2022 年「大学物理 2」杭州電子科技大学 期中试题

考试时间：2022 年 11 月 12 日　　任课教师：大学物理教学团队

课程编号：A0715012　　解析制作：未央物理讲师 Axia

HDU 物理营　　未央学社公众号

1. 选择题（每题 3 分，共 27 分）

题目 1　　简谐振动　【 C 】

一长度为 l、劲度系数为 k 的均匀轻弹簧分割成长度分别为 l_1 和 l_2 得两部分，且 $l_1 = nl_2$，n 为整数. 则相应的劲度系数 k_1 和 k_2 为

A. $k_1 = \dfrac{kn}{n+1}$，$k_2 = k(n+1)$　　B. $k_1 = \dfrac{k(n+1)}{n}$, $k_2 = \dfrac{k}{k+1}$

C. $k_1 = \dfrac{k(n+1)}{n}$, $k_2 = k(n+1)$　　D. $k_1 = \dfrac{kn}{n+1}$, $k_2 = \dfrac{k}{n+1}$

分析与解 弹簧的劲度系数和其长度成反比，所以 $k_1 = \dfrac{k(n+1)}{n}$，$k_2 = k(n+1)$. 故本题选择 C 项.

题目 2　　波的能量　【 C 】

一平面简谐波在弹性媒介中传播，在媒质质元从最大位移处回到平衡位置的过程中

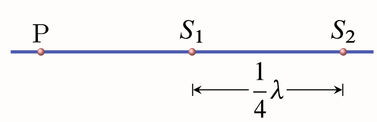
A. 它的势能转换成动能　　B. 它的动能转换成势能

C. 它从相邻的一段质元获得能量，其能量逐渐增加　　D. 它把能量传给相邻的一段质元，其能量逐渐减小

分析与解 波在传播过程中介质质元振动的动能和势能同时变化，在从最大位移处运动到平衡位置的过程中动能变大，所以势能也变大，其能量逐渐增加. 故本题选择 C 项.

题目 3　　光程和光程差　【 C 】

两相干波源 S_1 和 S_2 相距 $\lambda/4$，S_1 的相位比 S_2 的相位超前 $\pi/2$. 在 S_1S_2 的连线上两者外侧 P 点两波引起的简谐振动的相位差是



A. 0　　B. $\pi/2$　　C. π　　D. $3\pi/2$

分析与解 因传播过程而造成的相位差为 $\frac{2\pi\delta}{\lambda}=\frac{2\pi\cdot\lambda/4}{\lambda}=\frac{\pi}{2}$，又因为 S_1 的相位比 S_2 的相位超前 $\frac{\pi}{2}$，所以 P 点处两波引起的相位差为 π. 故本题选择 **C** 项.

题目 4 驻波 【 C 】

在弦线上有一简谐波，其表达式是

$$y_1=2.0\times10^{-2}\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{0.02}-\frac{x}{20}\right)+\frac{\pi}{3}\right]\ \text{(SI)}$$

为了在此弦线上形成驻波，并且在 $x=0$ 处为一波节，此弦线上还应有一简谐波，其表达式为

A. $y_2=2.0\times10^{-2}\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{0.02}+\frac{x}{20}\right)+\frac{\pi}{3}\right]$ (SI)　　B. $y_2=2.0\times10^{-2}\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{0.02}+\frac{x}{20}\right)+\frac{2\pi}{3}\right]$ (SI)

C. $y_2=2.0\times10^{-2}\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{0.02}+\frac{x}{20}\right)+\frac{4\pi}{3}\right]$ (SI)　　D. $y_2=2.0\times10^{-2}\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{0.02}+\frac{x}{20}\right)-\frac{\pi}{3}\right]$ (SI)

分析与解 由题意得原点处有 $y_1+y_2=A\cos\left(\omega t+\frac{\pi}{3}\right)+A\cos(\omega t+\varphi)=0$，得 $\varphi=\frac{4\pi}{3}$. 故本题选择 **C** 项.

题目 5 多普勒效应 【 B 】

一机车汽笛频率为 750Hz，机车以时速 90 公里远离静止的观察者，观察者听到声音的频率是（空气中声速 340m/s）

A. 810Hz　　B. 699Hz　　C. 805Hz　　D. 695Hz

分析与解

已知多普勒效应观察者（Observer）和发射源（Source）的的频率关系为

$$\nu=\frac{u\pm v_o}{u\mp v_s}\nu_0$$

v_o 为观察者速度，接近为 $+$，远离为 $-$；v_s 为发射源速度，接近为 $-$，远离为 $+$. 观察者静止，其所听频率为

$$\nu=\frac{340}{340+25}\times750\text{Hz}\approx699\text{Hz}$$

故本题选择 **B** 项.

题目 6 光程和光程差 【 C 】

真空中波长为 λ 的单色光，在折射率为 n 的均匀透明媒质中，从 A 点沿某一路径传播到 B 点，路径的长度为 l，A、B 两点光振动的相位差记为 $\Delta\phi$，则

A. $l=\frac{3\lambda}{2}$，$\Delta\phi=3\pi$　　B. $l=\frac{3\lambda}{2n}$，$\Delta\phi=3n\pi$　　C. $l=\frac{3\lambda}{2n}$，$\Delta\phi=3\pi$　　D. $l=\frac{3n\lambda}{2}$，$\Delta\phi=3n\pi$

分析与解 $\Delta\phi=\frac{2\pi\delta}{\lambda}=\frac{2\pi nl}{\lambda}$，将四个选项分别代入后只有 C 选项符合. 故本题选择 **C** 项.

题目 7 双缝干涉 【 D 】

在双缝干涉实验中，两缝间距离为 d，双缝与屏幕之间的距离为 D（$D\gg d$）. 波长为 λ 的平行单色光垂直照射到双缝上，屏幕上干涉条纹中相邻暗纹之间的距离是

A. $\frac{2\lambda D}{d}$　　B. $\frac{\lambda d}{D}$　　C. $\frac{dD}{\lambda}$　　D. $\frac{\lambda D}{d}$

分析与解 由明纹公式 $x = k\dfrac{\lambda D}{d}$ 得暗纹间距 $\Delta x = \dfrac{\lambda D}{d}$. 故本题选择 **D** 项.

题目 8　　劈尖干涉　【 A 】

两块平玻璃构成空气劈形膜，左边为棱边，用单色平行光垂直入射，若上面的平玻璃以棱边为轴，沿逆时针方向做微小转动，则干涉条纹的

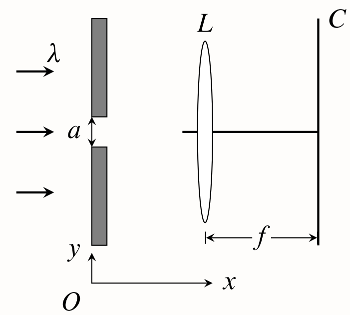
A. 间隔变小，并向棱边方向平移　　B. 间隔变大，并向远离棱边方向平移

C. 间隔不变，并向棱边方向平移　　D. 间隔变小，并向远离棱边方向平移

分析与解 旋转过程中空气劈形膜的顶角变大，根据条纹间距公式 $\Delta x = \dfrac{\lambda}{2\theta}$ 所以条纹间隔变小；每处的光程差增大，所以对应的条纹级数增大，表现为向棱边方向平移. 故本题选择 **A** 项.

题目 9　　弗琅禾费衍射　【 C 】

在如图所示的单缝弗琅禾费衍射装置中，将单缝宽度 a 稍稍变宽，同时使单缝沿 y 轴正方向做微小平移（透镜屏幕位置不动），则屏幕 C 上的中央衍射条纹将



A. 变窄，同时向上移　　B. 变窄，同时向下移

C. 变窄，不移动　　D. 变宽，同时向上移

分析与解 光线方向不变，所以中央明纹位置不变；根据中央明纹宽度 $\Delta x_0 = \dfrac{2\lambda f}{a}$ 可知单缝宽度增大，中央明纹宽度将变窄. 故本题选择 **C** 项.

2. 填空题（共 25 分）

题目 10（本题 3 分）　　弹簧振子

一弹簧振子，弹簧的劲度系数为 k，重物的质量为 m，则此系统的固有振动周期为 $\underline{2\pi\sqrt{m/k}}$.

题目 11（本题 4 分）　　简谐振动

一系统做简谐振动，周期为 T，以余弦函数表达振动时，初相为零. 在 $0 \le t \le T/2$ 范围内，系统在 $t = \underline{T/8,\ 3T/8}$ 时刻动能和势能相等.

分析与解 动能等于势能即总能量为势能的 2 倍，$2\cdot\dfrac{1}{2}kx^2 = \dfrac{1}{2}kA^2$，由此得 $x = \pm\dfrac{\sqrt{2}}{2}A$，对应时刻 $t = \dfrac{1}{8}T$，$\dfrac{3}{8}T$.

题目 12（本题 4 分）　　平面简谐波的物理量

一平面简谐波 $y = 0.025\cos(125t - 0.37x)$ (SI). 其角频率 $\omega = \underline{125\text{s}^{-1}}$，波速 $u = \underline{337.84\text{m/s}}$，波长 $\lambda = \underline{16.98\text{m}}$.

分析与解 与表达式 $y = A\cos(\omega t - 2\pi x/\lambda + \varphi)$ 比对即可.

题目 13（本题 5 分）　　平面简谐波的波函数

一平面简谐波沿 Ox 轴正方向传播，波长为 λ，若位于 $x=-L_1$ 的 P_1 处质点的振动方程为 $y_1=A\cos(2\pi\nu t+\phi)$，则位于 $x=L_2$ 的 P_2 处质点的振动方程为 $\underline{y_2=A\cos\left[2\pi\nu t-\dfrac{2\pi(L_2+L_1)}{\lambda}+\phi\right]}$；与 P_1 处质点振动状态相同的那些点的位置为 $\underline{x=-L_1+k\lambda,\ k=0,\pm1,\pm2,\cdots}$.

分析与解

设波函数为 $y=A\cos\left[2\pi\nu\left(t-\dfrac{x}{\lambda\nu}\right)+\varphi_0\right]$. 将 P_1 点坐标 $x=-L_1$ 代入，得

$$y_1=A\cos\left[2\pi\nu\left(t+\frac{L_1}{\lambda\nu}\right)+\varphi_0\right]$$

将上式与 P_1 点振动方程比较，得初相 $\varphi_0=\phi-\dfrac{2\pi L_1}{\lambda}$. 将 φ_0 代入波函数中，得该波的表达式

$$y=A\cos\left[2\pi\nu t-\frac{2\pi(x+L_1)}{\lambda}+\phi\right]$$

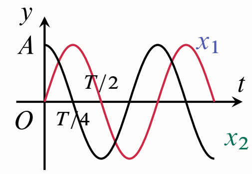
现在令 $x=L_2$，得到 P_2 点的振动方程

$$y_2=A\cos\left[2\pi\nu t-\frac{2\pi(L_2+L_1)}{\lambda}+\phi\right]$$

与点 P_1 处质点振动状态相同的点与 P_1 点的距离应为波长的整数倍，即 $x=-L_1+k\lambda$，$k=0,\pm1,\pm2,\cdots$.

题目 14（本题 3 分）　　平面简谐波的物理量

一简谐波沿 x 轴正方向传播，x_1 与 x_2 两点处的振动曲线如图所示. 已知 $x_2>x_1$ 且 $x_2-x_1<\lambda$，则波从 x_1 点传到 x_2 点所用时间为 $\underline{\dfrac{3}{4}T}$（用简谐波的周期 T 表示）.



分析与解 简谐波沿 x 轴正方向传播，根据图像很容易判断经过 $3T/4$ 后 x_1 的波形与 x_2 重合.

题目 15（本题 3 分）　　增透膜

一束波长为 $\lambda=600\text{nm}$ 的平行单色光垂直入射到折射率为 $n=1.33$ 的透明薄膜上，该膜是放在空气中的. 要使反射光得到最大限度的加强，薄膜最小厚度应为 $\underline{112.78}$ nm.

分析与解

- **当光从光密介质射向光疏介质时，反射光没有半波损失.** 所以两个表面反射光光程差为 $\delta=2ne+\dfrac{\lambda}{2}$.
- 使反射光干涉相长，即 $2ne+\dfrac{\lambda}{2}=k\lambda$. 解得 $k=1$ 时，$e_{\min}=\dfrac{\lambda}{4n}=112.78\text{nm}$.

题目 16（本题 3 分）　　迈克尔逊干涉仪

若在迈克尔逊干涉仪的可动反射镜 M 移动 0.620mm 过程中，观察到干涉条纹移动了 2300 条，则所用光波的波长为 $\underline{539.13}$ nm.

分析与解 移动带来的光程差满足 $\delta=2d=N\lambda$，由此得 $\lambda=2d/N=0.644\text{mm}$.

3. 计算题（共 48 分）

题目 17（本题 10 分）　简谐振动

一物体质量为 0.25kg，在弹性力作用下做简谐振动，弹簧的劲度系数 $k = 25\text{N/m}$. 如果起始振动时具有势能 0.06J 和动能 0.02J，求

1. 振幅.
2. 动能恰等于势能时的位移.
3. 经过平衡位置时物体的速度.

分析与解

1. 总能量为动能与势能之和，由总能量表达式

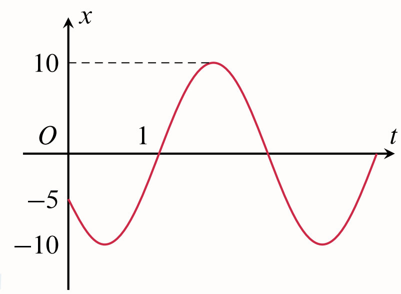
$$E = \frac{1}{2}kA^2 = E_k + E_p = 0.02\text{J} + 0.06\text{J} = 0.08\text{J} \qquad \text{(3pt)}$$

得振幅为 $A = 8\text{cm}$. …… (1pt)

2. 动能和势能相等，即总能量为势能的 2 倍，$2\cdot\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2$，由此得 $x = \pm\frac{\sqrt{2}}{2}A = \pm 5.66\text{cm}$. …… (3pt)
3. 经过平衡位置时系统势能为 0，总能量与动能相等，$\frac{1}{2}mv^2 = 0.08\text{J}$，由此得物体的速度为 $v = 0.8\text{m/s}$. …… (3pt)

题目 18（本题 5 分）　简谐振动

一简谐振动的振动曲线如图所示，求振动方程.



分析与解

- 由图易知振幅 $A = 0.1\text{m}$. …… (1pt)
- $t = 0$ 时，$x = -5\text{cm}$，$v < 0$，所以初相 $\varphi = \frac{2\pi}{3}$. …… (1pt)
- $t = 1$ 时，$x = 0$，$v > 0$，此时相位 $\varphi = -\frac{\pi}{2} = \omega\cdot 1 + \frac{2\pi}{3}$，得角频率 $\omega = \frac{5}{6}\pi$. …… (2pt)
- 综上，振动方程为 $y = 0.1\cos\left(\frac{5}{6}\pi t + \frac{2\pi}{3}\right)$. …… (1pt)

题目 19（本题 5 分）　平面简谐波的波函数

一振幅为 10cm，波长为 200cm 的简谐横波，沿着一条很长的水平的绷紧弦从左向右行进，波速为 100cm/s. 取弦上一点为坐标原点，x 轴指向右方，在 $t = 0$ 时原点处质点从平衡位置开始向位移负方向运动. 求以 SI 单位表示的波动表达式（用余弦函数）及弦上任一点的最大振动速度.

分析与解

由题意得，角频率 $\omega = 2\pi\frac{u}{\lambda} = \pi\text{rad/s}$；$t = 0$ 时 $x = 0$，$v < 0$，所以初相 $\varphi = \frac{\pi}{2}$. 故波动表达式为

$$y = 0.1\cos\left[\pi(t - x) + \frac{\pi}{2}\right] \text{(SI)} \qquad \text{(3pt)}$$

最大振动速度 $v_m = \omega A = 0.1\pi\text{m/s}$. …… (2pt)

题目 20（本题 5 分）　　光程和光程差

S_1，S_2 为两平面简谐波相干波源.S_2 的相位比 S_1 的相位超前 $\frac{\pi}{4}$，波长 $\lambda = 8.00\text{m}$；S_1，S_2 与 P 点的距离分别为 $r_1 = 12.0\text{m}$，$r_2 = 14.0\text{m}$；S_1 在 P 点引起的振动振幅为 0.30m，S_2 在 P 点引起的振动振幅为 0.20m. 求 P 点的合振幅.

分析与解 P 点相差 $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 - \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) = -\frac{\pi}{4}$，合振幅为 $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\Delta\varphi} = 0.46\text{m}$.

题目 21（本题 10 分）　　双缝干涉

薄钢片上有两条紧靠的平行细缝，用波长 $\lambda = 546.1\text{mm}$ 的平面光波正入射到钢片上. 屏幕距双缝的距离为 $D = 2.00\text{m}$，测得中央明纹两侧的第五级明纹间的距离为 $\Delta x = 12.0\text{mm}$.

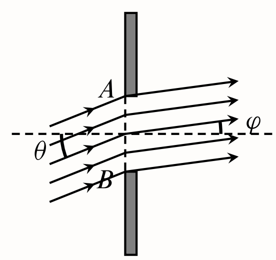
1. 求两缝间的距离.
2. 从任一明纹（记作 0）向一边数到第 20 条明纹，共经过多大距离?
3. 如果使光波斜入射到钢片上，条纹间距将如何改变?

分析与解

1. 由明纹坐标公式 $x = \frac{k\lambda D}{a}$ 得两侧第五级明纹间隔 $\Delta x_5 = \frac{10\lambda D}{a}$，$a = \frac{10\lambda D}{\Delta x_5} = 0.91\text{mm}$. ⋯⋯ (5pt)
2. 20 条明纹间距 $x_{20} = \frac{20\lambda D}{a} = 24\text{mm}$. ⋯⋯ (3pt)
3. 斜入射只会使所有明纹对应的光程差同时改变 $a\sin\theta$，但是相对位置不变，所以条纹间距不变. ⋯⋯ (2pt)

题目 22（本题 5 分）　　弗琅禾费衍射

如图所示，设波长为 λ 的平面波沿与单缝平面法线成 θ 角的方向入射，单缝 AB 的宽度为 a，观察弗琅禾费衍射. 试求出各极小值（即各暗条纹）的衍射角 φ.



分析与解 单缝衍射极小时两条光线的光程差满足 $\delta = a(\sin\theta - \sin\varphi) = k\lambda = a(\sin\theta - \sin\varphi)$，由此得各极小值的衍射角 $\varphi = \arcsin(a\sin\theta + k\lambda)$，$k = \pm1, \pm2, \pm3, \cdots$.

题目 23（本题 8 分）　　牛顿环

曲率半径为 R 的平凸透镜和平板玻璃之间形成空气薄层，波长为 λ 的平行单色光垂直入射，观察反射光形成牛顿环. 设平凸透镜与平板玻璃在中心 O 点恰好接触，求

1. 从中心向外数第 k 个明环所对应的空气薄层的厚度 e_k.
2. 第 k 个明环的半径 r_k（用 R，波长 λ 和整数 k 表示，$R \gg e_k$）.

分析与解

1. 由第 k 级明环对应的光程差所满足条件 $\delta = k\lambda = 2e_k + \frac{\lambda}{2}$ 得空气薄层的厚度 $e_k = \frac{2k-1}{4}\lambda$. ⋯⋯ (3pt)
2. 由几何关系 $R^2 = r^2 + (R - e_k)^2$ 略去高阶 e_k^2 得 $e_k = \frac{2k-1}{4}\lambda \approx \frac{r_k^2}{2R}$. 所以明环半径 $r_k = \sqrt{\frac{2k-1}{2}\lambda R}$. (5pt)