

## 2017-2018 学年第一学期期末考试 A 卷

### 一、选择题(30 分, 每题 3 分)

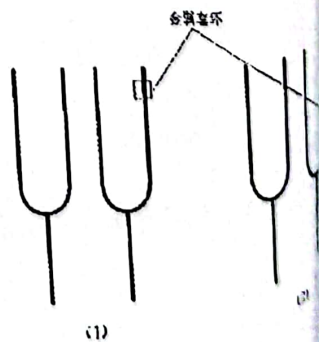
1. 氦气和氮气, 若他们分子的平均速率相同, 则下列表述正确的是: ( )
  - A、它们的温度, 分子平均平动动能, 分子平均总动能都不相同。
  - B、它们的温度相同。
  - C、它们的分子平均平动动能相同。
  - D、它们的分子平均总动能相同。
2. 下列说法中哪一个是正确的 ( )
  - A、系统从外界吸热时, 其内能必然增加。
  - B、由于热量和功均为过程量, 所以, 对于任何热力学过程, 其热量和功的总和, 不仅与系统始、末状态有关, 而且与具体过程有关。
  - C、在等容过程中, 系统的内能改变为  $\Delta E = \nu C_{V,m}(T_2 - T_1)$ , 而在等压过程中, 系统的内能改变为  $\Delta E = \nu C_{p,m}(T_2 - T_1)$ 。
  - D、以上说法都不正确。
3. 下列结论正确的是: ( )
  - A、功可以全部转换为热, 但热不能全部转换为功。
  - B、热量不能自动地从低温物体传递到高温物体。
  - C、不可逆过程就是不能反向进行的过程。
  - D、绝热过程的熵变一定为 0。
4. 利用两个完全相同的音叉进行下述实验:
 

实验一: 仅敲击一个音叉;

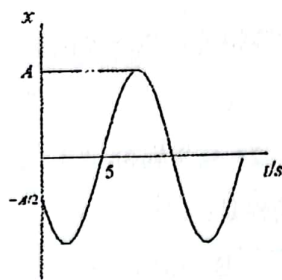
实验二: 如右图所示, 在其中一个音叉上附加金属套环, 对图 (1) 和图 (2) 两种情形, 同时敲击两个音叉观察拍现象。图 (1) 的拍频记为  $\nu_1$ , 图 (2) 的拍频记为  $\nu_2$ 。

对以上两项实验结果, 下面的表述中正确的是: ( )

  - A、实验一中另一个音叉不振动, 实验二中  $\nu_1 > \nu_2$ ;
  - B、实验一中另一个音叉不振动, 实验二中  $\nu_1 < \nu_2$ ;
  - C、实验一中另一个音叉发生振动, 实验二中  $\nu_1 > \nu_2$ ;
  - D、实验一中另一个音叉发生振动, 实验二中  $\nu_1 < \nu_2$ 。



5. 一个谐振动的振动曲线如图所示, 此振动的周期为: ( )



A、12s

B、10s

C、30s

D、11s

6. 一列机械波在弹性介质中传播, 在介质中某个质元由平衡位置运动到最大位移处的过程中, 该质元的 ( )

A、势能逐渐转变为动能, 总机械能守恒。 B、动能逐渐转变为势能, 总机械能守恒。

C、动能逐渐减小, 总机械能不守恒。 D、势能逐渐增大, 总机械能不守恒。

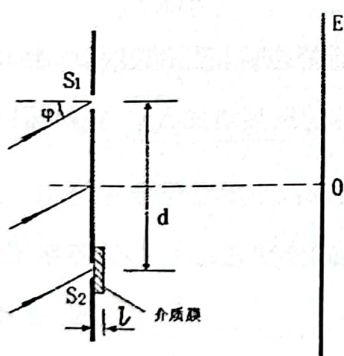
7. 如图所示, 平行光以  $\varphi$  角斜入射到缝间距为  $d$  的双缝上, 缝  $S_2$  后覆盖着一层折射率为  $n$  的透明介质膜。若屏幕 E 的中心 O 处为零级明文, 则介质膜的厚度  $l$  为: ( )

A、 $\frac{d \sin \varphi}{n}$

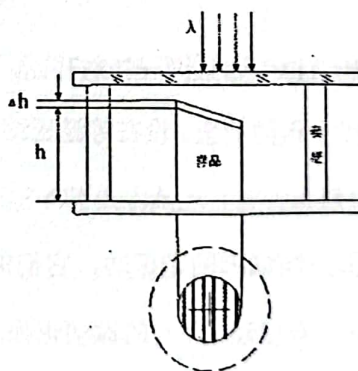
B、 $\frac{d \sin \varphi}{2n}$

C、 $\frac{d \sin \varphi}{n-1}$

D、 $\frac{d \sin \varphi}{2(n-1)}$



第7题图



第8题图

8. 下图为测量样品热膨胀系数的干涉膨胀仪示意简图。用热膨胀系数极小的石英制成套框, 框内放置上表面磨成稍微倾斜的样品, 框顶放一平板玻璃, 这样在玻璃和样品之间构成一空气劈尖, 将波长为  $\lambda$  的单色平行光垂直入射劈尖, 在反射方向就能观察到干涉条纹。当样品受热膨胀时 (设劈尖上表面不动), 观察到  $N$  个条纹移过测目镜十字叉丝的竖线, 由此可算出样品的膨胀量  $\Delta h$ , 结合样品的原长和温度的升高量, 可求得样品的热膨胀系数。在样品受热过程中, 下面的表述正确的是: ( )

A、条纹向右移动,  $\Delta h = N \frac{\lambda}{2}$

B、条纹向右移动,  $\Delta h = N \lambda$

C、条纹向左移动,  $\Delta h = N \frac{\lambda}{2}$

D、条纹向左移动,  $\Delta h = N \lambda$



9. 某元素的特征光谱中含有波长分别为  $\lambda_1=450\text{nm}$  和  $\lambda_2=750\text{nm}$  的光谱线。在光栅光谱中,这两种波长的谱线有重叠现象,则除零级外,重叠处离零级光谱最近的  $\lambda_1$  谱线的级数为: ( )

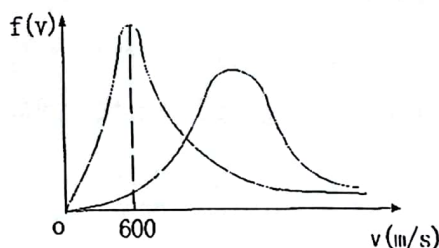
A、3                  B、5                  C、 $\pm 3$                   D、 $\pm 5$

10. 下列各种条件:(1)受激辐射 (2)自发辐射 (3)受激吸收 (4)粒子数反转 (5)光学谐振腔产生激光必须同时满足的条件是: ( )

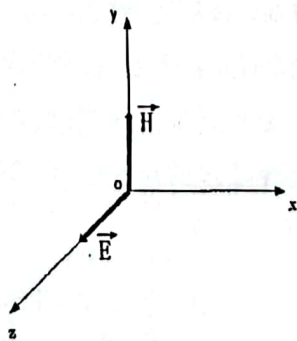
A、(1), (2), (3)                  B、(1), (4), (5)  
C、(2), (4), (5)                  D、(3), (4), (5)

## 二、填空题(30分, 每题3分)

1. 下图为同一温度下氢气和氧气的麦克斯韦分子速率分布曲线, 则氧气分子的最概然速率为 \_\_\_\_\_  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

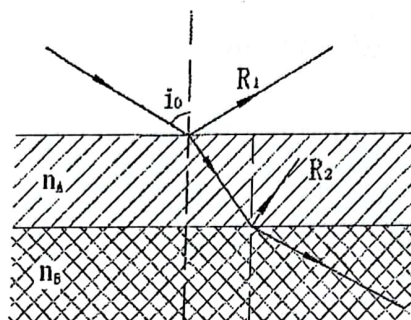


2. 一定质量的理想气体从同一初态开始, 分别经历准静态等温压缩过程和准静态绝热压缩过程使其体积都减小相同的量。设在等温压缩过程中气体的压强增加  $\Delta p_1$ , 绝热压缩过程中气体的压强增加  $\Delta p_2$ , 则  $\Delta p_1$  \_\_\_\_\_  $\Delta p_2$  ( $>$ ,  $=$ ,  $<$ )
3. 两个同方向, 同频率的谐振动, 它们的振动表达式分别为:  $x_1 = A \cos \omega t$  和  $x_2 = A \cos(\omega t + \varphi_2)$  若  $v_2|_{t=0} < 0$ , 合振动  $x_1 + x_2$  的振幅也为  $A$ , 则  $\varphi_2 =$  \_\_\_\_\_。(设  $-\pi < \varphi_2 \leq \pi$ )
4. 如图所示, 当一列平面电磁波的  $\vec{E}$  向  $z$  轴正方向振动时, 其  $\vec{H}$  向  $y$  轴正方向振动, 则该电磁波的传播方向为 \_\_\_\_\_。





5. 如图所示, 自然光从空气连续入射到介质 A 和介质 B 中, 当入射角为  $i_0 = 60^\circ$  时, 反射光  $R_1$  和  $R_2$  均为振动方向垂直于入射面的线偏振光。则介质 A 和介质 B 的折射率之比  $\frac{n_A}{n_B} =$  \_\_\_\_\_。



6. 在双折射现象演示实验中, 一束光入射晶体后折射出两束光线, 分别称为 o 光和 e 光。将晶体旋转一周, 在观察屏上看到, \_\_\_\_\_ 光的光斑静止不动, 而 \_\_\_\_\_ 光的光斑轨迹为圆。
7. 康普顿散射实验中, 单色 X 射线被电子散射而改变波长。实验结果表明, 波长的改变量与入射波长 \_\_\_\_\_, 光子能量的改变量与入射光子的能量 \_\_\_\_\_。(两空分别选填“有关”和“无关”)

量子力学通过精确求解薛定谔方程, 得到氢原子中电子的角向波函数  $Y_{lm}(\theta, \varphi) = \Theta(\theta)\Phi(\varphi)$ , 其中,  $\Phi(\varphi) = Ae^{im\varphi}$ 。则  $A =$  \_\_\_\_\_。

根据量子力学理论, 原子中电子的稳定运动状态由四个量子数  $(n, l, m_l, m_s)$  表征。对  $(l, m_l, m_s)$  状态电子, 其“轨道”角动量与 z 轴正向夹角的余弦值为 \_\_\_\_\_, 其自旋角动量与 z 轴正向夹角的余弦值为 \_\_\_\_\_ 或 \_\_\_\_\_。

设实物粒子的质量为  $m$ , 速度为  $v$ , 考虑下列推导:

由  $E = h\nu = mc^2$  ① 和  $\lambda = \frac{h}{mv}$  ②,

得:  $v\lambda = \frac{c^2}{v}$  ③, 根据  $\lambda = \frac{v}{\nu}$  ④,

得:  $v = c$  ⑤。

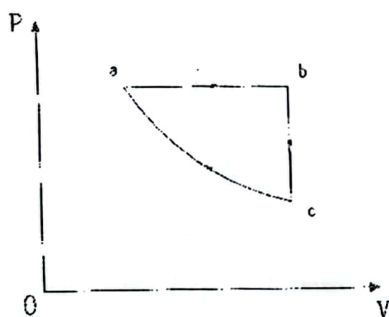
以上推导中正确的式子是 \_\_\_\_\_。(填相应式子后的数字序号)



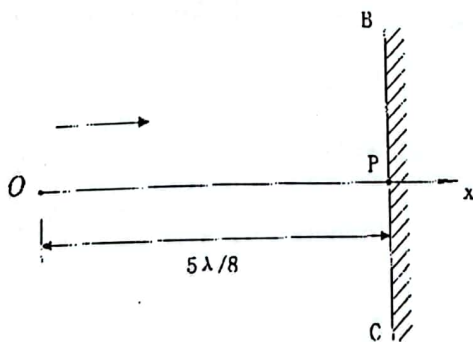
### 三、计算题 (40 分, 每题 10 分)

1. 一定量刚性双原子分子理想气体经历如图所示的循环过程, 其中  $ab$  为等压过程,  $bc$  为等容过程,  $ca$  为等温过程。已知  $V_b = 2V_a$ , 求此循环的效率。

(注:  $\ln 2 = 0.693$ , 气体普适常量  $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )



2. 如图所示, 波长为  $\lambda$  的平面简谐波沿  $x$  轴正向传播,  $BC$  为波密媒质反射面, 波由  $P$  点反射,  $OP = \frac{5}{8}\lambda$ 。在  $t=0$  时,  $O$  处质点的合振动是经过平衡位置向位移负方向运动。设坐标原点在源  $O$  处, 入射波和反射波的振幅均为  $A$ , 频率均为  $\nu$ 。求: (1) 波源  $O$  的初位相; (2)  $OP$  间入射波与反射波合成驻波的波函数; (3)  $OP$  间波节的位置。



3. 一缝间距  $d = 0.10\text{mm}$ , 缝宽  $a = 0.02\text{mm}$  的双缝, 用波长  $\lambda = 600\text{nm}$  的平行单色光垂直入射。求:

(1) 单缝衍射中央主极大的半角宽度; (2) 单缝衍射中央主极大内干涉极大的条数; (3) 在该双缝的中间再开一条相同的单缝后, 单缝衍射中央主极大内干涉极大的条数。

4. 设粒子在一维无限深势阱 ( $0 < x < a$ ) 中运动, 能量量子数为  $n$ , 阱内区间的波函数为:

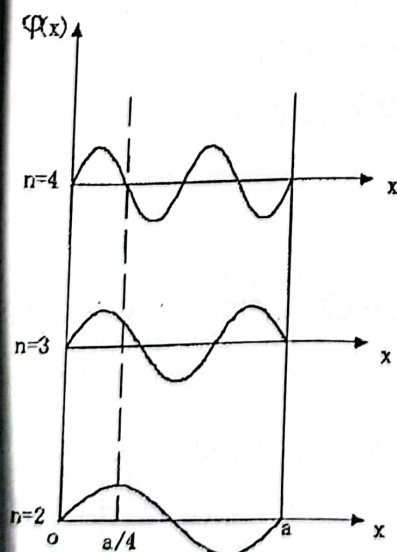
$$\varphi(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin\left(\frac{n\pi x}{a}\right), \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

(1) 如图画出了  $n = 2, 3, 4$  三个量子态的波函数图形 ( $a$  有夸大)。试在图中画出表示这三个状态的

的粒子在  $0 \sim \frac{a}{4}$  区域内各点出现的概率的示意图。哪个状态, 粒子在该区域内出现的概率最大?

(2) 对 (1) 问中的三个状态, 分别判定粒子的物质波波长;

(3) 试讨论,  $n$  为何值时, 粒子在  $0 \sim \frac{a}{4}$  区域内出现的概率最大。



## 2017-2018 学年第一学期期末考试 A 卷参考答案

### 一、 选择题(30 分, 每题 3 分)

#### 1. 【正解】A

【学解】根据麦克斯韦速率分布律,  $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$ , 因为氮气和氦气  $M$  不同, 所以温度不同,

因为同为刚性双原子分子, 分子平均平动动能  $\epsilon = \frac{3}{2}kT$ , 分子平均动能  $\epsilon = \frac{5}{2}kT$ , 都不相同

【考点延伸】《考试宝典》知识点十一 §11.2——五、能量均分定理、§11.3——气体分子的速率

#### 2. 【正解】D

【学解】A: 系统从外界吸热, 可以全部转换为对外做功; B: 内能是状态量, 与具体过程无关

C: 不论是等容还是等压过程, 系统内能的改变量均为  $\Delta E = \nu C_{V,m} \Delta T$

【考点延伸】《考试宝典》知识点十 §10.1——热力学第一定律

#### 3. 【正解】B

【学解】A: 热可以在一定条件下完全转化为功, 如等温膨胀; C: 不可逆过程是指在不引起其他变化的条件下, 不能使逆过程重复正过程的每一个状态的过程; D: 绝热可逆过程的熵变为 0, 不可逆过程熵变大于 0

【考点延伸】《考试宝典》知识点十 §10.4——热力学第二定律、§10.5——熵变, 可逆过程

#### 4. 【正解】C

【学解】实验一, 敲击一个音叉, 另一个音叉发生共振; 实验二中, 金属套环远离音叉根部, 叉振动频率降低越多, 而拍频的值为两音叉振动频率的差值, 所以有  $\nu_1 > \nu_2$

【考点延伸】音叉振动试验, 声波

#### 5. 【正解】A

【学解】0~5s 内, 相位变化  $\frac{5\pi}{6}$ , 所以周期为  $T = 5 \times \frac{12}{5} s = 12s$

【考点延伸】《考试宝典》知识点十二 §12.1——简谐振动

#### 6. 【正解】C

【学解】机械波的传播过程中, 质元的总机械能不守恒, 动能和势能同步变化; 平衡位置处最大、势能也最大, 最大位移处动能和势能最小

【考点延伸】《考试宝典》知识点十二 §12.3——机械波的能量

#### 7. 【正解】C

【学解】 $d \sin \varphi - (n-1)l = 0$ , 所以  $l = \frac{d \sin \varphi}{n-1}$





【考点延伸】《考试宝典》知识点十三§13.3——三、双缝干涉

8、【正解】A

【学解】劈尖干涉相邻两级明(暗)纹之间的厚度相差  $\frac{\lambda}{2n}$ , 移过  $N$  个条纹, 且空气的  $n$  为 1,

所以劈尖厚度的变化量  $\Delta h = N \frac{\lambda}{2}$ ; 样品向上膨胀, 劈尖厚度实际上减小, 干涉级相应减少, 条纹向劈尖尾部移动, 条纹右移

【考点延伸】《考试宝典》知识点十三§13.2——四、干涉现象的应用、劈尖干涉

9、【正解】D

【学解】 $d \sin \theta = 450m = 750n$ ,  $m$  和  $n$  都是整数, 最小值是  $m=5, n=3$ , 故  $\lambda_1$  谱线最近的级数为  $\pm 5$

【考点延伸】《考试宝典》知识点十三§13.3——衍射光栅

10、【正解】B

【学解】产生激光的三个条件: 受激辐射, 粒子数反转和光学谐振腔

【考点延伸】《考试宝典》知识点十四§14.8——二、激光的产生条件

## 二、填空题(30 分, 每题 3 分)

1、【正解】600

【学解】最概然速率  $v = \sqrt{\frac{2kT}{m_f}}$ , 所以氧气的最概然速率小于氢气的

【考点延伸】《考试宝典》知识点十一§11.3——麦克斯韦速率分布

2、【正解】<

【学解】 $P-V$  图上绝热线比等温线陡, 变化相同体积, 绝热过程压强变化量更大

【考点延伸】《考试宝典》知识点十§10.2——绝热过程与等温过程

3、【正解】 $\frac{2\pi}{3}$

【学解】两个振动合成后  $A = \sqrt{A^2 + A^2 + 2A^2 \cos \varphi_2} = A\sqrt{2 + 2\cos \varphi_2} = A$ , 所以

$\cos \varphi_2 = -\frac{1}{2}$ ,  $\varphi_2 = \frac{2\pi}{3}$  或  $-\frac{2\pi}{3}$ , 又因为  $v_2|_{t=0} < 0$ , 所以  $\varphi_2 = \frac{2\pi}{3}$

【考点延伸】《考试宝典》知识点十二§12.2——振动的合成

4、【正解】 $x$  轴负方向

【学解】 $\vec{E}$ 、 $\vec{H}$  与运动方向三者成右手螺旋关系 右手定律





【考点延伸】《考试宝典》知识点十二§12.6——二、光是电磁波

5、【正解】 $\sqrt{3}$

【学解】设折射角为 $\gamma$ ，则 $\gamma + i_0 = \frac{\pi}{2}$ ，所以 $n_A$ 和 $n_B$ 分界面的入射角为 $30^\circ$ ，根据布儒斯特角

$$\tan 30^\circ = \frac{n_B}{n_A} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

【考点延伸】《考试宝典》知识点十三§13.4——三、反射光和折射光的偏振，布儒斯特定律

6、【正解】 $o \quad e$

【学解】当入射角为 $0$ 时，寻常光按原方向传播，而非常光一般不沿原方向传播，所以，此当以入射光为轴转动晶体时， $o$ 光不动， $e$ 光绕轴旋转

【考点延伸】《考试宝典》知识点十三§13.4——四、双折射

7、【正解】无关 有关

【学解】 $\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos \theta)$ ，和入射波长无关；而能量的改变量和入射波的波长即入射能量有关

【考点延伸】《考试宝典》知识点十四§14.4——康普顿效应

8、【正解】 $\sqrt{\frac{1}{2\pi}}$

【学解】对氢原子来说， $m_l = 0$ ，所以， $\Phi(\varphi) = A$ ，根据式 $\int_0^{2\pi} \Phi^2(\varphi) d\varphi = 1$ ，即可得到

【考点延伸】《考试宝典》知识点十四§14.6——一、波函数

9、【正解】 $\frac{m_l}{\sqrt{l(l+1)}} \quad \frac{\sqrt{3}}{3} \quad -\frac{\sqrt{3}}{3}$

【学解】角动量与 $z$ 轴正向夹角的余弦值为 $\cos \theta = \frac{L_z}{L}$ ，其中 $L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$ ， $L_z = m_l\hbar$ ，

后两空，自旋角动量 $S = \sqrt{\frac{3}{4}}\hbar$ ，投影 $S_z = \pm \frac{1}{2}\hbar$ ，故 $\cos \varphi = \frac{S_z}{S} = \pm \frac{\sqrt{3}}{3}$

【考点延伸】《考试宝典》知识点十四§14.7——原子的电子层结构

10、【正解】①②③

【学解】 $v$ 为实物粒子的速度，并不是实物粒子振动机械波的波速，所以式④的 $\lambda = \frac{v}{\nu}$ 有

导出的式⑤也有误

【考点延伸】《考试宝典》知识点十四§14.3——爱因斯坦光子方程、康普顿波长



## 三、计算题(40分, 每题10分)

1、【学解】设  $a(P_1, V_1, T_1)$ 、 $b(P_1, V_2, T_2)$ 、 $c(P_2, V_2, T_1)$ 由  $PV = nRT$ , 推出  $T_2 = 2T_1$  $ab$ : 等压过程,  $A_1 = P_1(V_b - V_a) = P_1 \cdot V_1 = nRT_1$ ,  $\Delta E_1 = \nu C_{v,m}(T_2 - T_1)$ ,  $Q_1 = P_1 V_1 + \nu C_{v,m}(T_2 - T_1)$  $bc$ : 等容过程,  $A_2 = 0$ ,  $Q_2 = \Delta E_2 = \nu C_{v,m}(T_1 - T_2) = \frac{5}{2}nR(T_1 - T_2)$  $ca$ : 等温过程,  $\Delta E_3 = 0$ ,  $Q_3 = A_3 = \int PdV = nRT_1 \ln \frac{V_1}{V_2} = -nRT_1 \ln 2$ 

$$\therefore \eta = \frac{A_{\text{净}}}{Q_{\text{吸}}} = \frac{nRT_1(1 - \ln 2)}{nRT_1 + \frac{5}{2}nRT_1} = 8.7\%$$

【考点延伸】《考试宝典》知识点十§10.3——循环效率

2、【学解】

(1) 根据旋转矢量法, O 点的合振动初位相为  $\frac{\pi}{2}$ 设入射波在 O 点振动方程  $y = A \cos(\omega t + \varphi)$ , 则入射波函数  $y = A \cos(\omega t + \varphi - \frac{2\pi x}{\lambda})$ P 点的入射振动方程  $y = A \cos(\omega t + \varphi - \frac{5\pi}{4})$ , 反射后  $y = A \cos(\omega t + \varphi - \frac{\pi}{4})$ 

$$\text{反射波函数 } y = A \cos\left(\omega\left(t - \frac{\frac{5}{8}\lambda - x}{u}\right) + \varphi - \frac{\pi}{4}\right) = A \cos\left(\omega t - \frac{3}{2}\pi + \varphi + \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

$$\text{反射在 O 点的振动方程 } y = A \cos\left(\omega t - \frac{3}{2}\pi + \varphi\right)$$

因为合振动初相位为  $\frac{\pi}{2}$ , 所以  $\varphi = \frac{\pi}{4}$ 

(2) 将入射波函数与反射波函数相加得 OP 间驻波函数

$$y = A \cos\left(2\pi\nu t - \frac{\pi}{2}\right) \cos\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) \quad \left(0 < x < \frac{5}{8}\lambda\right)$$

$$(3) \quad \text{令 } \cos\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) = 0$$

$$\text{可得波节位置为 } x = \frac{\lambda}{8}, \frac{5\lambda}{8}.$$

【考点延伸】《考试宝典》知识点十二§12.4——驻波



3、【学解】(1)  $\varphi \approx \sin \varphi \approx \tan \varphi = \frac{\lambda}{2a} = 0.015$

(2)  $\frac{k'}{k} = \frac{d}{a} = 5$ ,  $\therefore$  第 5 项缺级

即单缝衍射中央主极大内干涉只有 9 条 ( $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4$ )

(3)  $\frac{k'}{k} = \frac{0.05}{0.02} = \frac{5}{2} = 2.5$ , 即单缝衍射中央主极大内干涉有 5 条 ( $0, \pm 1, \pm 2$ )

【考点延伸】《考试宝典》知识点十三§13.3——单缝衍射

【常考题型】题型 2

4、【学解】(1)  $n=3$  最大

(2)  $n=2$  时,  $\lambda=a$ ;  $n=3$  时,  $\lambda=\frac{2}{3}a$ ;  $n=4$  时,  $\lambda=\frac{a}{2}$ 。

(3)  $A = \int_0^{\frac{a}{4}} |\varphi(x)|^2 dx = \frac{1}{a} \int_0^{\frac{a}{4}} \left(1 - \cos \frac{2n\pi x}{a}\right) dx$

$= \frac{1}{a} \left( \frac{\pi}{4} - \frac{a}{2n\pi} \left[ \sin \frac{2n\pi x}{a} \right]_0^{\frac{a}{4}} \right) = \frac{\pi}{4a} - \frac{1}{2n\pi} \cdot \sin \frac{n\pi}{2}$

根据此式可以判断  $n=3$  时, 概率最大

【考点延伸】《考试宝典》知识点十四§14.6——不确定关系、薛定谔方程

【常考题型】题型 4——一维薛定谔方程在一维深势阱的应用

