

## 大学物理（王少杰教材）第3套阶段训练题目答案 光学（13章）

### 一、填空题（共30分）

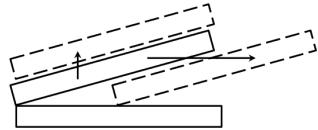
1.（本题3分）两列光波叠加后能产生干涉现象的条件为：频率相同、相位差恒定、\_\_\_\_\_。

参考答案：振动方向相同

2.（本题5分）两个相干点光源 $S_1$ 和 $S_2$ 会在全空间中产生干涉。当在垂直于 $S_1$ 和 $S_2$ 连线的平面处放置一个观察屏时，屏上会产生\_\_\_\_\_形状的干涉条纹；当观察屏所在平面平行于 $S_1$ 和 $S_2$ 连线时，屏上会产生\_\_\_\_\_形状的干涉条纹。

参考答案：同心圆，双曲线

3.（本题6分）在劈尖干涉实验装置中，如果把上面的一块玻璃向上平移，干涉条纹将会\_\_\_\_\_；如果向右平移，干涉条纹将会\_\_\_\_\_；如果将它绕接触线转动，使劈尖角增大，干涉条纹将会\_\_\_\_\_。



参考答案：整体向左平移，整体向右平移，间距减小且向左棱边处密集

4.（本题3分）若将杨氏双缝干涉实验装置由空气移入水中，在屏上的干涉条纹间距会\_\_\_\_\_。（填变大、变小或不变）

参考答案：变小

5.（本题3分）一人持一狭缝屏紧贴眼睛，通过狭缝注视遥远处的一平行于狭缝的线状白光光源，这人看到的衍射图样与\_\_\_\_\_相同。（填菲涅尔衍射或夫琅禾费衍射）

参考答案：夫琅禾费衍射

6.（本题3分）有一单缝，宽 $a = 0.10\text{ mm}$ ，在缝后放一焦距为 $50\text{ cm}$ 的会聚透镜。用平行绿光（ $\lambda = 546.0\text{ nm}$ ）垂直照射单缝，位于透镜焦平面处的屏幕上的中心明条纹宽度为\_\_\_\_\_。

参考答案：5.46 mm

7.（本题4分）某种透明媒质对于空气的全反射角等于 $30^\circ$ ，此媒质放于水中时，光从水进入该媒质的布儒斯特角为\_\_\_\_\_。

参考答案： $\arctan(1.5) = 56.3^\circ$

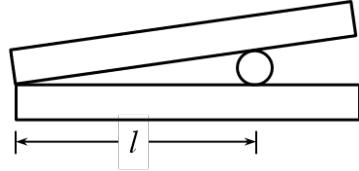
8.（本题3分）使自然光通过两个偏振方向成 $60^\circ$ 的偏振片，透射光强为 $I_1$ 。如

果在这两个偏振片之间再插入另一偏振片，它的偏振方向与前两个偏振片均成 $30^\circ$ 角，此时透射光强为\_\_\_\_\_。

参考答案： $2.25 I_1$

## 二、推导证明题（共 8 分）

9. (本题 8 分) 利用劈尖可以测量头发丝的直径，具体做法如下：将待测头发丝夹在两玻璃片之间，构成一个劈尖，头发丝距离两玻璃片接触侧的距离为  $l$ ，用波长为  $\lambda$  的平行光垂直照射劈尖，用读数显微镜能观察到明暗相间的平行条纹，如果观察到第 1 个亮条纹中心和第 51 个亮条纹中心的间距是  $x$ ，则头发丝厚度  $d$  ( $d \ll l$ ) 为多少？如果头发丝受热膨胀了  $\Delta d$  ( $\ll d$ )，此时  $x$  对应的变化量  $\Delta x$  为多少？



解：劈尖是等厚干涉，第 1 个亮条纹和第 51 个亮条纹之间的光程差为  $50\lambda$

两玻璃片之间的夹角为  $\theta = 50\lambda/x = d/l$

所以  $d = 50\lambda l/x$

当头发丝膨胀后， $\Delta x = \Delta(50\lambda l/d) = 50\lambda l \Delta d/d^2$

## 三、计算题（共 56 分）

10. (本题 10 分) 在双缝干涉实验中，两缝的间距为 0.6 mm，照亮狭缝 S 的光源是汞灯加上绿色滤光片。在 2.5 m 远处的屏幕上出现干涉条纹，测得相邻两明条纹其中心的距离为 2.27 mm。试计算入射光的波长。如果测量仪器只能测量  $\Delta x \geq 5$  mm 的距离，则对此双缝的间距有何要求？

解：在屏幕上取坐标轴  $Ox$ ，向上为正，坐标原点位于双缝的对称中心。屏幕上第  $k$  级明纹中心的位置为

$$x = \pm kD\lambda/d$$

第  $k$  级与第  $k+1$  级明纹中心的间隔为

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = (k+1)D\lambda/d - kD\lambda/d = D\lambda/d$$

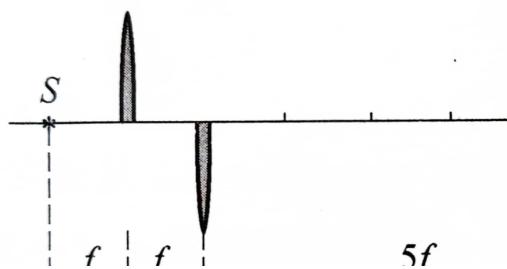
代入数据，得  $\lambda = d\Delta x/D = 545$  nm

如果所用仪器只能测量相邻两明（暗）纹中心的间隔  $\Delta x \geq 5$  mm，则此双缝的间距  $d$  应进一步减小，由

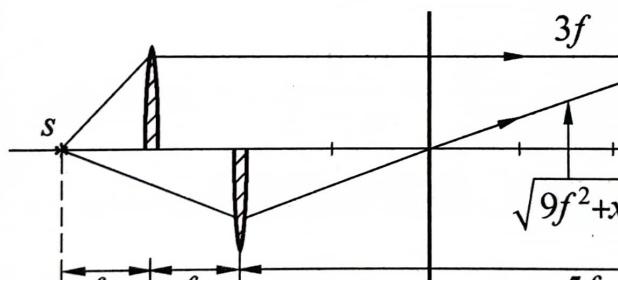
$$\Delta x = D\lambda/d \geq 5 \text{ mm}$$

得  $d = D\lambda/\Delta x \leq 0.27 \text{ mm}$

11. (本题 10 分) 如图所示, 光源  $S$  位于透镜的焦点上, 将焦距为  $f$  的透镜从中间切开, 移动下半部分使其距光源  $2f$ , 距光源  $7f$  处放置一屏, 入射光波长为  $\lambda$ , 求屏上条纹的间距。



解: 依题意作图, 并由几何光学与波面特点, 找出等相位位置, 如图所示  
由明条纹应满足的光程差条件知, 明条纹位置



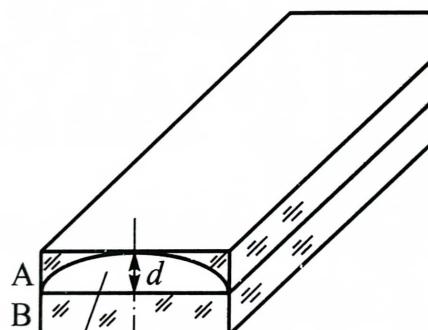
$$\sqrt{9f^2 + x_k^2} - 3\lambda = k\lambda$$

可得  $x_k = \sqrt{(k\lambda + 3f)^2 - 9f^2}$

条纹间距  $\Delta x = x_{k+1} - x_k = \sqrt{[(k+1)\lambda + 3f]^2 - 9f^2} - \sqrt{(k\lambda + 3f)^2 - 9f^2}$

$$= \frac{\lambda \sqrt{x_k^2 + 9f^2}}{x_k}$$

12. (本题 10 分) 一柱面平凹透镜 A, 曲率半径为  $R$ , 放在平玻璃片 B 上, 如图所示。现用波长为  $\lambda$  的单色平行光自上方垂直往下照射, 观察 A 和 B 间空气薄膜的反射光的干涉条纹。如空气薄膜的最大厚度  $d = 2\lambda$ 。(1) 分析干涉条纹的特点(形状、分布、级次高低), 作图表示明条纹; (2) 求明条纹距中心线的距离  $r$ ; (3) 共能看到多少明条纹; (4) 若将玻璃片 B 向下平移, 条纹如何移动? 若玻璃片移动了  $\lambda/4$ , 问这时还能看到几条明条纹?



解: 在空气层厚度为  $e$  处, 上、下表面反射光的光程差为

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$$

(1) 暗条纹对应光程差满足

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \quad k = 0, 1, 2, 3, 4$$

在两棱边处  $e = 0$ , 为  $k = 0$  的暗条纹; 在空气层最高处  $e = d = 2\lambda$ , 为  $k = 4$  的暗条纹。共有 9 条暗纹, 级次呈内高外低分布。

明条纹对应光程差满足

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = k\lambda, \quad k = 1, 2, 3, 4$$

共有 8 条明纹。

由于相邻两明纹或暗纹的厚度差  $\Delta e = \frac{\lambda}{2}$  为空气中的半波长, 因而条纹间隔为中间疏两侧密。以实线表示暗纹, 条纹的分布特征如图所示。

(2) 如图所示, 设中心线到一侧第  $k$  级明纹的距离为  $r$ , 利用几何关系, 有

$$r^2 = R^2 - [R - (d - e)]^2 \approx 2R(d - e)$$

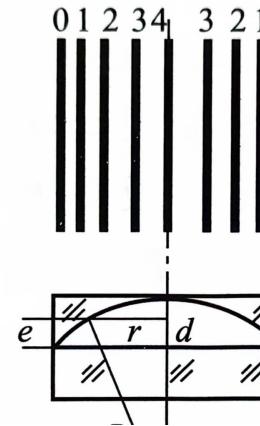
将上式代入明条纹条件, 得

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

(3) 在中央暗条纹两侧, 各有 4 条明纹。共有 8 条明纹。

(4) 若将 B 下移, 第  $k$  级条纹对应的膜厚  $e_k$  将随之外移, 干涉条纹将向两侧移动。中心线的光强将由暗转为明, 暗条纹逐渐变为明条纹, 呈现明暗交替变化。

B 下移  $\lambda/4$  时, 反射光的光程差增加  $\lambda/2$ , 中心线变为第 5 级明条纹, 而透镜两边缘处空气膜的厚度为  $e = \lambda/4$ , 成为第 1 级明纹。此时的视场中出现 9 条明纹, 8 条暗纹。



13. (本题 8 分) 一衍射光栅每毫米刻线 300 条。入射光包含红光和紫光两种波长的光, 垂直入射到光栅, 发现在  $24.46^\circ$  角处两种波长光的谱线重合。试问红光和紫光的波长各是多少?

解: 设红光和紫光的波长分别为  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$ , 在与光栅法线成  $\theta = 24.46^\circ$  的方向上, 两种波长光的谱线重合。根据光栅方程, 有

$$d \sin \theta = k_1 \lambda_1 = k_2 \lambda_2 \quad (k_1 < k_2)$$

光栅常数为  $d = 1/N = 1 \times 10^{-3}/300 \text{ m}$

所以  $\lambda_1 = \sin \theta / (k_1 N) = 1/k_1 \times 1.38 \times 10^{-6} \text{ m}$

由于可见光的波长范围为  $400 \sim 760 \text{ nm}$ , 故  $k_1 = 2, k_2 = 3$

代入得红光波长为  $\lambda_1 = 690 \text{ nm}, \lambda_2 = 460 \text{ nm}$

14. (本题 8 分) 一观察者通过缝宽为 0.5 mm 的单缝，观察位于正前方 1 km 远处发出波长为 500 nm 的单色光的两盏灯的灯丝，两灯丝都与单缝平行，它们所在的平面与观察方向垂直，则人眼能分辨的两灯丝最短距离是多少？

解：设人眼能分辨的两灯丝最小间距为  $\Delta x$ ，两灯丝距人眼（单缝）为  $l$ ，单缝宽为  $a$ ，单缝衍射的第一级暗纹中心对应的衍射角为  $\theta$ 。有

$$a \sin \theta_1 \approx a\theta_1 = \lambda$$

中央明纹的半角宽度为

$$\Delta\theta_0 = \theta_1 = \lambda/a$$

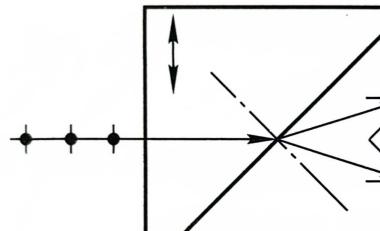
恰可分辨时，有

$$\Delta\theta_0 = \theta_R = \Delta x/l$$

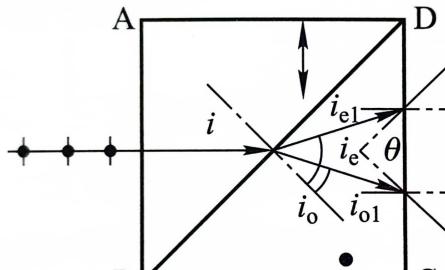
$\theta_R$  为最小分辨角。得

$$\Delta x = \lambda l/a = 1 \text{ m}$$

15. (本题 10 分) 如图所示的沃拉斯顿棱镜是由两个 45°的方解石棱镜组成的。光轴方向如图所示，以自然光入射，求两束出射光线间的夹角和振动方向。已知  $n_o = 1.66$ ,  $n_e = 1.49$ 。



分析：如图所示，对 ABD 棱镜，自然光垂直于晶体表面和光轴入射，在晶体中，o 光和 e 光分别以  $v_o$  和  $v_e$  沿原方向传播， $v_o < v_e$ 。对 CBD 棱镜，来自左边棱镜的光束也垂直于光轴入射，但对 BD 面是斜入射，因此 o 光和 e 光的传播方向将分开。e 光在左、右两棱镜中都以最大速率  $v_e$  传播。需注意，在棱镜 ABD 中 o、e 光的主平面重合，而在棱镜 CBD 中 o、e 光的主平面不重合；在棱镜 ABD 中的 o 光，在 CBD 中成为 e 光，在棱镜 ABD 中的 e 光，则成为 CBD 中的 o 光。当两光线从 CBD 棱镜出射后，都是从光密介质进入光疏介质，两光线将分得更开。



解：在 BD 界面，来自左边棱镜的光束以  $i = 45^\circ$  入射。入射于 BD 的 o 光，折射成 e 光，入射的 e 光，则折射成 o 光。设折射角分别为  $i_e$  和  $i_o$ 。根据折射定律，有

$$n_e \sin i = n_o \sin i_o \quad \text{和} \quad n_o \sin i = n_e \sin i_e$$

解得

$$i_o = \arcsin(n_e \sin i / n_o) = 0.69 \text{ rad} = 39^\circ 24'$$

和  $i_e = \arcsin(n_o \sin i/n_e) = 0.91 \text{ rad} = 51^\circ 58'$

由图可知， $\text{o}$  光在 DC 界面的入射角为

$$i_{o1} = i - i_o = 5^\circ 36'$$

$e$  光在 DC 界面的入射角为

$$i_{e1} = i_e - i = 6^\circ 58'$$

再次运用折射定律，求得两个偏振光束在空气中的折射角，有

$$n_e \sin i_{e1} = \sin i_{e2} \text{ 和 } n_o \sin i_{o1} = \sin i_{o2}$$

得  $i_{e2} = 10^\circ 25'$  和  $i_{o2} = 9^\circ 19'$

两束出射光线间的夹角为

$$\theta = i_{e2} + i_{o2} = 19^\circ 44'$$

#### 四、设计应用题（共 6 分）

16. (本题 6 分) 在加工透镜时，经常利用牛顿环快速检测其表面曲率是否合格。将标准件（玻璃验规）G 覆盖在待测工件 L 之上，如图所示。如果光圈（牛顿环的俗称）太多，工件不合格，需要进一步研磨，究竟磨边缘还是磨中央，有经验的工人师傅只要将验规轻轻下压，观察光圈的变化，试问他是怎样判断的。

答：将标准件 G 覆盖在待测件 L 上时，两者间形成空气膜，因而出现牛顿环。若标准件与待测件完全密合，则不出现牛顿环，即待测件完全达到标准值要求。如果待测件曲率半径小于或大于标准件，则出现牛顿环，圆环条纹越多，说明误差越大；若条纹不圆，则说明被测件的曲率半径不均匀，如果用手均匀轻压验规，牛顿环各处空气隙的厚度必然减小，相应的光程差也减小，条纹将发生移动。若条纹向边缘扩展，说明零级条纹在中心，可知被测件的曲率半径小于标准值，这时需要磨中央；若条纹向中心收缩，说明零级条纹在边缘，可知被测件的曲率半径大于标准值，这时需要磨边缘。

