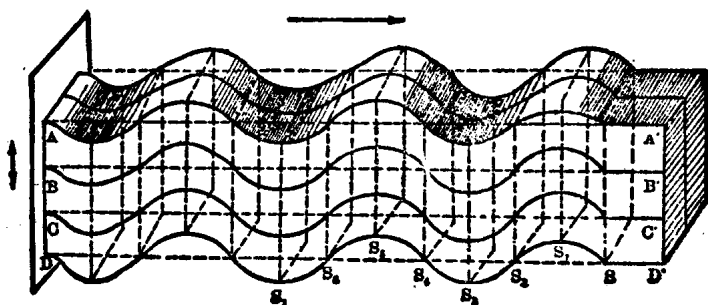


图 3

点状光源(例如汽车灯泡、小的灯焰)所发射的光波可以看作球面波,但离开光源极远地方的一部分波则可以看作是平面波(因为半径极大的球面,是可以看作平面的)。由于这个缘故,到达地面的阳光可以看作是平面波。

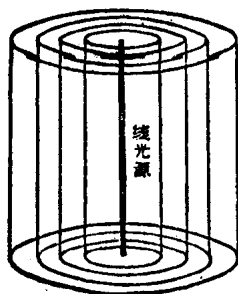


图 4

除上述两种以外,圆柱面波在光学里也很重要,它的波阵面是共轴线的圆柱面,线形的电灯丝或者一个照亮的直的透明缝都能够产生圆柱面波(图4)。

和光的波阵面密切相关的另一概念是光线,它代表波阵面在空间各处的传播方向。因为光波是横波,所以在空间的各点上,光线和波阵面应当严格垂直。



**3. 惠更斯原理及其应用** 这是波动的基本原理,它没有直接的证明,其正确性只能从它的推论和实验在多方面能符合这一点来证实。它的用处在于能确定波阵面的传播方向,因而也能够确定光线方向,但并不能够解决波的强度、位相变化等问题,因而有一定的局限性。

惠更斯原理可以从下面的简单实验中看出它的根源(图5a)。设有一个任意形状的波 $W$ ,向着障碍物 $KK'$ 推进(它上面有个小孔 $O$ )。容易观察到,在小孔 $O$ 的后面有球面波 $W'$ 从 $O$ 发出。这现象就会使人很自然地联想到: $W'$ 产生于 $O$ 处传来的扰动,也就是说 $O$ 点可以被看做新的波源,这个波源显然是由原入射

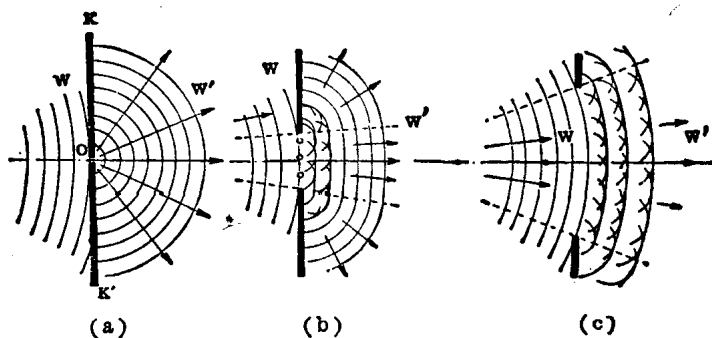


图 5

波 $W$ 的一小部分所构成的。如果象图 5(b)那样将孔 $O$ 放宽,那末 $W'$ 的波阵面的形状就有了些改变,正对开孔的部分大体是和原入射波 $W$ 的形状相同,但边缘部分则是球形的。要解释这点,我们可以假设:凡到达孔的每一个波前,它上面的各点都可以被看作波源,而这些波源各自发出球形波(惠更斯称这种波为子波),它们迭合的结果便形成 $KK'$ 后面的波 $W'$ 。显然,从孔边缘上发出的子波应当保留一部分球形形状。如果象图 5(c)