

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）

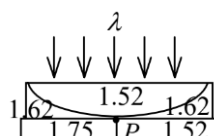
1.（本题 3 分）在真空中波长为 λ 的单色光，在折射率为 n 的透明介质中从 A 沿某路径传播到 B ，若 A 、 B 两点相位差为 3π ，则此路径 AB 的光程为_____。

参考答案： 1.5λ

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_____。

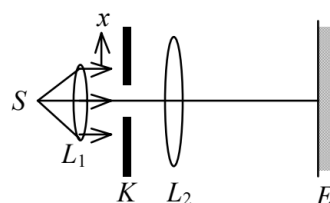
参考答案： 不变，变暗，变强或不再为零

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 mm 的单缝上，在缝后放一焦距为 2.0 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 mm ，则入射光波长约为_____。

参考答案： 500 nm

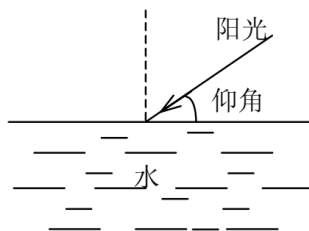
6.（本题 3 分）某元素的特征光谱中含有波长分别为 $\lambda_1=450 \text{ nm}$ 和 $\lambda_2=750 \text{ nm}$ 的光谱线。在光栅光谱中，这两种波长的谱线有重叠现象，重叠处 λ_2 的谱线的级数将是_____。

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° ，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 λ 。

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 θ_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

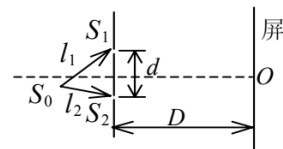
$$dx_k = -2 \frac{fk\lambda}{a^2} da$$

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 $l_1 - l_2 = 3\lambda$, λ 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

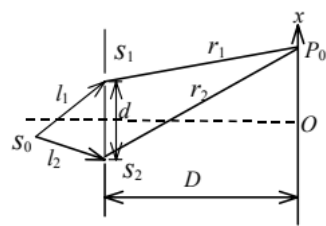
$$\delta \approx (dx/D) - 3\lambda \quad (2 \text{ 分})$$

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

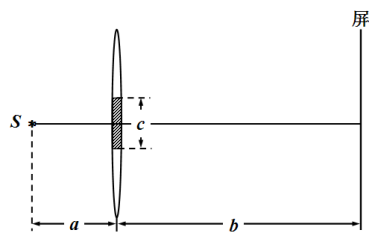
$$x_k = (\pm k\lambda + 3\lambda)D/d$$

在此处令 $k=0$, 即为(1)的结果. 相邻明条纹间距

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



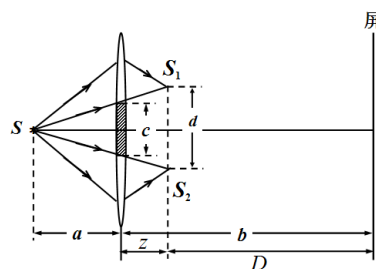
11. (本题 10 分) 如图, 将焦距为 f 的薄透镜从中间切开, 切开部分上下对称移动, 中部宽度为 c 的缝隙用不透光的介质填充。已知光源 S 到透镜的距离为 a , 屏到透镜的距离为 b , 光源发光波长为 λ , 求屏上条纹的间距?



解: 如图所示 (2 分),

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

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



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

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

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 λ , 则该单色光在液体中的波长为 λ/n 。根据牛顿环的明环半径公式

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

有

$$r_{10}^2 = 19R\lambda / 2 \quad (3 \text{ 分})$$

充液后有

$$r_{10}'^2 = 19R\lambda / 2n \quad (3 \text{ 分})$$

由以上两式可得

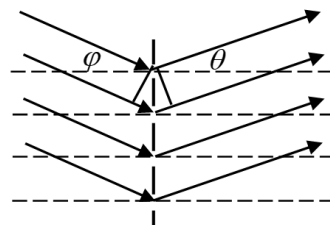
$$n = r_{10}^2 / r_{10}'^2 = 1.36 \quad (2 \text{ 分})$$

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° 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

$$(a+b)(\sin \varphi + \sin \theta) = k\lambda \quad (3 \text{ 分})$$

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



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

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

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

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

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

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

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 θ

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

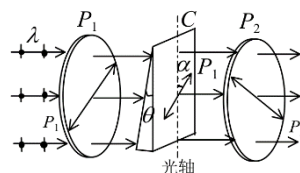
（2）照相机孔径艾里斑的半角宽度为

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

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

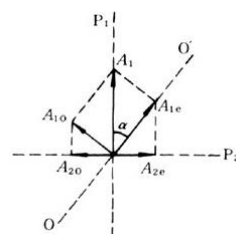
此照相机的孔径 $D = 1.95 \text{ m}$ 。 (2 分)

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 λ 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 Δx 。已知石英的主折射率为 n_o 和 n_e ($n_o < n_e$), 石英劈角 θ 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 π 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

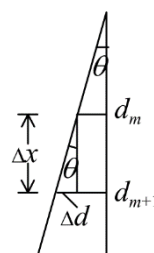
$$2\pi(n_e - n_o)d_m/\lambda + \pi = 2m\pi \quad (1) \quad (2 \text{ 分})$$

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

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

由于 θ 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 θ 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

$$a = kf \lambda / x$$