

内 容 简 介

本书根据一些国外资料编译而成。对各种激光器作了较全面、较深入的介绍。全书包括：激光的基本概念，激光振荡器放大器基本原理和理论，固体、气体激光器结构设计，制造装调工艺，光学谐振腔理论和模选择，激光应用的某些基本知识，以及激光应用等。本书可供从事这方面的工人、科技人员以及有关专业师生参考。

激 光 技 术

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1972 年 11 月第一版 1972 年 11 月第一次印刷

定价：2.00 元

前 言

从 1960 年第一次在实验室观察到激光以来,它现已发展成为一门新的学科和新的技术领域了。激光与各种学科、工业和国防技术的应用,发生着日益密切的关系。遵照毛主席“洋为中用”的教导,为适应我国激光技术飞跃发展的需要,我们编译了《激光技术》这本书。

本书兼顾了基本理论和工程技术应用。理论解析部分未采用量子力学的数学方法。事实上,较为简单和熟习的经典理论对我们已完全够用。激光应用部分,也着重介绍了基本原理和综合性评述。因其应用十分广泛,一般,十分具体的应用介绍,势必涉及到相应领域的许多专门知识,这不是本书的重点。

全书共分为五部分。第一部分是全书的概要。通过这一部分,在基本原理和实际方面可以对激光、激光振荡器和放大器大体上有个基本正确的概念,并能从中了解到某些具体的设计、制造以及工艺知识。第二、三两部分主要介绍:辐射与物质的互作用,激光振荡器的频率特性,光学谐振腔的模理论和模选择,激光放大器和 Q 开关理论分析等。这两部分也是对第一部分的重点补充或深入发挥。第四部分,介绍了一些激光应用方面的基本知识。如光调制,光接收,光倍频,光混频,与激光有关的一些主要光学器械以及输出测量等。这在激光应用中或激光器本身,是常遇到的一些问题。第五部分是激光应用。

编译时,原文资料中明显的谬误,已作了删节和改正。负责本书编译工作的除天津大学精仪系外,还有辽宁大学物理系等单位。由于我们水平所限,定会存在不少缺点和错误,切望批评指正。

目 录

第 一 部 分 激光、激光器及其器械

第一章	激光概述	2
1-1	激光束的特征	2
1-2	光的发射、吸收和频谱	6
1-3	激光振荡器	11
1-4	激光振荡的波长, 激光器的种类	14
1-5	激光器的泵浦, 输出功率和光束特性	16
第二章	激光器原理	18
2-1	反转分布, 负温度	18
2-2	吸收系数和增益系数	19
2-3	光谐振器	24
2-4	激光器振荡条件	27
2-5	光谐振器的特性	28
2-6	振荡光束的频率特性	36
第三章	固体激光器 液体激光器	40
3-1	晶体激光器	40
3-2	玻璃激光器	46
3-3	Q 开关法	48
3-4	激光束的放大	51
3-5	液体激光器	53
第四章	气体激光器	57
4-1	气体激光器的分类和振荡条件	58
4-2	气体激光器装置	60
4-3	各种气体激光器	62
4-4	气体激光器的稳定化	85

第五章	半导体结型二极管注入式激光器	92
5-1	激光二极管物理学	95
5-2	激光阈值条件	102
5-3	激光物质和输出光谱	106
5-4	磁场对激光输出的影响	108
5-5	温度和压力对激光发射的影响	111
5-6	半导体激光器的其它泵浦方法	115
第六章	固体激光器器械	118
6-1	光泵系统的一般规则	118
6-2	光源	121
6-3	激光材料中泵浦光的分布	138
6-4	光泵系统的构形	145
6-5	激光放大器构形	156
6-6	脉冲固体激光器电源	160
第七章	气体激光器的构造	180
7-1	气体激光等离子管	180
7-2	等离子管的阴极	188
7-3	等离子管的真空处理	190
7-4	气体激光器的电源	197
7-5	气体激光器的反射镜和窗	202
7-6	气体激光器的机械结构	204

第 二 部 分

激 光 振 荡 器 理 论

第八章	光的性质,光和物质的相互作用	206
8-1	黑体辐射的模	206
8-2	反射体积中的模	209
8-3	相干性和噪声	211
8-4	辐射的能量交换	214
8-5	通过受激跃迁的吸收和放大	218
8-6	作为噪声来源的自发发射	223
第九章	激光振荡器	227

9-1 再生式谐振放大器.....	227
9-2 振荡器的阈值.....	235
9-3 作为饱和再生噪声放大器的激光振荡器.....	241
第 十 章 激光振荡器的频率特性 光学谐振腔的一次模	
选效应.....	254
10-1 激光振荡器的频率特性	254
10-2 光学谐振腔的一次模选效应	260
第十一章 开放式光学谐振腔的特征模.....	
11-1 开式谐振腔的衍射损耗	271
11-2 作为特征值问题的数学方法	274
11-3 平面法布里-珀罗谐振腔的横向模.....	277
11-4 不同模的衍射损耗和谐振频率,模选择.....	279
11-5 一个平面谐振腔横向模的模型和近似计算	283
11-6 简并模——平面谐振腔的模图	295
11-7 用小的线宽度选择模,反射镜缺陷的影响.....	297
11-8 同心和半同心谐振腔	300
11-9 泛共焦谐振腔	302
11-10 泛共焦谐振腔的有限模截面.....	305
11-11 共焦谐振腔的焦散曲线.....	308
11-12 共焦谐振腔($r = l$)的特征函数.....	311
11-13 泛共焦谐振腔($r \approx l$)的谐振条件和损耗的考虑	318
11-14 不同谐振腔的光点尺寸,模体积和模选择	320
11-15 实际的谐振腔设计和装调中的一些问题.....	323
11-16 其它谐振腔.....	331
11-17 光学谐振腔的辐射和各种谐振腔的调准.....	331
第十二章 光学谐振腔中的模选择.....	
12-1 模选择的必要	334
12-2 个别线的加强	335
12-3 横模选择	337
12-4 轴(纵)模选择	345
12-5 耦合的轴向与横向模选择	353
12-6 多模原因的消除	355

• ▼ •

12-7	振荡器放大器	359
12-8	激光器的频率稳定	360
第十三章 振荡器输出功率和最佳耦合		364
13-1	考虑了损耗的输出功率	364
13-2	最佳耦合输出	368
13-3	高功率固体激光器的耦合输出	374
13-4	附加效应,去耦方法	376
[附] I	菲涅耳数	381
[附] II	氮氛激光器的设计	385

第 三 部 分

激光放大器和 Q 开关

第十四章 激光放大器		400
14-1	反射放大器的一般讨论	400
14-2	简化的解析用模型	404
14-3	方程式的解	408
14-4	对矩形脉冲输入脉冲放大器的解	412
14-5	对脉冲-函数输入脉冲放大器的解	423
14-6	对洛伦兹形脉冲输入脉冲放大器的解	424
14-7	激光放大器的带宽度	428
14-8	激光放大器的噪声指数	430
14-9	一个典型激光放大器的实验操作	436
附录		440
第十五章 激光器 Q 开关		443
15-1	Q 开关的各种方法	444
15-2	数学方程	450
15-3	参量的估计	455
15-4	阶跃函数 Q 开关的解	459
15-5	线性时间变化 Q 开关的解	472
15-6	按余弦时间函数变化的 Q 开关的解	476
15-7	脉冲成形的考虑	479

第四部分

激光应用中的某些基本知识和器械

第十六章 调制与解调	484
16-1 调制方法	484
16-2 调制频谱	487
16-3 解调方法	500
第十七章 光学调制器	508
17-1 电光效应及其调制应用	509
17-2 吸收调制器	527
17-3 声-光调制器	529
17-4 干涉仪调制器	532
17-5 用破坏全内反射的元件	533
第十八章 激光探测装置	539
18-1 光电倍增型探测器	539
18-2 光电导探测器简述	550
18-3 光电压探测器	550
18-4 光电混频探测器	554
18-5 行波光电网	555
18-6 光学天线	557
第十九章 光偏转方法及其它光学部件	561
19-1 光线偏转方法	561
19-2 光学隔离器	564
19-3 光学流通器	566
19-4 其它光学部件	570
第二十章 非线性光学现象与激光	577
20-1 光高次谐波的产生	579
20-2 光混频, 光参量效应	586
第二十一章 激光输出的测量	589
21-1 激光输出测量概述	589
21-2 激光微卡计	595
21-3 金属线型卡计和锥型卡计	598

21-4 最近的测量方法	600
--------------------	-----

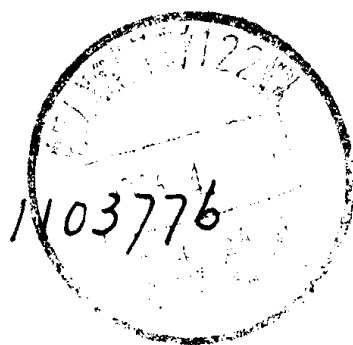
第五部分

激 光 应 用

第二十二章 计量方面的应用	604
22-1 长度、速度、角度、角速度的精密测量	604
22-2 物体探测装置	622
22-3 仿形计量用传感器	636
第二十三章 激光在加工和光谱分析上的应用	649
23-1 激光加工	649
23-2 激光在光谱分析上的应用	657
第二十四章 激光在等离子研究上的应用	666
24-1 利用激光进行等离子体的研究	666
24-2 大功率玻璃激光器	673
第二十五章 激光在通讯中的应用	679
25-1 传输线路	680
25-2 激光器	683
25-3 调制	684
25-4 解调	687
25-5 装置	690
第二十六章 激光在信息处理、计算机方面的应用	693
26-1 模拟光运算	693
26-2 图形辨认	702
26-3 数字光运算	706
26-4 光存贮器	708
26-5 全息照相	708
第二十七章 激光在医学上的应用	715
27-1 激光对有机物的影响	715
27-2 应用举例	716

第 一 部 分

激光、激光器及其器械



第一章 激光概述

为使读者对激光及其应用有一正确概念，首先概括地介绍一些有关的基本事项。

1-1 激光束的特征

一、普通光源的光

来自某光源的光是从构成该光源的为数极多的原子或分子发射的光波合成的。各个原子从能量较高状态即激发态跃迁到能量较低的状态时，将能量差以光的形式放出来(图 1.1)。

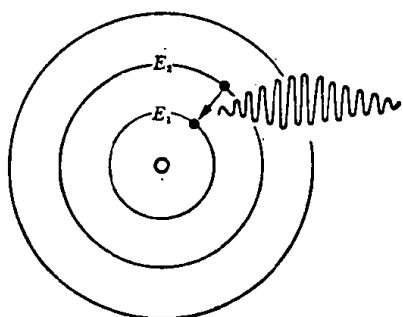


图 1.1 电子从能量 E_2 跃迁至 E_1 态时，发射频率 $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ 的光子。 h 是普朗克常数， $h = 6.6256 \times 10^{-27}$ 尔格·秒

粗略地看，可以把光波当作是正弦波，实际上它不是无限连续，而是只持续极短时间(即原子的激发态的寿命， 10^{-8} 秒)的波。构成光源的各原子在相互独立的任意时刻发射这样一段一段的光波，所以即使它们的频率都相同，彼此的相位也完全无关(图 1.2)。

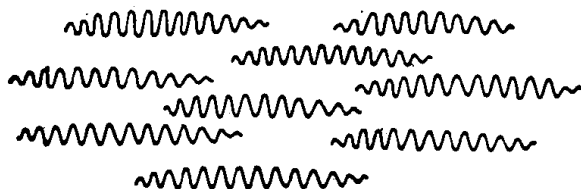


图 1.2 光源的各原子所发射的光波是持续时间大约为 10^{-8} 秒的近似正弦波，彼此间的相位完全无关

谱线宽度与原子发射的光的持续时间有关，持续时间越长，谱

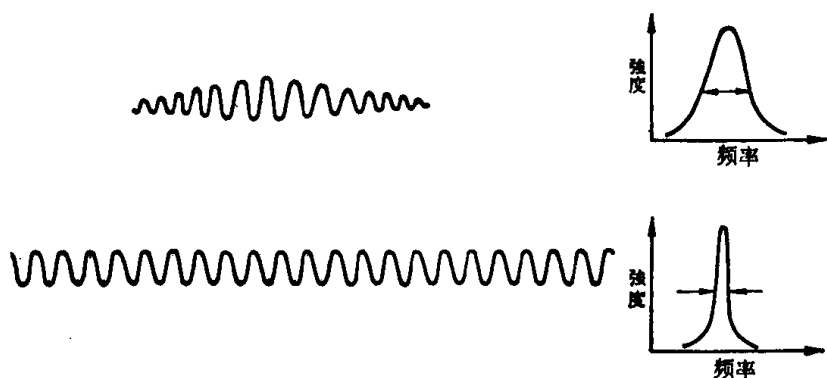


图 1.3 持续时间越长,谱线宽度就越窄

线宽度越窄,反之亦然(见255页编译者注)。

利用普通光源做光的干涉实验,为在一定程度上保持相位关系,如图 1.4 所示,首先从光源发出的光穿过缝隙 A ,然后再穿过离 A 等距离处的两个缝隙 B, C 。这样就可屏 S 上面产生与缝隙平行的直线状干涉条纹。其强度分布如图所示,这就是物理学上著名的杨氏实验。

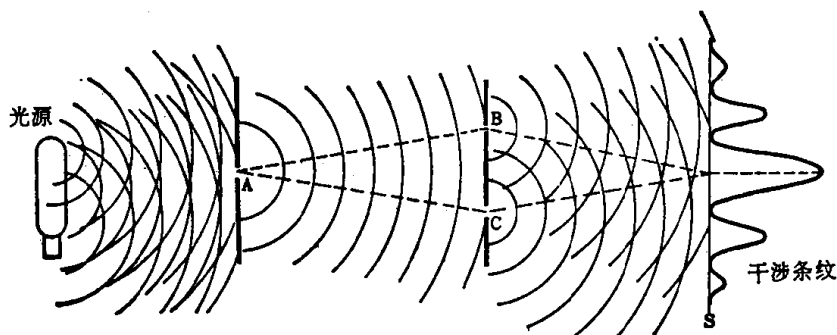


图 1.4 杨氏实验(光源的光穿过一缝隙后,再穿过两个缝隙)

但如果让来自光源的光直接穿过 B, C , 则由于相位关系完全没有规则性,在屏上由无数光波引起的明暗图样急剧地变化,而不能得到干涉条纹(图 1.5)。

如果有这样的光源,从它的空间上不同的两点发出的光波的相位是一致的,那么,从缝隙 B, C 出来的光将在屏 S 上形成如同

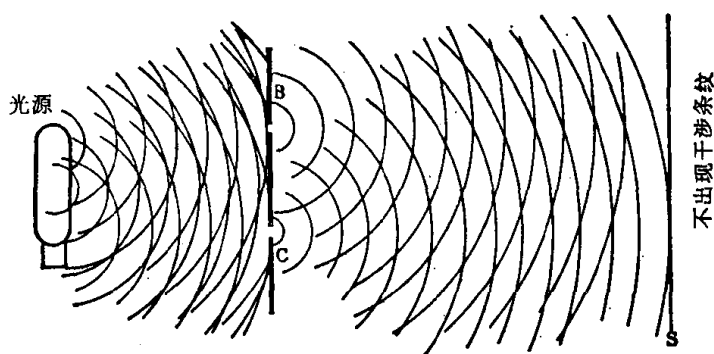


图 1.5 普通光源的光直接穿过两个缝隙 B, C 时的情况

杨氏实验的干涉条纹 (图 1.6)。这样的光叫做空间相干光。与此相对, 如果在空间上某点, 在不同的瞬间的光的相位有相关关系时, 这种光叫做时间相干光。

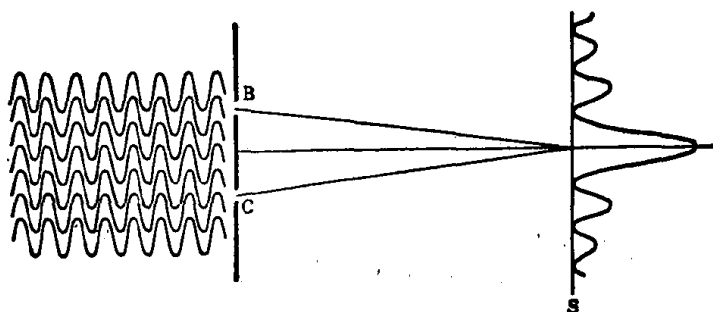


图 1.6 从光源的空间上不同的两点发出相位一致的光, 则穿过两个缝隙后将在屏 S 上产生干涉条纹

普通的光源都是向所有的方向发射光, 虽然光强可能会随方向而变化, 但除非采取特别的办法, 一般是不能得到在某一方向指向性优越的光。

图 1.7 示出产生平行光线的两种方法。利用这样的方法, 可以得到指向性相当好的平行光线, 然而, 由于实际光源的大小都是有限的, 光的方向不可避免地有一定的发散, 因而偏离平行光线。而且, 光源的光中, 总有一部分不能被聚敛在透镜或凹面反射镜而变成损耗。尽管采取了一些措施改进聚敛, 但实际上, 仍有相当部分的损耗。

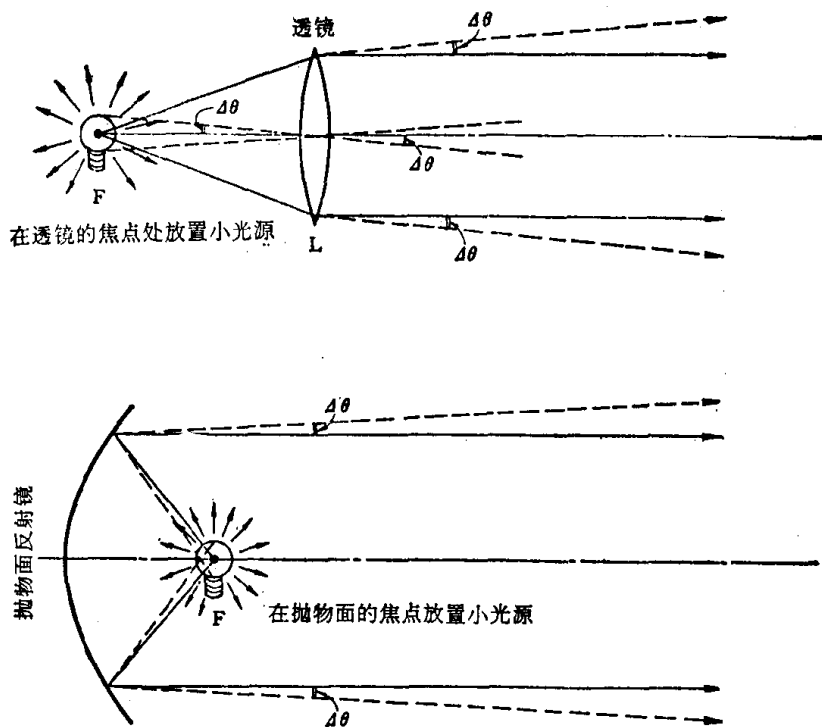


图 1.7 实际光源毕竟大小有限,由于透镜或反射镜的性质,产生从平行方向的偏差 $\Delta\theta$

二、激光束

激光器的详细情形,待后叙述。这里仅说明激光束和普通光源的光的差异。激光束就是具有空间和时间相干性的光,即如图 1.8 所示,在激光器出口的不同两点有两个缝隙 B, C 时,在远处的屏 S 上,将产生干涉条纹。

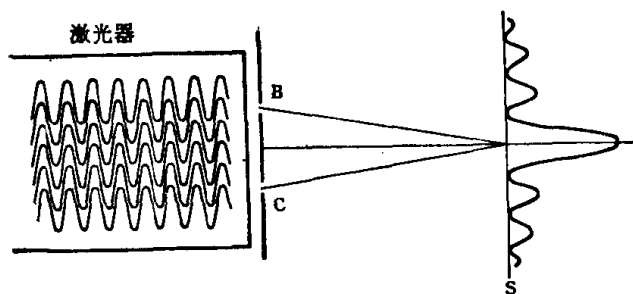


图 1.8 激光束的干涉实验

在激光谐振器内部,光的相位是完全一致的(图 1.9)。时间相干性好,意味着光是持续时间很长的正弦波,所以频谱宽度极窄,这也是激光束的特点。这样的光在光学上称为单色性好。

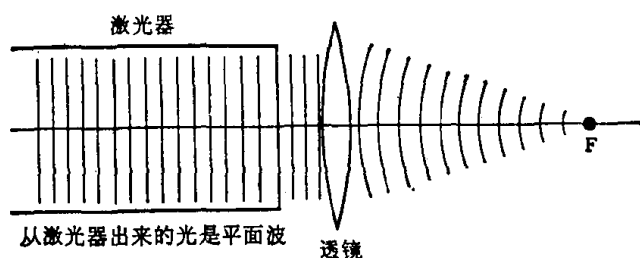


图 1.9 激光束的聚焦,平面波通过透镜变换成为球面波,原理上,聚焦于几何的点 F (焦点)

因为激光束几乎是完整的平面波,利用适当的透镜聚焦(即变换成收敛的球面波)就能聚集于非常小的一点上,这也是激光束的重要特征。与此相反,普通的光,因为光源的大小总是有限的,如前所述,不能聚焦于很小的点上,总有某种程度的发散。

1-2 光的发射、吸收和频谱

物体发射光或吸收光的现象,溯其根源,可以解释为电磁波形式的光与构成物体的原子或分子之间的相互作用。严格地说来,须用量子力学来求解,不过,这里仅就简单模型进行描述。

众所周知,原子是由中心部分带正电的原子核和在核的周围

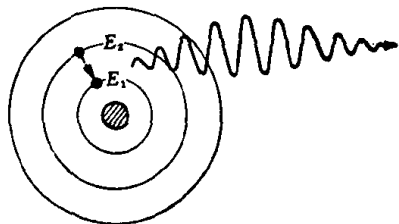


图 1.10 原子模型和原子发射的光波。电子从外轨道(高能态)移至内轨道(低能态)时发射光波

轨道上的带负电的电子组成。原子核的正电荷和电子的负电荷恰好相抵消,构成中性的原子。特定的原子的电子轨道的形状,大小乃至电子的数目都是一定的。图 1.10 是原子模型。

原子的能量由在周围轨道上运动的电子的动能和势能之和表示。特定的原子的能量只能取特定的某些分立值——能级。越靠

外层轨道的电子的能量就越大。图 1.11 表示能级图。

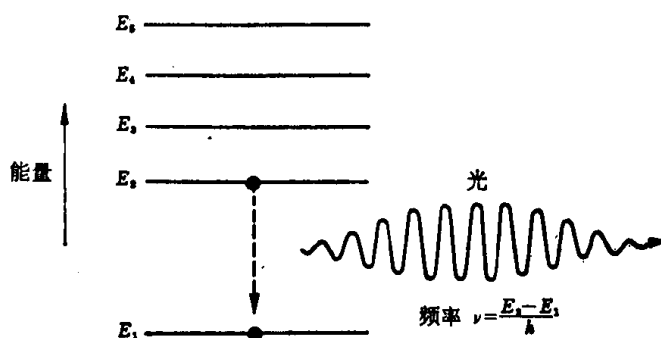


图 1.11 原子的能级图和它发射的光波,光波的能量为 $(E_2 - E_1)$

尔格,频率为 $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$. $h = 6.6256 \times 10^{-27}$ 尔格·秒

一、光的发射

电子从能量较高的 E_2 态跃迁到能量较低的 E_1 态时,将能量差 $E_2 - E_1$,以光的形式放出(一般为辐射)。以尔格为能量的单位,以赫(即秒⁻¹)为频率 ν 的单位,则有

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

的关系,就是说光的能量等于 $h\nu$ 。式中 h 是普朗克常数,

$$h = 6.6256 \times 10^{-27} \text{ 尔格} \cdot \text{秒}$$

$$= 6.6256 \times 10^{-34} \text{ 焦耳} \cdot \text{秒}.$$

能量最低的态称为基态,能量比基态高的态称为激发态。

例如,霓虹灯是在一定形状的玻璃管内,充入低气压氖气。在电极间加高电压,使之放电,激发氖原子。被激发到激发态的原子,跃迁回能量较低的态时,便发出许多频率即许多颜色的光。氖原子的较强的谱线多半都在红色频带区。

原子在激发态停留的时间非常短,通常为 10^{-8} 秒左右。什么时刻从激发态跃迁出去是不能预言的,因为它是一种随机过程。伴随着这样的跃迁放出光的现象称为自发辐射。自发辐射不受外界条件比如电磁场等的影响,它是超出人为控制范围之外的统计现象。

与此相对,若用光照射激发态的原子,并且如果光的频率恰好与从该激发态跃迁时所发射的光的频率相等时,原子受刺激而发出光波。此光波的相位、偏振、频率乃至传播方向都和原来的入射光相同。这种现象称为受激辐射(图 1.12)。

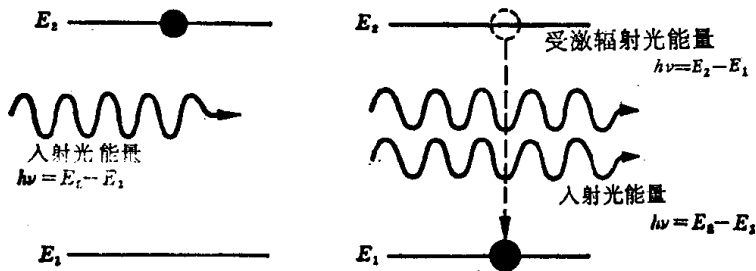


图 1.12 光的受激辐射

二、光的吸收

在 E_1 态的原子,被能量等于 $h\nu = E_2 - E_1$ 的光照射时,原子会吸收光而跃迁到 E_2 态。能量由光波传给原子(图 1.13)。

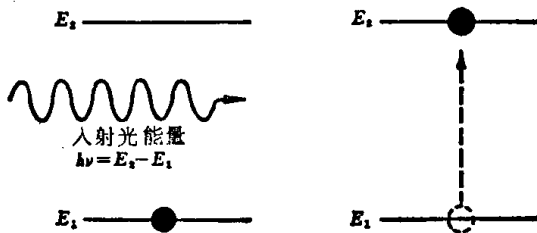


图 1.13 光的吸收

光的吸收和受激辐射是激光作用里最基本的过程。我们用古典方法,考虑在平衡点附近

做简谐振动的电子即振子和光的电场的相互作用。设振子自平衡点的位移为 x ,角频率为 ω_0 ,则运动方程为

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega_0^2 x \quad (1.1)$$

设光的电场为

$$E(t) = E_0 \cos(\omega t + \alpha) \quad (1.2)$$

上述振子的运动方程便成为如下微分方程

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = \frac{e E_0}{m} \cos(\omega t + \alpha) \quad (1.3)$$

式中, e 为电子电荷, m 为电子质量。

设光的电场是在 $t = 0$ 时加予自由振动的电子, 求(1.3)的解, 得

$$x = A \sin(\omega_0 t + \phi) + \frac{e E_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \left[\cos(\omega t + \alpha) + \frac{\omega}{\omega_0} \sin \alpha \sin \omega_0 t - \cos \alpha \cos \omega_0 t \right] \quad (1.4)$$

式中 A 为振子振幅, ϕ 为振子相位。

其次, 求振子从光的电场吸收的功率 P 。令在 dt 时间内的电子的位移为 dx , 振子得到的功, 亦即电场所做的功等于位移和作用力的乘积, $dx \cdot e E(t)$, 故功率为

$$P = \frac{dx}{dt} e E(t) = \frac{dx}{dt} e E_0 \cos(\omega t + \alpha) \quad (1.5)$$

P 值为正时, 相当于振子吸收能量, 相反的, P 值为负时, 相当于振子把能量交给光的电磁波, 也就是说, 振子放出光。

下面说明: P 值的正负是由光的电场的相位和振子的相位的关系所决定的。(1.4)对 t 微分后, 代入(1.5), 令功的增量为 dW 则

$$P = \frac{dW}{dt}$$

假定 $\omega = \omega_0$, 即振子的固有振动和光的电场的振动发生谐振时, 在振动的一周期 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 内电场所完成的功为

$$W = \pi \mu_m E_0 \cos(\alpha + \phi) \quad (1.6)$$

式中, $\mu_m = eA$ 是偶极矩。

现在看一看相位关系的影响。光的电场的相位 α 与振子的相位 ϕ 一致时 $W > 0$, α 和 ϕ 相反, 即 $\alpha = \phi + \pi$ 时,

$$\cos(\alpha - \phi) = \cos \pi = -1$$

W 取最大负值。振子对电场作功, 亦即振子发出光。图 1.14 示出这些关系。