

Г. Г. 斯留萨列夫

談 光 学 中 一 些
可 能 的 和
不 可 能 的 问 题

科 学 出 版 社

52.1
616

談光学中一些可能的 和不可能的问题

Г. Г. 斯留萨列夫 著

朱 裕 栋 译

王 子 余 校

21-88/16

科 学 出 版 社

Г. Г. СЛЮСАРЕВ
О ВОЗМОЖНОМ И НЕВОЗМОЖНОМ В ОПТИКЕ

Издание третье, дополненное
Государственное издательство
физико-математической литературы
Москва 1960

内 容 简 介

本书简要地叙述了光学和光学技术一些可能的和不可能的问题：对人们指望实现的远距离燃烧，指出其困难所在，对某些光学上的奇谈怪论作了批判，特别是对阻碍人们利用超放大率仪器的因素作了详细明了的分析。本书对光学仪器的功能作出比较客观的评定，使光学研究工作者和光学仪器设计工作者把精力转移到现实的方向。书中也指出了进一步提高光学仪器功能的一些途径，以及光学仪器的发展远景等。

本书对高等学校光学和光学仪器专业的师生、光学工程人员、中等学校物理教师和广大业余光学爱好者均有一定的参考价值。

談光学中一些可能的和不可能的问题

[苏] Г. Г. 斯留萨列夫 著

朱 裕 栋 译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 117 号

北京市书刊出版业营业许可出字第 061 号

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

*

1966 年 2 月第 一 版 开本：850×1168 1/32

1966 年 2 月第一次印刷 印张：4 5/8 插页：1

印数：0001—3,800 字数：118,000

统一书号：15031·223

本社书号：3391·15-4

定价：[科六] 0.80 元

第一版編者的几句话

切实地解决有关光的传播的各项光学问题,是非常复杂而艰巨的;并且,能解决的也只属少数场合。困难的主要原因在于光的电磁波性质。

一向以来,人们所赖的方法,所得的结果,几乎无不限于近似的。早在古代便已产生的几何光学,是解决光学问题的最粗浅而又简单的方法。光的干涉学说虽把射线光学稍微加深了一步,但毕竟仍属近似的方法。电磁波的衍射理论终于指出了确切地解决光学问题的途径;但这条路径却是这般复杂、曲折,以致衍射理论本身也自然地变成了并非完全精确的简化而且近似的一类方法。同时,为了简便起见,通常又是以那些实际上并不存在、也不可能存在的向四方作同样辐射的“发光点”来解决各种光学问题。

如此说来,难怪光学中随时须加以克服的各种妄谈,要比物理学其他分支为多。难怪有些掌握了几何光学的一些近似规则、习惯利用“发光点”与“平行光束”的人们,要开始发明将发光体的辐射集中于一点的各种仪器,把望远镜跟显微镜合并使用,想借此看出月亮和太阳上的更多细节;也难怪在研究分子时从未能想到用第二个显微镜去观察第一个显微镜内的象的职业光学家们因循守旧的思想遭到了失败。

与光学有关的各科学机关,把时常接到的来自四面八方的此类建议搁置起来。现在,永动机(perpetuum mobile)的设计方案,较之超望远镜、超显微镜和远距离燃烧的诸光学系统,大量制造的现象要少得多了。永动机设计数目的减少,无疑地是科学宣传和科学普及文献起了促进作用。可惜,在光学方面,能够简单并具体地解释光学中一些可能的和不可能的问题的文献,至今还不见一本;而发明家的智慧与精力,早该集中到别的较有希望的道路上去

了。

因此，Г. Г. 斯留萨列夫教授——光学家兼计算家，“光学系统计算理论”的作者——的这本小册子的问世，是十分适时的。在这本小册子里，Г. Г. 斯留萨列夫所能解释的远非应用光学上的全部妄谈，而且其中有许多问题不得已只能作概略的叙述。往后，无疑仍然需要解释各种光学上的妄谈的书和小册子；但在今天，对于这一迫切需要事业上的良好开端，是值得欢迎的。

C. 瓦維洛夫

1944 年

作 者 序

光学应用的领域正在逐年增加并扩大。工程师、化学家、医学家、生物学家、军事专家们，都不得不去掌握光学的一些基本原理和规律。然而，光学是一门抽象的课程，掌握它并不那么容易。想弄懂光学仪器基本特性的实际知识虽则比较顺当，但要学会光学的理论基础却困难得多，并且这里很可能出错，错误又往往十分细小，不易发觉。一个普遍的情况是，大家对光学仪器的功用估计过高，故而好作种种不现实的打算，但一旦打算落空，便又大失所望。

在许多专家当中，往往包括一些甚有名望的在内，有着一种普遍的说法，认为光学是一种万能的武器，利用它，可以随心所欲地用光束来解决一切问题：获得任何照度（这倒还说得通），任何亮度（这便与热力学的第二个原理发生矛盾了）；变任何光束为平行光束，而且这种平行光束细如衣针，与某些小说中非现实的幻想相差无几。

对光学产生这种不正确的理解，很大一部分责任应归咎于中学教科书。在许多教科书中，把互相贯连的、说明光学仪器全部特性的几何光学、光度学和衍射理论，安排得各成完全独立的、互不相干的篇章¹⁾。

从普通物理着眼，这样划分是无关紧要的。但光学仪器理论却因此受到了破坏：这个科学领域被划成几个部分，四分五裂，很快就被遗忘。

不管造成这个局面究竟是什么原因，但都必须设法消除由此

1) 在一本常用的中学高年级物理教科书里，我们发现一系列错误的论证。例如望远镜放大率的范围为 1000—10000 倍（后一数字显然夸大了）；又说显微镜的放大率可达 3000 倍（这样的放大率不仅无益，而且有害）。书中未讲明为什么要有放大率的上限。在衍射一章，只字未提衍射是如何出现在光学仪器中，也根本没说正是衍射阻碍着大放大率的应用。

所产生的不良后果。作者希望本书能在这方面有所帮助。

这里向读者推荐的,并非系统的光学课程,也不是为弥补基本光学课程所缺章节的补充教材。作者有意无意地选取了某些为发明家们(光学家以及其他科学技术部门的专家)感兴趣的应用光学问题,诸如远距离燃烧、望远镜和显微镜的超放大率等问题,同时也阐述了某些比较尖端的问题:大孔径角的“光学放大器”和光学仪器的发展远景等等。虽然本书缺乏系统的安排,但所探讨的每个意见却具有共同之点,即:实现这些意见的不可能性——或是绝对不可能,或是很长期内暂时不可能。

作者根本无意向读者散布光学方面的悲观情绪,从而使我们寻求光学仪器的新的应用方法受到限制。因此,书中列举了如何提高最近出产的光学仪器效率的某些新途径,它们还很少为众人乃至专家们所知。这里是指如何析认那些在大放大率下好似成象的衍射图样,如何增大象衬度的各种方法,以及如何用电子流代替光流。

本书第一版问世以来,一些享有相当威望的作者曾先后作出许多奇异的发明,初看起来似乎很有效,其实却是在错误理解光学一些最重要原理的基础上制成的。在所述诸发明中,这些原理是用了极复杂的结构掩饰起来的,不仅发明家自己糊涂,也糊涂了值得惋惜的评阅者。属于这一类的几个较突出的“发明”,本书介绍从简,不作过多说明,以易于识破基本错误的所在。

人们形容光学零件的危险性,往往超出它所实际具有的程度,以致造成采取过分的预防措施,尤其在消防事业上。对此问题,专有一章加以研讨。同时也介绍了现今应用极有成效的相衬法。

本书篇幅虽小,所述问题虽窄,但我仍不得不去请教了许多光学家——国立光学研究所的同人们。我谨向他们致以衷心的谢意。

作者尤其有责任指出,本书的想法基本上是属于 С. И. 瓦维洛夫 (Вавилов) 院士的,因为他给予了许多宝贵的指教。Я. Е. 艾莱冈 (Элленгорн) 和 В. Е. 柯兹洛夫 (Козлов) 二教授为显

显微镜一章提供了全部例举,我谨向他们致谢。

本书第二版曾经 Г. С. 兰斯别尔格 (Ландсберг) 院士校阅,作了若干修正,并提出了一些重要的意见。作者深感遗憾的是,由于 Г. С. 兰斯别尔格过早的逝世,作者无法再向他本人表达衷心的感谢了。

第三版与第二版相比,只增添了“视网膜受损情况下视力的恢复”一节,对相衬现象则采用了蔡尼克 (Zernik) 著作中的材料,重新作了更简单的说明。

Г. 斯留薩列夫

1959年11月

目 录

第一版编者的几句话·····	iii
作者序·····	v
第一章 远距离燃烧·····	1
§ 1. 远距离燃烧原理的由来·····	1
§ 2. 光动力学的基本概念·····	3
§ 3. 辐射能的散射·····	11
§ 4. 总的结论·····	16
§ 5. 关于热线光源·····	18
§ 6. 照度计算公式的精确程度·····	19
第二章 光学上的妄谈·····	23
§ 1. 概论·····	23
§ 2. “平行”光束·····	25
§ 3. “聚光圆锥腔”·····	26
§ 4. 各方向的光学放大问题·····	28
§ 5. 相对孔径大于 1:0.5 的照相物镜·····	30
§ 6. 变散射光为定向射光·····	31
§ 7. 光流通过窄孔·····	33
§ 8. 光学零件和玻璃制品的“引燃性”·····	36
§ 9. 照度的“放大”·····	39
§ 10. 视网膜损伤情况下视觉的恢复·····	41
第三章 光学中的可逆性和不可逆性·····	44
§ 1. 什么叫光学中的“可逆性”·····	44
§ 2. 哪些光学现象是不可逆的·····	45
§ 3. 不正确地运用反向光路原理一例·····	49
第四章 光学系统的分辨能力限度(显微镜和望远镜)·····	53
§ 1. 一般的见解·····	53
§ 2. 光学系统所成象的微观结构·····	57

§ 3. 光学系统的分辨能力·····	66
§ 4. 光学系统的最佳放大率·····	70
§ 5. 显微镜学家的几个错误·····	75
§ 6. 用现代的光学仪器能看见什么·····	83
§ 7. 未来的远景·····	85
§ 8. 利用光学系统的新途径·····	87
§ 9. 光学系统因象差所致功能上的限制·····	95
§ 10. X光显微镜·····	99
§ 11. 电子显微镜·····	103
第五章 周相、振幅及成象·····	109
§ 1. 周相在成象波动理论中的作用·····	109
§ 2. 惠更斯-费涅耳原理·····	110
§ 3. 振幅滤光片·····	114
§ 4. 显微镜术中的相衬·····	115
§ 5. 选频·····	120
§ 6. 光学增透·····	123
§ 7. 干涉透镜·····	126
§ 8. 再谈分辨能力和光学系统所能传送的信息多少·····	129
结束语·····	133
附 录·····	136

第一章 远距离燃烧

§ 1. 远距离燃烧原理的由来

相传阿基米德曾用镜子烧毁停泊在锡腊库扎的敌舰。多少代来，这个传说一直对发明家的想象起着强烈的影响。这个神话偏偏流传于中世纪，是有些道理的；同时给人一个印象是，当时发明家之所以大力传播，为的是想假借阿基米德的声望，来肯定自己在这方面的努力。任·巴司塔·波泰——“暗箱内象”的发明者，替我们描绘了这种燃烧镜，它的原理极象 A. H. 托尔斯泰有名的长篇小说中主人公加林工程师的双曲面反射镜。

应当指出，即使在这遥远的年代里，也曾有学者不相信会有此种仪器。刻卜勒在“屈光学”一书中就提出论证，反驳波泰的设想；这些论证与我们现今所用的相比，形式虽则不同，内容却是一致的。

在推广燃烧镜方面，作家们的功绩不小；对他们说来，这个能够烧尽途中一切的致命武器，确实是一个丰富的创作源泉。魏尔斯小说中的火星居民，用了能射出热光线的仪器，几乎征服了地球；不过魏尔斯下笔十分谨慎，对火星居民的这种仪器避而不谈，未加描述。我们祖国的作家笔下的加林工程师，无疑是远距离燃烧镜发明事业的创始人之一，同时不得不承认，作家对许多已基本上运用了他的想法的发明家的智慧起了多么巨大的影响。著名作家*的文学手法，把这个想法描写得逼真，虽然如下所见，它是根本不正确的。何况，加林工程师把几何光学忘了许多，把双曲面和抛物面混为一谈，不会求抛物面的焦点，等等。

* 指 A. 托尔斯泰。——译者注

说来也怪，在很多方面预见到二十世纪技术进展的儒勒·凡尔纳*，竟避免了许多科学幻想小说家所曾犯过的错误。在他那数量众多的作品中，可以找到不少大胆的发明，光学仪器则占了适当的地位。不过，在儒勒·凡尔纳笔下的主人公——学者们之中，却谁也没想到利用热光线。儒勒·凡尔纳的深入而又健康的构思，使他避免了过于冒险的发明。

在许多冒险小说和古代传说的影响下，力求用热线远距离引起火灾和爆炸的想法逐年加强了。这一共人皆知的问题，原以为随着近世纪大规模的技术发展，是足能解决的，但结果直到如今仍悬而未决，这自然令人奇怪了。

无论在阿基米德时代也好，现今的发明家也好，光束始终是能量的载体，光学仪器始终是一种聚光装置。由于光源和光学仪器均经显著改善，大家自然会想：上述此问题的解决，该为期不远了罢。

现在来研究一下，为什么成千种业已提出的和将要问世的结构，不管它们的光学装置零件多么复杂，多么精致，全都注定是一无所成的呢？不待说，我们在讨论的时候，应把那些位于燃烧对象近处的仪器视作例外。

在理论上，远距离燃烧仪器完全有可能实现。只要有强大的光源和巨大的光学系统，在任何距离上都可引起能量的会聚，足以燃烧任何易燃的物质，如纸、干木屑等等。

同时，物体的燃烧效果既决定于光源，也决定于传递能量的光学系统。但在现有的光源条件下，光学系统须具有一种纯幻想的大小才行——这一点，我们从下面的计算公式中可以看出。

每个小学生都知道的一种基本的实验，便可证明有关远距离燃烧各种发明的起因，以及这些发明的徒劳无益（经过较认真的研究）。

假定在一个大晴天，我们拿上一个直径尽可能大的、但焦距尽

* 1828—1901，法国作家，著有“水下八万里”等科学幻想小说多部。——译者注

可能小的聚光透镜，就比如一块放大镜吧。我们把它的轴朝太阳安置好。透镜的焦点上会构成太阳的一个小象，而且当透镜的直径与焦距之比足够大时（以后，我们称这个比值为透镜的相对孔径），便能毫不费力地把一张纸、一块衣料、一根软木和其他东西烧掉。

如果拿一个焦距很长的透镜，比如 1/2 屈光度的眼镜用透镜（正的），我们便能在距离透镜约 2 米的地方，看到一个直径 2 厘米大的圆——太阳的象；但这时象异常淡薄，要映在一张白纸上细瞧才能看出。这时候，当然是怎么也燃烧不起来的。

透镜的相对孔径的影响是很容易解释的。

§ 2. 光动力学的基本概念

我们首先确定应用光度学的全部仪器和术语，因为光度学已极完整，只要把它的应用范围适当扩大，对我们所研讨的问题就很方便、实用。

光度学是研究可见光束，也即对人眼的网膜能起反映作用的光束的特性。不过，我们要讲的不只是可见的，也讲不可见的红外光。为了避免不必要地应用新单位，我们就采用光度学现行的单位，不过赋予它们以某种另外的含义，以适应更广的光谱范围。

对于不懂本题的读者，我们尽可以介绍他们去阅读光度学教程¹⁾，但考虑到往后结论所需，我们在这里仍须把这些原理讲解一遍；同时，为了符合本题要求，在讲解的时候，所据的出发点略有不同。

光流是某种能量的载体。将一块涂煤烟的光屏置于光路中，便很容易发现有没有能量。涂煤烟的光屏，在光流压力的影响下，将逐渐变热，直至热量保持平衡，也即受热体所发的光流等于所受的光流为止。这种变热程度，一方面决定于射来的光流，另一方面也决定于能量受体本身对该能量吸收的程度大小。例如新涂的氧

1) 例如可参阅下列二著作：Фабри，“Общее введение в фотометрию”，Гостехиздат，1934；或 С. О. Майзель，“свет и зрение”，Воениздат，1949。

化镁层、石膏层或银层，能够反射出入射能量的 95—98%。涂有煤烟或覆有天鹅绒的表面能够吸收入射能量的 96—99%。

毛表面上朝各个方向反射出来的光量与入射于表面的光量之比，叫做反射能力（反射率）。反射率 a 的变化范围自零至 1。

物体因吸收入射的全部光能而变热，这与所受光流有何关系呢？当物体的温度远不够平衡温度时，变热的程度与单位面积内光流的能量成正比。（即光流集中的面积越小，受热的时间越长，受热的程度就越大。）

太阳辐射的能量流，每一平方厘米的面积上，每分钟为 2 卡，也就是说，被阳光直照的一平方厘米的面积上（其 $a = 0$ ），每分钟可吸收 2 卡，即 0.14 瓦特。如果此面积的热容量等于 1，高度为 1 厘米，并且导热性很强（无穷大），那末每分钟能加热 2° ，即一小时能加热至 120° 。任何加热到 120°C 的黑体，都能从 1 平方厘米的表面上辐射出 0.14 瓦特。所以说，太阳光只能把任何物体的温度提高到 120° 为止。

实验证明，想点燃一块干木，需要 500°C 至 700°C 高的温度。黑体只有在下述条件下才能达到这个温度：射于其每一平方厘米表面上的光流需 2—5 瓦特的功率，也就是说，为最良好条件下太阳所给予的光流功率的 20—40 倍，并且受热的时间需延续几十分钟之久。

要达到瞬间点燃，则需几百瓦特大的功率，因为凡易燃的物体，大都只能吸收 30—40% 的能量。功率为 150 瓦特的光流（其中 50 瓦特用于物体的加热），可将物体的温度提高到 1500°C 。点燃一张纸、一块木板以及诸如此类的东西，只要几秒钟功夫就够了。

表 1 列出了有关各种强度的辐射作用较详细的资料，此表系取自路松（Louson）著“原子弹及火灾”一书的俄译本（外国书籍出版社，1955 年，12 页）。

我们想知道怎样才能获得足以在远距离上烧掉易燃体的光流功率，是很自然的。

表 1

感 觉 或 作 用	强度(卡/平方厘米·秒)
夏天的阳光	0.016
经三秒钟后引起疼痛	0.25
距受射表面半英寸处置一不大的火苗,在长时间作用下足能燃烧各种木头的辐射最低限度	0.3
经长时间作用后足能使各种木头自燃的辐射最低限度	0.7
棉布的自燃:	
经七秒钟后	0.8
经五秒钟后	1.0
经三秒钟后	1.3
隔电纸的自燃:	
经七秒钟后	1.1
经五秒钟后	1.25
经三秒钟后	1.4
厚橡木板的自燃:	
经二十秒钟后	1.1
经十秒钟后	1.3
经八秒钟后	1.35

我们来研究一下空间某部分辐射出光线的光源。在这部分空间中,要研究一个所谓光流管,也就是一个充满了光能的基本容器。如果光传播所在的介质是各向同性的,即各方向上的性质相同(实际上往往正是这样),那末,这些光流管便为疏线表面,也即由直线构成的表面所限制。这种

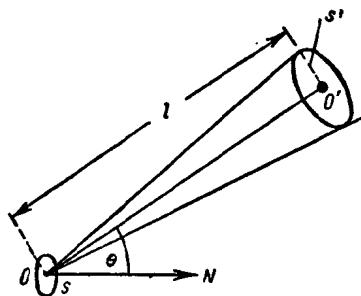


图1 光流管

光流管被两个微面积 s 和 s' 所限定(图1);在个别场合, s 可能是光源表面的一部分, s' 是能量接受器表面的一部分。

先来讨论 s 与光源不重合、 s' 与接受器不重合的一般情况。

设 s 是辐射出能量的微面积, ON 是这个面积的法线。设 s'

是另一个微面积,它与 OO' 方向垂直。我们来研究一下由面积 s 辐射到面积 s' 的全部光流。因为这两个面积都很小,故可认为,由 s 和 s' 所限制的圆锥体内的光束是均匀的;因而,通过这两个面积的光流,与 s 和 s' 成正比。此外,如果光束轴 OO' 跟面积 s 的法线 ON 成 θ 角,那末光流与 $\cos\theta$ 也成正比,因为在方向 OO' 上能起作用的,只是面积 s 在轴 OO' 的垂直平面上的投影。

现在来研究面积 s 和 s' 间的距离 l 的影响。如果将面积 s' 至 s 的距离增大 n 倍,则很清楚, s' 上的功率就会减小 n^2 倍;所以,功率与 l^2 成反比,功率 Φ 则可写成

$$\Phi = \frac{B s s' \cdot \cos\theta}{l^2},$$

式中 B 是一个与光源的性质有关,但与光束的形状和界面无关的系数。系数 B 叫做光流管的亮度或光束的亮度:如果将光流管延长至光源表面,这个亮度的概念也适用于光源表面被光流管所截的部分。但如果光源不是面光源,而具有体积(如煤气光、天空等),其亮度则可根据上述光流计算式求出。

Φ 的表示式可写成如下二数的乘积:

$$\Phi = (B s \cdot \cos\theta) \left(\frac{s'}{l^2} \right).$$

第一个乘数通常叫做面积 s 在方向 s' 上的发光强度;第二个乘数则是立体角,在这一角度下,从元面积 s 可以看到微面积 s' ,或者撇开 s' 不管(它只起辅助性图解的作用),称之为辐射立体角。因此,元光流 Φ 是辐射方向上的发光强度 I 与辐射立体角 ω 的乘积:

$$\Phi = I \omega.$$

如果光源和辐射立体角都很大,那末总光流即为由光源和立体角中所划出的元面积和元立体角所得到的各元光流的总和。

必须注意一个个别情况,即 s 是光源发光表面的一部分。任何一个发光体,都是从不同的点上按不同的方向辐射出光来的。一般说来,发光体的亮度从一点到另一点是变化的,而在每一点

上,又随辐射的方向而变;同时,亮度与方向的关系,可用任何一种规律表示出来。上列 Φ 的计算式,对本场合也仍适用,但须按辐射的规律相应地来取 B 值,并令 $\cos\theta$ 等于1。光流以流明(lumen, люмен)计,发光强度以烛光计,亮度则以尼特(nit, нит)(若以米作为长度单位)或熙提(stilb, стильб)(若以厘米作为长度单位)计。

光流对光路中所置光屏的作用,以光流的密度确定。光度学家们称这种密度为照度,它等于比式 $E = \frac{\Phi}{s'}$,式中 s' 是被照物的微面积。

在相当短的时间内,温度的提高,也与光屏的吸收能力成正比。 E 值用辐透(phot, фот)表示。通常又用勒克司(lux, люкс)代替辐透(1勒克司 $= 10^{-4}$ 辐透)。

我们举出几种光源的亮度(在光谱的可见部分)作为例子。太阳的亮度是120000熙提,普通电弧焊口的是15000熙提,“点形”灯的是2500熙提,白炽灯的钨丝的是300—800熙提。

太阳对地面的照度(光谱的可见部分)约10辐透。

现在我们可以确定足以点着易燃物的照度了——就比如用上述透镜的试验吧。

我们来研究两个微面积:一个直接受阳光照耀,另一个被直径 $D = LL'$ (图2)、焦距为 f 的透镜所造成的太阳的象所照。大家知道,从地球上看来太阳时的张角为 $31'$;因此,透镜所造成的太阳的象 ss' ,其直径为

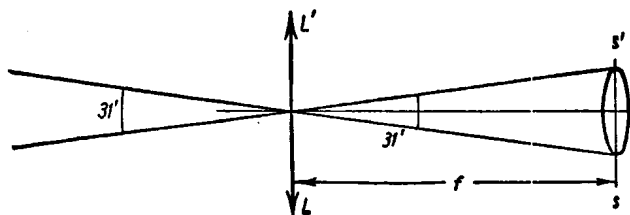


图2 透镜所造成的太阳的象