

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. $\frac{T_1}{\sqrt{2}}$ D. $\frac{T_1}{2}$

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 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 可知此时的周期 $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m/2}{2k}} = \frac{T_1}{2}$ 。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

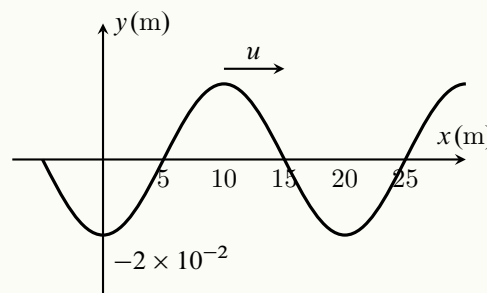
- A. θ B. 0 C. $\frac{\pi}{2}$ D. $-\pi$

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. $y = 2 \times 10^{-2} \cos\left(\frac{1}{2}\pi t - \frac{1}{2}\pi\right)$ B. $y = 2 \times 10^{-2} \cos\left(\frac{1}{2}\pi t + \frac{1}{2}\pi\right)$
C. $y = 2 \times 10^{-2} \cos(\pi t + \pi)$ D. $y = 2 \times 10^{-2} \cos\left(\pi t - \frac{3}{2}\pi\right)$



分析与解 由图可知 $A = 0.02\text{m}$ ， $\omega = \frac{2\pi u}{\lambda} = \frac{1}{2}\pi$ 。由于原点处 $v > 0$ ，所以初相 $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ 。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 $n_{\text{空}} > n_{\text{海}} > n_{\text{油}}$, 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, $e_{\min} = 2 \cdot \frac{\lambda}{2n} = 460\text{nm}$.

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

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

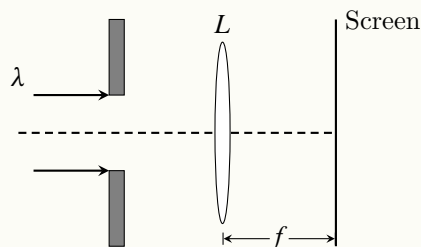
故本题选择 C 项.

题目 7

◆ 菲涅尔衍射 【 C 】

在如图所示的单缝菲涅尔衍射实验中, 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}

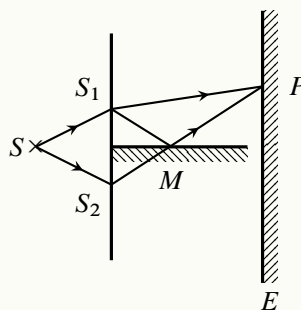
✓ 分析与解 $\theta = \frac{1.22\lambda}{D} = 4.88 \times 10^{-4} \text{rad}$. 故本题选择 B 项.

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 $\lambda = \frac{2d}{N} = 588.38 \text{nm}$. 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, ... B. 3, 6, 9, 12, ... C. 4, 8, 12, 16, ... D. 5, 10, 15, 20, ...

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

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 $2f$.

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 $\frac{T}{2}$, 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 $y_1 = A \cos\left(2\pi t + \frac{2\pi x}{3}\right)$ (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 $2A \cos\left(2\pi t + \frac{7\pi}{6}\right) \cos\left(\frac{2\pi x}{3} - \frac{7\pi}{6}\right)$.

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 $y_{10} = A \cos\left(2\pi t + \frac{2\pi}{3} + \pi\right)$.
- 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 $y = y_1 + y_2 = 2A \cos\left(2\pi t + \frac{7\pi}{6}\right) \cos\left(\frac{2\pi x}{3} - \frac{7\pi}{6}\right)$.

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 上 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 $(n-1)e$.

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 变密 (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 6.

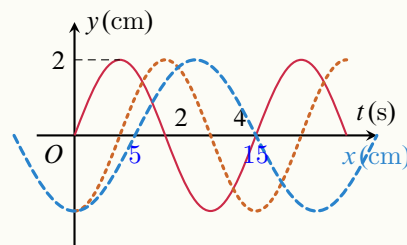
分析与解 由衍射公式 $a \sin \theta = k\lambda$ 得 $k = 3$, 可分成的半波带数目为 $2k = 6$.

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 $\omega = \frac{2\pi}{T} = 0.5\pi\text{s}^{-1}$. $t = 0$ 时, $y = 0$, $v > 0$, 初相 $\varphi = -\frac{\pi}{2}$. 波动方程为 (2pt)

$$y = 0.02 \cos\left[\frac{\pi}{2}\left(t - \frac{x}{5}\right) - \frac{\pi}{2}\right] \quad (2\text{pt})$$

$$x = 25\text{m} \text{ 处质元的振动方程为 } y(x_0, t) = 0.02 \cos\left(\frac{\pi}{2}t - \pi\right). \dots\dots\dots (2\text{pt})$$

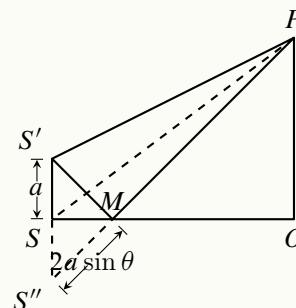
2. 波动方程见上问. $t = 3\text{s}$ 时的波形方程为

$$y(x, t_0) = 0.02 \cos\left(-\frac{\pi}{10}x + \pi\right) \quad (2\text{pt})$$

题目 19 (本题 8 分)

光程和光程差

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. 【37th CPhO 预赛 Q - 10 无图】



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

$$\delta = 2a \sin \theta + \frac{\lambda}{2} \quad (3\text{pt})$$

由几何关系 $\sin \theta = \sin \arctan\left(\frac{150}{2000}\right) = 0.075$. 利用干涉相消条件得无线电波长为 $\dots\dots\dots$ (2pt)

$$\delta = \frac{2k+1}{2}\lambda, \lambda = \frac{2a \sin \theta}{k} \stackrel{k=1}{=} 3.74\text{m} \quad (3\text{pt})$$

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 $\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$. 分别由反射光干涉相长 $\delta = k\lambda$ 和相消 $\delta = \frac{2k+1}{2}\lambda$ 得 (4pt)

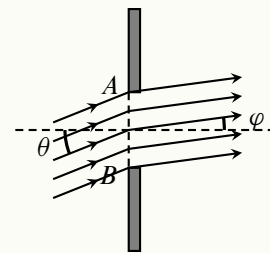
$$e_{\min_1} = \frac{\lambda}{4n} = 100\text{nm}, e_{\min_2} = \frac{\lambda}{2n} = 200\text{nm} \quad (6\text{pt})$$

当反射光干涉相长时, 反射光最强, 膜最薄 $e_{\min_1} = 100\text{nm}$; 反射光干涉相消时, 透射光最强, 膜最薄 $e_{\min_2} = 200\text{nm}$.

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 $\theta = 30^\circ$ (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 $d = \frac{1 \times 10^{-3}}{500} = 2\mu\text{m}$. 由于光栅方程 (2pt)

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

- 令 $\varphi = \pm 90^\circ$ 得 $k_{\min} = -6$, $k_{\max} = 2$. 由缺级条件得 $k' = \frac{d}{a} = \pm 4$, 第 -4 级缺级. (4pt)
- 由于 φ 无法取到 $\pm 90^\circ$, 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 .

- 求此弦线的长度.
- 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 $l = 1.5\lambda = 1.5 \frac{u}{f} = 1.2\text{m}$ (2pt)

2. 驻波的角频率 $\omega = 2\pi f = 800\pi$, 波矢 $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{5}{2}\pi$. 设驻波的表达式为

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

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

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

符号 \pm 对应 φ 的两个解, ϕ 由初始条件决定.