

第17章 固体物理简介

激光 晶体能带理论

§ 17.4 激 光

粒子为什么会发光？——因为粒子在能级之间发生了跃迁。

一. 光的吸收与辐射

光和粒子的相互作用一般分为三种基本过程。

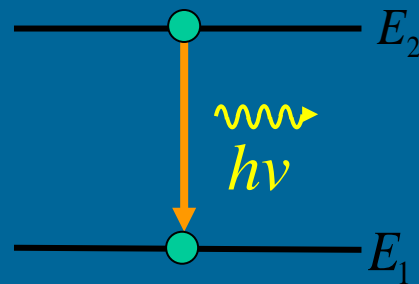
1 自发辐射

处在高能级粒子，在**没有外界影响**的情况下，有一定的几率自发地向低能级跃迁，并发出一个光子，称为自发辐射。

特点：1 与外界条件无关，不可控制。

2 光的单色性和相干性差。

自发辐射光波是非相干的（各光子的频率、相位、偏振态、和传播方向各不相同）

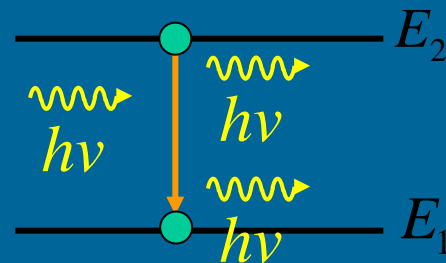


2 受激辐射

处于高能级 E_2 的粒子，在频率为 $\nu = (E_2 - E_1)/h$ 光强为 I 的入射光照射下，跃迁到低能级 E_1 上去，同时发射一与入射光子完全相同的光子，称为受激辐射。

特点：

- 1 受激辐射使入射光强得到放大
- 2 单色性和相干性好（产生的光子与照射的光子运动状态完全相同，即：频率、相位、偏振态、传播方向完全相同）

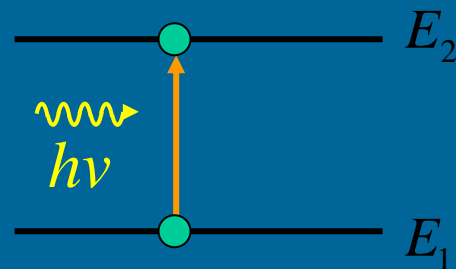


普通光源：以自发辐射为主。

激光光源：以受激辐射为主。

3 受激吸收

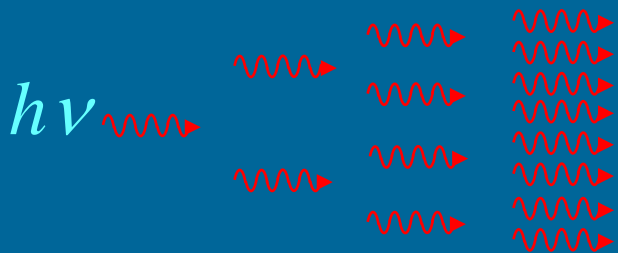
处于低能级 E_1 的粒子，在频率为 $\nu = (E_2 - E_1)/h$ 光强为 I 的入射光照射下，吸收一个光子而跃迁到高能级 E_2 ，称为受激吸收。



二. 产生激光的基本条件

粒子数反转和光放大

- 激光是通过**受激辐射**来实现放大的光，放大过程如下：

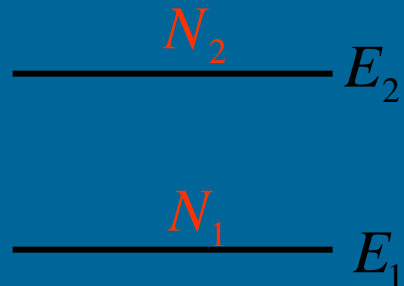


一个频率为 ν 的光子诱发原子放出一个频率为 ν 的光子，这两个光子再诱发其它原子放出光子，如此进行下去，就实现了光放大。

受激辐射的光放大示意图

- 热平衡状态时各能级粒子服从

玻尔兹曼分布: $N = Ae^{-E/kT}$

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{E_2 - E_1}{kT}}$$


E: 能量 N: 粒子数

若 $T=300\text{K}$, $E_2 - E_1 = 1\text{eV}$, $N_2 / N_1 \approx 10^{-40}$

热平衡状态: $N_1 \gg N_2$, 光吸收将大于受激辐射, 光通过介质后将减弱, 这是正常的光吸收现象, 这种分布称为正常分布。

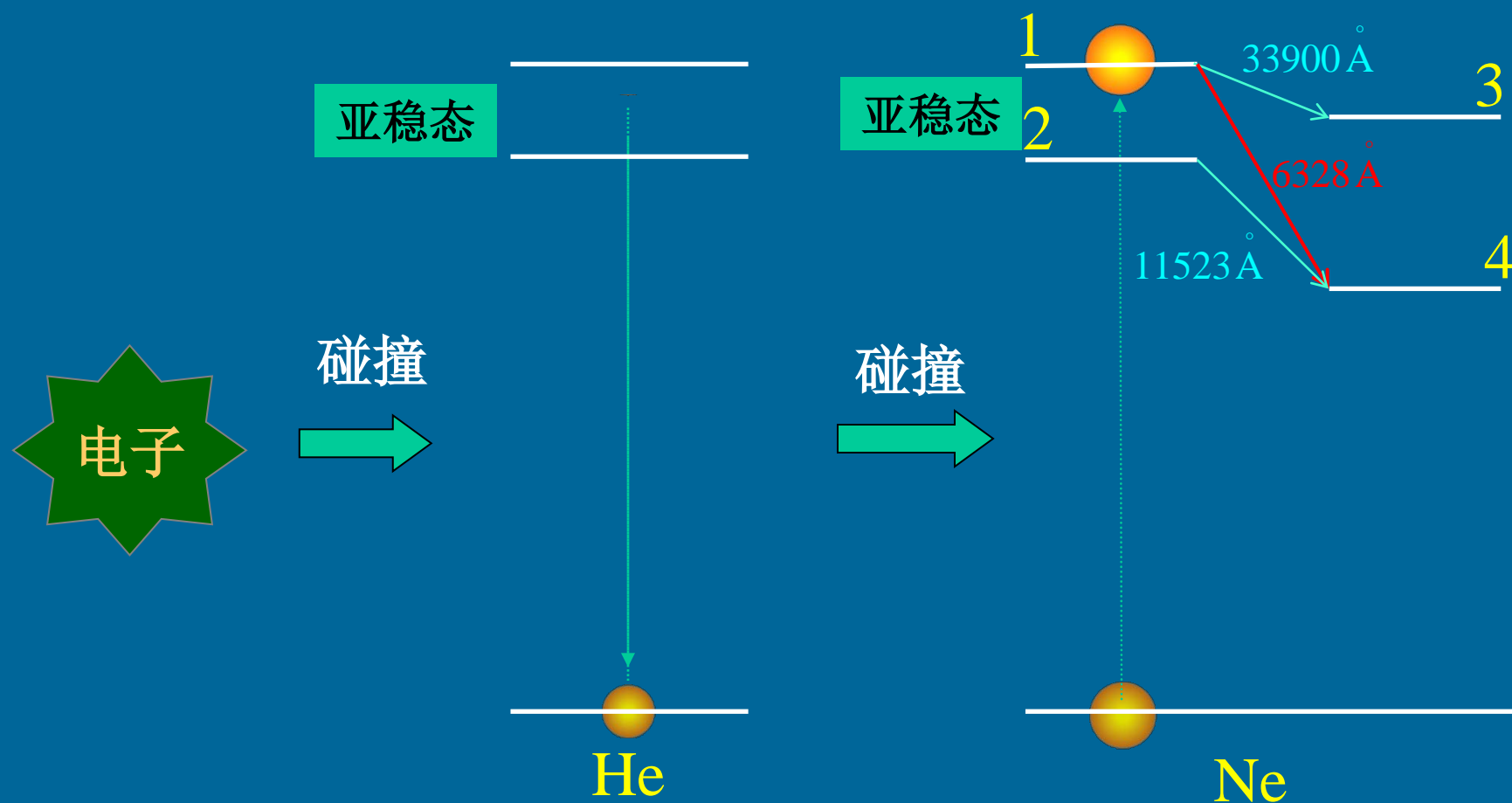
- 若介质在外界能源激励下, 破坏了热平衡, 则有可能使 $N_2 > N_1$, 这种状态称为粒子数反转态。若介质处于粒子数反转态, 光吸收将小于受激辐射, 光在其中传播时得以放大。此时介质成为激活介质

实现粒子数反转条件:

① 必须从外界输入能量

② 工作物质必须有适当的能级结构(“亚稳态”)

例 He-Ne激光器中Ne气粒子数反转态的实现及激光的形成



三. 增益介质中光强随传播距离的变换关系

光通过处于粒子数反转态的介质后得到放大，这种情况称为光增益，此时介质称为光增益介质(激活介质)。

经过介质薄层，光强增量为

$$dI = GIdz$$

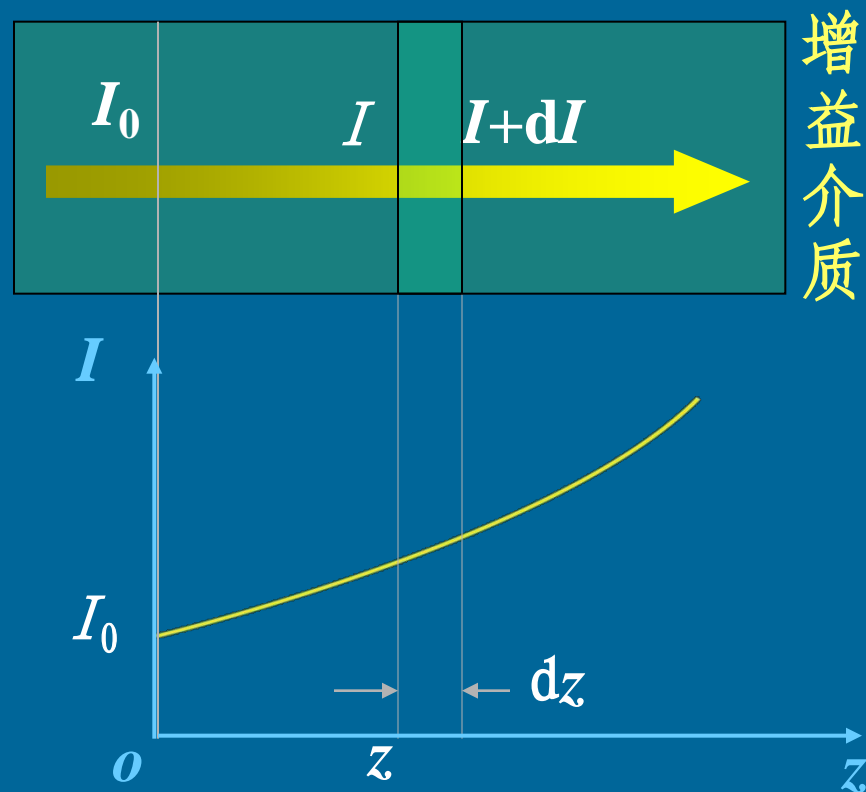
$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = \int_0^z Gdz$$

$$I = I_0 e^{Gz}$$

G — 增益系数

★ 说明

在增益介质内，光强 I 随传播距离按指数增加。



§ 17.5 激光器的基本构成 激光的形成

1960年，第一台激光器问世:红宝石激光器

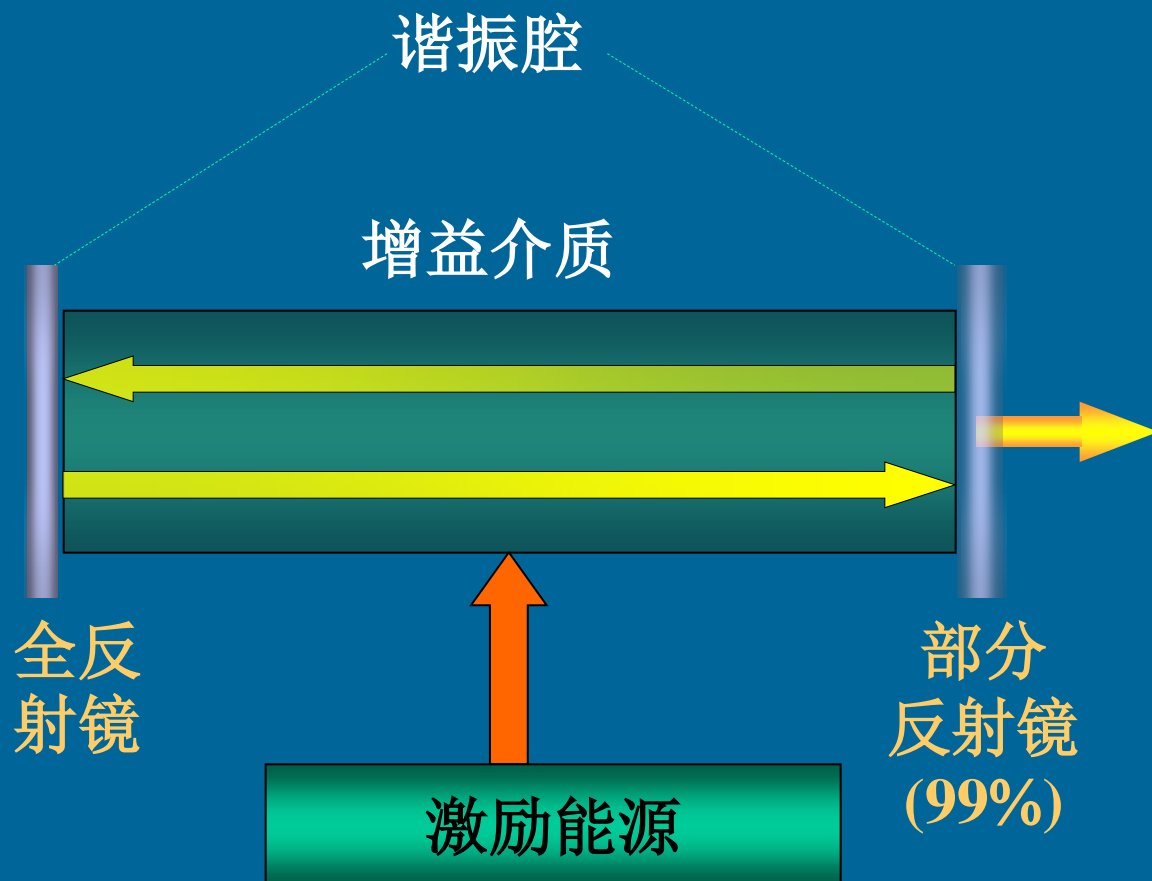
一. 激光器的基本构成及激光的形成

1. 基本构成部分

- ① 谐振腔
- ② 增益介质
- ③ 激励能源

2. 激光的形成

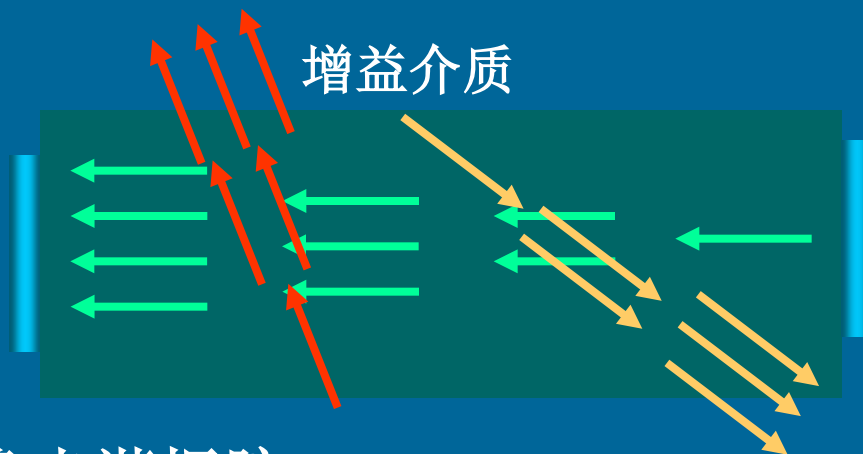
光束在谐振腔内来回震荡，在增益介质中的传播使光得以放大，并输出激光。



二. 谐振腔的作用

1. 限定光的方向

沿轴线的光在增益介质内来回反射，连锁放大，输出形成激光。其它方向的光很快逸出谐振腔。



2. 选择光振荡的频率

输出特定频率的激光

3. 延长增益介质

光学谐振腔的作用：使某一个方向和频率的光子享有最优越的条件进行放大，而其它的光子被抑制住。

§ 17.7 激光的特性及应用

1. 高定向性

激光发散角极小，可用于定位，准直，导向，测距等。

2. 高单色性

氦—氖激光器的单色性为 $\Delta\lambda < 10^{-17} \text{ m}$

普通光源中，氪(Kr86)灯单色性最好 $\Delta\lambda = 4.7 \times 10^{-13} \text{ m}$

能量集中在很窄的频率范围激光的谱线分辨率高，可用于研究原子、分子、晶体等物质的能级和光谱的精细结构，超精细结构等。

3. 高相干性

用于测量长度、干涉以及全息术，X 射线激光可作分子和生物高分子的全息图。

4. 高亮度

太阳表面亮度约	10^3	$\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$
大功率激光亮度	$10^{10} \sim 10^{17}$	$\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$

可用于精密加工，医学，核聚变等。

激光加工— 6KW CO₂ 激光加工机在进行金属表面涂敷合金粉末的作业

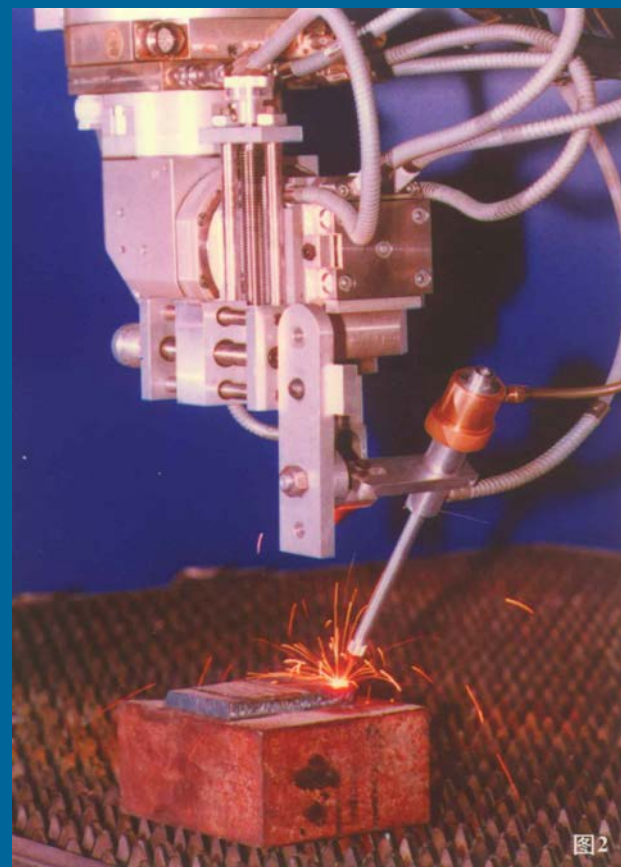


图2