

颜色的物理与化学

颜色的 15 种 起源

K. 拿骚 著



科学出版社

0432.3
98077

颜色的物理与化学

颜色的 15 种起源

K. 拿骚 著

李士杰 张志三 译

科学出版社

1991

内 容 简 介

本书首次从物理及化学的观点综合地论述了颜色的起因。读者不需要预先具有专业知识，因为所有基本概念在书中都作了解释。这本高度吸引人的著作阐明了颜色的15种不同起因、颜色在生物学、地质学、矿物学、大气层、工艺学及视觉艺术中的发生及各种各样的变化。

本书共分七部分：第一部分对光与颜色的性质作了概念性的介绍；第二部分研究了白炽物体、火焰及蒸气灯的颜色；第三部分论述了多种无机颜料、矿物及宝石等物质颜色的来源；第四部分论述分子轨道引起的颜色以及它们与光的相互作用；第五部分论述能带论、色心及与此相关的颜色；第六部分广泛地论述了涉及几何光学与物理光学出现的颜色；最后一部分主要讨论颜色的应用，如艺术品的保存、着色艺术以及相关的问题。

本书为光学及颜色的设计师、专家、艺术品的保管者、艺术史研究者及物理、光学工作者提供了丰富资料和指导作用。

K. Nassau

THE PHYSICS AND CHEMISTRY OF COLOR

The Fifteen Causes of Color

John Wiley & Sons, Inc., 1983

颜色的物理与化学

颜色的15种起源

K. 拿骚 著

李士杰 张志三 译

责任编辑 陈菊华

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1991年4月第一版 开本：787×1092 1/32

1991年4月第一次印刷 印张：14 5/8

印数：0001—1 800 字数：329 000

ISBN 7-03-002159-2/O·404

定价：12.80元

序 言

技术问题可以有各种不同精细程度的解答。在回答孩子的问题“妈妈，草为什么是绿的？”时，一种答案可以是：“就是这样！”这个回答的含义显然说明“绿色”是“草”的固有性质。再问就惹人厌烦了。

见识较高的回答可以是，草之所以呈现绿色是因为它反射绿光而吸收所有其它颜色。更为精细的解释是把这种现象归因于特殊化学物质(其中包括叶绿素)的存在。

本书的宗旨是想以更高一级的水平来研究有机颜料(如叶绿素)如何同白光发生相互作用而产生颜色，天空为什么是蓝的，红宝石为什么是红的，金子靠什么过程才具有黄色，为什么珍贵的蛋白石或某些蝴蝶的翅膀会出现彩虹颜色。理解这些现象所需的基本概念本书都有所阐述，不需读者预先具有专门知识。

复杂程度最高的图书是专著。它们总是以一种形式的计算来说明一种类型颜色的理论。这种专门论著只能为专家所掌握，他们在物理或化学的有关学科方面受过研究生水平的培训。现在，在论述颜色的专著与叙述性的一般读物之间，在对颜色不过是泛泛而谈的光学书籍与有关颜色测量和颜色感觉的书籍之间，存在着大片空白，似乎还没有作品填充其间。本书便是试图填补这种空白。

这些问题在物理与化学的课程中很少谈到；然而这些问题却是从理论直接通向日常观察到的现象的桥梁。颜色对许多领域(如生物学、地质学与矿物学、大气研究以及多种重

要技术部门)的发展都有很大的推动作用,并对视觉艺术的提高提供了有效途径。本书论述了多种多样精巧而奇妙的颜色产生的原因。

拉斯金(Ruskin)说过:“最喜爱颜色的人才是心地最纯洁、思想最丰富的人。”这句话最充分地抒发了他那诗人的情怀。然而即使是一个高傲的人,也免不了要注意到周围的颜色,并会感到惊奇。我希望,研究颜色的多种起因后,本书能减轻人们的一些惊奇感,而不减低对大自然这一伟业的敬畏之情。

我们没有一种单独的看法能解释颜色的一切起因,至少要援引5种理论或表达形式。要想严格论述这些理论中的任何一种,都至少需要整整一卷书。但从本书叙述性的解释中仍然可以得到重要的启示。因此,本书不可避免地必须一开始就在第一部分中讨论光的性质与颜色。

量子论解释了激发与能级间的跃迁,也解释了白炽物体、火焰、蒸气激发、极光及气体激光等光源之所以产生颜色的原因,这在第二部分中作了讨论;第二部分还论述了使水与冰呈现蓝色的分子振动。

配位场对电子能级的影响,使得过渡元素化合物出现了颜色,这在第三部分中加以论述。本部分对大多数无机有色涂料、许多矿物及宝石(诸如红宝石、翡翠、绿宝石)、荧光及晶体激光的颜色的起因都作了说明。

第四部分讨论了分子轨道问题。分子轨道同光的相互作用说明了大多数有机物(诸如植物、动物、合成染料及颜料)的颜色的起因,以及某些矿石及宝石[诸如天青石(用作颜料时称为佛青石)和蓝宝石]的颜色的起因。

第五部分用能带论说明了以下各种颜色的起因:金属与合金(如铜、金、黄铜)的颜色,某些无机物[如红色水银矿石朱

砂(用作颜料时称为银朱)的颜色,某些宝石(如蓝色与黄色钻石、紫晶与烟晶)中色心的颜色。本部分还谈到了发光二极管与半导体激光器辐射的颜色。

几何光学与物理光学涉及的颜色问题很多,其中包括蛋白石的颜色与彩虹的颜色,天空的蓝色,落日的红色,水面上油膜的色彩以及某些昆虫的色彩。这些是第六部分的内容。

总之,本书共研究了 15 种颜色的起因。一些有关颜色的论题,包括颜料与染料,漂白与褪色,有色眼镜与宝石,生物的色彩,视觉,荧光,磷光,激光,电致发光,艺术品的保存等等依次在第七部分中讨论。

在附录中,以稍稍深一点的方式讲述了若干有关问题,虽然这些问题对于理解正文并非必不可少,但它们会使读者对所涉及的那些理论多少有所理解。如果读者决定更深入地研究这些问题,附录可能成为走向这些颇为神秘课题的桥梁。有些地方,如第六章,有一些稍深的材料是不宜列入附录的。读者会看到,即使对这些材料一带而过,也无损本书的连贯性。

本书每章之末都附有习题,希望读者能按题作答,特别是第一部分列出的问题,以保证能掌握必要的基础知识。这些问题并不是总有明确的答案,正如生活一样,意想不到的事可能会随时发生。

推荐书目见附录 G。

K. 拿骚

伯纳兹维尔 新泽西

1983 年 8 月

目 录

第一部分 光 与 颜 色

第一章 某些基本知识：颜色、光及相互作用	1
颜色	1
颜色的早期观点	2
光谱与“有颜色的”光	3
色品	7
有色物体	12
颜色的感觉	14
光的本性	16
光与能	19
光与大块物质的相互作用	20
光与分子、原子、电子的相互作用	23
习题	26

第二部分 涉及振动及简单激发的颜色

第二章 白炽产生的颜色	28
白炽	28
黑体辐射	32
白炽光源	34
烟火制造技术	38
白炽光的本性	39
摘要	40

习题	41
第三章 气体激发产生的颜色	42
量子与激发	42
火焰着色	47
氖信号灯	48
蒸气放电灯	50
夫琅禾费谱线、共振、荧光	53
电弧、闪电、电晕	56
极光	58
气体激光器	59
摘要	65
习题	66
第四章 振动与转动产生的颜色	68
组合的电子-振动-转动颜色	68
荧光与磷光	73
水与冰中的振动	75
摘要	78
习题	78

第三部分 涉及配位场效应的颜色

第五章 配位场中过渡金属引起的颜色	79
离子键与共价键	79
刚玉中的键联	81
铬与红宝石的颜色	83
红宝石的发光与二向色性	87
祖母绿与变石中的铬	90
某些配位场的论述	93
白色的过渡金属的颜色	100

别色的过渡金属的颜色	103
红宝石激光器与钕激光器	106
摘要	109
习题	110

第四部分 涉及分子轨道的颜色

第六章 有机分子中的颜色	112
有机颜色的早期见解	113
甲醛的分子轨道	117
多烯着色剂	121
绿色着色剂	130
施主-受主着色剂	132
荧光、磷光、染料激光器	140
摘要	145
习题	146
第七章 电荷转移的颜色	147
蓝宝石	147
原子价间的电荷转移	150
其它类型的电荷转移	154
摘要	159
习题	160

第五部分 涉及能带论的颜色

第八章 金属与半导体的颜色	161
能带论	162
金属及合金的颜色	168
具有类金属外观的其它物质	174
纯绝缘体与半导体的颜色	175

杂质引起的半导体的颜色	179
光发射二极管(LED)及半导体激光器	185
摘要	190
习题	191
第九章 色心	192
F 心	192
烟晶与紫晶	199
电子心与空穴心	201
辐照源	205
特殊色心	206
类色心的颜色变化	210
摘要	211
习题	211
 第六部分 涉及几何光学与物理光学的颜色	
第十章 色散折射及偏振	213
色散折射	213
反常色散	218
色散产生的颜色	220
双折射与偏振光	235
摘要	238
习题	238
第十一章 散射和非线性效应	240
瑞利散射和米氏散射	240
散射产生的颜色	245
非线性效应	252
摘要	257
习题	258

第十二章 干涉与衍射	259
双光束的干涉	260
薄膜中的干涉	263
干涉仪和干涉滤光片	266
不涉及衍射的其它干涉现象	271
衍射	278
衍射光栅	284
胆甾醇液晶层光栅	291
摘要	291
习题	292

第七部分 有关颜色的课题

第十三章 多种类型的着色剂	294
着色剂	294
颜料	298
颜料的不调和性与涂料的变质	302
染料、染色、着色	305
用于摄影的敏化剂和染料	310
漂白和退色	317
玻璃、釉、搪瓷的颜色	319
颜色滤光器	326
液晶的颜色	328
生物着色剂	335
食品的颜色变化	343
大气中见到的颜色	345
矿物和宝石的颜色	346
习题	350
第十四章 视觉、发光、激光及有关课题	352

视觉	352
光合作用	359
生色团效应	361
光化学和艺术保护	362
光源	367
发光	368
化学发光和生物发光	372
彩色电视	376
数字显示	378
激光	381
全息术	386
习题	387
附录	389
A. 颜色与光的单位	389
定义	389
能量单位及其变换	390
eV 和 nm 间的变换	390
光度学单位	390
吸收定律	392
B. 白炽方程	392
C. 原子和简单分子	395
壳层和轨道	395
项符号和选择定则	401
轨道形状	403
氢分子	405
其它简单分子	409
分子项符号	412
双原子分子的振动	413
荧光和磷光	416

二个三原子分子	417
D. 晶体场、配位场、分子轨道	421
晶体场理论	422
配位场理论和分子轨道论	425
奥盖尔 (Orgel) 图	427
E. 能带论	431
自由电子模型	431
费密能	434
近自由电子模型	435
F. 棱镜、薄膜、层状衍射光栅	437
棱镜的最小偏差	437
棱镜的分辨本领	439
薄膜干涉	440
牛顿色	440
层状光栅的衍射	442
G. 推荐的读物	444

第一部分 光 与 颜 色

第一章 某些基本知识：颜色、 光及相互作用

颜色

颜色一词是用来恰当地表述实体的至少三个微妙的方面。第一，它描述物体的性质，例如“草是绿色的”。第二，它描述光线的特征，例如“草有效地反射绿光，而差不多能完全吸收其它颜色的光”。第三，它描述一组感觉，例如，“当人眼察觉到草选择性地反射光从而形成绿色的感觉时，人脑对这种特定方式作出相应解释”。经过审慎措词，人们总可以说明颜色的这三种意义在任一给定的用法中指的是哪一种。

有时，下面这种差别是矛盾的：“黑”，用于表示物体表面的颜色时具有确切的意义，即透明性为零和反射率为零；但用来表示光线的性质时就没有任何意义了；在感性认识上，可以方便地认为，它只是感觉中的整个空虚。

在实际中，人们并不经常考虑“颜色”的三种用法的差异，在这里我们也不多作这种考虑（除非这种差别显得特别重要）。这三种不同面貌的存在所派生的仅有知识，是使人们能够鉴定所要表达的意思，并可省掉许多不必要的言词。同时，关于颜色问题的某些哲学讨论几乎完全是无意义的，这正是因为在这三方面上的混淆所致。

贾德 (Judd), 颜色科学的先驱者之一, 意识到他能对颜色作出最好的定义而用的单词不会多于四个音节, 如下所述:

颜色是物体与光所呈现的面貌, 这个面貌取决于到达眼睛网膜的辐射能的光谱成分, 也取决于它在网膜上的时间与空间分布。

颜色的早期观点

光与颜色是视觉的刺激物, 视觉是我们最重要的感觉之一, 因此, 它们成为自然哲学家的思考内容贯穿于全部历史, 希腊哲学家柏拉图 (Plato, 大约公元前 388 年), 对颜色作为科学的可能性持相当乐观态度:

看清颜色是如何组成的, 以及它是什么混合物, 这是没有什么困难的, …但是, 如有人想用实验试图来证实所有这些, 他就应忘掉人性与神的自然界之间的区别。因为只有上帝具有知识和能力, 才能够把许多事物组合成一体, 并且又能够把一个整体分解成许多事物, 但没有一个人或者现在或者甚至将来能够完成这个效果或者另一个效果的。

希腊哲学家亚里士多德 (Aristotle, 大约公元前 350 年) 的观点在实验阶段之前取得支配地位。亚里士多德没有区分颜色与光: “无论什么东西是可见的就是颜色, 颜色就其本性而言, 就是可见的东西”。他提到, 太阳光在与物体发生相互作用时总是变得暗淡无光, 或是强度有所减弱。由于这种相互作用往往产生出颜色, 他把颜色看成是黑与白的某种类型的混合物。他对颜色制定的方案可以表示在一个球上, 如图 1.1 所示, 所有颜色都位于黑与白之间。举例来说, 他谈道:

纯净的光, 像来自太阳的光那样, 是没有颜色的, 但它之所以有颜色, 是由于同物体发生相互作用

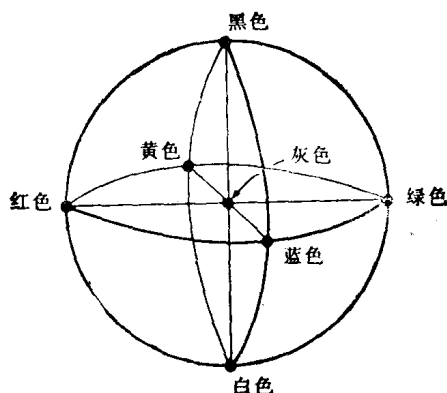


图 1.1 亚里士多德的颜色图解

时，它被减弱，这些物体具有特定性质，于是这些性质便产生出颜色来。

直到牛顿 (Newton) 发现光谱之前，这个观点始终起着支配作用。

亚里士多德对颜色的解释的最后崩溃出现于哥德 (Goethe, 1749—1832, 著名的德国诗人) 的《颜色的理论》一书中。书成于 1810 年 (附录 G 中第一部分的 2), 远在牛顿的光谱在波的基础上得到解释之后。虽然对它的许多实验的精确描述读起来津津有味, 但在整本书中, 哥德始终没有提到牛顿的名字, 也没提到专门名词“波长”!

光谱与“有颜色的”光

颜色科学的开端由牛顿 (1642—1727, 英国数学家及天文学家) 在 1672 年自然科学会刊 (*Philosophical Transactions*) 的一篇报告中用下列文字作了描述:

…在 1666 年之初, …我物色到一块三角形玻璃棱镜, …把我的屋子遮黑, 并在窗户遮挡物上开一个

小孔,以引入适量的太阳光,在这个进口处放置我的棱镜,它就可以把阳光折射到对面的墙壁上。首先,所出现的现象是一种令人悦目的娱乐,看到墙上出现了鲜艳而强烈的颜色。但是,过了一会儿,我对它们作了更为慎重的考虑,看到它们是长方形的形状,使我惊奇了,根据折射定律,预计它应是环形的。…

我把这种有色光谱的长度同其宽度作了比较,发现这个比例大约为五倍多,如此过分的大,激起我异乎寻常的好奇心,审查它可能来自何处。

这样产生的光谱(牛顿创造的词)表示在图 1.2 中。牛顿选用了 7 种颜色来标志,其顺序为红,橙,黄,绿,青,蓝,紫。当它利用一块透镜或者利用第二块棱镜把这些颜色组合在一起时(如图 1.3 所示),又一次得到了白光。由此证明了白光是颜色的混合物。

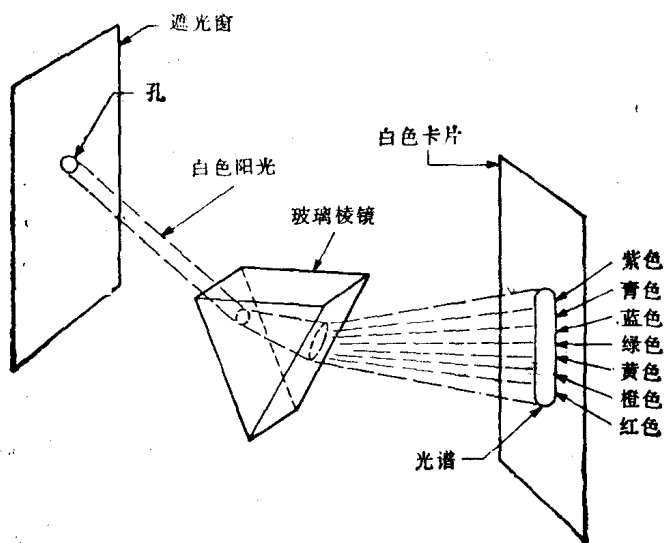


图 1.2 1666 年由牛顿得到的光谱