

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）

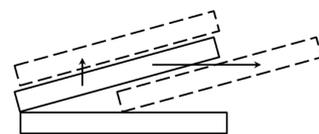
1.（本题3分）两列光波叠加后能产生干涉现象的条件为：频率相同、相位差恒定、_____。

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 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° ，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： $\arctan(1.5) = 56.3^\circ$

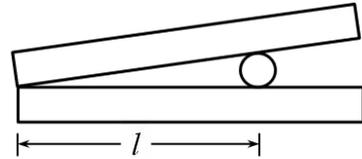
8.（本题3分）使自然光通过两个偏振方向成 60° 的偏振片，透射光强为 I_1 。如

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° 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 λ 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 Δd ($\ll d$)，此时 x 对应的变化量 Δx 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 50λ
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 $\Delta x \geq 5 \text{ mm}$ 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

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

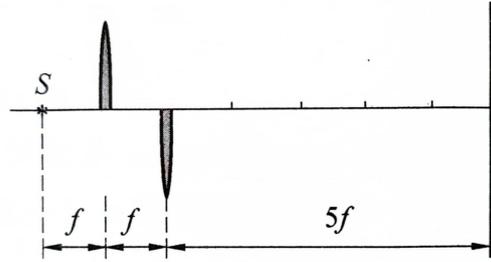
代入数据，得 $\lambda = d\Delta x/D = 545 \text{ nm}$

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

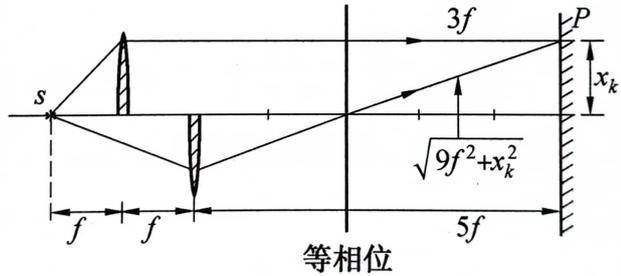
$$\Delta x = D\lambda/d \geq 5 \text{ mm}$$

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 λ , 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



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

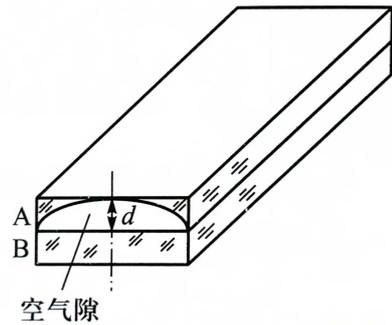
可得

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

条纹间距

$$\begin{aligned} \Delta x &= x_{k+1} - x_k = \sqrt{[(k+1)\lambda + 3f]^2 - 9f^2} - \sqrt{(k\lambda + 3f)^2 - 9f^2} \\ &= \frac{\lambda\sqrt{x_k^2 + 9f^2}}{x_k} \end{aligned}$$

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 λ 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。

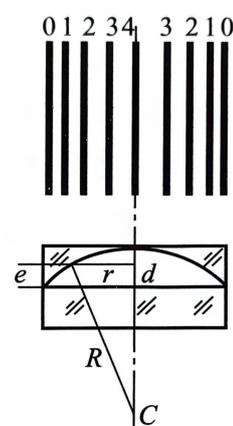
由于相邻两明纹或暗纹的厚度差 $\Delta e = \frac{\lambda}{2}$ 为空气中的半波长，因而条纹间隔为中间疏两侧密。以实线表示暗纹，条纹的分布特征如图所示。

(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° 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 λ_1 和 λ_2 ，在与光栅法线成 $\theta = 24.46^\circ$ 角的方向上，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 m 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 Δx , 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 θ 。有

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

中央明纹的半角宽度为

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

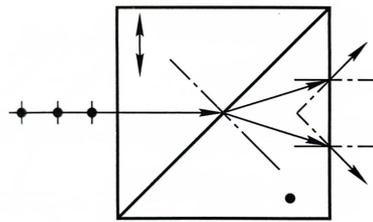
恰可分辨时, 有

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

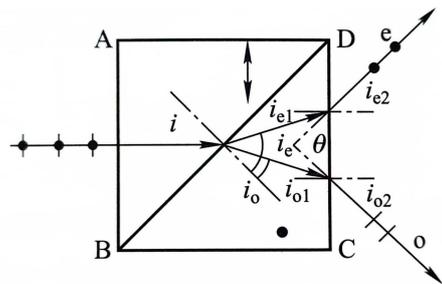
θ_R 为最小分辨角。得

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

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, 在晶体内, 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，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

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

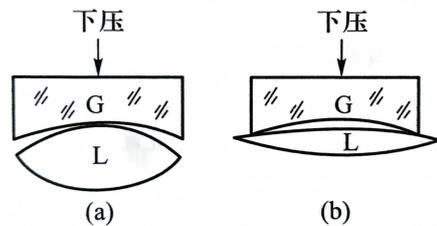
得 $i_{e2} = 10^\circ 25'$ 和 $i_{o2} = 9^\circ 19'$

两束出射光线间的夹角为

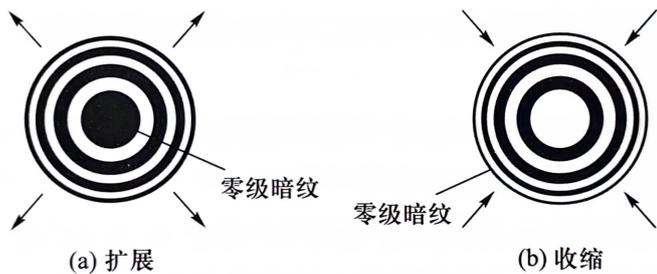
$$\theta = i_{e2} + i_{o2} = 19^\circ 44'$$

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 覆盖在待测工件 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。