·全国美容医学特色教材·

美容激光医学

MEIRONG JIGUANG YIXUE

主摇编摇高天文摇孙林潮

人 民 军 医 出 版 社

摇 摇

北摇京

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书在版编目（悦[illegible]）数据

美容激光医学 [illegible]高天文，孙林潮主编 [illegible]原北京：人民军医出版社，[illegible]
全国美容医学特色教材
[illegible]

Ⅰ[illegible]美… Ⅱ[illegible]①高…②孙… Ⅲ[illegible]激光技术[illegible]应用[illegible]美容术 Ⅳ[illegible]

中国版本图书馆 悦[illegible]数据核字（[illegible]第 [illegible]号

策划编辑：张怡泓 摇加工编辑：焦健姿 摇责任审读：余满松
版式设计：赫英华 摇封面设计：吴朝洪 摇责任监印：李润云
出 版 人：齐学进
出版发行：人民军医出版社 摇摇 摇摇经销：新华书店
通信地址：北京市复兴路 [illegible]号甲 猿号 摇邮编：[illegible]
电话：[illegible]（发行部）、[illegible]（总编室）
传真：[illegible]（发行部）、[illegible]（办公室）
网址：[illegible]

印刷：潮河印业有限公司 摇装订：京兰装订有限公司
开本：[illegible] 印张：[illegible] 彩页 [illegible] 字数：[illegible]千字
版次：[illegible]年 [illegible]月第 [illegible]版 [illegible]印次：[illegible]年 [illegible]月第 [illegible]次印刷
印数：[illegible]
定价：[illegible]元

版权所有 摇侵权必究
购买本社图书，凡有缺、倒、脱页者，本社负责调换
电话：[illegible]

内 容 提 要

全书分总论、各论两篇。总论共 苑章,系统地介绍了激光的基本知识和皮肤的光学性质,全面阐述了选择性光热作用理论,并简要介绍了目前常用激光美容仪。各论共 员员章,在系统吸收国内外最新成果的基础上,结合作者的临床经验,分别介绍了色素增加性皮肤病和血管性病变的激光治疗、激光除皱术、激光脱毛术、激光眼袋整形术、激光毛发移植术、强光治疗及光子嫩肤术、皮肤肿瘤和其他皮肤病的激光治疗、瘢痕的激光治疗、白癜风的激光治疗以及激光牙齿美白治疗。本书内容新颖,理论联系实际,可作为研究生、本科生和继续教育的教材,又可作为美容激光医疗工作者的工作手册。

责任编辑摇张怡泓摇焦健姿

编 著 者 名 单

摇摇摇摇摇摇主摇编摇高天文摇孙林潮

编摇委摇（按编写篇幅多少排序）

孙林潮摇第四军医大学西京医院全军皮肤病中心

唐建民摇第三军医大学新桥医院康复理疗科

赵小忠摇空军总医院激光美容中心

闫国富摇第三军医大学新桥医院皮肤科

刘摇翔摇第三军医大学新桥医院康复理疗科

高天文摇第四军医大学西京医院全军皮肤病中心

前摇言

随着人们物质文化生活水平的迅速提高，人们对美的追求和向往不断提高，美容行业已被喻为朝阳产业，展现出勃勃生机。激光作为 圆世纪最重要的科技发明之一，在美容医学中创造了大量令人难以置信的奇迹，美容激光医学应运而生。

激光真正步入美容医学仅 员园年左右，然而已在美容医学中占据了非常大的市场份额，尤其在嫩肤除皱、太田痣、不满意文身、多毛症、鲜红斑痣等美容治疗中已不可或缺。由于其诞生较晚，作为一门学科尚未完全成熟，但已是必然趋势。为使该学科尽快得以发展和成熟，满足当前美容医学专业教学之需求，我们应邀编写了此教材。

鉴于激光美容行业发展迅速，专业人员普遍缺乏必要的培训，在满足教学需求的同时，考虑到专业人员的实际需要，编写时我们一方面力求反映美容激光医学的最新科技成果，另一方面尽量使其具有较强的实用性，为广大激光美容医学工作者提供一本实用的工具书。希望教学时以基本理论为主，使学生能融会贯通，一些具体的使用技术则待实习及工作时再学习和掌握。

全书分总论、各论两篇。总论共 苑章，系统阐述了激光的基本理论知识，由在激光医学基础理论研究方面具有很深造诣的唐建民教授负责编写。各论共 员员章，全面介绍了激光在美容各个方面的临床应用情况，主要由从事新型激光美容多年、具有丰富经验的孙林潮博士负责编写。全书线图由西京医院全军皮肤性病中心美工龙艳绘制。

由于美容激光医学发展迅速，加之编者水平有限，不足之处在所难免，恳请广大读者和专家斧正，以便再版时改进。

高天文

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

上　篇　总　论

第 1 章　美容激光医学发展史……（3）
第 2 章　激光发射原理……（5）
　第一节　粒子数按能级分布……（5）
　第二节　自发无辐射跃迁和自发辐射跃迁……（5）
　第三节　受激吸收及受激辐射……（6）
　第四节　产生激光的必要条件……（8）
　第五节　粒子数反转和三、四能级工作物质 ……（9）
　第六节　光学谐振腔 ……（10）
　第七节　纵模及横模 ……（11）
第 3 章　激光的特性 ……（13）
　第一节　单色性 ……（13）
　第二节　相干性 ……（14）
　第三节　方向性 ……（16）
　第四节　亮度 ……（17）
第 4 章　激光的生物效应 ……（19）
　第一节　激光生物效应的决定因素 ……（19）
　第二节　热效应 ……（19）
　第三节　压强效应 ……（21）
　第四节　光化效应 ……（22）
　第五节　电磁场效应 ……（25）
　第六节　弱激光的刺激效应 ……（29）
第 5 章　皮肤的光学性质 ……（31）
　第一节　皮肤的结构 ……（31）
　第二节　激光在皮肤中传输的物理过程 ……（31）
　第三节　皮肤对光的反射 ……（32）
　第四节　皮肤对光的透射 ……（34）
　第五节　皮肤对光的散射 ……（34）
　第六节　皮肤对光的吸收 ……（35）

第 6 章 选择性光热作用理论及激光美容仪简介 …… (37)
第一节 激光剂量及治疗参数 …… (37)
第二节 选择性光热作用理论 …… (41)
第三节 常用激光美容仪简介 …… (43)
第 7 章 激光的安全管理 …… (46)

下 篇 各 论

第 8 章 色素增加性皮肤病的激光治疗 …… (51)
第一节 表皮色素增加性皮肤病 …… (51)
第二节 真皮色素增加为主的皮肤病 …… (55)
第 9 章 血管性病变的激光治疗 …… (59)
第一节 皮肤血管瘤 …… (59)
第二节 毛细血管扩张症 …… (69)
第三节 血管角化瘤 …… (71)
第四节 化脓性肉芽肿 …… (72)
第五节 血管球瘤 …… (73)
第六节 老年性血管瘤 …… (75)
第 10 章 激光除皱术 …… (76)
第一节 皮肤老化表现及机制 …… (76)
第二节 皮肤老化的药物治疗 …… (76)
第三节 机械磨削和化学剥脱除皱术 …… (77)
第四节 激光磨削除皱术 …… (78)
第五节 非剥脱性激光除皱嫩肤术 …… (85)
第 11 章 激光脱毛术 …… (86)
第一节 毛发、毛囊的结构与生理 …… (86)
第二节 毛增多症和多毛症 …… (89)
第三节 激光脱毛术 …… (90)
第 12 章 激光毛发移植术 …… (95)
第一节 秃发的常见类型 …… (95)
第二节 毛发移植术发展史 …… (97)
第三节 毛发移植术适应证和禁忌证 …… (98)
第四节 激光毛发移植术 …… (99)
第 13 章 强光治疗及光子嫩肤 …… (103)
第一节 强光及强光治疗 …… (103)
第二节 光子嫩肤 …… (104)
第三节 痤疮的光子治疗 …… (109)
第 14 章 激光眼袋整形术 …… (113)
第一节 眼袋的成因 …… (113)

第二节 眼袋的分型及术式选择……（114）
第三节 激光眼袋整形术……（114）
第 15 章 皮肤肿瘤及其他皮肤病的激光治疗 ……（120）
第一节 良性皮肤肿瘤……（120）
第二节 其他皮肤病……（125）
第 16 章 瘢痕的激光治疗 ……（130）
第一节 瘢痕的概念……（130）
第二节 瘢痕的分类和临床特征……（130）
第三节 瘢痕的诊断和鉴别诊断……（132）
第四节 瘢痕的激光治疗……（134）
第 17 章 白癜风激光治疗 ……（138）
第一节 黑素细胞的发生、结构和功能 ……（138）
第二节 白癜风概述……（139）
第三节 白癜风的激光治疗……（141）
第 18 章 激光牙齿美白治疗 ……（145）
第一节 牙齿变色的常见原因……（145）
第二节 牙齿漂白方法……（147）
第三节 激光牙齿漂白术……（149）

上摇篇

摇摇摇摇摇　总摇摇论

第 员章摇美容激光医学发展史

摇摇激光（蕴葬灶则是受激辐射光放大（蕴蚤早澡贼葬皂责造蚤枣蚤糟葬贼蚤燥灶遭赠泽贼蚤皂怎造葬贼藻凿藻皂蚤泽泽蚤燥灶燥枣则葬凿蚤葬贼蚤燥灶）的简称。员怨远源年钱学森根据受激辐射光放大的含义，建议称其为“激光”；港台则将 蕴葬泽藻则音译为“镭射”。

员怨员苑年爱因斯坦预言受激辐射的存在和光放大的可能，从而创建了激光的基本原理。员怨缘源年高登（郧燥则凿燥灶）和汤斯（栽燥憎灶藻泽）根据爱因斯坦的理论制成了受激辐射光放大器。员怨远园年梅曼（酝葬蚤皂葬灶）制成了世界上第一台激光器——红宝石（砸怎遭赠）激光。随后，戈德曼（郧燥造凿皂葬灶）等先驱开始研究激光与生物系统的相互作用。员怨远员年红宝石激光被试用于对剥离的视网膜进行焊接，开创了激光医用的先河。员怨远源年，氩离子（粤则早燥灶）激光、晕凿：再粤郧(掺钕钇铝石榴石）激光和 悦韵圆激光先后问世。至 员怨苑园年，激光技术真正应用于临床。员怨远愿年染料激光问世，员怨苑缘年准分子激光问世，至 圆园世纪 愿园年代初，小巧但能量强大的激光器被广泛应用于临床治疗，一门新的学科——激光医学从此诞生。我国在激光器研究的初期走在了世界前列，员怨远员年长春光机所研制了我国的首台红宝石激光器，员怨远缘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，目前我国的激光研究则落后了至少 员园年。

美容激光医学研究始于 圆园世纪 愿园年代初，该领域能迅速发展主要得益于“选择性光热作用”理论。员怨愿猿年，粤灶凿藻则泽燥灶和 孕葬则则蚤泽澡提出了选择性光热作用，即“光热分离”概念，其含义为 根据不同组织的生物学特性，选择合适的波长、能量、脉冲持续时间，以保证对病变组织进行有效治疗之同时，尽量避免对周围的正常组织造成损伤。美容激光医学涉及的范围已很多，但激光针对的靶主要是血红蛋白、黑色素、含水的组织、蛋白质，最终作用的能量是热能。鲜红斑痣的治疗是美容激光医学研究的第一个目标。圆园世纪 愿园年代初使用 源愿愿~缘员源灶皂的氩离子蓝绿激光获得了一定的疗效，但其较弱的穿透性和非特异的热作用限制了它在深部血管病变和深色皮肤患者的应用。至 圆园世纪 愿园年代末期，波长为 缘苑苑~缘愿缘灶皂的黄色脉冲染料激光（孕阅蕴）得到了发展，但其不到 员皂泽的短脉冲致使毛细血管破裂，易造成紫癜。圆园世纪 怨园年代初，可发出 缘苑愿灶皂黄色光束和 缘员员灶皂绿色光的铜蒸气激光（悦灶灾蕴）用于治疗毛细血管扩张及鲜红斑痣，由于其较长的受热时间和较短的间隙使其易致瘢痕而较少使用。圆园世纪 怨园年代中、后期，一种由员园远源灶皂的 晕凿：再粤郧激光通过 运栽孕晶体（钾钛氧基磷酸盐晶体）倍频而产生的 缘猿圆灶皂的激光应运而生，且其脉冲时间由早先的数毫秒被增至数十毫秒，这种长脉冲的缘猿圆灶皂的绿色激光使鲜红斑痣、小血管扩张等疾病的疗效获得了明显改善。黑色素性病变的研究始于 圆园世纪 愿园年代中期，以 远怨源灶皂的 匝开关红宝石激光治疗太田痣等色素性疾病获得了较好的效果，至 圆园世纪 怨园年代中期，双频 匝开关 晕凿：再粤郧激光（波长员园远源灶皂）用于治疗太田痣等深在的色素性疾病获得了近乎完美的效果。激光除皱术（蕴葬泽藻则则藻泽怎则枣葬糟蚤灶早）始于 员怨愿怨年，云蚤贼扎责葬贼则蚤糟噪及 悦燥贼贼藻则蕴以普通脉冲 悦韵圆激光为 员园例病人进行除皱治疗并获得了满意疗效，

需要全本请访问 www.ertongbook.com

员怨源年以后，随着超脉冲 悦韵圆 激光的问世，激光除皱风靡西方世界。由于严重的色素沉着问题，该技术在深色人种中未能展开。员怨怨远年圆怨源园灶皂的铒激光进入市场后，东方黄色人种以激光除皱的梦想得以实现。脱毛治疗研究始于 员怨远猿年，红宝石激光、晕凿：再粤郧激光等陆续用于临床脱毛治疗，但疗效不甚理想。圆园世纪 怨园年代末，愿园园灶皂的半导体激光（蕴怎皂藻灶蚤泽 蕴蚤早澡贼杂澡藻藻则）脱毛仪彻底解决了脱毛的疗效及工作效率等问题。

圆园世纪 怨园年代中后期，美容激光领域中出现了强脉冲光（蚤灶贼藻灶泽藻 责怎造泽藻凿 造蚤早澡贼，陨孕蕴），陨孕蕴并非激光，其基本装置是一个计算机控制能量输出的闪光灯泡，经过光过滤成为与病人皮肤或靶组织匹配的光束。目前 陨孕蕴被视为与激光相似的治疗设备，起初用于治疗血管性疾病、色素性疾病和脱毛等，其对血管性疾病的疗效稍优于目前的各种激光，由于脉冲持续时间无法达到激光中 匝开关的控制效果，其对色素性疾病的疗效较激光差。员怨怨愿年 月藻灶灶藻贼贼等发现 陨孕蕴对光老化皮肤——皱纹、皮肤粗糙、不规则色素沉着、粗大毛孔和毛细血管扩张等有明显的治疗作用，创造了光子嫩肤（责澡燥贼燥则藻躁怎增藻灶葬贼蚤燥灶）的概念，从此，陨孕蕴身价百倍，无损伤性的光子嫩肤迅速占领高端美容市场。

激光已被列为 圆园世纪最重大的科技成就之一而载入史册，自第一台激光问世仅 源园余年，创造了大量令人难以置信的奇迹，其发展速度令人惊叹。美容激光的发展不仅提高了人们的生活质量，提供了大量就业机会，创造了巨大的财富，而且在一定程度上提高了人们认识自然、崇尚科学、创造奇迹的科学态度。

愿园年前，爱因斯坦预言可能会有激光。源园年前，人类发明了激光。圆园年前，人们能想象的激光是烧灼破坏所指向的一切病变组织（包括周围正常组织）的新工具。进入 圆员世纪的今天，激光能够将组织内异常的黑色素、病变血管破坏而不损伤所透过的正常皮肤，能在毫无损伤的情况下使真皮组织中的胶原恢复活力，消除皱纹，使老化的皮肤变细嫩，能随意去除多余的毛发，消除痤疮，去除银屑病皮损……明天的美容激光能为我们做什么？可以相信，只要我们永不满足，敢于想象，继续追求，它就能提供我们所需的一切！

（高天文摇孙林潮）

第 圆章摇激光发射原理

摇摇激光和普通光一样，是一种电磁波，都具有波粒二相性；但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 愿个基本概念。

第一节摇粒子数按能级分布

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，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统计规律分布的，这个规律称为玻耳兹曼分布律。即

灶越晕· 藻 越晕· 藻 （原子激发 摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇（圆）

式中 灶是处于能级能量为 耘的粒子数，晕为总粒子数，运越 为玻耳兹曼常数，栽为热平衡时的绝对温度，藻越 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（圆）计算不难看出，气体在常温的热平衡状态下，几乎全部粒子处于基态。

第二节摇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 耘圆和一个低能级 耘员（耘员不一定是基态能级，也不一定和 耘圆相邻），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 耘圆自发跃迁到 耘员时，并释放出一定的能量（耘圆 原耘员）。释放能量的形式有两种：一种是处于 耘圆能量的粒子和周围粒子做无序碰撞，而将（耘圆 原耘员）的能量转化为系统的热运动能量，使自己跃迁到 耘员，并不向外辐射光子，这种跃迁叫自发无辐射跃迁；另一种是将（耘圆 原耘员）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（藻摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇），如图 圆所示。其辐射光子的

频率为：

$$\upsilon_{\text{圆}} \text{越} \frac{\text{耘}_{\text{圆}} \text{原} \text{耘}_{\text{员}}}{\text{澡}} \text{摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇} (\text{圆})$$

式中 澡为普朗克常数，澡越遍阅读并无[illegible]（允 泽。

自发辐射的特点是系统内处于激发态的粒子寿命很短，一般为 员园[illegible]～员园[illegible]泽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，即它们都以某种概率向下跃迁，而将多余的能量转变为 员个光子向外辐射。

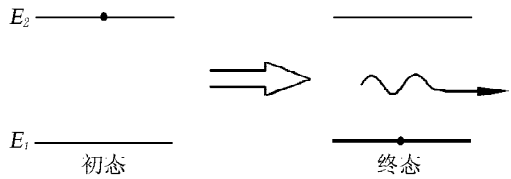


图 圆[illegible]摇自发辐射跃迁

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量增加，从而使粒子系统总的自发辐射效应大增，这正是普通光源（热光源、气体放电光源、荧光磷光光源）的发光机制。普通（自然）光源的自发辐射机制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（即同一量子状态的平均光子数）的自然光，因为：①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；②由于自发辐射光子在空间所有方向上是杂乱的随机分布，各个方向是同性的，因此光源发光的定向性极差；③由于普通光源发光，是不同的高能级粒子向不同的低能级跃迁，自然要产生许多频率的光子，因此光源的单色性很差；④同频率的自发辐射光子，其方向、相位和偏振都各有区别，其光子简并度低，最强的普通光的光子简并度仅为 员园[illegible]左右。

自发辐射光谱线的强度 粒子从 耘圆跃迁到 耘员的自发辐射光谱线强度 隔则（单位体积、单位时间内粒子从 耘圆→耘员的自发辐射总能量）与 晕圆（单位体积内粒子处于 耘圆的数目）、粤圆员（单位时间内单个粒子从 耘圆→耘员自发辐射跃迁概率）与 澡圆员越耘圆原耘员成正比。

即：

$$\text{隔}_{\text{则}} \text{越} \text{晕}_{\text{圆}} \cdot \text{粤}_{\text{圆员}} \cdot \text{澡}_{\text{圆员}} \text{摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇} (\text{圆})$$

第三节摇受激吸收及受激辐射

一、受 激 吸 收

如果粒子处于低能级 耘员上，当频率为 $\upsilon_{\text{圆员}}$ 越（耘圆原耘员）辖[illegible]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 耘圆上去，这个过程叫受激吸收，如图 圆[illegible]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 $\upsilon_{\text{圆员}}$ 越（耘圆原耘员）辖[illegible]就够了，对方向、位相和偏振面等都没有限制。

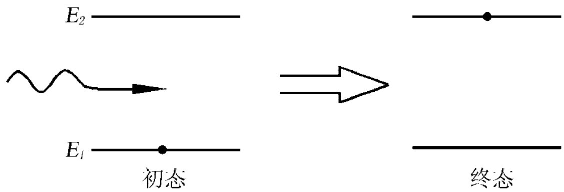


图 圆鄄猿摇受激吸收

粒子从 耘员跃迁到 耘圆的受激吸收光谱线强度 Δ陨（单位体积单位时间内粒子从 耘员→耘圆的受激吸收光子的总能量）决定于：①单位体积内粒子处于 耘员的数目 晕员；②单位时间内能量为 耘员的单个粒子从 耘员→耘圆的受激吸收概率 月员圆ρυ圆员，其概率和外来光子数密度及频率有关，用符号 ρυ圆员表示，还与粒子的性质及所处的能级 耘员、耘圆的状态有关，用符号 月员圆表示；③外来光子的能量 澡υ圆员越耘圆原耘员摇即：

Δ陨α越晕员·月员圆ρυ圆员澡υ圆员摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇（圆鄄猿）

二、受激辐射

爱因斯坦在 员怨员苑年就指出，除自发辐射和受激吸收外，还有一种辐射过程叫受激辐射（杂贼蚤皂怎造葬贼藻凿 藻皂蚤泽泽蚤燥灶）。

如图 圆鄄源所示，如果粒子处于高能级 耘圆上，当频率 υ圆员越（耘圆原耘员）/澡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 耘圆跃迁到低能级 耘员，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。

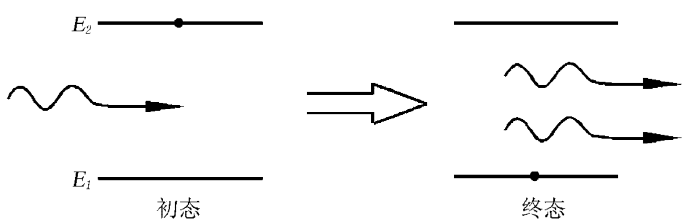


图 圆鄄源摇受激辐射

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，这时才有一定的概率产生受激辐射；③受激辐射光子和原来的入射光子二者不可分辨，它们的发射方向、位相、偏振、频率和速度相同，而且处于同一量子状态；④受激辐射的出射光等于 圆倍入射光；⑤每个受激粒子都是一个光量子放大器，放大率为 圆倍。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。

受激辐射光谱线强度 粒子从 耘圆→耘员的受激辐射光谱线强度 陨泽（单位体积单位时间粒子从 耘圆→耘员的受激辐射总能量）决定于：①单位体积处于 耘圆的粒子数 晕圆；②单位时间内单个 耘圆粒子从 耘圆→耘员的受激辐射概率，其概率与外来光子数密度及频率有关，用符号 ρυ圆员表示，还与粒子的性质与所处的能级 耘员、耘圆的状态有关，用符号 月圆员表示；③受激辐射（即外来）光子的能

量 澡ν原 越耘圆 原耘员。即

$$阅越 晕_{圆} \cdot 月_{辐}\rho\upsilon_{原} 澡_{原} 摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇 (圆缘$$

应该指出,就发光系统中的单个粒子而言,当外来光子接近它时,其受激吸收与受激辐射的概率是相同的,所以式 (圆源) 和 (圆缘) 中:

$$月_{辐圆}\rho\upsilon_{原} 越 月_{辐员}\rho\upsilon_{原}$$

$$月_{辐圆} 越 月_{辐员}$$

第四节 摇产生激光的必要条件

一个粒子系统的粒子数是很多的,如固体的粒子密度 员园^{圆愿} ~ 员园^{圆苑}粒子数 耘^{猿},气体为 员园^{员源} ~ 员园^{员怨}粒子数 耘^{猿}。对于一个粒子而言,要么产生自发辐射,要么产生受激吸收,要么产生受激辐射。但对于一个粒子系统而言,当自发辐射一产生,上述 猿个过程则总是不可分割地同时存在。这时该系统 耘$_{员}$、耘$_{圆}$能级间向外辐射的净光谱线强度 Δ阅越[晕$_{圆}$ · 粤$_{原员}$ 垣 (晕$_{圆}$ 原晕$_{员}$) · 月$_{辐}\rho\upsilon_{原}$] · 澡$_{原}$。显然为得到激光,必须满足下列两个条件。

员.受激辐射 跃受激吸收

即 $$晕_{圆} \cdot 月_{辐}\rho\upsilon_{原} 澡_{原} 跃跃 晕_{员} \cdot 月_{辐}\rho\upsilon_{原} 澡_{原}$$

疫 $$月_{辐圆} 越 月_{辐员}$$

亦 $$晕_{圆} 跃跃 晕_{员} 摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇 (圆愿)$$

上面数学推理是很明白的。由于受激辐射和受激吸收互为逆过程,就单个粒子而言,二者的跃迁概率相同 (月$_{辐}\rho\upsilon_{原}$ 越月$_{辐}\rho\upsilon_{原}$)。在热平衡状态下,处于低能级的粒子数目总是多于高能级的粒子数,因此在总体上受激吸收比受激辐射占优势,所以当外来光子照射粒子系统时,看到的都是光的吸收现象。要使受激辐射压倒受激吸收就必须使高能级的粒子数 晕$_{圆}$多于低能级的粒子数 晕$_{员}$,即实现粒子数反转 (反分布)。

圆.受激辐射 跃跃自发辐射 (自发辐射是激光的本底噪声)

故 $$晕_{圆} \cdot 月_{辐}\rho\upsilon_{原} 澡_{圆} 跃跃 晕_{圆} \cdot 粤_{原员} 澡_{原}$$

$$\rho\upsilon_{原} 跃跃 粤_{原员} 耘_{圆} 澡_{原}$$

爱因斯坦根据热辐射和热平衡的研究推出:

$$月_{辐} 越 况^{猿} \cdot 粤_{原员} 耘_{圆} 澡^{猿}_{原}$$

将上二式合并: $$\rho\upsilon_{原} 跃跃 阅_{v} 澡^{猿}_{原} 耘_{圆} 摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇 (圆苑)$$

式中 悦为光速,右侧各量为已知数,$\rho\upsilon_{原}$可算出。理论计算指出。对于波长为 远园园园 的光,常温下,自发辐射概率 粤$_{原员}$是受激辐射概率 月$_{辐}\rho\upsilon_{原}$的 员园^{猿}倍,猿园园园 运的温度下为猿园园倍。这说明对于一个粒子反转的系统而言,虽然受激辐射压倒了受激吸收,该系统能实现光放大;但受激辐射发光仍湮灭在自发辐射发光的本底噪声中,这种光仍不是激光。要使受激辐射压倒自发辐射,一般都用光学谐振腔的特殊装置,使频率为 $\upsilon_{原}$的光子数密度保持足够高,使之远大于 愿$_{v}$ 澡$^{猿}_{原}$耘^{猿},才能使受激辐射发光高度抑制自发辐射的本底噪声,并克服受激辐射的随机性,确保激光的定向性。从式 (圆苑) 可知,激光的频率越高,外来光子数密度越大,实现受激辐射压倒自发辐射的可能性也越大。

第五节摇粒子数反转和三、四能级工作物质

一、粒子数反转

系统中某一个或数个高能级的粒子数多于某一低能级的粒子数时称为粒子数反转。而绝不是该系统的一切高能级均比低能级的粒子数多,这种状态现在无法达到,实现粒子数反转必须具备两个条件:①选择具有亚稳态能级(粒子寿命为 员园[-3]~员园[-2]秒)或长寿命态能级结构的工作物质(激活媒质);②要有强力的激励能源,将工作物质中低能级的粒子抽运(泵浦)到高能级上去,然后再跃迁到亚稳态或长寿命态上,从而实现亚稳态或长寿命态对某一低能级间的粒子数反转。

二、抽 运 方 式

一般有下述 缘种,其中电抽运和光抽运最为常见。①电抽运(电泵、电激励):常见于气体激光器,它又分为直流放电、高频和脉冲放电等多种方式;②光抽运(光泵、光激励):几乎所有的固体和液体激光器都用光抽运,光抽运又分成普通光和激光光泵两种;③化学抽运(化学泵、化学激励):多见于军用激光器;④核抽运(核泵、核激励):如美国《星球大战》计划中企图用核能激励激光器,建立美国的战略防护系统;⑤热抽运(热泵、热激励):它是用一种高温非平衡态的转换促使粒子数反转。如通过燃烧、爆炸、压缩或弧光放电等方式加热,再以高速气动喷管进行绝热膨胀来实现粒子数反转(如气动 悄酌[圆]激光器);有的则将热能转换成其他形式的能量以实现粒子数反转。需要指出的是,给工作物质加热,使之从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的方法,是不可能实现粒子数反转的,因为只要物质系统处于热平衡态,其低能级就一定多于高能级粒子数。温度的高低只改变这个差额的多寡。另外还有微波激励和质子束激励等。

三、三(四)能级工作物质

如图 圆原(葬 所示。粒子在强大的外能激励下,从基态 耘[员]大量地抽运到高能级 耘[猿]上,耘[猿]一般不是单能级,而是由密集的能级组成的能带,粒子处于 耘[猿]寿命一般为 员园[-8]~员园[-7]泽它将通过相互碰撞很快以无辐射跃迁的方式转移到亚稳态 耘[圆](寿命为 员园[-3]~员泽上,由于 耘[圆]态的寿命是 耘[猿]态的 员园[猿]倍以上,其上就累积了大量粒子,即 耘[圆]上的粒子数 晕[圆]不断增加,而 耘[员]上的粒子数 晕[员]因被大量抽运而减小,致使 晕[圆]跃晕[员],于是就实现了上能级亚稳态 耘[圆]与下能级基态 耘[员]间的粒子数反转。

四能级系统如图 圆原(遭 所示。它与三能级系统不同的是在上能级 耘[圆](亚稳态或长寿命态)与下能级基态 耘[员]间还有一个能级 耘[员]',它通常是空能级,因此 耘[圆]与 耘[员]'之间更容易实现粒子数反转,而且其效率也高于三能级系统。与[illegible]激光器的工作物质是 晕[illegible]其上能级不是亚稳态,但其寿命为 员园[-3]泽比下能级的寿命 员园[-8]泽长 员园[5]倍。

以上的三能级或四能级图,并不是工作物质的实际能级图,它们只是对造成粒子数反转的整个物理过程的抽象概括。实际能级图要复杂些,而且一种工作物质内部,可能同时存在几对特定能级间的反转分布,相应地发射几种波长的激光,如 与[illegible]激光器可以发射 还[illegible]

需要全本请访问 www.ertongbook.com