2017激光原理期末考参考答案

一 简答题

1. 自激振荡的形成过程以及形成的条件。

形成过程：

自发辐射产生的光子在谐振腔中来回震荡，最终满足增益条件，并且沿轴向传播的那一部分光子得到了放大产生激光。

条件：

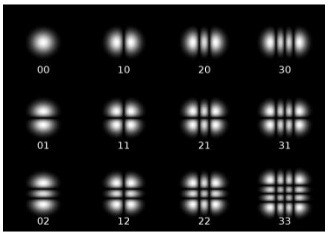
要利用增益介质实现对入射光的放大，应满足两个基本条件：

- 实现粒子数反转；
- G>a;

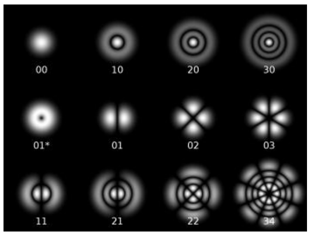
2. 什么是横模？并画出 TEM23 的模式分布图。

横模是指波动方程在横向满足边界条件的本证解 ，每一个解都对应一个光斑分布。

模式图可以参照下面的画法。



方形镜



圆形镜

3. 如何判断谐振腔的稳定性？说明非稳定谐振腔与稳定腔的使用情况。

透镜波导的稳定性条件为： $-1<(A+D)/2<1$

代入等效光学谐振腔的光线矩阵元素得到： $0<(1-L/R_1)(1-L/R_2)<1$

引入 g 参数后

$$\begin{cases} 0<g_1g_2<1 \\ g_1=1-\dfrac{L}{R_1}, g_2=1-\dfrac{L}{R_2} \end{cases}$$

具体判别方法有稳区图法，焦点判别法，σ 圆法。

（具体使用情况没找到，以下为感觉沾边的）

非稳腔相比稳定腔有如下优点：

1 大可控模体积 2 可控衍射耦合输出 3 良好的模式鉴别能力 4 容易构成单端输出

因此有如下腔型：见课本图 3.36 3.37 3.38 3.39

稳定腔有如下腔型：满足条件的双凹腔

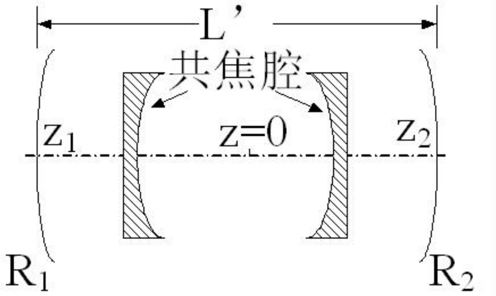
4. 什么是一般~~共焦~~圆形腔与对称共焦腔的等价性。

1、任意一个共焦球面腔与无穷多个稳定球面腔等价

– 等价——指两种腔具有相同的自再现模。

- 满足以下条件的无穷多个球面反射镜腔都等价于图中的共焦腔：

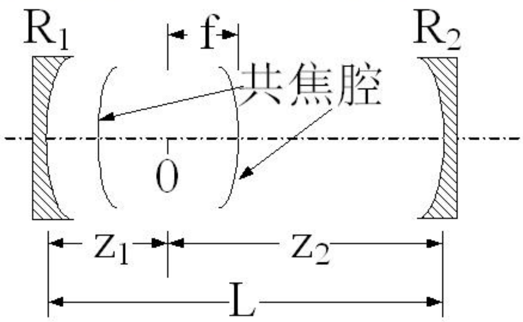
$$
\begin{cases}
R_1 = R(z_1) = -\left(z_1 + \dfrac{f^2}{z_1}\right) \\
R_2 = R(z_2) = \left(z_2 + \dfrac{f^2}{z_2}\right) \\
L' = z_2 - z_1
\end{cases}
$$



2、任一满足稳定条件的球面腔唯一地等价于某个共焦腔

– 以双凹腔为例

$$
\begin{cases}
R_1 = -\left(z_1 + f^2 / z_1\right) \\
R_2 = \left(z_2 + f^2 / z_2\right) \\
L = z_2 - z_1
\end{cases}
$$



5. 简要描述三能级与四能级系统的形成反转粒子数的区别，并说明三能级系统形成反转粒子数为什么比四能级系统更加困难？画出三能级激光器的能级图，并写出速率方程。

区别：

2. 四能级激光器阈值泵浦能量(功率)

对于四能级系统，分析方法与三能级系统类似。所不同的是，在四能级系统中，激光下能级不是基态而是激发态 E_1，E_1 能级的无辐射跃迁速率 S_{10} 很大，因此

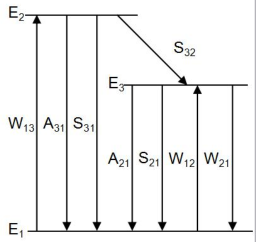
$$n_1 \simeq 0 \tag{6.2.21}$$

困难的原因

(1) 三能级系统所需的阈值能量比四能级大得多，这是因为四能级系统的激光下能级在基态之上，$n_2 \simeq 0$，所以只需把 Δn_t 个粒子激励到 E_3 能级去就可以使增益克服腔的损耗而产生激光。而在三能级系统中，激光下能级是基态，因此至少要将 $n/2$ 个粒子激励到 E_2 能级上去才能形成粒子数反转。而 $n/2 \gg \Delta n_t$，所以三能级系统的阈值能量(功率)要比四能级系统大得

能级图

- **1、三能级系统速率方程**
  - W_{13}为抽运几率
  - A_{31}为自发辐射几率
  - S_{32}、S_{31}为热驰豫(无辐射跃迁)几率
  - $S_{31} << S_{32}$、$A_{31} << S_{32}$
  - S_{32}远大于S_{31}和A_{31}，基态E_1上的粒子被抽运到E_3态后，会迅速通过S_{32}到达E_2能级；
  - E_2能级粒子寿命较长，被称为亚稳态，当没有形成受激辐射时，会主要以较小的A_{21}回到基态，因此可以在E_2和E_1间形成粒子数反转；
  - 一旦形成受激辐射，则W_{12}和W_{21}将占绝对优势。



速率方程

可以写出各能级粒子数变化速率的方程：

$$\frac{dn_3}{dt} = n_1 W_{13} - n_3 \left(S_{32} + A_{31}\right)$$

同S32和A31相比，S31的影响很小，因此忽略不计

$$\frac{dn_2}{dt} = n_1 W_{12} - n_2 W_{21} - n_2 \left(A_{21} + S_{21}\right) + n_3 S_{32}$$

$$n_1 + n_2 + n_3 = n$$

粒子数守恒公式
n为系统内总粒子数

若第l个模的光子寿命为 τ_{Rl}，则第l模的光子数密度变化速率为：

$$\frac{dN_l}{dt} = n_2 W_{21} - n_1 W_{12} - \frac{N_l}{\tau_{Rl}}$$

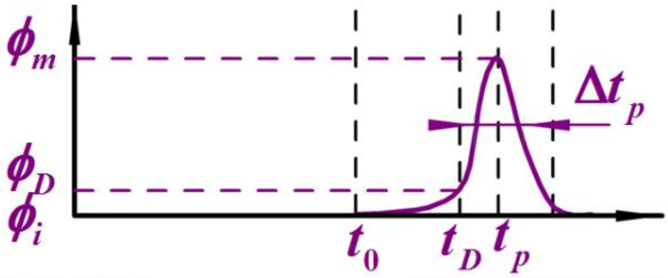
光子寿命的缩短是由光腔的损耗引起的

6.超阈度的定义。同时请描述调 Q 过程中其和峰值光子数、峰值功率、脉冲能量、能量利用率、脉冲宽度与脉冲建立时间等的关系。

- **调Q的关键参数**
  - **1、超阈度**

$$\left.\begin{array}{l} \text{在}t>0\text{附近，}\Delta n\approx\Delta n_i \\ \dfrac{d\phi}{dt}=\left(\dfrac{\Delta n}{\Delta n_t}-1\right)\delta_c\phi \end{array}\right\}\Rightarrow \phi\approx\phi_0\exp\left[(D-1)\delta_c t\right]\Rightarrow D\uparrow\rightarrow t_D\downarrow$$

$$D\uparrow\Rightarrow\left\{\begin{array}{l}\phi_m\uparrow\\ P_m\uparrow\\ E\uparrow\\ \eta\uparrow\\ \Delta t\downarrow\end{array}\right.$$



调 Q 过程中的一个关键参量使超阈度 D，超阈度 D 的值越高，峰值光子数 Φ_m越高，脉冲峰值功率 P_m越高，能量利用率 n_f越高，脉冲能量 E 越高，脉冲建立时间 t_D越短，调 Q 脉冲宽度 $\Delta\tau_p$越窄。即随着超阈度 D 的增加，调 Q 脉冲参数变好。

8.3

$D=\dfrac{\Delta n_i}{\Delta N_{th}}$

$D\uparrow \quad \phi_m\uparrow \; P_m\uparrow \; n_f\uparrow E\uparrow t_D\downarrow$

$\Delta\tau_p\downarrow$

$\Delta p\cdot\Delta x\geq\frac{1}{2}\hbar$

二 计算题

二．某腔中有两个模式，频率分别是 v1 和 v2，假设这两个模式都大于阈值 G1，且满足 v0<v2<v1，其中 v0 是中心频率，画出题型，试问：这两个模式是否都稳定振荡？

（1）均匀加宽情况下；

（2）非均匀加宽情况下。

1. 不能

由此可见，在均匀加宽的情况下，由于每个粒子对整个增益曲线都有贡献，所以当某一频率的强光(ν_1)的受激辐射消耗了激发态的粒子时，也就减少了对其他频率(ν)信号的增益起作用的粒子数。其结果是，整个增益曲线均匀下降。因此在均匀加宽激光器中，当一个模式振荡后，就会使其他模式的增益降低，从而阻止了其他模式的振荡。图 5.3 表示均匀加宽工作物质中频率 ν_1 的强光入射使增益曲线均匀饱和的情况。

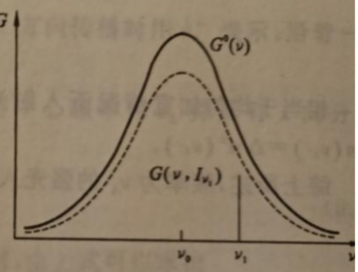
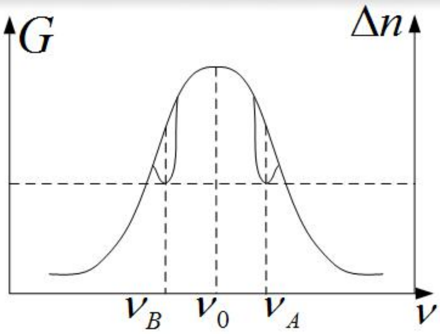


图 5.3 均匀加宽工作物质增益曲线

2. 看情况

现象：对于强光入射的 $I_{\nu A}$，会在增益曲线以及粒子反转数曲线上产生关于中心频率 ν_0 对称的两个烧孔。形成的原因如左图所示：



这个要看 v2 v1 间的距离是不是在下面这个频率范围内

频率 $\delta\nu = \Delta\nu_H \sqrt{1 + I_{\nu_A} / I_S}$ 范围

在就不行，不在就行

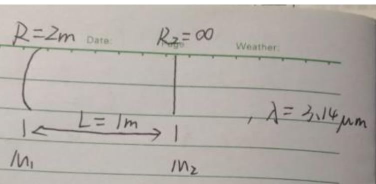
三．现有一平凹腔，曲率半径是 R=2m，腔厂 L=1m，输出波长是 3.14um，求：

（1）判断该腔的稳定性；

（2）输出端光斑尺寸；

（3）若 F=0.1m 的薄透镜对高斯光束聚焦，求束腰的大小及位置。

这题没有说哪里输出。我按照平面镜做输出镜做的。



1) $g_1 = 1 - \frac{L}{R_1} = 0.5$　　$0 < g_1 g_2 = 0.5 < 1$

$g_2 = 1 - \frac{L}{R_2} = 1$

∴ 稳定腔

2) $\cancel{\omega_0 = \sqrt{\frac{\lambda}{\pi}} =}$

往返传输光线矩阵为

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2}{R} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$$　（矩阵写法参照150题，不知道顺序会不会有影响）

由于稳定腔自再现

$$q_{out} = \frac{A q_{out} + B}{C q_{out} + D} = \frac{1}{-q_{out}} \Rightarrow q_{out} = \pm i$$

又 $q_{out} = i f = i \frac{\pi \omega_0^2}{\lambda}$

$$\therefore \frac{\pi \omega_0^2}{\lambda} = 1 \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{\lambda}{\pi}} = 0.9997\ mm \approx 1\ mm$$

M_2 输出，此处光斑即为束腰

∴ M_2 光斑为 1mm

（题目如果 M_2 不是平面就要拿别的公式用束腰去算）

3) 题目没说 l

取 $l = 0$

则

$$\omega_0' = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{F}\right)^2}} = \cancel{\quad} \ 0.3\ mm$$

$$l' = \frac{F}{1 + \left(\frac{F}{f}\right)^2} \approx 1\ mm$$

四．一虚共焦的 CO_2 激光器，腔厂是 L=1m，，凸面镜 M_2 半径和曲率半径 a2=3cm，R=1m，保持 a2 不变并从凸面镜 M2 单端输出。

（1）求凹透镜的曲率半径 R1，并说明 a1 如何选择；

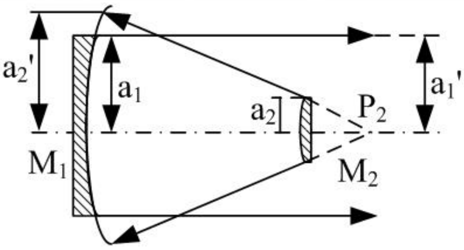
（2）求几何放大率和往返损耗。(1) $R_1+R_2=2L$

佛了，这题目凸面镜的 R 是正的。我按照-1 算的。题目模型如下：

- **对望远镜腔，可以求出：**

$$\begin{cases} m1 = a1'/a1 = 1 \\ m2 = a2'/a2 = \left|\frac{R_1}{2}\right| / \left|\frac{R_2}{2}\right| = \left|\frac{R_1}{R_2}\right| = \left|\frac{g_2}{g_1}\right| \end{cases}$$

$$M = m_1 m_2 = \left|\frac{g_2}{g_1}\right| = \left|\frac{f_1}{f_2}\right|$$



M_2: $a_2 = 3cm$, $R_2 = -1m$

1) $R_1 + R_2 = 2L \Rightarrow R_1 = 3m$

$m_1 = 1$, $m_2 = \left|\frac{R_1}{R_2}\right| = 3$

∵ 从 M_2 单端输出平面波

∴ $\Gamma_1 = \frac{a_2}{a_1 m_1} = 1$ (二维) $\Rightarrow a_1 = 3cm$

或 $\Gamma_1 = \left(\frac{a_2}{a_1 m_1}\right)^2 = 1$ (三维)

2) $M = m_1 m_2 = 3$

损耗: $\delta_{二维} = 1 - \frac{1}{M} = \frac{2}{3}$

$\delta_{三维} = 1 - \frac{1}{M^2} = \frac{8}{9}$

另：非稳腔不可能考不共焦的，不共焦的公式看着就晕，出了大家就一起扑街把

五．谐振腔的腔厂 $L=1m$，截面面积是 $50mm^2$，第一面镜和第二面镜的反射率分别是 100%和 98%，往返的损耗为 $2\delta=0.1$，腔内压强是 $P=3000pa$，均匀加宽情况下 $\Delta v1=0.049MHz/pa$，理想情况下最大 $G=1.48*10^5$，$Iz=0.72w/mm2$。

（1）求振荡线宽；

（2）谐振腔内最多接受能振荡的纵模个数；

（3）当 $vq=v0$ 时，求输出功率 P。

我感觉这题有问题，上课老师讲了均匀加宽有两种，自然加宽和碰撞加宽

我不知道振荡线宽是啥，自然加宽又没有条件，就没考虑，这道题基本瞎蒙

1) $\Delta \nu_H = \Delta \nu_L = \alpha \cdot P = 1.47 \times 10^8 Hz$

2) $\Delta \nu_q = \frac{c}{2L} = 1.5 \times 10^8 Hz$

$\left[\frac{\Delta \nu_H}{\Delta \nu_q}\right] + 1 = 1$

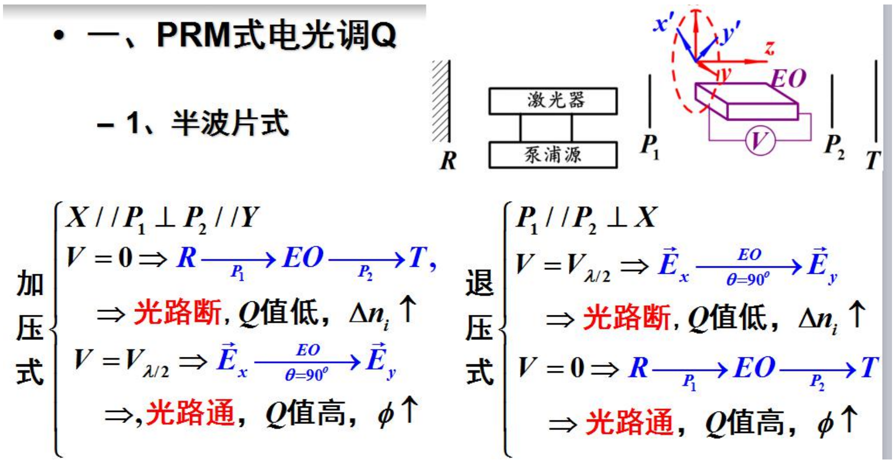
3) $P = A \cdot I_z \cdot G \cdot (1-2\delta) \cdot 2\%$

$= 50mm^2 \cdot 0.72W/mm^2 \cdot 1.48 \cdot 10^5 \cdot 0.9 \cdot 2\%$

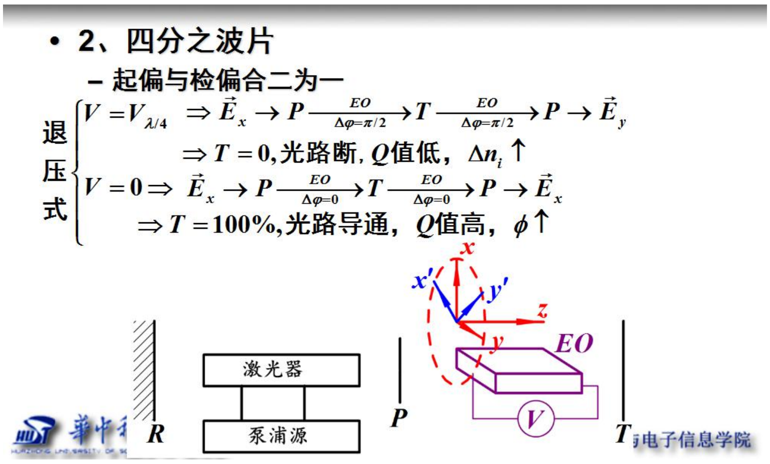
$= 9.59 \times 10^4 W$

六、①请画出 PRM 电光调 Q 装置图并简述其工作过程。
②请在装置图中画出光束的偏振变化。

1



或



两个选一个就可以了？

2. 偏振方向

结合一下文字说明看一下即可

七、光学腔长 L=0.75m，激光振荡线宽$\Delta\nu=2*10^9$Hz，平均功率为 1W，在等振幅近似下求：
①锁模脉冲宽度和周期。
②声光电源的驱动频率和锁模脉冲的峰值功率。
③当腔长变短时，求能够出现锁模状态的最小腔长 Lmin 以及 Lmin 相对应的锁模脉冲宽度，周期和峰值功率。

1) $\Delta\nu_q = \frac{c}{2L} = 2\times10^8\ Hz$

$2N+1 = \left[\frac{\Delta\nu_g}{\Delta\nu_q}\right]+1 = 11$

$\Delta\tau = \frac{1}{(2N+1)\Delta\nu_q} = 4.5\times10^{-10}\ s$

$T = \frac{2L}{c} = 5\times10^{-9}\ s$

2) $P_m = (2N+1)\bar{P} = 11W$

$f_s = \frac{\Delta\nu_q}{2} = 10^8\ Hz$

3) L_{min} 对应 $2N+1\geq3$ 即 $\left[\frac{\Delta\nu_g}{\Delta\nu_q}\right]+1=3$

$\Rightarrow \Delta\nu_q = \frac{\Delta\nu_g}{2} = 10^9\ Hz$

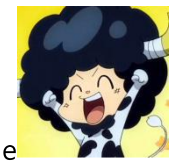
$L_{min} = \frac{c}{2\Delta\nu_q} = 0.15m$

$\Delta\tau = \frac{1}{(2N+1)\Delta\nu_q} = 3.3\times10^{-10}\ s$

$T = \frac{2L}{c} = 10^{-9}\ s$

$P_m = (2N+1)\bar{P} = 3W$

水平有限，肯定有错，快乐突击，仅供参考



Proudly produced by Charlie