

## 大学物理（王少杰教材）第 4 套阶段训练题目 光学（13 章）

### 一、填空题（共 30 分）

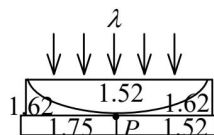
1. (本题 3 分) 在真空中波长为  $\lambda$  的单色光，在折射率为  $n$  的透明介质中从  $A$  沿某路径传播到  $B$ ，若  $A$ 、 $B$  两点相位差为  $3\pi$ ，则此路径  $AB$  的光程为\_\_\_\_\_。

参考答案：  $1.5\lambda$

2. (本题 5 分) 在双缝干涉实验中，两条缝的宽度原来是相等的。若其中一缝的宽度略变窄(缝中心位置不变)，则干涉条纹的间距\_\_\_\_\_，明纹强度\_\_\_\_\_，暗纹中心强度\_\_\_\_\_。

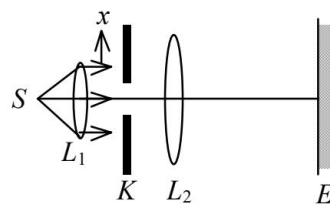
参考答案： 不变，变暗，变强或不再为零

3. (本题 4 分) 图示的牛顿环装置由三种透明材料构成，图中数字为相应的折射率。用单色光垂直照射，在反射光中可看到干涉条纹。在接触点  $P$  处形成的圆斑左半部为\_\_\_\_\_，右半部为\_\_\_\_\_。(填明或暗)



参考答案： 明，暗

4. (本题 4 分) 在如图所示的单缝的夫琅禾费衍射实验中，将单缝  $K$  沿垂直于光的入射方向(沿图中的  $x$  方向)稍微平移，则衍射条纹\_\_\_\_\_ (填向上移动、向下移动或不动)，条纹宽度\_\_\_\_\_。(填变宽、变窄或不变)



参考答案： 不动，不变

5. (本题 3 分) 一单色平行光束垂直照射在宽度为  $1.0 \text{ mm}$  的单缝上，在缝后放一焦距为  $2.0 \text{ m}$  的会聚透镜。已知位于透镜焦平面处的屏幕上的中央明条纹宽度为  $2.0 \text{ mm}$ ，则入射光波长约为\_\_\_\_\_。

参考答案：  $500 \text{ nm}$

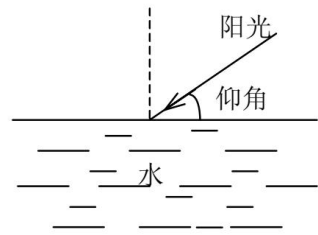
6. (本题 3 分) 某元素的特征光谱中含有波长分别为  $\lambda_1 = 450 \text{ nm}$  和  $\lambda_2 = 750 \text{ nm}$  的光谱线。在光栅光谱中，这两种波长的谱线有重叠现象，重叠处  $\lambda_2$  的谱线的级数将是\_\_\_\_\_。

参考答案：  $\pm 3, \pm 6, \pm 9, \pm 12, \dots$

7. (本题 3 分) 某种透明媒质对于空气的临界角(指全反射)等于  $45^\circ$ ，光从空气射向此媒质时的布儒斯特角是\_\_\_\_\_。

参考答案：54.7°

8. (本题 5 分) 如果从一池静水( $n=1.33$ )的表面反射出来的太阳光是线偏振的, 那么太阳的仰角(见图)大致等于\_\_\_\_\_ , 在这反射光中的  $E$  矢量的方向应\_\_\_\_\_。



参考答案：37°，垂直于入射面

## 二、推导证明题 (共 8 分)

9. (本题 8 分) 利用单缝夫琅禾费衍射可以测量微小的位移, 具体做法如下: 将待测位移对象和一个固定的标准直边构成一条单缝, 当位移发生时, 接收屏上条纹的宽度会发生变化。若 $\pm k$ 级暗纹间距离变化 $dx_k$ , 则微小位移 $da$ 是多少? 已知单缝的起始宽度为 $a$  ( $da \ll a$ ), 透镜焦距为 $f$ , 入射光的波长为 $\lambda$ 。

参考答案:

解:  $a \sin \theta = k\lambda$   $k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

$\pm k$ 级暗纹间距为 $x_k = 2f\theta_k$ , 式中 $\theta_k$ 为第 $k$ 级暗纹对应的衍射角, 很小, 故有

$$\theta_k \approx \sin \theta_k = \frac{k\lambda}{a}$$
$$x_k = 2 \frac{fk\lambda}{a}$$

两边取微分得

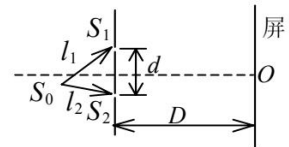
$$dx_k = -2 \frac{fk\lambda}{a^2} da$$

由此可知

$$da = -\frac{a^2}{2fk\lambda} dx_k$$

## 三、计算题 (共 56 分)

10. (本题 10 分) 在双缝干涉实验中, 单色光源 $S_0$ 到两缝 $S_1$ 和 $S_2$ 的距离分别为 $l_1$ 和 $l_2$ , 并且 $l_1 - l_2 = 3\lambda$ ,  $\lambda$ 为入射光的波长, 双缝之间的距离为 $d$ , 双缝到屏幕的距离为 $D$  ( $D \gg d$ ), 如图。求: (1) 零级明纹到屏幕中央 $O$ 点的距离; (2) 相邻明条纹间的距离。



解: (1) 如图设 $P_0$ 为零级明纹中心

则  $r_2 - r_1 = d \overline{OP_0} / D$  (3分)

$$(l_2 + r_2) - (l_1 + r_1) = 0$$

$$r_2 - r_1 = l_1 - l_2 = 3\lambda$$

$$\text{故 } \overline{OP_0} = (r_2 - r_1)D/d = 3D\lambda/d \quad (3 \text{ 分})$$

(2) 在屏上距  $O$  点为  $x$  处, 光程差

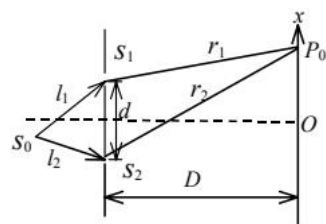
$$\delta \approx (dx/D) - 3\lambda \quad (2 \text{ 分})$$

明纹条件  $\delta = \pm k\lambda (k=1, 2, \dots)$

$$x_k = (\pm k\lambda + 3\lambda)D/d$$

在此处令  $k=0$ , 即为(1)的结果. 相邻明条纹间距

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = D\lambda/d \quad (2 \text{ 分})$$



11. (本题 10 分) 如图, 将焦距为  $f$  的薄透镜从中间切开, 切开部分上下对称移动, 中部宽度为  $c$  的缝隙用不透光的介质填充. 已知光源  $S$  到透镜的距离为  $a$ , 屏到透镜的距离为  $b$ , 光源发光波长为  $\lambda$ , 求屏上条纹的间距?

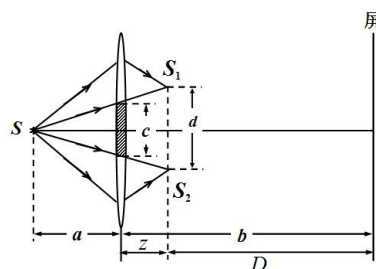
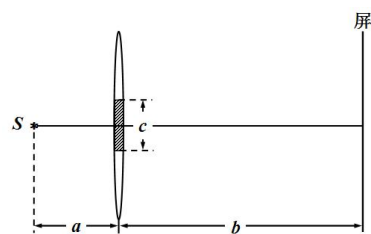
解: 如图所示 (2 分),

由透镜成像公式,  $\frac{1}{a} + \frac{1}{z} = \frac{1}{f}$  (1 分)

$$\text{得: } z = \frac{af}{a-f}, \quad D = b - z = \frac{ab - (a+b)f}{a-f} \quad (2 \text{ 分})$$

由图中几何关系, 可得  $\frac{c}{d} = \frac{a}{a+z}$ ,  $d = \frac{c}{a}(a+z) = \frac{ac}{a-f}$  (2 分)

这相当于双缝干涉, 屏上干涉条纹的宽度为,  $\Delta x = \frac{D}{d}\lambda = \frac{ab - (a+b)f}{ac}\lambda$  (3 分)



12. (本题 8 分) 在牛顿环装置的平凸透镜和平板玻璃间充以某种透明液体, 观测到第 10 个明环的直径由充液前的 14.8 cm 变成充液后的 12.7 cm, 求这种液体的折射率  $n$ .

解: 设所用的单色光的波长为  $\lambda$ , 则该单色光在液体中的波长为  $\lambda/n$ . 根据牛顿环的明环半径公式

$$r = \sqrt{(2k-1)R\lambda/2}$$

有  $r_{10}^2 = 19R\lambda / 2$  (3分)

充液后有

$$r_{10}'^2 = 19R\lambda / 2n$$
 (3分)

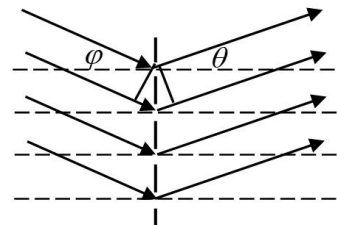
由以上两式可得

$$n = r_{10}^2 / r_{10}'^2 = 1.36$$
 (2分)

13. (本题 10 分) 波长为 500 nm 的平行单色光, 沿与光栅平面法线成  $30^\circ$  方向入射到光栅, 发现垂直入射时的中央明条纹位置现在变成第二级光谱的位置, 求此光栅每 1 cm 上共有多少条缝? 最多能看到几级光谱?

解: (1) 斜入射时

$$(a+b)(\sin \varphi + \sin \theta) = k\lambda$$
 (3分)



原中央明纹处,  $\theta = 0$ ,  $\varphi = 30^\circ$ ,  $k=2$ ,

$$a+b = k\lambda / (\sin \varphi + \sin \theta) = 2 \times 500 \times 10^{-9} / (\sin 30^\circ + \sin 0^\circ) = 2 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$N = 1 \times 10^{-2} / (a+b) = 5000 \text{ 条 / cm}$$
 (3分)

当入射光线和衍射光线在法线的同侧,  $\theta = \pi/2$  时, 能看到主极大明纹级次为

$$k_+ = (a+b)(\sin 30^\circ + \sin \pi/2) / \lambda = 6$$
 (2分)

当入射光线和衍射光线在法线的异侧,  $\theta = -\pi/2$  时, 能看到主极大明纹级次为

$$k_- = (a+b)(\sin 30^\circ + \sin(-\pi/2)) / \lambda = -2$$
 (2分)

则最多能看到的谱线为第 6 级。

14. (本题 8 分) 据说现代间谍卫星上的照相机能清楚识别地面上汽车的牌照号码。(1) 如果需要识别的牌照上的字划间的距离为 5 cm, 在 160 km 高空的卫星上照相机的角分辨率应为多大? (2) 若光的波长按 500 nm 计算, 此照相机的孔径需要多大?

解：（1）照相机的最小分辨角为 $\theta$

$$\theta = \frac{d}{l} = \frac{5 \times 10^{-2}}{160 \times 10^3} = 3.13 \times 10^{-7} \quad (3 \text{ 分})$$

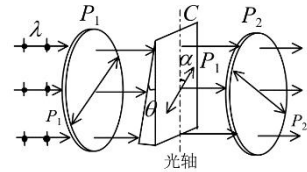
（2）照相机孔径艾里斑的半角宽度为

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (3 \text{ 分})$$

$$3.13 \times 10^{-7} = 1.22 \times \frac{500 \times 10^{-9}}{D}$$

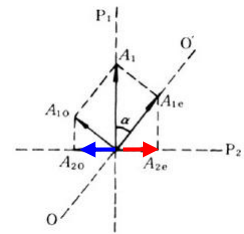
此照相机的孔径  $D = 1.95 \text{ m}$ 。 (2 分)

15. (本题 10 分) 石英尖劈  $C$  夹在相互正交的两个偏振片  $P_1$  和  $P_2$  之间, 如图所示, 其中箭头表示  $P_1$  和  $P_2$  的偏振方向。波长为  $\lambda$  的单色平行自然光垂直入射在这三个光学器件上, 求透射光形成的干涉条纹间距  $\Delta x$ 。已知石英的主折射率为  $n_o$  和  $n_e$  ( $n_o < n_e$ ), 石英劈角  $\theta$  很小, 光轴平行于前表面。



解：这是一个偏振光干涉的问题, 由图可知, 偏振光在  $P_2$  投影时会产生  $\pi$  的相位差。 (2 分)

由于  $P_1$  和  $P_2$  正交, 由图可知, 投影到  $P_2$  上的电矢量大小相等, 因此可以形成明暗相间的条纹。



设第  $m$  和  $m+1$  级明条纹对应的尖劈厚度分别为  $d_m$  和  $d_{m+1}$ , 则有

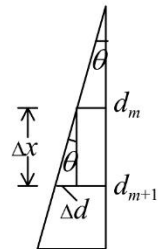
$$2\pi(n_e - n_o)d_m/\lambda + \pi = 2m\pi \quad (1) \quad (2 \text{ 分})$$

$$2\pi(n_e - n_o)d_{m+1}/\lambda + \pi = 2(m+1)\pi \quad (2) \quad (2 \text{ 分})$$

$$(2) - (1) \text{ 得 } 2\pi(n_e - n_o)(d_{m+1} - d_m)/\lambda = 2\pi$$

由于  $\theta$  很小,  $\Delta d = d_{m+1} - d_m = \Delta x \tan \theta = \Delta x \cdot \theta$

因此条纹间距为  $\Delta x = \lambda / (n_e - n_o) \theta$  (4 分)



#### 四、设计应用题（共 6 分）

16.（本题 6 分）设计一个光学实验，测量人头发的直径。

答：不透明物体的衍射和相应尺寸单缝衍射的图案相同，因此可以通过激光通过头发的衍射来测定头发的直径。

设头发的直径为  $a$ ，此即单缝的宽度。衍射的暗纹公式为

$$a \sin \theta = k \lambda$$

设接收屏前透镜的焦距为  $f$ ，测得第  $k$  级暗纹的位置  $x$ ，考虑到衍射角  $\theta$  很小，可知

$$a \sin \theta \approx a \tan \theta = ax / f = k \lambda$$

单缝的宽度，即头发的直径为

$$a = kf \lambda / x$$