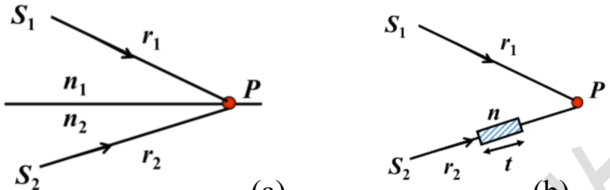
任课教师：时红艳　　学号：＿＿＿＿＿　　姓名：＿＿＿＿＿

2019 春大学物理 C　作业九

第十一章 波动光学

一、简答题

1. 为何要引入光程？相位差与光程差之间有何关系？请求出图中(a)、(b)的光程差和相位差。



(a)　(b)

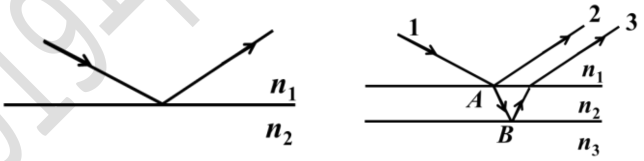
答：在研究光通过不同介质的干涉现象时，为了简化计算而引入了光程，光程就是光在介质中通过的几何路程 r 和介质的折射率 n 的乘积 nr，即折算成光在真空中的几何路程，这两者的相位变化相同。

相位差 $\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1$，光程差 δ 是两束相干光传播到相遇点的光程之差，两者的关系为 $\Delta\varphi=\dfrac{2\pi}{\lambda}\delta$，$\lambda$ 为两束光在真空中的波长。

(a) $\delta=n_2r_2-n_1r_1$，$\Delta\varphi=\dfrac{2\pi}{\lambda}\left(n_2r_2-n_1r_1\right)$；

(b) $\delta=\left(r_2-t+nt\right)-r_1=\left(r_2-r_1\right)+\left(n-1\right)t$，$\Delta\varphi=\dfrac{2\pi}{\lambda}\left[\left(r_2-r_1\right)+\left(n-1\right)t\right]$。

2. 光在两种介质表面上反射，什么时候发生半波损失？如图，折射率 n_1、n_2、n_3 满足什么条件时将有半波损失？



(a)　(b)

答：当光波从光疏介质射到光密介质时，反射光与入射光之间的相位有 π 的突变，这相对于反射光增加或减小了半个波长的额外光程差，故称作半波损失。

(a) 当 $n_2>n_1$ 时，反射光有半波损失；

(b) 当 $n_1>n_2>n_3$ 时，两表面的反射光均无半波损失；

当 $n_1<n_2<n_3$ 时，两表面的反射光均存在半波损失；

当 $n_1<n_2>n_3$ 时，在 A 点处反射的反射光存在半波损失，而在 B 点处反射的反射

光无半波损失；

当 $n_2 < n_1$，$n_2 < n_3$ 时，在 A 点处反射的反射光没有半波损失，而在 B 点处反射的反射光存在半波损失。

3. 请简述等倾干涉和牛顿环干涉干涉条纹的区别。

答：两种干涉均是内疏外密的环状结构。对于等倾干涉来说，其明环和暗环计算公式分别为 $k\lambda = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \dfrac{\lambda}{2}$ 和 $(2k+1)\dfrac{\lambda}{2} = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \dfrac{\lambda}{2}$，可以看出其干涉级次是随入射光倾角变大而变小的，因此其明环（或暗环）干涉级次是中心高周围低；对于牛顿环干涉来说，其明环和暗环计算公式分别为 $k\lambda = 2ne + \dfrac{\lambda}{2}$ 和 $(2k+1)\dfrac{\lambda}{2} = 2ne + \dfrac{\lambda}{2}$，可以看出其干涉级次是随介质厚度 e 的变大而变大的，因此其明环（或暗环）干涉级次是中心低周围高。

二、选择题

4. 在相同时间内，一束波长为 λ 的单色光在空中和在玻璃中，传播的路程__________，走过的光程__________；[C]

(A) 相等，相等　　(B) 相等，不相等

(C) 不相等，相等　　(D) 不相等，不相等

5. 根据惠更斯-菲涅尔原理，若已知光在某时刻的波振面为 S，则 S 的前方某点 P 的光强度决定于波振面 S 上所有面元发出的子波各自传到 P 点的 [D]

(A) 振动振幅之和;　　(B) 光强之和;

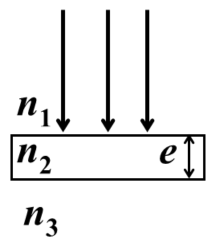
(C)振动振幅之和的平方;　　(D) 振动的相干叠加.

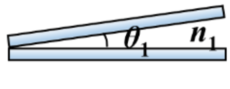
二、填空题

6. 光强均为 I_0 的两束相干光相遇而发生干涉时，在相遇区域内有可能出现的最大光强是 $\underline{4I_0}$。

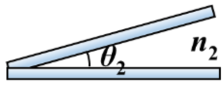
7. 在双缝干涉试验中，用折射率为 n 的薄云母片覆盖其中的一条狭缝，这时屏幕上的第 7 级明纹恰好移到屏幕中央原零级明纹的位置，设入射光波长为 λ，则云母片的厚度为 $\underline{7\lambda/(n-1)}$。

8. 如图所示，折射率为 n_2，厚度为 e 的透明介质薄膜的上、下方透明介质的折射率分别为 n_1 和 n_3，且 $n_1<n_2<n_3$，若用波长为 λ 的单色平行光垂直入射到该薄膜上，则从薄膜上下两表面反射的光束之间的光程差为 $\underline{2n_2e}$。





9. 波长为 λ 的单色平行光垂直照射两个劈尖上，两劈尖角分别为 θ_1 和 θ_2，折射率分别为 n_1 和 n_2，若两者分别形成的干涉条纹的明条纹间距相等，则 θ_1，θ_2，n_1，n_2 之间的关系为 <u>$n_1\theta_1 = n_2\theta_2$</u>。

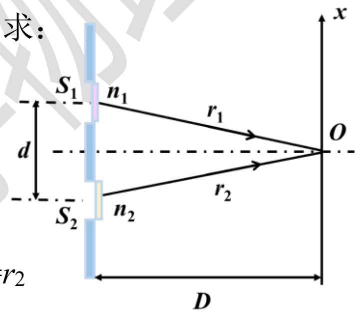


10. 平行单色光垂直入射于单缝上，观察夫琅和费衍射。若屏上 P 点处为第二级暗纹，则单缝处波面相应地可划分为<u>　4　</u>个半波带，若将单缝宽度缩小一半，P 点将是第<u>　1　</u>级<u>　暗　</u>纹。

11. 光栅衍射实验中屏上看到的光强分布是<u>　多缝干涉　</u>受<u>　单缝衍射</u>调制的结果。

三、计算题

12. 如图所示的双缝干涉实验中，若用玻璃片（折射率 n_1=1.4）覆盖缝 S_1，用同样厚度的玻璃片，但折射率 n_2=1.7，覆盖 S_2，将屏幕上原来未放玻璃时的中央明纹所在处 O 变为第五级明纹。设单色光波长为 λ=480nm。求：



(1) 玻璃片的厚度 h，（可认为光线垂直穿过玻璃片）；

(2) 如果双缝与屏间的距离 D =120cm，双缝间距离 d =0.50 mm，则新的零级明纹 O'的坐标 x=?

解：未盖玻璃片之前，O 为中央明纹位置，所以得到：$r_1=r_2$

加上玻璃片之后，条纹整体移动，O 处为第 5 级明纹，所以光程差：

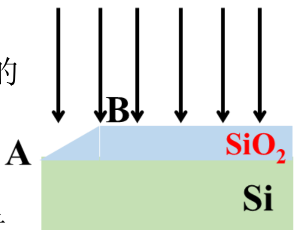
$$\delta = r_2 + (n_2 - 1)h - r_1 - (n_1 - 1)h = (n_2 - n_1)h = 5\lambda$$

得到：　　　　$h=8\times10^{-6}$ m；

依据题意，新的零级明纹在 O 点下方，加上玻璃片后条纹整体下移，新的零级明纹，移动到原来没有加玻璃片之前的-5 级明纹处，其坐标位置为：

$$x = -\frac{Dk\lambda}{d} = -\frac{5\times1.2\times480\times10^{-9}}{0.0005} = -5.76(\mathrm{mm})$$

13. 在 Si 的平表面上氧化了一层厚度均匀的 SiO_2 薄膜，为了测量薄膜厚度，将它的一部分磨成劈行（示意图中的 AB 段）。现用波长为 600 nm 的平行光垂直照射，观察反射光形成的等厚干涉条纹。在图中 AB 段共有 8 条暗纹，且 B 处恰恰是一条暗纹，求薄膜的厚度。（Si 折射率为 3.42，SiO_2 折射率为 1.50）



答：上下表面反射都有相位突变 π，所以计算光程差时不必考虑附加半波长。设薄膜的厚度为 e，B 处为暗纹，所以：

$$2ne=\frac{1}{2}(2k+1)\lambda，（k=0，1，2，…）$$

A 为明纹，B 处出现第 8 条暗纹，对应上式中 $k=7$，得到：

$$e=\frac{（2k+1）\lambda}{4n}=1.5\times10^{-3}\ \mathrm{mm}$$

14. 用波长 $\lambda=500$ nm 的单色光垂直照射两块玻璃板（一端刚好接触形成劈尖），劈尖角度 $\theta=2\times10^{-4}$ rad，如果劈尖内充满折射率为 $n=1.40$ 的液体，求从劈尖数起第五个明纹在充满液体前后移动的距离。

答：第五个明纹处膜厚为 e，有：

$$2ne+\lambda/2=5\lambda;$$

又因 $e=L\theta$，得：$2nL\theta=9\lambda/2$，进一步推出：

$$L=9\lambda/(4n\theta),$$

通过对比充满液体前后折射率的变化我们可以得到第五级明纹移动的距离为：

$$\Delta L=\frac{9\lambda}{4\theta}-\frac{9\lambda}{4n\theta}=1.61\ \mathrm{m}$$

15. 在某单缝衍射实验中，光源发出的光包含有两种波长 λ_1 和 λ_2，垂直入射于单缝上. 假如 λ_1 的第一级衍射极小与 λ_2 的第二级衍射极小相重合，试问：

(1) 两种波长之间有何关系？

(2) 在这两种波长的光所形成的衍射图样中，是否还有其它极小相重合？

解：(1) 由单缝衍射暗纹公式得

$$a\sin\theta_1=1\ \lambda_1 a\sin\theta_2=2\ \lambda_2$$

由题意可知 $\theta_1=\theta_2,\sin\theta_1=\sin\theta_2$

代入上式可得 $\lambda_1=2\ \lambda_2$

(2) $a\sin\theta_1=k_1\lambda_1=2k_1\lambda_2(k_1=1, 2, \ldots)$

$$\sin\theta_1=2k_1\lambda_2/a$$

$$a\sin\theta_2=k_2\lambda_2(k_2=1, 2, \ldots)$$

$$\sin\theta_2=2k_2\lambda_2/a$$

若 $k_2=2\ k_1$，则 $\theta_1=\theta_2$，即 λ_1 的任一 k_1 级极小都有 λ_2 的 $2\ k_1$ 级极小与之重合.

16. 波长 $\lambda = 600$ nm（$1\ \mathrm{nm} = 10^{-9}\mathrm{m}$）的单色光垂直入射到一光栅上，测得第二级主极大的衍射角为 30°，且第三级是缺级。

(1) 光栅常数 $(a + b)$ 等于多少？

(2) 透光缝可能的最小宽度 a 等于多少？

(3) 在选定了上述（$a+b$）和 a 之后，求在衍射角 $-\pi/2< \varphi<\pi/2$ 范围内可观察到的全部主极大的级次？

解：(1) 由光栅衍射的主极大公式得：$a+b=k\lambda/\sin\varphi=2.4\times10^{-4}\text{cm}$

(2) 若第三级不缺级，则由光栅公式得： $(a+b)\sin\varphi' = 3\lambda$

由于第三级缺级，则对应于最小可能的 a，φ'方向应是单缝衍射第一级暗纹：两式比较，得 $a\sin\varphi' = \lambda$

$a =(a+b)/3=8.0\times10^{-3}\text{cm}$

(3) $(a+b)\sin\varphi = k\lambda$（主极大）

$a\sin\varphi = k'\lambda$（单缝衍射极小）($k' = 1, 2, 3, \ldots$) 因此 $k = 3, 6, 9, \ldots$缺级；

又∵ $k_{max} =(a+b)/\lambda= 4$，

实际呈现出的是 $k = 0, \pm1, \pm2$ 级明纹，（$k = \pm4$ 在 $\pi/2$ 处不可见）。

17. 一束平行光垂直入射到某个光栅上，该光栅有两种波长的光，$\lambda_1 = 440$ nm，$\lambda_2 = 660$ nm．实验发现，两种波长的谱线（不计中央明纹）第二次重合于衍射角 $\varphi = 60°$ 的方向上，求此光栅的光栅常数 d.

解： 由光栅衍射主极大公式得 $d\sin\varphi_1 = k\lambda_1$

$$d\sin\varphi_2 = k\lambda_2$$

$$\frac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_2} = \frac{k_1\lambda_1}{k_2\lambda_2} = \frac{440\,k_1}{660\,k_2} = \frac{2\,k_1}{3\,k_2}$$

当两谱线重合时有 $\varphi_1 = \varphi_2$

即 $\dfrac{k_1}{k_2} = \dfrac{3}{2} = \dfrac{6}{4} = \dfrac{9}{6} = \cdots$

两谱线第二次重合即是 $\dfrac{k_1}{k_2} = \dfrac{6}{4}$，$k_1 = 6$， $k_2 = 4$

由光栅公式可知 $d\sin60° = 6\lambda_1$

$$\therefore\ d = \frac{6\lambda_1}{\sin60°} = 3.05\times10^{-3}\ \text{mm}$$

18. 有一束自然光和线偏振光组成的混合光，当它通过偏振片时改变偏振片的取向，发现透射光强可以变化 7 倍。试求入射光中两种光的光强度各占总入射光强的比例。

解：设线偏振光占比为 x,混合光强度为 I_0，自然光强度为 I_1，线偏振光强度为 I_2，则：

$$I_1 = xI_0$$

$$I_2 = (1\text{-}x)I_0$$

$$I_{max} = \frac{1}{2} I_2 + I_1$$

$$I_{min} = \frac{I_2}{2}$$

可得：

$$I_1 : I_2 = 1 : 3$$

自然光占 1/4；线偏振光占 3/4。