

实在与感知——分清物理概念描述的对象

王洪鹏¹ 陈征^{2,†}

(1 中国科学技术馆 北京 100101)

(2 北京交通大学物理科学与工程学院 北京 100044)

2022-11-03 收到

† email: chenzheng@bjtu.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20221109

1 物理实在与人类感知

物理学源自人类对自然的观察和探索,而早期人们观察自然的主要方式是借助自己的感觉器官,因此小到物理学的现象、概念,大到学科分类都或多或少地受到人类感知的影响。如热学、光学、声学的学科分类归根结底是人体的冷热感知、视觉和听觉这三种不同的感官,而声学中的响度、音调、音色与光学中的颜色等概念中也总能感受到人类感知的影子。

在漫长的人类认识自然的过程中,人们逐渐尝试把直观感知与客观实在分离开来,如毕达哥拉斯、柏拉图时代,人们认为视觉是眼睛发出射线引起的,而到了公元11世纪,埃及光学家阿尔哈曾就认识到视觉的形成是外界的光线进入了人的眼睛^[1]。从阿尔哈曾的认识中可以看出视觉和光不再是同一件事:光是一种独立于人存在的客观实在,

而视觉则是人的一种感知。

近代物理学建立以后,人们通常构建各种“模型”来描述客观实在的主要性质。虽然这些描述也是基于我们对空间、时间、数量等感知基础上的,但它们更加抽象化和定量化。如“光”的模型就经历了牛顿时期的刚性实物小球,菲涅耳时期的弹性纵波,马吕斯之后的弹性横波,麦克斯韦、赫兹之后的电磁波,直到量子光学中被视为有最小能量单元的光量子——光子,同时光子在时空中又存在波动性,波恩将其诠释为几率波。在抽象化的基础上,物理学进一步采取了“用量描述质”的原则,如把光看做粒子时,就用动量、能量来量化描述我们关心的运动性质,而把光看做波动(无论是弹性波、电磁波还是几率波)时,用波速以及波函数的振幅、频率、相位等特征量来描述其运动性质。进一步在此基础上探索规律,构建光学理论^[2]。

上述以模型描述世界,以理论逼近真理的方式,在物理学中常被认为是客观的。不过我们必须认识到,模型化的理论并不能100%描述客观的世界,即便有了许多现代科学仪器的帮助,人在认知自然的过程中,仍然离不开视觉、听觉、体感等感官的作用,因此一些本来指人感官感受的概念,和描述客观实体的概念因为存在一定的对应关系而被混用,造成了一些概念的模糊甚至曲解。

2 “光的颜色”问题

最近笔者读到河北师范大学杨大卫老师的一篇准备发表的文章,其中指出,人教版初中物理课本中有如下错误描述:“‘红、绿、蓝’三种色光,按不同比例混合,可以产生各种颜色的光”。对“光的颜色”这种错误的认识其实普遍存在于许多科普读物甚至是教材当中,错误产生的原因就在于模糊了概念描述的对象。光是自然界的一种客观实在,而颜色这个概念描述的对象却是视觉,是人的一种感知。

中国有句成语叫“眼见为实”,我们通常把通过眼睛直接看到的视为最直接的证据,是以常常把人对某种光的视觉感受——颜色当做了光的某种客观性质,因此许多物理书中把“光的颜色”与“光的频率”或“光的波长”等同起来。可这样忽略了视觉的形成是个复杂过程,它包括物理的部分,即外界的光通过晶状体聚焦到视网膜,在视网膜上清晰成像;也包括生理的部分,即照射在视网膜上的光与视网膜上视觉细胞中的感光蛋白发生光化学反应,从而转化成视神经上的神经信号传递给大脑;还包括心理的部分,即传入大脑的神经信号通过大脑的处理最终在人的感知世界里形成明暗、色彩等感知。

从物理的角度看,如果用电磁波模型来描述光这种客观实在,那么广义的说,所有的电磁波在基

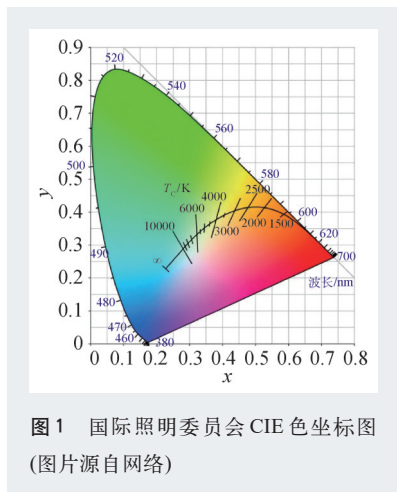


图1 国际照明委员会 CIE 色坐标图
(图片源自网络)

本性质和行为模式方面没有区别, 都可以看做光, 其中只有波长约 400 nm 到 760 nm 范围内的光能让人产生视觉感受。而人的颜色感受又比这个范围内各个单一波长光刺激视觉产生的颜色感受要丰富得多。从图 1 的 CIE 色坐标图可以看出, 波长约 400 nm 到 760 nm 范围的光刺激视觉只能形成马蹄形曲线上的那些颜色感受, 马蹄形内部还有更丰富的颜色感受, 而这些感受可以通过不同频率或波长的光组合刺激视觉获得, 并且这种组合方式通常不止一种。如波长约 589 nm 的钠黄光进入眼睛可以引起黄色的颜色感受, 可同样的黄颜色感受也完全可以由波长 550 nm 左右的绿光和波长 650 nm 左右的红光以一定比例同时进入眼睛而引起。

又如“白”的颜色感受, 可以在 CIE 坐标中画任意一条通过白色位置, 且与马蹄形线两侧相交的直线, 这两个交点位置对应波长的光以一定比例混合就能得到, 这就是“二基色”的“白光”获得方法; 也可以在马蹄形线的红、绿、蓝区各取一个点, 用相应波长对应的光以一定比例混合, 这就是“三基色”的“白光”获得方法^[3]。完全相同的色彩感受, 但引发它的客观实在——光的频率或波长性质却可以完全不同。此外懂摄影的朋友应该很熟悉“白平衡”的概念, 一张纸在完全不同的光照条件下, 在摄像器材的感光元件上引起了完全不同的反应, 但人的视觉却会把这张纸默认识别成为“白”, 摄像器材必须对从感光元件上获取的电信号进行修改, 才能和人的视觉感受达成一致。

从以上分析可以看出, 视觉上的“颜色”感知和客观实在的光的频率或波长性质并非一一对应的关

系。某一频率的光进入眼睛会引起某种颜色感受, 可同样的这种视觉感受却并非只能由这种频率或波长的光引起。因此用“颜色”这个本来基于视觉感官的概念来描述“光”这种客观实在的性质, 只是因为与人的直接经验较为接近, 所以在日常生活甚至科学技术领域被广泛使用。但严格说来, “光的颜色”并不是一个严谨的概念, 使用中应该理解其中的边界。

3 声学中的感知与实在

类似光与颜色的问题在声学中也有类似的例子。响度、音调、音色其实是描述人的听觉感知, 而幅度、频率和频谱则是描述客观物体的振动性质。人的听觉与振动幅度之间的对应关系比光的波长与颜色感知的对应关系要简单, 但也不是简单正比。随着振动幅度的增加, 相应的功率密度正比于振幅的平方, 人的响度感知却不随之线性增长, 描述响度感知的声强级和描述物理实在——介质振动的功率密度之间呈对数对应关系。笔者在参与一些科普和科教活动、节目的设计时, 就发现人们常常本能地以为能量加倍感受到的声音响度就会大一倍, 这背后的原因其实就是混淆了客观实在性质和人的感知。

听觉的音调、音色同样如此, 音调感知亦不能简单说成和介质的频率一一对应, 而是和介质振动的基频单调对应。音色感知则和介质振动的频谱对应, 这一点和不同频率光合成产生人的某种颜色感知类似, 然而这个对应关系比光的色彩感知更为复杂, 难以找到简单的规律, 至今仍是声学研究的前沿之一, 我们用人工频谱合成的方式来还原人类的语音还不能完全做到以假乱真。

4 厘清物理实在与人的感知

物理学与客观世界的关系某种意义上是人的感知与客观实在的某种“谐振”, 两者并不是同一个主体。物理学帮助我们理解世界的完整过程是: (1) 我们通过感官获取经验; (2) 在人的意识世界中构建概念和模型与感官经验形成对应; (3) 在模型的基础上定义物理量, 总结规律和构建物理理论; (4) 根据模型、规律、理论预测客观世界中的实验可能带来的新感官经验并验证; (5) 通过以上过程重复不断地完善理论, 让意识世界的模型和理论尽可能地逼近反映真实的客观实在。

对初学者而言, 从观察和体验走进物理是一条正确的道路, 因此从感官经验开始建立基本的物理概念也是必要的过程。但随着对物理学底层逻辑的理解, 应意识到客观实在和人的感知之间的区别, 同时厘清建立的物理概念和物理量所描述的对象是什么, 哪些概念和物理量倾向于描述人的感知感受, 哪些概念和物理量则更接近描述物理模型反映的客观实在的性质。在厘清物理实在和人的感知的区别之后, 便会意识到不同语境下相关概念和物理量描述的对象其实并不相同。还需要进一步理解其中的对应关系, 才能真正实现物理学简洁、完备、精确地描述世界的目的。而这种概念的厘清, 本身也是加深对物理思想理解的过程, 是物理思想进课堂的一种具体的方式和途径。

参考文献

- [1] 姚启钧. 光学教程. 北京: 高等教育出版社, 2019
- [2] 赵凯华. 新概念物理学教程: 光学. 北京: 高等教育出版社, 2014
- [3] 廖宁放. 高等色度学. 北京: 北京理工大学出版社, 2020

补充说明

刊发于《物理》杂志 2022 年第 11 期的《实在与感知——分清物理概念描述的对象》一文中，曾提及“最近笔者读到河北师范大学杨大卫老师的一篇准备发表的文章……”，现将该文具体参考文献信息补充如下：

杨大卫. 各种色光都是由三原色光合成的吗[J]. 现代物理知识, 2023, 35(1): 42—45. DOI: 10.13405/j.cnki.xdwz.2023.01.017. (编辑部收到初稿于 2022 年 6 月 12 日, 收到修改稿于 2022 年 11 月 11 日)。

陈征

2025 年 11 月 13 日