电子科技大学

2002年攻读硕士学位研究生入学试题

激光原理

注：(应届考生做一至八题，在职考生做一至五题，并在六至十一题中选3题)

一、 填空（每空2分，共10分）

1、 同等情况下，单位体积单位频率间隔，波长$\lambda=2500\mathring{A}$的模式数目是$\lambda=1mm$的模式数的 $\boxed{1.6X10^7}$ 倍。

2、 激光的相干时间τ_c。与表征激光单色性的频谱宽度$\Delta\nu$之间的关系为 $\boxed{\tau_c=1/\Delta\nu}$

3、 对称共焦腔的$\frac{1}{2}(A+D)=$ $\boxed{-1}$，就稳定性而言，对称共焦腔是 $\boxed{稳定}$ 腔。

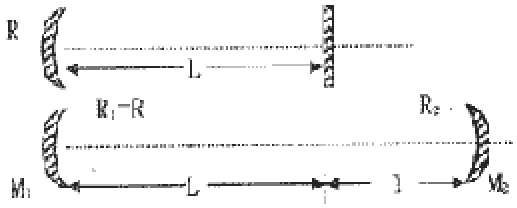
4、 对于谐振腔的高斯模式，模的阶数m,n越高，其衍射损耗越 $\boxed{高}$ 。

二、(15分) 如图所示的稳定光学谐振腔，由一面球面镜（曲率半径为R）和平面镜组成，腔长为L。证明该腔等价于另一个球面镜腔，此球面镜腔一个球面镜的曲率半径仍为R，另一个球面镜的曲率半径

R_2和腔长L'分别为：

$$R_2 = l + L(R-l)/l$$
$$L' = l + L$$

其中l为M_2镜距平面镜的距离。



解：平凹腔的共焦参数为：

$$f = \sqrt{L(L-R)}$$

自再现高斯光束的光腰位于平面镜上。因此在距平面镜为l的位置出，高斯光束的等相位曲率半镜：

$$R(l) = f\left(\frac{f}{l} + \frac{l}{f}\right) = l + \frac{f^2}{l} = l + L(L-R)/l$$

因此当：$\begin{matrix} R_2 = l + L(R-l)/l \\ L' = l + L \end{matrix}$时，由$M_1$和$M_2$球面镜构成的谐振腔与所给出的平凹腔具有相同的自再现高斯模式。

三、（15分）已知高斯光束的光腰$\omega_0 = 0.3mm$，波长$\lambda = 6328\mathring{A}$，光腰距透镜左侧的距离$l_1 = 10cm$，透镜焦距$F = 20cm$。求距透镜右侧的距离$l_2 = 0.5m$处的高斯光束$q$参数。

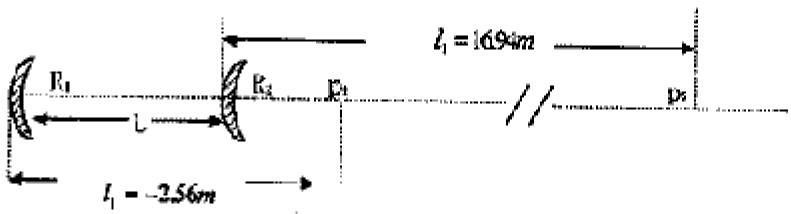
解: $q_0 = if = i\dfrac{\pi\omega_0^2}{\lambda} = \dfrac{3.14\times(0.3\times10^{-3})^2}{6328\times10^{-10}} = i0.4468$

变换矩阵: $T = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0.5 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/0.1 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0.1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

$= \begin{pmatrix} -4 & 0.5 \\ -10 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0.1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4 & 0.1 \\ -10 & 0 \end{pmatrix}$

$$q = \frac{Aq_0 + B}{Cq_0 + D} = \frac{-4\times0.4468i + 0.1}{-10\times0.4468i} = \frac{1.787 + 0.1i}{4.468} = 0.4 + 0.0238i$$

四、(15 分) 已知 $R_1 = 4.5m, R_2 = -2m, L = 1.5m$，求图示谐振腔的共轭像点的位置 l_1, l_2，并在图上画出示意位置。



解:

$$l_1 = \frac{\sqrt{L(L-R_1)(L-R_2)(L-R_1-R_2)} - L(L-R_2)}{2L-R_1-R_2}$$

$$= \frac{\sqrt{1.5(1.5-4.5)(1.5+2)(1.5-4.5+2)} - 1.5(1.5+2)}{2\times1.5-4.5+2}$$

$$= \frac{\sqrt{1.5\times3\times3.5} - 1.5\times3.5}{0.5} = -2.56m$$

$$
\begin{aligned}
l_2 &= \frac{\sqrt{L(L-R_1)(L-R_2)(L-R_1-R_2)}-L(L-R_1)}{2L-R_1-R_2} \\
&= \frac{\sqrt{1.5(1.5-4.5)(1.5+2)(1.5-4.5+2)}-1.5(1.5-4.5)}{2\times1.5-4.5+2} \\
&= \frac{\sqrt{1.5\times3\times3.5}-1.5\times3}{0.5}=16.94m
\end{aligned}
$$

五、（15 分）H_e-N_e激光器的N_e原子原子量 M=20，温度 T=400k，波长$\lambda=6328\,\mathring{A}$。求：1、多普勒加宽的宽度$\Delta\nu_D$；2、若气压为 p=400Pa，碰撞加宽的系数$\alpha=720kHz/Pa$，求碰撞加宽的宽度$\Delta\nu_L$。忽略自发辐射寿命所造成的加宽，说明该激光器以什么加宽为主。

解：

1、$\Delta\nu_D=7.16\times10^{-7}\nu_0\left(\frac{T}{M}\right)=7.16\times10^{-7}\,\frac{3\times10^8}{6328\times10^{-10}}\left(\frac{400}{M}\right)^{1/2}$

$=1.52\times10^9=1520\,MHz$

2、$\Delta\nu_L=400\,Pa\times720kHz/Pa=288\,MHz$

该激光器以非均匀加宽为主。

六、（10 分）在第五题中，当激光光强$I\nu_1=1.2I_s$，激光频率与中心频率之差$\nu_1-\nu_0=100\,MHz$时，求：1、激光增益系数与中心频率小信号增益系数之比$G_i(\nu_1,I_{\nu_1})/G_i^0(\nu_0)$；2、求烧孔宽度$\Delta\nu$。

解：1、

$$G_i(\nu_1, I_{\nu_1})/G_i^0 = \frac{1}{\sqrt{1+I\nu_1/I_s}}\exp[-\frac{(\nu_1-\nu_0)^2 4\ln 2}{\Delta\nu_D^2}]$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1+1.2}}\exp[-\frac{(100\times10^6)^2\times4\times\ln2}{(1.52\times10^9)^2}]$$

$$= 0.67\times\exp(-0.012) = 0.666$$

2、$\Delta\nu = \Delta\nu_L(1+I\nu_1/I_s)^{1/2} = 288\times10^6\times(1+1.2)^{1/2} = 427MHz$

七、（10 分）对第五题、第六题中的条件和结论，若 $A_{21}=10^{-8}s^{-1}$ 求：1、中心频率处的发射截面 σ_{21}；2、若单程损耗因子 $\delta=0.04$，腔长 L=20cm，折射率 $\eta=1$ 求频率牵引量。

解

1、
$$\sigma_{21} = \frac{\ln 2 c^2 A_{21}}{4\pi^{3/2}\nu_0^2\Delta\nu_D} = \frac{\ln 2\lambda^2 A_{21}}{4\pi^{3/2}\Delta\nu_D} = \frac{(6328\times10^{-8})^2\times10^{-8}\times\ln2}{4\times(3.14)^{3/2}\times1.52\times10^9}$$

$$= \frac{6.328^2\times0.6931}{4\times5.5683\times152}\times10^{-10-8-9} = 8.20\times10^{-28}cm^2$$

2、*无源线宽*：
$$\Delta\nu_c = \frac{c\delta}{2\pi\eta L} = \frac{3\times10^9\times0.04}{2\times3.14\times20\times10^{-2}} = \frac{3\times4}{2\times3.14\times2}\times10^{8-2+1}$$

$$= 9.55MHz$$

频率牵引量：

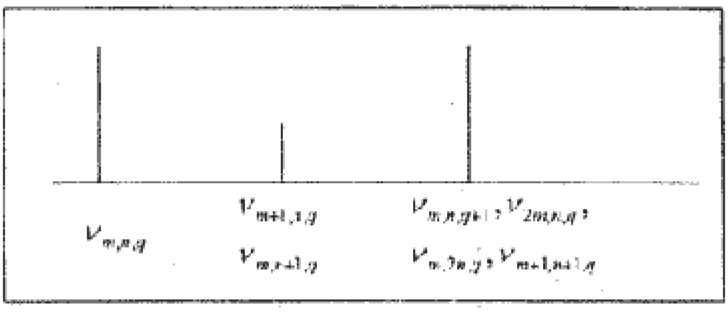
$$\sigma_i = 2\sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}}\frac{\Delta\nu_c}{\Delta\nu_D}\sqrt{1+\frac{I\nu}{Is}}$$

$$= 2\times\sqrt{\frac{0.6931}{3.14}}\times\frac{9.55\times10^6}{1.52\times10^9}\times\sqrt{1+1.2}$$

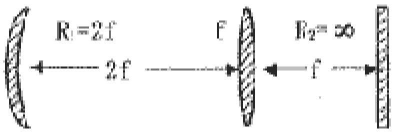
$$= 2\times0.47\times6.28\times1.48\times10^{-3} = 8.88\times10^{-3}$$

八、（10 分）方形镜对称共焦腔的振荡频谱如图所示，已知 TEM_{mnq} 模位于图中所示的位置，请标出图中另两个模（比 TEM_{mnq} 模高一阶和二

阶）的横模指数和纵模指数（包括简并模指数）。



九、(10 分)求图示谐振腔的稳定性(根据求出结果判断腔的稳定性)。



解：以球面谐振腔为参考面，往返一周的变换矩阵：

$$T=\begin{pmatrix}A & B\\ C & D\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1 & 2f\\ 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & 0\\ -1/f & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & f\\ 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & f\\ 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & 0\\ -1/f & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & 2f\\ 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & 0\\ -2/2f & 1\end{pmatrix}$$

$$=\begin{pmatrix}-1 & 2f\\ -1/f & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}-1 & 2f\\ -1/f & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}-1 & 2f\\ -1/f & 1\end{pmatrix}$$

$$=\begin{pmatrix}-1 & 0\\ -2/f & -1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}-1 & 2f\\ -1/f & 1\end{pmatrix}$$

$$=\begin{pmatrix}1 & -2f\\ 3/f & -5\end{pmatrix}$$

$$\frac{1}{2}(A+D)=\frac{1}{2}\times(1-5)=-2<-1$$

所以谐振腔是非稳腔。

十、谐振腔的腔长 L=20cm，且与腔内激活介质的长度相等，激活介质的折射率 n=1.5，两个反射镜的反射率 $r_1=100\%$，$r_2=93.5\%$，腔内其它损耗的单程损耗因子 $\alpha=1\%$，求腔内光子的平均寿命。

解：单程损耗因子：

$$\delta=\alpha-\frac{1}{2}\ln(r_1r_2)=0.01-0.5\times\ln(0.935)$$

$$=0.01+0.5\times0.0672=0.0436$$

腔腔内光子的平均寿命：

$$\tau_R=\frac{L}{\delta v}=\frac{20\times10^{-2}\times1.5}{0.0436\times3\times10^{8}}=\frac{2\times1.5}{0.436\times3}\times10^{1-2+1-8}=2.29\times10^{-8}\text{秒}$$

十一、（10 分）从高斯光束 q 参数定义式 $\frac{1}{q(z)}=\frac{1}{R(z)}-i\frac{\lambda}{\pi\omega^2(z)}$ 出发，证明：$q(z)=if+z$.（其中 f 为高斯光束共焦参数， z 为距高斯光束光腰的距离）.

解：设 $f/z=\xi$，则：

$$R(z)=z+f^2/z=z(1+\xi^2),\omega(z)=\omega_0(1+(z/f)^2)^{1/2}=\omega_0(1/\xi)(1+\xi^2)^{1/2}$$

$$\frac{1}{q(z)}=\frac{1}{z(1+\xi^2)}-i\frac{\xi^2}{(\pi\omega_0^2/\lambda)(1+\xi^2)}$$

$$=\frac{f-iz\xi^2}{(1+\xi^2)zf}=\frac{z\xi-iz\xi^2}{z^2\xi(1+\xi^2)}=\frac{1-i\xi}{z(1+\xi^2)}$$

$$q(z)=\frac{z(1+\xi^2)}{(1+\xi^2)}(1+i\xi)=z(1+i\xi)=z+if$$