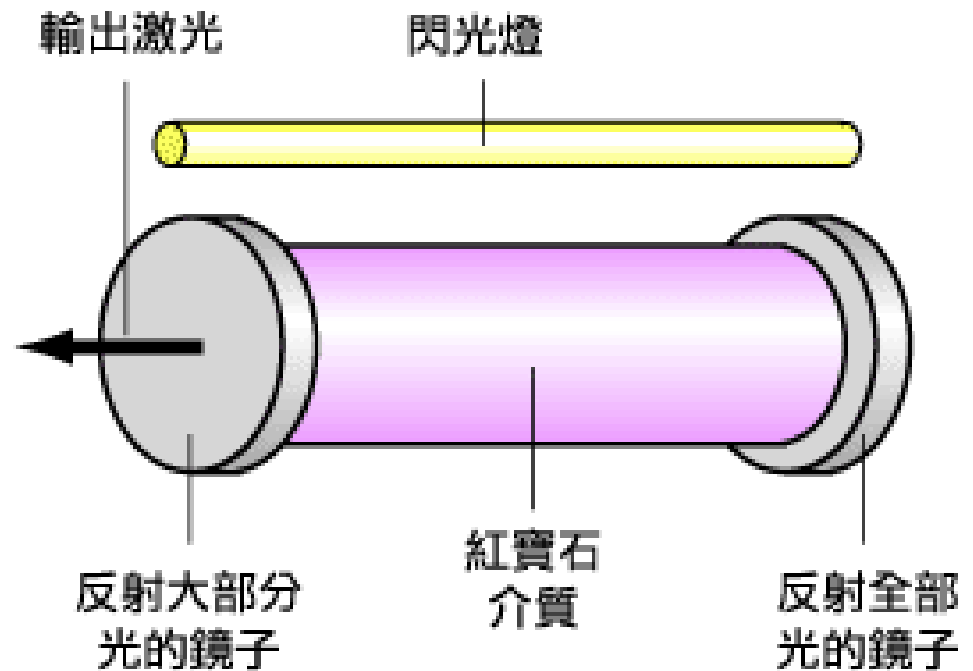


为了有利于粒子数反转，  
激活物质应满足：

- ▲ 有三能级或三能级以上的能级系统；
- ▲ 上能级应为“亚稳态”（自发辐射系数小）；
- ▲ 下能级不应是基态，而且对下能级的自发辐射要大。

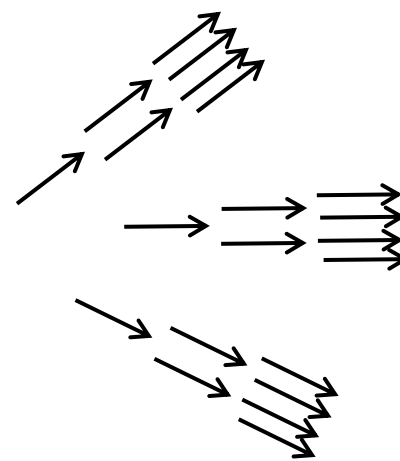


### 2. 光振荡

实现了**粒子数反转**的大量原子会由自发辐射引起受激辐射,但方向是杂乱的,不能产生很强的激光。

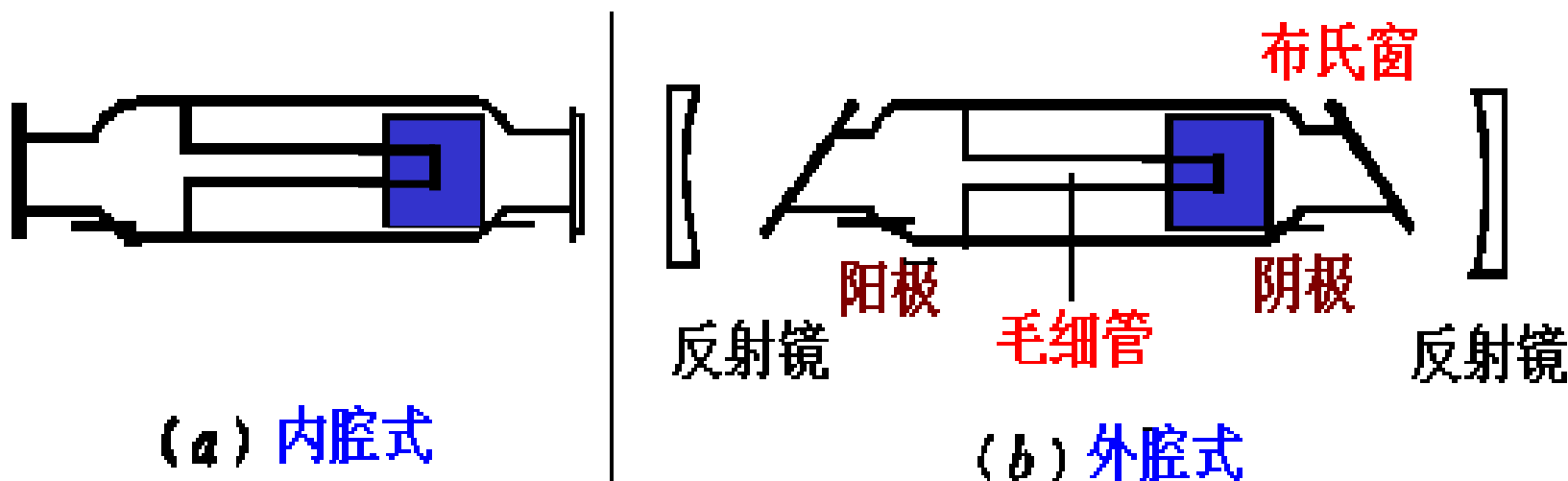
必须使光沿某一方向反复放大才能形成激光——**称为光振荡**。

光振荡功能由光学谐振腔完成

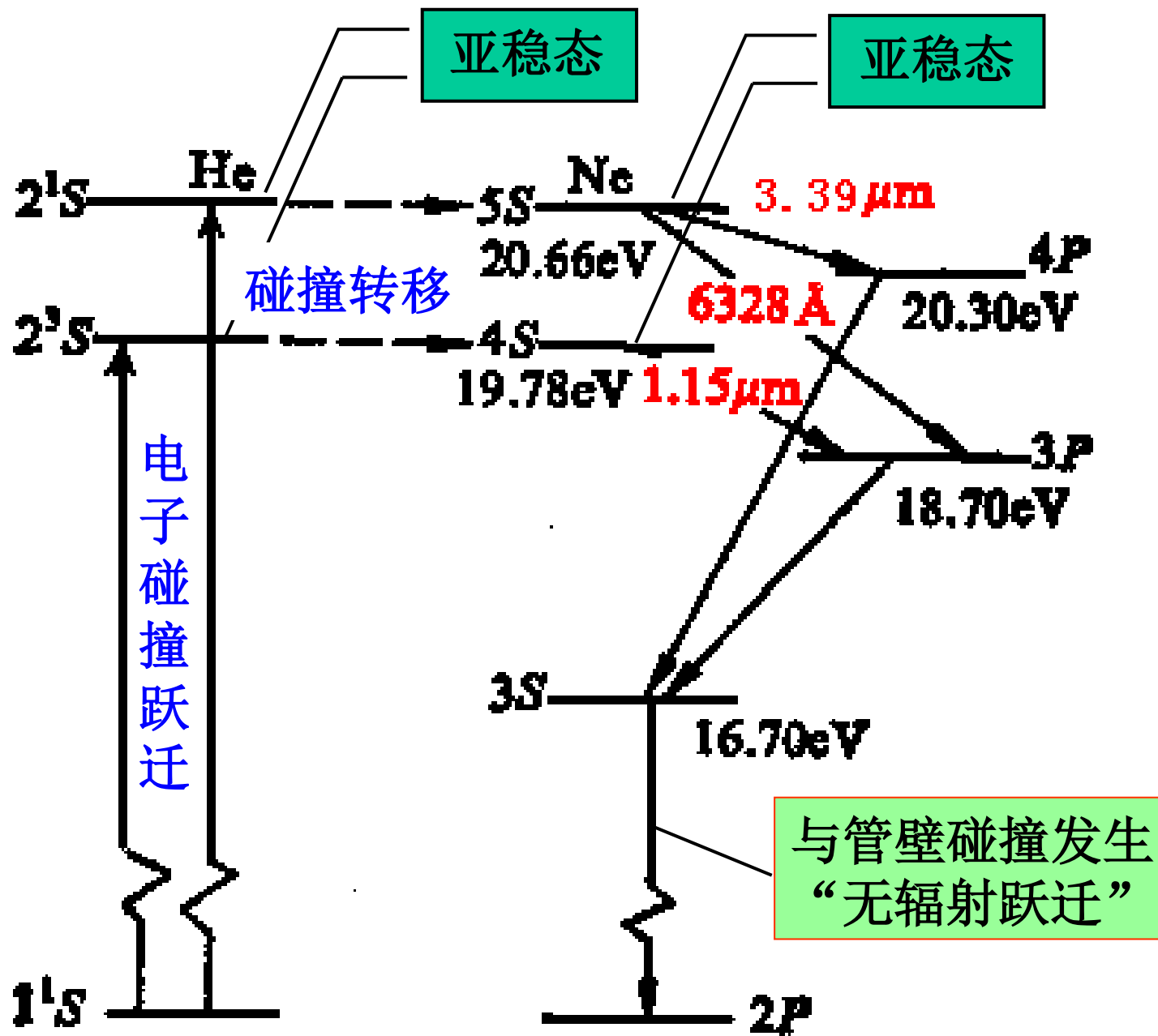


### 三. 激光器的实例: He - Ne 气体激光器

He — Ne 气体激光器的粒子数反转



He - Ne 激光器中 He 是辅助物质,  
Ne 是工作 (激活) 物质;  
He 与 Ne 之比为 5 : 1 ~ 10 : 1。

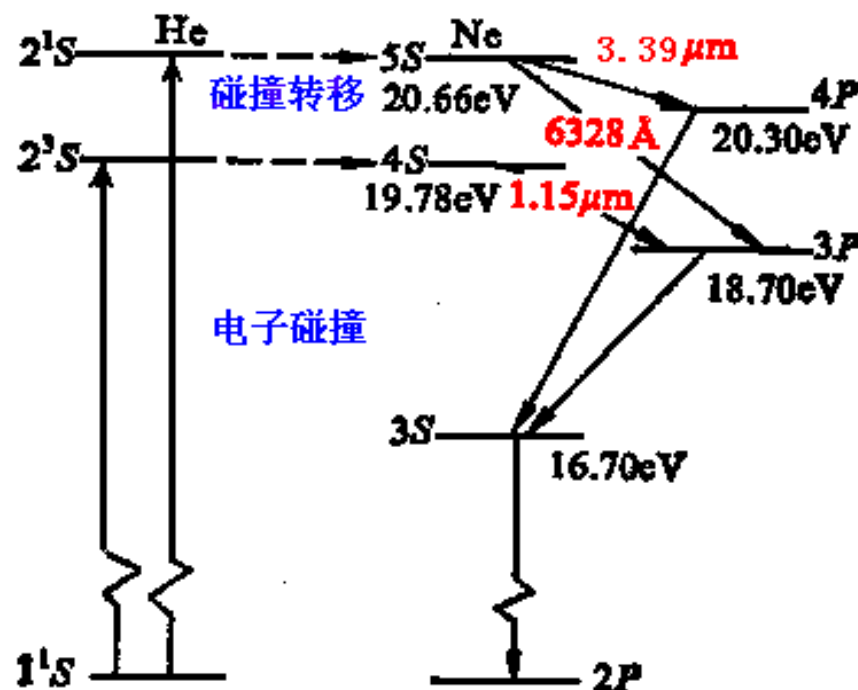


## He-Ne激光管的工作原理:

- ◆ 由于**电子的碰撞**, He被激发(到 $2^3S$ 和 $2^1S$ 能级)的概率比Ne原子被激发的概率大;
- ◆ 在 He 的 $2^3S$ ,  $2^1S$ 这两个能级都是亚稳态, 很难回到基态;

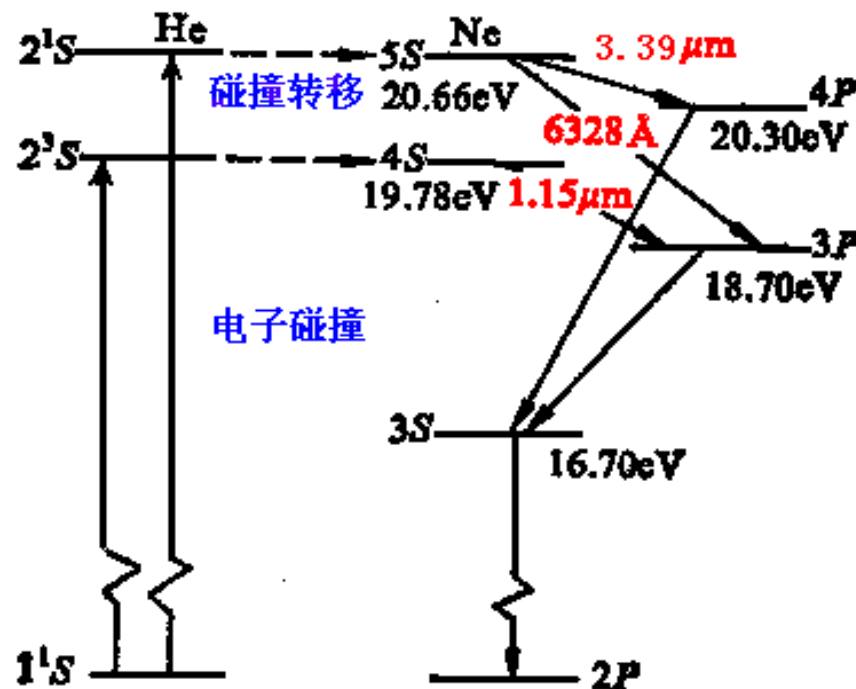
在 He 的这两个激发态上集聚了较多的原子。

- ◆ 由于 Ne的  $5S$  和  $4S$ 态与 He的  $2^1S$ 和  $2^3S$ 态的能量几乎相等, 当两种原子相碰时非常容易产生能量的“**碰撞转移**”;



◆ 在碰撞中 He 把能量传递给 Ne 而回到基态，而 Ne 则被激发到 5S 或 4S;

(要产生激光，除了增加上能级的粒子数外，还要设法减少下能级的粒子数)



◆ 正好 Ne 的 5S, 4S 是亚稳态，下能级 4P, 3P 的寿命比上能级 5S, 4S 要短得多，这样就可以形成粒子数的反转。

◆ 放电管做得比较细（毛细管），可使原子与管壁碰撞频繁。借助这种碰撞，3 *S*态的 Ne 原子可以将能量交给管壁发生“无辐射跃迁”而回到基态，这样可以及时减少3*S*态的Ne原子数，有利于激光下能级4*P*与3*P*态的抽空。

◆ Ne 原子可以产生多条激光谱线, 图中标明了最强的三条:

0. 6328 $\mu\text{m}$

1. 15  $\mu\text{m}$

3. 39  $\mu\text{m}$

它们都是从亚稳态到非亚稳态、非基态之间发生的，因此较易实现粒子数反转。

## 四. 增益系数

激光器内受激辐射光  
来回传播时，并存着

增益

损耗

**增益**——光的放大；

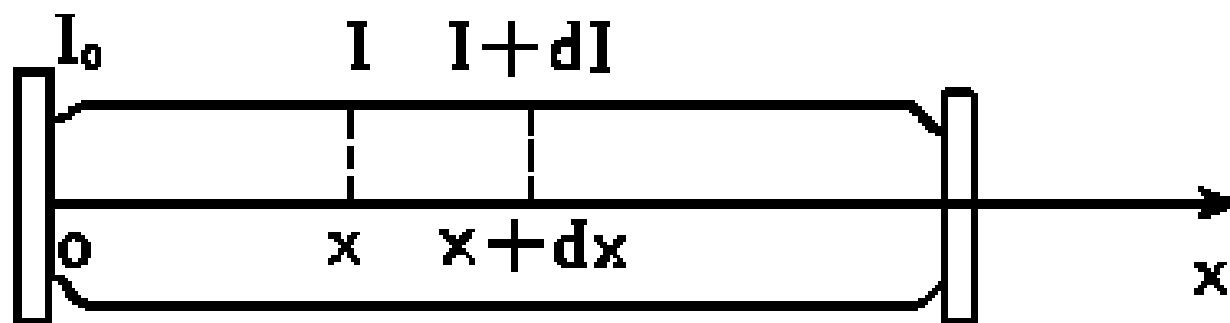
**损耗**——光的吸收、散射、衍射、透射  
(包括一端的部分反射镜处必要的  
激光输出) 等。

激光形成阶段：增益  $>$  损耗

激光稳定阶段：增益  $=$  损耗



## 1. 激光在工作物质内传播时的净增益



设  $x=0$  处, 光强为  $I_0$

$x$

$I$

$x+dx$

$I + dI$

有  $dI \propto Idx$

写成等式  $dI = G I dx$

定义：增益系数  $G$  (gain coefficient)

$$G = \frac{dI}{I dx}$$

即单位长度上光强增加的比例。

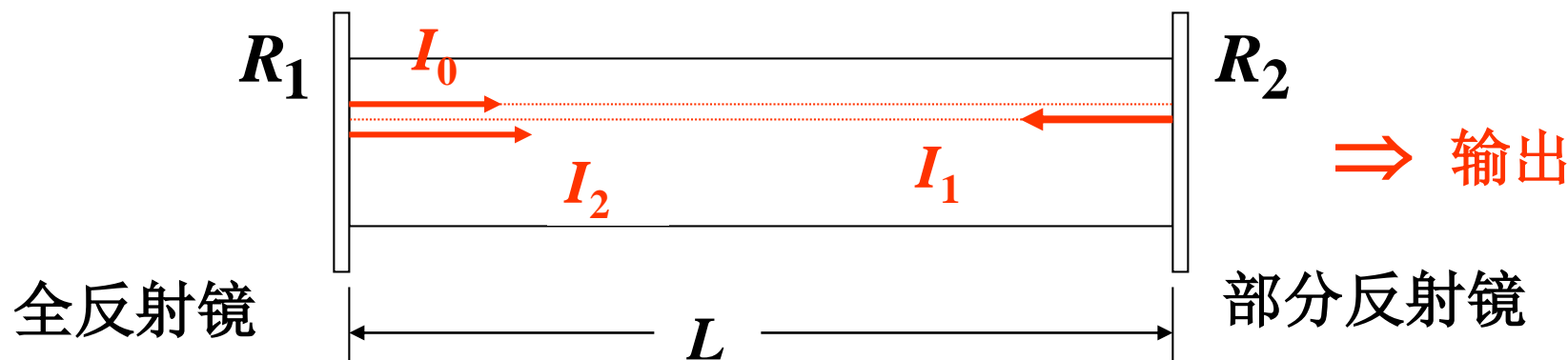
一般 $G$ 不是常数。

为简单起见，先近似地认为 $G$ 是常数。

$$\int_0^x G dx = \int_{I_0}^I \frac{dI}{I} \quad \Rightarrow \quad Gx = \ln \frac{I}{I_0}$$

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

## 2. 考虑激光在两端反射镜处的损耗

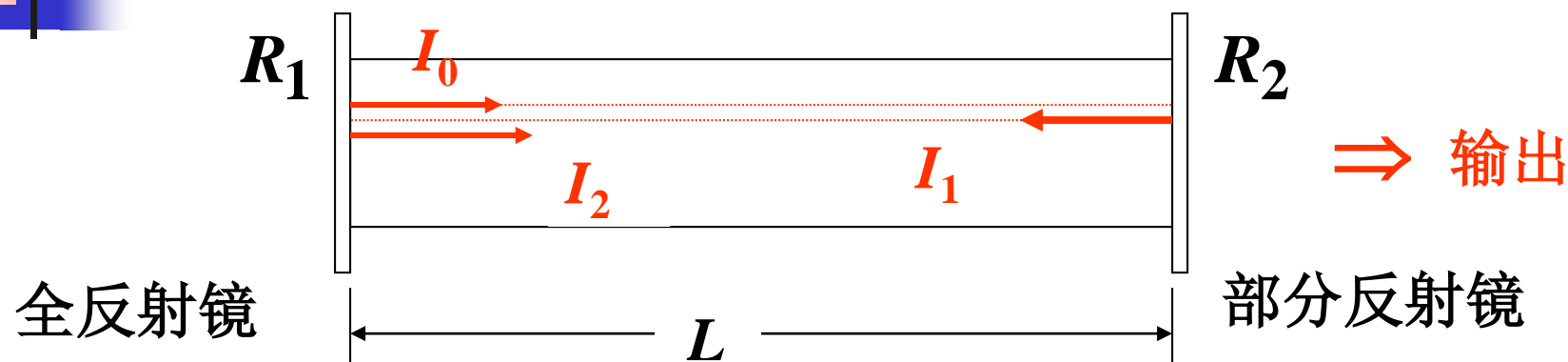


$R_1$ 、 $R_2$ —左、右两端反射镜的反射率。

$I_0$ — 激光从左反射镜出发时的光强。

$I_1$ — 经过工作物质后，被右反射镜反射出发时的光强。

$I_2$ — 再经过工作物质，并被左反射镜反射出发时的光强。



显然有  $I_1 = R_2 I_0 e^{GL}$

$$I_2 = R_1 I_1 e^{GL}$$

$\Rightarrow I_2 = R_1 I_1 e^{GL} = R_1 R_2 I_0 e^{2GL}$

$$\frac{I_2}{I_0} = R_1 R_2 e^{2GL}$$

## ◆ 在激光形成阶段

须  $I_2 / I_0 > 1$

即  $R_1 R_2 e^{2GL} > 1$

$$G > \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2} = G_m$$

## ◆ 在激光稳定阶段

光强增大到一定程度后

须  $I_2 / I_0 = 1$

$$G = \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2} = G_m$$

式中  $G_m$ ——称为**阈值增益**，即产生激光的最小增益。

在激光的形成阶段  $G > G_m$ ，光放大，  
怎么光强不会无限放大下去？

