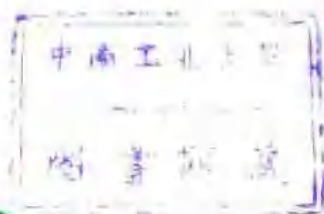


〔印〕 R·S·瑟罗希

715703

氦-氖 激光器 实验教程



716

C

中山大学出版社

氮-氖激光器实验教程

[印] R.S. 瑟罗希著

伍钧鏞 谢 沧 译

谢 沧 校

中山大学出版社

A Course of Experiments with
He-Ne Laser

R.S.Sirohi

Helsted Press, a division of John
Wiley & Sons, New York, 1985

氦 氖激光器实验教程

〔印〕R.S.瑟罗希 著

伍钧锵 谢 沧 译

谢 沧 校

中山大学出版社出版发行
广东省新华书店经销
广州番禺印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 5印张 11万字

1990年4月第1版 1990年4月第1次印刷

印数：1,500册

ISBN 7-306-00249-X

0·17 定价：2.90元

内 容 简 介

本书是印度物理学家R.S.瑟罗希教授为理工科大学生写的一本**氩-氟激光器实验教程**，全书共8章，包括激光束参量，光的干涉、衍射、偏振，全息术，斑纹现象，空间滤波，激光多普勒流速测量等内容，并介绍了38个实验，可供实验、演示和实际测量参考。

本书可作为理工科大学和短训班的教材，对理工科师生、科技工作者、实验室人员和中学物理教师是一本有价值的参考书。

译者的话

我们高兴地向读者推荐物理学博士、印度理工大学工程设计中心主任R.S.瑟罗希教授为理工科大学学生撰写的“氦-氖激光器实验教程”(1985年第1版)一书。本书包括氦-氖激光器的调准,参数测量,激光扩束器装调,光的干涉、衍射和偏振,全息术,斑纹现象,空间滤波,激光多普勒测速术等内容。所介绍的实验,除可供学生动手做的以外,部分实验是作为教学演示用的,还有许多实验可供实际测量参考。

本书的特点是用较少的篇幅,简明扼要地叙述了有关的实验原理、装置和步骤。书的内容丰富,深浅适度,对我国理工科大学学生是完全适用的。尤其独到之处是本书的每一章在介绍具体实验之前,对有关的光学基本原理都有扼要的论述。每章之后,还附有较多的思考问题,以加深学生对实验的理解并启发学生作进一步的研究。书中对一些实验中出现的现象,以及实验所得到的数据曲线和照片,也作了介绍。因此,即使读者由于条件所限,有些实验不能亲自动手,也能得到很大启迪。而这些在国内已出版的实验教材中是较少见的。

考虑到读者们的基础不可能相同,所以在本书的一些地方加上了译者注。对原书个别的错误在译文中均已按译者的理解作了更正,并一一注明,以对读者负责,并欢迎批评指正。

本书第一章至第四章由谢沧翻译,第五章至第八章由伍

钩鐏译出，最后由谢沧审校全文。

本书的翻译得到高兆兰教授的鼓励。为了提高本书的出版质量，责任编辑罗以琳物理硕士做了许多工作。我们谨此表示衷心谢意。

译 者

1989年12月于广州中山大学

序 言

常有人问：“用氦 氖激光器能做什么”？本书试图解答这个问题。有许多实验可以用准单色光来做，那些涉及干涉、衍射和偏振现象的实验尤其是这样。用准单色光看来难于观察到的现象，可以用激光束投影出来，从而使较多的观众同时得到直观的体验。我认为，衍射方面的实验应该向学生作演示，以使他们了解衍射在成象中的重要性。观察投影在屏幕上一个针孔的衍射图样将是令人愉快的。

早先，滤波、全息术和斑纹等基本概念要求熟练地用准单色光进行实验验证。现在，由于用激光辐射，做这些实验是很容易的。通过记录一张高效率的全息图并重现物光波场，就可以很好地理解全息术的概念。本书所述的这方面的实验，显示了在测量领域中全息术的重要性；用斑纹现象做的实验在测量领域中的地位也与其相似，并且它们容易在任何大学本科的实验室里完成。成像的某些抽象概念，借助几个空间滤波的实验可以出色地加以演示。通过测量多普勒频率，可以进行流体速度的测量。一个非常简单的流体测量实验即可演示激光多普勒流速计的基本特性。

本书试图让学生去接触某些简单的实验。应用氦 氖激光器的可能性当然不止就是这么一些。作者希望这些实验有助于学习自然科学和工程学的学生。

感谢德里印度理工大学的 Sri Kehar Singh 教授的宝贵意见和建议以及我在工程设计中心的同事们所提供的帮助。

R. S. 瑟罗希

目 录

氮-氦激光器简介	(1)
第一章 激光束参量	(10)
§ 1.1 光束内的功率分布	(10)
§ 1.2 光束光斑的大小	(13)
§ 1.3 激光束的发散度	(16)
§ 1.4 相干性	(19)
问题	(25)
第二章 光的干涉	(26)
§ 2.1 基本原理	(26)
§ 2.2 由分振幅法派生的两列波之间的干涉	(30)
§ 2.3 在楔形板中的海定格条纹	(35)
§ 2.4 泰曼-格林干涉仪	(39)
§ 2.5 干涉仪的调准	(40)
§ 2.6 自成像	(49)
问题	(51)
第三章 光的衍射	(52)
§ 3.1 狭缝的夫琅和费衍射	(53)
§ 3.2 衍射应变规	(56)
§ 3.3 在金属细线上的衍射	(58)

§ 3.4	圆孔衍射	(59)
§ 3.5	双孔衍射	(62)
§ 3.6	多孔衍射	(64)
§ 3.7	螺旋的检验	(70)
问题		(74)
第四章	光的偏振	(76)
§ 4.1	偏振现象和马吕定律简介	(76)
§ 4.2	在电介质界面的反射	(79)
§ 4.3	光束的调制	(81)
问题		(83)
第五章	全息照相术	(84)
§ 5.1	全息图的记录和重现	(84)
§ 5.2	记录到好的全息图的条件	(87)
§ 5.3	位相全息图	(90)
§ 5.4	全息干涉量度术	(94)
§ 5.5	杨氏模量的测定	(95)
§ 5.6	泊松比的测定	(98)
§ 5.7	小位移的测量	(100)
问题		(102)
第六章	斑纹现象	(104)
§ 6.1	倾斜的测量	(107)
§ 6.2	平面外位移的测量	(114)
问题		(116)

第七章 空间滤波	(117)
§ 7.1 阿贝成像理论	(118)
§ 7.2 低通滤波	(124)
§ 7.3 Vander Lugt 滤波器的合成和特征 识别	(126)
§ 7.4 θ 调制	(128)
问题	(130)
第八章 激光多普勒测速术	(132)
§ 8.1 激光多普勒测速仪的结构	(133)
问题	(137)
附录 A 激光器的调整	(138)
附录 B 扩束器的装调	(141)
附录 C 激光安全准则: 伤害眼睛的潜在危险	(143)

实验一览表

1.1	光束内功率分布的测定	(11)
1.2	测量光斑大小	(14)
1.3	测量激光束的发散度	(19)
1.4	激光束空间和干涉的演示	(22)
1.5	激光束时间相干性的演示	(23)
2.1	反射时 π 相变的演示	(28)
2.2	等厚条纹的演示	(33)
2.3	用海定格条纹测量楔形板的楔	(36)
2.4	用泰曼-格林干涉仪检验光学元件	(41)
2.5	热场的研究	(47)
2.6	用剪切干涉仪检测透镜	(47)
2.7	用自成像现象测定光栅常数	(50)
3.1	由夫琅和费衍射图样的研究确定狭缝宽度	(55)
3.2	用衍射应变规测量应变 ε	(57)
3.3	测定一根细导线套管的厚度	(59)
3.4	研究一个圆孔的夫琅和费衍射图样并测量其直径	(61)
3.5	研究一对圆孔的夫琅和费衍射图样并测量其间距	(63)
3.6	用透射光栅测量激光的波长	(66)
3.7	用一游标卡尺测量 He-Ne 激光器的波长	(67)
3.8	测量一测微计螺旋的螺角、螺距和直径	(73)
4.1	马吕定律的证明	(78)
4.2	测量布儒斯特角从而测定透明材料的折射率	(80)

4.3	研究磁光旋转和磁光调制	(82)
5.1	全息图的记录和像的重现	(87)
5.2	制作一块光栅和一块波带片	(92)
5.3	材料(例如铝)杨氏模量的测定	(96)
5.4	测定给定样品的泊松比	(98)
5.5	测量小的形变	(102)
6.1	测量漫射物体的位移	(105)
6.2	测量漫射物体的倾斜	(107)
6.3	用斑纹照相法获得物体(一个悬臂梁)的全场 位移花样	(109)
6.4	用斑纹剪切干涉量度术测定漫射物体的等位移 斜率轮廓线	(111)
6.5	研究中心加载膜片的偏移轮廓	(114)
7.1	阿贝成像理论的演示	(121)
7.2	从电视图像的负片除去栅纹	(125)
7.3	Vander Lugt 滤波器的合成	(126)
7.4	用 θ 调制方法 进行滤波	(129)
8.1	测量管道中流体的速度分布轮廓并验证泊肃叶 公式	(136)

氦-氖激光器简介

激光器是依靠受激发射过程来放大或产生辐射的器件。它的英文名称 Laser 来源于 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation(受激辐射引起的光放大)的每个词的第一个字母。所有的激光器都需要有一个在窄频率区域内起放大作用的激活介质。而放大作用则是依靠在一对能级之间达到集居数反转来实现的。在集居数反转的条件下,当光波通过激活介质时,它将被放大。这种放大是相干的,即当光波穿过介质时,其相位关系保持一定。

氦-氖激光器是最广泛使用的激光器,其连续功率输出在零点几毫瓦到几十毫瓦的范围。它比较容易制造并且运转可靠。激光跃迁是在中性的氖原子中产生的;而氦的作用则是选择性地增加氖的有关能态的集居数,并使集居数发生反转。主要的激光跃迁有三个,相应波长分别为 $0.6328\mu\text{m}$, $1.15\mu\text{m}$ 和 $3.39\mu\text{m}$ 。但是,氦-氖激光器在整个可见区许多分立的频率已能产生激射。图 1 是 He 和 Ne 的能级图。Ne 的能级图由帕邢符号标志,而 He 则用罗素-桑德斯符号。用 L-S 耦合的罗素-桑德斯术语来描述 Ne 系统并不怎么好,因为观察到的跃迁相应应用 L-S 耦合近似描述的禁戒跃迁。

图 1 中氖的能态对应表 1 电子组态:

集居数反转机制: He-Ne 激光器是激励一个含有氦、氖混合物(其比例一般在 $10:1$ 到 $5:1$ 的范围,最佳比为

表1

能态	电子组态	能级数
基态	$2p^6$	1
$1s2-5$	$2p^53s$	4
$2p1-10$	$2p^53p$	10
$2s2-5$	$2p^54s$	4
$2p1-10$	$2p^54p$	10
$3s2-5$	$2p^55s$	4

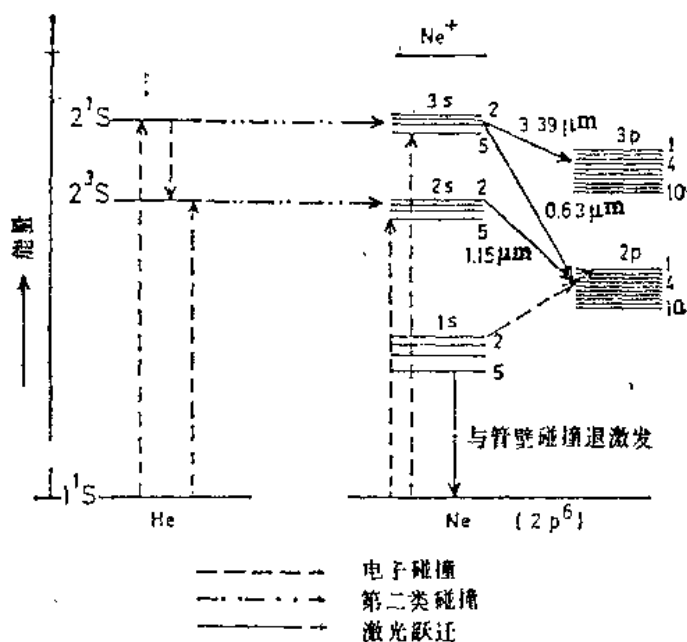
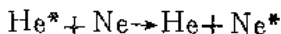
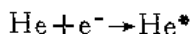


图1 He和Ne的能级图，集居数反转机制

7:1)的管子使它放电而运转的。气体压力约1 Torr (1 Torr = 1.333224×10^2 Pa)。氦用来选择性地增加氦能级的集居数。在放电过程中, 电子与氦原子碰撞使氦原子激发到各上能态。在正常的级联跃迁场合, 这些受激的氦原子中有许多聚集在亚稳的 2^1S 和 2^3S 态。因为比上述亚稳能级低的唯一能态是单重性的基态 $1S$ 。所以, 不存在从 2^3S 到 1^1S 的光学允许跃迁。He的这两个亚稳能态在能量上与Ne的 $3s$ 和 $2s$ 态接近重合; He的 2^3S 态在Ne的 $2s_2$ 能级上仅约 300cm^{-1} (0.039eV)而He的 2^1S 态则在Ne的 $3s_2$ 能级之下约 375cm^{-1} (0.048eV)。He的亚稳能级与Ne的 $2s$ 和 $3s$ 能级几乎重合表明第二类碰撞是使Ne的这些能级集居数增加的有效途径。

激发过程可表示为:



而上述能量上的小差值则成为碰撞后原子的动能。这就是在He-Ne激光器中主要的泵浦机制。激光跃迁的上能级 $3s$ 和 $2s$, 其寿命 $\approx 10^{-8}\text{s}$ 秒, 所以这些条件是适合于产生激光的。

虽然He-Ne激光器可以在三种不同的光谱区域工作。但是, 当它用在准直、干涉术、数据处理、全息术等场合时, 通常希望它工作在波长为 $0.6328\mu\text{m}$ 的红光区。在 $0.6328\mu\text{m}$ 处的肉眼可见的He-Ne激光辐射是从 $3s_2$ 到 $2p_4$ 的跃迁产生的。末态的 $2p$ 族能级其平均寿命约 10^{-8}s 秒, 通过辐射衰变到长寿命的 $1s$ 态。由于 $1s$ 态寿命长, 这个能态上的原子随着时间增长有聚集而增多的趋势。在放电过程中, 这些原子与电子相碰撞, 并且会重新被激发, 回到激光跃迁的低能级 $2p_4$, 这就阻止了集居数反转甚至可以使激光猝灭。为

反映出它在毫米波段单量子探测方面的能力。混频器输出信号需要先放大才能做进一步处理，目前较好的中频放大器的噪声温度在10K左右。当估算整个接收器在输入端的总噪声温度 T_r 时，放大器噪声温度必须除以混频器的变频效率。例如，取 $\nu = 100\text{GHz}$ 或 $\lambda = 3\text{mm}$ ，则 $h\nu/k = 5\text{K}$ ，于是只要混频器具有很小的变频损耗即可导致中频放大器的噪声贡献远高于毫米波量子极限。因而，该波段内的理想相干混频器必须具备以下特点：（1）器件本身噪声温度 $T_n = \hbar\omega/k$ ，接近其下限值；（2）具有适当的变频增益，以抑制中频放大器对噪声的贡献；（3）有大的瞬时带宽（即响应时间短），如在1GHz量级或更大。

在适当的条件下，SIS准粒子混频器确实可以满足上述所有要求。

一些相关领域所取得的最新进展大大推动了SIS准粒子混频器的发展。这包括：（1）高质量超导隧道结的制造技术；（2）由肖特基二级管混频器发展起来的毫米波接收技术；（3）射电天文学方面所采用的新型超低噪声毫米波接收器。利用制做高质量小面积超导隧道结的已有技术可以得到所要求的SIS器件。ICM公司在这方面，即制造约瑟夫森逻辑元件方面做了大量的工作。目前已很容易制造出亚微米线度的铅合金结，且能精确地控制其电流密度。同时还可有效地防止因电冲击和热循环引起的器件性能的损坏。所有这些都有力地促进了毫米波量子接收器的发展。

自从1965年发现宇宙背景辐射及对星际物质进行广泛探索以来，毫米波天文学得到迅速发展。这方面的主要成就就在于制作低噪声接收器技术。目前正在设计制作的新型毫米波

图 2 是氦 氖激光器的示意图。激光器电激光头和电源组成。激光头采用内反射镜结构(图2a) 或者是外反射镜结构(图2b)。小的激光器通常用内镜型结构。这种激光器把反射镜永久地固封在管的两端。激光管经预先调准, 并且在运输和工作过程都保持调准状态不变。这类激光管中, 有的具有梯级孔毛细管以抑制高阶横模并提供最佳功率输出。激光输出的偏振状态是随机的。

在外镜型激光头中, 布儒斯特窗连接在管端以封住管中的混合气体。布儒斯特窗对 p 偏振分量具有 100% 的透率(不考虑非常小的吸收及散射损耗), 从而输出是线偏振的。线偏振光束的取向可以通过旋转外罩内的激光管或旋转整个激光器来改变。反射镜装在铟钢的支座上以保持腔长恒定不变, 并且在镜座上备有供调准用的螺旋。这种装置是有变通性的灵活装置, 通过恰当地调节反射镜可维持较高阶横模振荡。通常, 激光器将以多模方式振荡, 特别是需要尽可能高的功率时更是如此。由于失调而带来的损耗会使激光器以 TEM_{00} 基横模振荡。图 3 所示是某些横模的照片, 适当调节反射镜座上的螺旋就可以观察到这些横模。

激光管可用硼硅玻璃来制作——最基本的要求是孔要平直, 最近的一些激光器也使用有锥形孔的管子, 尤其是在半球型腔结构中。

电源维持激光管放电。用直流电源或射频电源都可保持管子放电。控制电流的镇流电阻装在十分靠近阳极的地方。所有激光器的电源都是高压电源, 在使用激光器时不应掉以轻心。

含有氦-氖气体混合物的管子放在一对反射镜之间, 一个反射镜接近完全反射(反射率为99.99%), 而另一个反射镜