

哈尔滨工业大学激光原理 2005 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 (760nm—400 nm) 的光子能量在 $[1.6]$ eV— $[3.1]$ eV 之间。
- 2、 光子的自旋为 $[3/2]$ 数, 所以光子服从 $[4]$ 统计规律。
- 3、 原子发射光谱线的自然加宽起因于 $[5]$, 其光谱线的线型是 $[6]$ 型; 光谱线的多普勒加宽起因于 $[7]$, 其线型为 $[8]$ 型。
- 4、 用曲率半径 $R_1=1\text{m}$ 与 $R_2=0.5\text{m}$ 的两个反射镜组成腔长为 L 的双凹谐振腔。当 $0.5\text{m} < L < 1.0\text{m}$ 时, 该腔为 $[9]$ 腔; 当 $1\text{m} < L < 1.5\text{m}$ 时, 该腔为 $[10]$ 腔。
- 5、 腔长为 0.3m 的平行平面腔, 一端为全反镜, 另一端反射镜的反射率为 0.98 , 那么光子在腔内的平均单程损耗因子 $\delta=[11]$, 腔内光子寿命为 $[12]$ 。
- 6、 由曲率半径 $R_1=40\text{cm}$, $R_2=-20\text{cm}$, $L=10\text{cm}$ 组成的虚共焦非稳腔, 光线在其中往返一周的几何放大率 $M=[13]$, 往返损耗率 $\xi_{\text{往返}}=[14]$ 。
- 7、 设波长为 $\lambda=1 \times 10^{-6}\text{m}$ 的某高斯光束的 q 参数为 $q(Z)$, 且

$$\frac{1}{q(z)} = (1 - \frac{i}{\pi}) [m^{-1}], \text{ 则该高斯光束的波阵面曲率半径 } R(Z) = [15], \text{ 光}$$

斑尺寸 $\omega(Z) = [16]$ 。

- 8、 设 $G^0(\nu_0)$ 为激光介质中心频率处小信号增益系数, I_{ν_0} 为激光腔内中心频率处的光强, 若 $I_{\nu_0}=I_s$ (饱和参量), 则对于均匀加宽介质, $G_H(\nu_0, I_s) = [17]$, 对于多普勒非均匀加宽介质, $G_L(\nu_0, I_s) = [18]$ 。
- 9、 介质的增益曲线出现局部凹陷 (烧孔) 的条件是 $[19]$, 各凹陷互不重叠的条件是 $[20]$ 。

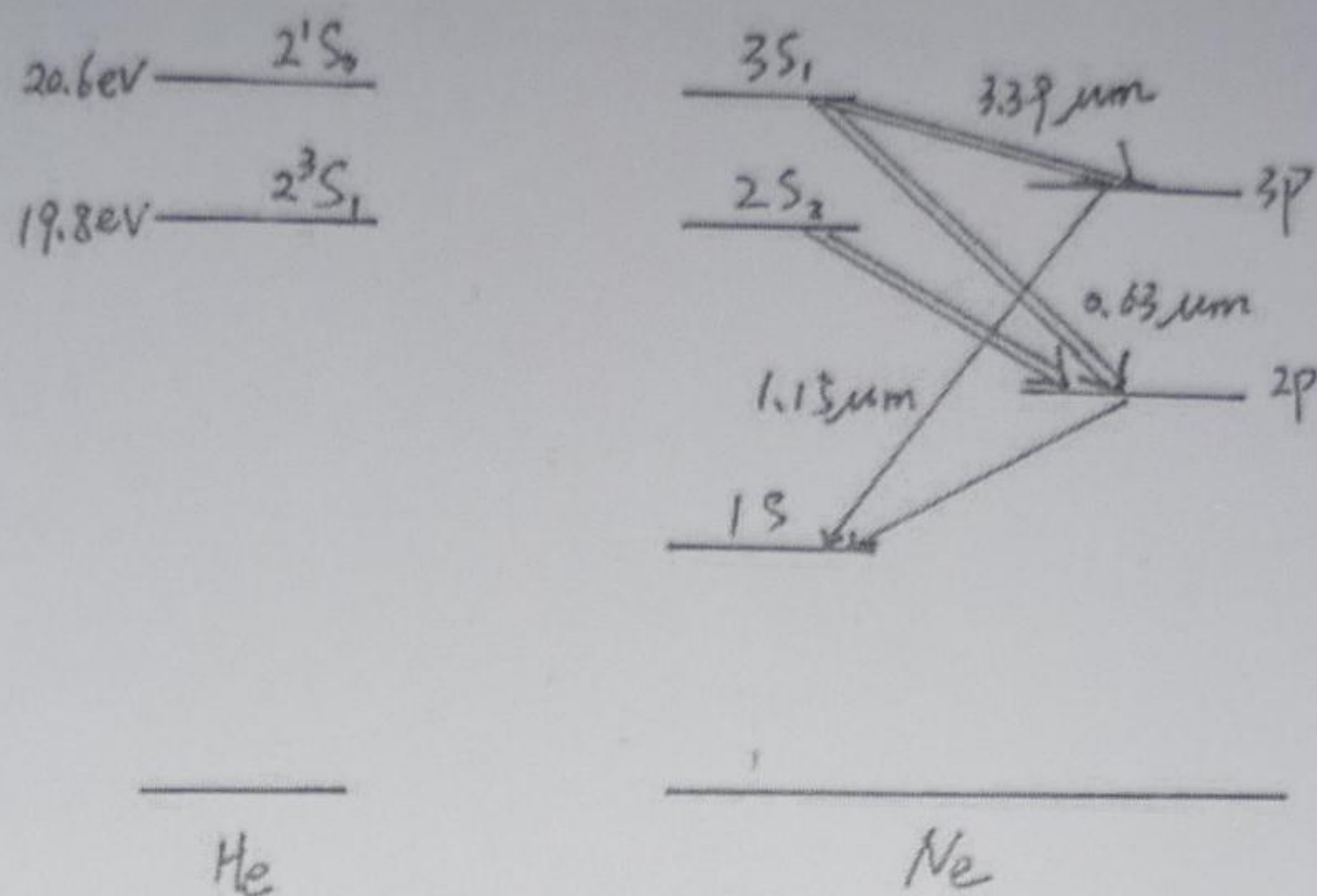
二、 简要回答下列问题 (每题 4 分, 共 40 分)

- 1、 原子的自发发射与受激发射, 自发发射系数与受激发射系数;
- 2、 激光及其产生条件;
- 3、 光波模式的概念, 激光器中的横模与纵模;
- 4、 什么是介质的增益系数? 增益系数与哪些因素有关? 什么是增益饱和?
- 5、 激光器的速率方程;
- 6、 兰姆凹陷及产生条件;
- 7、 光学谐振腔的作用;
- 8、 谐振腔的损耗类型及对损耗的描述;
- 9、 介质对光的正常色散与反常色散;
- 10、 激光为什么具有很高的亮度?

三、 对于 He—Ne 激光器, 回答如下问题:

- (1) 画出 He—Ne 激光器基本结构示意图, 说明各部分作用; (5 分)
- (2) 说明激光形成原理; (15 分)
- (3) 为什么不采用光泵去激励 He—Ne 激光器? (2 分)
- (4) 为什么可以通过能量共振转移, 使 Ne 原子得到激发? (2 分)
- (5) He—Ne 激光器可产生三种波长的激光, 如果只需要一种波长, 怎么办?

$= -\frac{1}{2} \ln r_1 r_2$
 $= I_0 e^{-2\delta}$
 $= r_1 r_2 I_0$



He—Ne 激光器能级结构图

四、 一平凹稳定腔，凹面镜曲率半径 $R=2m$ ，腔长 $L=1m$ ；工作波长为 $\lambda=3.14\mu m$ 。

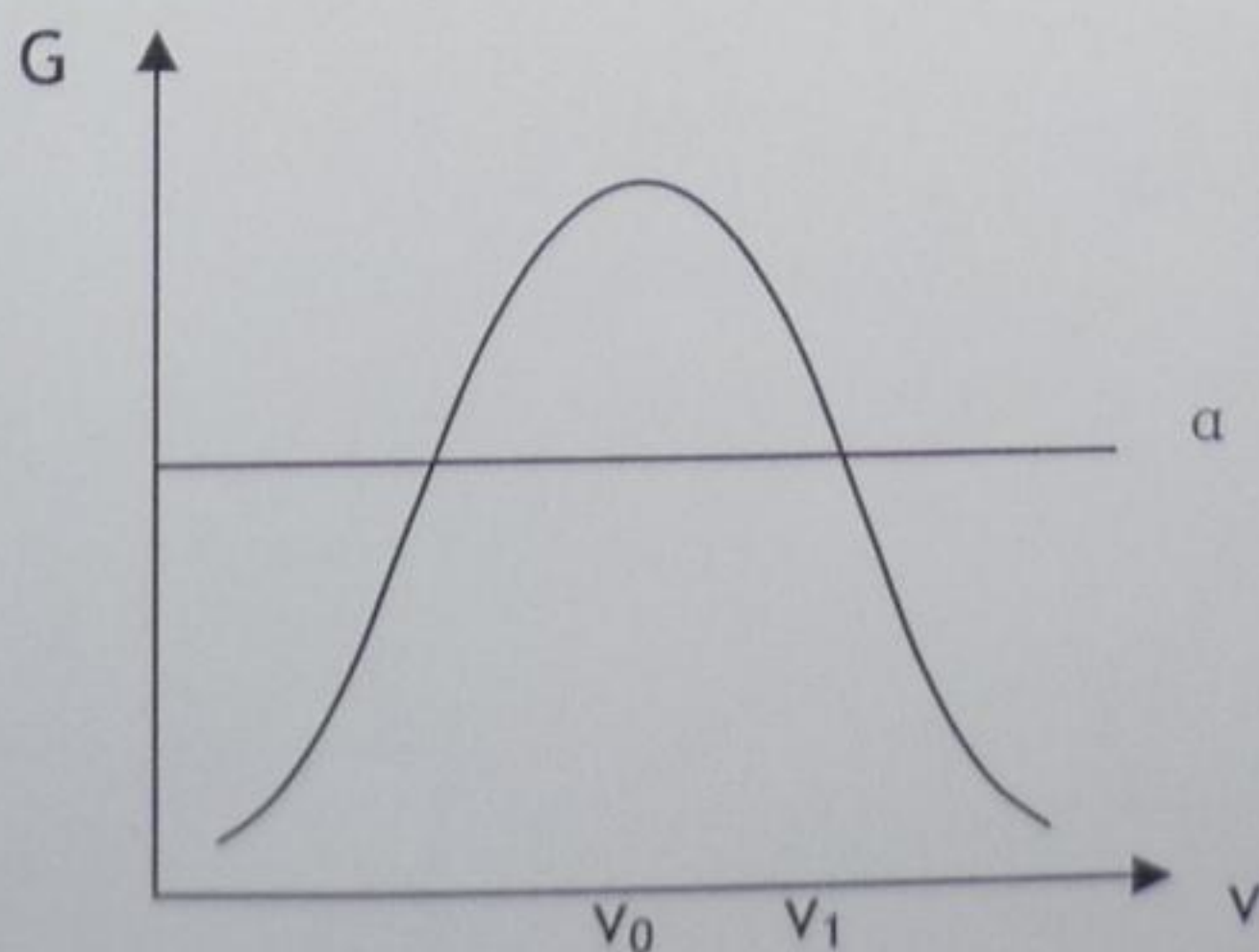
- (1) 画出它的等价共焦腔的位置； (5分)
- (2) 计算束腰尺寸 ω_0 及两个反射镜上的光斑尺寸 ω_{s1} 、 ω_{s2} ； (9分)
- (3) 计算远场发散角 θ 。 (3分)
- (4) 若谐振腔内所充气体介质（折射率 $n=1$ ）的多普勒宽度 $\Delta\nu_D=1500MHz$ ，均匀线宽 $\Delta\nu_H=15MHz$ ，问该腔内可能有多少个纵模振荡？ (3分)

五、 设某气体激光器（运行波长 $\lambda=1\mu m$ ）的激光上下能级寿命 $\tau_3=2 \times 10^{-8}s$ ， $\tau_2=2 \times 10^{-8}s$ ，放电管内气压 $P=267Pa$ ，原子量 $M=20$ ，压力加宽系数 $\alpha=0.75MHz/Pa$ ，

- (1) 计算谱线的均匀加宽 $\Delta\nu_H$ ； (5分)
- (2) 计算 $T=320K$ 时多普勒加宽 $\Delta\nu_D$ 。 (5分)

六、 图中所示为介质的小信号增益系数曲线， α 表示单位长度上的损耗。介质的自然线宽为 $\Delta\nu_N=1MHz$ ，多普勒线宽为 $\Delta\nu_D=60MHz$ ，试画出下列情况下，激光器稳定振荡（频率为 ν ，强度为 $I\nu$ ）时增益曲线示意图：（共 16分）

- (1) 碰撞线宽 $\Delta\nu_L=6MHz$ ， $\nu=\nu_1$ ；
- (2) 碰撞线宽 $\Delta\nu_L=6MHz$ ， $\nu=\nu_0$ ；
- (3) 碰撞线宽 $\Delta\nu_L=600MHz$ ， $\nu=\nu_1$ ；
- (4) 碰撞线宽 $\Delta\nu_L=600MHz$ ， $\nu=\nu_0$ ；



七、 画出下列情况下，激光器反射镜上的强度花样（8分）

对方形镜共焦腔： TEM_{00} 、 TEM_{10} 、 TEM_{20} 、 TEM_{11}

对圆形镜共焦腔： TEM_{00} 、 TEM_{01} 、 TEM_{02} 、 TEM_{20}

(2005年物理电子学专业激光原理[417]硕士研究生考试
试题)

一. 填空 (每空^{1.5}分, 共³⁰分)

- ① 1.6, ② 3.1, ③ 整, ④ 玻色-爱因斯坦, ⑤ 原子激发态
的寿命有限, ⑥ 洛伦兹, ⑦ 原子相对于接收器有一定运动
速度, ⑧ 高斯, ⑨ 非稳, ⑩ 稳定, ⑪ 0.01, ⑫ $1 \times 10^{-7} \text{s}$,
⑬ 2, ⑭ 0.75, ⑮ 1m, ⑯ $1 \times 10^{-3} \text{m}$, ⑰ $\frac{\varphi(\nu)}{2}$, ⑱ $\frac{\varphi(\nu)}{\sqrt{2}}$.
⑲ $\Delta\nu_D \gg \Delta\nu_H$, ⑳ $\frac{c}{2L} > \sqrt{1 + I_D/I_S} \Delta\nu_H$.

二. 简答题 (每题4分, 共40分)

1. 在设有外界作用情况下, 处于高能级 ^{E_2} 上的原子, 会自发地跃
迁到较低能级 E_1 上, 并放出光子的现象. 光子频率 $h\nu = E_2 - E_1$

$$dn_2 = -A_{21} n_2 dt$$

A_{21} 为自发发射系数.

处于高能级 E_2 上的原子, 在光子 $h\nu$ 的作用下, 如果 $h\nu$
 $= E_2 - E_1$, 则让原子会跃迁到较低能级 E_1 , 并放出与原来射
入的光子完全一样的光子. 称为受激发射.

$$dn_2 = -B_{21} \rho_\nu n_2 dt$$

B_{21} 为受激发射系数.

2. 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,上下能级达到粒子数反转,即 $\Delta n = n_2 - n_1 \geq 0$. 充分条件是介质的增益要大于损耗: $G^0 \geq \alpha$.

3. 光波的一种模式即是光电磁场的一种分布。激光腔中,光场在纵向上的分布(以波节为标志),称为纵模,光场在横向上的分布(以衍射花样为标志),称为横模。用TEM_{mn}表示, m 为横模指数, n 为纵模指数。

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。 $G = \frac{dI}{I dz}$. 具体地, $G = \Delta n \sigma_{21}$. 即增益系数与粒子数反转 Δn 有关,还与两个能级间的受激发射截面 σ_{21} 的大小有关。随着腔内光强的增加, Δn 要减小,因而增益系数也要减小。平衡时增益系数 $G^0 = \alpha$. 由于饱和, 稳态时, 总有 $G = \alpha$.

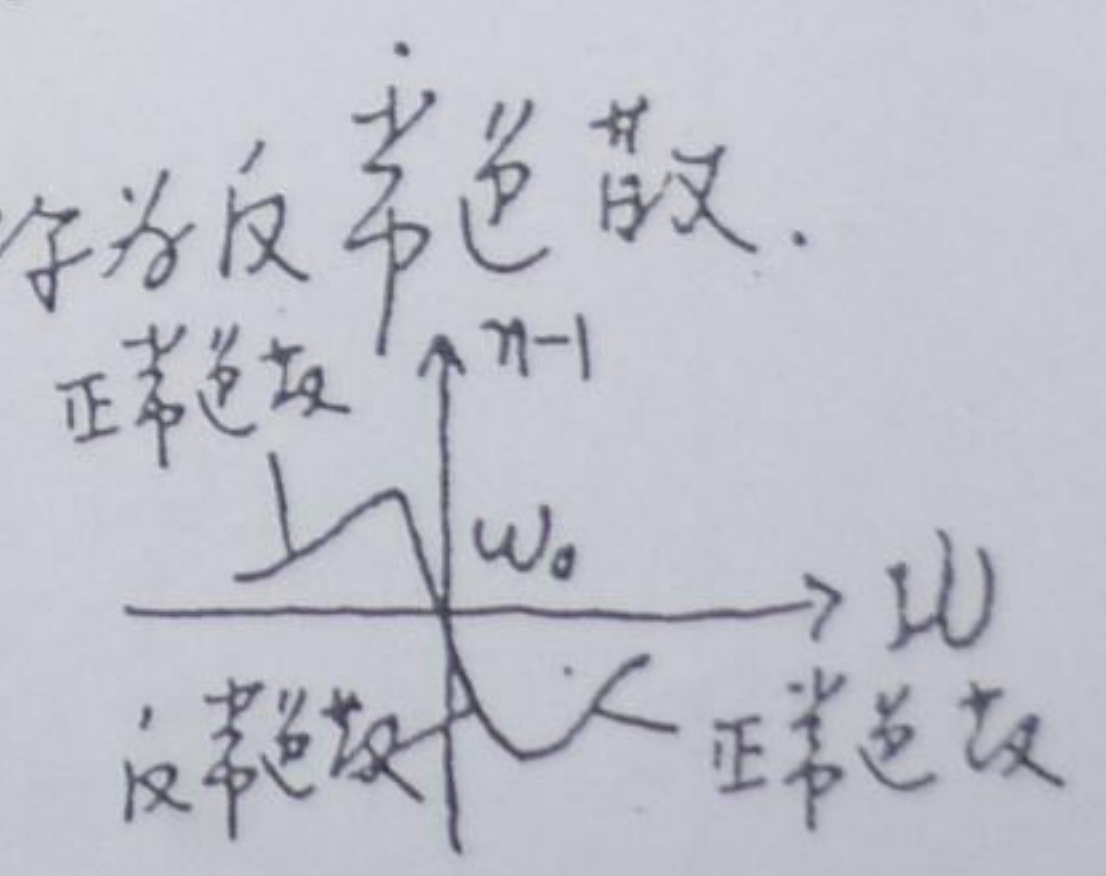
5. 与激光作用有关的各能级粒子数随时间的变化方程以及谐振腔内光子数随时间的变化方程, 就称为速率方程。

6. 在非均匀介质中激光振荡中, 当把激光频率调整到原子谱线中心频率时, 输出功率反而下降的现象, 称为兰姆凹陷. 产生条件是 $\Delta \omega_0 \gg \Delta \omega_L$.

7. ①. 提供光子反馈作用, ②. 波型限制作用 (对方向的限制, 对频率的限制) ③. 提高光子简并度.

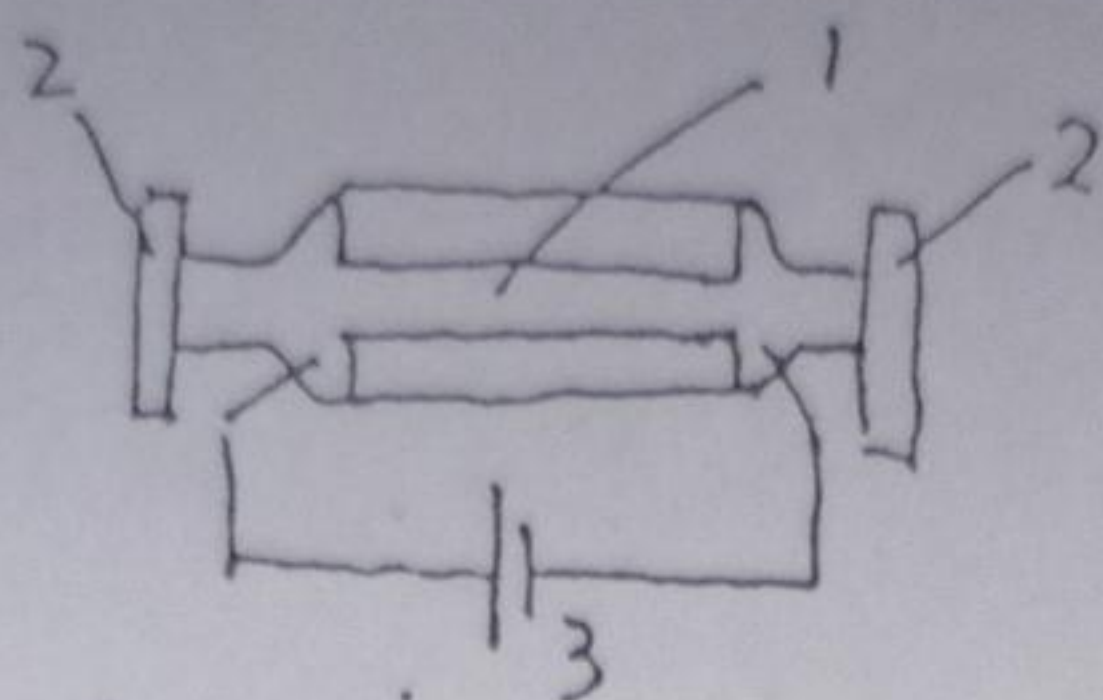
8. 损耗类型: 几何偏折损耗, 衍射损耗, 透射损耗, 其它损耗 (反射镜的反射, 腔内吸收物质吸收, 腔内插入物等).
描述: ①. 通过单程损耗因子 δ . ②. 通过光子在腔内寿命 τ .
③. 通过谐振腔的 Q 值.

9. 色散是指折射率对入射光频率 (或波长) 的依赖关系. 对吸收介质. 在其中心频率 ω_0 两边, 折射率随入射光频率的增加而增加, 称为正常色散; 在 ω_0 附近, 折射率随入射光频率的增加而减少, 称为反常色散.



10. 亮度 $B = \frac{\Delta E}{\Delta S \Delta \Omega \Delta t}$. 激光具有高亮度的原因是: 在空间上的高度压缩 ($\Delta \Omega \downarrow$) 和在时间上的高度压缩 ($\frac{\Delta E}{\Delta t}$ 大).

21 题结构 (5分)



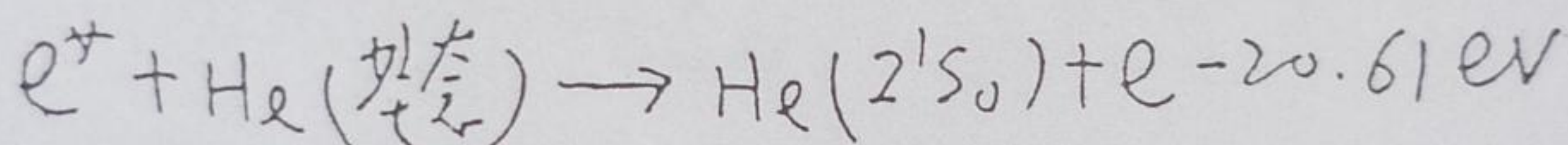
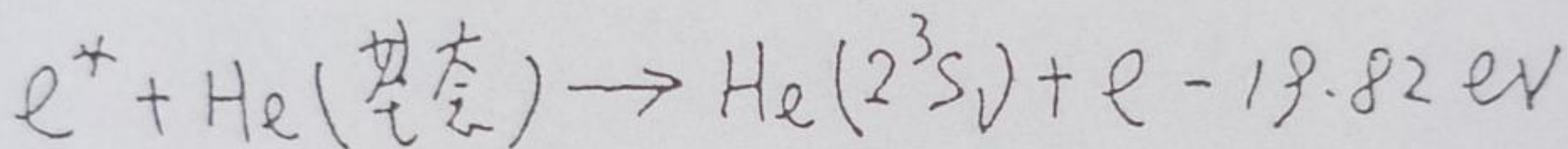
1- 毛细管, 内充混合气体, 工作物质;
He-Ne

2- 反射镜, 组成光子谐振腔;

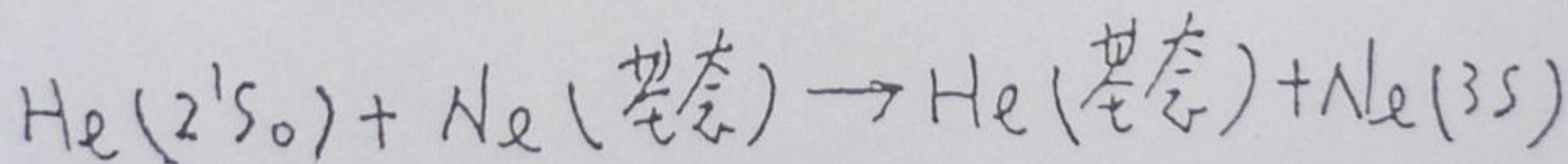
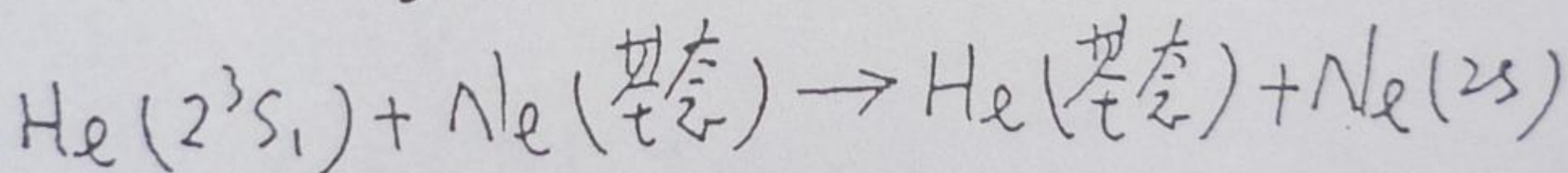
3- 直流高压电源, 使工作物质原子达到粒子数反转.

2. 激光形成原理 (15分)

① 碰撞激发



② 能量共振转移



当激励作用足够强时, 可在 Ne 的 2S 与 2P 之间,

3S 与 2P 之间, 3S 与 3P 之间形成粒子数反转. 在

谐振腔作用下, 可以产生激光: 3S-2P, 0.63 μm;

3S → 3P, 3.39 μm; 2S-2P, 1.15 μm.

3. 氦的激光上能级与基态的能量差有 20 eV.
与基态

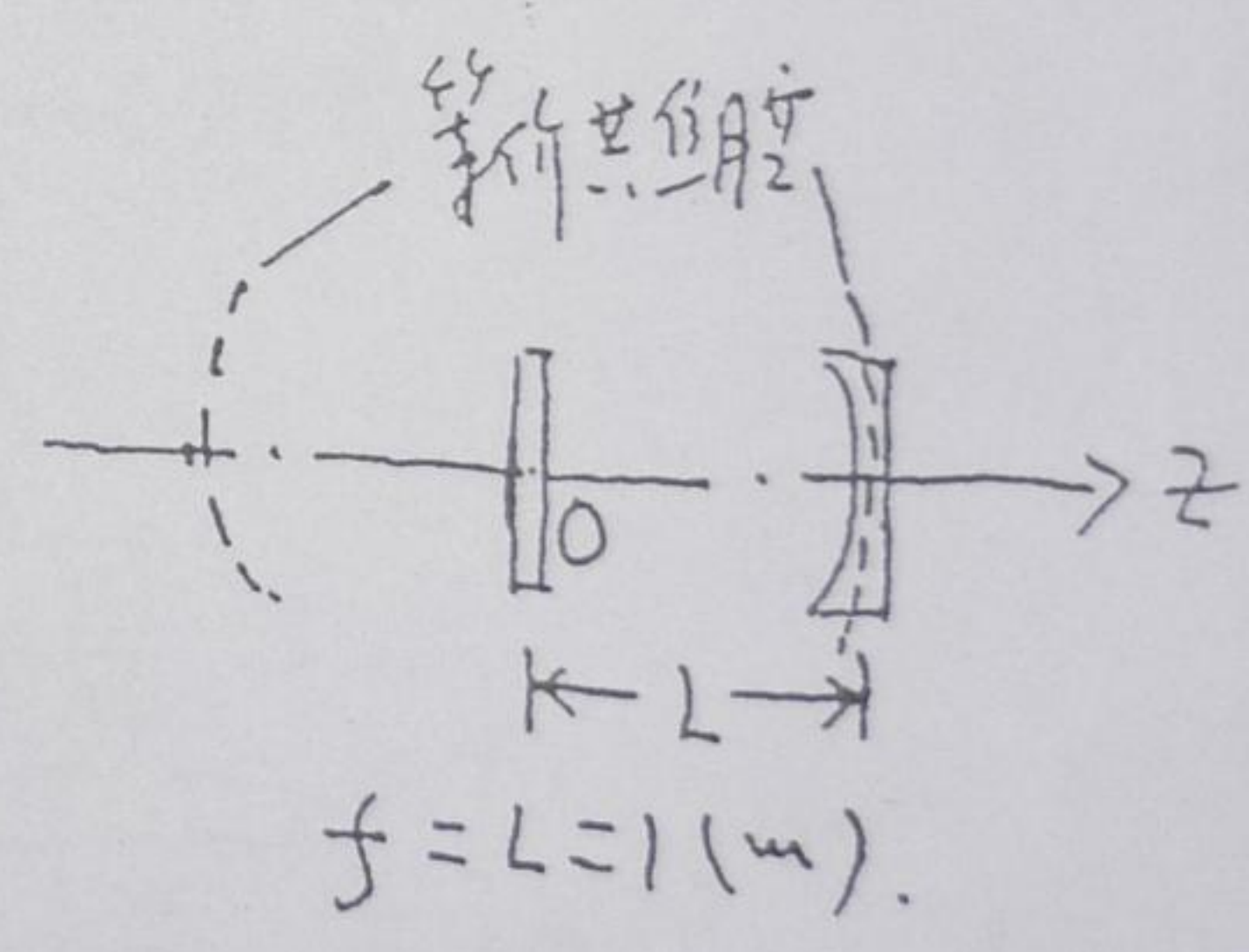
而光子的能量为几个电子伏, 所以不能用光激励. (2分)

4. 这是因为 He 的激发态与基态间的能量差与 Ne 的
激发态 (3s, 2s) 与基态之间的能量差相近. (2分)

5. 靠谐振腔反射镜作用. 如需用某种波长, 反镜
就镀成对该种波长有高的反射率的膜. 这样,
该波长的辐射可以达到或超过腔的损耗,
形成激光振荡, 而对其它波长, 光的损耗大, 达
不到阈值增益, 不能形成激光. (2分)

四. (20分)

$$\begin{aligned}
 1. \quad z_1 &= 0 \\
 z_2 &= L = 1 \text{ (m)} \\
 f &= (RL - L^2)^{\frac{1}{2}} \\
 &= (2 \times 1 - 1^2)^{\frac{1}{2}} \\
 &= 1 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 2. \quad w_0 &= \sqrt{\frac{\lambda f}{\pi}} = \sqrt{\frac{3.14 \times 10^{-6} \times 1}{3.14}} = 1 \times 10^{-3} \text{ (m)} \\
 w_{s1} &= w_0 = 1 \times 10^{-3} \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w_{s2} &= w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z_2}{f}\right)^2} = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{1}{1}\right)^2} = \sqrt{2} w_0 \\
 &= 1.4 \times 10^{-3} \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

$$3. \theta = 2 \frac{\lambda}{\pi W_0} = 2 \cdot \frac{3.14 \times 10^{-6}}{3.14 \times 1 \times 10^{-3}} = 2 \times 10^{-3} \text{ (rad)} \quad \text{第 6 页}$$

(3分) 共 7 页

$$4. m = \frac{\Delta \nu_D}{\Delta \nu_g}, \quad \Delta \nu_g = \frac{c}{2\eta L} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 1 \times 1} = 1.5 \times 10^8 \text{ (Hz)}$$

$$\therefore m = \frac{\Delta \nu_D}{\Delta \nu_g} = \frac{1.5 \times 10^9}{1.5 \times 10^8} = 10. \quad \text{(3分)}$$

五. (10分)

$$1. \Delta \nu_H = \Delta \nu_N + \Delta \nu_L = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{\tau_3} + \frac{1}{\tau_2} \right) + \alpha P$$

$$= \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{2 \times 10^{-8}} + \frac{1}{2 \times 10^{-8}} \right) + 0.75 \times 10^6 \times 267$$

$$= 1.6 \times 10^7 \text{ (Hz)} + 2 \times 10^8 \text{ (Hz)}$$

$$= 16 \text{ (MHz)} + 200 \text{ (MHz)}$$

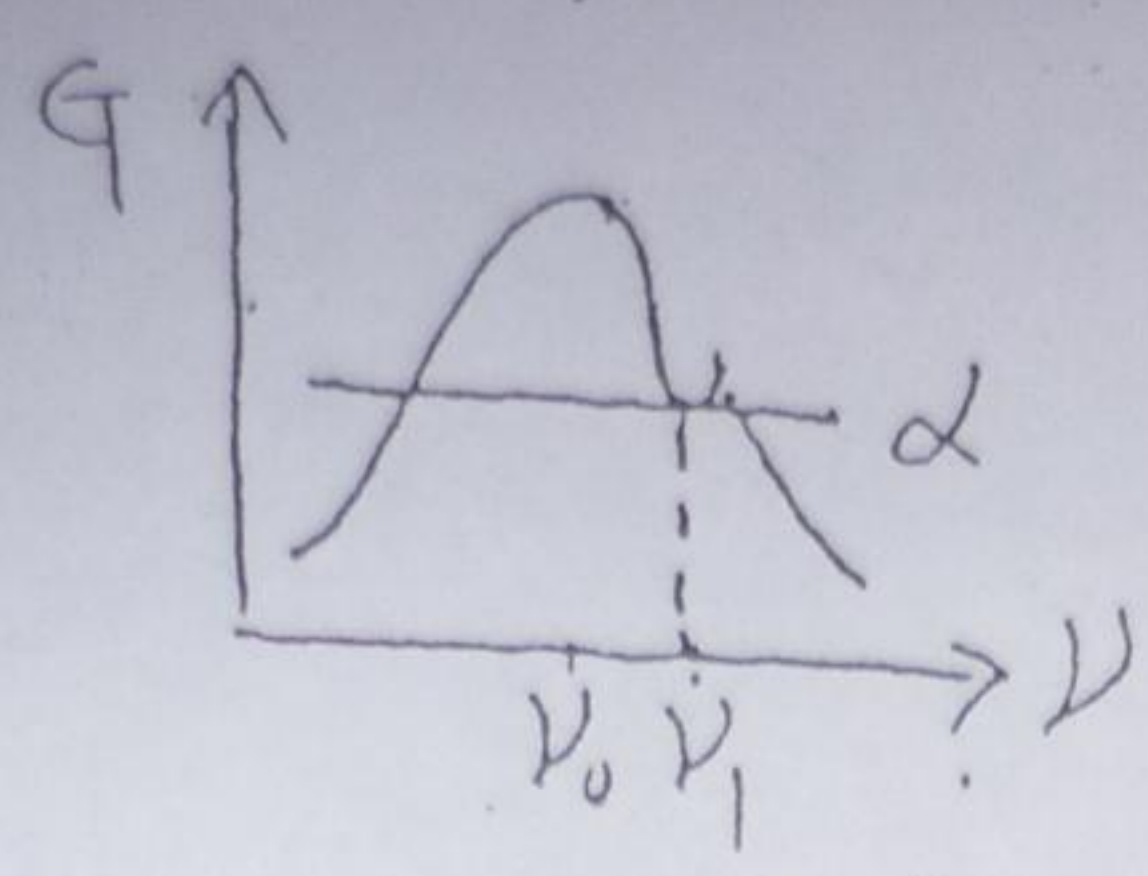
$$= 216 \text{ (MHz)} \quad \text{(5分)}$$

$$2. \Delta \nu_D = 7.16 \times 10^{-7} \sqrt{\frac{I}{M}} \nu_0$$

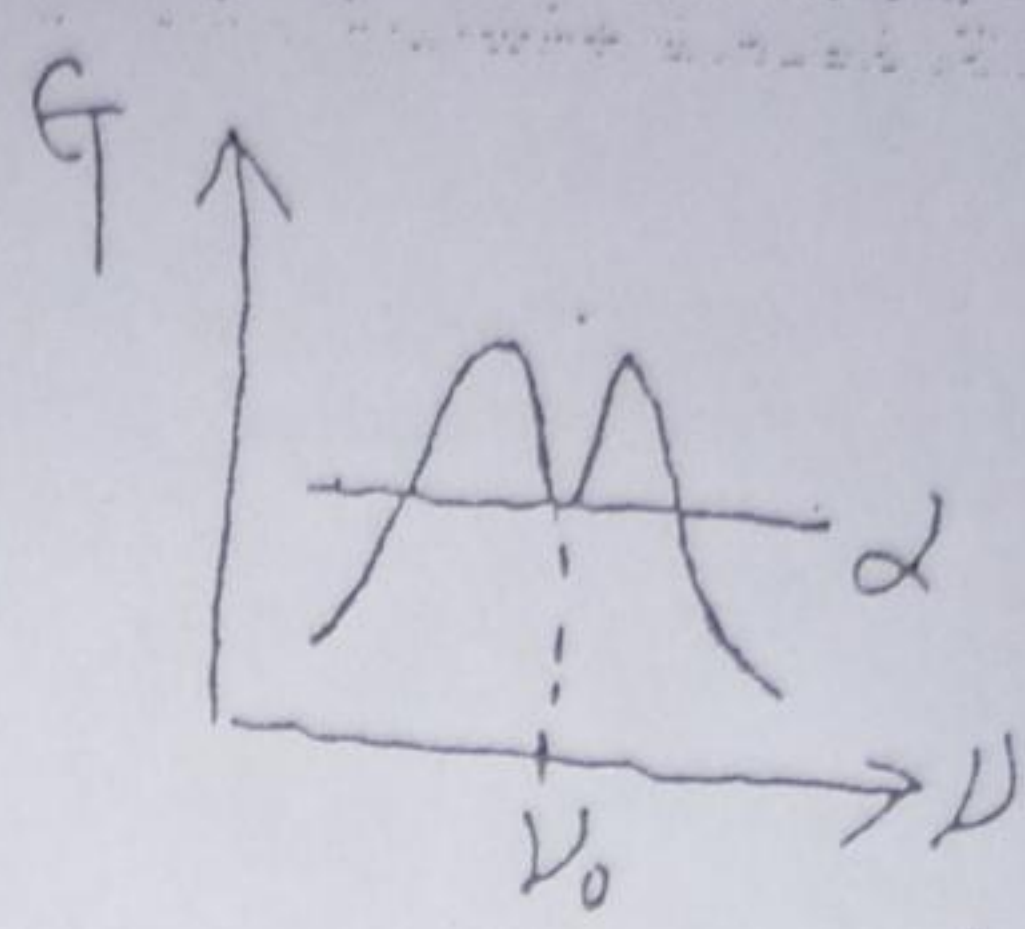
$$= 7.16 \times 10^{-7} \sqrt{\frac{320}{20}} \times 3 \times 10^{14} = 4$$

$$= 8.59 \times 10^8 \text{ (Hz)}$$

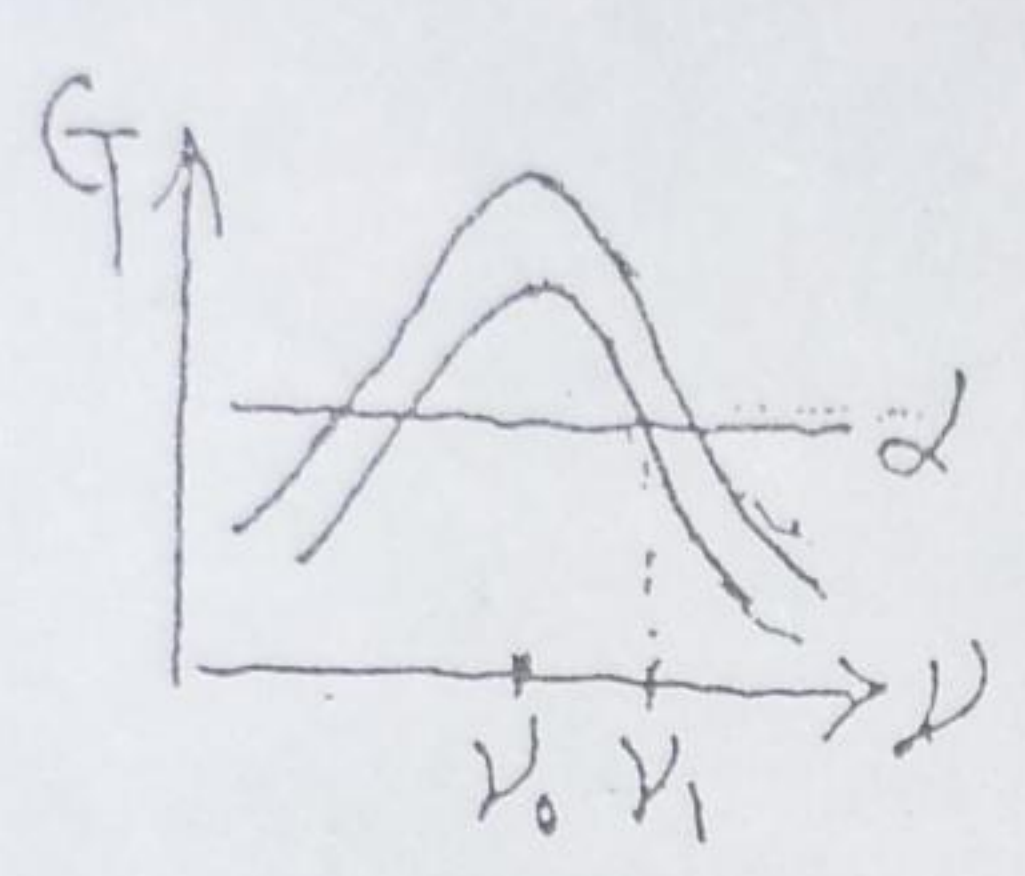
$$= 859 \text{ (MHz)}. \quad \text{(5分)}$$



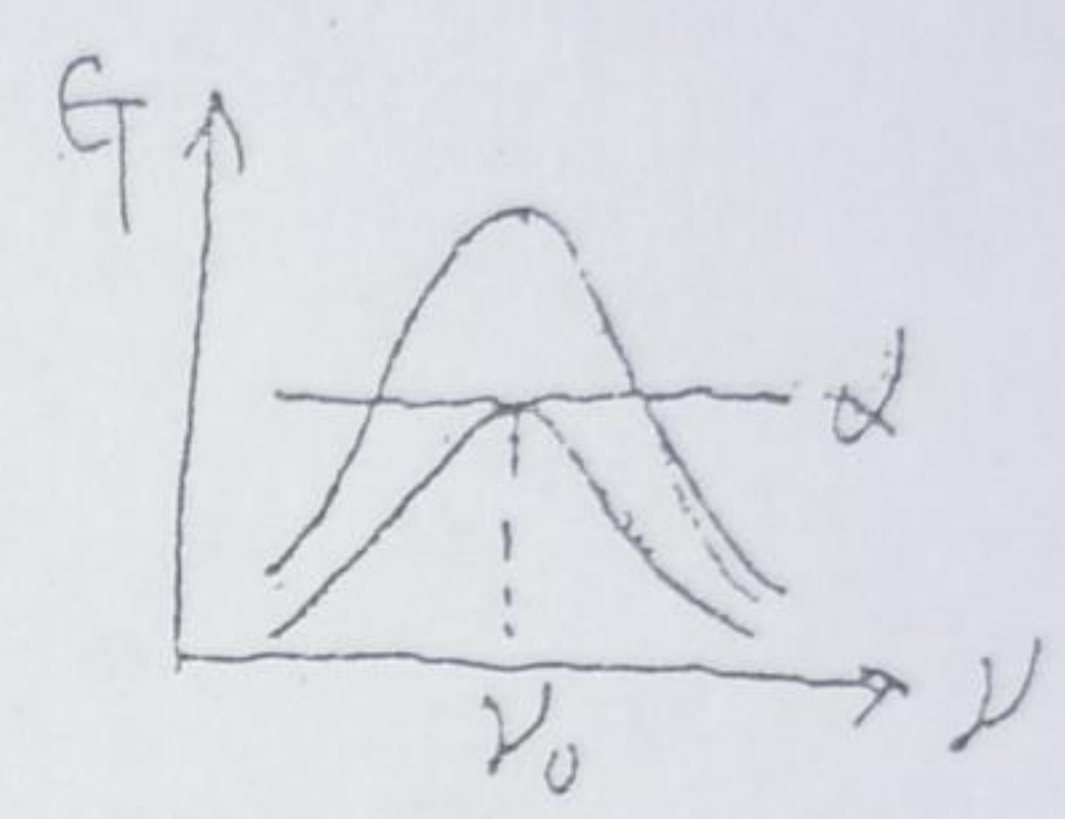
1). 非均匀展宽



2). 非均匀展宽

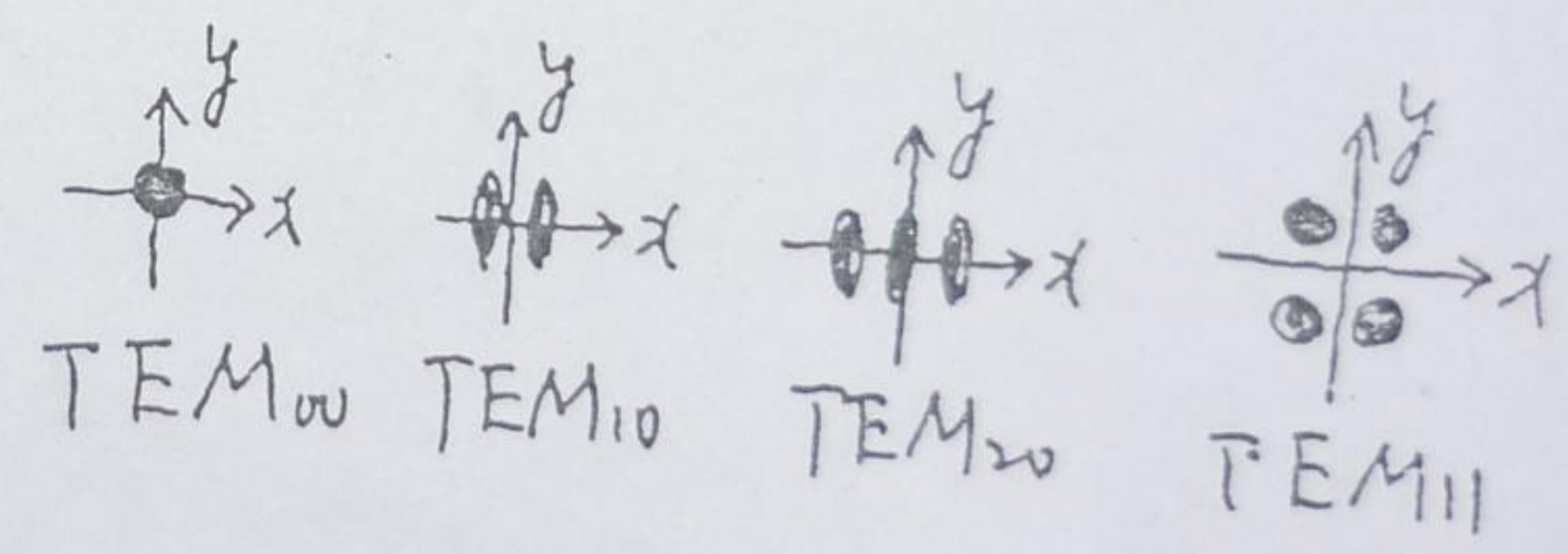


3). 均匀展宽

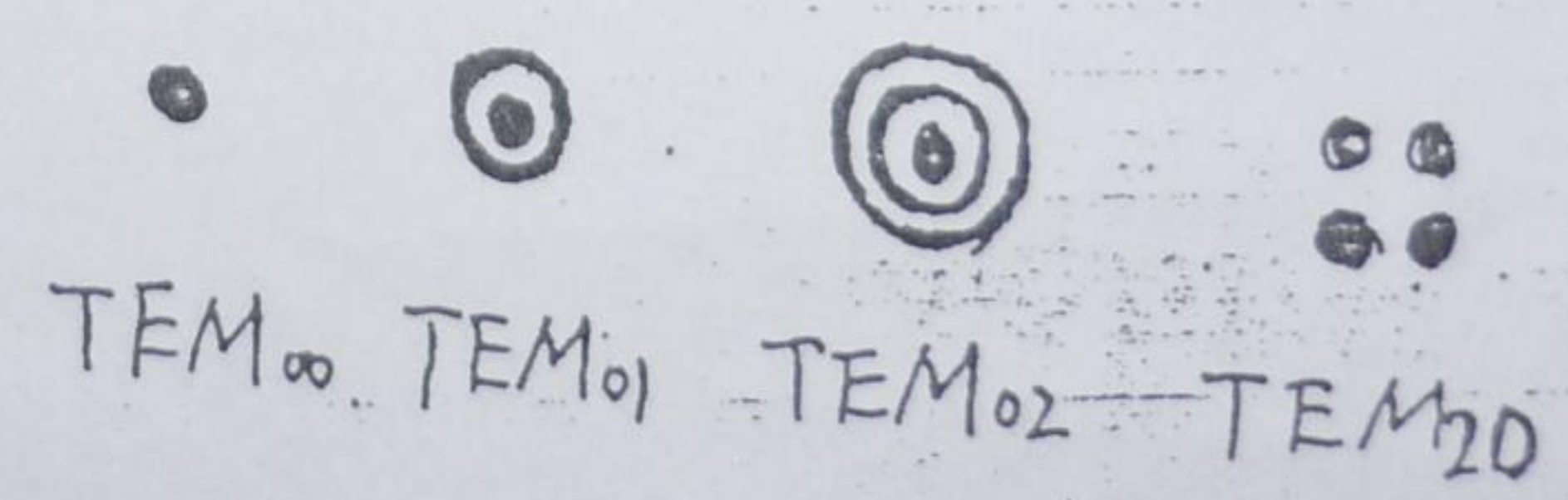


4). 均匀展宽

七. (共8分)
1. 方开}



2. 圆开}



对圆开} 径: TEM_{lmn}

m - 角向节线数

n - 径向节线数