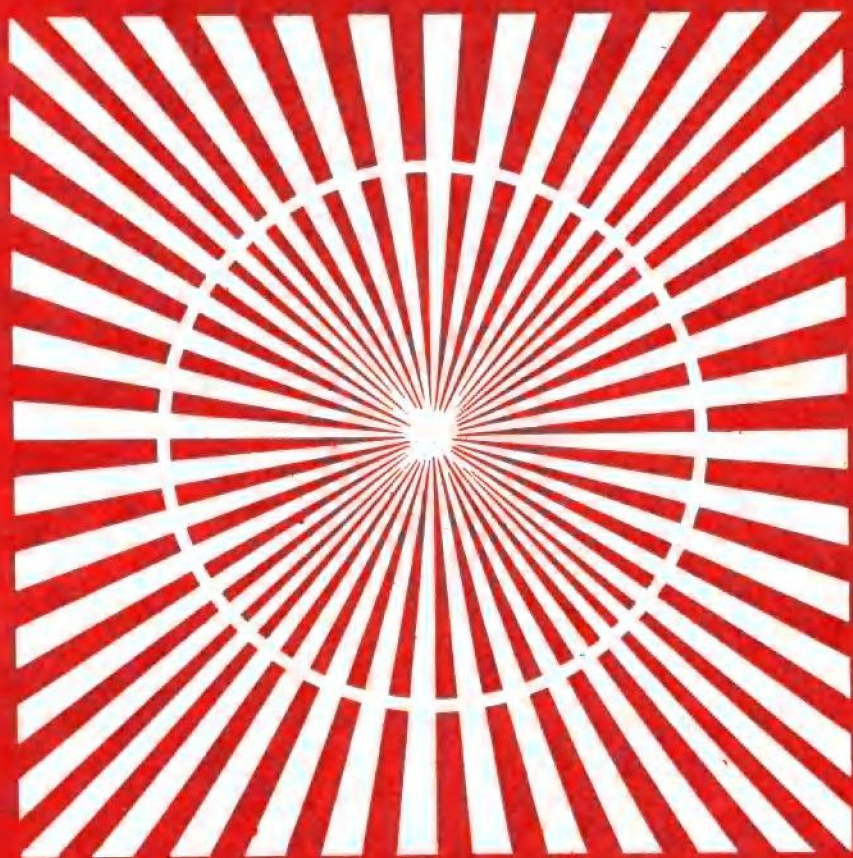


孙茂权 张光勇 刘占存



演示光学

北京师范学院出版社

演示光学

孙茂权 张光勇 刘占存

北京师范学院出版社

(京)新 208号

演 示 光 学

编 著 孙茂权 张光勇 刘占存
出版发行 北京师范学院出版社
社 址 北京西三环北路 105 号 (邮政编码 100037)
经 销 全国新华书店
印 刷 北京顺义北方印刷厂
开 本 850×1168 $1/32$ 印数 0,001—2,000 册
字 数 320 千字 印张 12.375
版 次 1993年 6 月第 1 版
1993年 6 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-81014-729-3/G·592
定 价 13.00 元

序 言

作为物理学的一个分支，光学同样是一门以实验为基础的学科。实验验证了光学的理论，推动了光学的发展。对于今天学习光学的人，实验尤为重要。美国俄亥俄州立大学物理系荣休教授 E.L.J. Jossem 曾形象地说过：“*I hear and I forget, I see and I remember, I do and I understand.*”译成中文，即为“我听过，易忘记；我看过，易牢记；我做过，易掌握。”我们也常说：“耳听为虚，眼见为实”；“百闻不如一见”，可见演示实验有多么重要。光学演示实验，可以将五光十色、丰富多彩的世界展现在学生面前，激发他们的学习兴趣，促使他们去探索光的世界的奥秘。

我们这本书吸收了传统演示中的精华部分，并换以新的光学元件和光源；我们试图以更为普遍的元件代替专门化的元件；既考虑到氦氖激光器、汞灯等已为实验室普遍采用的光源，也考虑到了使用日常生活中色彩丰富的白光光源。

我们自己对这本书的要求是一个“新”字，就是说要有新内容、新技术、新方法，每个演示都力图有所创新。在编写过程中，参考了国外国内大量光学书籍和有关期刊文献资料，受到不少启发，使思路大为开阔，的确获益匪浅。本书对绝大部分资料都注明了出处，以便读者进一步研究时参考。同时本书也吸收了编者多年来的一些教学和科研成果。收入的大部分实验，都为师生演示过。我们注意使科研与教学相结合，将科研成果应用于教学之中。如自行研制的重铬酸明胶干版技术，用于全息照相，使衍射效率大为提高，得到的白光再现全息图有很强的立体感，使其形象更加生动逼真。在经典光学的实验中，我们也试着引入了散斑杨氏干涉屏、各种对切透镜、浮法玻璃的空气膜干涉、液晶

显示的光学演示等较为新鲜的内容和方法。

在材料的选取上，我们还注意了配合课堂教学，突出重要概念。如光在均匀媒质中沿直线传播，全反射、棱镜与色散，透镜成象，透镜的各种象差，分波前法的各种干涉装置，各种薄膜干涉，各种衍射屏及光栅的衍射，偏振、偏振光的干涉，旋光与旋光色散等。同时对于在教学中易被学生忽略的概念，提供了专门的演示方法：如光在水中传播时是频率还是波长发生了变化；棱镜光谱与光栅光谱有何区别；三棱镜内外相对折射率改变后光线偏折方向的改变；菲涅耳衍射与夫琅和费衍射的异同点是什么等等。

更重要的是我们增加了现代光学的有关内容。现代光学已渗透到物理学和其他许多科技领域，得到越来越广泛的应用。在基础光学课程中，普遍引入了现代光学的内容。本书收入了一些有关的实验，如阿贝成象原理、傅里叶变换和空间滤波等，并提供了三维全息、用光纤拍摄全息图、反射全息、二次曝光全息、观测物体形变的单曝光全息等多种实验方法，介绍了光学图象相减、光栅彩色编码、激光散斑等多种信息处理实验，相信一定会引起读者的浓厚兴趣。

考虑到光学实验与工农业生产、科技卫生、日常生活都有密切的联系，为了拓宽学生的知识面，我们也收入了一些与应用有关的演示，如立体幻灯、三原色和互补色、人眼模型的近视远视矫正、激光束测玻璃瓶壁厚等内容。

在内容的安排上，对传统光学部分的演示，一般先简述原理，列出所用装置的清单，再说明操作步骤及演示中出现的现象，最后对演示方法和技巧作进一步的讨论。同一光学现象，可以有多种不同的演示光路，为了适应不同的情况，有的列出几种不同方法，如旋光现象和旋光色散介绍了六种方法；同时由于篇幅所限，有不少方法是在“注意事项”中提到的。在现代光学的内容中，特别是有关全息照相的内容，相对来说演示并不太困难，而

全息片的制作往往是成败的关键，因此在讲清原理、叙述演示方法的同时，还着重介绍了拍摄全息片的光路、装置以及暗室冲洗技术，以便读者实验时参考。

我们衷心感谢历届学生的大力支持，他们乐于参加实验的各项准备工作，对细致琐碎的事情从来是不厌其烦，对演示中出现的实验现象常常赞叹不已，表现出浓厚的兴趣，这无疑是对我们的最有力的支持和莫大的鼓舞。此外我系光学实验室的朱南等同志配合演示实验作了大量的准备工作，谨此致谢。

我们还衷心感谢在百忙中为本书审稿的于美文教授。

由于我们的水平和经验所限，不当之处在所难免，恳切希望读者提出批评建议和补充修改意见，以便再版时能够更趋于完善。

本书可供有关教师和从事演示工作的实验技术人员参考，也可供开放实验室时学生们选作有关实验时使用，或作为演示实验的选修课教材。因其中还收入了不少原理简单、现象丰富多彩的实验，因而对中学、中专、中师的物理教师也有一定的参考价值。

编 者

1992年9月16日

目 录

1	光线在非均匀媒质中的传播	(1)
2	星光闪烁的模拟	(7)
3	空气密度变化产生的阴影	(9)
4	海市蜃楼的模拟演示	(11)
5	内反射的演示	(16)
6	在光纤中内全反射的简单演示	(18)
7	由平行透明板的全反射产生的亮环	(21)
8	发光的喷泉	(25)
9	用激光束测量玻璃瓶的壁厚	(28)
10	三棱镜的折射和最小偏向角的演示	(31)
11	用水三棱镜演示色散和散射	(36)
12	液体透镜	(39)
13	薄透镜在水中的焦距的演示	(44)
14	利用自准直法测定凸透镜的焦距	(46)
15	厚面镜的焦距	(48)
16	凸凹透镜的球差	(51)
17	彗差	(56)
18	像散	(58)
19	畸变	(61)
20	用人眼模型演示近视眼和远视眼的矫正	(64)
21	双缝干涉的模拟演示	(68)
22	菲涅耳双棱镜干涉	(71)
23	双面镜实验	(75)
24	洛埃镜实验	(78)
25	对切透镜的演示实验	(81)

26	用迈克耳孙干涉仪演示相当于两个实点光源产生的干涉	(94)
27	用散斑效应制作的杨氏干涉屏演示杨氏干涉条纹	(98)
28	两列柱面波产生的干涉	(100)
29	干涉、衍射花样的三维演示	(104)
30	用迈克耳孙干涉仪测气体的折射率	(107)
31	马赫-曾特尔干涉	(111)
32	迈克耳孙干涉仪所形成的白光干涉条纹	(115)
33	薄膜表面的等厚干涉	(118)
34	尖劈形空气层的干涉现象	(127)
35	松节油膜的干涉彩色的演示	(130)
36	薄云母片的不定域干涉	(132)
37	浮法玻璃演示的薄膜干涉	(135)
38	激光照射细玻璃管产生的干涉	(138)
39	法布里-珀罗干涉仪	(141)
40	干涉滤光片	(146)
41	夫琅和费衍射的演示	(149)
42	矩形孔的衍射	(154)
43	三角形孔的衍射	(157)
44	圆孔的夫琅和费衍射	(158)
45	夫琅和费字母屏及一些特殊屏的衍射	(159)
46	针孔空间滤波器	(162)
47	粗光栅的掠入射引起的衍射	(165)
48	用衍射光栅粗测液体折射率的演示	(168)
49	用衍射光栅测定氦氖激光在水中的波长	(171)
50	闪耀光栅的衍射	(174)
51	凹面光栅	(177)
52	平行光束倾斜入射时的光栅衍射	(179)

53	激光唱片产生的衍射	(183)
54	用密纹唱片当作反射光栅演示衍射的情况	(186)
55	关于夫琅和费衍射与菲涅耳衍射的区别的演示	(188)
56	菲涅耳圆孔衍射	(192)
57	菲涅耳圆盘衍射	(195)
58	波带片	(197)
59	莫阿条纹的演示	(203)
60	X射线的多晶体衍射的光学模拟演示	(206)
61	双折射现象及双折射引起的偏振	(209)
62	偏振片透光方向的演示	(213)
63	反射、折射引起的偏振和布儒斯特定律	(215)
64	马吕斯定律	(220)
65	偏振光的干涉——菲涅耳-阿喇戈定律的演示	(224)
66	显色偏振	(234)
67	会聚偏振光的干涉	(237)
68	光弹性效应	(243)
69	旋光效应和旋光色散的演示	(248)
70	磁致旋光 (法拉第效应)	(259)
71	立体幻灯	(263)
72	液晶显示的光学演示	(268)
73	光的散射	(273)
74	光栅光谱和棱镜光谱的比较	(278)
75	黑线的“光谱”	(281)
76	光通讯的位置调制演示	(284)
77	由磁致旋光调制光强的光通讯演示	(288)
78	三原色和互补色	(291)
79	全息与信息光学演示实验的一般要求	(296)
80	全息光栅	(307)
81	三维全息摄影	(316)

82	三维全息图像的观察	(321)
83	用光纤拍摄全息图	(323)
84	像面全息	(325)
85	360° 全息图	(328)
86	反射全息	(331)
87	二次曝光全息图	(335)
88	物体形变的实时观测——单曝光全息图	(339)
89	光学图像的二维付里叶变换——频谱的观察	(342)
90	二维卷积演示	(345)
91	空间滤波实验	(348)
92	文字资料的全息存贮	(352)
93	全息图用作翻译器	(355)
94	全息匹配滤波器的制作及图像的特征识别	(357)
95	光学图像的相减	(361)
96	泰伯效应的演示	(363)
97	激光散斑演示实验	(367)
98	光栅编码假(真)彩色图像处理	(374)
99	蝇眼透镜编码成像	(384)

1 光线在非均匀媒质中的传播

原 理

光的直线传播定律——光在均匀媒质里沿直线传播的规律，是几何光学的基础之一。

应当注意的是，光线只在均匀媒质中沿直线传播。在非均匀媒质中光线将因折射而弯曲，这种现象经常发生在大气中。由于空气的各部分湿度或温度不同或因重力分布而引起密度的不同，因而其折射率不同；在溶液中往往因浓度不同而使各部分折射率不均匀，在这些情况下，光线都会不沿直线传播。

方法 I 由温度变化引起光束方向改变

实 验 装 置

(1) 氦氖激光器及其电源；(2) 普通电炉子 (800~1000 W)；(3) 直径 3 毫米的圆形挡光屏，可用黑纸剪成直径 3 毫米的圆形粘在一块干净的玻璃上；(4) 白屏；(5) 产生温度梯度的黄铜板装置：其结构如图 1-1(a)，主要由上下两块铜板组成，上铜板（其剖面见图 1-1(b)）厚度约为 10 毫米，长宽均为 17 厘米左右，中间钻以水道孔，孔直径约 6 毫米，多余的孔蘸点儿粘合剂用堵堵好，以防漏水。 f 为入水接头， g 为出水接头。下铜板厚度为 2~3 毫米（长、宽均与上铜板相同）。上下铜板间的间距为 4~5 毫米，连接处垫以胶木衬垫以利绝热；(5) 带胶管的塑料上水桶及接水用的水桶。

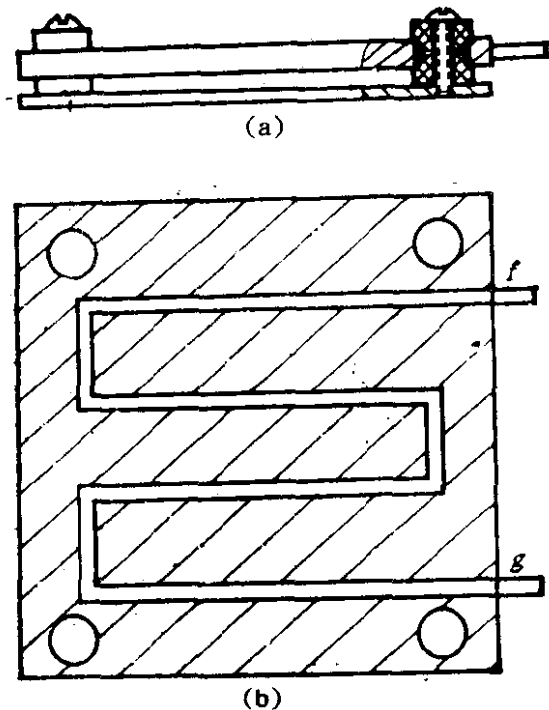


图 1-1

演示与效果

(1) 将用以产生温度梯度的黄铜板装置平放在电炉上，电炉暂不通电。开启氦氛激光器的电源，调整激光器的高低及方向，使激光束能从上下铜板之间无阻碍地通过。

(2) 在激光束从上下铜板间出射后约 0.5 米处放上直径 3 毫米的圆形档光屏，调整其位置，使出射的激光束恰好被圆形屏遮挡住，激光光束不能通过，在其后一定距离处放一白屏，此时白屏上看不到激光束的亮斑。

(3) 接通电炉的电源，同时将带胶管的水桶放在较高位置，胶管与上铜板的 f 头接好，松开水止夹，则水会从 g 口自动流出。下部铜板迅速变热，上部铜板在水冷却下温度几乎不变，两铜板间形成一定的温度梯度，使折射率变得不均匀，因而光线不再沿直线传播，挡光屏不再挡住激光束，于是在后边的白屏上形成一亮斑。

注 意 事 项

(1) 若条件允许, 可将产生温度梯度的装置改为图 1-2 所示装置。它包括两平行铝板 (或铜板) a_1 、 a_2 , a_1 厚 6.4 毫米, a_2 厚 2 毫米, b 为绝热垫, 厚 3.2 毫米, a_1 与 a_2 的长宽均为 17×17 厘米², 铝制的散热片 c , 与底板 a_2 有良好的传热接触, 散热片恰好能装进一盛咖啡的塑料杯子里。此装置的四个角上有支撑架, 待光路调好后, 从下部将装有液氮的杯子放入, 并使液氮将散热片浸没 (注意不要碰动其它装置), 下部底板 a_2 迅速变冷, 而上部底板仍维持在室温左右, 因而光束偏折。因液氮蒸发冷却极为迅速, 故仅需一分钟左右的时间即可完成演示。

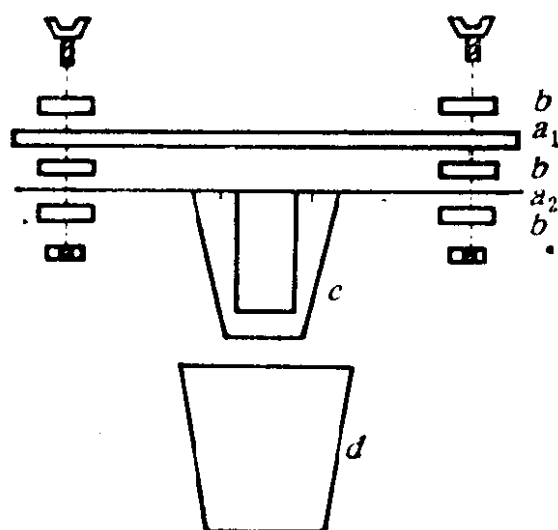


图 1-2

(2) 演示由温度变化引起空气折射率不均匀导致光线不沿直线传播, 还有一更简单的方法, 其光路如图 1-3。光源可用氦氛激光器, 使激光束从一黄铜槽板上方很近处通过, 在后边的白屏 M 上记下亮斑位置, 然后点燃铜槽板下的两盏酒精灯, 铜槽板上的空气迅速被加热, 折射率变得不均匀, 使一些光线向下偏折, 一部分光线向上偏折, 亮斑变大。铜槽板用 1 毫米厚的铜板制成, 长 15 厘米, 宽 2.5 厘米, 每边弯出 1.5 厘米高的沿。

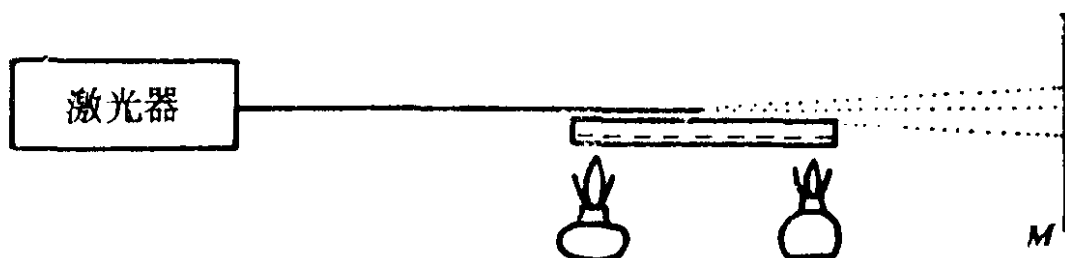


图 1-3

也可用一小型幻灯机作光源，装上一黑纸刻出的线度为 1 毫米的三角孔幻灯片，调节投影镜头，使之在屏幕上成清晰象，然后用酒精灯加热铜槽板，同样可看到三角孔的象变大变模糊。铜槽板可用铁架台支撑，但与架子接触处应垫上石棉橡胶板以防热量流失。

〔参考文献〕

- 〔1〕 George Spagna, «Laser beam deflection by thermal gradient», Am. J. Phys. P475, Vol. 51, no. 5, May, 1983
- 〔2〕 H. F. Meiners, «Physic demonstration experiments», Ronald, New York. 1970 P1045

方法 II 溶液的不同浓度引起光线的弯曲

实验装置

(1) 氦氖激光器及其电源；(2) 特制的小溶液箱（其零件结构见图 1-4），底板 a 尺寸为 60×2.5 厘米²，后面板 b 为 15×60 厘米²， a 、 b 均用 1.5 毫米厚的黄铜板制成；前面板 c 为 15×60 厘米²，两端板 d 为 2.5×15 厘米²， c 、 d 均用 3 毫米厚的光学性能较好的玻璃制成。用粘合剂（可用加了固化剂的环氧树脂胶，或市售的粘合剂如 101 胶）将五个部分粘好。底板 a 的中心部位钻孔并装一个三通阀旋塞，塞下有段管可装软胶管。在后面板 b 上的一端，每隔 1.2 厘米刻一刻线，以便充液时控制液量的多少；(3) 为了向溶液箱内充液，准备 11 个吸气瓶，每个

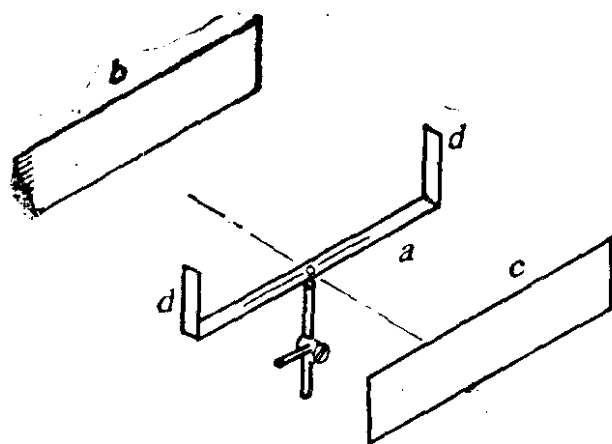


图 1-4

装 11 种溶液中的一种。11 种溶液均为苯与二硫化碳互相溶解而成。最上边一层为 100% 的苯，第二层为 90% 的苯和 10% 的二硫化碳，以下依次将苯减少 10% 而同时将二硫化碳增加 10%。11 个吸气瓶都装上一段较短的软胶管，并编上 1~11 的号码，从 100% 的苯开始编为 1，以后依次减少苯的浓度，直到 11 号为 100% 的二硫化碳。

演示前，先将液体装好。将 1 号瓶的胶管装在三通旋塞上，使旋塞旋到图 1-5(a) 所示的位置，一旦液体从水平管中流出，即将旋塞旋到图 1-5(b) 所示的位置，然后再缓缓旋到图 1-5(c) 所示的充液位置，注意使瓶中的液面要高于液箱内液面，液体才能从底部缓缓流入液箱。当液面达到第一条刻线时，将旋塞旋到关闭位置，并拆下软管及 1 号瓶，并将 2 号瓶的软管装到旋

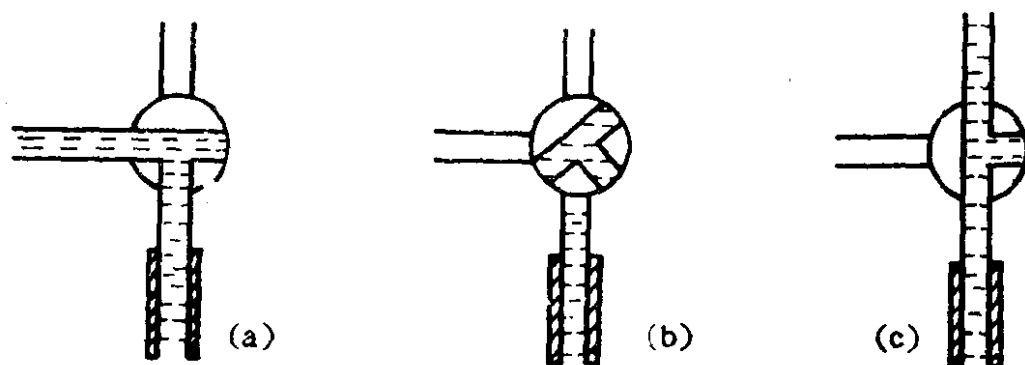


图 1-5

塞上，然后放气、充液。将所有的瓶依次对液箱充液，每次使液面升高到更高的一条刻线处。在整个充液的操作中，都要注意瓶内的液面一定要高于液箱液面以防液体倒流。同样重要的是充每层液体时都要非常缓慢以尽可能避免混合。

演示与效果

(1) 开启氦氖激光电源，调节激光束的位置和方向，使激光束按图 1-6 所示的方向入射，即使其与水平方向夹一小角向下入射，则可看到氦氖激光束的弯曲。

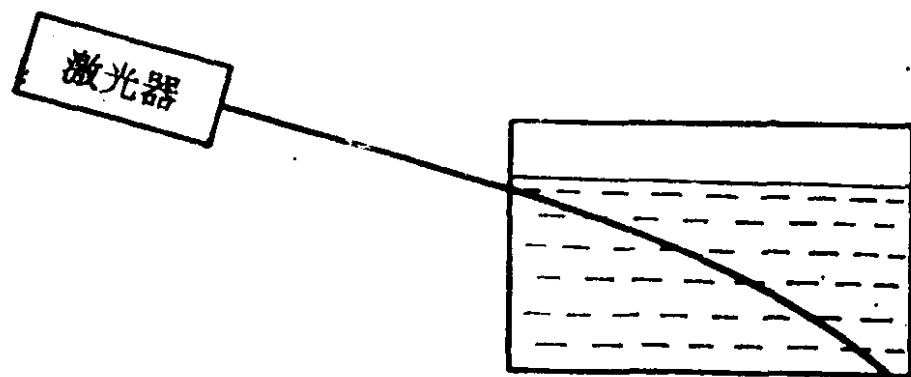


图 1-6

(2) 将液箱向后（即后面板方向）轻轻地平移，使之从光路中退出，即可看到激光束在均匀媒质中的传播路径与在非均匀媒质中是多么不同。

注意事项

(1) 使用上文中所说的溶液箱，旋下三通旋塞后用一螺堵将底板中部的孔堵住，并将有机溶剂冲洗干净，加入食盐溶液，也可以进行使光线发生弯曲的演示。

用 350 克食盐溶入 1 升水内，为了加速溶解，应边加热边溶解，待完全溶解后，进行冷却，再用普通滤纸将其过滤一遍。将盐溶液先倒入溶液箱，使盐溶液深度约为 6 厘米，在溶液表面铺一张长短、宽窄恰好能盖住盐溶液表面的塑料薄膜，然后经漏

斗将水缓缓倒入。为避免空气泡附在壁上，最好用充分煮沸过的水。倒水时注意不要将薄膜弄翻，最后使水和盐溶液共 12 厘米高。停两三分钟待水层稳定后，从溶液箱一端将塑料薄膜缓缓撤去。在原来的水与食盐溶液的界面附近，由于分子运动，会产生一层浓度逐渐由低变高的液层。按图 1-4 所示，使氦氖激光束从原分界面处入射，并使光束的方向稍稍向上，则射入容器的激光束会向上屈折。入射的光束若是稍微向下倾斜，由于下层面的折射率变高，溶液中的光束就会向上弯曲（分别见图 1-7(a) 和图 1-7(b)）。

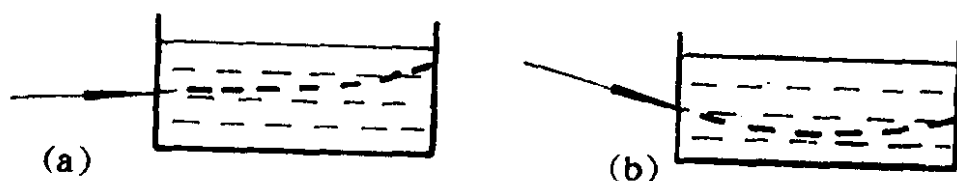


图 1-7

(2) 除了可以用食盐溶液外，有的书上还介绍了可以用一种照相中常用的快速定影液和自来水形成浓度和折射率不均匀的液体，演示光线的弯曲的方法。

〔参考文献〕

H. F. Meiners. Physics demonstration experiments. New York, Ronald, 1970. 1040~1042

2 星光闪烁的模拟

原 理

从地面上升的热空气流，使光线的路径发生变化，形成星光的闪烁；透过熊熊燃烧的炉火上方的热空气观察到的景物好似随风飘动一样。这些现象可以用实验模拟演示。