《大学物理 AII》作业　No.05 光的干涉

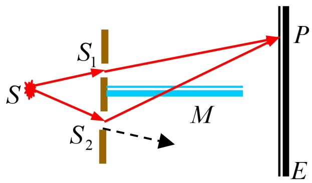
班级 ________ 学号 ________ 姓名 _________ 成绩 _______

*****************************本章教学要求********************************

1、理解光的相干条件及利用普通光源获得相干光的方法和原理。
2、理解光程及光程差的概念，并掌握其计算方法。理解什么情况下有半波损失，理解薄透镜不引起附加光程差的意义。
3、掌握杨氏双缝干涉实验的基本装置及其条纹位置、条纹间距的计算。
4、理解薄膜等倾干涉。
5、掌握薄膜等厚干涉实验的基本装置（劈尖、牛顿环），能计算条纹位置、条纹间距，能理解干涉条纹形状与薄膜等厚线形状的关系。
6、理解迈克耳孙干涉仪原理及应用。

一、选择题:

1. 在双缝干涉实验中，屏幕 E 上的 P 点处是明条纹。若将缝 S_2 盖住，并在 S_1S_2 连线的垂直平面出放一反射镜 M，如图所示，则此时



[　　　] (A)　P 点处仍为明条纹
　　　(B)　P 点处为暗条纹
　　　(C) 不能确定 P 点处是明条纹还是暗条纹
　　　(D) 无干涉条纹

解： 由杨氏双缝干涉明条纹条件可知：缝 S_2 盖住前，屏幕 E 上的 P 点处光程差满足

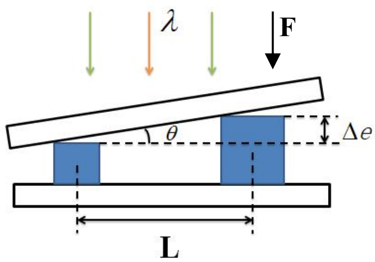
$$\Delta = \overline{S_2P} - \overline{S_1P} = k\lambda$$

则缝 S_2 盖住后，因反射点 M 处反射光有半波损失，屏幕 E 上的 P 点处光程差满足

$$\Delta = \overline{S_1M} + \overline{MP} - \overline{S_1P} + \frac{\lambda}{2} = \overline{S_2M} + \overline{MP} - \overline{S_1P} + \frac{\lambda}{2} = \overline{S_2P} - \overline{S_1P} + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

即此时的 P 点处光程差满足暗纹条件，故 P 点处为暗条纹　　　　故选 **B**

2. 如图示两个边长有微小差别的彼此平行的立方柱体之间的距离为 L，夹在两块平面玻璃的中间，形成空气劈尖，当单色光垂直入射时，产生等厚干涉条纹，轻压平板玻璃，则干涉条纹



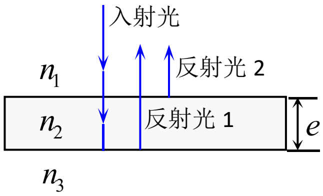
[　　　]（A）条纹右移，间距变大
　　　（B）条纹右移，间距变小
　　　（C）条纹左移，间距变小
　　　（D）条纹不移动，间距不变

解： 如图所示 ，当轻压平板玻璃时，θ会减小。

因条纹间距：$\Delta L = \dfrac{\lambda}{2\sin\theta}$，θ减小，因此条纹间距变大；

由于劈尖的棱边在左边，当条纹间距变大时，条纹向右移动。故选 **A**

3.单色平行光垂直照射在薄膜上，经薄膜上、下两表面反射的两束光发生干涉，如图所示，若薄膜的厚度为 e，且 $n_1 < n_2 > n_3$， λ_1 为入射光在 n_1 中的波长，则两束反射光的光程差是

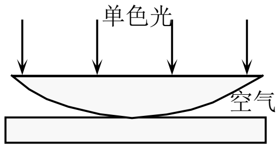


[　　] (A) $2n_2e$　　(B) $2n_2e-\dfrac{\lambda_1}{2n_1}$

(C) $2n_2e-\dfrac{1}{2}n_1\lambda_1$　　(D) $2n_2e-\dfrac{1}{2}n_2\lambda_1$

解： 反射光 1 和反射光 2 的光程差来源于两部分，1.由于两光束在空间所走实际光程的差别导致，因为是垂直入射，所以反射光 1 比反射光 2 多走的光程为 $2n_2e$； 2.另一方面，光在从光疏介质到光密介质的交界面发生反射时会带来半波损失（即引入半个波长的光程差），所以根据题意知，反射光 2 在 n_1 到 n_2 的交界面反射时有半波损失，而反射光 1 在 n_2 到 n_3 交界面反射时没有半波损失。所以最终在两束光的光程差中又由于反射带来了半个波长的光程差，故选 **C**。

4．如图，用单色光垂直照射在观察牛顿环的装置上。当平凸透镜垂直向上缓慢平移而远离平面玻璃时,可以观察到这些环状干涉条纹



[　　] (A) 向中心收缩，条纹间隔变小。
(B) 向中心收缩，环心呈明暗交替变化。
(C) 向外扩张，环心呈明暗交替变化。
(D) 向外扩张，条纹间隔变大。

解： 牛顿环明暗纹条件为：$\delta = 2e+\dfrac{\lambda}{2} = k\lambda$，$k=1,2,3.....$明纹

$$\delta = 2e+\frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}，k=0,1,2.....\text{暗纹}$$

平凸透镜向上平移，空气薄膜厚度 e 增加，屏上各点级次 k 增加，由于牛顿环从中心向外条纹级次 k 逐渐增加，因此，对于屏上各点，它外面的条纹移向它，干涉条纹向中心收缩，环心处原为暗点(e＝0)，为 0 级暗纹，随着透镜向上平移，当 e 增大$\lambda/4$ 时，变为 1 级明纹，再增加$\lambda/4$ 时，变为 1 级暗纹……，环心呈明暗交替变化。故选 **B**。

5．在迈克尔逊干涉仪的一支光路中，放入一片折射率为 n 的透明介质薄膜后，测出两束光的光程差的改变量为一个波长λ，则薄膜的厚度是

[　　] (A) $\dfrac{\lambda}{2}$　　(B) $\dfrac{\lambda}{2n}$

(C) $\dfrac{\lambda}{n}$　　(D) $\dfrac{\lambda}{2(n-1)}$

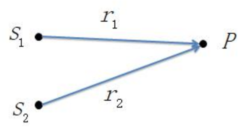
解： 设薄膜厚度为 d，则放入薄膜后光程差的改变量为 $2(n-1)d$

由题意有 $2(n-1)d=\lambda$，则该薄膜的厚度为 $d=\dfrac{\lambda}{2(n-1)}$ 故选 **D**

二、填空题:

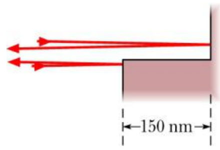
1．只有_相干_光才能产生干涉，我们通常可以采用两种方式从普通光源中获得相干光，它们分别是__分振幅____法和__分波面__法。例如杨氏双缝干涉是__分波面_____ 法，薄膜干涉为 _分振幅法___。在迈克尔孙干涉仪中，如果仪器中的两个反射镜垂直，反射光的干涉为 _等倾干涉_，如果两个反射镜不严格垂直，反射光的干涉为 _等厚干涉_。

2. 如图所示，两列波长为 λ 的相干波在点 P 相遇。第一列波在点 S_1 振动的初相位是 φ_1，点 S_1 到点 P 的距离是 r_1。第二列波在 S_2 振动的初相是 φ_2，点 S_2 到点 P 的距离是 r_2，第二列波与第一列波在 P 点的相位差为 $\varphi_2-\varphi_1+2\pi(r_1-r_2)/\lambda$___，若以 k 代表整数，则点 P 为干涉极大时两列波在此处的相位差为_ $2k\pi$ _。



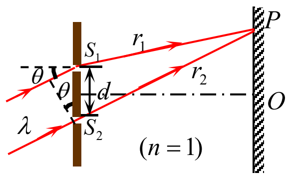
解：当一初相位为 φ 简谐波动从波源传到距离 r 处的相位是 $\varphi-\dfrac{2\pi r}{\lambda}$，这里的负号表示相位落后。所以运用到本题 S_1 和 S_2 波源传到 P 点的相位差为 $\varphi_2-\varphi_1+2\pi(r_1-r_2)/\lambda$，当其为 $2k\pi$ 时，在 P 点为干涉极大。

3．如图所示为两束波长为 600nm 的光线，在相距 150nm 的两个玻璃表面上反射。两束光最初同相。这两束光的光程差为__300nm__。如果他们把反射区域照亮，两束光初相是_反相_（填：同相、反相、介于某种中间状态）。



解：根据半波损失条件，两束最初同相的光在相距 150nm 的两个玻璃表面上反射时均有半波损失，故这两束光的光程差为 $\Delta=2ne=2\times1\times150=300\ (\text{nm})$。如果他们把反射区域照亮，表明它们干涉相长，其光程差应是半波长偶数倍，或相位差应是 π 的偶数倍，而相差 150nm 两个玻璃表面已有的 300nm 光程差，只相当是 1 个半波长，或 1 个 π 位相差，至少还差 1 个半波长，1 个 π 位相差，故两束光应 **反相。**

4. 如图所示，两缝 S_1 和 S_2 之间的距离为 d，介质的折射率为 $n=1$，平行单色光斜入射到双缝上，入射角为 θ，则屏幕上 P 处，两相干光的光程差为 $d\sin\theta+(r_1-r_2)$**或**$r_2-r_1-d\sin\theta$____。



解：以向下为 x 轴正方向，则光程差 $\Delta=l_{上}-l_{下}=(d\sin\theta+r_1)-r_2=d\sin\theta+(r_1-r_2)$

若以向上为正，则 $\Delta=l_{下}-l_{上}=r_2-(d\sin\theta+r_1)=r_2-d\sin\theta-r_1$

5. 在双缝干涉实验中，干涉条纹的宽度除了与双缝之间的距离和缝到屏的距离有关外，还与_光源的波长_有关。现用白光光源进行双缝干涉实验，清晰可辩光谱的级次为_一级__。

解：白光波长范围为 $\mathbf{4000\sim7000\,\mathring{A}}$，设 k 级红光和 $k+1$ 级紫光最先重叠，则：

$x=\dfrac{kD}{d}\lambda_{红}=\dfrac{(k+1)D}{d}\lambda_{紫}$，解得：$k=\dfrac{\lambda_{紫}}{\lambda_{红}-\lambda_{紫}}=\dfrac{4000}{7000-4000}\approx 1.3$，因此未重叠的清晰光谱只有一级(+1、-1 级)光谱。

6. 如图 a 所示，一光学平板玻璃 A 与待测工件 B 之间形成空气劈尖，用波长λ＝500 nm (1 nm=10^{-9} m)的单色光垂直照射。看到的反射光的如图 b 所示。有些条纹弯曲部分的顶点恰好与其右边条纹的直线部分的连线相切。则工件的上表面具有缺陷，缺陷为 凸起纹 （凸起纹，凹槽），并且缺陷的最大尺寸为 250 nm。

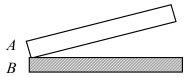


图 a

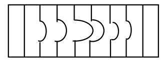


图 b

解：由干涉条纹远离棱边弯曲知：高级次干涉处被低级次干涉条纹占据，故工件的上表面有凸起纹，且因最大重叠是相邻条纹重叠，

由 $2ne+\dfrac{\lambda}{2}=2k\cdot\dfrac{\lambda}{2}$ 可得

凸起纹最大高度为 $\Delta e=\Delta k\times\dfrac{\lambda}{2}=1\times\dfrac{500}{2}=250\ \text{nm}$ 故选 **B**

7. 一套牛顿环装置可以用来测定一个透镜的曲率半径，用波长为 546nm 的光照射牛顿环，测出第 n 和(n+20)级明环的半径分别为 0. 162 cm 和 0. 368 cm，透镜的曲率半径为 1.00 m。（结果中保留三位有效数字）

解：设第 n 个明环半径为 r_n，第 n＋20 个明环半径为 r_{n+20}，

据牛顿环明条纹公式 $\Delta=2e=n\lambda$ 及

牛顿环半径与平凸透镜半径关系 $r_n^2=2Re$ 有 $r_n^2=n\lambda R$ ， $r_{n+20}^2=(n+20)\lambda R$

$$r_{n+20}^2-r_n^2=20\lambda R$$

$$\therefore\quad R=\left(r_{n+20}^2-r_n^2\right)/20\lambda$$

$$R=\left[(0.368\times10^{-2})^2-(0.162\times10^{-2})^2\right]/\left(20\times546\times10^{-9}\right)$$

$$\approx 1.00\ \text{m}$$

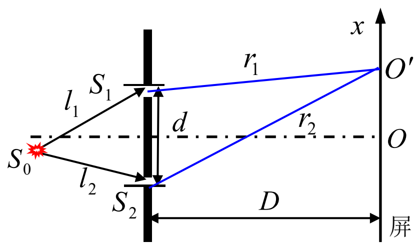
8. 在迈克尔逊干涉仪的可动反射镜平移一微小距离的过程中，观察到干涉条纹恰好移动 2000 条。所用单色光的波长为 5461Å。由此可知反射镜平移的距离等于 0.546 mm （结果中保留三位有效数字）。

解：设反射镜平移距离为 d，则因迈克尔逊干涉现象中每移动 1 条条纹，反射镜将平移 $\dfrac{\lambda}{2}$，

所以反射镜平移的距离 $d=N\times\dfrac{\lambda}{2}=2000\times\dfrac{1}{2}\times5.461\times10^{-4}=0.546(\text{mm})$

三、计算题:

1. 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 $l_1-l_2=3\lambda$，入射光的波长为 λ，双缝之间的距离为 d，双缝到屏幕的距离为 D，如图所示。求：



(1) 零级明条纹在屏幕中心 O 的上方还是下方；

(2) 零级明条纹到屏幕中心 O 的距离；

(2) 相邻明条纹间的距离。

解：(1)对于屏上 O' 点处：$\boldsymbol{\Delta=(l_2+r_2)-(l_1+r_1)}$

对于零级明纹，$\boldsymbol{\Delta=0}$，因为$\boldsymbol{l_1>l_2}$，因此$\boldsymbol{r_1<r_2}$，于是零级明条纹在屏幕中心 O 的上方。

(2)由图单色光源S_0不在双缝间对称轴上，且因$l_1-l_2=3\lambda$ ，则屏上零级明条纹将出现于 O 点上方某点 O' 处，如图所示，且有光程差$\Delta=(l_2+r_2)-(l_1+r_1)=0$ ，于是有

$$r_2-r_1=l_1-l_2=3\lambda \qquad (1)$$

又 $$r_2-r_1\approx d\cdot\frac{\overline{OO'}}{D} \qquad (2)$$

所以零级明条纹到屏幕中央点 O 的距离：$\overline{OO'}=\dfrac{D(r_2-r_1)}{d}=\dfrac{3D\lambda}{d}$

(3) 在屏上距 O 点为 x 处，光程差为

$$\Delta=(l_2+r_2)-(l_1+r_1)=(r_2-r_1)-(l_1-l_2)=d\frac{x}{D}-3\lambda$$

由明纹条件 $\Delta=\pm k\lambda \quad (k=0,1,2,3,\cdots)$ 得

k 级明纹位置 $x_k=(\pm k\lambda+3\lambda)\cdot\dfrac{D}{d}$

相邻明纹间距 $\Delta x=x_{k+1}-x_k=\dfrac{D\lambda}{d}$

2. 用波长为 500nm($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$)的单色光垂直照射到由两块光学平玻璃构成的空气劈尖上。在观察反射光的干涉现象中，距劈尖棱边 l＝1.56cm 的 A 处是从棱边算起的第四条暗条纹中心。

(1) 求此空气劈尖的劈尖角θ;

(2) 改用 600nm 的单色光垂直照射到此劈尖上仍观察反射光的干涉条纹，A 处是明条纹还是暗条纹？

(3) 在第(2)问的情形从棱边到 A 处的范围内共有几条明纹？几条暗纹？

解：(1) 暗纹$\delta=2e+\dfrac{\lambda}{2}=(2k+1)\dfrac{\lambda}{2}$，棱边处 k＝0 为第一条暗纹，第四条暗纹对应 k＝3，即$e_A=\dfrac{3}{2}\lambda$，又$\dfrac{e}{l}\approx\theta$，所以

$$\theta=\frac{e_A}{l}=\frac{3\lambda}{2l}=\frac{3\times500\times10^{-9}}{2\times1.56\times10^{-2}}=4.8\times10^{-5}\quad(\text{rad})$$

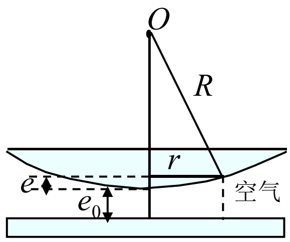
(2) 改为$\lambda'=600\text{nm}$的单色光，设 $2e_A+\dfrac{\lambda'}{2}=k\lambda'$

则有$k=\dfrac{2e_A+\lambda'/2}{\lambda'}=\dfrac{3\lambda}{\lambda'}+\dfrac{1}{2}=\dfrac{3\times500}{600}+\dfrac{1}{2}=3$为整数

可见 A 处为明纹(第三级明纹)。

(3) 由上可知 A 处为第三条明纹，所以从棱边到 A 处，共有三条明纹，三条暗纹。

3．如图所示，牛顿环（未按比例画图）装置的平凸透镜的曲率半径为 R，透镜与平板玻璃有一小缝隙 e_0。现用波长为 λ 的单色光垂直照射。



(1) 写出空气膜上下表面反射光的光程差表达式；

(2) 写出反射光干涉的明暗纹条件；

(3) 求反射光形成的牛顿环的暗环半径 r 的表达式。

解：（1）设某入射光处所对应的薄膜厚度为 $e+e_0$，则空气膜上下表面反射光的光程差为：$2e+2e_0+\dfrac{\lambda}{2}$　　①

(2) 根据干涉条件有反射光干涉的明纹条件：

$$2e+2e_0+\frac{\lambda}{2}=k\lambda \qquad ②$$

（k 为整数，且 $k>2e_0/\lambda+1/2$

暗纹条件：

$$2e+2e_0+\frac{\lambda}{2}=\frac{1}{2}(2k+1)\lambda \qquad ③$$

（k 为整数，且 $k>2e_0/\lambda$）

(3) 设某暗环半径为 r，所对应的薄膜厚度为 $e+e_0$，由图和几何关系知：$e=\dfrac{r^2}{2R}$，　将其代入③，可得

$$2\left(\frac{r^2}{2R}+e_0\right)=k\lambda \qquad ④$$

求解上式得暗条纹半径：$r=\sqrt{R(k\lambda-2e_0)}$，（$k$ 为大于 $2e_0/\lambda$ 的整数）