



〔苏〕Б. И. 斯杰潘诺夫

光学三百年

科学普及出版社

光 学 300 年

[苏] Б·И·斯杰潘诺夫 著

尚惠春 译

科 学 普 及 出 版 社

内 容 提 要

本书通过对历史上几位著名光学家——牛顿、菲涅耳、基尔霍夫、斯托列托夫、普朗克、罗日杰斯特文斯基、瓦维洛夫——的科学创造活动和研究成果的介绍，阐明了人类对于光的本性认识的演变过程。

看了这本书，读者可以了解光学发展所经历的曲折道路和它的发展前景，还能了解和学习老一辈科学家的科学创造方法和治学精神。

Б.И.Степанов

ОЧЕРКИ ПО ИСТОРИИ ОПТИЧЕСКОЙ НАУКИ

Издательство «Наука и Техника» 1978

• • •

光 学 300 年

〔苏〕Б.И.斯杰潘诺夫 著

尚 惠 春 译

封面设计：王 维 娜

科学普及出版社出版(北京白石桥紫竹院公园内)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
河北省固安县印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/32印张：3¹/₄ 字数：—69 千字

1981年4月第1版 1981年4月第1次印刷

印数：1—14,200册 定价：0.30元

统一书号：13051·1087 本社书号：0094

中文版序言

这本《光学300年》实际上是一本光学发展史概要。作者以开展纪念活动为契机，就历史上几位著名的光学家——牛顿、菲涅耳、基尔霍夫、斯托列托夫、普朗克、罗日杰斯特文斯基和瓦维洛夫为各章的题目，对光学发展史作了深入浅出的简述。通过对他们的创作活动和研究成果的介绍，本书阐明了人们对于光的本性认识的演变过程，这样就使读者了解到光学发展的来龙去脉。只有了解过去，才能很好地认识现在，也才能对光学的未来作出有依据的判断。

同其他学科的发展史一样，在光学发展史中，每一个原理的形成，每一个定律的确立，都是经过了许多科学家的辛勤的劳动的。点点滴滴的经验积累，不断出现的矛盾的解决，继而导致普遍性的科学概括，乃是每一门科学发展所必然经历的过程。过去是如此，今后仍将是如此。正如斯托列托夫在他所著的《物理学家牛顿》一书的结尾中所说的那样：“……我们看到，小溪是怎样汇集成大河，大河又是怎样汇集成大海的，它还将带着我们去到那未被考察过的已故的思想家所向往的大洋中去……”。

阅读这本小册子，可以帮助我们从前辈科学家那里学习科学创造的方法，学习他们如何观察问题，如何进行思考，又如何反复地进行试验，从而得出了正确的结论。本书对光学史上主要的科学家几乎都谈到了，他们大多数人都经历了科学上成功的喜悦与失败的锤炼。很好地学习这些科学家孜孜不倦的治学精神，对于青年科学工作者尤为重要。

从这本《光学300年》中，我们还可以看到，这些前辈

科学家除了自己进行了大量科学研究之外，都还特别注意培养人才和发现人才。他们既是科学家，又是教育家，同时也是科研、教育、生产的卓越的管理者和组织者，尤其在他们晚年的时候，这一点就更为明显。光谱分析的创始人基尔霍夫以及他的学生俄国著名的光学家斯托列托夫都是如此。

在光学发展的三百多年的历史中，牛顿的微粒说统治了达一百年之久，但也不断有波动说主张者加以反驳。十九世纪初，菲涅耳以大量的实验证据，使光的波动理论得以确立。在后来的发展中，对光的认识带有根本性变革的是麦克斯韦的光的电磁波理论。在十九世纪的九十年代，解释光与物质相互作用的理论是“电子理论”。1900年，普朗克提出了量子理论，其中也包括光的发射和吸收的量子光学，从此光学理论的发展在近几十年中就同量子物理的发展联系起来了。1905年，爱因斯坦在光电效应的基础上提出了光子的概念。其后的研究证明：光既具有波动性，又具有粒子性，即所谓光的波粒二重性。光学的发展说明，人们对于光的认识经历了多么复杂的演变过程；但是这种认识到现在，还不能说已经完结了。近二十年来，光学有了快速的发展，这主要是由于激光器、同步辐射器这些新型光源出现的缘故。强激光与物质相互作用产生了一系列新颖的非线性效应，从而加深了人们对于光的认识，并使光学同其它许多学科密切联系起来了，这就为光学的发展打开了一个新的局面。展望未来，光学的发展前景是广阔的。

希望读者从这本小册子中不仅能得到有益的知识，而且能吸取力量受到鼓舞。

张 志 三

1979.11

中文版出版者的话

苏联白俄罗斯科学院院士斯杰潘诺夫所选写的这本书，其前七个章节谈的是牛顿、菲涅耳、基尔霍夫等七位著名科学家在光学领域中的科研创造活动以及他们对发展光学所作出的重大贡献；后两个章节谈的是苏联科学院院史和白俄罗斯光学发展的情况。由于后两个章节与本书的主题关系不大，所以未列入中译本，此外对原文略有删改。

中文版出版者

目 录

中文版序言

中文版出版者的话

И·牛顿 (1)

О·菲涅耳 (17)

Г·基尔霍夫 (29)

А·Г·斯托列托夫 (41)

М·普朗克 (52)

Д·С·罗日杰斯特文斯基 (69)

С·И·瓦维洛夫 (87)

附录 (95)

И · 牛 顿

在光学的形成和发展的第一篇特写中，应当特别介绍牛顿——人类伟大的天才之一。在现代自然科学的发展中，牛顿的作用是非常巨大的。力学、数学、天文学、热学、物质结构，当然，还有光学（这远远不是牛顿所从事的全部科学领域），都永远与牛顿的名字联系着。与此，还需要加上科学创造方法的原则性问题的研究。牛顿的发现迄今已三百年，而他的定律、思想和方法仍然具有重大的意义，并服务于人类。在三百年中，科学已经大大地向前发展了，使我们知道了很多新的和非常重要的知识。然而，这一切并没有动摇过，且在任何时候也不能动摇牛顿所建立的科学基础。在数学、力学、光学中都说明了一这点。牛顿的发现经受住了时间的伟大考验。

牛顿对俄国的科学一直是很亲近的。在1725年和1726年的俄国科学院最初的一些会议录中，就援引了牛顿的许多著作。1726年牛顿被选为俄国科学院名誉院士。在19世纪末，斯托列托夫和茹科夫斯基对牛顿的生平和活动给予了极大的注意。斯托列托夫的《物理学家牛顿》一文是富有诗意的，它对俄罗斯物理学派的建立产生了很大的影响。在晚些时候，科学院院士克雷洛夫和瓦维洛夫都成了真正的牛顿信仰者。克雷洛夫首先把牛顿的两部基本著作之一《自然哲学的数学原理》译成了俄文。克雷洛夫还对这部著作中的个别

地方加了注释，并对牛顿及其科学成果作过一系列的研究。1927年瓦维洛夫首先把牛顿《光学》译成了俄文，而且先是对牛顿《光学》，后来又对牛顿的其他许多介绍光学问题的著作作了出色的注释。在瓦维洛夫的笔下写出了牛顿在科学上的许多出色的创造发明事迹。这方面的第一篇著作写于1927年，最后的一些著作写于1947年。他展示在我们面前的牛顿的形象是多才多艺、完美而独特的。

本章对牛顿在光学方面的研究成果只作简短的描述，而且多半引用牛顿的原话，这可以使我们感受两个不同的时代及其不同的科学状况，可以使我们了解牛顿的科学创造方法和更好地估价牛顿事业的伟大。

牛顿《光学》（副标题是：关于光的反射、折射、弯曲和颜色的论文）发表于1704年。在《光学》中所描述的大部分研究工作都是很早以前完成的。在剑桥大学，牛顿首先讲授了他的著名的《光学讲稿》。他在其中描述了1664—1668年他的科学研究工作。1672年2月牛顿公开发表了他的回忆录《光和色的新理论》。后来又出版了牛顿谈光学问题的意见和信件。1675年12月9日和16日在英国皇家学会会议上曾宣读了牛顿新回忆录的两个部分。

1664年，当牛顿开始自己的研究工作时，他才21岁。由此可见，对光学问题的研究是牛顿全部创造生活的开端。

下列的话揭开了牛顿《光学》的序幕：“在这本书中我的意图不是用假说来解释光的性质，而是用讨论和实验来叙述和证实它们。为此，我先讲下列定义和原理。”一共有八条定义和八条原理。按照牛顿的看法，其中包括了“迄今为止，在光学中被谈论过的一切。”而当时人们知道的并不多。关于光束、光的折射、反射、入射角、反射角、折射角等概念已被很

好地表述过。在前面的五条原理中包括反射和折射的基本规律（在那时，斯涅耳和笛卡尔已经确定了入射角和折射角的正弦比值，对于一定的介质来说它是个常数，即与入射角无关）。在最后的三条原理中，描述的是关于光入射到平面、球面或透镜（球面凸透镜、凹透镜或平凹透镜）上以后，反射光或折射光光程的几何原理，并清楚地引入了聚焦这一概念，同时谈了一些关于在眼睛里光程的知识。这部分内容共占了12页。

牛顿进一步写道：“我只打算进一步写出那些我认为是普遍适用的原则。这些叙述，对于非常聪明和有很好理解能力、但对光学缺乏经验的读者，作为入门是足够的了。”

“假设”部分包括一系列假设、定理和习题。定理都用实验证实。这些实验在当时的条件下是做得很出色的，它说明了牛顿的非常高超的实验技艺。这里顺便指出，牛顿在做光学实验的开始阶段，就首先注意了实验的目的。在假设Ⅷ（定理Ⅵ）中这样描写道：“光的不同的折射率影响望远镜性能的改善。”假设Ⅸ（习题Ⅱ）更清楚地指出：“缩短望远镜。”1668年牛顿制造了一台小型的反射式望远镜，全长15厘米，直径2.5厘米。它能达到的放大倍数和当时实用的2米望远镜相同。稍晚些时候（1671年）牛顿又制造了第二台反射式望远镜，长1.2米，镜面直径为2米。正是这台仪器，当时引起了青年学者的普遍注意。牛顿的这种独一无二的仪器展出之后，他被选为伦敦英国皇家学会的会员。

牛顿本人很清楚，他的仪器的产生之所以成为可能，只是因为它是新的、更深刻的原理为基础的。牛顿在准备给皇家学会作报告时这样写道：“我不怀疑，这个报告将比那个对仪器的报导，更令人高兴。据我看来，这件事如果不是

关系到极重大的发现，那也关系到一项非常值得重视的发现，而这种对大自然作用的发现，不论什么时候都会发生的”。

这里所说的确实是关于一些重大的发现：关于光的色散现象的发现，同时还有关于对颜色本性的解释。牛顿首先证明了白光是由很多均匀的各种颜色的光所组成的。

假设Ⅰ（定理Ⅰ）的含义是这样的：“不同颜色的光，它们的折射率也不同。”这种思想进一步通过两个实验得到了证明。从实验中得出的结论之一是：从红光到紫光，折射率按一定的常数增长。

假设Ⅱ（定理Ⅱ）断定：“太阳光是由不同折射率的光所组成的。”这个重要的原理由八个完全不同的实验所证实。这里未必需要来描述这些实验，因为，牛顿的实验就其实质来说是独特的和只有一个含义。大自然本身已经回答了他合理地提出的问题。牛顿首先向世界指明了实验物理学应当是什么样的。他完全不是偶然地断言：“我不会把臆测和真实情况混为一谈。”在牛顿的手里，首次使棱镜变成了光谱仪。利用它，可以揭露周围真实情况的秘密。用两个棱镜交叉着做的实验是非常出色的。第一个棱镜把白光分解成光谱，第二个棱镜能够分别确定每种颜色光的折射率。这里应当特别指出，在那个年代里做实验的困难。例如，当时利用“百叶窗的宽缝，阳光通过窗缝照射到第一个棱镜上……”来作为光源。然而，实验却完全令人信服地完成了。

在假设Ⅲ（定理Ⅲ）中，证明了“太阳光是由反射率不同的各种光线组成的，而且光束被折射得越强烈，则被反射的越多。”在实验的说明中，牛顿叙述了他对棱镜内部光的全反射所作的观察结果。这里顺便说一下，光的全反射现象在

比较早的时候，就已为开普勒所发现。

在假设Ⅳ中，牛顿详细地叙述了怎样把“复杂的非均匀光束——地分开”，或者，用现代语言来说，就是怎样利用棱镜和透镜得到单色光束。

假设Ⅴ（定理Ⅳ）又向前迈出了一大步。在这个假设中，牛顿证实了：“利用非均匀光照射到折射体上，由于不同种类的光有不同的折射率，就会产生不清晰的物体图象”，这就是色散象差的发现。在牛顿之前人们知道的只是球面象差，为了排除在透镜中产生的色散象差，于是牛顿就开始制造反射式望远镜，它立即扩大了天文学的研究能力。

假设Ⅵ（定理Ⅴ）证实，对于不同颜色的光，入射角和折射角正弦的比值不同。但是，这种比值仍然与入射角大小无关。早些时候，笛卡尔所描述的折射定律，只适用于白光，这当然是不严格的。

第一本《光学》书的第一部分已经得出了这些结果。在第二部分中，作出了下列更重要的一步。以前所描述的许多实验使作者作出了一系列的结论和类似的推理。但只是在以后的很理想的实验中，才证明了所有这一切都是正确的。没有任何臆测和猜想！

这里我们援引一些假设和定理。“任何一种均匀的光都具有一定的与其折射率相对应的颜色，而这样的颜色在反射和折射时不会发生变化。”

现在，在二十世纪，这些原理看来很清楚，也不新奇。而在当时，这些原理并没有立即为人们所接受，曾经引起当时最大的学者，诸如胡克等人的反对。为了使我们能想象出以前是怎样理解光的自然本性，在这里值得援引牛顿光学讲稿中的一些原话。牛顿曾写道：“也有这样的说法，某些颜

色里所掺合的光的数量比另一些颜色里的多。但是这种说法是不足为凭的，因为任何颜色都不能从白色或黑色，或者从黑白两色的混合中（除中间暗的区域外）得到。还有，光的数量不能改变颜色的种类。”这里牛顿批驳了当时占优势地位的那种见解：认为光本来似乎就是白的，而颜色是由白的和黑的结合而成。甚至牛顿不得不去驳斥一直流传到牛顿那个时代的亚里士多德的见解，即“颜色乃是有限物体中可看见的界限”，或“光是表示透明程度的一种量，而颜色是这种透明程度的界限。”

牛顿在谈到他的同时代人时曾说：“至于其他哲学家的观点，如果认为光是振动着的介质所产生的脉冲传递到眼睛视网膜的结果，那么，他们就会肯定地说，颜色或者是由于影和光的混合，或者是由于许多球体的转动，或者是由于某种以太介质的振动所产生的。所有这些说法都犯了一个共同的错误，即认为光的变化能显示出各种不同的颜色。就其产生原因来说，这种变化不是光本身所固有的，而是在反射或折射中获得的……。光和影的混合、许多球体的转动、或是介质的各种振动在反射和折射之前都不是光所固有的；认为它们是由这些作用本身所产生的。”

由此可见，牛顿所奠立的思想，使对光的本性的认识，从根本上迈出了新的一步①。

应当看到，牛顿是很清楚地了解颜色概念的主观性的。

① 瓦維洛夫指出，简单颜色不变性原理，这是牛顿光学原理的基础，一般说来，它是不正确的。在荧光、合成散射，以及象现在我们所知道的，在非线性光学的许多过程中，这个原理被破坏了。但是，瓦維洛夫指出：“如果在十七世纪就发现了斯托克斯偏移的话，那么在光学概念中产生的混乱是很难想象的。”在那时，就需要首先证明颜色的本性，只有在此之后才能研究光与物质发生相互作用时，光的波长的变化。

“如果准确地说，光线是不能着色的”。“在光线本身中，除了向感官传播某种运动，最后使人们产生颜色感觉的那种素质之外，再也没有任何别的东西”。当时有一种类似的比喻：钟声不是别的，而是一种能引起听觉器官一定反应的振动运动。

证明每束均匀光线具有一定的折射率之后，牛顿又提出了对折射率进行定量测量的问题。为此目的，牛顿发明了一个比较简单的折射计。在进行测量的时候，牛顿仔细地注意着这些测量的精确度和重复性。牛顿所说的下面这段话完全不是偶然的：“我相信将来有人会根据我在实验中取得的成果进行正确的讨论，然后用优质玻璃和相当慎重的态度对各种物体进行实验，则所预期的现象必定会发生。”在牛顿以前，在进行实验时，这样坚定的目的性和合理性还没有过。牛顿的实验结果曾多次出现了疑问，但每一次牛顿和他的追随者最终都证实了它们的正确性。

“白色和白黑两色之间的全部灰色可以由适当比例的各种颜色混合组成”。在这个(和上述的)理论中，牛顿从对复杂光的光谱分析转到光的合成。在原始光的数量和性质已知的情况下，牛顿解答了关于混合的颜色问题。进一步应当更普遍地证实：“宇宙间所有的由光所组成的颜色，不论它是均匀光的颜色，或者是由后者混合而成的颜色，都与人的想象力无关。”

象上面说的那样，牛顿的这些思想，在当时是新颖的、出乎人们意料之外的，使牛顿同时代的人感到大为惊讶。甚至，过了100年之后，伟大的天才歌德还不能接受这些论点，不同意有色光比白光具有更单纯的本性的见解。按照歌德的意见，眼睛接受的白光是单一的，与耳朵在分析声的振动，

把它分解成许多谐波成分不同^①。

自古以来人们就经常观察天空中的彩虹。它给人们留下一种美妙而又神奇的印象。只有牛顿才彻底弄清了虹的起源，而且还利用棱镜人工地再现了彩虹，弄清了它是各种颜色交替排列而成的。

所获得的实验结果，使牛顿又正确地解释了其他许多已知的现象，其中也包括解释了自然界中各式各样的物体为什么具有不同的颜色。他写道：“这些颜色，是由于自然界中有些物体反射一些种类的光比其他物体多一些，而其他的物体则反射另外一些种类的光多一些而造成的。”牛顿在证实这种解释的正确性时写道：“从这些见解中可以进一步看出，均匀光的颜色，不能因自然界的物体的反射而发生变化。”这是合乎逻辑而又巧妙的证明！

第一本《光学》书描述了这些实验和讨论。不难看出，它包括了现代几何光学的基本部分。它对以后的科学发展所起的作用确实是无法估计的。

第二本《光学》书的重要性，丝毫不亚于第一本。它描述了干涉现象，也就是现在我们所说的牛顿环。薄膜彩色是早些时候由玻意耳发现的，以后胡克也研究过它。但是，只有牛顿才对这些现象做出了细致的、定量的解释，并从现象上确定了它们的基本特性。在这里最重要的是对光的周期性的发现。

牛顺不承认波动理论，他认为光是粒子流，他当时不能

① 歌德的著作《关于颜色的研究》于1810年问世。他试图证明牛顿在《光学》一书中所描述的全部观点完全是荒谬的，是由于迷惑不清和顽固的偏见所造成的。歌德试图建立自己的颜色理论，但是他的理论和亚里士多德的理论也没有多大区别。恰在此时，舍莱格为了建立他的理想的、甚至神秘的哲学而利用了歌德的观点。他写道：牛顿《光学》，尽管它所有的部分都是建立在观察和实验的基础上，但它仍然是整个错误体系的最明显的例子。

也不愿意利用波长这一概念。然而，关于光的周期性问题正是牛顿清楚地谈论到的。牛顿写道：“有时我一连数了三十多次周期性变化的序列（在每一个序列中都包括一明一暗的环），但是因为它们太窄无法数清楚。”

一如既往，牛顿一直在做测量。他确立了空气层的厚度以及和彩色环相对应的半径平方，这二者的比值是一列自然数。牛顿用水代替了平板玻璃和棱镜之间的空气，并且观察到彩色环的半径减小了。他首先观察了单色光在反射和透射时的干涉条纹，而后观察了白光的干涉条纹，研究了薄膜和肥皂泡的彩色。他确定，干涉条纹只限于薄层的表面上。在第二本《光学》书的第一部分里，描述了对这个问题的24种新奇的观察结果。在作总结时，牛顿写道：“关于颜色的科学仍然停留在抽象的议论上，但是，象牛顿《光学》的其他各部分一样，它同样是精确的，是作了数学计算的。”不知道为什么在他的书中没有公式，但是，在书中所有可能的地方，他都尽量用数字表示。

在那个时候，想给这些粗细相等的干涉条纹寻求一个真正的解释是很困难的。为此，应当放弃叠加原理。但是，对这些彩环总需要有一种恰当的解释。牛顿写道：“所有厚的透明物体的表面都能反射一部分入射光和折射其余部分的入射光，其原因是，某些光线在入射时具有易反射突变，而其余光线具有易透射突变。”在透射光中的亮环对应着反射光中的暗环。这里正好对常用的下列术语给出了定义，即“某些光线的分布复原成反射的，我把它叫做易反射突变，而把它的分布复原成透射的，则把它叫做易透射突变。在每个复原和其相邻之间光线所经过的空间，称为突变的范围。”

当然，就象我对它们描述的那样，这还不能正确地解释

所观察到的干涉现象。正如瓦维洛夫所指出的那样，牛顿同时证明了光的严格的周期性质，不过是纯经验性的证明，与光本性的任何具体假说无关。牛顿以惊人的精确性测量了各种颜色的周期长度（各个突变之间的间隔），比较了观察厚板和薄板所获得的许多结果，并得到了相同的数字。瓦维洛夫进行了相应的反复计算，并指出：牛顿所得到的各种颜色的波长数值，非常接近真实的数值。正是牛顿对波长作了第一次测量，并得到了光学史上第一个光谱表^①。

第三本牛顿《光学》很短，其中只有第一部分，没有第二部分，但是书中所列举的实验事实却有十分重要的意义。全书讲的是光的衍射。

光的衍射是1665年格里马耳迪发现的，胡克获得了更详细的数据，牛顿又重新作了格里马耳迪的实验，同时把注意力集中到现象的纯定量特性上，并且他使用的已经不是白光，而象他在前面所说的那样是一些窄的单色光。牛顿第一个证明了白光可以衍射成各种颜色的光。正因为如此，作为白光分解的又一方法，牛顿研究了衍射。

牛顿没有来得及完成自己的光学研究。他说：“我现在没法考虑对这些问题作进一步的研究，因此我没法完成我的这部分计划。我仅仅完成了需要进一步进行研究的几个问题的假设，而这个研究任务将由其他人去完成。”他曾提出31个问题。

这已经成了牛顿遗嘱，是后来者的整个研究工作的提纲，是进一步向科学探索的蓝图。在牛顿提出的所有问题

^① 当时在牛顿的连续光谱中还没有任何基准线，因此把光谱划分成几部分来表示不同的颜色，是任意的、主观的划分。这些基准线是过了150年在夫琅和费发现太阳光谱中的暗线以后才提出的。