

实用激光医学

主 编

第 三 军 医 大 学

北 京 医 科 大 学

科学技术文献出版社重庆分社

312
TM

实用激光医学

主 编

第三军医大学

北京医科大学

科学技术文献出版社重庆分社

责任编辑: 沈锡庚 潘式文
封面设计: 王 红
版面设计: 王 红

实用激光医学

唐建民 赵玉衡 傅昌余 主编

科学技术文献出版社重庆分社 出 版

重庆市市中区胜利路132号

新华书店重庆发行所 发 行

第三军医大学印刷厂 印 刷

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 9.25 字数: 234千

1989年12月第一版 1989年12月第一次印刷

科技新书目: 208-349 印数: 1-2000

ISBN 7-5023-1102-5/R·159 定价: 3.50元

前 言

激光医学作为独立的新兴边缘学科近年来已有长足发展,其应用技术几乎渗透到所有临床学科。国内不少医学院校开设了激光医学课、专题讲座及学习班。不同种类的《激光医学讲义》、《激光医学》等专著先后问世;先后召开多次国际和国内医用激光会议。基于多年来讲课和办班经验,并在参考国内外资料基础上,重庆和北京两地部分大学 and 医院共同合编了这本《实用激光医学》教材。本书的基础部分由第三军医大学和北京医科大学从事激光医学教学的老师编写,这部分内容和国内同类教材的区别是:①增加了全息原理;②增设了六个激光医学实验,它们分别是:激光三维全息照相术;白光再现像面全息术;白光再现反射式全息术;激光束的几个参数(发散角、光斑直径、功率密度)的测量;血沉的激光测定法和激光参考光路监测技术。本书的临床部分由第三军医大学西南医院、北京解放军总医院、北京医科大学口腔医学院和重庆市第一人民医院等长期从事激光医疗、科研和教学的专家编写。本书既适用于作研究生、本科生和专修班的教材,又适用于作临床医务工作者的参考书。

中国生物医学工程学会医学物理学会理事长胡纪湘教授,副理事长邝华俊教授、朱国恩教授、刘骥教授,秘书长吕景新教授、副秘书长姜远海副教授,常务理事霍纪文教授、华蕴博教授、吴作舟教授、张书琴教授和王允青副教授等前辈和专家,1988年10月在京召开常务理事会议期间,对本书的大纲及编写事项提出了许多宝贵意见,给我们很大的关怀和帮助,在此深表谢意。

本书绪论、第一章、第四章、第六章的一、二节、第十三章的第二节,由第三军医大学唐建民副教授编写;第二章和第五章由北京医科大学赵玉衡副教授编写;第三章和第十四章激光医学实验四、五、六由北京医科大学杨冀伟讲师编写;第十三章第一节由第三军医大学傅昌余教授编写;激光医学实验一、二、三由第三军医大学邱美珍副教授编写;第六章的第三节、第八章和第九章,由北京解放军总医院激光医学研究室郭中和教授编写;第七章由北京解放军总医院眼科何守志副教授编写;第十章由北京医科大学口腔医学院赵福运副教授编写;第十一章由重庆市第一人民医院皮肤科陈南琴副主任医师编写;第十二章由西南医院理疗兼康复科主任吴宗耀教授编写。

本书的基础部分由北京医科大学王鸿儒教授总审校;临床部分由吴宗耀总审校。最后由唐建民、赵玉衡和傅昌余统一定稿。

本书在审校过程中,除主编和编者外,首都医学院刘筑闻,重庆大学程堂郭教授,重庆市光学学会理事长邱大庸副教授,重庆师范学院戴特力副教授,第三军医大学陈庭仁教授、伍宛苏副教授和叶庆伯教授也参加了部分审稿工作,在此表示谢意。

本书编者由于水平有限,时间匆忙,又加上《激光医学》在日新月异地发展,因此错漏不足之处难免,敬请各位读者斧正。

编 者 1989年12月

编者名单

主 编

第三军医大学 唐建民
北京医科大学 赵玉衡
第三军医大学 傅昌余

审 校

北京医科大学 王鸿儒
第三军医大学 吴宗耀

编 者

(以姓氏笔划为序)

何守志 吴宗耀 邱美珍 陈南琴 杨冀伟
赵玉衡 赵福运 郭中和 唐建民 傅昌余

目 录

绪 论

一、激光在科技中的地位和作用	(1)
二、激光医学简史	(1)
三、激光医学应用	(3)

激 光 医 学 基 础

第一章 激光发射原理

第一节 粒子数按能级分布	(4)
第二节 自发无辐射跃迁和自发辐射跃迁	(4)
第三节 受激吸收 受激辐射	(5)
一、受激吸收	(5)
二、受激辐射	(6)
第四节 产生激光的必要条件	(7)
第五节 粒子数反转和三、四能级工作物质	(8)
一、粒子数反转	(8)
二、抽运方式	(8)
三、三、四能级工作物质	(8)
第六节 光学谐振腔	(9)
第七节 激光器的增益、损耗与模式	(10)
一、增益与损耗	(10)
二、增益系数 阈值条件	(10)
三、模式 纵模 横模	(12)

第二章 激光的特性

第一节 单色性	(14)
一、谱线宽度	(14)
二、激光的单色性	(16)
第二节 相干性	(17)
一、时间相干性和空间相干性	(17)
二、激光的相干性	(18)
第三节 方向性	(13)
一、发散角和立体角	(18)
二、激光的发散角	(19)
第四节 亮 度	(20)
一、辐射亮度	(20)
二、激光的亮度	(20)

第三章 医用激光器及激光计量

第一节 概述	(22)
第二节 激光计量	(22)
一、物理剂量	(22)
二、生物剂量	(23)
第三节 固体激光器	(23)
一、固体激光器的特点和结构	(23)

二、红宝石激光器	(24)
三、掺钕钇铝石榴石 (Nd:YAG) 激光器	(25)
四、激光调Q和锁模简介	(25)
第四节 气体激光器	(27)
一、概述	(27)
二、氦氖 (He-Ne) 激光器	(27)
三、二氧化碳 (CO ₂) 激光器	(29)
第五节 其它激光器	(30)
一、液体激光器	(30)
二、半导体激光器	(31)
三、准分子激光器	(31)
四、自由电子激光器	(32)
第六节 常用医用激光器的性能及其应用范围	(33)

第四章 激光全息术简介

导 言	(34)
第一节 全息图的形成——物光波前的全息记录	(34)
第二节 物光波前再现	(35)
第三节 全息照相与普通照相的比较	(36)
第四节 全息在医学中的应用	(37)
一、生物、人体全息片	(37)
二、全息电影和电视	(37)
三、电子束全息显微镜	(38)
四、全息显微镜	(38)
五、亚微全息术	(38)
六、激光超声全息术	(39)
七、激光全息存储	(39)
八、全息干涉计量	(39)
九、激光信息处理技术	(40)
十、全息光学元件	(40)

第五章 激光的生物效应

第一节 激光生物效应的决定因素	(41)
第二节 热效应	(42)
一、热效应机理	(42)
二、热效应	(42)
第三节 压强效应	(43)
一、压强效应的机理	(43)
二、压强效应	(44)
第四节 光化效应	(44)
一、光化学反应	(44)
二、光化学基本定律	(44)
三、光化学反应类型	(45)
四、光化效应	(47)
第五节 电磁场效应	(48)
一、电致伸缩	(48)
二、光学谐波	(48)
三、受激喇曼散射和受激布里渊散射	(49)
第六节 弱激光的刺激效应	(50)

激光医学临床

第六章 激光医学应用概述

第一节 医用激光器的导光系统	(51)
一、改变激光束方向的几种方法	(51)
二、激光束和光导纤维的耦合	(52)
三、激光束聚焦处的光斑直径	(52)
四、激光束的聚焦与扩束	(53)
五、激光束准直	(53)
六、光导纤维扩散器	(53)
七、激光分束器	(53)
第二节 激光在诊断及科研中的应用	(54)
一、激光荧光技术	(54)
二、激光透照技术	(55)
三、激光光谱	(55)
四、激光刺激阈值测量	(57)
五、激光喇曼散射光谱	(57)
六、激光散斑术	(58)
七、激光多普勒效应	(58)
八、激光流式细胞光度术(Flow Cytometry 简称FCM)	(58)
九、激光内窥镜检查	(58)
十、激光微束	(59)
十一、激光微微秒和毫微微秒脉冲	(59)
十二、激光的非线性效应	(60)
十三、光计算机	(60)
第三节 激光治疗	(61)
一、高功率激光在医疗中的应用	(61)
二、低功率激光在医疗中的应用	(64)
三、激光光敏治疗	(66)

第七章 激光在眼科的应用

第一节 概 述	(67)
一、眼组织对激光的透过和吸收	(67)
二、光凝的生理病理作用及临床分级	(67)
三、常用眼科激光器简介(见84页表7—1)	(68)
第二节 激光凝固治疗眼底血管性疾病	(69)
一、概述	(69)
二、激光治疗视网膜静脉分支阻塞	(70)
三、激光治疗视网膜静脉周围炎	(70)
四、激光治疗 Coat's 病	(71)
五、激光治疗视网膜血管瘤	(72)
六、激光治疗脉络膜血管瘤	(72)
七、激光治疗其它眼底血管性疾病	(72)
第三节 糖尿病性视网膜膜病变的激光治疗	(73)
一、糖尿病性视网膜膜病变的临床分期	(73)
二、适应症选择及预后评价	(73)
三、激光治疗方法	(74)

四、并发症	(75)
第四节 激光治疗青光眼	(75)
一、激光周边虹膜切除术治疗原发性闭角型青光眼	(75)
二、激光小梁成形术治疗原发性开角型青光眼	(76)
三、激光治疗继发性及新生血管性青光眼	(77)
第五节 激光凝固封闭视网膜裂孔及其它有关疾患	(78)
一、激光凝固封闭视网膜裂孔	(78)
二、激光凝固治疗视网膜劈裂	(79)
三、视网膜囊样变性的激光治疗	(79)
第六节 “中浆”及其它渗漏性疾病的激光治疗	(80)
一、“中浆”的激光凝固治疗	(80)
二、先天性视乳头小坑的激光治疗	(80)
三、视网膜血管样条纹症的激光治疗	(81)
四、黄斑部病变的激光治疗	(81)
五、脉络膜新生血管的激光治疗	(81)
第七节 脉冲YAG激光在眼科的临床应用	(82)
一、概述	(82)
二、临床应用	(82)
三、并发症及其处理	(83)

第八章 激光治疗肿瘤

第一节 激光手术疗法	(85)
第二节 光动力学治疗癌症	(85)
一、HpD (血卟啉衍生物) 的物理及生物特性	(85)
二、辐照光源的选择	(86)
三、临床应用	(87)
四、机理研究	(88)

第九章 激光在外科的应用

第一节 激光在显微外科的应用	(90)
一、激光血管吻合术	(90)
二、激光神经吻合术	(91)
第二节 激光在脑外科和肝胆外科的应用	(91)
第三节 激光在烧伤科的应用	(92)
一、三度烧伤早期切痂	(92)
二、烧伤脓毒症局限性或散在性感染灶切除	(93)
第四节 激光在骨科的应用	(93)
一、激光刀在骨科手术中的应用	(93)
二、激光刀在切割骨水泥方面的应用	(93)
三、激光切骨的几种不同效应	(94)
第五节 激光在其它外科的应用	(94)
一、激光治疗急性消化道出血	(94)
二、胸腔器官疾病的激光治疗	(95)
三、激光碎石	(95)
四、肛肠疾病的激光治疗	(96)
五、膀胱癌的激光治疗	(96)

第十章 激光在口腔科的应用

第一节 激光防龋现状	(97)
------------	--------

第二节 激光治疗口腔颌面部肿瘤·····	(97)
一、光动力学治疗口腔颌面部恶性肿瘤·····	(97)
二、Nd:YAG 激光治疗口腔颌面部肿瘤·····	(97)
三、二氧化碳激光治疗口腔颌面部肿瘤·····	(98)
第三节 口腔组织及肿瘤的荧光现象·····	(98)
第四节 氩-氦激光在口腔科的应用·····	(99)
第五节 Nd:YAG 激光治疗牙本质敏感症·····	(99)
第十一章 激光在皮肤科的应用	
第一节 皮肤构造·····	(101)
第二节 疣与疣状痣·····	(101)
一、疣·····	(101)
二、疣状痣及其他皮肤赘生物·····	(102)
第三节 血管瘤及色素性皮肤病·····	(102)
一、血管瘤·····	(102)
二、黑色素性皮肤病·····	(103)
第四节 皮脂腺囊肿·····	(104)
第五节 皮肤恶性肿瘤·····	(104)
一、基底细胞癌和鳞状上皮癌·····	(104)
二、湿疹样癌和鲍温氏病·····	(105)
第六节 皮肤溃疡·····	(105)
第七节 激光治疗其它皮肤病·····	(105)
一、疤痕疙瘩及肥厚性疤痕·····	(105)
二、结节性痒疹和皮肤淀粉样变·····	(105)
三、酒糟鼻·····	(106)
四、白塞氏病 (Behcet's病) ·····	(106)
五、寒冷性多形红斑·····	(106)
六、痤疮·····	(106)
七、局限性搔痒症与神经性皮炎·····	(106)
第八节 展望未来——激光美容及器件改革·····	(107)
一、激光美容·····	(107)
二、激光器件改革·····	(107)
第十二章 激光在其它科的应用	
第一节 激光在心血管病的应用·····	(108)
一、动脉粥样硬化·····	(108)
二、心搏过速·····	(110)
第二节 激光在妇科的应用·····	(110)
一、尖锐湿疣·····	(110)
二、尿道肉阜·····	(111)
三、阴道纵隔·····	(111)
四、阴道囊肿·····	(112)
五、慢性宫颈炎·····	(112)
六、外阴上皮内癌·····	(112)
七、阴道原位癌·····	(113)
八、子宫颈癌·····	(113)
九、盆腔子宫内膜异位症·····	(114)
十、输卵管吻合·····	(115)
十一、输卵管积水·····	(115)

十二、胎位不正·····	(115)
第三节 激光在耳鼻喉科的应用·····	(116)
一、渗出性中耳炎·····	(116)
二、慢性鼻炎·····	(116)
三、鼻中隔弯曲·····	(116)
四、鼻前庭囊肿·····	(116)
五、上颌窦炎·····	(116)
六、上颌窦癌·····	(116)
七、鼻咽癌·····	(117)
八、乳头状瘤·····	(117)
第四节 激光在内、儿科的应用·····	(117)
一、肺炎·····	(117)
二、支气管炎·····	(117)
三、小儿腹泻·····	(117)
四、高血压·····	(117)
五、小儿遗尿·····	(118)
六、甲状腺机能亢进·····	(118)
七、白细胞减少症·····	(118)
八、周围神经损害·····	(118)
第十三章 激光防护	
第一节 激光对眼的损伤与防护·····	(120)
一、眼的光学性质·····	(120)
二、激光对眼的损伤与防护·····	(121)
第二节 激光对皮肤的损伤与防护·····	(124)
一、皮肤的光学性质·····	(124)
二、激光对皮肤的损伤与防护·····	(124)
第十四章 激光医学实验	
实验一 三维全息照相术·····	(128)
实验二 像面全息照相术·····	(129)
实验三 反射式全息照相术·····	(130)
实验四 激光束的几个参数测定·····	(132)
实验五 激光输出功率的监测·····	(133)
实验六 红细胞沉降过程的激光测量·····	(134)
附录 主要商用激光器一览表 ·····	(136)

绪 论

一、激光在科技中的地位和作用

激光(Laser)是受激辐射式光频放大器(light amplification by stimulated emission of radiation)的简称,所以曾直译为“莱塞”,也叫“死光”,我国曾称为“光受激发射”。1964年10月15日钱学森教授给当时的“光受激发射情报”编辑部写信,建议将“光受激发射”改名为“激光”,后来在第三届全国光受激发射学术报告会上通过后正式启用。

激光被誉为“科技奇葩”,它和半导体、电子计算机、原子能一起,被称为廿世纪四大发明,从而使人类进入现代文明。

当今世界,激光与其它科技相结合,已形成了九大科研和应用领域: (1) 激光医学和生物学; (2) 激光光纤通信; (3) 激光全息和信息储存处理; (4) 激光光谱; (5) 激光化学和同位素分离; (6) 激光核聚变; (7) 军用激光和激光武器; (8) 激光在工业上的应用; (9) 激光基础研究和发展新型激光系统。并建立了如激光医学、激光物理、激光化学、激光生物学等众多的边缘学科。

人们预言:计算机、纤维光学、激光、新材料、新能源、生物工程、海洋工程、空间工业和机器人工业等九大新尖工业,在本世纪末将会出现重大突破,并成为未来信息社会的主体工业。其中“激光”及其分支“纤维光学(主要用于激光光纤通信)”即占有两项,而且其它七项工业和激光也有着不同程度的联系,比如计算机正在向光电和光子计算机方面发展,生物工程的众多方面有赖于激光去开发等。激光在科技和未来社会的作用和地位,将愈来愈显示它的重要性。

激光由于具有普通光所无法比拟的高亮度、高方向性、高单色性和高相干性,因此可以转化为一系列激光新工艺和新技术,人们预言:本世纪是电子时代,下世纪将是以激光为主要标志的光子时代。

二、激光医学简史

激光医学历经卅年,可粗分为三个阶段:六十年代为基础研究阶段,临床应用极少;七十年代,基础研究进一步发展,其成果积极用于临床,使临床应用较为突出,有学者认为,七十年代可简称为临床应用阶段;八十年代则形成了一门新兴的交叉学科——激光医学。

(一) 六十年代基础研究阶段 1960年美国人梅曼(T. H. Maiman)制造了第一台红宝石激光器,因当时没有激光功率计,就用激光照射兔眼的视网膜,通过生物效应对眼的损伤程度来粗测激光的能量和功率,从而拉开了激光用于生物学和医学的序幕;1961年美国人用红宝石激光对剥离的视网膜进行焊接,开创了激光医用的先声;同年Solon, Zeret和Eichler等人在美国发表了“激光的生物作用”、“光脉冲引起的眼损伤”及“相干光源产生的光凝固”等首批激光医学论文。历史表明,在激光的各种应用中起步最早的是激光在医学方面的应用。

从美国开始的激光基础医学研究很快地于1962年传到欧洲,1963年传到苏联,1965年传到中国,1966年传到日本。研究方向主要是激光生物效应,激光对眼、皮肤、肿瘤和细胞的

作用等,既有实验研究又有理论研究。1964年从美国开始,相继在英国、苏联等国召开了激光生物医学方面的学术会议;60年代末出版激光医学专著十余本;发表论文几百篇。上述工作作为激光临床应用做好了某种准备。临床方面,1963年首次做了用红宝石激光消除尸体血管粥样斑块的尝试,而后几乎停顿了廿年,其原因部分是由于缺乏相应的技术和设备。用激光焊接剥离的视网膜的实验研究很早,但真正的临床应用,则始于1968年。

我国1961年由长春光机所研制了首台红宝石激光器,因此当时我国在激光器的研制上是走在世界前列的。1965年北京同仁医院开始了红宝石激光视网膜凝固的动物实验。

(二)七十年代临床应用阶段 激光临床应用继眼科后,1970年Bopohuha等应用He-Ne激光治疗高血压等内科疾病;同时CO₂激光也获得较大发展,促进了激光在外科临床上的应用;据1971年统计,全球约五万名病人接受激光手术,治愈率达76%。1972年YAG激光已用于胃肠、泌尿外科,并用于内窥镜实验;73年Plog用激光代替针灸做了实验;75年制成了He-Ne激光针用于经络穴位治疗疾病;同年YAG激光内窥镜用于胃肠道急性出血凝固治疗。1976年Hofstetter用YAG激光切除膀胱肿瘤;Leheta首次用YAG激光作神经外科手术;78年YAG激光开始用于胸外科、皮肤科、五官科、妇科;从此激光临床应用较全面地铺开。

第一届国际激光外科会议于1975年11月5~6日在以色列召开。虽然这次会议仅几十位代表,在范围上主要是欧美诸国。但她却表明了以往数年激光医学及生物研究的成果,展示了激光医学发展的新阶段。对以后激光医学临床与基础研究、及有关激光器械的发展都起到了促进作用。

第二届国际激光外科会议1977年10月23~26日在美国达拉斯举行。这次会议的内容较第一次广泛。除CO₂激光外,还有少数Ar⁺及YAG激光应用及研究报导,出席人员超过100位,国家也增多了。

第三届国际激光外科会议1979年在奥地利的格拉兹召开。出席的人员及国家较前更多,这次会议突出的内容为脑外科的激光应用研究报告。三次国际会议,促进了世界范围内的激光医学交流和发展。以后每两年召开一次国际激光外科会议。

整个七十年代,激光临床应用论文平均每年发表近70篇;医用激光器销售逐年上升,每年平均达数千万美元;掀起了世界范围内的激光临床应用。

在我国,70年研制成功激光视网膜凝固机,71年上海第六人民医院发表了首篇红宝石激光凝固视网膜的临床应用报导。73年上海医科大学附属耳鼻喉科医院利用国产CO₂激光成功地施行了外科手术;同年中山医科大学利用自制的CO₂激光治疗机开展了在外科、皮肤科、五官科、妇科、理疗科、针灸科和肿瘤科等方面的治疗。74年开始研制激光内窥镜系统;75年用He-Ne激光治疗头痛、哮喘、高血压、糖尿病;同时用He-Ne激光穴位麻醉作胃、甲状腺和拔牙等手术。77年我国在武汉召开了首届全国激光医学学术交流会,宣读了80余篇论文,有23个省、市,243个单位,270多名专家出席会议,会后形成了全国性的激光医疗热潮。

70年代末,我国已拥有十余种常用激光医疗器,能治疗250多种疾病,有近百万患者接受数百万次激光治疗。我国激光治疗的病种病例之多,超过了国外总和,使全球瞩目。

(三)八十年代形成激光医学新学科阶段 80年代已形成了一门新兴的边缘科学——激光医学。国内外已建立了激光医学的教学、科研和医疗的专业队伍;不少国家有了“激光

门诊”和“激光医院”；国际性、地区性、国家级和省、市级的激光医学学会和专委会如雨后春笋，定期开会宣读论文，十分活跃；世界卫生组织成立了“激光医学咨询委员会”；国内外激光医学杂志、丛书、专著和教科书基本上系列化；国际上医用激光器已形成大产业，产品40多种，年销售量已突破十亿美金；激光医学已深入人心，激光已公认为“治病之光”。

1985年初在夏威夷召开的太平洋地区激光医学会议上，美国Utah大学著名激光医学专家Dixon指出所谓激光医学成熟指标：眼科10，胃肠、妇、耳鼻喉科6，皮肤及矫形外科5，神经科4，泌尿科3，肺、普外科2，血管外科、光动力学疗法1。同时“Lasers and Applications”杂志载文指出：各科医生中对医用激光已有正确认识的比例是：眼科65%，耳鼻喉科30%，胃肠科25%，妇科20%，皮肤及矫形外科15%，神经科14%，泌尿科7%，普通外科2%，其余肿瘤、口腔和心血管科尚处于实验阶段。

当前国内、特别是国外正在对（激光血管成形（动脉斑清除）术，激光光动力学疗法，准分子激光角膜切开术，激光微血管和神经吻合术，CO₂激光光纤，蓝宝石〔其熔点为2030℃；硬度为9（金刚石为10）；透射率为85%；折射率为1.77〕头激光器，激光粉碎胆结石，激光机的多种激光输出和多功能激光内窥镜等，进行积极的研制、试验并逐步转入临床应用）医用激光器与电子计算机、光纤、图像分析、摄像录像、荧光光谱、激光光谱和超声等新技术相结合，为激光医学展示着美好前景，激光诊断和治疗相结合也是激光医学发展的方向。

激光医学经过卅年的发展，虽已长足直进，但尚处在青年时代，美国外科手术中使用激光刀的只占1%，将来可能扩展到50%。应该指出的是激光是一种先进的治疗和诊断手段，但它不可能取代其它的治疗和诊断手段，而且它本身尚需不断发展和完善，国内外学者普遍认为，现在基础研究还远落后于临床应用，由于激光医学基础研究的复杂性，需要多学科的长期协作攻关，才可能逐步解决。

三、激光医学应用

激光医学应用分治疗、诊断和科研三个方面。

（一）治疗 分高功率、低功率和光敏治疗三类。它们是激光医用最成功的领域。

1. 高功率激光治疗又称为激光手术治疗。有切割、气化（疣、痣、色素、肿瘤、点状灶、穿通）、烧灼止血、凝固封闭和吻（融）合五种，主要是利用激光的热能达到上述各种治疗目的。

2. 低功率激光治疗又叫做激光非手术治疗。分局部和穴位照射两种，用以治疗和探索一些功能性和气质性疾病，以及进行激光针灸麻醉等。

3. 光敏治疗是激光加光敏剂，利用其光化作用治疗肿瘤称为激光光敏治疗。光敏化反应因有无分子氧参加而分成两类。

（二）诊断 它可细分为诊断和测量（体检和化验）两方面。激光诊断方面的主要应用有荧光法、透照法、光谱法、全息法等；而在测量方面的主要应用有干涉法、刺激阈值法、激光散射、激光多普勒效应、激光显微镜和激光光谱等；二者互有交叉且大都处于研究阶段。

（三）科研 通过激光与人体器官、组织、细胞和生物分子的相互作用，来研究激光的生物效应，从而阐明某些疾病的病因和病理，揭示激光治病机理和诊断原理。其主要方法除上面介绍的外，还有激光微缩术、微微秒和毫微微秒脉冲术等。

激光医学基础

第一章 激光发射原理

虽然激光和普通光都是一种电磁波，都具有波粒二象性；但是二者发光的微观机制是迥然不同的。普通光是“自发辐射”发光，而激光是“受激辐射”发光，远比自发辐射复杂。为了实现光的受激放大，必须使工作物质实现“粒子数反转”，并置于谐振腔内方可得到一束激光。因此为了弄清激光的发射原理，就应了解粒子数按能级的分布规律、自发无辐射跃迁、自发辐射跃迁、受激吸收、受激辐射、粒子数反转、三（四）能级工作物质和光学谐振腔这八个基本概念，现分述如下。

第一节 粒子数按能级分布

在一个体系中，大量的粒子（原子、分子或离子）相互碰撞并交换能量，有些粒子由低向高能级跃迁，而有些则由高向低能级返回，在达到热平衡（温度恒定或变化极慢）时，单位体积中同类粒子在各能级上是按照一定的统计规律分布的，这个规律称为玻耳兹曼分布律。即

$$n = N \cdot e^{-E/kT} = N \cdot \exp(-E/kT) \quad 1-1$$

式中 n 是处于能级能量为 E 的粒子数， N 为总粒子数， $k = 1.381 \times 10^{-23}$ 焦耳·每开尔文（ $J \cdot K^{-1}$ ）为玻耳兹曼常数， T 为热平衡时的绝对温度， $e = 2.718$ 为自然数。

从玻耳兹曼分布律可知，在热平衡条件下，随着能级能量的增高，所处的粒子数目按负指数规律减少。即在热平衡条件下，低能级的粒子数总是比高能级的粒子数目多。升高温度只能减少高、低能级间粒子数的相对差额，绝不会使高能级的粒子数多于低能级的粒子数，即绝不会使粒子数反分布（又称粒子数反转）。正像地球表面低处的空气总比高处多一样。通过式 1-1 计算不难看出，气体在常温的热平衡状态下，几乎全部原子处于基态。

第二节 自发无辐射跃迁和自发辐射跃迁

根据能量最小原理，高能级的粒子总是力图向低能级跃迁而趋于稳定。这种不受外界影响而完全自发产生的跃迁过程，称为自发跃迁。因为每次能级跃迁只涉及一个高能级 E_2 和一个低能级 E_1 （ E_1 不一定是基态能级，也不一定和 E_2 相连），为简单计，我们只讨论两个能级就够了，不必画出粒子的一切能级。粒子从 E_2 自发跃迁到 E_1 时，并释放出一定的能

量 $(E_2 - E_1)$ 。释放能量的形式有两种：一种是处于 E_2 能量的粒子和周围粒子作无序碰撞，而将 $(E_2 - E_1)$ 的能量转化为系统的热运动能量，使自己跃迁到 E_1 ，并不向外辐射光子，这种跃迁叫做自发无辐射跃迁；另一种是将 $(E_2 - E_1)$ 的全部能量转化为光子并向外辐射，这种跃迁叫做自发辐射跃迁，简称自发辐射 (Spontaneous emission)，如图 1—1 所示。其辐射光子的频率

$$\nu_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

1—2

式中 h 为普朗克常数， $h = 6.63 \times 10^{-34}$ 焦耳·秒 (J·s)

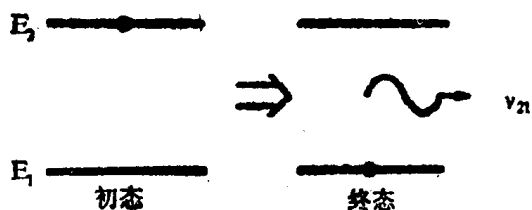


图1—1 自发辐射跃迁

自发辐射的特点是系统内处于激发态的粒子的寿命很短，一般为 $10^{-11} \sim 10^{-8}$ 秒，然后自发地各自独立地向较低的能级跃迁，究竟向哪一个低能级跃迁完全是随机的，换言之，即它们都以某种几率向下跃迁，而将多余的能量转变为一个光子向外辐射。

常温下物质中大部分粒子处于基态，处于激发态的粒子很少，所以其自发辐射效应微弱，因此我们都觉察不到。为了加强物质的自发辐射效应，可以采取一定的激励方式（加热、气体放电、射束辐照等），人为地使发光物质中处于高能级的粒子数大大增加，从而使粒子系统总的自发辐射效应大大增强，这正是激光技术出现以前普通光源（热光源、气体放电光源、荧光磷光光源）的发光机理。由于普通光源中处于高激发态的粒子数总是少于低能级的粒子数，而且受激粒子的总数很有限，因此只能发出低亮度的光；其次，由于自发辐射光子在空间所有方向上是杂乱的随机分布，是各向同性的，因此光源发光的定向性极差；再者，由于普通光源发光，是不同的高能级粒子向不同低能级跃迁，自然要产生许多种频率的光子，因此光源的单色性差；最后，就是同频率的自发辐射光子，其方向、位相和偏振都各有区别，其光子简并度（即同一量子状态的平均光子数）低，最强的普通光的光子简并度才 10^{-3} 左右。综上所述，普通（自然）光源的自发辐射机理，决定了它只能发出低亮度、低定向性、低单色性和低光子简并度的自然光。

下面来讨论自发辐射光谱线的强度。

粒子从 E_2 跃迁到 E_1 的自发辐射光谱线强度 I_r （单位体积、单位时间内粒子从 $E_2 \rightarrow E_1$ 的自发辐射总能量）与 N_2 （单位体积内粒子处于 E_2 的数目）、 A_{21} （单位时间内单个粒子从 $E_2 \rightarrow E_1$ 的自发辐射跃迁几率）和 $h\nu_{21} = E_2 - E_1$ 成正比。即：

$$I_r = N_2 \cdot A_{21} \cdot h\nu_{21}$$

1—3

第三节 受激吸收 受激辐射

一、受激吸收

如果粒子处于低能级 E_1 上，当频率为 $\nu_{21} = (E_2 - E_1) / h$ 的外来光子逼近它时，粒子

就可能吸收这个光子的能量，而激发到高能级 E_2 上去，这个过程叫做受激吸收，如图1—2所示。此过程不是自发产生的，必须经过外来光子的作用才会发生，对这个外来光子只要求其频率 $\nu_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h}$ 就够了，对方向、位相和偏振面等都没有限制。

粒子从 E_1 跃迁到 E_2 的受激吸收光谱线强度 ΔI_α （单位体积、单位时间内粒子从 $E_1 \rightarrow E_2$ 的受激吸收光子总能量）决定于：（1）单位体积内粒子处于 E_1 的数目 N_1 ；（2）单位时间内能量为 E_1 的单个粒子从 $E_1 \rightarrow E_2$ 的受激吸收几率 $B_{12} \rho_{\nu_{21}}$ ，其几率和外来光子数密度及频率有关，用符号 $\rho_{\nu_{21}}$ 表示；还和粒子的性质及所处能级 E_1 、 E_2 的状态有关，用符号 B_{12} 表示；（3）外来光子的能量 $h\nu_{21} = E_2 - E_1$ 。即：

$$\Delta I_\alpha = N_1 \cdot B_{12} \rho_{\nu_{21}} \cdot h\nu_{21} \quad 1-4$$

二、受激辐射

爱因斯坦在1917年就指出，除自发辐射和受激吸收外，还有一种辐射过程叫受激辐射（stimulated emission）。

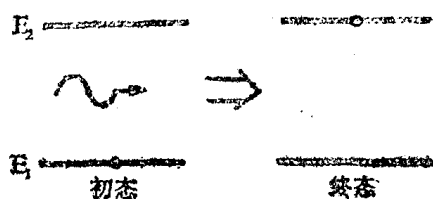


图1—2 受激吸收

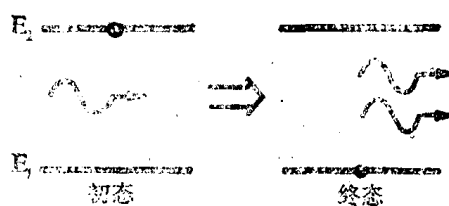


图1—3 受激辐射

如图1—3所示：如果粒子处于高能级 E_2 上，当频率 $\nu_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h}$ 的外来光子逼近它时，就可能受此光子的作用（感应、刺激、原子共振），使粒子从 E_2 跃迁到低能级 E_1 ，同时发射一个与外来光子相同的光子，这就是受激辐射，又称感应辐射。

受激辐射的特点是：（1）它不会自发产生，必须有外来光子的作用；（2）外来光子的能量必须等于粒子中两个能级间的能量差，这时才有一定的几率产生受激辐射；（3）受激辐射光子和原来的入射光子是两个完全相同的光子，二者不可分辨，它们的发射方向、位相、偏振、频率和速度都相同，而且处于同一量子状态；（四）受激辐射的出射光等于两倍入射光；（五）每一个受激粒子都是一个光量子放大器，放大率为两倍。这是迄今为止我们所知道的最小的电磁波放大器。简言之，所谓激光就是受激辐射发光。

下面来讨论受激辐射光谱线强度。

粒子从 $E_2 \rightarrow E_1$ 的受激辐射光谱线强度 I_s （单位体积单位时间粒子从 $E_2 \rightarrow E_1$ 的受激辐射总能量）决定于：（1）单位体积处于 E_2 的粒子数 N_2 ；（2）单位时间内单个 E_2 粒子从 $E_2 \rightarrow E_1$ 的受激辐射几率，其几率和外来光子数密度及频率有关，用符号 $\rho_{\nu_{21}}$ 表示；还和粒子的性质与所处的能级 E_1 、 E_2 的状态有关，用符号 B_{21} 表示；（3）受激辐射（即外来）光子的能量 $h\nu_{21} = E_2 - E_1$ 。即：

$$\Delta I_s = N_2 \cdot B_{21} \rho_{\nu_{21}} \cdot h\nu_{21} \quad 1-5$$