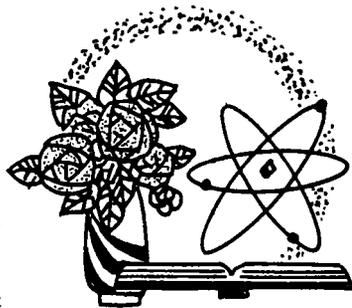


殊途同归的光本性之争

闫晓星 王洪鹏



很久以来,人们对光就进行了各种各样的研究。光的本性到底是什么,这个问题长久以来困扰了很多有智之士。

光的波动说

笛卡儿(R. Descartes, 1596 ~ 1650)就光的本性问题,在1637年提出两种假说。一种假说认为,光是类似于微粒的一种物质;另一种假说认为光是一种以“以太”为媒质的压力。虽然笛卡儿更强调媒介对光的影响和作用,但他的这两种假说为17世纪的微粒说和波动说的争论埋下了伏笔。

17世纪中期,意大利的格里马第(F. Grimaldi, 1618 ~ 1663)首先注意到衍射现象,这是光的波动理论的萌芽。英国物理学家胡克(R. Hooke, 1635 ~ 1703)是当时波动说的重要创建者。胡克重复了格里马第的实验,并通过观察肥皂泡膜的颜色提出“光是以太的一种纵向波”的假说。根据这一假说,胡克认为光的颜色由其频率决定。

第一位明确提出波动说的是荷兰人惠更斯(C. Huygens, 1629 ~ 1695)。爱因斯坦曾对惠更斯做了十分客观的评价,认为“第一个提出一个全新的理论的人是和牛顿同时代的惠更斯。”1678年,他在法国科学院的一次演讲中反对牛顿的微粒说。他认为,光波的另外一性质,也是最不可思议的性质,是来自不同或者相对方向的光波,能够毫无阻碍地穿行并产生作用。惠更斯在1690年提出光的波动说,以少数几个基本假设为基础,成功解释了当时已知的大多数光学现象,建立了惠更斯原理。他在此基础上推导出光的反射和折射定律,圆满地解释了光速在光密介质中减小的原因。惠更斯用光波既通过以太微粒、又通过晶体物质微粒传播的假设,非常圆满地解释了光穿过冰洲石所产生的双折射现象。

惠更斯虽然巧妙地用声波来类比,但是他错误地认为光波是纵波,这被微粒说的支持者用光的偏振现象予以驳斥。惠更斯自己也意识到,对偏振现象“尽管我至今还无法找到其原因,我也不愿因此而放弃对它的叙述,而使别人有机会研究它。看来似乎有必要在我刚才所做的假定以外,再做进一步的假定……”另外,他的理论也没有考虑光的颜色问

题。因此,惠更斯原理只是对光现象的一个近似认识。这样一些缺陷,使得惠更斯的波动说在与牛顿(I. Newton, 1642 ~ 1727)微粒说的竞争中陷于劣势。

微粒说的盛行

牛顿是微粒说的代表,但是由于和胡克、惠更斯等人的争论,使他在光的本性问题上经历了曲折的变化。1672年2月6日,牛顿向皇家学会递交了论文《关于光和颜色的理论》。他在论文中谈到光的色散实验:让太阳光通过一个小孔后照在暗室里的棱镜上,对面的墙壁上会得到一个分解为从红到紫7种色光的彩色光谱。他从这个实验得出结论——白光能分解成不同颜色的光。也正是从光的色散现象出发,牛顿开始研究光的本性问题。在给英国皇家学会的一封信中,牛顿认为“我这个发现是对自然界活动的一个最奇特的发现,如果说不上是最值得注意的发现的话”。

当时一些最著名科学家对牛顿的光的颜色理论持怀疑或否定态度。胡克对牛顿的这种看法提出尖锐的批评。惠更斯对这个发现的评价也不好。牛顿对胡克的批评做了答复,谈到他确实主张“光的粒子性”,但他并不绝对确信它是一个“基本假设”。在这个答复中,牛顿表现出把微粒说和波动说结合起来解释光的倾向。为了避免和胡克再发生争执,牛顿在战术上进行了巧妙的安排。“就我们所知道的牛顿如何从论战中退缩,我们可以推测一种与这样一种事实的可能的联系,即他的最执拗的对手胡克已由于在1703年去世而被排除。”1704年,牛顿才出版了他的《光学》。在书中,牛顿提出两点理由反驳惠更斯:第一,如果光是一种波,应该可以绕过障碍物、不会产生影子;第二,波动说无法解释冰洲石的双折射现象。

牛顿由于无法将波动说与光的直线传播相协调,还由于光的偏振现象似乎只有把光看作某种特殊的微粒才能够解释,所以他逐渐倾向于微粒说,进一步的辩护使牛顿逐步完善了自己的光微粒说。牛

现代物理知识

顿利用微粒说解释了光的折射、反射和色散现象。虽然,那时关于光,已经有许多事实同微粒说不相容。也许是为了维护自己的学说和驳倒对手,牛顿用微粒说对当时所知的光的一切现象都作了解释,只是牺牲了一点简单性。

不过,公正地说,牛顿并不是微粒说的毫无保留的坚持者和波动说的偏执的反对者。在关于光的本性的两种可能的观念中,一定要说牛顿只持其中一说,是不符合事实的。其实是牛顿的追随者把粒子说绝对化了。这正如罗森菲尔德指出的:“创造者思想中所有意味深长的犹豫都来自他对课题困难的深刻洞察,而这些犹豫却被很不敏锐的后来者调和了。”这又一次印证了列宁的观点——“只要再多走一步,仿佛是向同一方向迈的一小步,真理便会变成谬误。”实际上牛顿关于光的本性的观念和我们今天十分相似。牛顿在《光学》1704年以后的多次再版中又陆续补充了31个富有启发性的疑问,对光学的一系列基本问题,诸如物体内部光的吸收、物光之间的相互转换、光的周期性、光的偏振性、以太模型等做了广泛讨论。“我之所以用提问的方式把它说出来,乃是由于缺乏实验,我对它尚不感到满意的缘故。”牛顿忠于实验事实,不但没有武断地完全否定以太波动的观念,而且为了解释薄膜颜色和“牛顿环”现象,吸收了以太波动说的基本思想,提出了著名的“突发理论”。牛顿还把前后相继的两个容易投射的、或两个容易反射的突发之间的距离,称为“突发的间隔”。很明显,牛顿的“突发间隔”在一定程度上对应于波动理论中被称为光的波长的量。但是诚如牛顿所说:“这是何种作用或属性,究竟它在于光线或媒介,还是别的某些东西的一种圆周运动或是振动,我不在此查究。”实际上,牛顿是测定光的波长的第一个物理学家。牛顿指出,虽然他假定光是一种“实体”,但“以太的振动”这种理论也是有用的和不可缺少的。

由于牛顿力学体系的巨大声望,再加上惠更斯学说本身的不完善性,使当时的人们倾向于在解释各种各样的物理现象时,采用与各种各样现象对应的流体概念。由于微粒说合乎人们的日常直观心理要求,光也被看成是一种微细粒子构成的流体物质。因此第一次争论就以波动说的失败而告终,然而惠更斯等人所做的开创性工作使得它仍然具有顽强的生命力。

波动说的复兴

牛顿逝世大约100年后,又有了关于光的新的实验发现,而新发明的数学方法又为波动说解决困难提供了有力工具。在以往争论中处于劣势的波动说,又重新活跃起来。

1800~1835年,是波动光学的复兴时期。托马斯·杨(T. Young, 1773~1829)为波动光学的复兴做出了不可磨灭的贡献。1800年,托马斯·杨根据实验对光的微粒说提出怀疑,为惠更斯的波动说进行辩护。1801年,托马斯·杨更以不盲目迷信权威的精神说:“尽管我仰慕牛顿的大名,但我并不因此非得认为他是百无一失的。我……遗憾地看到他也会弄错,而他的权威也许有时甚至阻碍了科学的进步。”虽然托马斯·杨对光的波动说做出了巨大贡献,但在相当长时间里,他的工作并没有被科学界承认,他的论文被斥为“没有任何价值”,他所发现的干涉原理被说成是“荒唐的”和“不合逻辑的”。托马斯·杨在1817年提出光是横波的假说,第二次波动说与粒子说的争论开始了。

1814年菲涅耳(A. Fresnel, 1788~1827)开始光的波动说的研究,当时法国和欧洲大陆一样,微粒说占统治地位。菲涅耳虽然不相信微粒说,也很少知道坚持波动说的人所做的工作,他从欧拉(Leonhard Euler, 1707~1783)主张光是从光源发出的一系列脉冲的观点获得启示,选定了光是一种波动的概念进行了深入研究。1818年,法国科学院提出了征文竞赛题目:一是利用实验验证光线的衍射效应,二是用数学归纳法求出光线通过物体附近时的运动情况。组织竞赛的本意是希望通过微粒说理论解释光的衍射,以打击波动理论。在阿拉果(D. F. G. Arago, 1786~1853)的鼓励下,菲涅耳向科学院提交了论文,他从横波观点出发,圆满地解释了光的偏振,并定量地计算了圆孔、圆板等形状的障碍物产生的衍射花纹。但菲涅耳的波动理论遭到了泊松的反对,泊松运用菲涅耳的方程推导出关于盘衍射的令人难以相信的结论:假如这些方程是正确的,那么当把一个小圆盘放在光束中时,就会在小圆盘后面某处的屏幕上盘影的中心点出现亮斑;显然谁也没看到过这种现象。所以泊松宣布他驳倒了菲涅耳的波动理论。可是菲涅耳和阿拉果不久用实验验证了这个理论预言,影子中心的确出现了亮斑,后来戏称为“泊松亮斑”。——评委们最终把奖金给了菲涅耳。

菲涅耳因其卓越的成就被称为“物理光学的缔造者”。

总之,托马斯·杨和菲涅耳的发现标志着光学进入了弹性以太光学的时期。牛顿的微粒说受到了强力冲击。光的波动说的胜利只是对光本性认识的第一步,正如爱因斯坦所说:“光的波动说的成功,在牛顿物理学中打开了第一道缺口,虽然当时没人知道这个事实。”1850年傅科(J. L. Foucault, 1819 ~ 1868)在水中测量的光速结果进一步证实了光的波动说。而光的波动说这时已进入全盛时期,所以这是迟到的消息。第二次争论随着微粒说的失败而结束。

到了19世纪60年代,英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831 ~ 1879)建立起完整的电磁理论。他发展了光的波动说,用光的电磁波理论代替光的机械波理论。这时波动说的最后一个难题——传播媒质问题也被解决了。在麦克斯韦以后的一个时期,光的波动说可以圆满地解释光的一切传播现象,光的波动说达到了全盛时期。然而,要想使麦克斯韦的这个看起来是那么美妙的学说被人们所接受,必须用实验的方法产生麦克斯韦所假设的电磁波来。否则,只能看成是一种很有趣的假说。这正像劳厄所说:“尽管麦克斯韦理论具有内在的完美性并和一切经验相符合,但它只能逐渐地被物理学家接受。”麦克斯韦逝世7年后,德国人赫兹(H. R. Hertz, 1857 ~ 1894)在1888年探测到电磁波,宣告光的波动说进入了全盛时期,否定了光的微粒说,可正是他发现的光电效应又导致了微粒说的复活。

从19世纪末起,一系列令人困惑的新的实验结果出现了。这些结果共同特点是,它们无法用麦克斯韦理论来解释。其中最典型的是光电效应实验,它使传统的光学理论受到严峻考验。光子假设与当时已大获成功的麦克斯韦电磁波动理论及人们已坚信的光的波动说不相容。引入了光子,就意味着光具有粒子性。

为了解释光电效应,1905年爱因斯坦提出了光量子说。尽管爱因斯坦用光子理论完美地阐明了光电效应,但这个理论一提出来,立即遭到几乎所有物理学家的反对。这一理论当时不能被人们接受有两方面的原因:一是当时所有的光电效应实验都很粗糙、原始,另外一个原因是爱因斯坦自己也承认波粒二象性的困难。虽然光子理论解释了光电效应,但如何解释干涉、衍射和偏振现象呢?光子理论与电磁波理论之间太矛盾了。爱因斯坦在1911年第一

届索尔维会议上也曾说过:“我坚持认为这个概念(光量子)具有暂时性特征,因为它与已由实验验证过的波动理论的结果不相协调。”幸运的是,不久以后,密立根意外地证实了爱因斯坦光电效应方程的正确性,1923年公布的康普顿实验结果强有力地表明了光量子图景的实在性。

几点有益的启示

在对光本性的认识过程中,惠更斯的波动说和牛顿的微粒说是相互排斥、相互对立的。后来发展成为光的电磁说和光子说。爱因斯坦的光量子说调和了200多年来牛顿的光微粒说与惠更斯的光波动说的争论,形成了光的波粒二象性学说,使人们认清了光的波粒二象性。法国科学家德布罗意又对波粒二象性做了进一步发展,指出波动性与粒子性不仅适用于光同时也适用于实物粒子。在有些情况下,粒子性显著;在有些情况下,波动性突出。波粒二象性这种既对立又统一的规律,正是物质世界客观情况的真实写照。

光的波粒二象性现象告诉我们,从宏观现象中总结出来的经典理论,对微观粒子不再适用。宏观概念中波和粒子是完全对立的,而光波不是宏观概念中的波,光子也不是宏观概念中的实物粒子。所以,光的波动性和粒子性是辩证统一的。大量光子显示出光的波动性,少量光子显示出光的粒子性;光在传播过程中显示出光的波动性,光与物质相互作用时显示出光的粒子性。光的量子理论新成就也进一步丰富了科学的自然观:第一,并不是一切自然过程都是连续的,普朗克的能量子的发现说明自然界存在不连续的量,它的变化不是“渐变”,而是“突变”,是“跳跃式”的;第二,光的本性认识的发展过程,从自然科学角度为唯物辩证法提供了新的论据,丰富了辩证自然观,即物质的多样性和对立统一的二重性是物质的基本特性。

爱因斯坦在1951年曾这样总结他的探索:“整整50年有意识的思考还没有使我更接近‘光量子是什么’的答案,当然今天每一个不老实的人认为他知道答案,但他是在欺骗他自己。”对于光量子我们至少还可以提出这样的问题:光量子究竟还有没有内部结构?光子还能不能再分?光子到底有没有静止质量?……这些问题需要进一步探索。我们相信将来对光的本性一定会有更多新的发现。

(首都师范大学物理系 100037)