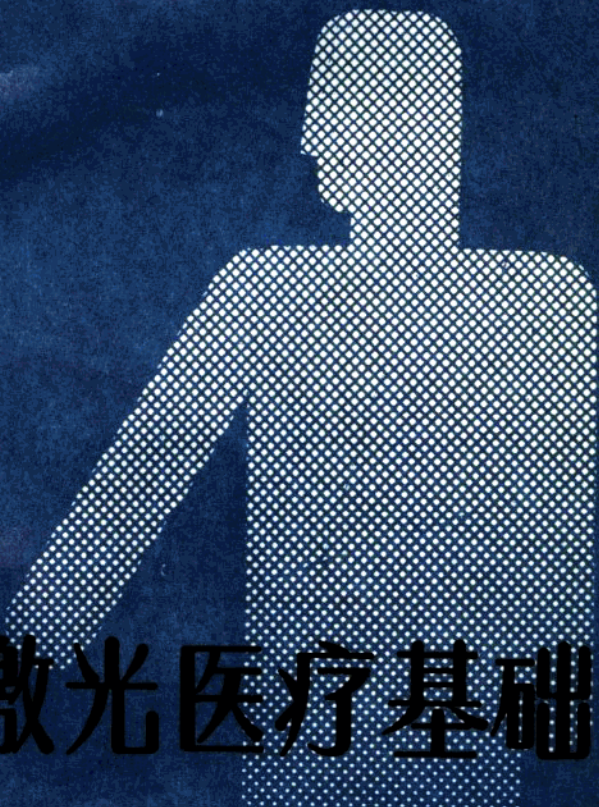




王慕珍编 赵砚石审

黑龙江科学技术出版社



激光医疗基础



激光医疗基础

王慕珍 编

赵砚石 审

黑龙江科学技术出版社

内 容 提 要

激光作为一种新兴技术,在工农业各个领域,其中包括生物医学方面的应用正得到迅速的发展。本书从理论与实践的结合上系统而简明地介绍了激光原理,医用激光的物理基础,激光的生物效应,各种医用激光器的基本原理及使用方法,详细地讲述了各种激光能诊断与治疗哪些疾病以及同种疾病的不同激光治疗等,此外,还介绍了激光的安全防护知识。

本书可供医生、生物学工作者、激光工作者、医学院校师生,医务、卫生部门及有关爱好者学习参考。

责任编辑:张坚石

封面设计:贾立群

激 光 医 疗 基 础

王慕珍 编

赵砚石 审

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区建设街35号)

哈尔滨工业大学印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 7.5印张 150千字

1990年6月第1版·1990年6月第1次印刷

印数:1—3000册

定价:3.40元

ISBN 7-5388-1202-4/R·101

前 言

1960年，T·H·Maiman 在加利福尼亚休斯研究所研制成功了红宝石激光器，美国的《纽约时报》最先宣布了世界第一台红宝石激光器问世这一消息。从那个时候起，在科学词典中又多了一个名词。那就是“激光”一词。如今“激光”这个词几乎家喻户晓，人人皆知。可是，你知道“激光”这个译名的由来吗？

“激光”，在英文中称为“Laser”，它是由“Light Amplification by stimulated Emission of Radiation”的每一个词的头一个字母拼成的，其意思是“由辐射的受激发射所产生的光放大”。我国早在1960年底就有人根据它的含义译为“光量子放大”。与此同时，也有人音译为“莱塞”和“睐泽”。

1964年初，有人觉得“光量子放大”的译名不妥，与其英文名称相差太大，“莱塞”等单纯音译名含义不清，与“维他命”这类音译名相比较，又相形见绌。因此，后来又根据其原意改成“光受激发射”，这样，就把爱因斯坦的基本论点——受激发射点了出来。在1964年10月15日，我国著名科学家钱学森教授给《光受激发射情报》编辑部写了一封信，他认为“光受激发射，这个名词似乎太长，说起来费事”，建议“能不能改称激光”？。1964年12月在上海召开的第三次全国光受激发射学术报告会上，编辑部把钱学森教授的信转给会议的名词统一小组讨论。大家一致认为，“激

光”这一译名比以往各种音译和意译的译名既简洁又含义确切，完全同意钱学森教授的建议。此后，我国的报刊、书籍全都采用了“激光”这一译名。

激光这门科学从它问世到现在，仅有近30年的历史。但由于它具有几个极有价值的特点——高亮度、高方向性、高单色性，虽历史较短，却发展极快，无论在军事、工业、农业、医学卫生和科学研究等方面都有它的广泛应用。目前，可以说还正处于应用发展时期，已为世界各国所重视，看来，灿烂的成果将会接踵而至。

激光自60年代初就被应用于医学，先是眼科，后来外科、妇科、肿瘤科，又扩展到医学各个领域，有基础医学，也有诊断医学。80年代初发展起来的血卟啉衍生物—激光光动力技术诊断治疗恶性肿瘤，显示了激光的独特作用。80年代又开始的激光治疗心血管病的研究，已经从实验阶段移至临床试验阶段，已证明激光能治疗一些心血管疾病，并且有些病人已被激光治愈。

激光的光能可通过光导纤维，经过皮肤，经过内窥镜、血管镜，导入内腔、血管腔、内脏等处，因而能够治疗许多手术刀不易到达部位的疾病。

激光荧光能够诊断恶性肿瘤，可把它用于肿瘤的早期诊断，甚至可普查肿瘤。

激光不仅能汽化、切割组织，而且能融合、焊接组织，现已有很多激光血管吻合术成功的报告。

激光在许多领域都取得了一系列可喜的成就，所以越来越受到人们的注目。因此，什么是激光，激光为什么有独特的优点，这些特点是怎样产生的，怎样才能获得激光，激光技术是怎么发展起来的，激光在医疗中的应用目前处在什么

发展阶段，激光在医疗中的应用前景如何，不仅从事这一工作的医务工作者关心，就是对于一些非专业人员，如广大工人、农民、干部、知识青年也都能希望能有个一般的了解，为此，我们编写了这本书，以期能为广大读者提供学习的便利。

在编写书的过程中，曾参考和引用了一些同志的研究成果、资料和图片，在此向原作者谨致谢意。

哈尔滨工业大学光电子技术教研室赵砚石副教授对本书的编写给予了很大帮助，初稿完成后，由他对全文进行了详细的审定。在此向他致以衷心的感谢。

由于本人学识水平有限，编写时间仓促，书中缺点和错误在所难免，敬希读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 激光原理及基础知识	(1)
第一节 光的本性.....	(1)
第二节 原子的能级与发光.....	(3)
第三节 介质对光的吸收与放大.....	(8)
第四节 谐振腔的作用.....	(10)
第五节 激光的形成过程及几种常用激光器.....	(13)
第二章 激光的特性	(17)
第一节 激光的高亮度.....	(17)
第二节 激光的高方向性.....	(18)
第三节 激光的高单色性.....	(19)
第四节 激光的相干性好.....	(20)
第三章 激光医疗的物理基础	(21)
第一节 概述.....	(21)
第二节 热作用.....	(23)
第三节 光化作用.....	(25)
第四节 光的压强作用.....	(25)
第五节 电磁场作用.....	(26)
第六节 弱激光生物刺激作用及机理.....	(27)
第四章 生物组织特性对激光生物作用的影响	(30)
第一节 皮肤对激光的反射和散射.....	(30)
第二节 皮肤对激光的吸收和透射.....	(30)
第五章 二氧化碳激光器及其治疗	(32)
第一节 CO ₂ 激光器概述.....	(32)
第二节 CO ₂ 激光器的工作原理.....	(34)

第三节	CO ₂ 激光在肿瘤方面的应用·····	(43)
第四节	CO ₂ 激光治疗痣·····	(48)
第五节	CO ₂ 激光治疗血管瘤·····	(50)
第六节	CO ₂ 激光治疗神经性皮炎和皮肤溃疡 ·····	(51)
第七节	CO ₂ 激光治疗基底细胞癌和鳞状细胞癌 ·····	(52)
第八节	CO ₂ 激光治疗带状疱疹和酒糟鼻·····	(53)
第九节	CO ₂ 激光治疗脱发和颅内肿瘤·····	(54)
第十节	CO ₂ 激光治疗烧伤·····	(55)
第十一节	CO ₂ 激光治疗骨关节炎和痔·····	(56)
第十二节	CO ₂ 激光治疗疣及鸡眼等·····	(58)
第六章	氩氟激光及其治疗·····	(62)
第一节	氩氟激光器的工作原理·····	(62)
第二节	氩氟激光治疗带状疱疹和神经性皮炎 ·····	(73)
第三节	氩氟激光治疗皮肤溃疡和脱发·····	(74)
第四节	氩氟激光治疗外科窦道和脊髓损伤·····	(75)
第五节	氩氟激光治疗骨关节炎和近视·····	(75)
第六节	氩氟激光治疗慢性前列腺炎和肛裂·····	(76)
第七节	氩氟激光治疗慢性子宫附件炎·····	(77)
第八节	氩氟激光治疗外阴白色病变和胎位异常 ·····	(78)
第九节	氩氟激光治疗慢性鼻炎·····	(78)
第十节	氩氟激光治疗急性根尖炎·····	(79)
第十一节	氩氟激光治疗三叉神经痛·····	(79)
第十二节	氩氟激光治疗难治性头痛病·····	(80)

第十三节	氦氛激光治疗类丹毒·····	(83)
第七章	氩离子激光及其治疗·····	(85)
第一节	Ar ⁺ 激光器简介·····	(85)
第二节	Ar ⁺ 激光治疗肺癌·····	(88)
第三节	Ar ⁺ 激光治疗血管瘤和颞下颌关节功能 紊乱·····	(89)
第四节	Ar ⁺ 激光治疗周围型面神经麻痹·····	(90)
第五节	Ar ⁺ 激光治疗眼科疾病·····	(91)
第六节	Ar ⁺ 激光诊断人体恶性肿瘤·····	(92)
第七节	Ar ⁺ 激光具有抑制绿脓杆菌作用·····	(92)
第八章	掺钕钇铝石榴石激光器及其治疗·····	(94)
第一节	Nd ³⁺ :YAG 激光器简介·····	(94)
第二节	YAG激光治疗胃及十二指肠溃疡出血 ·····	(95)
第三节	YAG激光治疗肝癌·····	(97)
第四节	YAG激光治疗阴茎肿瘤和尿道肉阜 ·····	(98)
第五节	YAG激光治疗膀胱肿瘤·····	(99)
第六节	YAG激光治疗痔·····	(100)
第七节	YAG激光治疗肛裂和乙状结肠息肉 ·····	(100)
第八节	YAG激光治疗血管瘤·····	(101)
第九节	YAG激光治疗膀胱癌·····	(102)
第十节	YAG激光治疗耳廓假性囊肿·····	(104)
第十一节	YAG激光治疗直肠息肉·····	(106)
第九章	其他激光及其治疗·····	(110)
第一节	准分子激光器简介·····	(110)

第二节	准分子染料激光诊断和治疗癌·····	(113)
第三节	氮分子激光器简介·····	(115)
第四节	N_2 激光治疗外阴白色病变、慢性唇炎 和复发性口疮·····	(119)
第五节	氦镭离子激光器简介·····	(120)
第六节	氦镭离子激光治疗高血压病·····	(126)
第十章	激光参数对生物作用的影响 ·····	(129)
第一节	激光波长的影响·····	(129)
第二节	激光剂量的影响·····	(139)
第三节	激光的工作方式、模式、相干及偏振的 影响·····	(145)
第四节	激光参数对生物作用影响的几个不同观 点·····	(148)
第十一章	同种疾病的不同激光治疗 ·····	(150)
第一节	不同激光治疗扁桃体·····	(150)
第二节	不同激光治疗鼻咽癌·····	(153)
第三节	不同激光诊断和治疗癌·····	(156)
第四节	不同激光治疗胃及十二指肠溃疡·····	(161)
第五节	不同激光治疗肝癌·····	(164)
第十二章	激光损伤与治疗 ·····	(166)
第一节	激光对眼睛的伤害和治疗·····	(166)
第二节	激光对皮肤的损害和治疗·····	(175)
第十三章	激光危害的分级和激光安全标准 ·····	(183)
第十四章	激光安全管理 ·····	(198)
附录一	本书各种计量符号的物理意义·····	(222)
附录二	国内生产激光医疗器械的部分厂家及其产品 ·····	(224)
主要参考文献	·····	(226)

第一章 激光原理及基础知识

第一节 光的本性

激光也是一种光，和普通光具有同样的本质，只不过它的发光机理和特性与普通光不同，所以，为了了解激光，这里首先从普通光谈起。

光究竟是什么？人们对它虽然并不陌生，但人类认识它却花了几百年的漫长时间，直到近代才有了比较清楚的认识，当然这种认识还有待继续深化。

远古时代，人类对于光的现象，就已经积累了很多的知识，我国的墨经中就有关于光的直进原理的记载。到 17 世纪，有关光的本性问题，就已经形成了两种不同的学说，这就是以牛顿为代表的微粒说和以惠更斯为代表的波动说。

牛顿认为，光是由发光体发出的光粒子（微粒）流组成的。最大的微粒在到达人眼时，引起红光的感觉，而最小的微粒到达人眼时，引起紫光的感觉。牛顿的微粒说，能解释光的直进、反射、折射、色散等现象。关于折射现象，实验发现，当光线从光疏媒质进入光密媒质时，例如从空气到水，光线是折向法线的，微粒说在解释这一事实时，需要假设水中的光速大于空气中的光速。

两种学说都能解释光的反射和折射，但波动说在解释折射现象时，需要假设光在水中的速度比在空气中的速度小。由于当时不能从实验上测定光速，所以，分不出微粒说和波动

说的优劣。

19世纪，人们发现光有干涉、衍射、偏振等现象，波动说可以解释，而微粒说则无能为力。

1850年，佛科用实验方法测定出光在水中的速度 V ，证明 $V_{\text{水}} < V_{\text{空气}}$ ，从而有力地支持了波动说。对于波动说来讲，还有一个问题无法解决，即传播光波的媒质是什么？

1863年，英国人麦克斯韦在总结前人工作和电磁现象的基础上，提出了电磁场理论，认为光波是电磁波的一种。麦克斯韦理论从本质上证明了光现象和电磁现象的统一性，只不过光的波长比无线电波要短。

尽管光的电磁波理论对许多有关光的传播现象能够解释，甚至预见了某些新现象的存在。但是，对光的发射、吸收以及光电效应等现象的解释却遇到了困难，因此光的电磁理论也不能全面反映光的本性。

1905年，爱因斯坦提出了光子学说，这个学说的要点如下：

(1) 光是由一群以速度 C 运动的光量子（简称光子）所组成。

(2) 每个光子都具有能量，光子的能量 ε 和光的频率 ν 有如下关系

$$\varepsilon = h\nu \quad (1-1)$$

式中 h 为普朗克常数。

(3) 每个光子都具有一定的质量 m ，且

$$m = \frac{\varepsilon}{C^2} = \frac{h\nu}{C^2} \quad (1-2)$$

(4) 光子具有动量 p ，它等于质量 m 和速度 C 的乘积。
即

$$p = mc \quad (1-3)$$

(5) 光子具有自旋，并且自旋量子数为整数，所以光子的集合服从玻色——爱因斯坦统计规律。

光子学说可以解释光的发射以及光和物质的相互作用现象。

必须指出，单独用经典的波或粒子概念之一去描述光，都不足以解释它的全部现象，必须说，光具有“波粒二象性”。光是微粒性和波动性的统一体。已经不是牛顿微粒说中的微粒，也不是惠更斯所理解的波动。现在是微粒中渗透着波动性，波动中渗透着微粒性，它们所包含的意义比原先的微粒和波动深刻得多。

第二节 原子的能级与发光

一、原子的能级

物质是由原子、离子或分子等微观粒子组成的。原子、离子或分子统称为粒子。这些粒子都处于一些分立的能量状态，或者说处于一定的能级上。比如氢原子，只能处于如图 1-1 所示的能级上。在能级图中，最低的能级 E_1 相应于能量最小的状态，称为基态。其它的能级 E_2 、 E_3 、……称为激发态。对于氢原子，第 n 个能级能量的大小 E_n 可以用下式表示

$$E_n = - \frac{2\pi^2 me^4}{n^2 h^2} \quad (1-4)$$

式中 m ——电子的质量；

e ——电子的电量；

h ——普朗克常数。

当原子从一个具有较高能量状态 E_n 跃迁到另一个较低

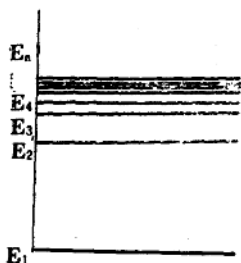


图 1-1 原子的能级

能量状态 E_k 时, 原子发射出单色光, 它的频率是 ν_{nk}

$$\nu_{nk} = \frac{E_n - E_k}{h} \quad (1-5)$$

二、原子数目按能级的分布

上面所说原子的各个能级, 是指这个原子可能具有的能级。在某一时刻, 一个原子只能处于某一个能级。但是, 观察的现象

总是数目巨大的原子, 对于某一个原子, 它可能具有这个能级或那个能级, 而对于大量的原子来讲, 实验和理论都证明, 在热平衡状态时, 处于每个能级上原子的数目却是一定的。假设原子有 n 个能级, 每个能级的能量用 E_i 表示, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, g_i 表示第 i 个能级的统计权重, 则处于第 i 个能级的原子数 N_i 为

$$N_i = A g_i e^{-E_i/KT} \quad (1-6)$$

式中 K ——玻尔兹曼常数;

A ——另一常数。

如果原子的总数为 N_0 , 则由 $\sum_{i=1}^n N_i = N_0$, 可定出 A , 即

$$A = \frac{N_0}{\sum_{i=1}^n g_i e^{-E_i/KT}} \quad (1-7)$$

由 (1-6) 式可求得在热平衡状态时, 处于两个能级上原子数目的比为

$$\frac{N_i}{N_j} = \frac{g_i e^{-(E_i - E_j)/KT}}{g_j} \quad (1-8)$$

式中 g_i ——第 j 个能级的统计权重,

N_i ——第 j 个能级的原子数.

从 (1-8) 式可知, 如果 $E_i > E_j$, 则必有 $\frac{N_j}{g_j} > \frac{N_i}{g_i}$.

这就是说, 在热平衡状态下, 低能级上每个简并能级的平均原子数总是大于高能级上每个简并能级的平均原子数.

为了定量地看两个能级的原子数目之比, 以氢为例, 由 (2-1) 式可计算出氢原子的 E_1 与 E_2 :

$$E_1 = -13.6\text{eV}$$

$$E_2 = -3.4\text{eV}$$

令 $g_1 = g_2 = 1$, 在 $T = 300^\circ\text{K}$ 时, 由 (1-4) 式可得 $\frac{N_2}{N_1} =$

$$e^{-(E_2 - E_1)/KT} = e^{-10.2/0.026} \approx e^{-400} \approx 10^{-173}$$

可见, 在常温热平衡状态下, 气体中几乎全部原子处在基态, 这种分布是原子在能级上的正常分布.

三、原子的自发发射、受激吸收和受激发射

激光器发出的激光同普通光源发出的光相比, 有许多特点, 这是由发光物质的发光结构所决定的. 普通光源主要是原子的自发辐射, 激光器主要是原子的受激辐射. 下面说明原子的发光过程, 也就是原子和光之间的相互作用.

1. 原子自发辐射光的过程

当原子被激发到高能态 E_2 上去以后, 它的高能态上是不稳定的, 总是力图使自己处于最低的能量状态 E_1 , 这与物体重心越高越不稳定, 重心越低越稳定是相似的. 处于高能态上的原子, 即使在没有任何外界作用的情况下, 它也有

可能从高能态 E_2 跃迁到低能态 E_1 ，而把相应的能量释放出来。这种在没有外界作用情况下，完全由原子能级本身矛盾所导致的跃迁，称为自发辐射，如图 1-2 所示。

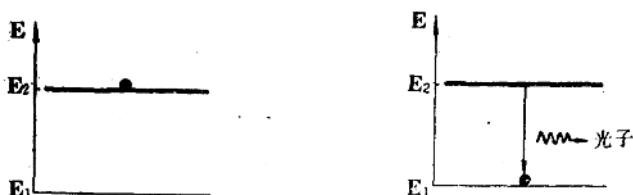


图 1-2 自发辐射跃迁

左：初始原子处于
高能级 E_2 上

右：原子跃迁到低能级
 E_1 同时辐射出一个光子

这种跃迁释放能量的方式有两种，一种是以热运动的能量释放出来，称为无辐射跃迁；另一种是以光的形式辐射出来，称为自发辐射跃迁。辐射出光子的能量 $h\nu_{21}$ 满足下列条件

$$h\nu_{21} = E_2 - E_1 \quad (1-9)$$

ν_{21} 表示原子从高能态跃迁到低能态 E_1 时所发射光的频率。

普通光源发出来的光，都是由自发辐射产生的，这种自发辐射的光源，存在着一系列的弱点。首先是亮度低，因为通过激发作用，能够集居在高能级上的原子数总是很少的，所以光源的发光能力有限。其次因为自发辐射的光子是在所有的方向上杂乱分布的，所以发光的方向性差。第三是各个原子在自发辐射光时，不是同步进行的，这样发出的光，在相位上没有明确的关系，所以发出的光相干性差。第四是单色性差，因为这种光源发出的光，是当原子分别从许多的不同激发能级向基态或低能级跃迁时产生的，这样发出的光子能

量不相同，因而光的频率也不相同，所以这种光源发出的光包含着多种颜色。

2. 原子受激吸收光的过程

当处于低能级 E_1 的原子受到外来的能量为 $h\nu_{21}$ 光子照射时，如果 $h\nu_{21} = E_2 - E_1$ ，则该原子会从低能级 E_1 跃迁到高能级 E_2 上去，这时原子将吸收一个外来的能量为 $h\nu_{21}$ 的光子，这种过程叫光的受激吸收，如图 3 所示。

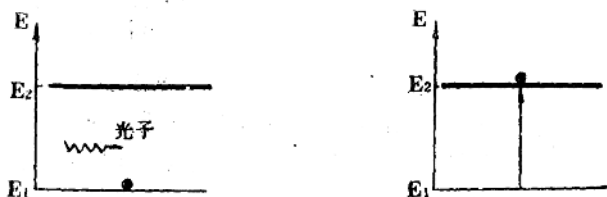


图 1-3 光的受激吸收

左：初始原子处于
低能级 E_1 上

右：原子吸收光子而跃迁
到高能级 E_2 上

受激吸收过程的特点是：这个过程不是自发产生的，必须有外来的光子来“刺激”才会发生。而对于这种外来的光子，除了要求其频率要符合 (1-9) 式外，至于方向，位相等方面均无任何限制。

3. 原子受激辐射光的过程

在出现光的受激吸收的同时，必然还出现一个相反的过程，即当原子受到外来的能量为 $h\nu_{21}$ 的光子照射时，如果 $h\nu_{21} = E_2 - E_1$ ，则处于高能级 E_2 上的原子，也会受到外来的能量为 $h\nu_{21}$ 光子的刺激，而从高能级 E_2 跃迁到低能级 E_1 上去，这时原子将辐射一个和外来的光子完全一样的光子，这个过程叫做受激辐射，如图 4 所示。