

第 1 题 得分：\_\_\_\_\_. 已知一阶跃光纤芯区和包层折射率分别为  $n_1 = 1.62$ ,  $n_2 = 1.52$ .

- (a) 试计算光纤的数值孔径  $NA = ?$
- (b) 计算空气中该光线的最大入射角  $\theta_M = ?$
- (c) 如果将光纤浸入水中 ( $n_{\text{水}} = 1.33$ ),  $\theta_M = ?$

解: (a) 该光纤的数值孔径为

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0.560 \quad (1)$$

- (b) 空气中该光纤的最大入射角为

$$\theta_M = \arcsin NA = 0.595(\text{rad}) = 34.1^\circ. \quad (2)$$

- (c) 如果将光纤浸入水中, 则其数值孔径为

$$NA = \frac{1}{n_{\text{水}}} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (3)$$

最大入射角为

$$\theta_M = \arcsin NA = \arcsin \left( \frac{1}{n_{\text{水}}} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right) = 0.435(\text{rad}) = 24.9^\circ. \quad (4)$$

□

第 2 题 得分：\_\_\_\_\_. 设阶跃光纤的数值孔径  $NA = 0.2$ , 芯 (半) 径  $a = 60 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_0 = 0.9 \mu\text{m}$ , 计算光纤传输的总模数.

解: 该阶跃光纤的归一化频率为

$$V = \frac{\omega a}{c} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda} NA = 83.78 \quad (5)$$

故该光纤传输的总模数约为

$$\frac{V^2}{2} = 3509. \quad (6)$$

□

第 3 题 得分：\_\_\_\_\_. 欲设计阶跃单模光纤, 其芯折射率为  $n_1 = 1.5$ ,  $\Delta = 0.005$ , 试分别计算波长为  $\lambda_0 = 1.3 \mu\text{m}$  和  $\lambda_0 = 0.6328 \mu\text{m}$  的最大芯 (半) 径.

解: 要使光纤仅支持单模, 则支持的模式应为没有截止频率的  $HE_{11}$  模, 且光纤的工作频率应低于截止频率最低的  $TE_{01}$  (或  $TM_{01}$ ) 模, 即:

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda_0} \leq \frac{2.405c}{a\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} = \frac{2.405c}{an_1\sqrt{2\Delta}} \quad (7)$$

$$\Rightarrow a \leq \frac{2.405\lambda_0}{2\pi n_1\sqrt{2\Delta}}. \quad (8)$$

故对  $\lambda_0 = 1.3 \mu\text{m}$ , 最大纤芯为  $3.32 \mu\text{m}$ ; 对  $\lambda_0 = 0.6328 \mu\text{m}$ , 最大纤芯为  $1.61 \mu\text{m}$ .

□

第 4 题 得分：\_\_\_\_\_. 设一根光纤的芯的折射率  $n_1 = 1.532$ , 包层的折射率  $n_2 = 1.530$

- (a) 计算临界角；
- (b) 设一条光线沿轴向传播，另一条光线以临界角射到包层上，试求轴向光线传播 1 公里后两光线的滞后。

解：(a) 临界角为

$$\varphi = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = 1.52(\text{rad}) = 87.1^\circ. \quad (9)$$

- (b) 轴向光线传播 1 公里后两光线的滞后距离为

$$\Delta l = 1 \text{ km} \times (1 - \sin \varphi) = 1 \text{ km} \times \left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right) = 1.31 \times 10^{-3} \text{ km} = 1.31 \text{ m}, \quad (10)$$

滞后时间为

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{c/n_1} = 6.67 \times 10^{-9} \text{ s} = 6.67 \text{ ns}. \quad (11)$$

□

**第 5 题 得分：**\_\_\_\_\_. 已知一直圆柱形阶跃光纤，纤芯和包层折射率分别为  $n_1 = 1.62$ ， $n_2 = 1.52$ ，其纤芯直径  $d = 10 \mu\text{m}$ ，弯曲后的曲率半径  $R = 1.0 \text{ cm}$ 。

- (a) 试计算放在空气中子午光线的最大入射角  $\theta_M$ ？
- (b)  $R$  值低于多少时，子午光线便不在内表面上反射？（入射角  $\theta_0 = \theta_M$ ）（只要有一条子午光线做到就可以）
- (c) 对该光纤，要使最大孔径角  $\theta_M$  增大到  $90^\circ$ ，则  $n_2$  最大应等于多少？（设纤芯的折射率保持一定。）
- (d) 当  $\theta_M = 90^\circ$  时，出射光会不会在光纤的出射端面上发生全反射？（试分析之）

解：(a) 放在空气中子午光线的最大入射角为

$$\theta_M = \arcsin \left[ n_1^2 - \left( \frac{R + d/2}{R - d/2} \right)^2 n_2^2 \right]^{1/2} = 0.590(\text{rad}) = 33.8^\circ. \quad (12)$$

- (b) 当以  $\theta_M$  入射角入射，子午光线在光纤直部的纤芯-包层分界面上的反射角  $\varphi_0$  满足

$$\cos \varphi_0 = \frac{1}{n_1} \sin \theta_M = 0.343, \quad (13)$$

光线在光纤弯部内侧的纤芯-包层分界面上的反射角为

$$\sin \varphi_2 = \frac{R + x}{R - d/2} \sin \varphi_0 = \frac{R + x}{R - d/2} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_0}, \quad (14)$$

其中  $x$  为光线由光纤直部进入弯部处与子午线的距离， $-d/2 \leq x \leq d/2$ 。当

$$\sin \varphi_2 = 1 \implies R = \frac{x \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_0} + d/2}{1 - \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_0}} \quad (15)$$

时，光线恰好与内表面相切而不反射，即当

$$R \leq 1.60 \times 10^{-4} \text{ m} = 160 \mu\text{m} \quad (16)$$

时，（ $x = d/2$  的）子午光线便不在内表面上反射。

(c) 要使最大孔径角  $\theta_M$  增大到  $90^\circ$ ,

$$\sin \theta_M = \left[ n_1^2 - \left( \frac{R + d/2}{R - d/2} \right)^2 n_2^2 \right]^{1/2} = 1, \quad (17)$$

即  $n_2$  最大应为

$$n_2 = 1.27 \quad (18)$$

(d) 根据弯曲光纤的对称性和光路的可逆性, 光线在出射端面上的出射角应当与其在入射端面上的入射角相等。故当  $\theta_M = 90^\circ$  时, 出射光不会在光纤的出射端面上发生全反射。

□

**第 6 题 得分:** \_\_\_\_\_. 已知一圆柱形阶跃光纤的出射端面有  $\alpha = 10^\circ$  倾角, 纤芯和包层折射率分别为  $n_1 = 1.62$ ,  $n_2 = 1.52$ , 出射端面仍垂直于轴线 (不考虑光纤弯曲)

(a) 试计算放在空气中光纤的最大入射角  $\theta_{\max}$ .

(b) 要使  $\theta_{\max} = 90^\circ$ , 该光纤的数值孔径 NA 至少要多少? 这一光线 ( $\theta_M = 90^\circ$ ) 会不会在出射端面发生全反射? (设包层折射率一定)

**解:** (a) 当光线以如图 1 的角度从空气入射, 则光纤的最大入射角为

$$\theta_{\max} = \arcsin \left( \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \cos \alpha - n_2 \sin \alpha \right) = 0.292(\text{rad}) = 16.7^\circ. \quad (19)$$

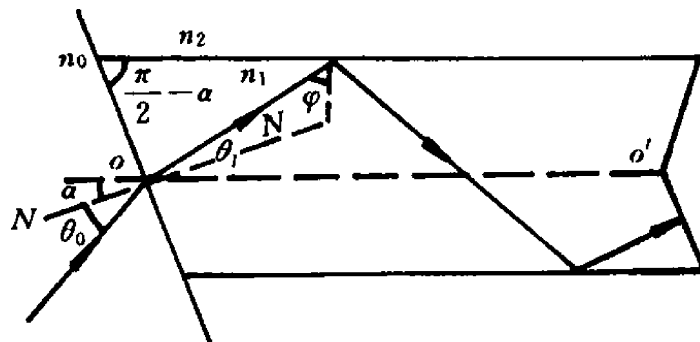


图 1:

当光线从法线另一侧入射, 如图 2, 则光纤的最大入射角为

$$\theta_{\max} = \arcsin \left( \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \cos \alpha + n_2 \sin \alpha \right) = 0.95(\text{rad}) = 54.7^\circ. \quad (20)$$

(b) 对于图 1 所示的情况, 要使  $\theta_{\max} = 90^\circ$ , 该光纤的数值孔径至少为

$$\text{NA} = \frac{1 + n_2 \sin \alpha}{\cos \alpha} = 1.54 \quad (21)$$

此时, 这一光线 ( $\theta_M = 90^\circ$ ) 在纤芯-包层交界面上的反射角  $\varphi$  满足

$$\sin \varphi = \frac{n_2}{n_1}. \quad (22)$$

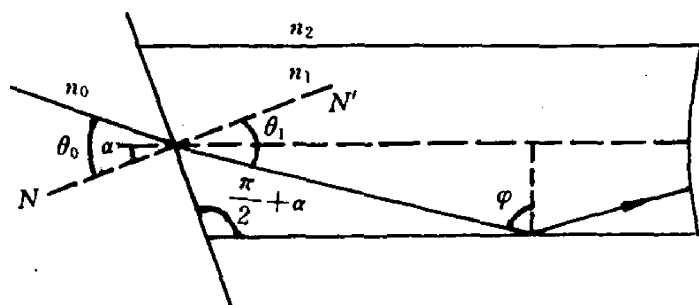


图 2:

因为在出射端面上

$$n_1 \cos \varphi = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} = \text{NA} > 1, \quad (23)$$

所以这一光线会在出射端面上发生全反射.

对于图 2 所示的情况, 要使  $\theta_{\max} = 90^\circ$ , 该光纤的数值孔径至少为

$$\text{NA} = \frac{1 - n_2 \sin \alpha}{\cos \alpha} = 0.747 \quad (24)$$

因为在出射端面上

$$n_1 \cos \varphi = \text{NA} < 1, \quad (25)$$

所以这一光线不会在出射端面上发生全反射.

□