

哈尔滨工业大学激光原理 2006 年真题

真空中的光速: $c=3 \times 10^8 \text{ m/s}$

普朗克常数: $h=6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

电子电荷: $e=1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

一、 填空 (每空 1.5 分, 共 30 分)

1、 可见光的波长范围在 $[(1)] \text{ nm} - [(2)] \text{ nm}$ 之间, 与其相应的光子能量在 $[(3)] \text{ eV} - [(4)] \text{ eV}$ 之间。

2、 光子与电子不同, 电子服从 $[(5)]$ 统计规律, 光子则服从 $[(6)]$ 统计规律。

3、 光子简并度 \bar{n} 是指 $[(7)]$ 。频率为 ν , 温度为 T 的普通光源的光子简并度

$\bar{n} = [(8)]$ 。频率为 ν , 单模发射功率为 P , 相干时间为 τ_c 的光子简并度为

$\bar{n} = [(9)]$ 。

4、 光线在自由空间中传输距离 L 时, 其传输矩阵为 $T_L = [(10)]$, 光线经曲率半径为 R 的球面镜反射时, 其反射矩阵为 $T_R = [(11)]$;

5、 某非稳腔, 若其往返几何放大率为 2, 则其往返损耗率为 $[(12)]$, 若该腔为虚共焦非稳腔, 其凹面镜的曲率半径为 1 m , 则凸面镜的曲率半径为 $[(13)] \text{ m}$ 。

6、 有一多纵模激光器, 纵模数是 1000 个, 该激光器腔长为 1.5 m , 输出激光的平均功率为 1 W , 设各纵模振幅相等, 则在锁模情况下, 光脉冲的周期为 $[(14)] \text{ s}$ 。

7、 在括号中填上能发射下列波长的激光器:

694.3 nm $[(17)]$ $1.06 \mu \text{ m}$ $[(18)]$ $10.6 \mu \text{ m}$ $[(19)]$ $3.39 \mu \text{ m}$ $[(20)]$

二、 简要回答下列问题 (每题 4 分, 共 40 分)

1、 什么是激光? 在什么条件下激光器可以产生激光?

2、 光学谐振腔的作用, 损耗类型及其描述;

3、 自发发射几率 A_{21} 与受激发射几率 W_{21} ;

4、 什么是介质的增益系数? 增益系数与哪些因素有关?

5、 什么是增益饱和? 均匀加宽与非均匀加宽两种情况下的增益饱和有何不同?

6、 高斯光束与普通球面波的区别和联系;

7、 激光频率牵引及其形成原因;

8、 使用光学非稳腔的优点;

9、 激光频率稳定性和再现度;

10、 说明锁模的概念。

三、 有一固体工作物质, 与激光作用有关的能级有四个, $E_1=0$, $E_2=1.79 \text{ eV}$, $E_3=2.25 \text{ eV}$, $E_4=3.10 \text{ eV}$, 激光发生在 $E_2 \rightarrow E_1$ 能级间。 E_3 、 E_4 能级是两个吸收能级, 即泵浦带, E_3 、 E_4 能级寿命为 $1 \times 10^{-7} \text{ s}$, E_2 能级寿命为 $1 \times 10^{-3} \text{ s}$, 激活粒子浓度 $n=1.6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, 用闪光灯泵浦。

(1) 画出能级图; (2 分)

(2) 说明该激光器的激光形成过程; (10 分)

(3) 为了有效的激发该工作物质, 闪光灯的闪光中必须含有什么波长的光?

(6 分)

(4) 该激光器发出的激光波长是多少? (3 分)

(5) 介质的粒子反转阈值 Δn_t 是多少?

四、 一球面腔, 两腔镜曲率半径 $R_1=1\text{m}$, $R_2=-1\text{m}$, 腔长 $L=0.5\text{m}$; 工作波长为 $\lambda=1\mu\text{m}$ 。

(1) 证明该腔为稳定腔; (2 分)

(2) 画出它的等价共焦腔; (12 分)

(3) 计算束腰尺寸 W_0 及两个反射镜上的光斑尺寸 W_{S1} 、 W_{S2} ; (9 分)

(4) 计算远场发散角 θ 。(3 分)

五、 设某连续运转激光器内增益介质小信号增益系数 $G^0 > a$ (a 为总损耗系数), 增益线宽内有两个模起振, 频率为 ν_1 、 ν_2 , 且 $\nu_2 > \nu_1 > \nu_0$ (ν_0 为增益曲线的中心频率)。试分析这两个模是否都能形成稳定振荡? (考虑均匀加宽和非均匀加宽两种情形) (10 分)

六、 画出下列腔内的光束特征。(10 分)

(1) 双凹腔 ($R_1=R_2=L$)

(2) 平凹腔 ($R>L$)

(3) 双凸腔

(4) 平凸腔

(5) 凹凸腔 ($R_1>0$, $R_2<0$, 且 $R_1+R_2=2L$)

七、 画出激光行波放大器的原理示意图, 并说明放大原理。(10 分)

一、填空

1、400; 760; 3.1; 1.6

2、费米—狄拉克; 玻色—爱因斯坦

3、处于同一个光子的量子状态中的平均光子数 (同态光子数); $\bar{n} = \frac{1}{e^{h\nu/kT}-1}$; $\bar{n} = \frac{P \cdot \tau_c}{h\nu}$

4、 $\begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2}{R} & 1 \end{bmatrix}$

5、0.75; -0.5

6、 10^{-8}s 7、红宝石激光器; 钕玻璃激光器; CO_2 激光器; He—Ne 激光器

二、简答题

1、激光是由受激发射光放大产生的光。其产生的必要条件是在外界激励下, 上下能级打到

粒子数反转, 即 $\Delta n = n_2 - n_1 \geq 0$, 充分条件是介质的增益要大于损耗, 即: $G^0 \geq \alpha$ 。2、1)提供光学反馈作用; 2)有波型限制作用 (对方向的限制, 对频率的限制); 3)提高光子的简并度。损耗类型有: 几何损耗、衍射损耗、透射损耗、其他损耗 (反射镜的散射、腔内激活物质的吸收、腔内插入物等所引起的损耗)。可以通过下几个方面进行描述 1)通过单程损耗因子 δ 描述; 2)通过光子在腔内的寿命来描述; 3)通过谐振腔的 Q 值来描述。3、单位时间内, 上能级单位体积内的原子数目变化为: $dn_2 = -A_{21}n_2dt$, 式中 A_{21} 即为自发发射系数, 是指单位时间内上能级自发跃迁到下能级的几率; 由于受激发射, 在 dt 时间内, 上能级上的粒子数变化为: $dn_2 = -B_{21}\rho_\nu n_2dt$, 式中 B_{21} 即为受激发射系数。4、介质的增益系数是光通过单位长度介质后光强增加的百分比, $G = \frac{dI}{Idz}$ 。具体的, $G = \Delta n \sigma_{21}$, 即增益系数与粒子反转大小 Δn 有关, 还与两个能级间的受激发射截面 σ_{21} 的大小有关。5、当激光器内光强达到一定值时, Δn (从而 G) 将随光强的增大而减小, 这种现象称为增益饱和; 均匀加宽情况下, 整个增益曲线均下降, 下降后的曲线宽度变宽 $\Delta\nu'_H = \sqrt{1 + \frac{I_\nu}{I_s}} \Delta\nu_H$, 即饱和后增益系数变小, 增益曲线变宽; 非均匀加宽情况下, 在对应于光强为 I_{ν_A} 的频率 ν_A 处将出现一个凹陷, 即烧孔效应。6、区别: 1)高斯光束是变曲率中心球面波, 即 $R(z) = z + \frac{f^2}{z}$; 2)高斯光束能量分布不均匀,以高斯形式分布; 3)二者传输规律不同; 联系: 如果用 q 参数表示高斯光束, 则 q 与 R 具有相同的传输规律。

7、有源腔的纵模频率比无源腔的纵模频率更靠近谱线中心, 这种现象叫做频率牵引。原因

是增益介质的色散作用。

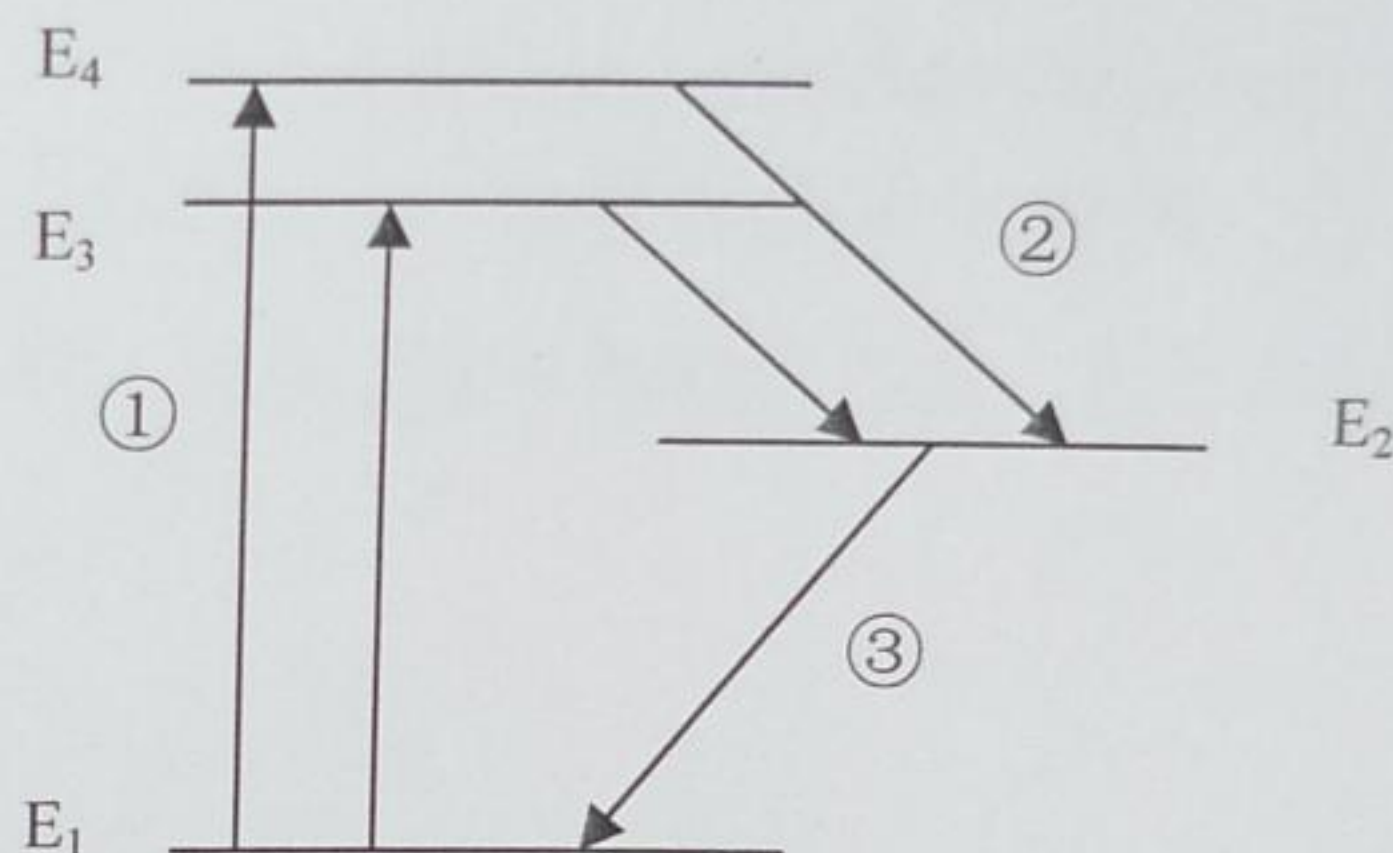
8、1)模体积大；2)容易获得单模振荡；3)易获得较理想的球面波或平面波

9、频率稳定度是指，激光器在连续运转时，在一定的观测时间 τ 内频率该变量 $\Delta\nu(\tau)$ 与该期间内的激光振荡参量 ν_s 之比，即 $S_\nu(\tau) = \frac{\Delta\nu(\tau)}{\nu_s}$ ；设激光器在工作过程中，参考标准频率

的最大偏移量为 $\nu_s' - \nu_s$ ，则定义频率再现度： $R_\nu = \frac{|\nu_s' - \nu_s|}{\nu_s}$ ，它描述参考标准频率本身的变化情况。

10、锁模是使光束中不同的振荡纵模具有确定的相位关系，从而使各个模式相干叠加，得到超短脉冲。

三、1、如图所示



- 2、1) 受激吸收过程①：E₁上的粒子在泵浦作用下被激发到E₃、E₄能级上
- 2) 无辐射跃迁②：E₃、E₄上的粒子快速无辐射跃迁到E₂能级上
- 3) 粒子数反转：在外界泵浦不断作用下，在E₂、E₁能级间形成粒子数反转
- 4) 形成激光③：通过谐振腔作用，形成激光
- 5) 个别自发发射，光放大

3、 $E_3 - E_1 = h\nu = hc/\lambda_1$ ， $E_4 - E_1 = h\nu = hc/\lambda_2$ ，带入数据得到 $\lambda_1 = 694.064\text{nm}$ ， $\lambda_2 = 552.167\text{nm}$ ，为了有效激发工作物质，必须将基态的粒子激发到E₃、E₄能级上去，这样闪光灯中必须含有能被这两个能级吸收的波长的光，所以必须含有的波长为694.064nm和552.167nm。

4、 $E_2 - E_1 = h\nu = hc/\lambda$ ， $\lambda = 694.3\text{nm}$ 。激光波长为694.3nm

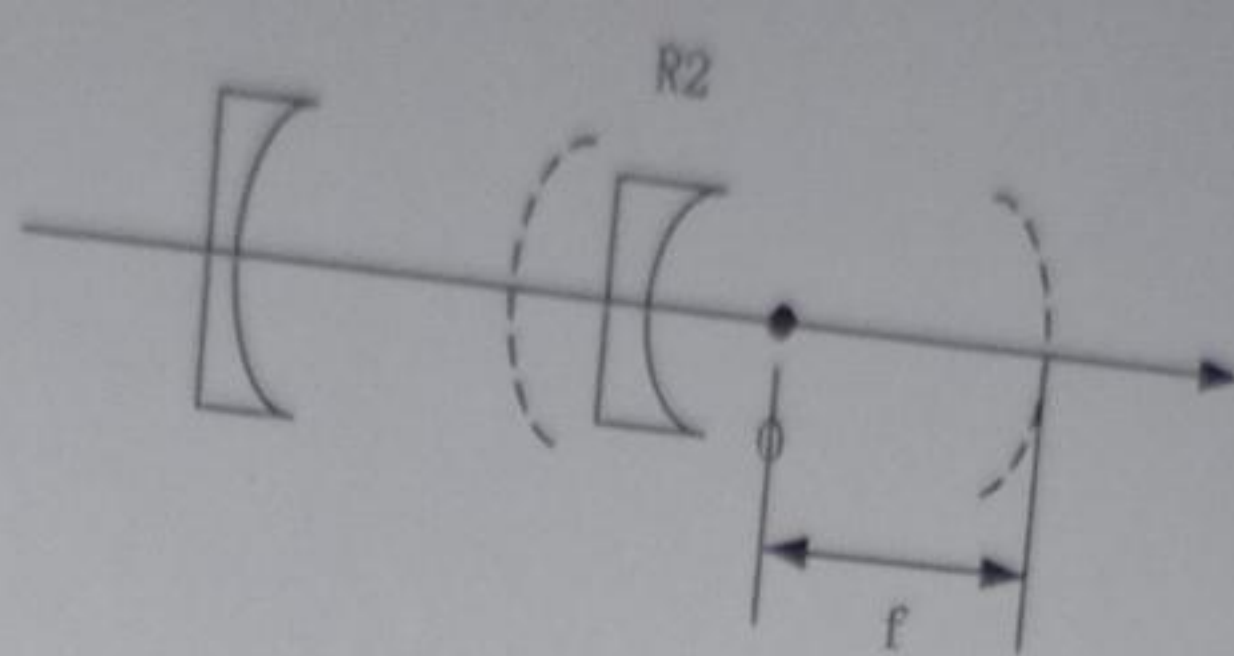
5、该系统为三能级系统，则其粒子数反转阈值为 $\Delta n_t = n/2$ ，则介质的粒子数反转阈值为 Δn_t 为 $0.8 \times 10^{19}/\text{cm}^3$

四、1、 $(1 - \frac{L}{R_1})(1 - \frac{L}{R_2}) = 0.75 < 1$ ，且 > 0 ，所以为稳定腔

$$2、z_1 = \frac{L(R_2 - L)}{2L - R_1 - R_2} = -0.75\text{m}，$$

$$z_2 = \frac{-L(R_1 - L)}{2L - R_1 - R_2} = -0.25\text{m}，$$

$$f = \left[\frac{L(R_1 - L)(R_2 - L)(R_1 + R_2 - L)}{(2L - R_1 - R_2)^2} \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{3}/4 = 0.433\text{m}$$



$$3、\omega_0 = \left(\frac{\lambda f}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} = 0.371 \text{ mm}$$

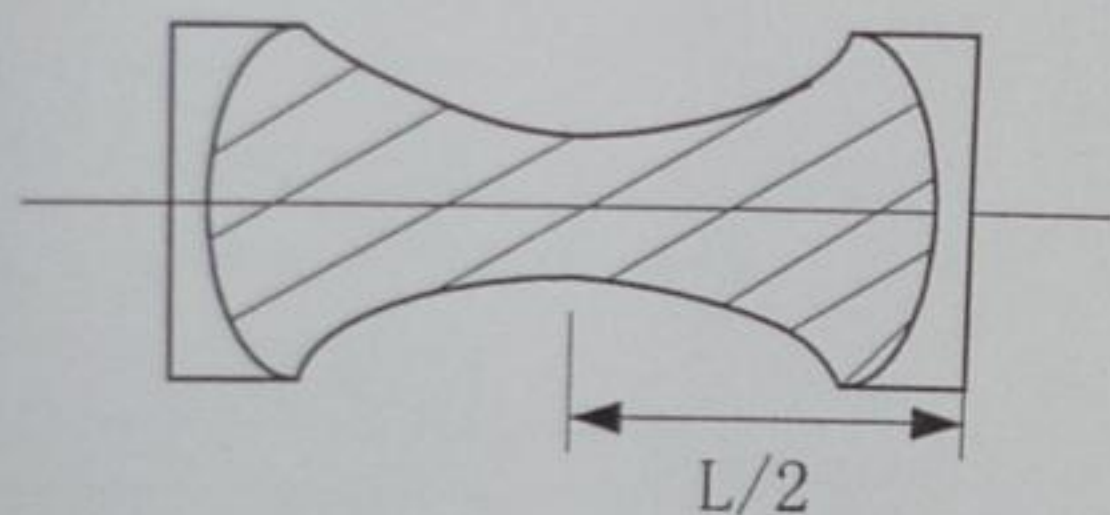
$$\omega_{s1} = \omega_0 \left[1 + \left(\frac{z_1}{f}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} = 0.742 \text{ mm}$$

$$\omega_{s2} = \omega_0 \left[1 + \left(\frac{z_2}{f}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} = 0.429 \text{ mm}$$

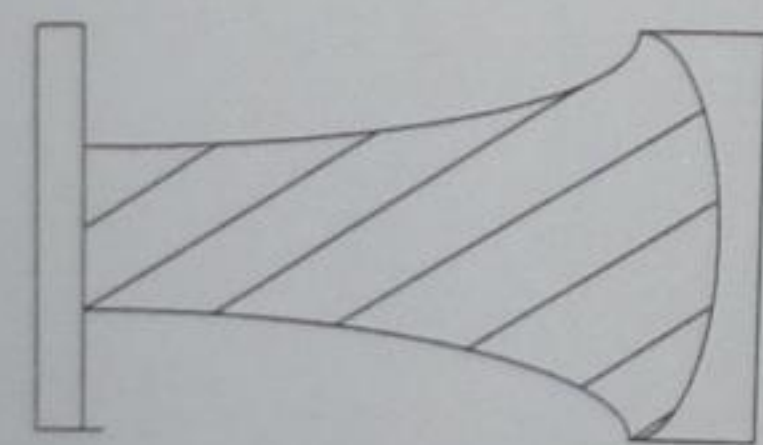
$$4、\theta = \frac{2\omega_0}{f} = 1.7147 \text{ mrad}$$

五、在均匀加宽情况下，由于模式竞争作用，只有靠近中心频率的模能够振荡，这样最后只有比较靠近中心频率的频率为 ν_1 的模能够稳定振荡。在非均匀加宽情况下，当 $|\nu_1 - \nu_2| > \sqrt{1 + I_r / I_s} \Delta \nu_H$ 时，两个模能够都稳定振荡，但是当 $|\nu_1 - \nu_2| < \sqrt{1 + I_r / I_s} \Delta \nu_H$ 时不能够稳定振荡。

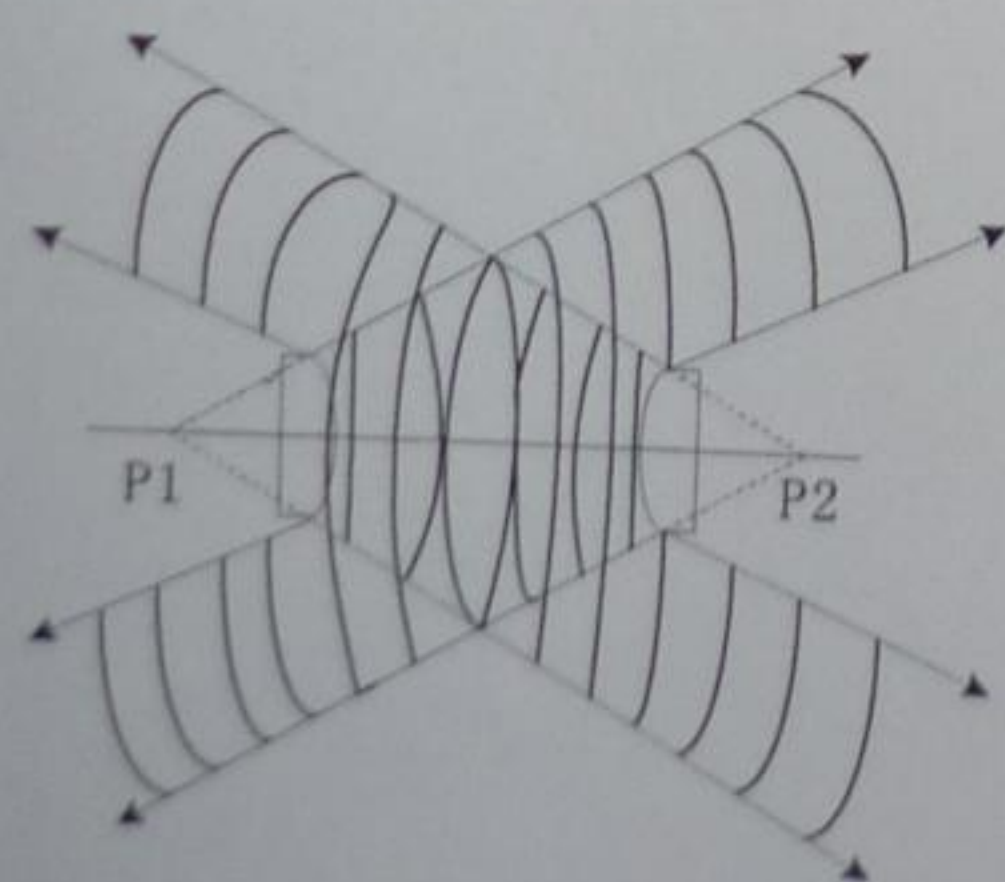
六、1、



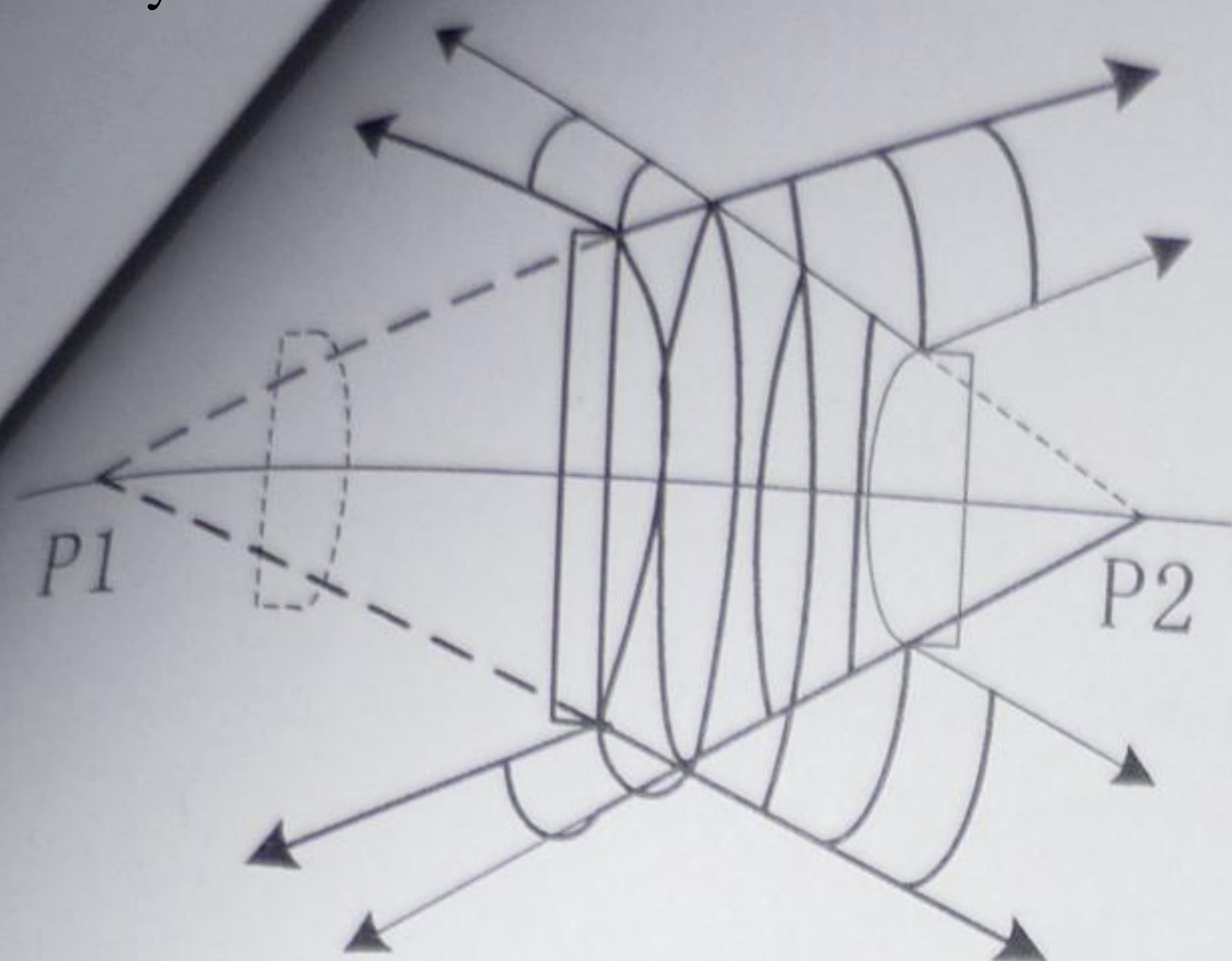
2、



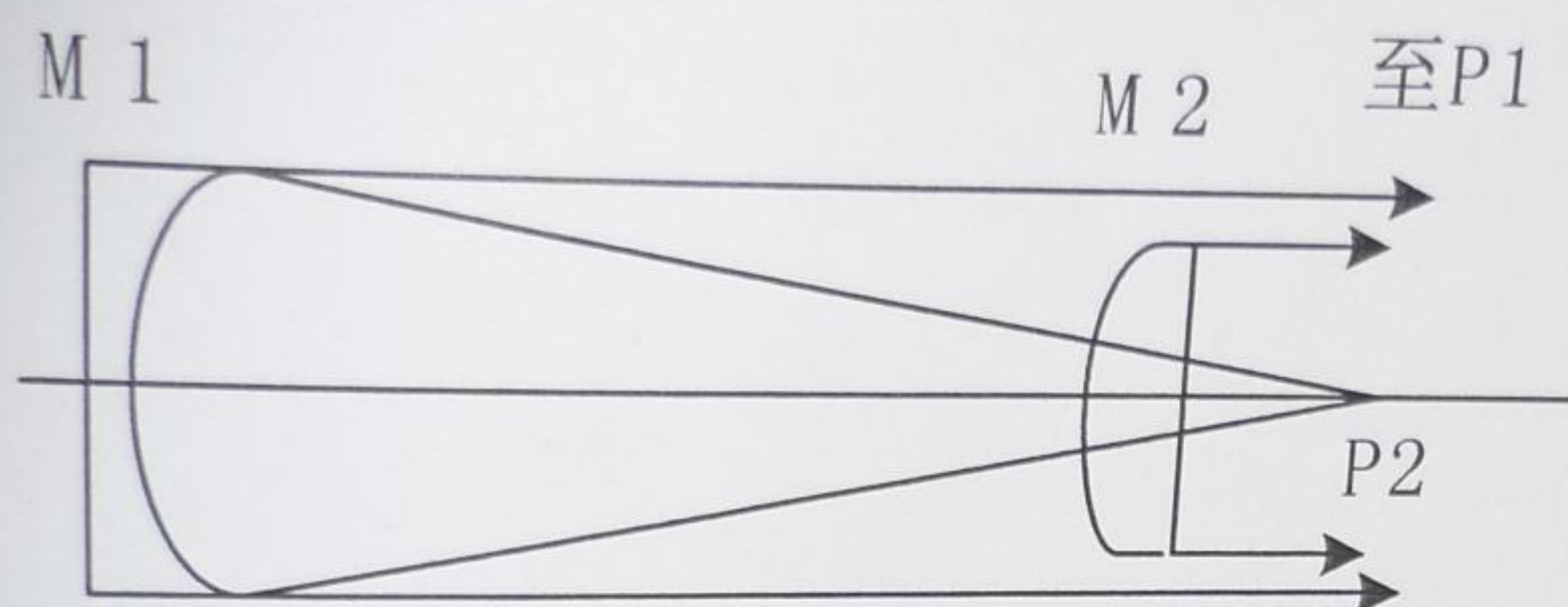
3、



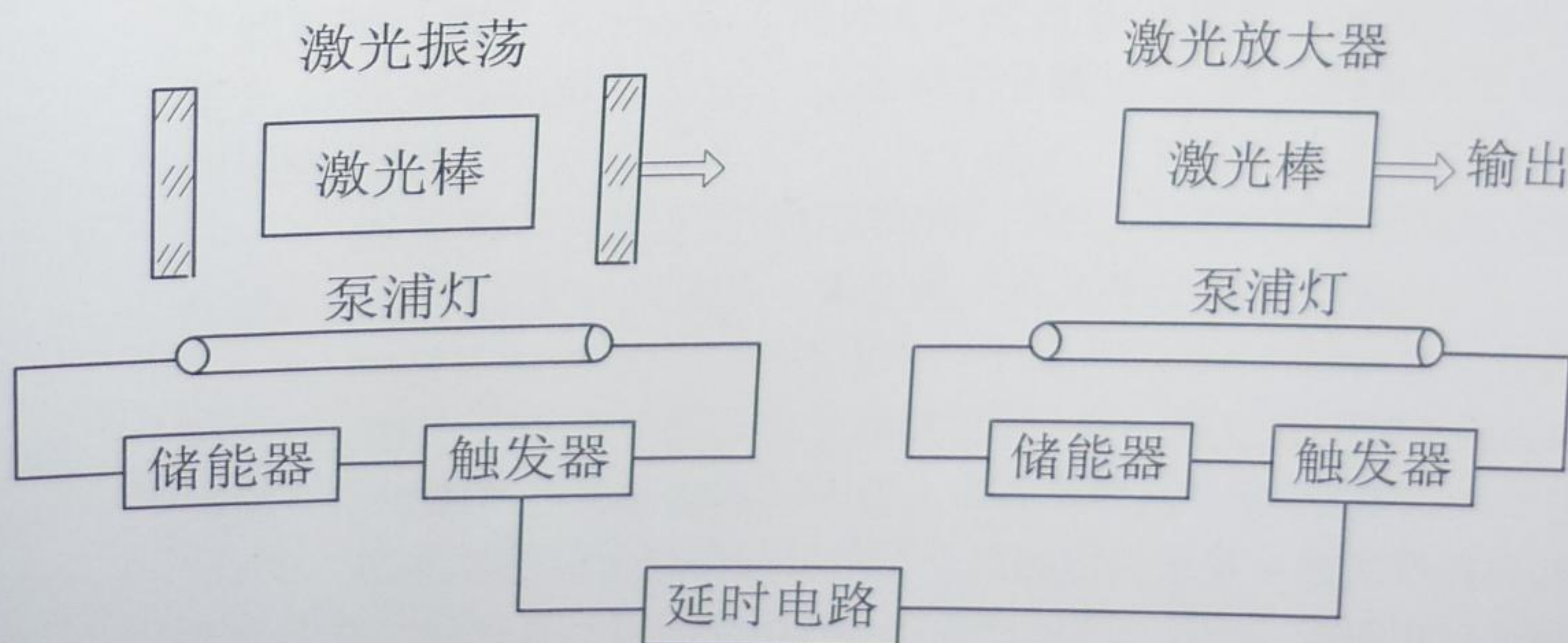
4、



5、



七、激光放大器利用受激发射进行光放大的。当一束激光射入具有粒子数反转的激光放大器时,由于入射光频率与放大介质的谱线频率相同,故激发态上的粒子数在外来信号的作用下,产生强烈的受激辐射。这种辐射叠加到外来光信号上而得到放大,因而放大器能够输出一束比原来激光亮度高得多的出射光束。



激光放大器工作示意图