

《激光原理》 第二章 开放腔高斯光习题

2019112019 物理学（基地班）童旭东

2021 年 10 月 13 日

一、基本概念问题

1、回答激光器的基本知识：

传统激光器的主要构成部件；

光学谐振腔的主要分类；

按照腔内傍轴光线几何偏折损耗的大小，开放式光学谐振腔的分类。

答：

传统激光器的主要构成部件：光学谐振腔、泵浦源、增益物质。

光学谐振腔的主要分类：

根据是否含有增益的工作物质将光学谐振腔分为有源腔和无源腔腔；

根据是否封闭可以分为封闭腔和开放腔。

开放式光学谐振腔的分类：开放式光腔分为稳定腔、临界腔和非稳腔。

2、简述光学谐振腔的模式概念及其基本特征，并分析其与光子态的关系。

光腔的模式：光学谐振腔内可能存在的电磁场的本征态

从光子的角度看：激光模式就是腔内可能区分的光子的状态

模的基本特征：

(1) 每一个模的电磁场分布

(2) 模的谐振频率

(3) 每一个模在腔内往返一次的损耗

(4) 与每一个模式相对应的激光束的发散角

3、开放式谐振腔的振荡模式符号表现形式及其各个符号字母的含义？

开放式谐振腔的振荡模式符号表现形式（相长干涉）：

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda_q} \cdot 2L' = q \cdot 2\pi$$

$$\frac{2\pi\nu_q}{c} \cdot 2L' = q \cdot 2\pi$$

4、驻波腔的纵模规律及驻波腔纵模间隔？

$$\begin{aligned} L' &= q \frac{\lambda_q}{2} \\ \nu_q &= \frac{qc}{2L'} \\ \Delta\nu_q &= \frac{c}{2L'} \end{aligned}$$

5、考虑到腔镜的不完全反射损耗及腔内损耗，光学谐振腔的总损耗的表达式？

不论损耗的起源如何，都可以引进“平均单程损耗因子” δ 来定量地加以描述。该因子的定义如下：如果初始光强为 I_0 ，在无源腔内往返一次后，光强衰减 I_1 ，则：

$$\begin{aligned} I_1 &= I_0 e^{-2\delta} \\ \delta &= \frac{1}{2} \ln \frac{I_0}{I_1} \quad \text{其中：} \delta = \sum_i \delta_i \end{aligned}$$

6、无源腔的品质因数普遍定义及其含义，并推导其与腔内损耗的关系。

设 t 时刻腔内光子数密度为 N ， N 与光腔 $I(t)$ 的关系为： $I(t) = Nh\nu v$ ，相应的，初始时刻有： $I_0 = N_0 h\nu v$

$$\text{光子在腔内的平均寿命关系：} I(t) = I_0 (e^{-2\delta})^{\frac{t}{2L'}} = I_0 e^{-\frac{t}{\tau_c}} \quad (1)$$

$$\text{进而可得：} N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau_R}} \quad (2)$$

$$\text{无源腔品质因数：} Q = \frac{\omega}{\Delta\omega_{\frac{1}{2}}} = \frac{\nu}{\Delta\nu_{\frac{1}{2}}} = \omega \frac{E}{P} \quad (3)$$

式中， $E = Nh\nu V$ 是存在腔内的总能量； P 为单位时间内损耗的能量； ν 为腔内电磁场的振荡频率； $\omega = 2\pi\nu$ 为场的角频率。

$$\text{单位时间中光能的减少 (能量损耗)：} P = -\frac{dE}{dt} = -h\nu V \frac{dN}{dt} \quad (4)$$

$$\text{品质因数：} Q = \omega \frac{E}{P} = \omega \left| \frac{Nh\nu V}{-h\nu V \frac{dN}{dt}} \right| = \left| \omega \frac{N}{\frac{dN}{dt}} \right| = \omega \tau_c \quad (5)$$

7、复杂开腔的稳定性条件及共轴球面腔的稳定性条件？绘制共轴球面腔稳定性曲线，标出平行平面腔、共心腔、对称共焦腔、临界腔、稳定腔和非稳定腔的位置，并给出其满足的条件。

复杂开腔的稳定性条件：

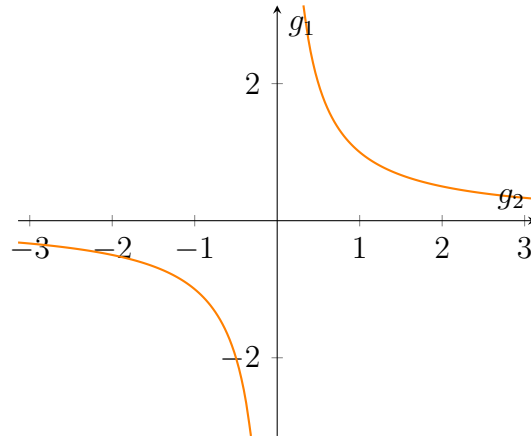


图 1.1

稳定腔： $0 < g_1 g_2 < 1$ ，在双曲线上；

临界腔： $g_1 g_2 = 1$ 或 $g_1 g_2 = 0$ ，在双曲线之间；

非稳腔： $g_1 g_2 < 0$ 或 $g_1 g_2 > 1$ ，在双曲线外

8、开腔中自再现模满足的本征方程及其各物理量的含义。

$$v(x, y) = \frac{i\gamma}{L\lambda} \iint_{S'} v(x', y') e^{-ikr} dS'$$

$v(x, y)$ 式在镜面 S 和 S' 的场分布， $r = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}$ ， γ 为渡跃系数，为一个常数

9、方形/圆形球面镜对称共焦腔腔镜面上的自再现模遵从的精确解，近似解的表达形式及各物理量含义，腔内、腔外行波场的表达形式。

方形镜自在现模：

$$v_{mn}(x, y) = S_{om} \left(c, \frac{x}{a} \right) S_{on} \left(c, \frac{y}{a} \right) = C_{mn} H_m \left(\sqrt{\frac{2\pi}{L\lambda}} x \right) H_n \left(\sqrt{\frac{2\pi}{L\lambda}} y \right) e^{-\frac{x^2 + y^2}{L\lambda/\pi}}$$

式中， $H(x)$ 是 Hermit 多项式

方形行波场：

$$E_{mn}(x, y, z) = A_{mn} E_0 \frac{\omega_0}{\omega(z)} H_m \left[\frac{\sqrt{2}}{\omega(z)} x \right] H_n \left[\frac{\sqrt{2}}{\omega(z)} y \right] e^{-\frac{r^2}{\omega^2(z)}} e^{-i\Phi(x, y, z)}$$

圆形镜自在现模：

$$v_{mn}(r, \phi) = C_{mn} \left(\sqrt{2} \frac{r}{\omega_{0s}} \right) L_n^m \left(2 \frac{r^2}{\omega_{0s}^2} \right) e^{-\frac{r^2}{\omega_{0s}^2}} \begin{cases} \cos m\phi \\ \sin m\phi \end{cases}$$

圆形行波场：

$$E_{mn}(r, \varphi, z) = A_{mn} E_0 \frac{\omega_0}{\omega(z)} \left[\sqrt{2} \frac{r}{\omega(z)} \right]^m L_n^m \left[2 \frac{r^2}{\omega^2(z)} \right] e^{-\frac{r^2}{\omega^2(z)}} e^{-im\varphi} e^{-i\Phi(x,y,z)}$$

10、方形/圆形球面镜对称共焦腔腔镜面上中任何位置 z 处的基模光斑半径表达式。

$$\omega(z) = \sqrt{\frac{L\lambda}{2\pi} \left(1 + \frac{z^2}{f^2} \right)} = \omega_0 \sqrt{1 + \frac{z^2}{f^2}}$$

11、方形/圆形球面镜对称共焦腔行波场的等相位面分布是如何随着位置 z 发生变化的，试绘图进行说明。

12、共焦腔模式理论可以推广到一般两镜稳定球面腔，试证明之。

13、基膜高斯光束的场分布函数，光斑半径、等相位面曲率、共焦参数、远场发散角、 q 参数及其变化规律，聚焦、准直和放大。

14、高斯光束的自再现变换规律（证明）

二、计算题

1、Consider a F-P interferometer made of a piece of glass with two plane-parallel surfaces coated for high reflectivity. If we assume $L=1\text{cm}$ and $n_r=1.54$, the free-spectral range for near normal incidence will be? If we take $R_1=R_2=0.98$, the interferometer finesse and the resolution (linewidth of the transmission peak) will be?

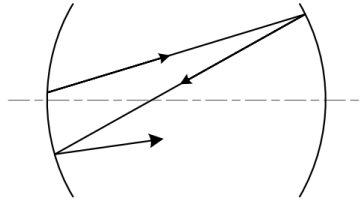
解：

$$\Delta\nu_{FSR} = \frac{c}{2n_r L} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 1.54 \times 0.01} = 9.7 \times 10^9 \text{Hz}$$

$$\Delta\nu_{\frac{1}{2}} = \frac{c}{2\pi n_r L} \frac{1 - (r_1 r_2)^{\frac{1}{2}}}{(r_1 r_2)^{\frac{1}{4}}} = 6.3 \times 10^7 \text{Hz}$$

$$F = \frac{\Delta_{FSR}}{\Delta\nu_{\frac{1}{2}}} = 154$$

2. 试利用往返矩阵证明共焦腔为稳定腔，即任意傍轴光线在其中可以往返无限多次，而且两次往返即自行闭合。



解：

稳定腔条件：

$$\left| \frac{A+D}{2} \right| < 1$$

对于共焦腔，有： $R_1 = R_2 = L$

对于一次往返，有：

$$\begin{aligned} T &= \begin{bmatrix} 1 - \frac{2L}{R_2} & 2L \left(1 - \frac{L}{R_2} \right) \\ - \left[\frac{2}{R_1} + \frac{2}{R_2} \left(1 - \frac{2L}{R_1} \right) \right] & - \left[\frac{2L}{R_1} - \left(1 - \frac{2L}{R_1} \right) \left(1 - \frac{2L}{R_2} \right) \right] \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 - \frac{2L}{L} & 2L \left(1 - \frac{L}{L} \right) \\ - \left[\frac{2}{L} + \frac{2}{L} \left(1 - \frac{2L}{L} \right) \right] & - \left[\frac{2L}{L} - \left(1 - \frac{2L}{L} \right) \left(1 - \frac{2L}{L} \right) \right] \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

显然，共焦腔符合稳定腔条件 $\left(\left|\frac{A+D}{2}\right| = 0 < 1\right)$

两次往返：

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ \theta_1 \end{bmatrix} T^2 = \begin{bmatrix} r_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix}$$

3. 激光器的谐振腔由一面曲率半径为 1m 的凸面镜和曲率半径为 2m 的凹面镜组成，工作物质长 0.5m，其折射率为 1.52，求腔长 L 在什么范围内是稳定腔。

解：

设腔的光学长度为 $L' = L + 0.5 \times 0.52$

据题意， $R_1 = -1, R_2 = 2$

$$\frac{A+D}{2} = 1 - \frac{2L'}{R_1} - \frac{2L'}{R_2} + \frac{2L'^2}{R_1 R_2} = 1 + L' - L'^2 = -(L' - \frac{1}{4})^2 + \frac{5}{4} = -(L - 0.1)^2 + \frac{5}{4}$$

解得：

$$L > 0.1 + \frac{\sqrt{7}}{2} \quad or \quad L < -0.1 - \frac{\sqrt{7}}{2}$$

4. 图 2.1 所示三镜环形腔，已知 l ，试画出其等效透镜序列图，并求球面镜的曲率半径 R 在什么范围内该腔是稳定腔。图示环形腔为非共轴球面镜腔。在这种情况下，对于在由光轴组成的平面内传输的子午光线，式 (2.2.7) 中的 $f = (R \cos \theta)/2$ ，对于在与此垂直的平面内传输的弧矢光线， $f = R/(2 \cos \theta)$ ， θ 为光轴与球面镜法线的夹角。

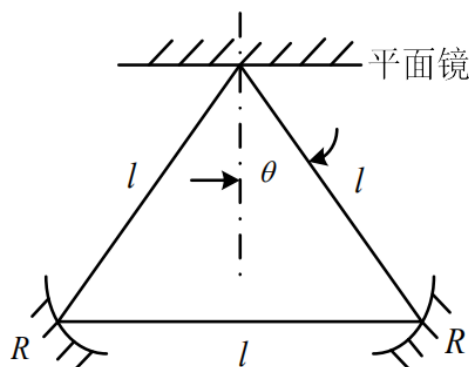


图 2.1

解：

由平面镜右侧光束起，先后经过平面镜反射、自由传播、左侧球面镜反射、自由传播、右侧球面镜反射、自由传播几个过程，即：

$$T = T_{\infty} T_F T_R T_F T_R T_F$$

其中, $T_\infty = E$, 则, 传输矩阵为:

$$T = E \begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \left(1 - \frac{L}{f}\right)^2 - \frac{L}{f} & L \left[\left(1 - \frac{L}{f}\right)^2 - \frac{L}{f} \right] + \left[(1-f)L - \frac{1}{f} \right] \\ \left(1 - \frac{L}{f}\right) \left(-\frac{1}{f}\right) + L & L \left[\left(1 - \frac{L}{f}\right) \left(-\frac{1}{f}\right) \right] - \frac{L}{f} + 1 \end{bmatrix}$$

$$\frac{A+D}{2} = \left(1 - \frac{L}{f}\right)^2 - \frac{L}{f}$$

$$1 > \left(\frac{L}{f}\right)^2 - 3\frac{L}{f} + 1 > -1$$

解得:

$$\frac{L}{f} \in \{x | x < 0, x > 3 \text{ 且 } 2 > x > 1\}$$

$$f \in \left(\frac{L}{3}, \frac{L}{2}\right) \cup (L, +\infty)$$

5. 有一方形孔径的共焦腔氦氖激光器, $L = 30\text{cm}$, $d = 2a = 0.12\text{cm}$, $\lambda = 632.8\text{nm}$, 镜的反射率为 $r_1 = 1, r_2 = 0.96$, 其他的损耗以每程 0.003 估计。此激光器能否作单模运转? 如果想在共焦镜面附近加一个方形小孔阑来选择 TEM_{00} 模, 小孔的边长应为多大? 试根据图 2.5.5 作一个大略的估计。

氦氖增益由公式计算。 $e^{g^{0l}} = 1 + 3 \times 10^{-4} \frac{l}{d}$

解:

$$\omega_{0s} = \sqrt{\frac{L\lambda}{\pi}} = 2.46 \times 10^{-2} \text{cm}$$

6. 试分别用解析解法和数值迭代方法计算方形球面镜/圆形镜对称共焦腔镜面上基模、 TEM_{10} 、 TEM_{20} 、 TEM_{21} 模式的场分布情况, 并分别比较其误差。

方形球面镜:

$$\text{TEM}_{00} = C_{00} e^{-\frac{x^2+y^2}{\omega_{0s}^2}}$$

$$\text{TEM}_{10} = C_{10} 2X e^{-\frac{x^2+y^2}{\omega_{0s}^2}}$$

$$\text{TEM}_{20} = C_{20} (4X^2 - 2) e^{-\frac{x^2+y^2}{\omega_{0s}^2}}$$

$$\text{TEM}_{21} = C_{20} (4X^2 - 2) 2Y e^{-\frac{x^2+y^2}{\omega_{0s}^2}}$$

圆形球面镜：

$$\text{TEM}_{00} = C_{00} e^{-\frac{r^2}{\omega_{0s}^2}}$$

$$\text{TEM}_{10} = C'_{10} r e^{-\frac{r^2}{\omega_{0s}^2}} \begin{cases} \cos \varphi \\ \sin \varphi \end{cases}$$

$$\text{TEM}_{20} = C'_{20} r^2 e^{-\frac{r^2}{\omega_{0s}^2}} \begin{cases} \cos 2\varphi \\ \sin 2\varphi \end{cases}$$

$$\text{TEM}_{21} = C'_{21} r^2 \left(3 - \frac{2r^2}{\omega_{0s}^2} \right) e^{-\frac{r^2}{\omega_{0s}^2}} \begin{cases} \cos 2\varphi \\ \sin 2\varphi \end{cases}$$

7. 试求出方形镜共焦腔面上 TEM_{30} 模的节线位置，这些节线是等距分布的吗？

解：

方形球面镜，傍轴条件，可用 Hermit-Gauss 函数表示镜面上场的函数

$$\nu_{30} = C_{30} H_3 \left(\sqrt{\frac{2\pi}{L\lambda}} x \right) H_0 \left(\sqrt{\frac{2\pi}{L\lambda}} y \right) e^{-\frac{x^2+y^2}{L\lambda/\pi}} = 0$$

$$8X^3 - 12X = 0$$

$$X_1 = 0, X_2 = -\sqrt{\frac{3}{2}}, X_3 = \sqrt{\frac{3}{2}}$$

是等距的

8. 试通过公式 (2.8.6) 积分计算腔长为 L 的激光器的模体积，并与公式 (2.8.8) 对比体积误差。

$$\text{由 } \omega(z) = \omega_{0s} \sqrt{1 + \frac{z^2}{f^2}}$$

$$V = \int_{z_1}^{z_2} \pi \omega^2(z) dz = \int_{z_1}^{z_2} \pi \omega_{0s}^2 \left(1 + \frac{z^2}{f^2} \right) dz = \pi \omega_{0s}^2 \left[(z_2 - z_1) + \frac{z_2^3 - z_1^3}{3f^2} \right]$$

直接计算：

$$V' = \frac{1}{2} \pi L \left(\frac{\omega_{s1} + \omega_{s2}}{2} \right)^2$$

9. 今有一球面腔， $R_1 = 1.5\text{m}$ ， $R_2 = -1\text{m}$ ， $L = 80\text{cm}$ 。试证明该腔为稳定腔；求出它的等价共焦腔的参数；在图上画出等价共焦腔的具体位置。

证明：

$$g_1 g_2 = \left(1 - \frac{L}{R_1} \right) \left(1 - \frac{L}{R_2} \right) = \left(1 - \frac{8}{15} \right) \left(1 + \frac{8}{10} \right) = \frac{21}{25} < 1$$

稳定腔得证

$$z_1 = \frac{L(R_2 - L)}{(L - R_1) + (L - R_2)} = \frac{0.8(-1 - 0.8)}{2 \times 0.8 + 1.5 - 1} = -0.6857142857142857$$

$$z_2 = \frac{-L(R_1 - L)}{(L - R_1) + (L - R_2)} = \frac{0.8(1.5 - 0.8)}{2 \times 0.8 + 0.5} = 0.2666666666666667$$

$$f^2 = \frac{L(R_1 - L)(R_2 - L)(R_1 + R_2 - R)}{[(L - R_1) + (L - R_2)]^2} = 0.06857142857142857$$

10. 方形镜对称共焦腔焦参数 $f = 0.4\text{m}$, 光波长 $\lambda = 0.314\mu\text{m}$, 求腰斑半径、镜面处光斑半径与等相位面曲率半径。解:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{L\lambda}{2\pi}} = \sqrt{\frac{f\lambda}{\pi}} = 0.04\mu\text{m}$$

$$\omega_{0s} = \sqrt{2}\omega_0 = 0.0565685424949238\mu\text{m}$$

$$R = z + \frac{f^2}{z} = 2f = 0.8\text{m}$$

11. 某高斯光束腰斑半径大小为 $\omega_0 = 1.14\text{mm}$, $\lambda = 10.6\mu\text{m}$ 。求与束腰相距 30cm、10m、1000m 远处的光斑半径 ω 及波前曲率半径 R 。

$$\text{远处光斑半径: } \omega = \omega_0 \sqrt{1 + \frac{z^2}{f^2}}, \text{ 波前曲率半径: } R = z + \frac{f^2}{z}$$

$$\text{由腰斑半径关系 } \omega_0 = \sqrt{\frac{L\lambda}{2\pi}} = \sqrt{\frac{f\lambda}{\pi}}, \quad f = \frac{\pi\omega_0^2}{\lambda} = 0.3849758490566038\text{m}$$

30cm:

$$\omega = 1.14 \times \sqrt{1 + \frac{0.3 \times 0.3}{0.385 \times 0.385}}$$

12.(a) 计算腔长为 1m 的共焦腔基横模的远场发散角, 设 $\lambda = 6328 \text{ \AA}$, 10km 处的光斑面积多大。(b) 有一普通探照灯, 设发散角为 2° , 则 1km 远处的光斑面积多大?

$$(a) \theta = \frac{\omega(z)}{z} = \frac{\sqrt{\frac{\lambda}{2\pi}} \sqrt{1 + \frac{z^2}{f^2}}}{z} = 2\sqrt{\frac{\lambda}{\pi f}}$$

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 + \frac{z^2}{f^2}}$$

$$(b) (l\theta)^2 \pi$$

14. 已知波长 $\lambda = 0.6328\mu\text{m}$ 的两高斯光束的束腰半径 ω_{10} 、 ω_{20} 分别为 0.2mm、50 μm , 试问此二光束的远场发散角分别为多少? 后者是前者的几倍?

$$\theta = 2\sqrt{\frac{\lambda}{\pi f}} = \frac{2\lambda}{\pi\omega_0}$$

15. 激光的远场发散角 θ (半角) 还受到衍射效应的限制。它不能小于激光通过输出孔时的衍射极限角 $\theta_{\text{衍}}$ (半角) $= 1.22\lambda/d$ 。在实际应用中远场发散角常用爱里斑衍射极限角来近似。试计算腔长为 30cm 的氦氖激光器, 所发波长 $\lambda = 6328\text{\AA}$ 的远场发散角和以放电管直径 $d = 2\text{mm}$ 为输出孔的衍射极限角。

$$\theta = 2\sqrt{\frac{\lambda}{\pi f}}$$

16. 一共焦腔 (对称) $L = 0.40\text{m}$, $\lambda = 0.6328\mu\text{m}$, 束腰半径 $\omega_0 = 0.2\text{mm}$, 求离腰 56cm 处的光束有效截面半径。

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 + \frac{z^2}{f^2}}$$

17. 试讨论非共焦腔谐振频率的简并性、纵模间隔及横模间隔, 并与共焦腔进行比较。mn 简并

18. 考虑一用于氩离子激光器的稳定球面腔, 波长 $\lambda = 0.5145\mu\text{m}$, 腔长 $L = 1\text{m}$, 腔镜曲率半径 $R_1 = 1.5\text{m}$, $R_2 = 4\text{m}$ 。试计算光腰尺寸和位置, 两镜面上的光斑尺寸, 并画出等效共焦腔的位置。

$$\begin{aligned} z_1 &= \frac{L(R_2 - L)}{(L - R_1) + (L - R_2)} \\ z_2 &= \frac{-L(R_1 - L)}{(L - R_1) + (L - R_2)} \\ f^2 &= \frac{L(R_1 - L)(R_2 - L)(R_1 + R_2 - R)}{[(L - R_1) + (L - R_2)]^2} \end{aligned}$$

19. 欲设计一对称光学谐振腔, 波长 $\lambda = 10.6\mu\text{m}$, 两反射镜间距 $L = 2\text{m}$, 如选择凹面镜曲率半径 $R=L$, 试求镜面上光斑尺寸。若保持 L 不变, 选择 $R \gg L$, 并使镜面上的光斑尺寸 $w_s = 0.3\text{cm}$, 问此时镜的曲率半径和腔中心光斑尺寸多大?

(1) $R = L$, 对称共焦腔

$$\omega_{0_s} = \sqrt{\frac{L\lambda}{\pi}} = 2.6\text{mm}$$

(2)

$$\begin{aligned} \omega_s &= \omega_{0_s} \left[\frac{g_1}{g_1(1 - g_1g_2)} \right]^{\frac{1}{4}} \\ f^2 &= \frac{L(R_1 - L)(R_2 - L)(R_1 + R_2 - R)}{[(L - R_1) + (L - R_2)]^2} \\ \omega &= \sqrt{\frac{f\lambda}{\pi}} \end{aligned}$$

20. 若已知某高斯光束之 $\omega_0 = 0.3\text{mm}$, $\lambda = 632.8\text{nm}$ 。求束腰处的 q 参数值, 与束腰相距 30cm 处的 q 参数值, 以及在与束腰相距无限远处的 q 值。

$$q_2 = q_1 + (z_2 - z_1) = q_1 + L$$

$$z = 0 \text{ 束腰: } q_{z=0} = -i \frac{\pi \omega_0^2}{\lambda}$$

$$z = 30 \text{ 束腰: } q_{z=30} = q_{z=0} + (30 - 0)$$

21. 某高斯光束 $\omega_0 = 1.2\text{mm}$, $\lambda = 10.6\mu\text{m}$ 。今用 $F=2\text{cm}$ 的锗透镜来聚焦, 当束腰与透镜的距离为 10m 、 1m 、 10cm 、 0 时, 求焦斑的大小和位置, 并分析所得的结果。

$$\text{由 } \omega_0'^2 = \frac{F^2 \omega_0^2}{(F - l)^2 + \left(\frac{\pi \omega_0^2}{\lambda} \right)^2}$$

22. 一高斯光束束腰半径 $\omega_0 = 0.2\text{mm}$, $\lambda = 0.6328\mu\text{m}$, 今用一焦距 f 为 3cm 的短焦距透镜聚焦, 已知腰粗 ω_0 离透镜的距离为 60cm , 在几何光学近似下求聚焦后光束腰粗。

23. CO_2 激光器输出光 $\lambda = 10.6\mu\text{m}$, $\omega_0 = 3\text{mm}$, 用一 $F=2\text{cm}$ 的凸透镜距角, 求欲得到 $\omega = 20\mu\text{m}$ 及 $2.5\mu\text{m}$ 时透镜应放在什么位置。

24. 入射光 $\lambda = 10.6\mu\text{m}$, 求 ω_0'' 及 l_3 。

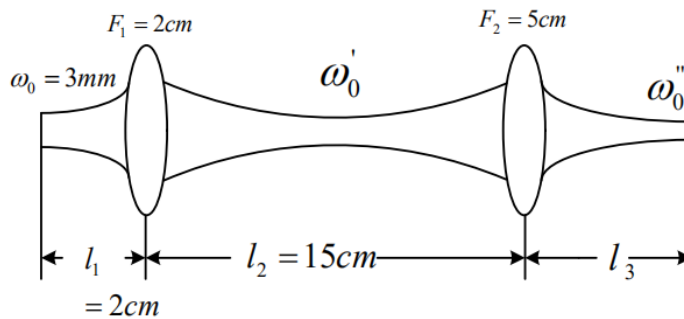


图 2.2

25. 某高斯光束 $\omega_0 = 1.2\text{mm}$, $\lambda = 10.6\mu\text{m}$ 。今用一望远镜将其准直。主镜用镀金反射镜 $R=1\text{m}$, 口径为 20cm ; 副镜为一锗透镜, $F_1=2.5\text{cm}$, 口径为 1.5cm ; 高斯束腰与透镜相距 $l=1\text{m}$, 如图 2.3 所示。求该望远系统对高斯光束的准直倍率。

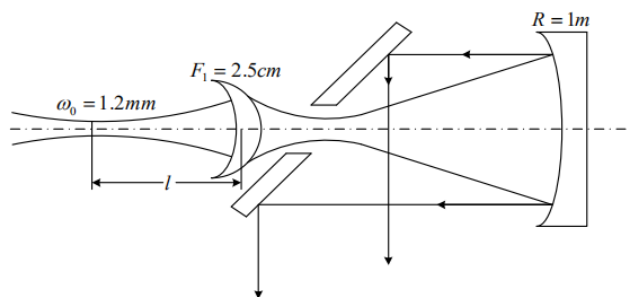


图 2.3

26. 用如图 (4 -33) 所示的倒置望远镜系统改善由对称共焦腔输出的光束方向性。已知二透镜的焦距分别为 $f_1 = 2.5\text{cm}$, $f_2 = 20\text{cm}$, $\omega_0 = 0.28\text{mm}$, $l_1 \gg f_1$ (L_1 紧靠腔的输出镜面), 求该望远镜系统光束发散角的压缩比。

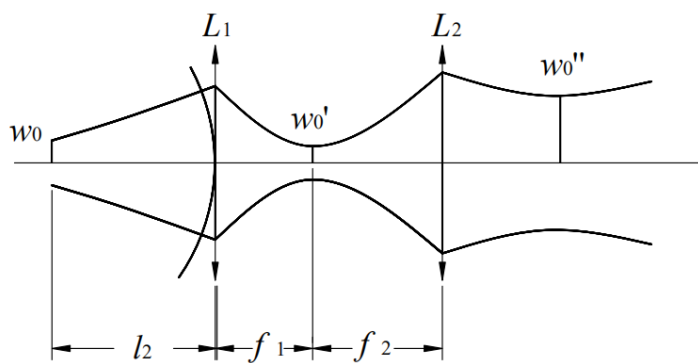


图 (4-33)

27. 激光器的谐振腔有两个相同的凹面镜组成，它出射波长为 λ 的基模高斯光束，今给定功率计，卷尺以及半径为 a 的小孔光阑，试叙述测量该高斯光束公焦参数 f 的实验原理及步骤。