

思维与实验并重，深度认知光学物理图像

秦亮[†] 孟令川

(北京交通大学物理科学与工程学院 北京 100044)

2022-08-28收到

[†] email: qinliang@bjtu.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20220909

1 引言

视觉是人类获取外部信息最重要的渠道，与视觉紧密相关的光现象自然成为人类最早关注并思考的问题之一。由此，光学成为发展最为悠久的物理学科之一。从西方《圣经》中表述的“神说：‘要有光’，就有了光”到“羲和育十日”的传说，从欧几里得的“反射定律”到墨子的“光学八条”，从开普勒的《折光学》到牛顿的《光学》，从光的波动说与微粒说之争到爱因斯坦和德布罗意等人对光的波粒二象性的统一，再到当代量子光学和全光网络。人们从发现一个光现象开始，记录光现象，探寻光现象背后的物理规律，并最终指导科学的进步和技术的发展。光学的发展伴随着人类文明的进步，某种意义上说，人们对光学理论的认识和光学技术的发展也代表了当时人类科技的发展水平^[1]。

然而随着对光认识的深入，光学的知识体系也日益庞杂，从几何光学到波动光学再到量子光学，各种抽象的理论、复杂的公式、繁琐的方法构筑起了高高的认知门槛，使许多人难以企及。学生往往只是囫圇吞枣地记住各个知识点以应付一次次的考试，爱好者则往往停留在一些概念的字面意思，始终无法构建起准确的物理图像，对相关的物理概念和它们之间的联系缺乏理解，更别提举一反三地学以致用。此时，回顾相关概念建立的历史，

体会物理学家的思考过程，从而从中寻找思维工具，同时与身边的各种光学现象做比照的印证，将是理解光学事半功倍的方式^[2]。

2 善用“联想”的思维工具

“联想”是物理学家常用的思维工具之一。物理学家在研究一个物理现象时并不能“无中生有”物理规律，也不能“凭空捏造”数学公式，而是需要强大的联想能力将不同的现象建立起关联，然后在此基础上发现物理现象背后的运行规律，并建立规律背后的数学公式。或者在数学推导过程中，将得到的抽象的数学结果联想到其可能适用的物理现象，并通过实验加以验证。

在物理学发展过程中，欧几里得的反射定律应是最早能够追溯的物理定律之一。彼时，人们对光的反射现象早有关注，但并没有建立起简洁的规律。而欧几里得结合《几何原本》中的数学知识，将光联想成一簇“笔直的线条”，同时结合眼睛的视觉效果创建了几何视觉理论，这也是最早对物理规律进行“联想”的案例之一。然而，在此后很长的一段时间里，物理学家在光学的研究都无法脱离“几何光学”的影响。

到17世纪中期的近代科学革命时期，人们才开始试图跳出“光线”理论对光的本质进行研究。此时“联想”依然是重要的思维工具。以惠更斯为代表的物理学家们从声波的传播行为和特性“联想”

到了光，并在此基础上提出了光的波动学说，使光从“光线”演变成了“光波”。在同一时期，牛顿在其《光学》著作中则从力学中的弹性碰撞现象“联想”到光的反射等行为，进而建立起光是一些非常奇妙的微粒，其传播过程遵循运动定律的物理图像。物理学进入19世纪后，衍射现象的发现和托马斯·杨的双缝干涉实验结果，使得“波动学说”更占上风，物理学家进一步通过“联想”把光波在空间中传播、叠加的景象和水面上的涟漪联系在一起，并借助这种图像来描绘光的波动理论。当然，无论是“光波动说”还是“光微粒说”，物理学家们仍然没有跳出“介质”的范畴，似乎谁能找到这个神秘的“以太”谁就能获得最终的胜利。最终迈克尔孙和莫雷设计的巧妙实验成功证明了这个“介质”并不存在，这也使得物理学家们需要再一次发挥“联想”的能力，重新去思考光波和机械波的区别了。到了20世纪，普朗克从弹簧振子联想到热辐射现象，提出能量子假说，同时爱因斯坦结合光电效应的结果，再次从光的这种特殊现象联想到力学中的碰撞过程，认为光应该是一群离散的“光量子”，并最终大胆“联想”光是既有波动性又有粒子性的物质，至此结束了长达数个世纪之久的光的本质之争。现如今，物理学家们认可的光的波粒二象性理论在未来是否还有新的认识和突破，我们不得而知。但在一次次不同现象之间的

“联想”，不同学科分支之间的“联想”中，人们对光的认知被一次次推上更高的高度。即便一些理论只是阶段性的正确，并不是完备的和正确的，但是在“联想”的过程中也给后人留下了宝贵的思想方法和参考资料。

当我们了解了人类对光的认知历史，掌握了联想的思维方法，便可以在处理几何光学问题时把光联想成欧几里得的线，在处理干涉、衍射等问题时把它联想成水面上的涟漪，在处理光电效应、康普顿散射、拉曼散射等问题时把光联想成弹性的小球。有了联想形成的具象的物理图像，再搞清楚不同图像的适用问题，光学的大多数问题就能得到很好的解决。

3 通过实验建立感官经验

物理是实验科学，但由于种种原因，在教学过程中对实验的利用做得并不好。光学也是如此，无论是中学阶段的光学成像、透镜物像关系等，还是大学阶段的波动方程，干涉、衍射公式，乃至更复杂的电磁场理论等。大量纸上谈兵的过程往往会让课堂陷入消极的氛围中。过多的数学公式和复杂的推导过程也使得一些基础较差的学生产生畏学的情绪，进入死记硬背的学习方法中。既缺少感官经验，又缺乏思维体系，只是单纯的知识点堆积，让学生不仅无法巩固所学知识，处理问题和创造能力也都得不到锻炼。学生们就会很容易产生“物理难学”，“学完很快就忘”，“对于物理现象也不知从何解释”等消极看法。

然而值得庆幸的是，光学是各物理分支学科中现象最直观、最生动的，也最容易通过现象建立直观

的感性认识。自然中的光学现象非常的普遍，我们可以很容易地将生活中的光学现象搬到教室中来。例如，用斜放在水里的一片镜子就可以形成一个很好的色散棱镜把太阳光分成一道彩虹；用头发丝和激光笔不仅可以展示单丝衍射现象，还可以进一步结合理论知识完成对头发丝粗细的比较和测量。手机屏幕密集的像素分布本身构成了一个光栅结构，用它反射阳光就可以观测光栅光谱。已经记录信息的光盘上密集的沟道同样有这样的功能，且它的分光本领比手机屏幕还要强很多。用两根棍子制造一个窄缝，抖动穿过其中的绳子就可以建立偏振的直观图像。戴上偏光墨镜看水面的反光，便可以观察反射光的偏振状态，验证布儒斯特定律。把液晶显示器作为一个偏振光源，与偏光墨镜组合起来就可以成为马吕斯定律的演示装置，甚至还可以结合塑料尺、透明教材来完成显色偏振的实验。

通过这些方便易行的实验，可以建立直接的感官认识，再辅以前面所述的联想的思维方法，将不同的光学现象与其他物理现象建立联系，发现和体会其中的共通之处，这不但提升了兴趣，同时也完成了从知识点到自然现象的连接，使学生逐渐习惯于对生活中的物理现象与所学物理课中的知识点进行对应，培养学以致用意识和能力。

4 结语：思维工具与实验体验需相辅相成

物理是人与自然“同频共振”

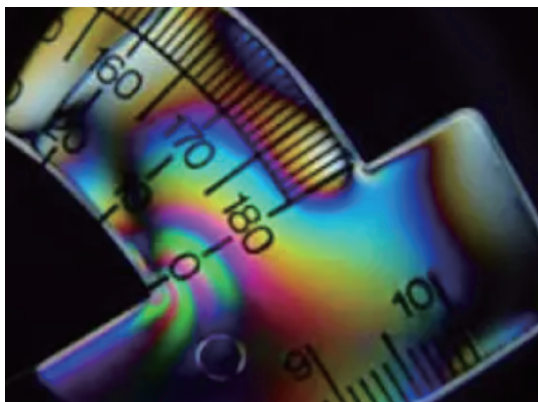


图1 放置在两个偏振片之间的透明双折射介质产生的光弹效应

的学科，它既需要思维能力，也离不了感官经验。对初学者而言，如本系列开篇所述“始于集邮，终于思想”^[1]，通过大量实验进行感官经验的集邮，在此基础上借助“联想”的思维工具建立与现象之间的联系，以及现象与自己已经掌握的理论知识之间的联系，进一步建立起相应的物理图像和模型，最后形成对整个知识体系的系统掌握。光学作为直观现象最丰富的学科，将思维工具的体会和运用与实验现象、感官经验的积累结合起来，两者相互印证，必将使学习效率和效果都大大提升。

各位读者不妨在阅读本文后就利用身边的物品尝试文中提到的那些实验，感受一番光学现象的多彩和趣味，再回头去看书本上的知识，感觉或许会更亲切一些。

参考文献

- [1] 姚启钧. 光学教程. 北京: 高等教育出版社, 1981
- [2] 李翠. 高中物理光学核心概念的学习进阶研究. 哈尔滨师范大学, 2022
- [3] 陈征, 张玉峰, 魏红祥. 物理, 2021, 50 (01): 54