2021 年「大学物理 2」杭州电子科技大学 期中试题

考试时间：2021 年 11 月 20 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 】

把单摆摆球从平衡位置向位移正方向拉开，使摆线与竖直方向成一微小角度 θ，然后由静止放手任其振动，从放手时开始计时. 若用余弦函数表示其运动方程，则该单摆振动的初相为

A. π　　B. $\frac{\pi}{2}$　　C. 0　　D. θ

题目 2　　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

$$\nu = \frac{340}{340 + 25} \times 750\text{Hz} \approx 699\text{Hz}$$

故本题选择 B 项.

题目 3　　光程和光程差　　【 C 】

在相同的时间内，一束波长为 λ 的单色光在空气中和在玻璃中

A. 传播的路程相等，走过的光程相等　　B. 传播的路程相等，走过的光程不相等

C. 传播的路程不相等，走过的光程相等　　D. 传播的路程不相等，走过的光程不相等

分析与解 光程的定义：在相同时间内光线在真空中传播的距离. 题目中光传播时间相同，故光程相等；又因为光在两种介质中的传播速度不同，所以在相同的时间内传播的路程不相等. 故本题选择 **C** 项.

题目 4 双缝干涉 【 B 】

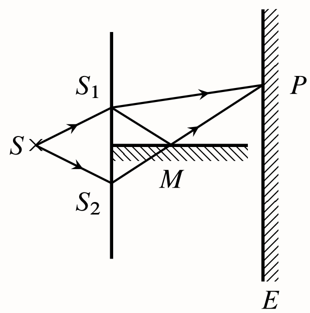
在双缝干涉实验中，为使屏上的干涉条纹间距变大，可采取的办法是

A. 使屏靠近双缝　B. 使两缝的间距变小　C. 把两缝的宽度调窄　D. 改用波长短的单色光

分析与解 已知双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x=\dfrac{\lambda L}{d}$. 要使 Δx 变大，可增大波长 λ、屏幕与双缝的距离 L 或减小双缝间距 d. 故本题选择 **B** 项.

题目 5 双缝干涉 【 B 】

在双缝干涉实验中，屏幕 E 上的 P 点是明条纹. 若将缝 S_2 盖住，并在 S_1S_2 连线的垂直平分面处放一高折射率反射面 M，如图所示. 则此时



A. P 点仍为明条纹　B. P 点为暗条纹

C. 不能确定 P 点是明纹还是暗纹　D. 无干涉条纹

分析与解 S_1MP、S_2MP 长度相等，但平面镜使在反射中一条光路发生半波损失，两条光路的相位差变化 π，所以 P 点由原来的明纹变为暗纹. 故本题选择 **B** 项.

题目 6 增透膜 【 D 】

在照相机镜头的玻璃片上均匀镀有一层折射率 n 小于玻璃的介质薄膜，以增强某一波长 600nm 的透射光能量. 假设光线垂直入射，则介质膜的最小厚度应为

A. $\dfrac{600}{n}$nm　B. $\dfrac{300}{n}$nm　C. $\dfrac{200}{n}$nm　D. $\dfrac{150}{n}$nm

分析与解

- 需减少反射光的干涉作用，使反射光干涉相消. 即 $\delta=2ne=\dfrac{2k+1}{2}\lambda$，解得 $e_{\min}=\dfrac{\lambda}{4n}=\dfrac{150}{n}$nm.
- 也可使透射光干涉相长，即 $\delta=2en+\dfrac{\lambda}{2}=k\lambda$，解得 $e_{\min}=\dfrac{\lambda}{4n}=\dfrac{150}{n}$nm.

题目 7 牛顿环 【 D 】

牛顿环干涉装置上平凸透镜在垂直于平板玻璃的方向上，逐渐向上平移（离开玻璃板）时，反射光形成的干涉条纹的变化情况是

A. 环纹向边缘扩散，环数不变　B. 环纹向边缘扩散，环数增加

C. 环纹向中心靠拢，环数增加　D. 环纹向中心靠拢，环数不变

分析与解 对于某条环，其光程差是确定的，所以环数不变；向中心靠拢光程差减小，可抵消透镜上移时导致的光程差增大. 故本题选择 **D** 项.

题目 8　　迈克尔逊干涉仪　　【 A 】

在迈克尔逊干涉仪的一条光路中，放入一折射率为 n，厚度为 d 的透明薄片，放入后，这条光路的光程改变了

A. $2(n-1)d$　　B. $(n-1)d$　　C. $2(n-1)d+\dfrac{\lambda}{2}$　　D. nd

分析与解 迈克尔逊干涉仪光路上的某点光碰到反射镜后会再次经过此处，故原来的光程为 $2d$；现在加入了透明薄片，使得这里的光程为 $2nd$，故光程差为 $2(n-1)d$. 故本题选择 **A** 项.

题目 9　　弗琅禾费衍射　　【 C 】

波长为 λ 的单色平行光垂直入射到一狭缝上，若第一级暗纹的位置对应的衍射角为 $\theta=\pm\dfrac{\pi}{6}$，则缝宽的大小为

A. $\dfrac{\lambda}{2}$　　B. λ　　C. 2λ　　D. 3λ

分析与解 一级暗纹对应的方程为 $d\sin\dfrac{\pi}{6}=1\cdot\lambda$，得 $d=2\lambda$. 故本题选择 **C** 项.

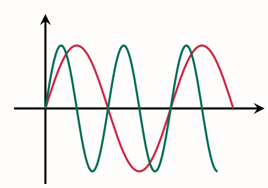
2. 填空题（共 25 分）

题目 10（本题 3 分）　　简谐振动

用 40N 的力拉一轻弹簧，可使其伸长 20cm. 此弹簧下应挂 $\underline{\ 2\ }$ kg 的物体，才能使其做简谐振动的周期为 $T=0.2\pi$.

分析与解 弹簧劲度系数 $k=\dfrac{40\text{N}}{0.2\text{m}}=200\text{N/m}$；由振子振动周期 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$ 得 $m=\dfrac{kT^2}{4\pi^2}=2\text{kg}$.

题目 11（本题 4 分）　　简谐振动

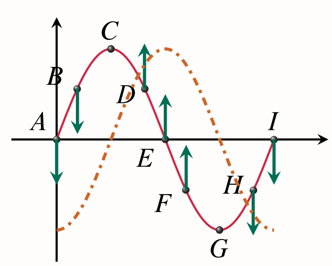


两个简谐振动曲线如图所示，二者频率之比为 $\nu_1:\nu_2=\underline{\ 1:2\ }$，加速度最大值之比为 $a_{1m}:a_{2m}\underline{\ 1:4\ }$，初始速率之比为 $v_{10}:v_{20}=\underline{\ 1:2\ }$.

分析与解

- 由图易知，x_1 与 x_2 的周期之比为 $2:1$，故两者频率之比为周期之比的倒数，即 $\nu_1:\nu_2=1:2$；
- 加速度最大值 $a_m=\omega^2A\propto\omega^2\propto\nu^2$，所以 $a_{1m}:a_{2m}=\omega_1^2:\omega_2^2=\nu_1^2:\nu_2^2=1:4$；
- $t=0$ 时质点恰好在平衡点，此时初始速率为最大速率，$v_{1m}:v_{2m}=\omega_1A:\omega_2A=\nu_1:\nu_2=1:2$.

题目 12（本题 4 分）　　平面简谐波的波函数



设某时刻一横波波形曲线如图所示.

1. 试分别用矢量符号表示图中 A、B、C、D、E、F、G、H、I 质点在该时刻的运动方向.
2. 画出四分之一周期后的波形曲线.

题目 13（本题 3 分） 弹簧振子

一作简谐振动的振动系统，振子质量为 2kg，系统振动频率为 1000Hz，振幅为 0.5cm，则其振动能量为 987J

分析与解 由 $\omega = 2\pi\nu = \sqrt{\dfrac{k}{m}}$ 得 $k = 4\pi^2 m\nu^2$. 代入振动能量表达式得 $E = \dfrac{1}{2}kA^2 = 2\pi^2 m\nu^2 A^2 \approx 987\mathrm{J}$.

题目 14（本题 5 分） 平面简谐波的波函数

一平面简谐波沿 Ox 轴负方向传播，波长为 λ，若位于 $x = -L$ 的 P 处质点的振动方程为 $y_p = A\cos\left(2\pi\nu t + \dfrac{\pi}{2}\right)$，则该波的表达式为 $y = A\cos\left[2\pi\left(\nu t + \dfrac{x+L}{\lambda}\right) + \dfrac{\pi}{2}\right]$；$P$ 处质点 $t_1 + \dfrac{L}{\lambda\nu} + \dfrac{k}{\nu}$ 时刻的振动状态与 O 处质点 t_1 时刻的振动状态相同.

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 点坐标 $x = -L$ 代入，得

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

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

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

令 $x = 0$，得到 t_1 时刻 O 点的振动方程 $y_o(t_1) = A\cos\left(2\pi\nu t_1 + \dfrac{2\pi L}{\lambda} + \dfrac{\pi}{2}\right)$. 由 P 处质点在 t 时刻的振动状态与 O 处质点在 t_1 时刻的振动状态相同得

$$y_p(t) = A\cos\left(2\pi\nu t + \frac{\pi}{2}\right) = y_o(t_1)A\cos\left(2\pi\nu t_1 + \frac{2\pi L}{\lambda} + \frac{\pi}{2} + 2k\pi\right)$$

解得 $t = t_1 + \dfrac{L}{\lambda\nu} + \dfrac{k}{\nu}$.

题目 15（本题 3 分） 迈克尔逊干涉仪

用迈克尔逊干涉仪测微小的位移，若入射光波波长 $\lambda = 628.9\mathrm{nm}$，当动臂反射镜移动时，干涉条纹移动了 2048 条，反射镜移动的距离 $d =$ 0.644mm.

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

题目 16（本题 3 分） 弗琅禾费衍射

平行单色光垂直入射在缝宽为 $a = 0.15\mathrm{mm}$ 的单缝上，缝后有焦距为 $f = 400\mathrm{mm}$ 的凸透镜，在其焦平面上放置观察屏幕. 现测得屏幕上中央明条纹两侧的两个第三级暗纹之间的距离为 8mm，则入射光的波长为 $\lambda =$ 500nm.

分析与解

设 ± 3 级条纹与光轴的夹角为 θ，已知 ± 3 级条纹的坐标为 $\pm 4\mathrm{mm}$，由几何关系得

$$a\sin\theta = 3\lambda,\quad \frac{3\lambda}{a} = \sin\theta \approx \tan\theta = \frac{4\mathrm{mm}}{f} = 0.01$$

得入射光波长为 $\lambda = a\theta/3 = 500\mathrm{nm}$.

3. 计算题（共 48 分）

题目 17（本题 10 分） 简谐振动

一轻弹簧下悬挂 $m_0 = 100\text{g}$ 砝码时，弹簧伸长 8cm. 现在这根弹簧下端悬挂 $m = 250\text{g}$ 的物体构成弹簧振子. 将物体从平衡位置向下拉动 4cm，并给以向上 21cm/s 的初速度（令这时 $t = 0$）. 选 x 轴向下，求振动方程的数值式.

分析与解

- 弹簧的劲度系数、角频率分别为 $k = m_0 g/\Delta x_0 = 12.5\text{N/m}$，$\omega = \sqrt{k/m} = 7.07\text{s}$. ……(3pt)
- 由旋转矢量法得系统振幅、初相为 $A = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{v_0}{\omega}\right)^2} = 4.98\text{cm}$，$\varphi_0 = \arccos\frac{x_0}{A} = 0.20\pi$. ……(4pt)
- 振动方程为 $y = 4.98\cos(7.07t + 0.20\pi)$. ……(3pt)

题目 18（本题 5 分） 简谐振动的合成

两个同方向简谐振动的振动方程分别为

$$x_1 = 5\times10^{-2}\cos\left(10t + \frac{3}{4}\pi\right)\ (\text{SI}),\quad x_2 = 6\times10^{-2}\cos\left(10t + \frac{1}{4}\pi\right)\ (\text{SI})$$

求合振动方程.

分析与解

- 合振动振幅为 $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_1 - \varphi_2)} = 7.8\times10^{-2}$. ……(2pt)
- 合振动相位 $\varphi = \arctan\dfrac{A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2} = 0.47\pi$. ……(2pt)
- 两者振动频率相同，所以合振动频率与其相同. 故合振动方程为 $x = 7.8\times10^{-2}\cos(10t + 0.47\pi)$. ……(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 ……(1pt)

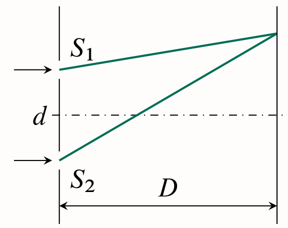
$$y = 0.1\cos\left[\pi(t - x) + \frac{\pi}{2}\right]\ (\text{SI}) \qquad (2\text{pt})$$

最大振动速度 $v_m = \omega A = 0.1\pi\text{m/s}$. ……(1pt)

题目 20（本题 10 分） 双缝干涉

双缝干涉实验装置如图所示, 双缝与屏之间的距离 $D = 150\text{cm}$, 两缝之间的距离 $d = 0.50\text{mm}$, 用波长 $\lambda = 600\text{nm}$ 的单色光垂直照射双缝.

1. 求原点 O（零级明条纹所在处）上方第五级明条纹的坐标
2. 如果用厚度 $l = 1.0\times10^{-2}\text{mm}$，折射率 $n = 1.58$ 的透明薄膜覆盖在图中的 S_1 缝后面，求上述第五级明条纹的坐标 x'.



分析与解

1. $x_5 = \dfrac{5\lambda D}{d} = 9\text{mm}$. ……(4pt)
2. 根据明纹条件，此时的光程差为

$$\delta = r_2 - r_1 - (n-1)l = \frac{x_5' d}{D} - (n-1)l = k\lambda \qquad (4\text{pt})$$

得 $x_5' = [k\lambda + (n-1)l]\dfrac{D}{d} = 19.9\text{mm}$. ……(2pt)

题目 21（本题 5 分） 简谐振动的合成

三个频率相同、振动方向相同（垂直纸面）的简谐波，在传播过程中在 O 点相遇；若三个简谐波各自单独在 S_1、S_2 和 S_3 的振动方程分别为 $y_1 = A\cos\left(\omega t + \dfrac{1}{2}\pi\right)$，$y_2 = A\cos\omega t$ 和 $y_3 = 2A\cos\left(\omega t - \dfrac{1}{2}\pi\right)$；且 $\overline{S_2O} = 4\lambda$，$\overline{S_1O} = \overline{S_3O} = 5\lambda$，求 O 点的合振动方程（设传播过程中各波振幅不变）.

分析与解

三个波源到 O 点的距离都是波长的整数倍，无需考虑传播到 O 点过程带来的相位差. 故 O 点的合振动为‥(1pt)

$$\widetilde{y} = \widetilde{y_1} + \widetilde{y_2} + \widetilde{y_3} = A\mathrm{e}^{\mathrm{i}\cdot 0} + A\mathrm{e}^{\mathrm{i}\frac{\pi}{2}} + 2A\mathrm{e}^{-\mathrm{i}\frac{\pi}{2}} = \sqrt{2}A\mathrm{e}^{-\mathrm{i}\frac{\pi}{4}} \to y = \sqrt{2}A\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) \qquad (4\text{pt})$$

题目 22（本题 8 分） 牛顿环

牛顿环装置透镜凸表面的曲率半径是 $R = 400\text{cm}$. 用某单色平行光垂直入射，观察反射光形成的牛顿环，测得第 5 个明环的半径是 0.30cm.

1. 求入射光的波长.
2. 求以透镜中心为圆心在半径为 1cm 的范围内可观察到的明环数目.

分析与解

1. 由明环半径公式 $r_k = \sqrt{\dfrac{(2k-1)\lambda R}{2}}$ 得入射光的波长 $\lambda = \dfrac{2r^2}{(2k-1)R} = 500\text{nm}$. ……(5pt)
2. 由明环半径公式，代入 $r = 1\text{cm}$ 得 $k = \left\lfloor \dfrac{r^2}{\lambda R} + \dfrac{1}{2} \right\rfloor = 50$. ……(3pt)

题目 23（本题 5 分） 弗琅禾费衍射

在单缝的弗琅禾费衍射中，缝宽 $a = 0.100\text{mm}$，平行光垂直入射在单缝上，波长 $\lambda = 500\text{nm}$，会聚透镜的焦距 $f = 1.00\text{m}$. 求中央亮纹旁的第一个亮纹的宽度 Δx.

分析与解

求出其两侧暗纹位置后作差即可求出亮纹宽度.

- 一级暗纹 $a\sin\theta_1 = \lambda$，$x_1 = f\tan\theta_1 \approx f\sin\theta_1 = \dfrac{\lambda f}{a}$。……(2pt)
- 二级暗纹 $a\sin\theta_2 = 2\lambda$，$x_2 = f\tan\theta_2 \approx f\sin\theta_2 = \dfrac{2\lambda f}{a}$. ……(2pt)
- 亮纹宽度 $\Delta x = x_2 - x_1 = \dfrac{\lambda f}{a} = 5\text{mm}$. ……(1pt)