

# 关于激光的原理与 特性

# §1.1 激光基本原理

- 光吸收和辐射原理
- 激光产生条件
- 激光的特点
- 激光对生物组织的作用

# 一、光吸收和辐射原理

## 1、原子的自发辐射：

**吸收：**光通过物质时，一部分光子将被原子吸收，使它们跃迁到较高能级，称为光的吸收。

**自发辐射：**处在高能级的粒子是不稳定的，很快就会跃迁到低能级，多余的能量以光子的形式发射出来，这种发射称自发辐射。

满足条件： $h\nu = E_2 - E_1$



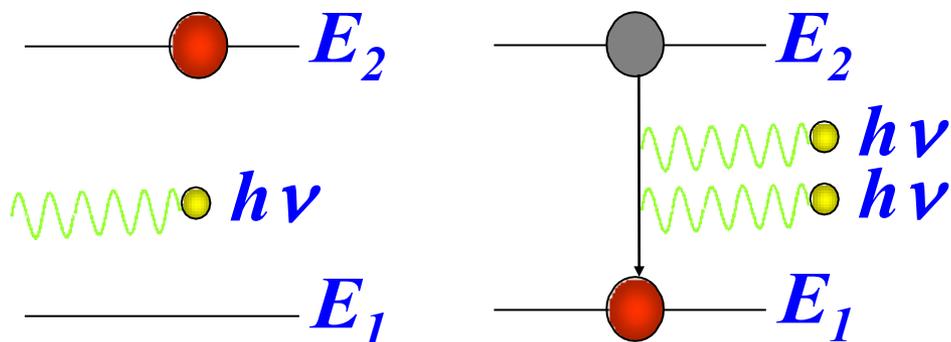
自发辐射

**特点：**大量独立粒子自发辐射，发光是频率、相位、偏振状态、传播方向等均不相同的非相干光，如：普通光源发光即属于自发辐射。

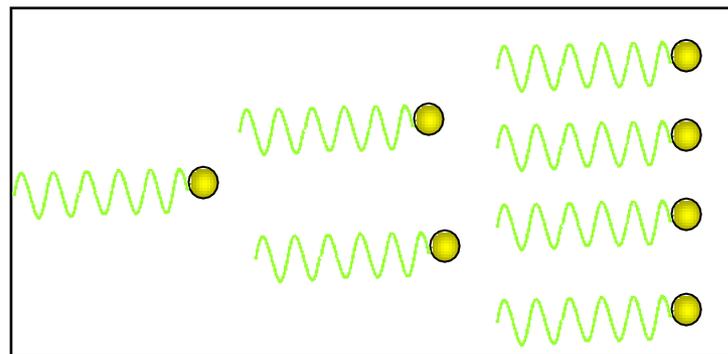
## 2、受激辐射

处在高能级 $E_2$ 的原子，受到能量为 $h\nu = E_2 - E_1$ 的外来光子的**激励**，由高能级 $E_2$ **受激跃迁**到低能级 $E_1$ ，同时辐射出一个**与激励光子全同**（即频率、相位、偏振状态、传播方向等均同）的光子。

满足条件： $h\nu = E_2 - E_1$



受激辐射



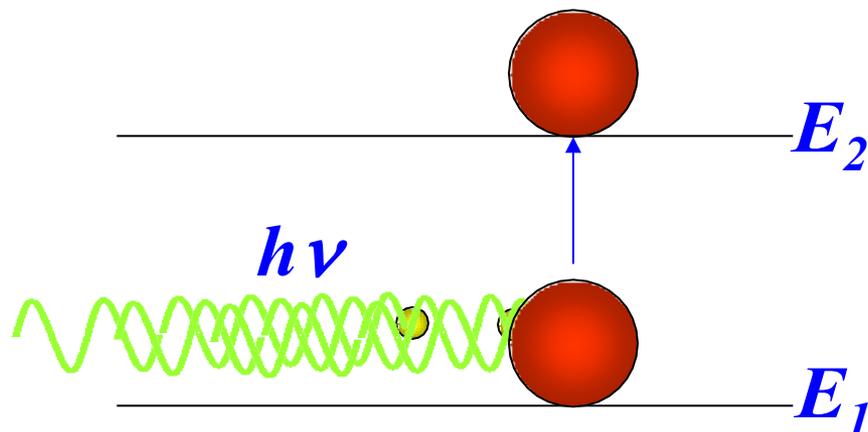
光放大

**特点：**必须先有一个入射光子的作用，才能诱发得到两个特征相同的光子。这两个光子再引发其他原子受激辐射，实现光放大。

# 受激辐射

- 当物质受到强烈激励时，使某一能级的粒子数大量积聚，当积聚数多于基态或下一能级的粒子数时，发生反分布。
- 物质处于反分布状态时，如有光束射入，入射光子的能量正好等于反分布状态的两能级能量之差，则会发生光子与粒子的完全弹性碰撞，使粒子从激发态跃迁到基态或某下一能级，同时发射一个光子，此光子的能量与入射光子的能量相同，有一致的方向和恒定的位相关系。此称受激辐射。
- 简单的讲：频率适当的光子诱发高能级的原子发射光子而跃迁到低能级。

### 3、受激吸收（共振吸收，光的吸收）



处在低能级 $E_1$ 的原子受到能量等于 $h\nu = E_2 - E_1$ 的光子的照射时，吸收这一光子跃迁到高能级 $E_2$ 的过程。

光减弱过程

## 二、激光的产生条件

激光产生的条件:

粒子数反转

合适的激励能源

具有亚稳态的工作物质

光学谐振腔

## 1、 粒子数反转分布

激光是受激辐射的光，但还存在自发辐射和吸收，要使受激辐射超过吸收和自发辐射才能**实现光放大**

根据玻尔兹曼能量分布律：

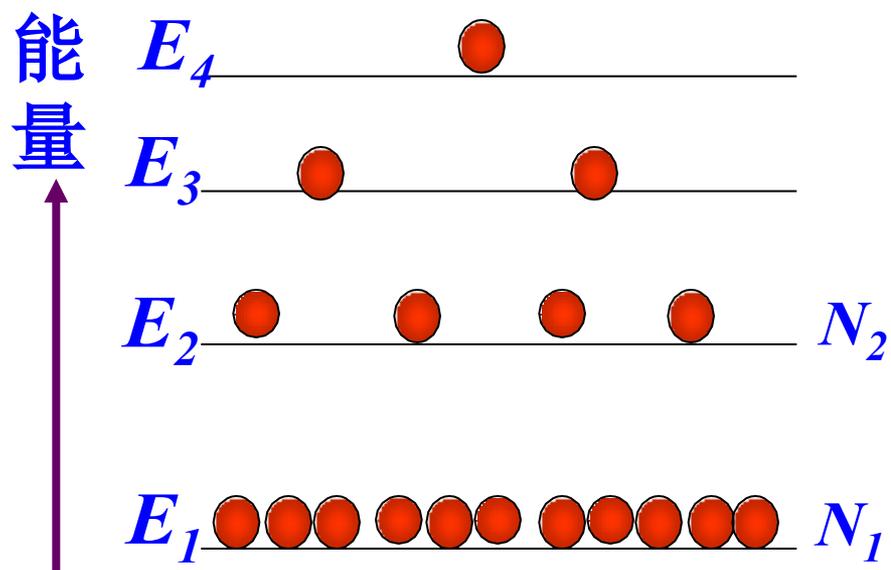
$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-(E_2 - E_1)/kT}$$

热动平衡下， $N_2 \gg N_1$ ，即处于高能级的原子数大大少于低能级的原子数——粒子数的正常分布

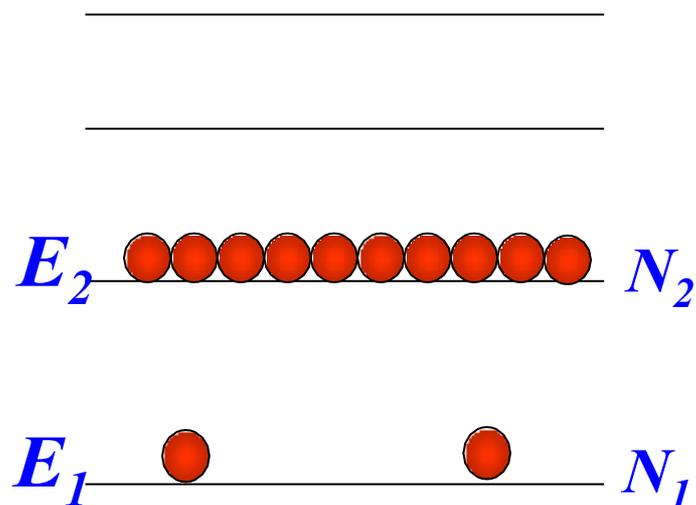
受激辐射占支配地位 $\Rightarrow$ **粒子数反转**

高能级上的粒子数超过低能级上的粒子数

粒子数正常分布是：



粒子数反转状态



为了有效地产生激光，要改变这种分布，形成粒子数反转的状态。

## 2、实现粒子数反转的条件：

要有实现粒子数反转分布的物质，这种物质具有适当的能级结构；

必须从外界输入能量，使工作物质中尽可能多的粒子处于激发态。（**激励或泵浦**）

**激励方法：**光激励、电激励、化学激励、核激励

**工作物质的能级结构：**具有亚稳态(寿命较长)

只有具有亚稳态的工作物质才能实现粒子数反转

## ①、适当的激励系统

组成激光器的第一部分是激励系统。

实现这种作用的方式有光子激励（光泵），即利用强光照射工作物质。

光激励的第一种方式：用激光激励另一种激光器；

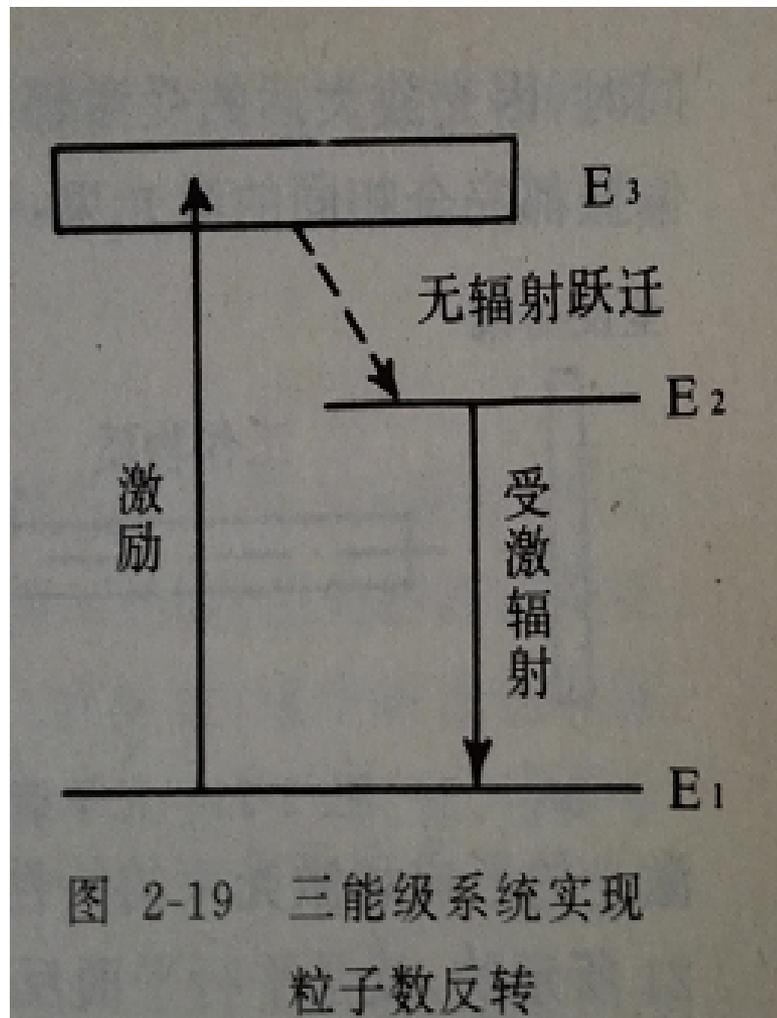
光激励的第二种方式：用气体放电激励；

光激励的第三种方式：用电流激励。

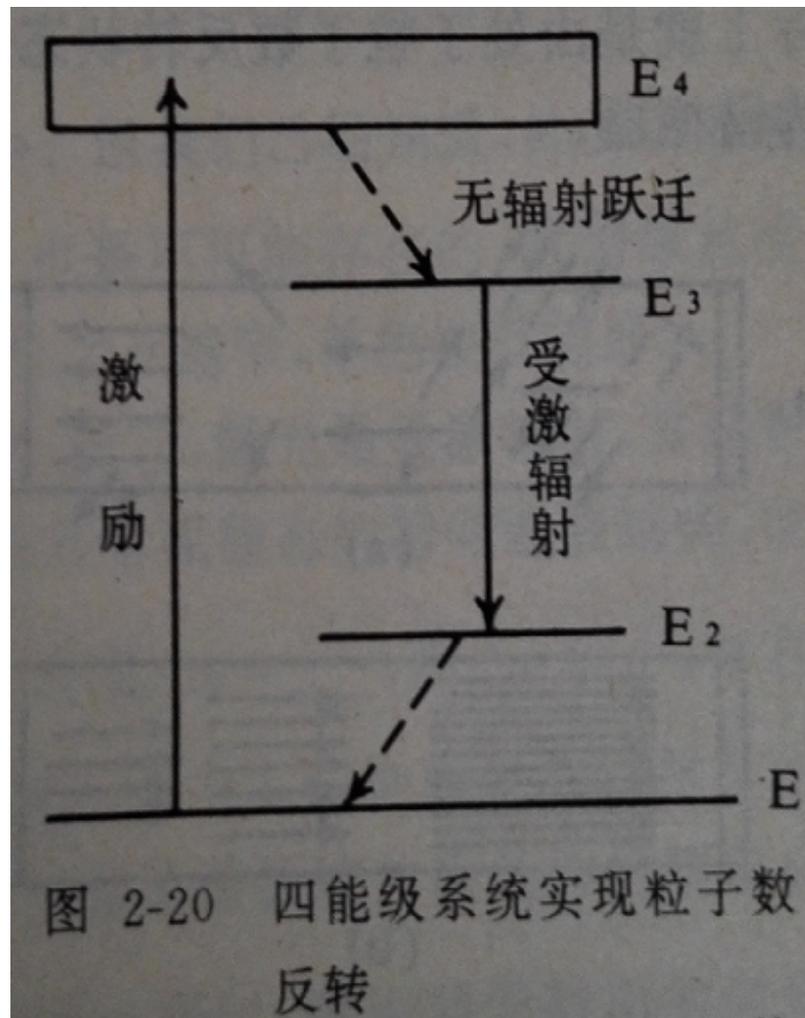
## ②、具有亚稳态的工作物质

- 粒子数反转：利用外来激发打破热平衡使高能级的原子数多于低能级的原子数的这种情况
- 亚稳态：寿命比较长一点的激发态

## 三能级结构



## 四能级结构

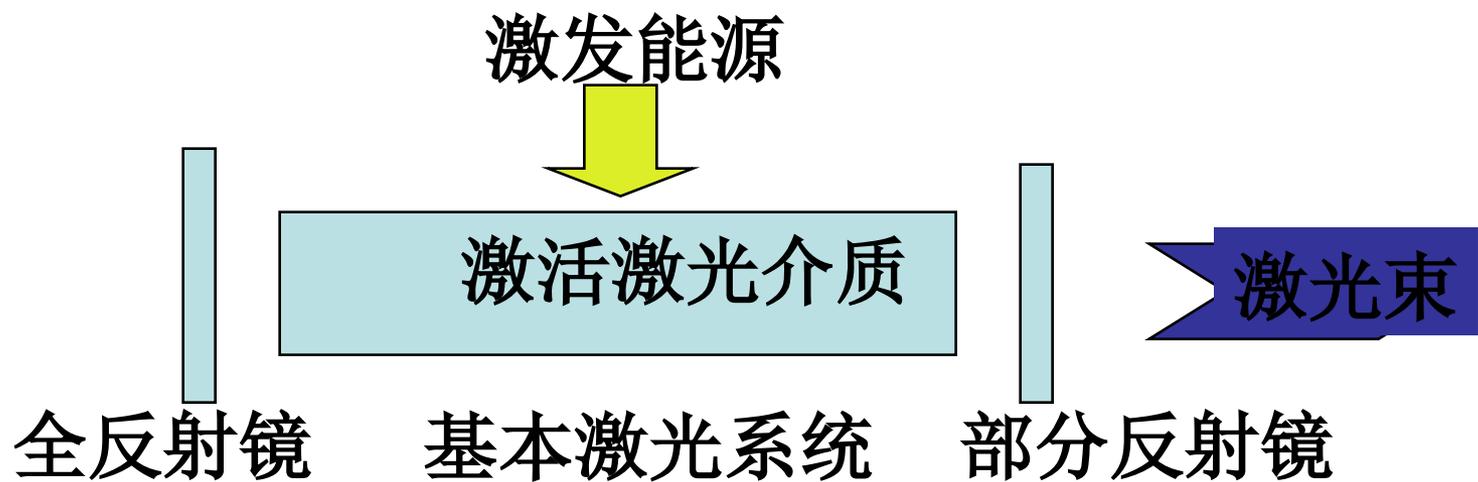


### 3、激光谐振腔(激光器的第二大部分)

光学谐振腔的作用:

- 1) 使受激辐射光放大过程能在有限长度的工作物质中持续进行,且在满足阈值条件下形成光振荡,产生激光。
- 2) 对输出激光的方向性给予限定。
- 3) 有选频作用。

## b、激光谐振腔的结构：



激光器结构原理图

激发态  
原子

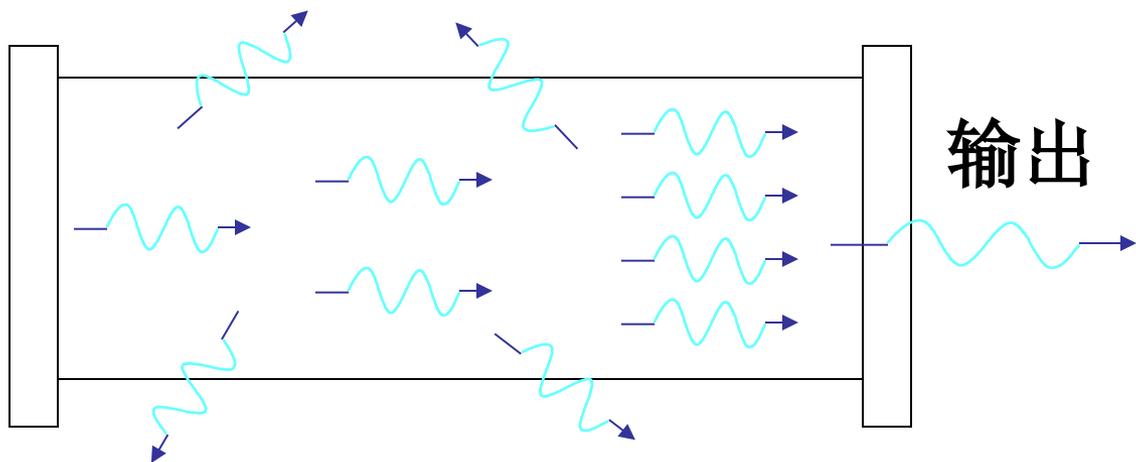
## 光学谐振腔

基态

实现粒子数反转  
分布的激活介质

辐射的光的位相、偏振状态、频率、传播方向是随机的。

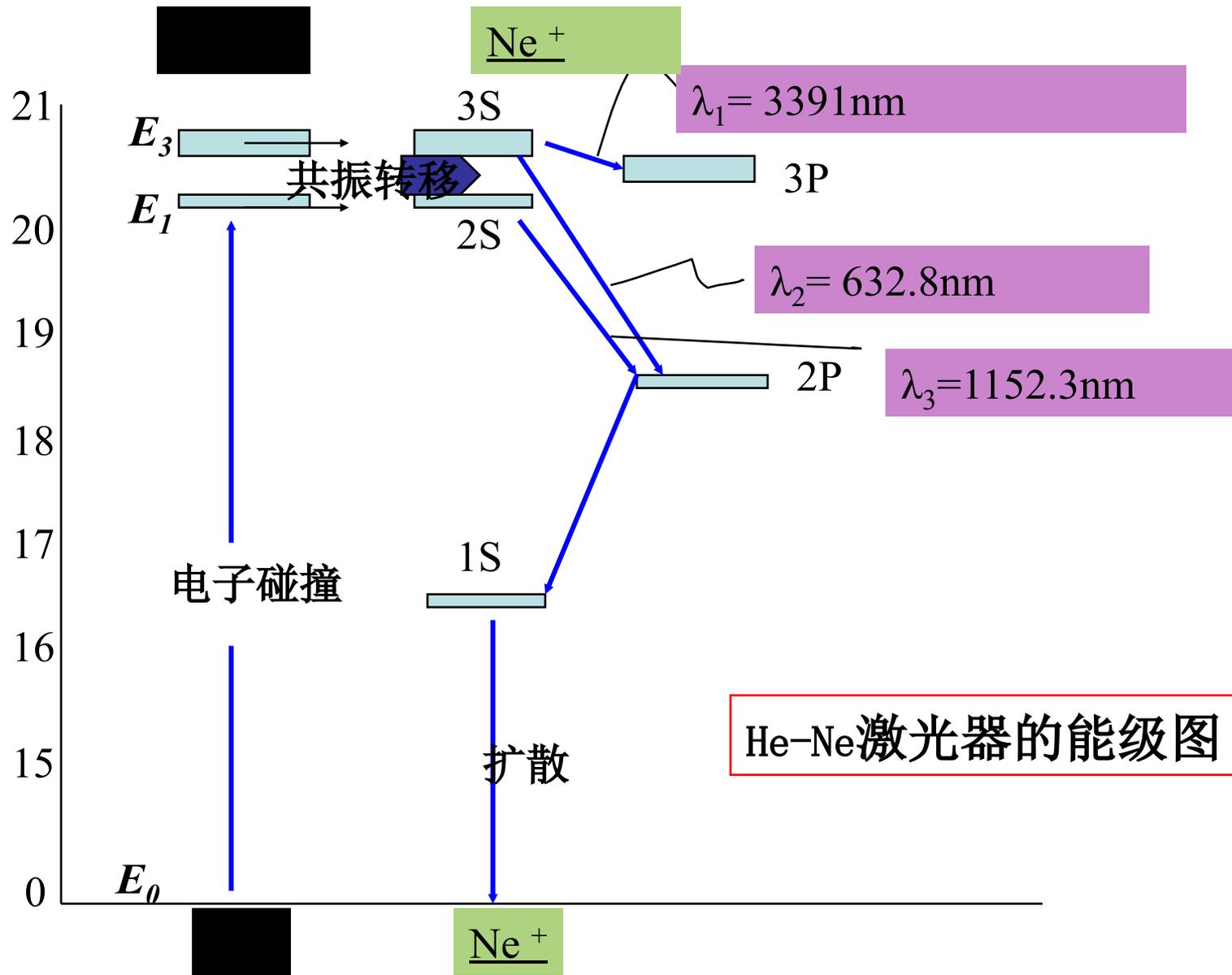
光学谐振腔



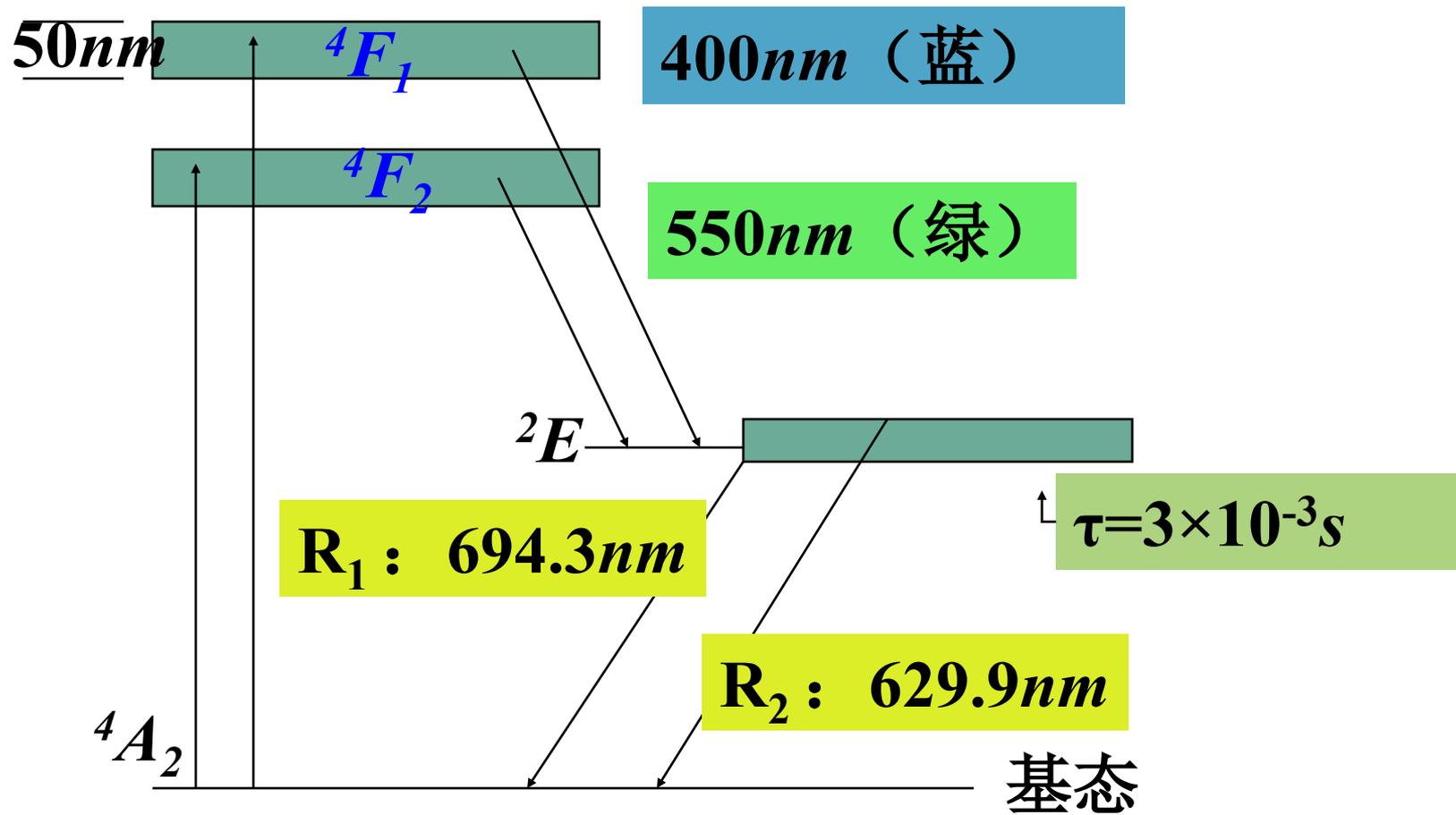
全反射镜  
(100%反射镜)

部分透光反射镜  
(98%反射)

能量 (W)



He-Ne激光器的能级图



## 红宝石中 $Cr^{3+}$ 能级

激光波长范围宽：远红外——X射线

波长特点：单一或可调

发光方式：脉冲或连续

功率范围： $10^{-3}$ —— $10^5 W$ ，脉冲峰值可达 $10^{13} W$

激光器种类繁多：按工作物质可分为：

气体激光器，如：He-Ne激光器

固体激光器，如：红宝石激光器

半导体激光器，如：GaAs激光器

染料激光器，如：乙醇，苯类、丙酮、二甲基等

本节介绍激光的产生、特性，对生物组织的作用及医学应用

# 一、激光的基本特性

- 1、单色性好
- 2、方向性好
- 3、亮度高强度大
- 4、相干性好

# 1、单色性好

单色性的好坏反映了光能量在频谱上分布的集中性。

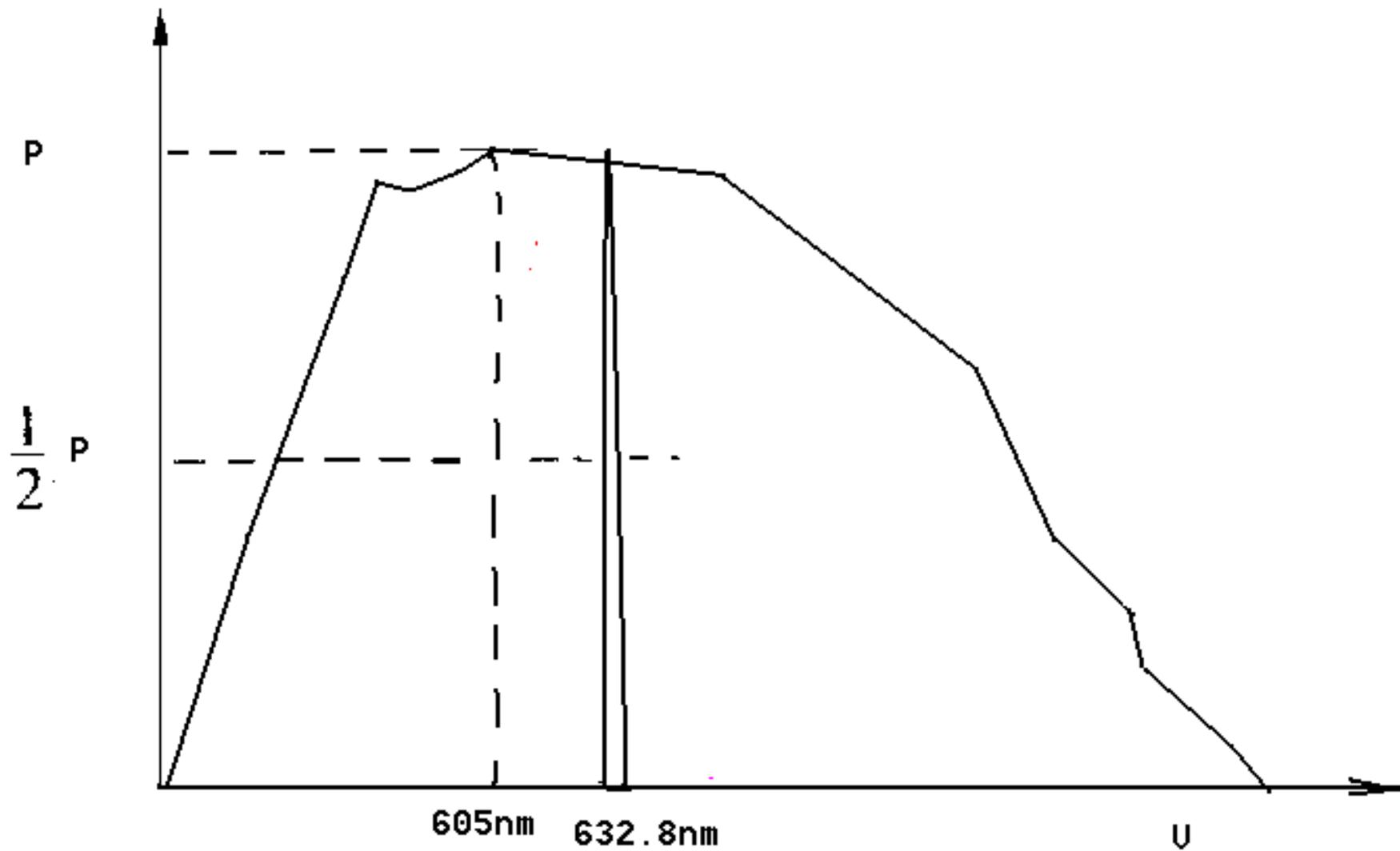
光谱线宽度是衡量单色性好坏的标志

Kr灯：605.7nm，谱线宽度= $4.7 \times 10^{-4}$ nm

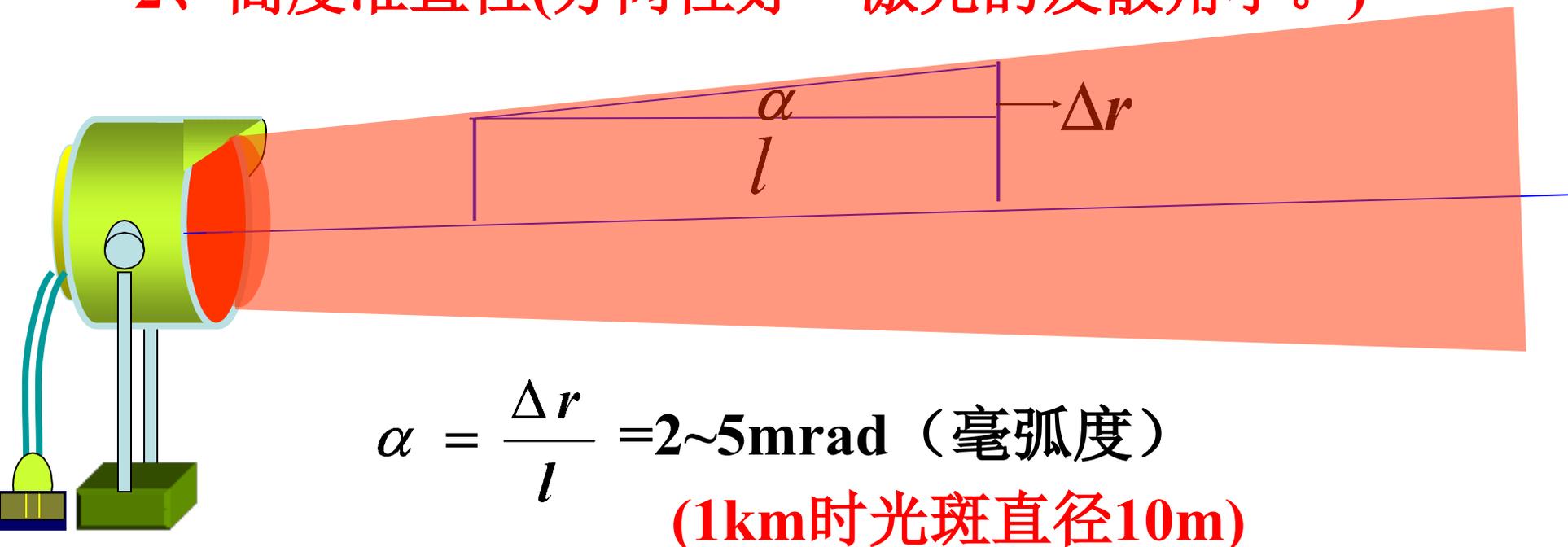
He-Ne激光：632.8nm，谱线宽度= $4.7 \times 10^{-8}$ nm

原因：受激辐射，光子一致；谐振腔选频。

应用：光的生物效应强烈地依赖于光的波长，因此激光良好的单色性在医学上具有重要的应用价值。



## 2、高度准直性(方向性好---激光的发散角小。)



激光器



$\text{He--Ne}$ 激光经纬仪  
测月红宝石激光器

Laser



$D=1.6\text{km}$

$\alpha=4 \times 10^{-5} \text{ mrad}$

**方向性的好坏**反映了光能量在空间分布的集中性。  
发散角是衡量光束方向性好坏的标志。

探照灯：38万公里远月亮上，光斑直径1000公里。

单模激光： $\alpha = 122 \lambda / D$ ，发散角1毫弧度(mrad)，  
光斑直径1公里。

- **原因**：受激辐射一致；谐振腔选模。
- **应用**：激光的方向性好就意味着可以把光束传播到很远的距离而仍然确保足够的强度。
- **在医用范围内**，如不考虑空气的吸收，激光的强度几乎和距离无关。激光在空间的高度集中，可聚焦成激光手术刀；
- 加上单色性好，聚焦时无色散象差，可聚焦成微米级的激光微束。例如国内已经制成激光微手术刀，可使激光束细到只有 $1 \mu\text{m}$ ，可方便的对细胞施行切割或焊接手术。

### 3、亮度高强度大

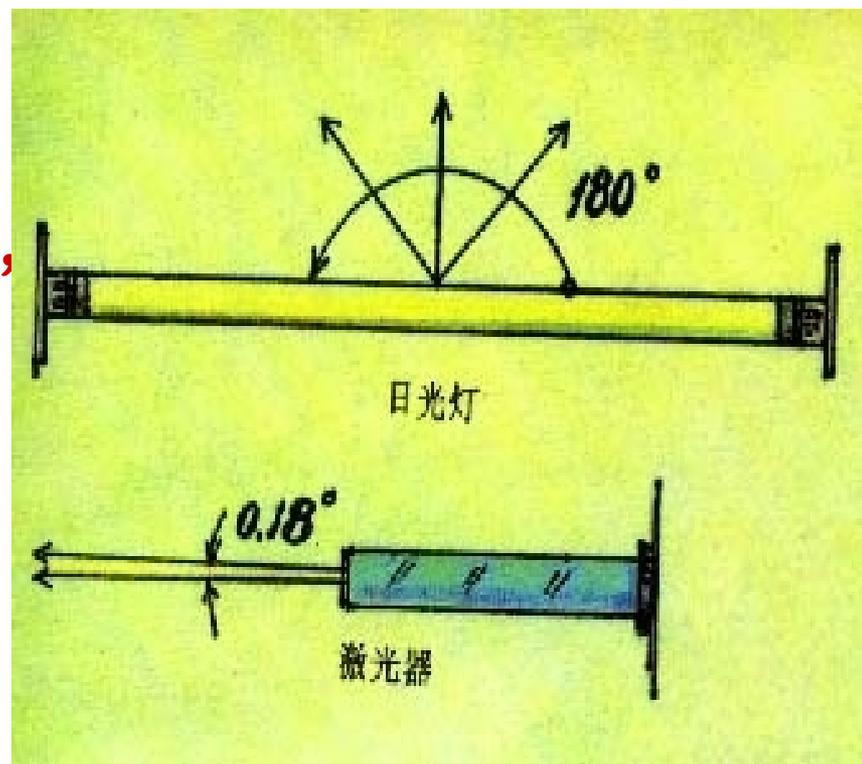
亮度是光源在单位面积上，向某一方向的单位立体角内发射的功率。

1米长的40W日光灯，与1米长的40W CO<sub>2</sub>激光器 相比亮度相差 $10^{10}=100$ 亿倍。

红宝石脉冲激光器 $10^{16}$ KW/cm<sup>2</sup>比太阳高100亿倍。

可用于制造微光武器，在千分之几秒内将钢板击穿，也可用于控核聚变，触发氢弹。激光碎石术正是利用此特性。

激光的输出功率虽然有个限度，但由于其光束细(发散特别小)，功率密度特别大，因而其亮度也特别大. 把分散在 $180^\circ$  范围内的光集中到 $0.18^\circ$  范围，亮度提高100万倍. 通过调Q等技术，压缩脉冲宽度，还可以进一步提高亮度.



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/237105040046010006>