

光学 量子力学

习题

波动光学小结

波动光学

光的干涉

光程差与相位差

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta$$

$$\delta = n_2 r_2 - n_1 r_1$$

干涉条纹明暗条件

$$\delta = \begin{cases} \pm k\lambda & \text{明} \\ \pm (2k+1)\frac{\lambda}{2} & \text{暗} \end{cases}$$

光的衍射

最大光程差

$$\delta = a \sin\varphi$$

衍射条纹
明暗条件

$$\delta = \begin{cases} \pm k\lambda & \text{暗} \\ \pm (2k+1)\frac{\lambda}{2} & \text{明} \end{cases}$$

光的偏振

马吕斯定律

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$$

布儒斯特定律

$$\operatorname{tgi}_0 = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

$$i_0 + r_0 = \pi/2$$

双折射现象
O光、e光

光的干涉 (相干光源)

分波振面法

杨氏双缝干涉

菲涅耳双镜

洛埃德镜

$$\delta = n(r_2 - r_1) = \frac{nd}{D} x$$

$$\delta = \begin{cases} k\lambda & \text{明} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & \text{暗} \end{cases}$$

分振幅法 → 薄膜干涉

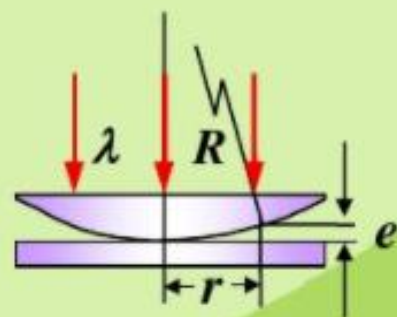
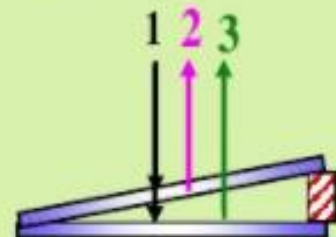
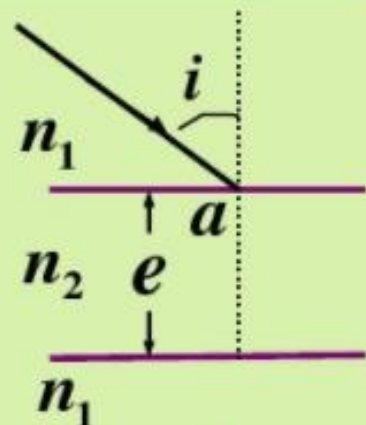
等倾干涉

等厚干涉

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$$

在光垂直入射的情况下

$$\delta = 2en_2 + \frac{\lambda}{2}$$



光的衍射

单缝衍射:

$$\delta = a \sin \varphi$$

半波带法

圆孔衍射:

爱里斑的半角宽度:

$$\varphi = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

光栅衍射:

光栅衍射条纹是单缝衍射和多光束干涉的综合效果。

光栅方程

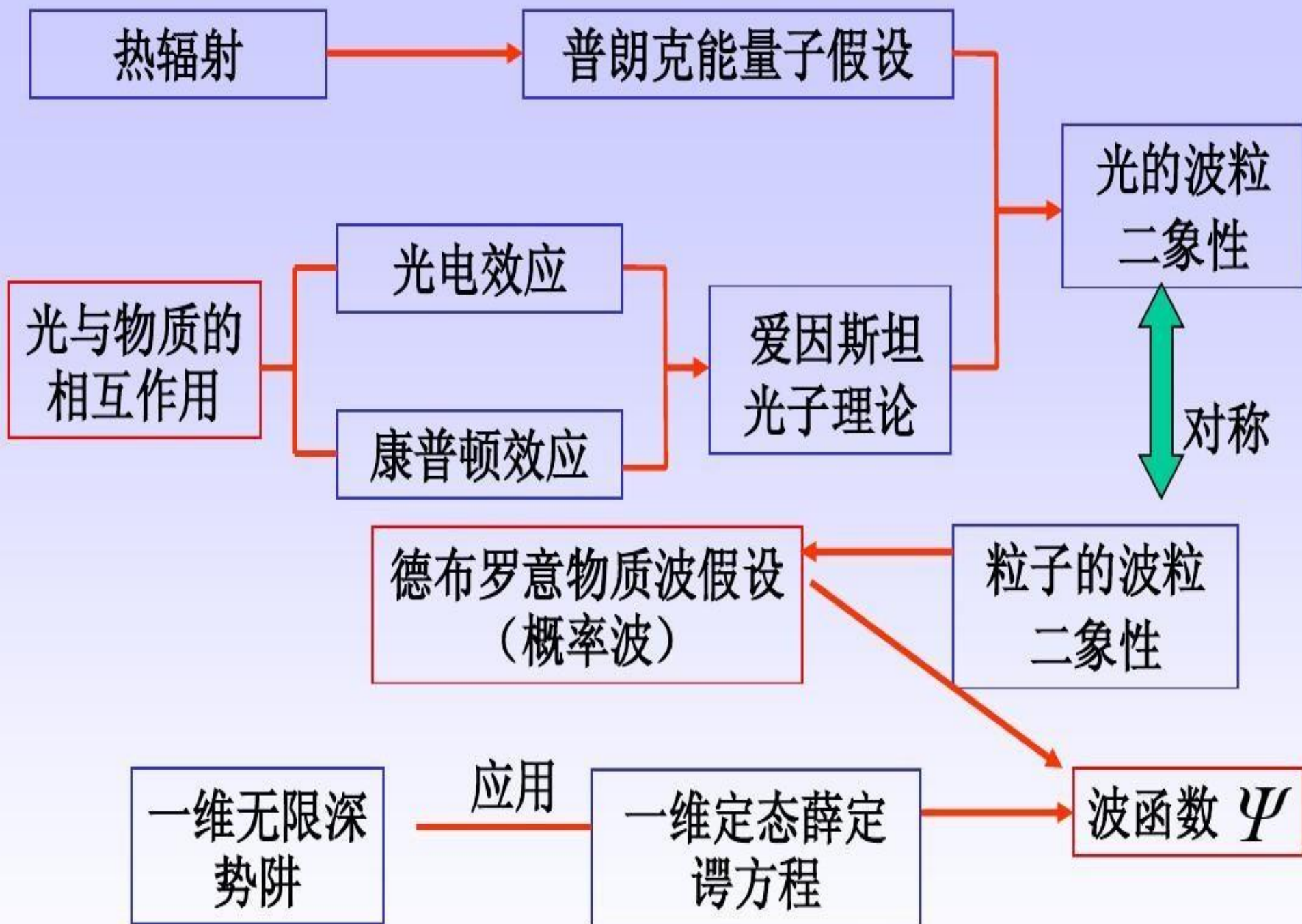
$$(a + b) \sin \varphi = \pm k \lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

缺级现象

$$k = \frac{a + b}{a} k'$$

最高级次满足:

$$k_{\max} < \frac{a + b}{\lambda}$$



已知：一束平行光垂直入射到某个光栅上，该光束有两种波长 $\lambda_1=4400\text{\AA}$, $\lambda_2=6600\text{\AA}$ 实验发现，两种波长的谱线(不计中央明纹)第二重合于衍射角 $\varphi=60^\circ$ 的方向上，求此光栅的光栅常数 d 。

解： $d \sin \varphi_1 = k_1 \lambda_1$ $d \sin \varphi_2 = k_2 \lambda_2$

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

两谱线重合 $\varphi_1 = \varphi_2$ ，所以 $\frac{k_1}{k_2} = \frac{3}{2} = \frac{6}{4} = \dots$

第二次重合 $k_1=6, k_2=4$

$$d \sin 60^\circ = 6 \lambda_1 \quad d = 3.05 \times 10^{-3} \text{ m m}$$

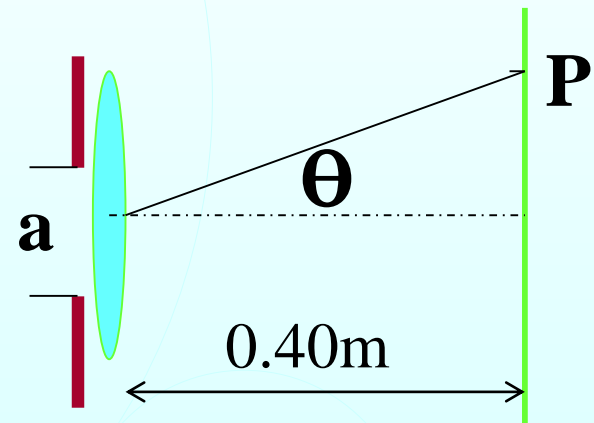
已知：缝宽为 $a=0.6\text{mm}$ 的单缝，距离屏幕 $D=0.40\text{m}$ 。
如果单色光垂直入射，P点（ $x=1.4\text{mm}$ ）为衍射明纹，
求：（1）入射光波长；（2）P点条纹的级数；（3）
从P点来看，狭缝处的波面可分作半波带的个数。

解： $\sin \theta \approx \frac{x}{D}$

$$a \sin \theta \approx a \frac{x}{D} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$(2k + 1)\lambda = 2a \frac{x}{D} = 4.2 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$k = \frac{1}{2} \left(\frac{4.2 \times 10^{-6}}{\lambda} - 1 \right) \quad \text{可见光 } 400 \text{ nm} \rightarrow 760 \text{ nm}$$



$$k = \frac{1}{2} \left(\frac{4.2 \times 10^{-6}}{\lambda} - 1 \right)$$

可见光 $400nm \rightarrow 760nm$

$$k_{\max} = \frac{1}{2} \left(\frac{4.2 \times 10^{-6}}{400 \times 10^{-9}} - 1 \right) = 4.75$$

$$k_{\min} = \frac{1}{2} \left(\frac{4.2 \times 10^{-6}}{760 \times 10^{-9}} - 1 \right) = 2.27$$

$$k_{\min} < k < k_{\max} \quad k = 3, 4 \quad \lambda = \frac{4.2 \times 10^{-6}}{2k + 1}$$

$$\lambda_1 = \frac{4.2 \times 10^{-6}}{2 \times 3 + 1} = 600nm \quad \text{P点为3级条纹}$$

$$\lambda_2 = \frac{4.2 \times 10^{-6}}{2 \times 4 + 1} = 466.7nm \quad \text{P点为4级条纹}$$

因为P点为明纹，所以半波带数为： $(2k+1)$

k=3时：波带数为 7 k=4时：波带数为 9

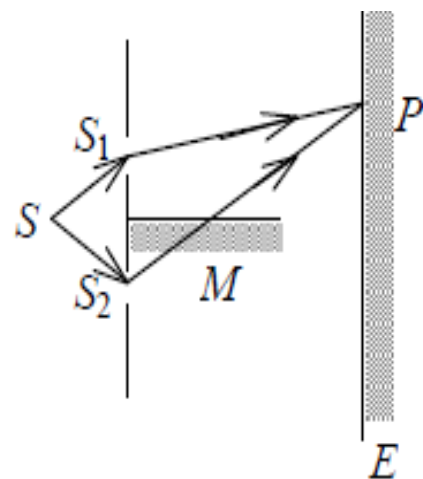
选择题

1、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

- (A) 1.5λ . (B) $1.5 \lambda/n$.
(C) $1.5 n \lambda$. (D) 3λ .

[A]

2、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 $S_1 S_2$ 连线的垂直平分面处放一高折射率介质反射面 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.

[B]

3、在单缝夫琅禾费衍射实验中，波长为 λ 的单色光垂直入射在宽度为 $a=4\lambda$ 的单缝上，对应于衍射角为 30° 的方向，单缝处波阵面可分成的半波带数目为

(A) 2 个.

(B) 4 个.

(C) 6 个.

(D) 8 个.

[B]

4、在双缝衍射实验中，若保持双缝 S_1 和 S_2 的中心之间的距离 d 不变，而把两条缝的宽度 a 略微加宽，则

(A) 单缝衍射的中央主极大变宽，其中所包含的干涉条纹数目变少.

(B) 单缝衍射的中央主极大变宽，其中所包含的干涉条纹数目变多.

(C) 单缝衍射的中央主极大变宽，其中所包含的干涉条纹数目不变.

(D) 单缝衍射的中央主极大变窄，其中所包含的干涉条纹数目变少.

(E) 单缝衍射的中央主极大变窄，其中所包含的干涉条纹数目变多.

[D]

5、要使处于基态的氢原子受激发后能发射赖曼系(由激发态跃迁到基态发射的各谱线组成的谱线系)的最长波长的谱线, 至少应向基态氢原子提供的能量是

- (A) 1.5 eV. (B) 3.4 eV.
(C) 10.2 eV. (D) 13.6 eV.

[C]

6、根据玻尔的理论, 氢原子在 $n = 5$ 轨道上的动量矩与在第一激发态的轨道动量矩之比为

- (A) 5/4. (B) 5/3.
(C) 5/2. (D) 5.

[C]

7、电子显微镜中的电子从静止开始通过电势差为 U 的静电场加速后, 其德布罗意波长是 0.4 \AA , 则 U 约为

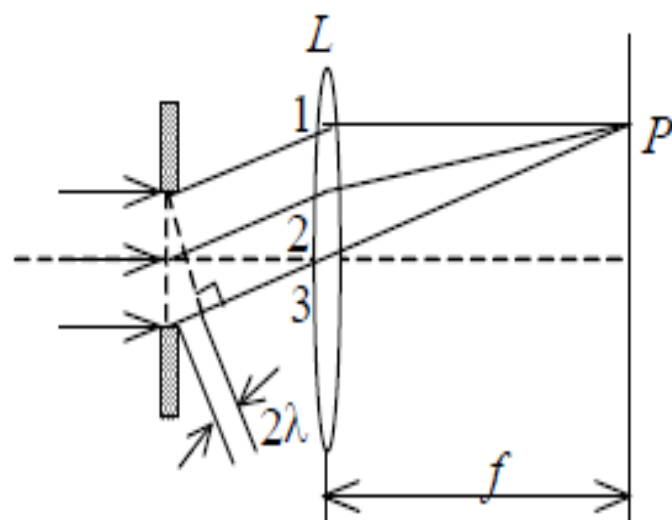
- (A) 150 V. (B) 330 V.
(C) 630 V. (D) 940 V.

[D]

(普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)

填空题

8、在单缝夫琅禾费衍射示意图中，所画出的各条正入射光线间距相等，那末光线 1 与 2 在幕上 P 点上相遇时的相位差为 2π ， P 点应为 暗点 点。



9、一束平行单色光垂直入射在一光栅上，若光栅的透明缝宽度 a 与不透明部分宽度 b 相等，则可能看到的衍射光谱的级次为 $0, \pm 1, \pm 3, \pm 5 \dots$ 。

10、 当波长为 3000 \AA 的光照射在某金属表面时，光电子的能量范围从 0 到 $4.0 \times 10^{-19} \text{ J}$ 。在作上述光电效应实验时遏止电压为 $|U_a| = \underline{2.5} \text{ V}$ ；此金属的红限频率 $\nu_0 = \underline{4 \times 10^{14}} \text{ Hz}$ 。
(普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ；基本电荷 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$)

11、 被激发到 $n=3$ 的状态的氢原子气体发出的辐射中，有 1 条可见光谱线和 2 条非可见光谱线。

已知：用白光作光源观察杨氏双缝干涉。设缝间距为 d ，
缝面与屏距离为 D

求：能观察到的完整的清晰可见光谱的级次

解：在 $400 \sim 760 \text{ nm}$ 范围内，明纹条件为

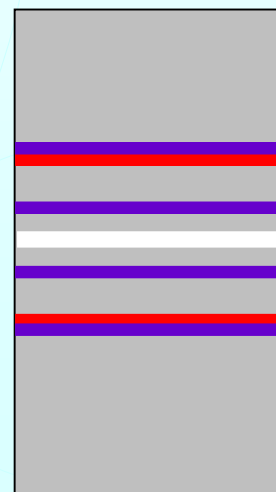
$$\delta = \frac{xd}{D} = \pm k\lambda$$

最先发生重叠的是某一级次的红光和高一级次的紫光

$$k \lambda_{\text{红}} = (k + 1) \lambda_{\text{紫}}$$

$$k = \frac{\lambda_{\text{紫}}}{\lambda_{\text{红}} - \lambda_{\text{紫}}} = \frac{400}{760 - 400} = 1.1$$

清晰的可见光谱只有一级

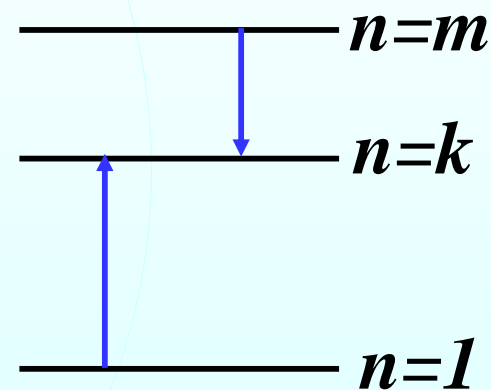


已知： 当氢原子从某初态跃迁到激发能为 $\Delta E = 10.19\text{eV}$ 的状态时，发射出光子的波长是 $\lambda = 486\text{nm}$ ，

求： 该初始状态的能量和主量子数。

解： 发射光子的能量： $\varepsilon = \frac{hc}{\lambda} = 2.56\text{eV}$

$$\left. \begin{array}{l} E_m - E_k = \varepsilon \\ E_k - E_1 = \Delta E \end{array} \right\} \Rightarrow E_k = \Delta E + E_1 = -3.41\text{eV}$$



初态： $E_m = \Delta E + E_1 + \varepsilon = E_k + \varepsilon = (-3.41 + 2.56)\text{eV} = -0.85\text{eV}$

$$m = \sqrt{\frac{E_1}{E_m}} = 4$$

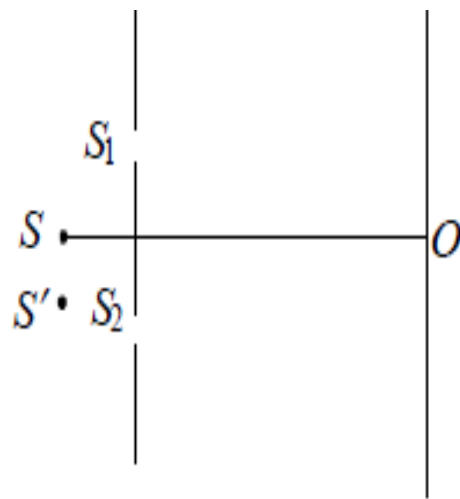
12、一束波长为 λ 的单色光由空气垂直入射到折射率为 n 的透明薄膜上，透明薄膜放在空气中，要使反射光得到干涉加强，则薄膜最小的厚度为

- (A) $\lambda/4$. (B) $\lambda/(4n)$.
(C) $\lambda/2$. (D) $\lambda/(2n)$.

[**B**]

13、在双缝干涉实验中，若单色光源 S 到两缝 S_1 、 S_2 距离相等，则观察屏上中央明条纹位于图中 O 处．现将光源 S 向下移动到示意图中的 S' 位置，则

- (A) 中央明条纹也向下移动，且条纹间距不变．
(B) 中央明条纹向上移动，且条纹间距不变．
(C) 中央明条纹向下移动，且条纹间距增大．
(D) 中央明条纹向上移动，且条纹间距增大．



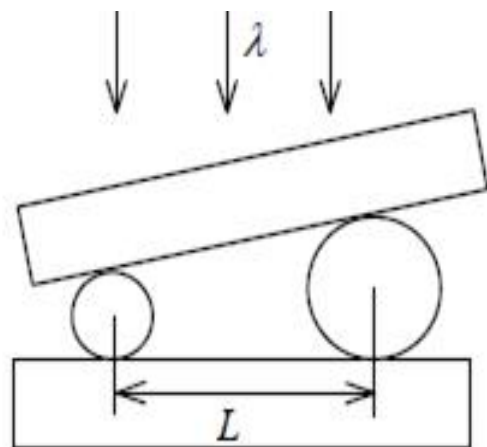
[**B**]

14 若把牛顿环装置(都是用折射率为 1.52 的玻璃制成的)由空气搬入折射率为 1.33 的水中, 则干涉条纹

- (A) 中心暗斑变成亮斑. (B) 变疏.
(C) 变密. (D) 间距不变.

[**C**]

15 如图所示, 两个直径有微小差别的彼此平行的滚柱之间的距离为 L , 夹在两块平晶的中间, 形成空气劈形膜, 当单色光垂直入射时, 产生等厚干涉条纹. 如果滚柱之间的距离 L 变小, 则在 L 范围内干涉条纹的



- (A) 数目减少, 间距变大.
(B) 数目不变, 间距变小.
(C) 数目增加, 间距变小.
(D) 数目减少, 间距不变.

[**B**]

16、三个偏振片 P_1 , P_2 与 P_3 堆叠在一起, P_1 与 P_3 的偏振化方向相互垂直, P_2 与 P_1 的偏振化方向间的夹角为 30° . 强度为 I_0 的自然光垂直入射于偏振片 P_1 , 并依次透过偏振片 P_1 、 P_2 与 P_3 , 则通过三个偏振片后的光强为

(A) $I_0/4$. (B) $3 I_0/8$.

(C) $3I_0/32$. (D) $I_0/16$.

[**C**]

17、自然光以 60° 的入射角照射到某两介质交界面时, 反射光为完全线偏振光, 则知折射光为

(A) 完全线偏振光且折射角是 30° .

(B) 部分偏振光且只是在该光由真空入射到折射率为 $\sqrt{3}$ 的介质时, 折射角是 30° .

(C) 部分偏振光, 但须知两种介质的折射率才能确定折射角.

(D) 部分偏振光且折射角是 30° .

[**D**]

18、已知一单色光照射在钠表面上，测得光电子的最大动能是 1.2 eV ，而钠的红限波长是 5400 \AA ，那么入射光的波长是

- (A) 5350 \AA . (B) 5000 \AA .
(C) 4350 \AA . (D) 3550 \AA .

[**D**]

19、当照射光的波长从 4000 \AA 变到 3000 \AA 时，对同一金属，在光电效应实验中测得的遏止电压将：

- (A) 减小 0.56 V . (B) 减小 0.34 V .
(C) 增大 0.165 V . (D) 增大 1.035 V .

[**D**]

(普朗克常量 $h=6.63\times 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$ ，基本电荷 $e=1.60\times 10^{-19}\text{ C}$)

20、氢原子光谱的巴耳末线系中谱线最小波长与最大波长之比为

- (A) $7/9$. (B) $5/9$.
(C) $4/9$. (D) $2/9$.

[B]

21、已知氢原子从基态激发到某一定态所需能量为 10.19 eV ，当氢原子从能量为 -0.85 eV 的状态跃迁到上述定态时，所发射的光子的能量为

- (A) 2.56 eV . (B) 3.41 eV .
(C) 4.25 eV . (D) 9.95 eV .

[A]

22、若 α 粒子(电荷为 $2e$)在磁感应强度为 B 均匀磁场中沿半径为 R 的圆形轨道运动，则 α 粒子的德布罗意波长是

- (A) $h/(2eRB)$. (B) $h/(eRB)$.
(C) $1/(2eRBh)$. (D) $1/(eRBh)$.

[A]

已知：一平面单色光波垂直照射在厚度均匀的薄油膜上，油膜覆盖在玻璃板上，所用光源波长可连续变化，观察到500nm和700nm这两个波长的光在反射中消失。油的折射率为1.30，玻璃的折射率为1.50

求：油膜的厚度

解：根据题意，不需考虑半波损失，暗纹的条件为

$$\begin{cases} 2nd = (2k + 1) \frac{\lambda_1}{2} \\ 2nd = [2(k + 1) + 1] \frac{\lambda_2}{2} \end{cases}$$

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2n(\lambda_1 - \lambda_2)} = \frac{500 \times 700}{2 \times 1.30 \times (700 - 500)} = 6.73 \times 10^2 \text{ (nm)}$$

已知：一束波长为 $\lambda=5000\text{\AA}$ 的平行光垂直照射在一个单缝上。 $a=0.5\text{mm}$ ， $f=1\text{m}$ ，如果在屏幕上离中央亮纹中心为 $x=3.5\text{mm}$ 处的 P 点为一亮纹，试求(1)该 P 处亮纹的级数；(2)从 P 处看，对该光波而言，狭缝处的波阵面可分割成几个半波带？

解：(1)亮纹 $a \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$

$$\sin \varphi \approx \tan \varphi \approx \varphi = \frac{x}{f} \quad k = \frac{ax}{\lambda f} - \frac{1}{2} = 3$$

(2)当 $k=3$ 时，光程差

$$a \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} = 7 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

狭缝处波阵面可分成7个半波带

已知：质量为 m 的粒子在宽为 L 的一维无限深势阱中，

求： (1) 粒子在 $0 \leq x \leq L/4$ 区间内出现的概率，
并在 $n=1$ 和 $n \rightarrow \infty$ 分别求出概率值；
(2) 哪些量子态在 $L/4$ 处出现的概率最大？
(3) $n=2$ 时何处发现粒子的概率最大？

解： (1) 粒子的定态波函数为 $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \frac{n\pi}{L} x$

$$P = \int_0^{\frac{L}{4}} \rho_n(x) dx = \int_0^{\frac{L}{4}} |\psi_n|^2 dx = \int_0^{\frac{L}{4}} \frac{2}{L} \sin^2\left(\frac{n\pi}{L} x\right) dx$$
$$= \frac{1}{4} - \frac{1}{2\pi n} \sin \frac{n\pi}{2}$$

$$n=1, P = \frac{1}{4} - \frac{1}{2\pi} = 9\%$$

$$n \rightarrow \infty, P = \frac{1}{4}$$

(2) 粒子在 $L/4$ 处的概率密度为：

$$\rho_n\left(\frac{L}{4}\right) = \frac{2}{L} \sin^2 \frac{n\pi}{4}$$

其极大值对应 $\frac{n\pi}{4} = (2k+1)\frac{\pi}{2} \quad k = 0, 1, 2, \dots$

$$n = 2(2k+1) = 2, 6, 10, \dots$$

(3) $n=2$ 时粒子的概率密度分布为：

$$\rho(x) = |\psi_2(x)|^2 = \frac{2}{L} \sin^2 \frac{2\pi}{L} x$$

其极大值对应 $\frac{2\pi}{L} x = (2k+1)\frac{\pi}{2} \quad k = 0, 1, 2, \dots$

$$x = \frac{L}{2\pi} (2k+1) \frac{\pi}{2} = \frac{(2k+1)L}{4} = \frac{1}{4}L, \frac{3}{4}L$$

已知：空气中肥皂膜($n_1=1.33$), 厚为 $0.32\mu\text{m}$. 如用白光垂直入射, 问肥皂膜呈现什么色彩?

解：反射光干涉极大

$$2n_2e + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

$$\lambda = \frac{2n_2e}{k - 1/2}$$

$$k = 1, \quad \lambda_1 = 4n_2e = 1702\text{nm}$$

$$k = 2, \quad \lambda_2 = \frac{4}{3}n_2e = 567\text{nm}$$

$$k = 3, \quad \lambda_3 = \frac{4}{5}n_2e = 340\text{nm}$$

可见光范围 $400\sim 760\text{nm}$

$\lambda_2=567\text{nm}$ (黄光)

已知： 如图所示，平凸透镜曲率半径为 R_1 ，
平凹透镜曲率半径为 R_2

求： 等厚条纹暗半径公式

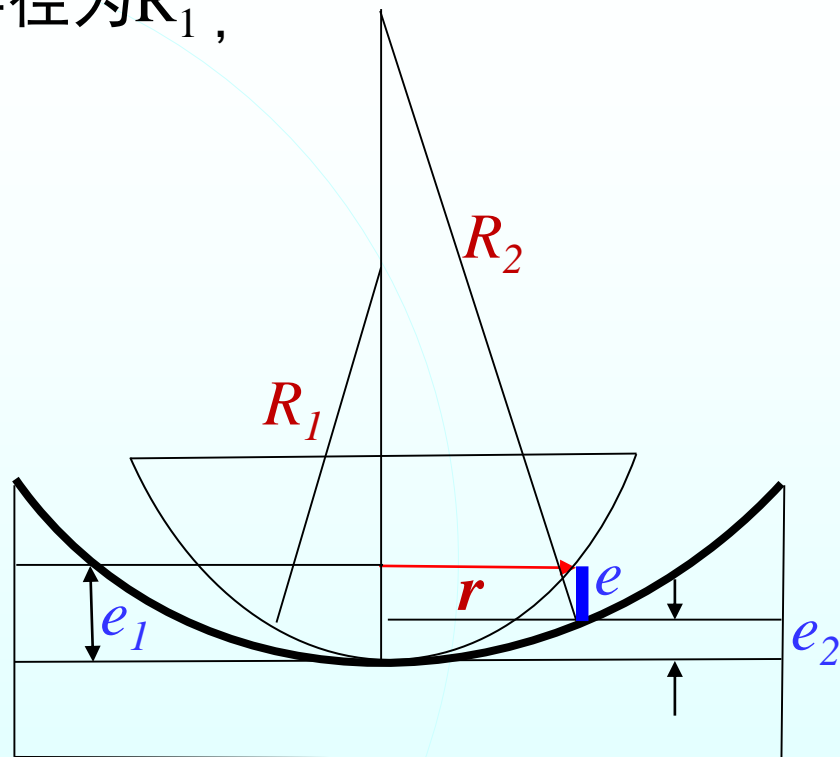
解： $e_1 = \frac{r^2}{2R_1}$ $e_2 = \frac{r^2}{2R_2}$

$$e = e_1 - e_2 = \frac{r^2}{2R_1} - \frac{r^2}{2R_2}$$

$$r = \sqrt{\frac{2eR_1R_2}{(R_2 - R_1)}} \quad (1)$$

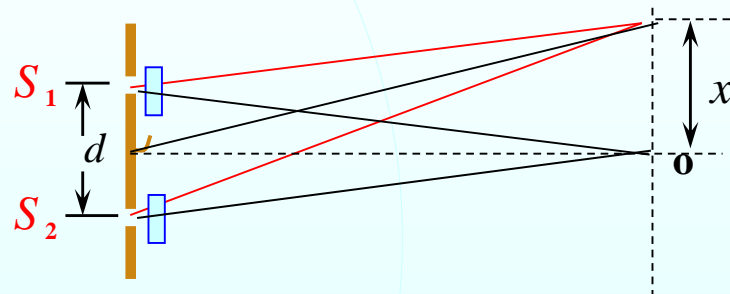
暗纹条件 $2ne + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1)\frac{\lambda}{2} \quad k = 0, 1, 2 \dots$

$$e = \frac{k\lambda}{2n} \quad k = 0, 1, 2 \dots (2) \quad r = \sqrt{\frac{k\lambda R_1R_2}{n(R_2 - R_1)}}$$



1、**已知：**杨氏双缝的一个缝被折射率为1.40的薄玻璃所盖，另一缝被折射率为1.70的薄玻璃所盖，屏上原来中央极大处被原来的第五级亮纹所占据.假定入射光的波长为 $\lambda=480\text{nm}$ ，两玻璃的厚度相同.

求：玻璃片的厚度 t .



2、**已知：**钾的光电效应红限波长是550 nm.

求：(1)钾电子的逸出功

(2)用波长 $\lambda=300\text{ nm}$ 的紫外光照射时，钾的遏止电势差 U_a