

光的波动学说的有序发展

王较过 季淑莉

(陕西师大物理系 西安 710062)

光的世界,五彩缤纷.人类对光的认识经历了由现象到本质、由简单到复杂、由个别知识积累到形成光学知识结构等一系列循序渐进、螺旋上升的过程.不同时代,光学形成不同发展时期和知识结构,随着科学技术的发展,光学知识结构不断更新和完善,人类对光的认识也不断变化.本文对光的波动说的发生、发展和完善作一初步讨论.

一、萌芽时期

17世纪中叶,已经发明并制造了望远镜、显微镜等光学仪器,发现了光的直线传播定律,光的独立传播定律,光的反射和折射定律,费马原理等规律,人们已认识了光的几何性质,初步建立了几何光学知识的基本结构.与此同时,人们又发现了一些违背几何光学知识的现象.意大利格里马尔迪(F. M. Grimaldi, 公元1618—1663)通过观察放在光束中小棍的影子发现衍射现象和双光干涉.1669年,丹麦科学家巴塞林(公元1625—1698)发现光的双折射,这些现象的发现在光学发展史上有重大意义,因为用当时已有的几何光学知识解释这些现象遇到极大困难,它迫使人们对光的行为和本性进行新的认识.

格里马尔迪为了解释衍射及双光干涉现象,假定光是以极快速度传播、能够作波浪式动作的流体.英国物理学家胡克(Hook Robert, 公元1635—1703)主张光是一种振动.他指

出:在均匀媒质中,光的振动“在各个方向上都以相等速度传播,于是发光体的每一脉冲和振动都必须形成一个球面,这个球面将不断扩大,如同投石于水中后引起的越来越大的球状波一样.”荷兰物理学家惠更斯是波动说的创立者,他在1678年《论光》中明确指出:“光同声音一样,是以球面波传播的.这种波,同石子投在平静的水面上所形成的波相似.”他提出了惠更斯原理,形成了比较完整的惠更斯波动理论.惠更斯波动理论很好地解释了反射折射及双折射现象,解释干涉和衍射现象也获得了一定的成功.但是由于时代的限制,惠更斯波动学说有很大缺陷.在惠更斯时代,人们只知道纵波,惠更斯认为光也是一种纵波,因此这种理论不能解释当时已发现的偏振现象.此外,由于17、18世纪经典力学已经建立并取得很大成就,人们总想用经典力学的概念描述并解释光学现象,因而光的波动学说没有被立即承认,一百多年后,到19世纪初,由于托马斯·扬(T. Young 公元1773—1829)和菲涅耳(A. Fresne 公元1788—1827)等人的工作才使光的波动说重新兴旺并向前发展.

二、发展时期

19世纪初期,是波动光学发展的辉煌时期.首先,出现了杨氏的第一个光学研究,杨氏提出“光波”一词,引入“波长”的概念,清楚的表述了光波干涉.他还用波的叠加原理解释了薄膜的颜色和牛顿环,并做了著名的杨氏实验.杨氏根据实验结果,运用波的理论,首次计算了光波波长,尽管测量结果误差较大,但确定无疑的告诉人们光波的波长很短.

法国工程师菲涅耳对创立光的波动理论做出了巨大贡献,他认为自然界应遵守简单性和

1985年核工业部授予他劳动模范称号,全国总工会授予他“五一”劳动奖章和全国优秀科技工作者称号;1987年国务院授予他全国劳动模范称号.由于他在核武器科学技术上的卓越贡献,1982年他作为主要完成者获国家自然科学

一等奖,1985年以排名第一、1987年以排名第二、1989年以排名第一三度获得国家科学技术进步奖特等奖.1992年获光华科技基金特等奖,1994年获求是杰出科学家奖.他是第六、七、八届全国政协委员.

统一性，正是这个信念使他偏爱光的波动概念。菲涅耳对光学的研究是从1814年开始的，首先他思考光是波动的假设，做衍射实验研究，实验使他更加确信光是一种波动的假设，并把这一假设逐步发展为比较全面的理论。

菲涅耳最早的实验研究是：考察一束光照射一根头发或带状物发生的衍射现象，他给带状衍射物的一边贴一张黑纸，发现带状衍射物阴影内部的条纹消失，他从这一现象得出结论：阴影内部的条纹取决于从带状衍射物两边绕射进阴影内部的交叉光线。带状衍射物一边贴上黑纸后，另一边阴影外面的条纹仍然存在，菲涅耳认为这些条纹可能起因于由光源发出的和由带状衍射物一边绕射的交叉光线。通过研究，菲涅耳发现，从物理学方面考虑，如果认为光是一种波动，用声学理论中的干涉原理就能够解释衍射现象。在某一位置，组成光线的振动位相相同，它们互相加强，就出现明亮的带状条纹，介于明条纹之间的暗条纹所在处，振动由奇数个半波长的光振动组成，它们之间互相抵消。菲涅耳还根据实验事实写出了一个简单的代数关系式表示条纹位置、光波波长、交叉光线的路程差等之间的关系，并且用单色光的红光做实验，测定光源、带状衍射物、接收屏之间不同距离时条纹的位置，测量结果与公式的计算吻合，1815年10月，菲涅耳公布了这些结果。但是，在菲涅耳的论文中，混用了“光线”、“振动”、“拐折”、“衍射”等词，他对衍射的论述缺乏精确性和理论基础，因而还远远没有建立衍射理论。

菲涅耳经过继续研究后，以波动理论为基础，把干涉原理同惠更斯原理相结合处理衍射问题。他假设：在沿通过衍射物的波前的圆弧上，每一点都产生互相干涉的初级子波，问题就是确定所有子波到达衍射物后任一点所产生的振动。要确定某一点的振动，数学方面的问题是十分难的。菲涅耳解决问题的思路是正确的，但是此时他没有完成数学计算，因而未能对衍射现象做出满意的数学表述。几个月后，菲涅耳在1816年7月15日的论文中公布了这一研究成果。

1818年，正当菲涅耳研究光的偏振问题时，他得知法国科学院悬赏征求解决光的衍射问题的论文，并把它做为1819年的科学竞赛题目，菲涅耳立刻投身于这次科学竞赛。他以惠更斯原理同干涉原理相结合为基础建立起他的图象，他认为，在每一点的干涉结果是不同的，如果波前一部分终止在某些障碍物上，则需要考虑波前其余部分的作用结果。例如，在图1中，AG表示屏板，C是光源，AME为正好到达A处的波阵面，它有一部分被不透明的屏板AG所阻挡。要计算衍射屏后任一点P点光的强度，就必须求出到达A点的波阵面AME上的初波向P点发出的所有次波的合效果。这一效果可由菲涅耳积分求得，他的计算结果与实验完全吻合一致。由此，他成为这次竞赛的优胜者。泊松(Poisson)是这次竞赛的评委之一，他验证菲涅耳理论，把它应用于圆盘衍射时，根据计算，在圆盘的中心，应该观察到亮斑。专门设计的实验证实了这一点，从而更加说明了菲涅耳理论的正确性。

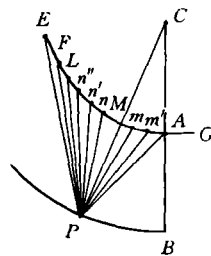


图 1

光的偏振和双折射表现出光现象的不对称性，在光的波动理论发展过程中，它曾向波动概念提出了最严重的挑战。菲涅耳在早期研究中，大胆寻找光现象的不对称性和波动概念之间的一致。

菲涅耳研究偏振光的思路分为两步：首先他通过实验比较偏振光和普通光的差异。1816初，他与阿拉果的实验没有发现偏振光与自然光的差异。菲涅耳怀疑他们实验的结果，几个月后又做了新的实验，得到的实验结果表现出偏振光和普通光是不同的，在阿拉果的帮助下，他证明了在自然光干涉的情况下，偏振面互相

垂直的偏振光不相干涉。他由此提出假设：组成光的振动不是横向的就是纵向与横向的结合。其次，菲涅耳研究圆偏振光、偏振面的旋转、双折射等现象。1817年11月，菲涅耳发表了他的研究成果，圆偏振光对于它传播方向的轴对称，但其他方面的特性跟偏振光一样。他指出，如果认为圆偏振光是由两个互相垂直的平面偏振光组成，并且它们位相相差四分之一波长，圆偏振光的这些特性必然发生。1818年3月，菲涅耳又一重要的研究表明，通过石英或某一液体光的偏振面的旋转取决于弱的双折射和圆偏振的迭加。通过研究菲涅耳逐渐认识到，组成光的振动只能是横向的，1821年，他在化学和物理年鉴发表论文，公开提出他的观点，光波是纯粹的横向振动。

菲涅耳把横波的概念应用于双折射的研究，起初，他发现用旋转的椭球面的交叉半轴能精确地表示光的速度，对于单轴晶体，这一发现给出了普遍意义，但是，把它应用于双轴晶体就不完全适用了，后来菲涅耳用三个不对称轴的椭圆代替旋转椭圆，把它应用于双轴晶体能够表述双轴晶体中光的速度。经过反复实验和探索，他于1821年建立了单轴和双轴晶体双折射的可靠理论。至此，光的干涉、衍射、偏振、双折射、偏振面的旋转等一系列波动现象都得到解释。但是，光波到底是一种什么形式的波人们还不清楚，这需要进一步的探索。

三、形成时期

19世纪上半叶，尽管光的波动假说已经确立，但对光波的本质还是没有了解。起初，人们把光的振动看成类似于固体中横向振动的弹性波，弹性波的传播需要媒质，但确切的事实表明，光在传播中不需要任何物质，为了说明光在真空中的传播，人们称载着光振动通过空虚空间的介质为以太，并给以太假设了许多性质。然而，对于以太而言，没有一种弹性理论能够说明在以太中只存在横波而没有纵波，这就令人费解。由于这些原因，当时很多人认为，“菲涅

耳的理论只是一种描述的手段，而不能表示现象的物理实质。”随着电磁理论的建立，光学有了新的突破。

1865年，麦克斯韦发表《电磁场的一个动力学理论》，文中提出了电磁场方程组，根据方程组推导出磁的波动方程和磁扰动的传播速度， $v = c / \sqrt{\mu}$ 这一结论同他1862年根据经验推导出的电磁波的速度公式完全一致。在公式 $v = c / \sqrt{\mu}$ 中， μ 是磁导率，它为介质的一个常数，在真空中 $\mu = 1$ ，所以 c 就是电磁波在真空中的传播速度。通过研究，麦克斯韦发现， c 和光速是“大小相同的量”，他由此得出结论，电磁波在真空中的速度等于光速。他说这一事实使“我们有充分理由断定光本身（以及热辐射和其他形式的辐射）是以波动形式按电磁波的规律传播的一种电磁振动。”

麦克斯韦的预言是否正确，还需要实验的验证。1888年3月，赫兹用驻波的方法测出了电磁波的波长，计算出电磁波的速度等于光速，这不仅证实了麦克斯韦电磁波预言的正确性，而且为证明电磁波与光波的同一体性迈出了重要的一步。赫兹通过进一步的实验证明，电磁波基本上沿着光路传播，它具有反射、折射、干涉、衍射、偏振等性质，即具有光的一切特性。这样就从实验上证明了电磁波与光的同一体性，确立了光的电磁理论，证实麦克斯韦预言的正确性。电磁波有电矢量和磁矢量，那么光振动到底是电矢量还是磁矢量呢？1890年，维纳做了著名的实验—维纳驻波实验，通过实验他发现，在光的效应中，电矢量是主要的，磁矢量对感光不起作用。这一结果说明光矢量是电磁波中的电矢量。至此，人们不仅认识了光的波动特性，而且认识了光是电磁波的本质。作为人类对光认识的一个阶段，波动光学的大厦已基本建成。但是，人类对光的认识并没有就此结束，随着科学的发展和现象的发现，人类对光的认识还在不断深化，这种认识永远不会终结。