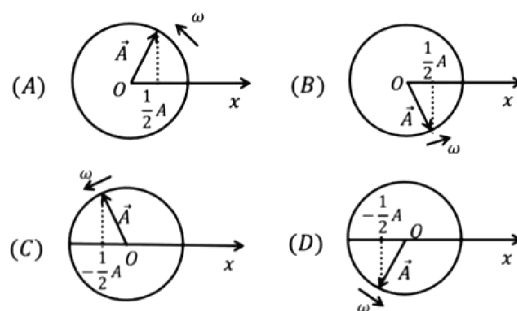


2023-2024上学期大学物理下期末B卷

一、选择题（每题3分，共计33分。）

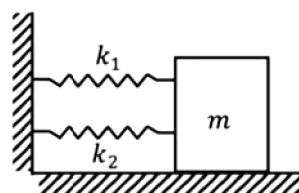
1. 一个质点作简谐振动，振幅为 A ，在起始时刻质点的位移为 $A/2$ ，且向 x 轴的负方向运动，代表此简谐振动的旋转矢量图为 _____。

- A. 图 (A)
B. 图 (B)
C. 图 (C)
D. 图 (D)



2. 如图所示，质量为 m 的物体由劲度系数为 k_1 和 k_2 的两个轻弹簧连接在水平光滑导轨上作微小振动，则该系统的振动频率为 _____。

- A. $\nu = 2\pi\sqrt{\frac{k_1+k_2}{m}}$
B. $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k_1+k_2}{m}}$
C. $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k_1+k_2}{mk_1k_2}}$
D. $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k_1k_2}{m(k_1+k_2)}}$



3. 一弹簧振子作简谐振动，总能量为 E_1 ，如果简谐振动振幅增加为原来的两倍，重物的质量增为原来的四倍，则它的总能量 E_2 变为 _____。

- A. $E_1/4$
B. $E_1/2$
C. $2E_1$
D. $4E_1$

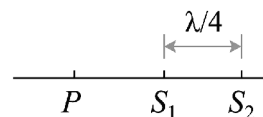
4. 一平面简谐波表达式为 $y = -0.05 \sin \pi(t - 2x)$ (SI)，则该波的频率 ν (Hz)，波速 u (m/s) 及波线上各点振动的振幅 A (m) 依次为 _____。

- A. $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, -0.05$
B. $\frac{1}{2}, 1, -0.05$
C. $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0.05$
D. $2, 2, 0.05$

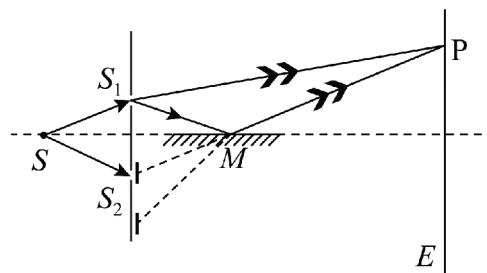
5. 一平面简谐波在弹性介质中传播，在媒质质元从最大位移处回到平衡位置的过程中 _____。

- A. 它的势能转换成动能
B. 它的动能转换成势能
C. 它从相邻的一段媒质质元获得能量，其能量逐渐增加
D. 它把自己的能量供给相邻的一段媒质质元，其能量逐渐减小

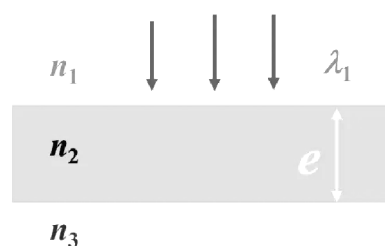
6. 两相干波源 S_1 和 S_2 相距 $\lambda/4$ (λ 为波长), S_1 的相位比 S_2 的相位超前 $\frac{1}{2}\pi$, 在 S_1, S_2 的连线上, S_1 外侧各点 (例如 P 点) 两波引起的两振动的相位差是 _____。



- A. 0
B. $\frac{1}{2}\pi$
C. π
D. $\frac{3}{2}\pi$
7. 设在双缝干涉实验中, 屏幕 E 上的 P 点是亮条纹, 如将缝 S_2 盖住, 并在 S_1S_2 连线的垂直平分面处放一反射镜 M (如图), 则此时 _____。



- A. P 点处为暗条纹
B. P 点处依然是亮条纹
C. 无干涉条纹
D. 无法确定 P 点是亮条纹还是暗条纹
8. 如图所示, 波长为 λ 的平行单色光垂直入射在折射率为 n_2 的薄膜上, 经上下两个表面反射的两束光发生干涉。若薄膜厚度为 e , 而且 $n_1 > n_2 > n_3$, 则两束反射光在相遇点的相位差为 _____。

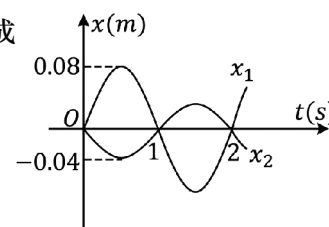


- A. $4\pi n_2 e / \lambda$
B. $2\pi n_2 e / \lambda$
C. $(4\pi n_2 e / \lambda) + \pi$
D. $(2\pi n_2 e / \lambda) - \pi$
9. 两块平板玻璃构成空气劈尖膜, 左边为棱边, 用单色平行光垂直入射。若上面的平板玻璃以棱边为轴, 沿逆时针方向微小转动, 则干涉条纹的 _____。
- A. 间隔变小, 并向棱边方向平移
B. 间隔变大, 并向远离棱边方向平移
C. 间隔不变, 向棱边方向平移
D. 间隔变小, 并向远离棱边方向平移
10. 氢原子中处于 $2s$ 量子态的电子, 描述其量子态的四个量子数 (n, l, m_l, m_s) 可能取的值为 _____。
- A. $(2, 0, 1, -1/2)$
B. $(2, 0, 0, -1/2)$
C. $(1, 1, 0, 1/2)$
D. $(1, 0, 1, 1/2)$

11. 在激光器中利用光学谐振腔 _____。
- 可提高激光束的方向性，而不能提高激光束的单色性
 - 可提高激光束的单色性，而不能提高激光束的方向性
 - 可同时提高激光束的方向性和单色性
 - 既不能提高激光束的方向性也不能提高其单色性
12. 质子在加速器中被加速，当其动能为静止能量的 4 倍时，其质量为静止质量的 _____。
- 4 倍
 - 5 倍
 - 6 倍
 - 8 倍

二、填空题（每空格2分，共计22分。）

1. 图中所示为两个简谐振动的振动曲线。若以余弦函数表示这两个振动的合成结果，则合振动的方程为 $x = x_1 + x_2 =$ _____ (SI)。



2. 对黑体加热后，其最大单色辐射出射度对应的波长由 $0.8\mu\text{m}$ 变到 $1.6\mu\text{m}$ ，则其辐射出射度增大为原来的 _____ 倍。
3. 观察者甲以 $0.6c$ 的速度相对于静止的观察者乙运动，若甲带一长度为 L ，截面积为 S ，质量为 m 的棒，这根棒安放在运动方向上，则乙测得此棒的密度为 _____。
4. 在康普顿散射中，散射角分别为 $\phi_1 = 60^\circ$ 和 $\phi_2 = 30^\circ$ ，则散射波长偏移量比值 $\Delta\lambda_1 : \Delta\lambda_2$ 为 _____。
5. 当波长为 300 nm 的光照在某金属表面，光电子的能量范围从 0 到 $4 \times 10^{-19}\text{ J}$ 。此金属的红限频率为 _____ Hz。
6. 一辆机车以 30 m/s 的速度驶近一位静止的观察者，如果机车的汽笛的频率为 550 Hz ，此观察者听到的声音频率是 _____ Hz（空气中声速为 330 m/s ）。
7. 月球距地面大约 $3.86 \times 10^5\text{ km}$ ，假设月光波长可按 $\lambda = 550\text{ nm}$ 计算，那么在地球上用直径 $D = 500\text{ cm}$ 的天文望远镜恰好能分辨月球表面相距为 _____ m 的两点。
8. 按氢原子理论，当大量氢原子处于第三激发态时，原子跃迁将发出 _____ 种波长的光。
9. 低速运动的质子和 α 粒子，若它们的德布罗意波长相同，则它们的动量之比 = _____；动能之比 = _____。
10. 在折射率 $n_3 = 1.6$ 的玻璃片表面镀一层折射率 $n_2 = 1.38$ 的 MgF_2 薄膜作为增透膜。为了使波长为 500 nm ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$) 的光，从折射率 $n_1 = 1.0$ 的空气垂直入射到玻璃上的反射尽可能地减少， MgF_2 薄膜的厚度 e 至少 _____ nm。
11. 一束自然光自空气入射到水面上，若水的折射率为 1.33 ，布儒斯特角为 _____。

三、（5分）

将三个偏振片叠放在一起，第二个与第三个偏振片化方向分别与第一个的偏振化方向成 45° 和 90° 角。

- （1）强度为 I_0 的自然光垂直入射到这一堆偏振片上，试求经每一偏振片后的光强；
- （2）如果将第二个偏振片抽走，情况又如何？

四、（8分）

已知单缝宽度 $b = 1.0 \times 10^{-4} \text{ m}$ ，透镜焦距为 0.5 m ，用 $\lambda_1 = 400 \text{ nm}$ 和 $\lambda_2 = 760 \text{ nm}$ 的单色光分别照射，求这两种光第二级明纹距屏中心的距离，以及这两条明纹之间的距离；如单色光 $\lambda_1 = 400 \text{ nm}$ 在屏中心的上方以入射角 $i = 30^\circ$ 斜入射到单缝上，则中央明纹中心距屏中心的位置？

五、（10分）

设入射波的表达式为 $y_1 = A \cos 2\pi(\frac{x}{\lambda} + \frac{t}{T})$ ，在 $x = 0$ 处发生反射，反射点为一自由端。设反射时无能量损失，求：

- （1）反射波的表达式；
- （2）合成的驻波的表达式；
- （3）波腹和波节的位置。

六、（8分）

一衍射光栅，每厘米 200 条透光缝，每条透光缝宽为 $a = 2 \times 10^{-3} \text{ cm}$ ，在光栅后放一焦距 $f = 1 \text{ m}$ 的凸透镜，现以 $\lambda = 600 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) 的单色平行光垂直照射光栅，求：

- （1）透光缝 a 的单缝衍射中央明条纹宽度为多少？
- （2）在该宽度内，有几个光栅衍射主极大？

七、（9分）

一电子被限制在宽度为 $1.0 \times 10^{-10} \text{ m}$ 的一维无限深势阱中运动。

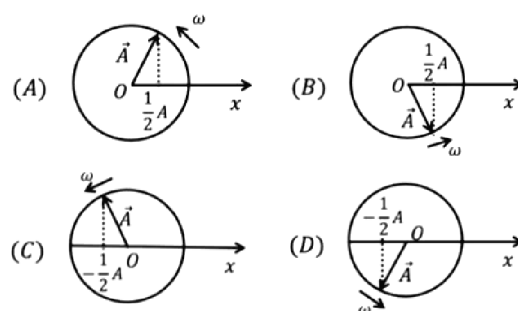
- （1）欲使电子从基态跃迁到第一激发态需要给它多少能量？
- （2）在第一激发态时，在势阱何处出现的概率密度最大？
- （3）在第一激发态时，电子处于 $x_1 = 0 \text{ m}$ 与 $x_2 = 0.25 \times 10^{-10} \text{ m}$ 之间的概率为多少？

2023-2024上学期大学物理下期末B卷

一、选择题（每题3分，共计33分。）

1. 一个质点作简谐振动，振幅为 A ，在起始时刻质点的位移为 $A/2$ ，且向 x 轴的负方向运动，代表此简谐振动的旋转矢量图为 _____。

- A. 图 (A)
B. 图 (B)
C. 图 (C)
D. 图 (D)



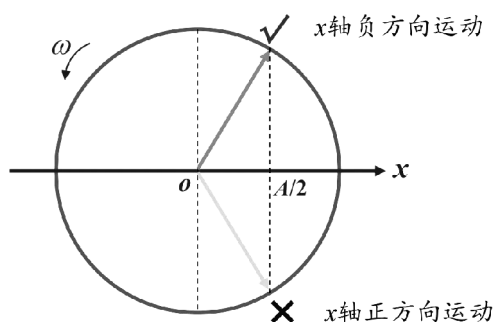
【答案】A

【解析】位移 $x = A/2$ ，矢量端点在 $x = A/2$ 的垂线与圆相交于第一、四象限两点。

向 x 轴负方向运动意味着下一时刻位移减小，由旋转矢量法（逆时针旋转），只有第一象限的矢量满足条件（下一时刻投影向左减小）。

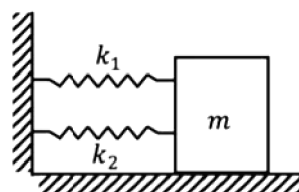
画法：

- ①画 Ox 轴，定正方向
- ②以振幅 A 画圆
- ③确定位移在 Ox 轴上的位置，作垂线
- ④根据速度方向，确定矢量位置
- ⑤读出初相位



2. 如图所示，质量为 m 的物体由劲度系数为 k_1 和 k_2 的两个轻弹簧连接在水平光滑导轨上作微小振动，则该系统的振动频率为 _____。

- A. $\nu = 2\pi\sqrt{\frac{k_1+k_2}{m}}$
B. $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k_1+k_2}{m}}$
C. $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k_1+k_2}{mk_1k_2}}$
D. $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k_1k_2}{m(k_1+k_2)}}$



【答案】B

【解析】两弹簧并联，系统的等效劲度系数为 $k = k_1 + k_2$ 。

由简谐振动频率公式 $\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ ，代入得 $\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_1+k_2}{m}}$ 。

3. 一弹簧振子作简谐振动，总能量为 E_1 ，如果简谐振动振幅增加为原来的两倍，重物的质量增为原来的四倍，则它的总能量 E_2 变为 _____。

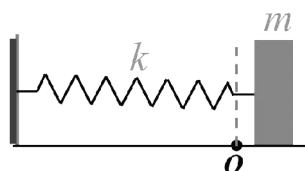
- A. $E_1/4$
- B. $E_1/2$
- C. $2E_1$
- D. $4E_1$

【答案】D

【解析】简谐振动总能量 $E = \frac{1}{2}kA^2$ 。

当振幅变为 $2A$ 时， $E_2 = \frac{1}{2}k(2A)^2 = 4 \cdot \frac{1}{2}kA^2 = 4E_1$ 。

总能量与质量无关，因此答案为 $4E_1$ 。



4. 一平面简谐波表达式为 $y = -0.05 \sin \pi(t - 2x)$ (SI)，则该波的频率 ν (Hz)，波速 u (m/s) 及波线上各点振动的振幅 A (m) 依次为 _____。

- A. $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, -0.05$
- B. $\frac{1}{2}, 1, -0.05$
- C. $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0.05$
- D. $2, 2, 0.05$

【答案】C

【解析】将波动方程变形，圆频率 $\omega = \pi \text{ rad/s}$ ，故频率 $\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2} \text{ Hz}$ 。

由相角 $\pi(t - 2x)$ 可得波速 $u = \frac{\omega}{k} = \frac{\pi}{2\pi} = \frac{1}{2} \text{ m/s}$ 。

振幅恒为正值，即 $A = 0.05 \text{ m}$ 。故依次为 $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0.05$ 。

5. 一平面简谐波在弹性介质中传播，在媒质质元从最大位移处回到平衡位置的过程中 _____。

- A. 它的势能转换成动能
- B. 它的动能转换成势能
- C. 它从相邻的一段媒质质元获得能量，其能量逐渐增加
- D. 它把自己的能量供给相邻的一段媒质质元，其能量逐渐减小

【答案】C

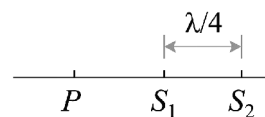
【解析】在简谐波传播过程中，媒质质元的动能和势能同相位变化。

在最大位移处，动能和势能均为零，总能量最小（为零）；在平衡位置处，动能和势能均达到

最大，总能量最大。

因此质元从最大位移处回到平衡位置的过程中，能量逐渐增加，这些能量是从相邻质元获得的。

6. 两相干波源 S_1 和 S_2 相距 $\lambda/4$ (λ 为波长)， S_1 的相位比 S_2 的相位超前 $\frac{1}{2}\pi$ ，在 S_1, S_2 的连线上， S_1 外侧各点（例如 P 点）两波引起的两振动的相位差是 _____。



- A. 0
B. $\frac{1}{2}\pi$
C. π
D. $\frac{3}{2}\pi$

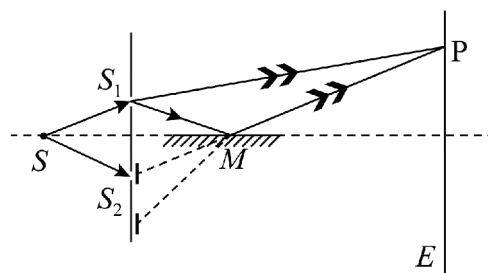
【答案】C

【解析】设 S_1 外侧点 P 到两波源距离分别为 r_1 和 r_2 ，则 $r_2 - r_1 = \frac{\lambda}{4}$ 。波源初始相位差

$\phi_{01} - \phi_{02} = \frac{1}{2}\pi$ 。点 P 处由两波源引起的振动相位差为

$\Delta\phi = (\phi_{01} - \phi_{02}) - \frac{2\pi}{\lambda}(r_1 - r_2) = \frac{1}{2}\pi - \frac{2\pi}{\lambda}(-\frac{\lambda}{4}) = \pi$ ，故 C 正确。

7. 设在双缝干涉实验中，屏幕 E 上的 P 点是亮条纹，如将缝 S_2 盖住，并在 S_1S_2 连线的垂直平分面处放一反射镜 M （如图），则此时 _____。



- A. P 点处为暗条纹
B. P 点处依然是亮条纹
C. 无干涉条纹
D. 无法确定 P 点是亮条纹还是暗条纹

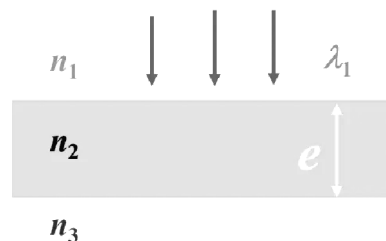
【答案】A

【解析】反射镜 M 放在 S_1S_2 的垂直平分面处，反射光可看作来自 S_1 关于 M 的虚像 S'_1 ，其位置刚好在原 S_2 处。

但光线在镜面反射时会产生半波损失，附加相位差 π （相当于附加光程差 $\lambda/2$ ）。

原亮条纹处的光程差由 $k\lambda$ 变为 $(k + \frac{1}{2})\lambda$ ，满足干涉相消条件，因此 P 点变为暗条纹。

8. 如图所示，波长为 λ 的平行单色光垂直入射在折射率为 n_2 的薄膜上，经上下两个表面反射的两束光发生干涉。若薄膜厚度为 e ，而且 $n_1 > n_2 > n_3$ ，则两束反射光在相遇点的相位差为 _____。



- A. $4\pi n_2 e / \lambda$
B. $2\pi n_2 e / \lambda$
C. $(4\pi n_2 e / \lambda) + \pi$
D. $(2\pi n_2 e / \lambda) - \pi$

【答案】A

【解析】由于 $n_1 > n_2 > n_3$ ，在上、下两个界面处的反射均是由光密介质射向光疏介质，均无半波损失。

因此两束反射光的光程差为 $\Delta = 2n_2e$ ，相遇点的相位差为 $\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta = \frac{4\pi n_2e}{\lambda}$ 。

9. 两块平板玻璃构成空气劈尖膜，左边为棱边，用单色平行光垂直入射。若上面的平板玻璃以棱边为轴，沿逆时针方向微小转动，则干涉条纹的 _____。
- A. 间隔变小，并向棱边方向平移
B. 间隔变大，并向远离棱边方向平移
C. 间隔不变，向棱边方向平移
D. 间隔变小，并向远离棱边方向平移

【答案】A

【解析】劈尖干涉条纹间距为 $b = \frac{\lambda}{2\alpha}$ 。当上面的平板玻璃逆时针转动时，劈尖角 α 增大，因此条纹间隔 b 变小。

同二级次的明（或暗）条纹所对应的膜厚 e 不变， α 增大使得相同厚度的位置向棱边靠拢，故条纹向棱边方向平移。

10. 氢原子中处于 2s 量子态的电子，描述其量子态的四个量子数 (n, l, m_l, m_s) 可能取的值为 _____。
- A. $(2, 0, 1, -1/2)$
B. $(2, 0, 0, -1/2)$
C. $(1, 1, 0, 1/2)$
D. $(1, 0, 1, 1/2)$

【答案】B

【解析】对于 2s 态，主量子数 $n = 2$ ；角量子数 $l = 0$ （对应 s 电子）；磁量子数 $m_l = 0$ ；自旋磁量子数 $m_s = \pm 1/2$ 。

符合要求的只有 $(2, 0, 0, -1/2)$ 。

11. 在激光器中利用光学谐振腔 _____。
- A. 可提高激光束的方向性，而不能提高激光束的单色性
B. 可提高激光束的单色性，而不能提高激光束的方向性
C. 可同时提高激光束的方向性和单色性
D. 既不能提高激光束的方向性也不能提高其单色性

【答案】C

【解析】光学谐振腔通过选频和反馈作用，使沿轴向传播的光子不断得到放大，同时使偏离轴向的光逸出腔外，从而同时提高方向性和单色性。

12. 质子在加速器中被加速，当其动能为静止能量的 4 倍时，其质量为静止质量的 _____。
- A. 4 倍
B. 5 倍

C. 6 倍

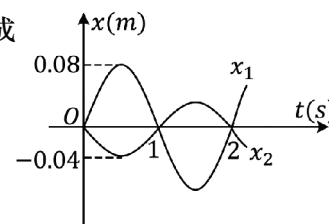
D. 8 倍

【答案】B

【解析】相对论动能 $E_k = mc^2 - m_0c^2$ ，其中 $m = \gamma m_0$ 。由题意 $E_k = 4m_0c^2$ ，则 $mc^2 - m_0c^2 = 4m_0c^2$ ，得 $mc^2 = 5m_0c^2$ ，即 $m = 5m_0$ 。

二、填空题（每空格2分，共计22分。）

1. 图中所示为两个简谐振动的振动曲线。若以余弦函数表示这两个振动的合成结果，则合振动的方程为 $x = x_1 + x_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ (SI)。

【答案】 $0.04 \cos(\pi t - \frac{\pi}{2})$ 【解析】由图可知，两分振动的周期均为 $T = 2$ s，角频率 $\omega = \frac{2\pi}{T} = \pi$ rad/s。振幅分别为 $A_1 = 0.08$ m 和 $A_2 = 0.04$ m。 $t = 0$ 时， $x_1 = 0$ 且向上运动，初相 $\phi_1 = -\frac{\pi}{2}$ ； $x_2 = 0$ 且向下运动，初相 $\phi_2 = \frac{\pi}{2}$ 。合振动振幅 $A = |A_1 - A_2| = 0.04$ m，初相与较大的分振动相同，为 $-\frac{\pi}{2}$ ，故方程为 $x = 0.04 \cos(\pi t - \frac{\pi}{2})$ (SI)。

2. 对黑体加热后，其最大单色辐射出射度对应的波长由 $0.8 \mu\text{m}$ 变到 $1.6 \mu\text{m}$ ，则其辐射出射度增大为原来的 倍。

【答案】1/16

【解析】由维恩位移定律 $\lambda_m T = b$ 可得， $T_2/T_1 = \lambda_{m1}/\lambda_{m2} = 0.8/1.6 = 1/2$ 。根据斯特藩-玻尔兹曼定律 $M = \sigma T^4$ ，总辐射出射度之比 $M_2/M_1 = (T_2/T_1)^4 = (1/2)^4 = 1/16$ 倍。

3. 观察者甲以 $0.6c$ 的速度相对于静止的观察者乙运动，若甲带一长度为 L ，截面积为 S ，质量为 m 的棒，这根棒安放在运动方向上，则乙测得此棒的密度为 。

【答案】 $\frac{25m}{16SL}$ 【解析】设棒相对于甲静止。相对论因子 $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(0.6)^2}} = \frac{5}{4}$ 。乙测得棒沿运动方向的长度为 $L' = L/\gamma = 0.8L$ ，截面积 $S' = S$ 不变，体积 $V' = 0.8SL$ 。乙测得棒的质量为 $m' = \gamma m = 1.25m$ 。因此乙测得的密度为 $\rho' = \frac{m'}{V'} = \frac{1.25m}{0.8SL} = \frac{25m}{16SL}$ 。

4. 在康普顿散射中，散射角分别为 $\phi_1 = 60^\circ$ 和 $\phi_2 = 30^\circ$ ，则散射波长偏移量比值 $\Delta\lambda_1 : \Delta\lambda_2$ 为 。

【答案】 $2 + \sqrt{3}$

【解析】由康普顿散射公式 $\Delta\lambda = \lambda_c(1 - \cos\phi)$ ，得：

$$\Delta\lambda_1 = \lambda_c(1 - \cos 60^\circ) = 0.5\lambda_c$$

$$\Delta\lambda_2 = \lambda_c(1 - \cos 30^\circ) = (1 - \frac{\sqrt{3}}{2})\lambda_c = \frac{2-\sqrt{3}}{2}\lambda_c$$

$$\text{故比值 } \Delta\lambda_1 : \Delta\lambda_2 = \frac{1}{2-\sqrt{3}} = 2 + \sqrt{3}。$$

5. 当波长为 300 nm 的光照在某金属表面，光电子的能量范围从 0 到 4×10^{-19} J。此金属的红限频率为 _____ Hz。

【答案】 3.97×10^{14}

【解析】入射光子能量 $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8}{300 \times 10^{-9}} \text{ J} = 6.63 \times 10^{-19} \text{ J}。$

$$\text{最大初动能 } E_{k\max} = 4 \times 10^{-19} \text{ J}。$$

由爱因斯坦光电效应方程 $E_{k\max} = E - W$ ，得逸出功 $W = 2.63 \times 10^{-19} \text{ J}。$

$$\text{红限频率 } \nu_0 = \frac{W}{h} = \frac{2.63 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} \text{ Hz} \approx 3.97 \times 10^{14} \text{ Hz}。$$

6. 一辆机车以 30 m/s 的速度驶近一位静止的观察者，如果机车的汽笛的频率为 550 Hz，此观察者听到的声音频率是 _____ Hz（空气中声速为 330 m/s）。

【答案】605

【解析】由多普勒效应公式，波源向静止观察者运动时，接收到的频率为 $\nu' = \nu \frac{u}{u - v_s}。$

$$\text{代入数据得 } \nu' = 550 \times \frac{330}{330 - 30} = 550 \times 1.1 = 605 \text{ Hz}。$$

7. 月球距地面大约 3.86×10^5 km，假设月光波长可按 $\lambda = 550 \text{ nm}$ 计算，那么在地球上用直径 $D = 500 \text{ cm}$ 的天文望远镜恰好能分辨月球表面相距为 _____ m 的两点。

【答案】51.8

【解析】对于圆孔衍射，其分辨本领为

$$R = \frac{1}{\delta\theta} = \frac{D}{1.22\lambda}$$

其中月球表面两个物体相距为

$$h \sim L\delta\theta = 1.22\lambda L/D = 51.8 \text{ m}$$

8. 按氢原子理论，当大量氢原子处于第三激发态时，原子跃迁将发出 _____ 种波长的光。

【答案】6

【解析】氢原子的第三激发态对应主量子数 $n = 4$ 能级。

大量处于 $n = 4$ 能级的氢原子向低能级跃迁时，发出的光谱线条数为 $C_4^2 = \frac{4 \times 3}{2} = 6$ 种。

9. 低速运动的质子和 α 粒子，若它们的德布罗意波长相同，则它们的动量之比 = _____；动能之比 = _____。

【答案】(1) 1 : 1； (2) 4 : 1

【解析】由 $\lambda = \frac{h}{p}$ ，波长相同则动量相同，动量之比为 1 : 1；

低速时 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ ， p 相同则 $E_k \propto \frac{1}{m}$ ，质子与 α 粒子质量比为 1 : 4，故动能之比为 4 : 1。

10. 在折射率 $n_3 = 1.6$ 的玻璃片表面镀一层折射率 $n_2 = 1.38$ 的 MgF_2 薄膜作为增透膜。为了使波长为 500 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) 的光，从折射率 $n_1 = 1.0$ 的空气垂直入射到玻璃上的反射尽可能地减少，

MgF_2 薄膜的厚度 e 至少 _____ nm。

【答案】90.6

【解析】因为折射率满足 $n_1 < n_2 < n_3$ ，薄膜上下界面的反射光均发生半波损失，

两反射光的干涉光程差为 $\Delta = 2n_2e$ 。

为使反射极小（干涉相消），光程差需满足 $2n_2e = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ 。

最小厚度对应 $k=0$ ，即 $e_{\min} = \frac{\lambda}{4n_2} = \frac{500}{4 \times 1.38} \approx 90.6 \text{ nm}$ 。

11. 一束自然光自空气入射到水面上，若水的折射率为 1.33，布儒斯特角为 _____。

【答案】53.1°

【解析】由布儒斯特定律 $\tan i_B = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1.33}{1.0} = 1.33$ ，

解得布儒斯特角 $i_B = \arctan(1.33) \approx 53.1^\circ$ 。

三、（5分）

将三个偏振片叠放在一起，第二个与第三个偏振片化方向分别与第一个的偏振化方向成 45° 和 90° 角。

（1）强度为 I_0 的自然光垂直入射到这一堆偏振片上，试求经每一偏振片后的光强；

（2）如果将第二个偏振片抽走，情况又如何？

【答案】（1）经过第一、二、三个偏振片后的光强分别为 $\frac{1}{2}I_0$ 、 $\frac{1}{4}I_0$ 、 $\frac{1}{8}I_0$ ；

（2）若抽走第二个偏振片，经第一个偏振片后光强为 $\frac{1}{2}I_0$ ，经第三个偏振片后透射光强为 0

【解析】（1）

自然光经第一个偏振片后变为线偏振光，强度 $I_1 = \frac{1}{2}I_0$ 。

经第二个偏振片后，夹角 $\theta_1 = 45^\circ$ ，由马吕斯定律 $I_2 = I_1 \cos^2 45^\circ = \frac{1}{2}I_0 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}I_0$ 。

第二个与第三个偏振片的偏振化方向夹角 $\theta_2 = 90^\circ - 45^\circ = 45^\circ$ ，

经第三个偏振片后 $I_3 = I_2 \cos^2 45^\circ = \frac{1}{4}I_0 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}I_0$ 。

（2）

若抽走第二个偏振片，第一和第三个偏振片偏振化方向相互垂直（夹角为 90° ），

经第一个偏振片后光强为 $\frac{1}{2}I_0$ ，经第三个偏振片后透射光强 $I'_3 = I_1 \cos^2 90^\circ = 0$ 。

四、（8分）

已知单缝宽度 $b = 1.0 \times 10^{-4} \text{ m}$ ，透镜焦距为 0.5 m，用 $\lambda_1 = 400 \text{ nm}$ 和 $\lambda_2 = 760 \text{ nm}$ 的单色光分别照射，求这两种光第二级明纹距屏中心的距离，以及这两条明纹之间的距离；如单色光 $\lambda_1 = 400 \text{ nm}$ 在屏中心的上方以入射角 $i = 30^\circ$ 斜入射到单缝上，则中央明纹中心距屏中心的位置？

【答案】 λ_1 的第二级明纹距屏中心 $5.0 \times 10^{-3} \text{ m}$ ， λ_2 的第二级明纹距屏中心 $9.5 \times 10^{-3} \text{ m}$ ，两条明纹之间的距离为 $4.5 \times 10^{-3} \text{ m}$ ；中央明纹中心在屏中心下方 0.289 m 处

【解析】单缝衍射明纹公式为 $b \sin \theta = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}$ ，在小角度近似下，位置

$$x = f \tan \theta \approx f \sin \theta = \frac{(2k+1)\lambda f}{2b}。$$

对于第二级明纹 ($k=2$): $x = \frac{5\lambda f}{2b}$ 。

代入 $\lambda_1 = 400 \text{ nm}$ 得: $x_1 = \frac{5 \times 400 \times 10^{-9} \times 0.5}{2 \times 1.0 \times 10^{-4}} = 5.0 \times 10^{-3} \text{ m}$ 。

代入 $\lambda_2 = 760 \text{ nm}$ 得: $x_2 = \frac{5 \times 760 \times 10^{-9} \times 0.5}{2 \times 1.0 \times 10^{-4}} = 9.5 \times 10^{-3} \text{ m}$ 。

两条明纹间距 $\Delta x = x_2 - x_1 = 4.5 \times 10^{-3} \text{ m}$ 。

当光线以入射角 $i = 30^\circ$ 斜入射时，中央明纹对应的衍射角为 $\theta = -30^\circ$ ，其在屏上的位置为

$y = -f \tan 30^\circ = -0.5 \times \frac{\sqrt{3}}{3} \approx -0.289 \text{ m}$ ，即在屏中心下方 0.289 m 处。

五、(10分)

设入射波的表达式为 $y_1 = A \cos 2\pi(\frac{x}{\lambda} + \frac{t}{T})$ ，在 $x=0$ 处发生反射，反射点为一自由端。设反射时无能量损失，求：

(1) 反射波的表达式；

(2) 合成的驻波的表达式；

(3) 波腹和波节的位置。

【答案】 (1) $y_{\text{反}} = A \cos 2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda})$ ；

(2) $y = 2A \cos(\frac{2\pi x}{\lambda}) \cos(\frac{2\pi t}{T})$ ；

(3) 波腹: $x_k = k\lambda/2$ ($k=0, +1, +2, \dots$)；波节: $x_k = (k+1/2)\lambda/2$ ($k=0, +1, +2, \dots$)

【解析】 反射点是自由端，所以反射时没有半波损失；

当反射是固定端时，有半波损失。

只有从波疏到波密的反射波才有半波损失。

因此，入射波的方程为 $y_{\lambda} = A \cos 2\pi(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda})$

因为反射点在 $x=0$ 处

则反射波的表达式为 $y_{\text{反}} = A \cos 2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda})$

注：该题入射波的波函数中 x 前的系数为正，说明波的传播方向与 x 轴负方向相同；则反射波的传播方向将与 x 轴正方向相同，所以反射波中 x 前系数为负

可得驻波方程: $y = y_{\lambda} + y_{\text{反}} = 2A \cos(\frac{2\pi x}{\lambda}) \cos(\frac{2\pi t}{T})$

令 $A(x) = 2A \cos(\frac{2\pi x}{\lambda})$ ，则 $0 \leq |A(x)| \leq 2A$

对于波腹部点: $|A(x)| = 2A$

即 $2A \cos(\frac{2\pi x}{\lambda}) = 2A$

则 $2\pi x_k/\lambda = k\pi$

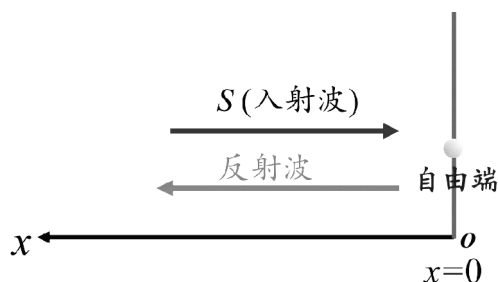
所以 $x_k = k\lambda/2$ ($k=0, +1, +2, \dots$)

对于波节点: $|A(x)| = 0$

则 $2\pi x_k/\lambda = (k+1/2)\pi$

即 $x_k = (k+1/2)\lambda/2$ ($k=0, +1, +2, \dots$)

注：此题波在 $x=0$ 处反射，波腹和波节对应的 x 只能取 0 或正值



六、（8分）

一衍射光栅，每厘米 200 条透光缝，每条透光缝宽为 $a = 2 \times 10^{-3} \text{ cm}$ ，在光栅后放一焦距 $f = 1 \text{ m}$ 的凸透镜，现以 $\lambda = 600 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) 的单色平行光垂直照射光栅，求：

- （1）透光缝 a 的单缝衍射中央明条纹宽度为多少？
- （2）在该宽度内，有几个光栅衍射主极大？

【答案】（1）6 cm；（2）5 个

【解析】光栅常数为 $d = 1/200 \text{ cm}$

对中央明纹由： $a \sin \theta_1 \sim a \theta_1 = a \frac{x_1}{f} = \pm \lambda$

则线宽为 $2x_1 = 2f\lambda/a = 6 \text{ cm}$

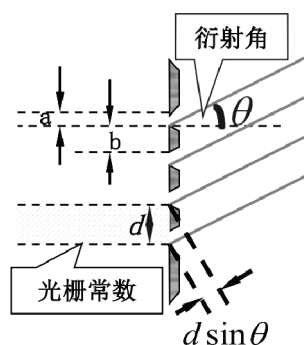
在此宽度范围内 $\theta \sim \tan \theta \sim \sin \theta = x_1/f = 0.03 \text{ rad}$

由 $d \sin \theta = \pm k\lambda$ ，得 $k = d \sin \theta / \lambda = 2.5$

又因为出现缺级的位置为 $k = \frac{d}{a} k'$ ， $k' = 1, 2, 3 \dots$

中央明带内主极大的级数满足 $|k| < d/a = 2.5$

所以出现的主极大为 $\pm 2, \pm 1, 0$ ，共 5 条



七、（9分）

一电子被限制在宽度为 $1.0 \times 10^{-10} \text{ m}$ 的一维无限深势阱中运动。

- （1）欲使电子从基态跃迁到第一激发态需要给它多少能量？
- （2）在第一激发态时，在势阱何处出现的概率密度最大？
- （3）在第一激发态时，电子处于 $x_1 = 0 \text{ m}$ 与 $x_2 = 0.25 \times 10^{-10} \text{ m}$ 之间的概率为多少？

【答案】 (1) $1.81 \times 10^{-17} \text{ J}$;

(2) 在 $x = 0.25 \times 10^{-10} \text{ m}$ 和 $x = 0.75 \times 10^{-10} \text{ m}$ 处;

(3) 0.25

【解析】 (1)

一维无限深势阱能级 $E_n = n^2 \frac{h^2}{8ma^2}$ 。

从基态 ($n = 1$) 到第一激发态 ($n = 2$) 所需能量

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 3 \frac{h^2}{8ma^2} = 3 \times \frac{(6.63 \times 10^{-34})^2}{8 \times 9.11 \times 10^{-31} \times (1.0 \times 10^{-10})^2} \approx 1.81 \times 10^{-17} \text{ J}。$$

(2)

第一激发态波函数 $\psi_2(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin\left(\frac{2\pi x}{a}\right)$, 概率密度 $\rho(x) = |\psi_2(x)|^2 = \frac{2}{a} \sin^2\left(\frac{2\pi x}{a}\right)$ 。

当 $\frac{2\pi x}{a} = \frac{\pi}{2}$ 或 $\frac{3\pi}{2}$ 时概率密度最大, 即 $x = 0.25a = 0.25 \times 10^{-10} \text{ m}$ 和

$x = 0.75a = 0.75 \times 10^{-10} \text{ m}$ 处。

(3)

电子在区间 $[0, 0.25a]$ 内的概率 $P = \int_0^{a/4} \frac{2}{a} \sin^2\left(\frac{2\pi x}{a}\right) dx = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \sin^2 u du = 0.25$ 。

版权声明

欣知题库平台由联创教科欣知实验室自主建设, 试题解析知识产权归我方所有。未经授权, 禁止转载至其他公开社群或网站, 也不得以任何形式用于商业用途。您基于平台内容进行二次创作的作品, 其作品授权我方在法定保护期内享有使用权。