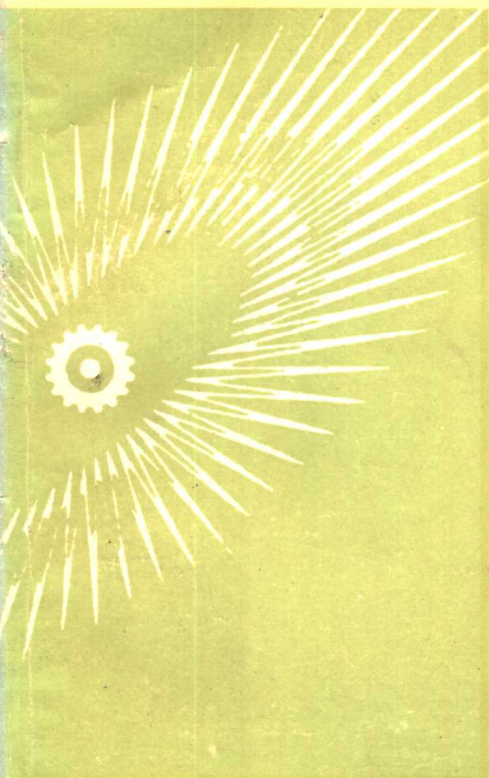


JIGUANGSHENJINGWAIXUE

# 激光神经外科学

朱树干 主编  
济南出版社



R651  
ZSG

120203

# 激光神经外科学

主 编：朱树干

副主编：姜汝明 孙 炜

编 者：朱树干 姜汝明

孙 炜 刘玉光

顾跃捷 孙春兰

主 审：张 成 吴思恩

济 南 出 版 社

1991·济南

**激光神经外科学**

**朱树干 主编**

责任编辑:戴永夏 特约编辑:赵 虹  
济南出版社出版  
(济南市经二路182号)

封面设计:李兆虬  
济南书刊印刷厂印刷  
山东省新华书店发行

开本:850×1168 毫米 1/32  
印张:5  
字数:100 千字

1991年5月第1版  
1991年5月第1次印刷  
印数1—3700册

ISBN 7-80572-470-9/R·21

定价:3.00 元

## 内 容 简 介

本书简要介绍了激光的基础知识、神经外科常用激光器的种类及与激光有关的神经外科知识，重点讨论了激光对中枢神经系统组织的生物效应，激光切除和汽化中枢神经系统肿瘤以及光动力学疗法治疗脑恶性肿瘤的原理及临床应用，概述了激光在神经外科其他方面的应用及激光的安全与防护，适用于神经外科医师及医用激光工作者参考。

## 序

自六十年代第一台红宝石激光问世以来，激光技术有了飞速发展，在工农业生产、国防及医学等各个领域得到了越来越广泛的应用。临床医学的各科室均有激光的足迹，在疾病的诊断与治疗中发挥着它特有的作用。但激光在神经外科的应用尚未得到普及，目前仍仅限于少数医院。

由于激光手术操作精细、准确，对周围结构损伤轻微，在切除和汽化肿瘤的同时又能止血，因而使中枢神经系统肿瘤，特别是用常规手术方法难以切除的肿瘤手术全切率明显提高，而致残率和死亡率明显降低。不仅如此，由于中枢神经系统恶性肿瘤可以选择性吸收光敏剂，因而可以在手术切除后行光动力学疗法，以杀灭浸润至周围组织的肿瘤细胞，延缓术后复发，提高治疗效果。另外，激光在吻合血管、治疗恶性疼痛等方面也有广阔的应用前景。

目前国内外尚无有关激光在神经外科应用的专业著作。作者在动物实验及临床应用激光切除和汽化中枢神经系统肿瘤、光动力学疗法治疗脑恶性肿瘤的基础上，结合国内外的成功经验，编写了这本《激光神经外科学》，内容系统全面，反映了目前国内外激光神经外科的发展水平。本书的问世，对激光在神经外科应用的推广与普及，必将起到极大的推动作用。

张 成

# 目 录

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| 序 .....                           | 张成   |
| <b>第一章 激光的基础知识</b> .....          | (1)  |
| 第一节 激光的基本原理 .....                 | (1)  |
| 第二节 激光的特性 .....                   | (18) |
| <b>第二章 神经外科常用激光器的种类</b> .....     | (19) |
| 第一节 二氧化碳激光器 .....                 | (19) |
| 第二节 氩离子激光器 .....                  | (26) |
| 第三节 氦氖激光器 .....                   | (29) |
| 第四节 铜蒸气和金蒸气激光器 .....              | (38) |
| 第五节 掺钕钇铝石榴石激光器 .....              | (40) |
| 第六节 染料激光器 .....                   | (42) |
| <b>第三章 与激光有关的神经外科知识</b> .....     | (45) |
| 第一节 脑屏障 .....                     | (45) |
| 第二节 中枢神经系统肿瘤的生物学特性 .....          | (49) |
| <b>第四章 激光对中枢神经系统生物组织的效应</b> ..... | (62) |
| 第一节 基本原理 .....                    | (62) |
| 第二节 激光细胞效应 .....                  | (75) |
| 第三节 激光对中枢神经系统组织的作用 .....          | (86) |
| <b>第五章 激光切除和汽化中枢神经系统肿瘤</b> .....  | (90) |

|     |                                      |       |
|-----|--------------------------------------|-------|
| 第一节 | 激光切除和汽化中枢神经系统肿瘤<br>的作用原理及适应症 .....   | (90)  |
| 第二节 | 激光切除和汽化中枢神经系统肿瘤的方法 ...               | (91)  |
| 第三节 | 激光切除和汽化中枢神经系统肿瘤的<br>功率及激光的选择 .....   | (93)  |
| 第四节 | 激光切除和汽化中枢神经系统肿瘤的<br>优缺点及术中注意事项 ..... | (94)  |
| 第五节 | 激光立体定向技术 .....                       | (97)  |
| 第六节 | 激光显微神经外科 .....                       | (97)  |
| 第七节 | 激光汽化胶质瘤对机体免疫功能的影响 .....              | (99)  |
| 第八节 | 影响激光效应的因素 .....                      | (99)  |
| 第九节 | 激光手术的辅助设备 .....                      | (100) |
| 第六章 | 光动力学疗法治疗脑恶性肿瘤 .....                  | (102) |
| 第一节 | 光动力学疗法的作用机理 .....                    | (102) |
| 第二节 | 光动力学疗法诊治脑恶性肿瘤<br>的实验研究 .....         | (104) |
| 第三节 | 光动力学疗法诊断脑恶性肿瘤的<br>机理和方法 .....        | (106) |
| 第四节 | 光动力学疗法治疗脑恶性肿瘤的<br>适应症和禁忌症 .....      | (107) |
| 第五节 | 光动力学疗法治疗脑恶性肿瘤常<br>用光敏剂及激光器 .....     | (108) |
| 第六节 | 光动力学疗法治疗脑恶性肿瘤的方法 .....               | (112) |
| 第七节 | 光动力学疗法治疗脑恶性肿瘤的效果 .....               | (113) |
| 第八节 | 光动力学疗法治疗脑恶性肿瘤术<br>后并发症的防治 .....      | (115) |
| 第九节 | 光动力学疗法治疗脑恶性肿瘤的评价 .....               | (116) |

|             |                             |       |
|-------------|-----------------------------|-------|
| <b>第七章</b>  | <b>激光在神经外科其他方面的应用</b> ..... | (117) |
| 第一节         | 氩氦激光器的特性.....               | (117) |
| 第二节         | 氩氦激光对神经系统的作用.....           | (118) |
| 第三节         | 激光针灸治疗原理.....               | (120) |
| 第四节         | 激光治疗三叉神经痛和顽固性疼痛.....        | (121) |
| 第五节         | 氩氦激光治疗颈椎病及脑外伤后综合症.....      | (121) |
| 第六节         | 激光吻合血管.....                 | (122) |
| <b>第八章</b>  | <b>激光的安全与防护</b> .....       | (126) |
| 第一节         | 激光辐照极限.....                 | (126) |
| 第二节         | 激光防护标准——最大容许照射量.....        | (136) |
| 第三节         | 激光器的危害评价及分类.....            | (137) |
| 第四节         | 激光防护措施.....                 | (139) |
| <b>参考文献</b> | .....                       | (145) |



# 第一章 激光的基础知识

激光(Light amplification by stimulated emission of radiation, 简写 Laser)一词在某种意义上,表示产生激光的基本过程,简单概括了激光产生的基本原理。激光是 1960 年 7 月 7 日 Maiman 首先发现的,从此开创了一项新的技术领域。它在工业、农业、国防、科学技术和医学方面,正获得日益广泛的应用。为了比较清楚地了解激光发生的基本原理及其独特的性能,现简要介绍如下。

## 第一节 激光的基本原理

一 光的基本知识 光的一个基本性质就是具有波粒二相性。也就是说光一方面是电磁波,具有波的性质,有一定的波长和频率;另一方面光又是光子流,而光子又是具有一定能量的粒子。所以波动性和粒子性就是光的客观属性,而且二者总是同时存在。但在不同条件下,二者表现的明显性却有差异。例如光在传播中的干涉、衍射等现象,波动性较为明显,这时我们往往把光看作是由一系列的光波组成。当光和实物相互作用时(如光的吸收,光的发射,光电效应等),光的粒子性较为明显,这时我们往往把光看作是由一个一个的光子组成。

(一)光波 光波就是电场和磁场的振动在空间的传播。由于光波是电磁的振动,所以我们把光波也叫做电磁波。也就是说,光波既是电场振动的传播,同时也是磁场振动的传播。电场振动的方向与磁场振动的方向相互垂直,而且电场和磁场振动的方向又同时垂直于光的传播方向。它们三者方向上的关系如图 1-1-1 所示。

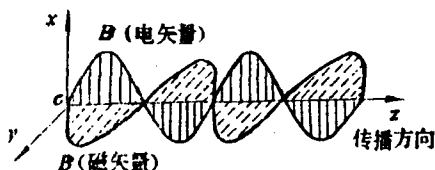


图 1-1-1 电磁波示意图

实验证明,电磁波中起主要作用的是电场,所以在讨论光波时我们只着重考虑电场的振动。习惯上常把表示电振动的电场矢量叫作光矢量。

(二)光速、频率和波长 光速就是光在介质中的传播速度。实验测得,光在真空中的传播速度为每秒 30 万公里,即  $3 \times 10^{10}$  厘米/秒。通常用  $C$  表示,这是一个重要物理量。

光的频率就是光波的电场每秒钟振动的次数,以字母  $\nu$  表示,单位是赫(或周)。完成一次振动所需要的时间叫作周期,以字母  $T$  表示,单位是秒。频率  $\nu$  和周期  $T$  的关系互为倒数,即

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (1.1.1)$$

振动在一个周期时间内传播的距离称为波长,以  $\lambda$  表示。光

速、频率和波长有如下关系：

$$c = \lambda \nu \quad (1 \cdot 1 \cdot 2)$$

公式所示，即光在真空中传播时，其波长  $\lambda$  与频率  $\nu$  的乘积等于光的速度  $c$ 。

表示光波的方法常用正弦曲线来表示，如图 1-1-2。

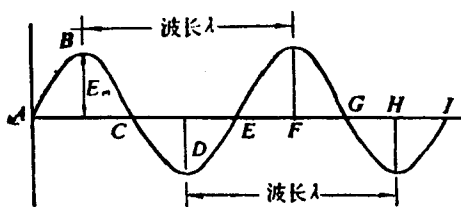


图 1-1-2 光波振动示意图

图中曲线的最高点称为波峰，最低点称为波谷，两个相邻波峰或波谷之间的距离就是一个波长。因此频率也可定义为在单位时间内通过一定点的波长的数目。

波长一般用微米( $\mu\text{m}$ )表示，一微米等于千分之一毫米。波长也常用埃表示，1 埃等于一千万分之一毫米。

我们知道，不仅光波是电磁波，就是比光波更长的无线电波和比光波更短的伦琴射线等都是电磁波，而且在空间传播的速度都是一样的，所以波长越长频率就越低，波长越短频率越高。电磁波按其波长从长到短排列，大体可分为无线电波、微波、红外辐射、可见光、紫外辐射、伦琴射线、 $\gamma$ 射线等。其中红外辐射、可见光和紫外辐射通常称为光，其波长范围见下表：

| 光谱区  |   | 波长 $\lambda$ 的大致范围(微米) |
|------|---|------------------------|
| 红外辐射 |   | 1000~0.76              |
| 可见光  | 红 | 0.76~0.63              |
|      | 橙 | 0.63~0.60              |
|      | 黄 | 0.60~0.57              |
|      | 绿 | 0.57~0.50              |
|      | 青 | 0.50~0.45              |
|      | 蓝 | 0.45~0.43              |
|      | 紫 | 0.43~0.40              |
| 紫外辐射 |   | 0.40~0.05              |

(三)光波的振动和位相 为了完善地描述光波,除了用波长、频率、光速等物理量以外,还需引入振幅和位相的概念。

1. 振幅 光波中振动着的电场的最大值称为光波的振幅,如图 1-1-2 中的 B 点,其值以  $E_m$  表示。振幅的大小决定了光的强弱,也就是决定了光波能量的大小。

2. 位相 光波的位相是在一个波长范围内决定各点电场大小的物理量。为了计算方便,位相以角度表示。如图 1-1-2 中 A 点的位相角为零度, B 点的位相角为  $90^\circ$ , C 点为  $180^\circ$ , D 点为  $270^\circ$ (或  $-90^\circ$ ), E 点为  $360^\circ$ 。光波传播随位相角按余弦规律振动,在一个波长范围内其各点的瞬时值为

$$E = E_m \cos \theta \quad (1.1.3)$$

式中,  $E_m$  为振幅,  $\theta$  为位相角,则当位相角  $\theta$  已知后,各点电场振动值的大小就可计算出来。当然,实际应用中  $\theta$  角要通过其他参量计算,这里不再详述。

(四)光的干涉现象 如果有两束光,其频率相同,振动方向相同,振幅也相同,并为了简化讨论,假设其位相或者相同,或者相差  $180^\circ$ ,在这两种特殊情况下分别将两束光进行叠加,可以发现,当两束光波同位相时,则叠加后一束光的波峰和波谷与另

一束光的波峰和波谷一一对应,光的合成波的振幅为原来波振幅的两倍。如果两束光波位相相差  $180^\circ$ ,则两束光叠加后,一个波的波峰与另一个波的波谷相对应,两个波的振动相互抵消,它们的合成波消失了。因此根据两个光波的位相差来确定合成光波,或者是被加强,或者是被抵消,我们把这种现象叫作光的干涉现象。

在一般情况下,两束光波频率相同,振动方向相同,而且位相保持恒定,就可以产生干涉,我们把这种光叫做相干光。

光的干涉现象是光的波动理论的重要基础之一。

(五)光的偏振 前已提到,光是电磁波,电场的振动方向垂直于光的传播方向,也就是说电振动方向可在垂直于光传播方向的平面内任意取向,而且哪个方向也不占优势,具有这种特点的光叫自然光,如图 1-1-3(a)所示。如果光波的电场只沿单一的固定方向振动,则这种光叫线偏振光,如图 1-1-3(b)所示。如果光波电场的振动在垂直于传播方向平面内的各个方向都有,但不同方向的振幅大小不同,则这种光叫部分偏振光,如图 1-1-3(c)所示。

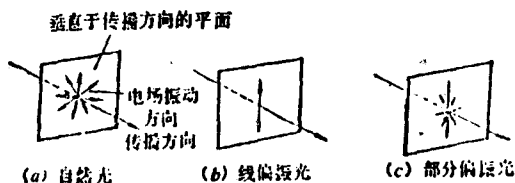


图 1-1-3 光的偏振示意图

(六)光的微粒性 当光和物质作用时,如果产生光的发射和吸收,则光的粒子性表现得比较明显,这时我们往往把光看成是由一粒一粒运动着的粒子流组成。这种粒子就称为光子。实际上光是由大量光子组成的光子流。

光子具有一定的质量、能量和动量,并有与之对应的频率和波长,它总是以光速不停地运动而存在,在真空中一个光子的能量为  $\epsilon$ , 动量为  $p$ , 则它们与光波频率  $\nu$  和波长  $\lambda$  有以下数值上的关系

$$\epsilon = h\nu \quad (1.1.4)$$

$$p = \frac{h\nu}{c} = h/\lambda \quad (1.1.5)$$

式中,  $h = 6.63 \times 10^{-34}$  焦耳·秒, 叫普朗克常数。

公式(1.1.4)、(1.1.5)把微粒性的能量  $\epsilon$  和动量  $p$  的物理量与表示波动性的频率  $\nu$  和波长  $\lambda$  联系起来,体现了光的波粒二相性的内在联系。光的频率越高,光子的能量就越大。红外光与可见光相比其频率较低,故它的光子的能量就较小。可见光、紫外光、X射线、 $\gamma$ 射线的频率依次增高,相应的光子能量也逐渐增大。实际上光的能量就是光子能量的总和。

## 二 激光幅射基础

(一)原子结构 物质是由分子、原子等微观粒子组成的。根据原子结构的经典模型,原子又是由两种不同的带电粒子所组成,它们是电子和原子核。原子核带有正电,电子带有负电,电子围绕原子核永不停止地转动,同时自身又作自旋运动,就象地球围绕太阳公转同时又进行自转一样。

在不同元素的原子中,它们的电子数目是不同的。在最简单的氢原子中只有一个电子,氦原子有两个电子,而氖原子有10个电子,氩原子有18个电子等等。不论哪一种原子,电子所带的

负电荷与原子核所带的正电荷在数值上是相等的。因此作为整体的原子是呈中性的。但是如果由于某种原因原子丢失了一个或几个电子,则变成正离子,例如氩原子少了一个电子,就变成氩离子( $\text{Ar}^+$ );反之,当原子从外界俘获到电子时,则变成负离子。

电子在原子中的分布可以分为若干层,最靠近原子核的电子与原子核之间的结合力最强。越靠外层,电子与原子核之间的结合力就越小。最外层的电子与原子核之间的结合是很松散的。因此,用较小的能量就可使它们逸出原子的范围以外,从而使原子变为离子。这些最外层的电子在化学反应中就参与反应,化学中把这些最外层的电子叫价电子。光学中最外层电子参与光学过程,例如光的吸收、光的发射等,所以在光学中,最外层的电子又叫做光学电子。(光学电子与价电子实际上指的是同一个电子)。

前已谈到,电子并不是静止不动的,而是永远不停地一面围绕原子核运动,一面自转。但是电子绕核运动与我们日常生活中所见到的宏观运动规律是不同的。电子只能在一系列特定的而且有一定大小、形状和方向的轨道上运动,除了这一系列特定的轨道外不存在其他的轨道。由于每一个运动轨道都相应于一定的电子能量,因此电子的运动能量同样不是任意值,只能是某些允许的特定值,这些所允许的特定值因轨道不同而是一个一个地分离开来的,并不是连续的,这一运动的特点是微观世界中所特有的。打个比喻,就象人上楼梯,人所具有的能量只允许他处于楼梯上一个台阶一个台阶的能量,人不能占据任意两个台阶之间的任意能量值。

电子在原子中的运动从一个所允许的轨道变到另一个所允许的轨道时,电子的能量就发生变化,这个能量的变化就反映为

整个原子的能量变化。所以在讨论电子在原子中的运动时,通常都不说电子的能量,而只说原子的能量。

## (二)原子能级与辐射跃迁

1. 原子能级 表示原子能量的方法一般都是按照能量的大小有比例地画出一些横线来,如图 1-1-4 所示。在该图中,每一横线的位置就代表一个能量。原子能量的不连续性就在于只有这些横线位置所代表的能量才是原子可能有的能量,在横线之间的各种能量值原子是不会有。

每一条横线叫做原子的一个能级,这个图叫做原子能级图。当然,实际的原子能级图要复杂得多,这里只是表明其概念而已。

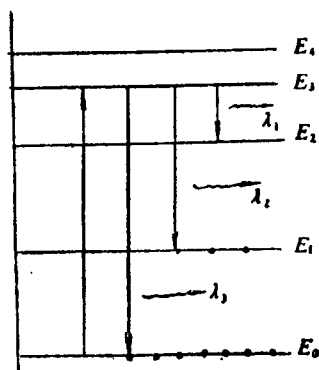


图 1-1-4 原子能级示意图

在正常条件下,绝大多数原子所具有的能量都处于可允许能量中的最小值,也就是说它们处于图 1-1-4 中的  $E_0$  能级。这个最低能级叫做基能级。处于这个能级的原子能量状态叫做原子的基态。这种状态相应于外层电子在最小的轨道上运动。基能级以上的各个高能级,如  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$  等都叫激发态,这相应于



电子在各个较大的轨道上运动。

2. 辐射跃迁 基态的原子由于受到外界的影响(如受到其他的原子或电子的撞击,或者吸收了光子等),而获得足够的能量时,原子就可以从基态变为激发态。这种过程称为激发。处于激发态的原子是不稳定的。有的原子返回到较低能级或是返回到基态,并以发射出光子的形式释放出一部分能量。原子由于发射或吸收光子,而从一个能级跃迁到另一个能级的现象称为辐射跃迁。

当然,不论原子从基态跃迁到激发态,还是从激发态返回到基态(或其他较低能级的激发态),原子所得到的能量或所失掉的能量都必须等于有关两个能级之间的能量差,而不能是别的什么值。

当原子从高能级跃迁到低能级上时,便以辐射光波的形式释放出能量,形成了发光现象,这正是原子光谱产生的原因(见图 1-1-4)。由基态被激发到激发态  $E_3$  上的原子可分别跃迁到  $E_2$ 、 $E_1$ 、 $E_0$ ,并分别辐射出波长为  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  的光波来。

发射光波的频率由下式决定:

$$\nu = \frac{E_m - E_n}{h} \quad (1.1.6)$$

式中, $\nu$  为发射的光波频率, $h$  为普朗克常数, $E_m$  是原子在高能级的能量, $E_n$  是原子跃迁到低能级的能量。

由式(1.1.6)可知,原子跃迁的能级差别越大,发射出光波的频率就越高;能级的差别越小,频率就越低。

3. 激发态的平均寿命和亚稳态 处于激发态的原子是不稳定的,总是要通过各种辐射跃迁到比它低的能级上去。所以,原子在激发态只能停留有限的时间。原子在激发态停留时间的平均值称为激发态的平均寿命。原子激发态的平均寿命一般为