

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非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。

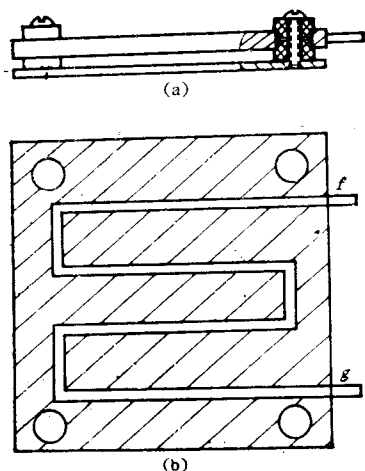


图 1-1

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。

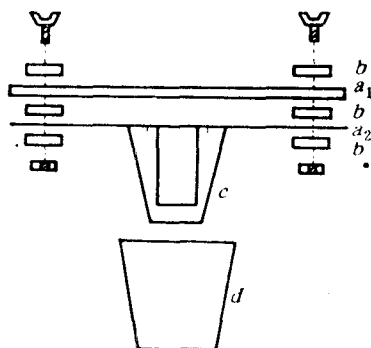


图 1-2

(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。光源可用氦氖激光器, 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。

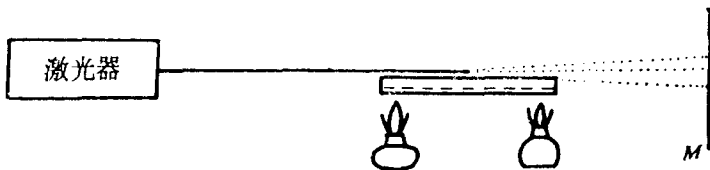


图 1-3

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

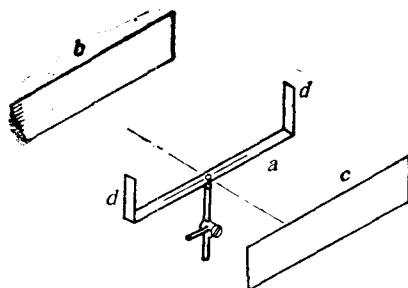


图 1-4

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

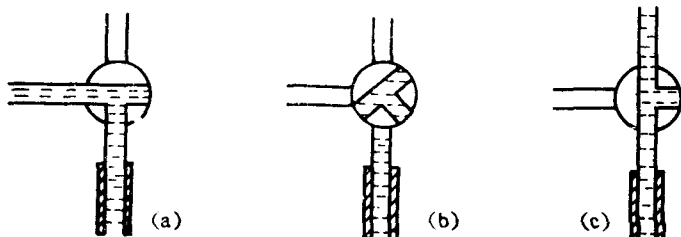


图 1-5

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。

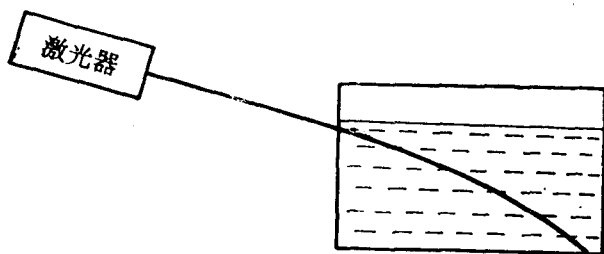


图 1-6

(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，使氦氛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)）。

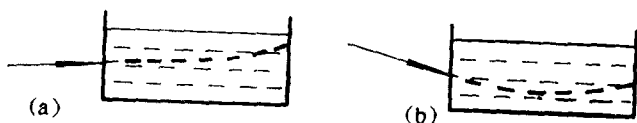


图 1-7

(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。

实验装置

(1) 小型幻灯机；(2) 800~1000W电炉一至二个；(3) 特制的幻灯片：可用黑纸或跑光后经显影定影处理过的全黑135胶片，用针刺出几个透明小圆孔，注意使其边缘尽量光滑一些；也可以在白纸上画几个黑色的小星星，拍摄后冲洗成负片直接作为星星的幻灯片。还可在室外拍摄一个正在施工且没有装上玻璃窗的高层大楼，经显影定影后做成负片直接使用（其窗口恰好是亮的，当然每片都要装好塑料片框）；(4) 屏幕，最好用较白的墙壁，当然也可以用幻灯或教学投影仪屏幕。

演示与效果

(1) 将有大楼图形的幻灯片推入幻灯机，开启幻灯机光源开关，对屏幕调焦，使屏幕上成像清晰。

(2) 将两电炉顺着幻灯机光束方向排好（也可只用一只电炉放在光束下方），并使电炉与幻灯机相距约30厘米远，以防烤坏幻灯机。暂时关闭幻灯机电源，接通电炉电源，大约7、8分后电炉温度达到最高点，再开启幻灯机。让观众到屏幕前方约一米处观看大楼的图像，此时看到整个画面好像被风吹得飘来飘去一样，“大楼”也随之飘摇不定了。

(3) 将刺有圆孔或拍有小星星的幻灯片推入幻灯机，则在距屏幕约一米远处，可看到“星星”的闪动——即幕上的圆孔光阑或小“星星”的像不是停留在一定的位置上，而是时常作不规则的运动。

注意事项

(1) 使用一个电炉也完全可以看到上述现象，当然使用两个或更多电炉时由于热空气流更强一些，因而现象更明显。若使用一个或几个煤气灯也可代替电炉使用。热空气流强时，离屏幕

远些观察也可以。

(2) 用白色墙壁代替一般屏幕的好处在于由于画面飘动, 观众往往会误以为是屏幕会晃动, 而谁也不会以为墙壁会发生飘动。

〔参考文献〕

A. Б. 蒙洛瑟也夫斯基等. 物理教学表演 (四、光学). 北京: 人民教育出版社, 1958. 15

3 空气密度变化产生的阴影

原 理

光线沿直线传播的规律, 只有在均匀介质中传播时成立。

当光线通过气体介质时, 由于气体折射率 n 是空气密度 ρ 的函数, 若各点的气体密度不同, 则各点的折射率也将随之而不同。

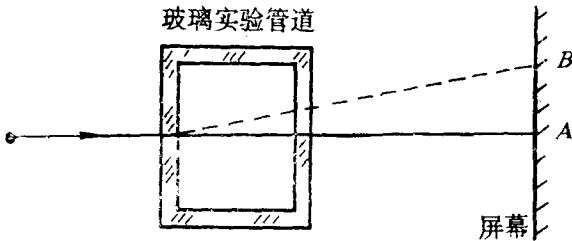


图 3-1

如图 3-1 所示, 一束光线从左边射来, 透过一玻璃实验管道中的气体。若其各点密度相同, 光线将无折射, 沿图中的实线到达屏幕上的 A 点; 若管道中的气体密度有变化, 光线可能会沿图示虚线方向投射到屏幕上的 B 点。

实验中一般可用平行光束，当各点密度均匀时，光线通过实验段始终保持平行而不偏折，屏幕上显示均匀亮度。当空气中某些点密度有变化，为不均匀分布时，各点的折射率也就各不相同，屏幕上将出现亮度明暗不均的情况（即出现阴影）。其中密度变化愈是剧烈的地方，则屏幕上明暗对比愈是强烈。

由这种方法形成的阴影，常用于流体力学实验中作气体流场显示。这种显示方法，就是将人眼看不见的折射率变化改变为光的照度变化。

实验装置

(1) 氦氖激光器及其电源；(2) 短焦距 ($f' = 0.5$ 厘米左右) 的小凹面镜；(3) 长焦距 ($f' = 30$ 厘米) 直径约 9 厘米的凹面镜；(4) 25W 电烙铁；(5) 支架；(6) 屏幕。

演示与效果

(1) 实验用的光路见图 3-2。开启氦氖激光电源，使激光束经小凹面镜反射到大凹面镜上，调节大凹面镜的位置和方向，使其反射的光束大致为平行光。

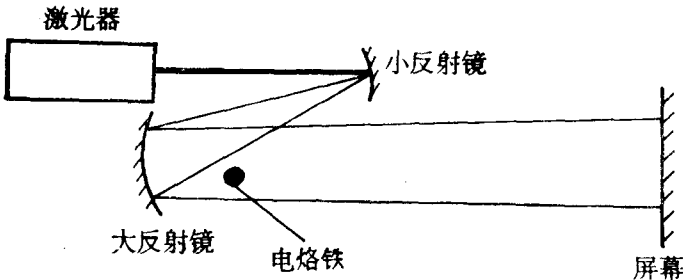


图 3-2

(2) 在光束经过大凹面镜后不远处的光路中，放上由支架支持的电烙铁，将电烙铁通电加热数分钟后，其温度即可达到正

常工作温度。此时在屏幕上烙铁的阴影处除了可以见到烙铁边缘部分的衍射外，还可以稍稍看到一点气流的阴影。

(3) 用一纸片或扇子（也可以用放在数米外的旋转的电风扇）轻轻扇动烙铁附近的空气（注意勿使纸片进入激光照明区域），则可以看到屏幕上的阴影形状不断变化。红色背景中的亮暗变化，好似熊熊燃烧的火焰。

注 意 事 项

(1) 也可以用两个适当的透镜代替凹面镜对激光扩束。为减少激光“噪声”的干扰，第一透镜后须加上针孔滤波器，第二个透镜的焦距和孔径都应足够大，以免视场太小。

(2) 由图 3-1 可见，空气密度不同会引起光线的角偏转，因而热的电烙铁应当适当靠近扩束的透镜（或面镜）而远离屏幕，以使阴影的变化较为明显。

〔参考文献〕

- 〔1〕 T. 卡拉德著. 激光演示实验. 松竹丰译. 北京: 人民教育出版社, 1980, 48
- 〔2〕 陈克诚. 实验流体力学技术. 北京: 机械工业出版社, 1983, 79

4 海市蜃楼的模拟演示

原 理

海市蜃楼是光线在大气中受到复杂折射情况下产生的一种自然现象。当地面被晒得滚烫时，靠近地面的空气被烤热，因而这部分空气的密度变小，故产生下现蜃景 (inferior mirage)。反之当靠近地面的空气层为冷空气层，或这部分空气层中含有较多的水蒸汽时，则这部分空气层的折射率变大，因而发生上现蜃景

(superior mirage).

我们可以用波阵面或波阵面的一小部分的传播情况来解释海市蜃楼的形成。即使这部分波阵面暂时平行于地面传播，在上述第一种情况下，由于靠近地面的空气折射率小，波阵面的下部将以较大的速度传播，而上部则相对要慢一些，这部分波阵面会向上弯曲。用费马原理分析这一现象，可知远处景物发出的光线穿过密度不均匀的大气层时，就会发生弯曲，从而使光程最小。同样在掠射角的条件下观看被太阳晒热了的柏油马路，将显出周围的景物，仿佛马路上有一层水似的。

在实验室模拟海市，可以用由不均匀的温度分布和不均匀的浓度分布分别产生不均匀的折射率分布的两种方法。

方法 I 由媒质的温度梯度产生蜃景

实验装置

(1) 12V50W汽车灯泡及其电源变压器；(2) 毛玻璃(约 25×15 厘米²)一块，上面贴一块用带颜色(如绿色等)的薄纸剪成的山峰轮廓图样；(3) 能产生温度梯度用以演示蜃景的专用装置：其主体是一块长宽尺寸为 86×7 厘米²，厚为1.2厘米的平钢板，可用锯或火焰切割的方法从大块钢板上割下，将边缘的毛刺锉平，然后做专门的支架用来在钢板的一面等间距地安装上三个直热式电炉子(每个炉子功率为800瓦)。用两个铁架台垫上绝热垫支撑，使之保持竖直位置；(4) 调压器，可用220V 8A的两个。

演示与效果

(1) 将产生蜃景的专用装置安好，使钢板平面保持竖直，且令其长边方向保持水平，电炉的接线分别接在两调压器的次级。在钢板平面延长线上一定距离处放上带图形的毛玻璃(可使图形

的一部分被钢板遮住), 用接通电源的汽车灯泡从毛玻璃后面将图形照亮。

(2) 此时由于空气密度均匀分布, 因而看不到蜃景。将调压器的初级接通电源, 并调节输出电压使之逐渐升高, 钢板被逐渐加热。观察者站在钢板的另一端 (即没有发光物体的那端), 观察发光图形。在距钢板的一定距离内沿钢板长边的掠射方向就可以看到钢板表面好像是映有山脉的水面, 出现了海市蜃楼景象。

注 意 事 项

(1) 此实验在演示前应先试作一下, 将调压器的输出电压调到不同数值, 各试一段时间, 然后找出当时条件(气温、气压)下的使演示现象最满意的电压值, 演示时可直接采用。

(2) 这里的热表面为一竖直表面而不是水平表面。因水平热表面对流和扰动的影响较大。竖直表面前的对流则引起快速的层状空气运动, 使得现象稳定且温度梯度高得多, 因而可使装置的体积减小。这一装置的主体为一钢板, 要求其表面光滑而未经过精密的机械加工, 以避免金属表面的自身反射。钢板厚度选得厚一些是为了避免由于偶然的温度涨落 (例如开门窗) 的影响。加热的总功率约 2 千瓦即可。

(3) P·R·Barker, P·R·M·Crofts and M·Gal 介绍了一个很好的上现蜃景的演示方法。用一个透明的玻璃水箱 ($40 \times 15 \times 15 \text{cm}^3$) 充以 $3/4$ 体积的水, 用铁架台支起两个功率为 150W 的红外灯, 使之高于水面 $1 \sim 2 \text{cm}$ 。在距水箱一端约 50cm 处放上以漫射光源照亮的用黑纸刻成的剪纸造型, 接通电源对水加热约 1 分钟后从水箱另一端观察其造型, 即可看到一个隐约出现的、局部放大的倒立象。

这一装置在课前课后的组装和拆卸极为方便, 它利用了随着温度变化水的折射率也改变的现象。开启红外灯时, 表面水温升高很快, 而底部温度几乎不受其影响。红外灯似乎仅加热顶部几