2023 年「大学物理 2」杭州电子科技大学 期中试题

考试时间：2023 年 12 月 3 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 36 分）

题目 1　　弹簧振子　【 D 】

一劲度系数为 k 的轻弹簧，下端挂一质量为 m 的物体，系统的振动周期为 T_1. 若将此弹簧截去一半的长度，下端挂一质量为 $m/2$ 的物体，则系统振动周期 T_2 等于

A. $2T_1$　　B. T_1　　C. $\dfrac{T_1}{\sqrt{2}}$　　D. $\dfrac{T_1}{2}$

分析与解 弹簧的劲度系数与长度成反比，所以剪断一半后劲度系数变为 $2k$；根据弹簧振子的周期表达式 $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$ 可知此时的周期 $T_2 = 2\pi\sqrt{\dfrac{m/2}{2k}} = \dfrac{T_1}{2}$. 故本题选择 **D** 项.

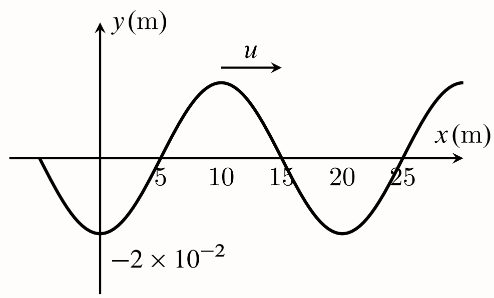
题目 2　　单摆　【 B 】

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. θ　　B. 0　　C. $\dfrac{\pi}{2}$　　D. $-\pi$

题目 3　　平面简谐波的波函数　【 A 】

一平面简谐波，波速 $u = 5\text{m/s}$，$t = 3\text{s}$ 时波形曲线如图，则 $x = 0$ 处质点的振动方程可能为



A. $y = 2\times 10^{-2}\cos\left(\dfrac{1}{2}\pi t - \dfrac{1}{2}\pi\right)$　　B. $y = 2\times 10^{-2}\cos\left(\dfrac{1}{2}\pi t + \dfrac{1}{2}\pi\right)$

C. $y = 2\times 10^{-2}\cos(\pi t + \pi)$　　D. $y = 2\times 10^{-2}\cos\left(\pi t - \dfrac{3}{2}\pi\right)$

分析与解 由图可知 $A = 0.02\text{m}$，$\omega = \dfrac{2\pi u}{\lambda} = \dfrac{1}{2}\pi$. 由于原点处 $v > 0$，所以初相 $\varphi = -\dfrac{\pi}{2}$. 故本题选择 **A** 项.

题目 4　　增透膜　【 A 】

一艘油船行经我国台湾岛东部海域时发生石油泄漏，在海面上形成大片油膜，太阳光在头顶正射时，救援人员乘直升飞机从上往下看，发现油膜对 552nm 波长的可见光反射形成干涉相长而最亮，则可以推测该区域油膜厚度可能为多少?（设石油折射率 $n=1.2$，海水折射率 $n=1.3$）

A. 460nm　　B. 552nm　　C. 345nm　　D. 425nm

分析与解

- 由于 $n_{空}>n_{海}>n_{油}$，所以石油两个表面反射光光程差为 $\delta=2ne$.
- 使反射光干涉相长，即 $2ne=k\lambda$. A 选项刚好满足 $k=2$ 时，$e_{\min}=2\cdot\dfrac{\lambda}{2n}=460\text{nm}$.

题目 5　　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 6　　多普勒效应　【 C 】

一观察者站在铁路旁，一火车以 30m/s 的速度向他驶来并发出频率为 440Hz 的汽笛声. 已知空气中声速为 330m/s，问观察者听到的火车频率为

A. 403Hz　　B. 480Hz　　C. 484Hz　　D. 528Hz

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

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

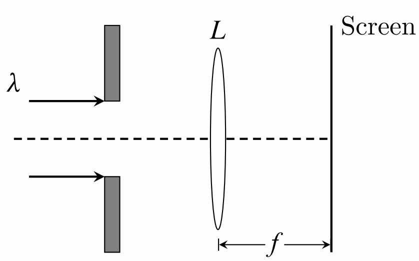
v_o 为观察者速度，接近为 +，远离为 −；v_s 为发射源速度，接近为 −，远离为 +. 观察者静止，其所听频率为

$$\nu=\frac{330}{330-30}\times 440\text{Hz}=484\text{Hz}$$

故本题选择 **C** 项.

题目 7　　弗琅禾费衍射　【 C 】

在如图所示的单缝弗琅禾费衍射实验中，若将单缝沿透镜光轴方向向透镜平移，则屏幕上的衍射条纹



A. 间距变大　B. 间距变小　C. 不变化　D. 间距不变，明暗纹交替

分析与解 条纹间距只与波长、焦距、缝宽有关，入射光方向不变，所以条纹间距、位置不变. 故本题选择 **C** 项.

题目 8　　牛顿环　【 A 】

牛顿环干涉装置上平凸透镜在垂直于平板玻璃的方向上，逐渐向下平移（靠近玻璃板）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，环数不变　　D. 环纹向中心靠拢，环数增加

分析与解 对于某条环，其光程差是确定的，所以环数不变；向边缘扩散光程差增大，可抵消透镜下移时导致的光程差减小．故本题选择 **A** 项．

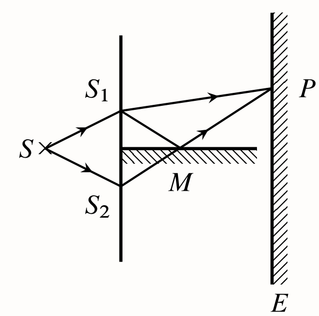
题目 9　　最大分辨力　【 B 】

假设用 FAST 装置探测波长为 20cm 的宇宙射电信号，FAST 望远镜的镜面直径为 500m，则装置的最小分辨角为

A. 9.76×10^{-4}　　B. 4.88×10^{-4}　　C. 2.44×10^{-4}　　D. 4.00×10^{-4}

分析与解 $\theta=\dfrac{1.22\lambda}{D}=4.88\times10^{-4}\text{rad}$. 故本题选择 **B** 项．

题目 10　　双缝干涉　【 B 】



在双缝干涉实验中，屏幕 E 上的 P 点是明纹．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 P 点

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 11　　迈克尔逊干涉仪　【 A 】

如果使迈克尔逊干涉仪的动镜移动 0.233mm，观察到 792 个条纹的移动，则所用照明单色光源的波长是多少?

A. 588nm　　B. 294nm　　C. 442nm　　D. 552nm

分析与解 移动带来的光程差满足 $\delta=2d=N\lambda$，由此得 $\lambda=\dfrac{2d}{N}=588.38\text{mm}$. 故本题选择 **A** 项．

题目 12　　光栅　【 B 】

某元素的特征光谱中含有波长分别为 $\lambda_1=450\text{nm}$，$\lambda_2=750\text{nm}$ 的谱线，在光栅光谱中这两种波长的谱线有重合现象，重叠处 λ_2 的谱线级数将是

A. 2，4，6，8，$\cdots$　　B. 3，6，9，12，$\cdots$　　C. 4，8，12，16，$\cdots$　　D. 5，10，15，20，$\cdots$

分析与解 由光栅方程 $d\sin\theta=k_1\lambda_1=k_2\lambda_2$ 得 $k_2=\dfrac{k_1\lambda_1}{\lambda_2}$，取整值得 $k_2=3,6,9,12,\cdots$.

2. 填空题（共 18 分）

题目 13（本题 3 分） 弹簧振子

当弹簧振子以频率 f 做简谐振动时，它的动能的变化频率为 $\underline{2f}$.

分析与解 动能和势能变化趋势相反，所以二者变化频率相同. 势能 $E_p \propto x^2$，由于 x 是周期为 T 的余弦函数，所以 x^2 的周期为 $\dfrac{T}{2}$，即势能的变化频率等于动能的变化频率等于 $2f$.

题目 14（本题 3 分） 驻波

在均匀介质中，一列余弦波沿 Ox 轴传播，波动方程为 $y_1 = A\cos\left(2\pi t + \dfrac{2\pi x}{3}\right)$ (SI)，在 $x = 1\text{m}$ 处反射，反射点为固定端，则反射波和入射波产生的驻波表达式为 $\underline{2A\cos\left(2\pi t + \dfrac{7\pi}{6}\right)\cos\left(\dfrac{2\pi x}{3} - \dfrac{7\pi}{6}\right)}$.

分析与解

- 考虑反射带来的半波损失，$x = 1\text{m}$ 处反射波的振动方程为 $y_{10} = A\cos\left(2\pi t + \dfrac{2\pi}{3} + \pi\right)$.
- 反射后传播方向改变，考虑以 $x = 1$ 处为参考点需坐标变换 $x' = x - 1$，所以反射波的表达式为

$$y_2 = A\cos\left(2\pi t + \frac{2\pi}{3} - \frac{2\pi(x-1)}{3} + \pi\right) = A\cos\left(2\pi t - \frac{2\pi x}{3} + \frac{7\pi}{3}\right)$$

- 驻波表达式 $y = y_1 + y_2 = 2A\cos\left(2\pi t + \dfrac{7\pi}{6}\right)\cos\left(\dfrac{2\pi x}{3} - \dfrac{7\pi}{6}\right)$.

题目 15（本题 6 分） 双缝干涉

如图所示，在双缝干涉实验中，若把一厚度为 e、折射率为 n 的薄云母片覆盖在 S_1 缝上，中央明条纹将向 <u>上</u> 移动；覆盖云母片后，两束相干光至原中央明纹 O 处的光程差为 $\underline{(n-1)e}$.

分析与解 覆盖云母片后，通过 S_1 的光路光程差变大，为抵消这一变化中央明纹需上移使通过 S_2 的光路变长；原光程差为零，现光程差即云母片带来的光程差 $\delta = ne - e = (n-1)e$.

题目 16（本题 3 分） 牛顿环

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 <u>变密</u>（变疏/变密）.

分析与解 放入水中后每条条纹的光程差变大，为抵消这一变化条纹需向中心收缩，所以干涉条纹变密.

题目 17（本题 3 分） 弗琅禾费衍射

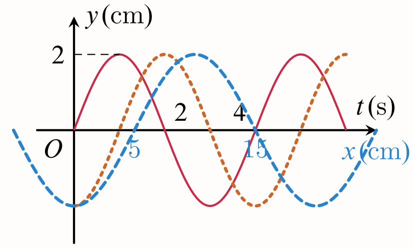
在单缝夫琅禾费衍射实验中，波长为 λ 的单色光垂直入射在宽度为 $a = 6\lambda$ 的单缝上，对应于衍射角为 30° 的方向，单缝处波阵面可分成的半波带数目为 <u>6</u>.

分析与解 由衍射公式 $a\sin\theta = k\lambda$ 得 $k = 3$，可分成的半波带数目为 $2k = 6$.

3. 计算题（共 46 分）

题目 18（本题 10 分）　平面简谐波的波函数

一列平面简谐波在媒质中以波速 $u = 5\text{m/s}$ 沿 x 轴正向传播，原点 O 处质元的振动曲线如图所示.



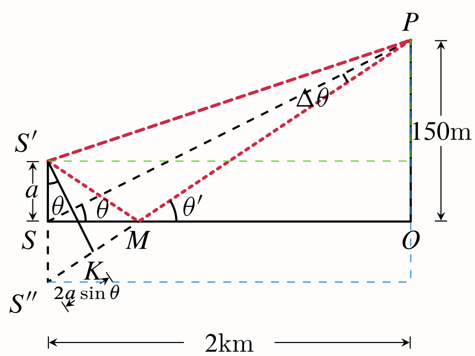
1. 求解 $x = 25\text{m}$ 处质元的振动方程并画出该点振动曲线.
2. 求解波动方程，并画出 $t = 3\text{s}$ 时的波形曲线.

分析与解

1. 由图知振幅 $A = 0.02\text{m}$，角频率 $\omega = \dfrac{2\pi}{T} = 0.5\pi\text{s}$. $t = 0$ 时，$y = 0$，$v > 0$，初相 $\varphi = -\dfrac{\pi}{2}$. 波动方程为 (2pt)
$$y = 0.02\cos\left[\frac{\pi}{2}\left(t - \frac{x}{5}\right) - \frac{\pi}{2}\right] \quad \text{(2pt)}$$
$x = 25\text{m}$ 处质元的振动方程为 $y(x_0, t) = 0.02\cos\left(\dfrac{\pi}{2}t - \pi\right)$. ………………………… (2pt)
2. 波动方程见上问. $t = 3\text{s}$ 时的波形方程为
$$y(x, t_0) = 0.02\cos\left(-\frac{\pi}{10}x + \pi\right) \quad \text{(2pt)}$$

题目 19（本题 8 分）　光程和光程差

[a] 一艘船（如图中 S）在 25m 高的桅杆（SS'）上装有一天线（如图中 S''），不断发射某种波长的无线电波，已知波长在 $2-4\text{m}$ 范围内，在高出海平面 150m 的悬崖顶（OP）上有一接收站 P 能收到这无线电波，但当那艘船驶至离悬崖底部 $OS = 2\text{km}$ 时，接收站就收不到无线电波. 设海平面完全反射这无线电波，求所用无线电波的波长.



[a] 选自 37th CPhO 预赛试题第 10 题，原题未并提供参考图片.

分析与解

考虑半波损失，经海平面反射的光波与直达 P 点的光波之间的光程差为
$$\delta = 2a\sin\theta + \frac{\lambda}{2} \quad \text{(3pt)}$$
由几何关系 $\sin\theta = \sin\arctan\left(\dfrac{150}{2000}\right) = 0.075$. 利用干涉相消条件得无线电波长为 ………………… (2pt)
$$\delta = \frac{2k+1}{2}\lambda,\ \lambda = \frac{2a\sin\theta}{k} \xlongequal[2<\lambda<4]{k=1} 3.74\text{m} \quad \text{(3pt)}$$
本题中 $\Delta\theta$ 不可忽略，不得认为 $\theta = \angle PMO$！否则会得到 $k = 2.18$.

另一种更精确的解法是直接计算两条光路的长度之差[a]
$$\delta = \overline{S''P} - \overline{S'P} + \frac{\lambda}{2} = \sqrt{\left(\overline{SO}\right)^2 + \left(\overline{OP} + \overline{SS''}\right)^2} - \sqrt{\left(\overline{SO}\right)^2 + \left(\overline{OP} - \overline{SS''}\right)^2} + \frac{\lambda}{2}$$
$$= \sqrt{2000^2 + (150+25)^2} - \sqrt{2000^2 + (150-25)^2} + \frac{\lambda}{2} = \frac{2k+1}{2}\lambda$$
解得 $\lambda \xlongequal{k=1} 3.74\text{m}$.

[a] 值得一提的是，因上一种解法近似认为 $S'K \perp S''K$，相对于这种解法有 $7.73\times10^{-3}\%$ 的误差（小数点第四位及以后不同）.

题目 20（本题 10 分） 薄膜干涉

波长为 $\lambda = 500\text{nm}$ 的单色光垂直入射到**置于空气中**的上下表面平行的薄膜上，已知膜的折射率 $n = 1.25$，求反射光、透射光最强时膜的最小厚度.

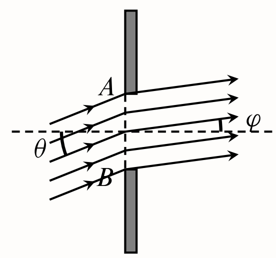
分析与解 两个表面反射光光程差为 $\delta = 2ne + \dfrac{\lambda}{2}$. 分别由反射光干涉相长 $\delta = k\lambda$ 和相消 $\delta = \dfrac{2k+1}{2}\lambda$ 得(4pt)

$$e_{\min_1} = \frac{\lambda}{4n} = 100\text{nm},\ e_{\min_2} = \frac{\lambda}{2n} = 200\text{nm} \qquad (4\text{pt})$$

- 反射光干涉相长时，反射光最强，膜的最小厚度为 $e_{\min_1} = 100\text{nm}$. ······ (1pt)
- 反射光干涉相消时，透射光最强，膜的最小厚度为 $e_{\min_2} = 200\text{nm}$. ······ (1pt)

题目 21（本题 12 分） 光栅

如右图所示，AB 之间的虚线为一透射式光栅，该光栅在 1mm 内刻画有 500 条狭缝，单条狭缝的缝宽为 $a = 0.5\mu\text{m}$，一波长为 $\lambda = 500\text{nm}$ 的单色平行光斜入射在该光栅上，入射角 $\theta = 30°$（从光栅光轴下方入射），在光栅后放置凸透镜和观察屏（屏位于透镜的焦平面处），问屏上能看到哪几级谱线?



分析与解 光栅常数 $d = \dfrac{1 \times 10^{-3}}{500} = 2\mu\text{m}$. 由于光栅方程 ······ (2pt)

$$d(\sin\varphi - \sin\theta) = k\lambda \qquad (2\text{pt})$$

- 令 $\varphi = \pm 90°$ 得 $k_{\min} = -6$，$k_{\max} = 2$. 由缺级条件得 $k' = \dfrac{d}{a} = \pm 4$，第 -4 级缺级. ······ (4pt)
- 由于 φ 无法取到 $\pm 90°$，所以屏上可见主极大级次为 $k = 0,\ \pm 1,\ -2,\ -3,\ -5$. ······ (4pt)

题目 22（本题 6 分） 驻波

由振动频率为 400Hz 的音叉在两端固定拉紧的弦线上建立驻波. 这个驻波共有三个波腹，其振幅为 0.30cm，波在弦上的速度为 320m/s.

1. 求此弦线的长度.
2. 若以弦的中点为坐标原点，试写出弦线上驻波的表达式.

分析与解

1. 由题意得弦长为 1.5 个波长，即 $l = 1.5\lambda = 1.5\dfrac{u}{f} = 1.2\text{m}$. ······ (2pt)
2. 驻波的角频率 $\omega = 2\pi f = 800\pi$，波矢 $k = \dfrac{2\pi}{\lambda} = \dfrac{5}{2}\pi$. 设驻波的表达式为

$$y = 3 \times 10^{-3} \cos(800\pi t + \phi) \cos\left(\frac{5}{2}\pi x + \varphi\right) \qquad (2\text{pt})$$

中点 $x = 0$ 处是波腹，所以 $\cos\varphi = 1$，$\varphi = 0$ or π. 所以驻波的表达式为

$$y = \pm 3 \times 10^{-3} \cos(800\pi t + \phi) \cos\left(\frac{5}{2}\pi x\right) \qquad (2\text{pt})$$

符号 $\pm$ 对应 φ 的两个解，ϕ 由初始条件决定.