

# 菲涅耳和泊松亮点\*

艾宝勤

(郑州轻工业学院基础部, 郑州 450002)

**摘要** 介绍了 1818 年法国科学院举行悬奖征文竞赛的历史背景, 真实地再现了菲涅耳获奖的历史过程, 并对有关这段历史科学界存在的一些不符合实际的想法予以澄清.

**关键词** 衍射, 微粒论, 波动论, 泊松亮点

在 1818 年法国科学院举行的悬奖征文竞赛中, 法国年轻的物理学家、光的波动论的积极支持者——菲涅耳取得了竞赛的胜利. 这是光学发展史上一个非常吸引人的故事. 本文真实地再现菲涅耳获奖的历史过程, 澄清长期以来在科学史中流传的关于这段历史的不符合实际的一些说法.

## 1 历史背景

17 世纪末期, 光的本性已经成为物理学家争论和研究的焦点问题. 惠更斯 (Huygens) 在他 1690 年出版的《光论》一书中, 明确地论证了光是波动(认为是以太纵波), 并运用子波和波振面的概念, 引进了一个重要原理, 即著名的惠更斯原理. 借助这个原理, 惠更斯成功地推导出反射定律和折射定律. 此外, 他巧妙地提出了椭球波的设想, 解释了冰洲石的双折射, 并在这个问题的研究中, 发现了偏振现象, 但由于他把光看成象声波一样的纵波, 所以不能解释这个现象. 他的波动理论也不能解释干涉和衍射, 因为那时还没有建立周期性和位相等概念. 而当时的牛顿力学已经初步形成严密的理论体系. 牛顿把力学的方法搬到光学中来, 以符合力学规律的粒子行为来描述光学现象. 他通过现今称作牛顿环的实验对干涉现象做了十分精采的研究, 用微粒与障碍物体的相互作用力来解释衍射, 并证明白光可以衍射成各种颜色的光. 同

时, 牛顿利用他的微粒理论, 轻而易举地解释了光的偏振现象. 相比之下, 早期的波动理论缺乏数学基础, 还很不完善, 而牛顿力学正节节胜利, 被认为是唯一合理的理论. 因此, 直到 18 世纪末, 占统治地位的依然是微粒理论.

19 世纪初叶, 波动理论又重新发展起来. 波动理论的复兴, 首先要归功于英国科学家托马斯·杨 (Thmas Young). 1801 年, 托马斯·杨提出了著名的干涉原理, 并对薄膜彩色作出了解释<sup>[1]</sup>. 为了验证自己的理论, 他设计了精采的实验, 即杨氏双缝实验. 1803 年, 托马斯·杨用干涉原理解释了在毛发阴影实验中出现的衍射现象. 尽管托马斯·杨对光的干涉和衍射都作出了很好的解释, 但是, 他的见解大部分是采用类比的方法定性表达的, 而法国科学界的牛顿学派在 18 世纪已经运用数理分析方法来研究光学现象. 因此杨的理论在当时不能得到公正的评价.

1810 年前后法国科学家拉普拉斯 (P. S. Laplace) 和毕奥 (J. Biot) 等将微粒理论扩展到物质粒子和光粒子之间的短程直接相互作用力方面的研究, 并将数学和物理学很好地结合起来, 成功地在光的粒子理论中运用了严密的数学概念<sup>[2]</sup>, 使微粒理论在光学中有了进一步的发展. 衍射现象是当时许多物理学家, 诸如托马斯·杨、菲涅耳、阿喇戈 (D. F. Arago)、毕奥

\* 1994 年 8 月 17 日收到.

等人的研究对象,曾观察到了在物体影子之外形成和传播的衍射条纹,观察到了当光束从两方面同时通过一个很窄的物体时出现在影子中的衍射条纹以及当入射光和反射光离宽度有限的表面很近的地方通过时,由于这个表面的反射而形成的衍射条纹.在物体附近,光线会发生弯曲,但是,还没有很好地确定光线在这种物体附近的运动情况.这些运动的性质是现代关于衍射问题的关键所在,对此必须更全面地进行深入的研究.当时,毕奥和拉普拉斯等人在衍射问题的研究中也并没有取得更多的成果.在他们的提议下,1818年巴黎科学院举行了一次关于衍射问题的悬奖征文竞赛,竞赛的题目是:

“(1)当直线传播的和被反射回来的光束,同时通过或单独通过一个或几个有限的或无限的物体的界面附近时,同时要考虑到这些物体之间的距离和它们到光源的距离,在这种条件下,利用精确的实验来确定这些光线的全部衍射效应.

(2)从这些实验中,用数学归纳法推导出光线通过物体附近时的运动情况.”<sup>[3]</sup>

## 2 光学发展史上的一个重要转折点

菲涅耳(A. J. Fresnel)从1814年开始研究光的衍射现象.1816年他向法国科学院提交了第一篇关于衍射问题的论文,并发表在这一年的《化学物理年鉴》上.论文中包含几点重要的见解.他反对关于衍射现象的微粒说解释.当时他并不了解托马斯·杨的早期工作,采用了和托马斯·杨非常相似的方法,通过干涉原理解释衍射现象.他设想,几何阴影外部的条纹是由直接光和从衍射体的边缘反射的光相干涉而产生的.然而,不久菲涅耳便放弃了这种解释.1818年,菲涅耳只有30岁,还是个不知名的学者,他毅然地参加了科学院举行的悬奖竞赛并提交了论文<sup>[4]</sup>.这篇论文的基本理论和1816年那篇大体相同,但提出了更有力的分析和计算,比1816年的论文有重要的创新.菲涅

耳的理论完全是建立在波动概念的基础上,他将惠更斯原理同干涉原理结合在一起.他认为,波前上每一点都是次波的波源,所有那些次波的叠加决定了屏上任意一点的光强.在这里,菲涅耳使用了干涉原理并考虑到位相关系,但在两个关键问题上和托马斯·杨有明显的不同.其一、托马斯·杨仅仅涉及到沿特殊光路传播的两束光的干涉,而菲涅耳则考虑到波前上所有点作用的结果.其二、托马斯·杨只讨论了同相和反相两种特殊情况的波的干涉,菲涅耳的解释则对任意的位相关系都适用<sup>[5]</sup>.菲涅耳精通数学,因此有条件在光学的数学理论方面做出特殊的贡献.在论文中,他讨论了几种情况的衍射,即衍射体分别为一个单缝、一个窄而不透光的物体和一个很长的直边.在衍射体和观察屏相对光源位置一定的条件下,菲涅耳通过积分(现在称为菲涅耳积分),计算衍射体的几何影外任意一点的光强和几何影边缘以及阴影区的光强.各种不同的衍射情况通过积分的不同限制表示出来,其定积分的结果提供了变化光强的表达式.著名的菲涅耳积分构成了他建立在波动理论基础上的严密的数学推理,推出的结果和实验非常一致.菲涅耳从这个观点出发,严格地把所有的衍射现象统一起来,并用公式予以概括,从而永恒地确定了它们之间的相互关系.

组成这次评奖委员会的委员都是当时法国科学界的著名学者,有拉普拉斯、毕奥、泊松(S. D. Poisson)、阿喇戈和盖·吕萨克(Gay-Lussac).后者是中立派,阿喇戈是波动论者,前三位都是光的微粒论的积极支持者.悬奖征文竞赛的整个思想,清楚地体现了拉普拉斯,特别是毕奥的观点.他们的本意是希望通过这次竞赛鼓励年轻的科学家用微粒理论研究这个重要而又难处理的衍射问题.多数评委是期望一个微粒论者,而不是一个波动论者获奖.他们也曾模糊地设想,竞赛的胜利者将会使微粒论达到完善的程度,从而取得微粒理论的决定性胜利.然而,事实却出乎他们的预料之外.

菲涅耳的论文在评奖委员会中和法国科学界产生了很大的影响,使得评奖委员中属于法国严密数学学派的微粒论的积极支持者大为惊讶,不得不叹服菲涅耳的才能.但他们对菲涅耳的理论和实验证据并不信服.评奖委员泊松在审查菲涅耳的理论时,把菲涅耳的方程用于圆盘衍射,导致一个似乎很离奇的结果;在圆盘后方一定距离的屏幕上影子中心应出现亮点.泊松认为这是荒谬的,是不可能的.在此关键时刻,阿喇戈用实验证实了亮点的存在<sup>[6]</sup>.实验的结果和计算是那样的一致,使得拉普拉斯、毕奥和泊松找不到任何理由反对菲涅耳建立在波动概念基础上的逻辑推理和出色的数学计算.评奖委员会只好将这届的科学奖授予了菲涅耳.然而,后人却戏剧性地把这个亮点称为泊松亮点.这是一段真实而有趣的历史.

在物理学史和科学哲学的许多著作中,往往都把泊松的亮点预言和阿喇戈成功的实验验证,说成是对菲涅耳波动理论的一个新颖的、强有力的支持,对菲涅耳的获奖起了一个关键的作用.诚然,1819年法国科学院举行的悬奖竞赛的结果是光学发展史上一个重要的转折点.菲涅耳的成功发出了一个微粒理论的长期统治即将结束的信号.但是,把所谓的亮点事件当作一种方法论的重要说明,认为它是成功的预言在科学理论确立的过程中可以发挥重要作用的一个极好例证<sup>[7-10]</sup>,却有言过其实之嫌,本文拟根据一些真实的史料予以澄清.

### 3 历史的见证

长期以来,对菲涅耳的获奖特别是亮点事件在物理学界存在着一些不符合实际的想法.我们有必要澄清一些事实,还给这段有重要意义的历史一个真实的面目.

关于这个事件的一个错觉是:这次悬奖竞赛参加人数非常多,竞争性很强,菲涅耳要取得胜利几乎是不可能的,因此,他非常需要一些象泊松的亮点预言那样的引人注目的事件出现,

以获得意想不到的成功.事实上,截止到1819年5月的预订会期,委员会只收到两篇论文,也就是说,菲涅耳只有一个竞争对手.评委会以“第一号”和“第二号”对这两篇论文分别做出标记.“第一号”文章和作者的名字都没有公布.在评委会的报告中,对这篇文章做出了评价:“文章的作者一定是一位训练有素的物理学家.但他采用的观测手段不是很精确,他没有注意到光线通过一个小孔时所展现出现象.作者似乎是既不了解托马斯·杨的工作,也不了解菲涅耳1816年发表在《化学物理年鉴》上的文章,他的部分工作也涉及到了两束光相遇时的相互作用问题…”<sup>[11]</sup>.很明显,这篇文章既没有新的发现,也没有新的观点,不能引起评委们的兴趣.和菲涅耳的论文相比,它完全失去了竞争的条件.亮点预言和成功的实验验证对菲涅耳获奖确实起了重要作用,就象是在菲涅耳漂亮的帽子上插上了一根更为动人的羽饰.但这绝不意味着,菲涅耳是由于亮点事件的出现偶然取胜的.评委会中的微粒论者尽管并不接受菲涅耳的波动理论,但他们深感他的逻辑推理和数学计算是无懈可击的.菲涅耳的成功是必然的.

关于亮点事件还存在着另一种错觉:亮点预言成功的实验验证不仅使菲涅耳获了奖,而且使评奖委员中的微粒论者立刻接受了菲涅耳的波动理论.事实并非如此.评委会的报告实际上尽量忽略对菲涅耳本人非常强调的基本理论的讨论,甚至设法避免“波动”这个词在报告中出现.菲涅耳对惠更斯原理和杨的干涉原理有重大的发展,并通过基本的数学表达式即著名的菲涅耳积分对他的波动理论给出了定量的相当严格的解释.但是菲涅耳的基本理论思想在报告中被大大削弱了,取而代之的却是不能反映菲涅耳理论实质的惠更斯原理.为了避免对菲涅耳基本理论进行讨论,委员会的报告几乎一半用于介绍菲涅耳的新的观测方法及其优越性.他们公认菲涅耳对一系列衍射情况的观测和论述,其精确性是前所未有的.然后,在长达9页的报告中仅用两句话来介绍有重大影响的

物理

亮点事件的发生和结果。

亮点预言是泊松作为一种“奇异”现象在委员会评审时提出的,阿喇戈成功地进行了实验验证。因此,亮点预言及其实验验证在1819年悬奖竞赛的报告中应当引以为荣,但事实并不是这样。报告中在评价关于菲涅耳理论的实验证据时,首先强调的是从17世纪就开始了的经过详尽研究的直边衍射。在报告中明确显露出来的部分评委的观点是:对菲涅耳获奖起重要作用的是直边衍射,而不是成功的亮点预言。

从上面的论证可以看出,获奖报告对菲涅耳的基本理论采取了尽量回避的态度,对令人注目的亮点事件不是给予赞扬,而是尽量减小它的影响,贬低它的作用。如果,评奖委员会中的微粒论者很快转变了观点,评委会的报告会这样评述菲涅耳的理论思想和亮点事件吗?

实际上,给出亮点预言的评奖委员泊松,并没有因为实验成功地验证了他的预言而很快地放弃他的微粒论。在获奖比赛以后四年,即1823年的5月,泊松写信给菲涅耳:“微粒理论和波动理论都遇到了很大的困难。物理学家和数学家长期以来有关的研究也许会通过这些问题的解决而结束。如果波动理论现在可以确信是正确的话,那一定不是因为我对微粒理论的放弃...”<sup>[12]</sup>。1819年以后很长一段时间,泊松仍坚持微粒论,据说19世纪30年代泊松转向波动理论,但并没有发现他转变观点的使人信服的证据。另一个评奖委员毕奥坚定地维护微粒理论至少到19世纪的30年代。他认为,造成微粒理论处于困难境地的原因,是因为在这个领域里工作的有才干的人相对比较太少了。拉普拉斯1819年时已经70岁,后来他也没有发表关于光学方面的论文。如果这样重要的人物有转向波动理论的迹象,一定会进行报道,但

这种报道始终没有发现。可以看出,这些评委中的微粒论者在亮点事件发生以后并没有立即转向波动理论。从整个科学界来看更是如此。

从17世纪末期惠更斯原理的提出,直到19世纪中期波动理论获得最后胜利,大约经历了150年。这充分说明,要摒弃一些旧的概念,领会一个新的观点,建立一个正确的理论是多么不容易!

本文在撰写中曾得到清华大学郭奕玲教授的指导和帮助,在此表示衷心的感谢!

### 参 考 文 献

- [1] M. 玻恩、E. 沃耳夫著,杨葭荪译,光学原理,科学出版社,(1978),4.
- [2] C. N. Cantor, Optics after Newton, Manchester University Press, (1983), 150.
- [3] Б. И. 斯杰潘诺夫著,尚惠春译,光学三百年,科学普及出版社,(1981),18.
- [4] A. J. Fresnel, In Fresnel, Vol. I, (1866), 247.
- [5] C. N. Cantor, Optics after Newton, Manchester University Press, (1983), 152.
- [6] J. Worrall, Fresnel, Poisson and the White Spot, in D. Gooding et al. (eds.), The Uses of Experiment, Cambridge University Press, (1989), 137.
- [7] E. Whittaker, A History of Theories of Aether and Electricity, Thomas Nelson, (1951), 108.
- [8] T. S. Kuhn, The Structure of Scientific Revolution, Chicago University Press, (1962), 155.
- [9] R. Giere, Testing Theoretical Hypotheses, in J. Earman (ed.), Testing Scientific Theories, Minnesota Press, (1984), 280.
- [10] 郭奕玲、沈慧君,物理学史,清华大学出版社,(1993), 171.
- [11] J. Worrall, Fresnel, Poisson and the White Spot, in D. Gooding et al. (eds.), The uses of Experiment, Cambridge University Press, (1989), 140.
- [12] S. D. Poisson, In Fresnel, Vol. I (1867), 189.