

第八章 机械振动 机械波

第1讲 机械振动

课标要求

通过实验，认识简谐运动的特征；能用公式和图像描述简谐运动；通过实验，探究单摆的周期与摆长的定量关系；知道单摆周期与摆长、重力加速度的关系；会用单摆测量重力加速度的大小；通过实验，认识受迫振动的特点；了解产生共振的条件及其应用。

必备知识·强基固本

一、简谐运动

1. **定义：**如果物体的位移与时间的关系遵从_____的规律，即它的振动图像（ $x-t$ 图像）是一条正弦曲线，这样的振动叫作简谐运动。

【答案】正弦函数

2. **平衡位置：**物体在振动过程中_____为零的位置。

【答案】回复力

3. 回复力

（1）定义：使物体返回到平衡位置的力。

（2）方向：总是指向_____。

（3）来源：振动物体所受的沿振动方向的合力。回复力属于效果力。

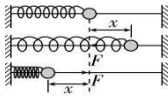
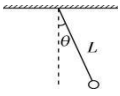
【答案】平衡位置

4. 描述简谐运动的物理量

物理量	定义	意义
振幅	振动物体离开平衡位置的_____	描述振动的强弱和能量
周期	振动物体完成一次全振动所需时间	描述振动的快慢， $T = \frac{1}{f}$
频率	振动物体完成全振动的次数与所用时间之比	
相位	$\omega t + \varphi$	描述物体在各个时刻所处的不同状态

【答案】最大距离

5. 简谐运动的两种模型

项目	弹簧振子	单摆
示意图		
简谐运动条件	(1) 弹簧质量可忽略； (2) 无摩擦等阻力； (3) 在弹簧弹性限度内	(1) 摆线为不可伸缩的轻细线； (2) 无空气阻力； (3) 最大摆角小于 5°
回复力	弹簧的__提供	摆球重力沿与摆线垂直方向的分力
平衡位置	弹簧处于原长处	最低点
周期	与振幅无关	$T = \underline{\hspace{2cm}}$
能量转化	弹性势能与动能的相互转化，系统机械能守恒	重力势能与动能的相互转化，机械能守恒

【答案】弹力； $2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

二、简谐运动的公式和图像

1. 表达式

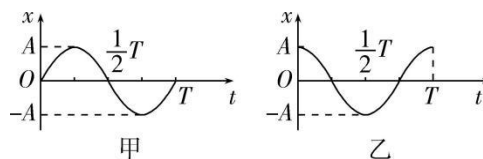
(1) 动力学表达式： $F = \underline{\hspace{2cm}}$ ，其中“-”表示回复力与位移的方向相反。

(2) 运动学表达式： $x = \underline{\hspace{2cm}}$ ，其中 A 代表振幅， $\omega = 2\pi f$ 代表简谐运动的快慢， $\omega t + \varphi_0$ 代表简谐运动的相位， φ_0 叫作_____。

【答案】(1) $-kx$

(2) $A\sin(\omega t + \varphi_0)$ ；初相位

2. 图像



(1) 从_____开始计时，函数表达式为 $x = A\sin\omega t$ ，图像如图甲所示。

(2) 从_____处开始计时，函数表达式为 $x = A\cos\omega t$ ，图像如图乙所示。

【答案】(1) 平衡位置

(2) 最大位移

三、受迫振动及共振

1. 受迫振动

(1) 概念：系统在驱动力作用下的振动。

(2) 振动特征：受迫振动的频率等于_____的频率，与系统的固有频率无关。

【答案】驱动力

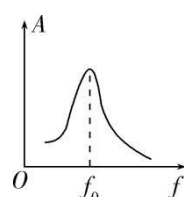
2. 共振

(1) 概念：驱动力的频率等于系统的_____时，受迫振动的振幅最大的现象。

(2) 共振条件：驱动力的频率等于系统的固有频率。

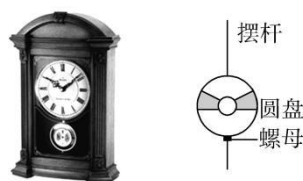
(3) 特征：共振时__最大。

(4) 共振曲线：如图所示。



自主评价

1. 依据下面小情境，判断下列说法对错。惠更斯利用摆的等时性发明了带摆的计时器，叫摆钟。旋转钟摆下端的螺母可以使摆上的圆盘沿摆杆上下移动，如图所示。



(1) 当摆钟不准确时需要调整圆盘的位置。（ ）

(2) 摆钟快了，应使圆盘沿摆杆上移。（ ）

(3) 摆钟慢了，应使圆盘沿摆杆下移。（ ）

(4) 由冬季变为夏季时，应使圆盘沿摆杆上移。（ ）

(5) 把摆钟从黑龙江移到广东，应使圆盘沿摆杆下移。（ ）

【答案】(1) ✓

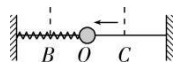
(2) ×

(3) ×

(4) ✓

(5) ×

2. (人教版选择性必修第一册改编) 如图所示, 小球在 B 、 C 之间做简谐运动, 当小球位于 O 点时, 弹簧处于原长, 在小球从 C 运动到 O 的过程中 ()



- A. 动能不断增大, 加速度不断减小
- B. 回复力不断增大, 系统机械能守恒
- C. 弹性势能不断减小, 加速度不断增大
- D. 弹性势能不断增大, 加速度不断减小

【答案】A

3. (人教版选择性必修第一册改编) 某弹簧振子做简谐运动, 其位移随时间变化的关系式为 $x = A\sin\frac{\pi}{4}t$, 则弹簧振子 ()

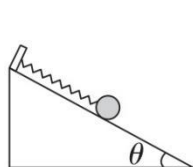
- A. 第 1s 末与第 3s 末的速度相同
- B. 第 1s 末与第 3s 末的位移不相同
- C. 第 3s 末至第 5s 末的速度方向都相同
- D. 第 3s 末至第 5s 末的位移方向都相同

【答案】C

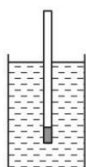
关键能力·核心突破

考点一 简谐运动的特征

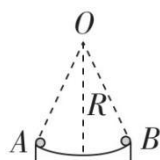
1. 简谐运动的判断多选 对于下列图甲、乙、丙、丁四种情况, 可认为是简谐运动的是 ()



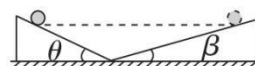
甲



乙



丙

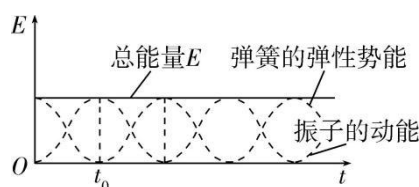


丁

- A. 甲: 倾角为 θ 的光滑斜面上的小球沿斜面拉下一段距离, 然后松开, 空气阻力可忽略不计
- B. 乙: 粗细均匀的木筷, 下端绕几圈铁丝, 竖直浮在较大的装有水的杯中。把木筷往上提起一段距离后放手, 木筷就在水中上下振动
- C. 丙: 小球在半径为 R 的光滑球面上的 A 、 B ($AB \ll R$) 之间来回运动
- D. 丁: 小球在两个光滑固定斜面上来回运动

【答案】ABC

2. 简谐运动的能量多选 某种弹簧振子做简谐运动时，动能与弹性势能随时间变化的图像如图所示，下列说法中正确的是（ ）

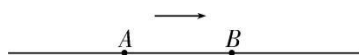


- A. 此弹簧振子在光滑的水平面上振动
- B. t_0 时刻弹簧振子处在位移最大处
- C. 弹簧振子的周期为 $4t_0$
- D. 弹簧振子的周期为 $2t_0$

【答案】AC

【解析】由图像分析可得，弹簧振子只有动能和弹性势能相互转化，且机械能守恒，只有弹簧的弹力做功，重力不做功，则弹簧振子在光滑的水平面上振动，A 正确； t_0 时刻弹簧振子的动能最大，弹簧振子处在平衡位置处，B 错误；动能从 0 增加到最大，时间为 $t_0 = \frac{T}{4}$ ，因此弹簧振子的周期为 $4t_0$ ，C 正确，D 错误。

3. [2023·山东卷·10，4分]简谐运动的周期性多选 如图所示，沿水平方向做简谐运动的质点，依次通过相距 L 的 A、B 两点。已知质点在 A 点的位移大小为振幅的一半，B 点位移大小是 A 点的 $\sqrt{3}$ 倍，质点经过 A 点时开始计时， t 时刻第二次经过 B 点，该振动的振幅和周期可能是（ ）



- A. $\frac{2L}{\sqrt{3}-1}$, $3t$
- B. $\frac{2L}{\sqrt{3}-1}$, $4t$
- C. $\frac{2L}{\sqrt{3}+1}$, $\frac{12}{5}t$
- D. $\frac{2L}{\sqrt{3}+1}$, $\frac{12}{7}t$

【答案】BC

【解析】若平衡位置 O 在 A、B 之间，如图甲所示，则 $\frac{A_1}{2}(1 + \sqrt{3}) = L$ ，解得振幅 $A_1 = \frac{2L}{\sqrt{3}+1}$ ，质点经过 A 点时开始计时， t 时刻第二次经过 B 点，从 A 运动到 O 的时间为 $\frac{T_1}{12}$ ，从 O 运动到最大位移处 P 点的时间为 $\frac{T_1}{4}$ ，从 P 运动到 B 的时间为 $\frac{T_1}{12}$ ，则 $t = \frac{T_1}{12} + \frac{T_1}{4} + \frac{T_1}{12}$ ，解得 $T_1 = \frac{12}{5}t$ ，C 正确，D 错误；若 A、B 在平衡位置 O 同侧，则 O

在A的左侧，如图乙所示， $A_2 = OP$ ，则 $\frac{A_2}{2}(\sqrt{3} - 1) = L$ ，解得振幅 $A_2 = \frac{2L}{\sqrt{3}-1}$ ，质点经过A点时开始计时， t 时刻第二次经过B点，从A运动到B的时间为 $\frac{T_2}{12}$ ，从B运动到最大位移处P再回到B的时间为 $\frac{T_2}{6}$ ，则 $t = \frac{T_2}{12} + \frac{T_2}{6}$ ，解得 $T_2 = 4t$ ，B 正确，A 错误。



核心提炼

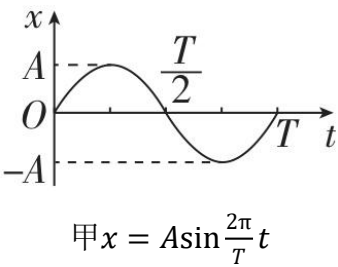
简谐运动的五个特征

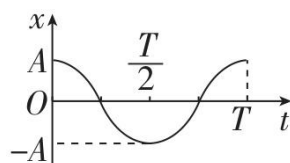
受力特征	回复力 $F = -kx$ ， F （或 a ）的大小与 x 的大小成正比，方向相反
运动特征	靠近平衡位置时， a 、 F 、 x 都减小， v 增大；远离平衡位置时， a 、 F 、 x 都增大， v 减小
能量特征	振幅越大，能量越大。在运动过程中，系统的动能和势能相互转化，机械能守恒
周期性特征	质点的位移、回复力、加速度和速度随时间做周期性变化，变化周期就是简谐运动的周期 T ；动能和势能也随时间做周期性变化，其变化周期为 $\frac{T}{2}$
对称性特征	关于平衡位置 O 对称的两点，速度的大小、动能、势能相等，相对平衡位置的位移大小相等

考点二 简谐运动的表达式和图像

1.对简谐运动图像的认识

（1）简谐运动的图像是一条正弦或余弦曲线，如图甲、乙所示。



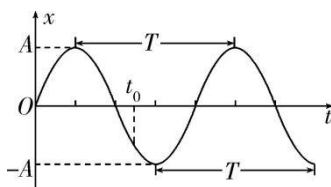


$$x = A \cos \frac{2\pi}{T} t$$

(2) 图像反映的是位移随时间的变化规律，随时间的增加而延伸，图像不代表质点运动的轨迹。

2. 由简谐运动图像可获取的信息

(1) 确定振幅 A 和周期 T 。(如图丙所示)



丙

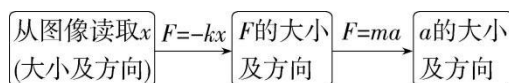
(2) 确定质点在任一时刻的位移。

(3) 判断各时刻质点的振动方向。

① 若下一时刻位移增大，质点的振动方向是远离平衡位置；

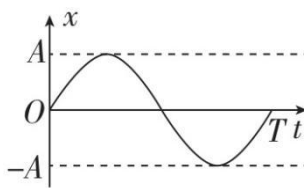
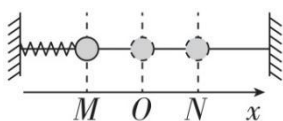
② 若下一时刻位移减小，质点的振动方向是指向平衡位置。

(4) 判断质点各时刻的加速度（回复力）的大小和方向。



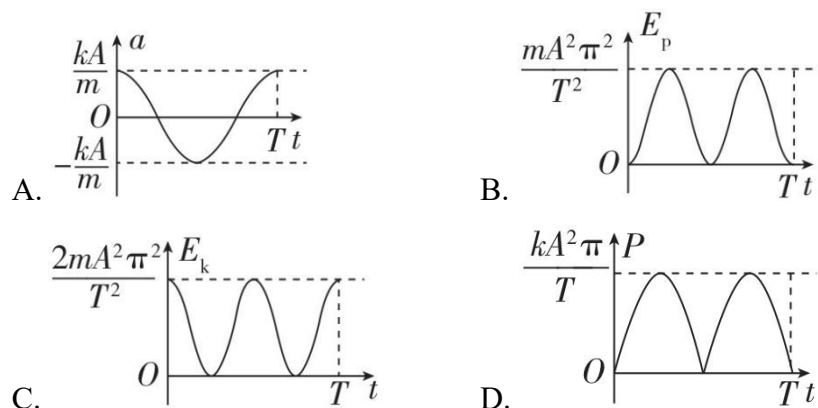
(5) 判断质点各时刻的势能、动能的大小：质点的位移越大，它所具有的势能越大，动能越小。

例 1 [2024 · 1 月九省联考广西卷 · 7] 如图甲所示，弹簧振子的平衡位置 O 点为坐标原点，小球在 M 、 N 两点间做振幅为 A 的简谐运动，小球经过 O 点时开始计时，其 $x-t$ 图像如图乙所示，小球的速度 $v = A \frac{2\pi}{T} \cos \frac{2\pi}{T} t$ ，加速度为 a ，质量为 m ，动能为 E_k ，弹簧劲度系数为 k ，弹簧振子的弹性势能为 E_p ，弹簧对小球做功的功率为 P ，下列描述该运动的图像正确的是 ()



甲

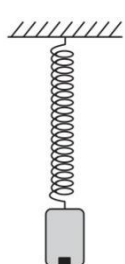
乙



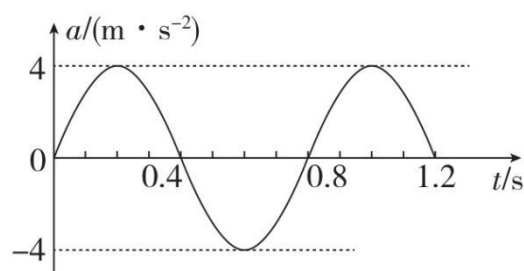
【答案】C

【解析】小球做简谐运动，速度 $v = A\frac{2\pi}{T}\cos\frac{2\pi}{T}t$ ，可知在 $t = 0$ 时速度最大，小球位于平衡位置，此时加速度为 0，位移为 0，动能最大，弹性势能为 0，弹簧的弹力为 0，对小球做功的功率为 0；由 $v = A\frac{2\pi}{T}\cos\frac{2\pi}{T}t$ 可知 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ，则小球速度变化周期为 $T' = T$ ，所以动能和势能的周期为 $T'' = \frac{T}{2}$ ，小球的最高速度 $v_m = A\frac{2\pi}{T}$ ，则最大动能 $E_{km} = \frac{1}{2}mv_m^2 = \frac{2mA^2\pi^2}{T^2}$ ，根据机械能守恒可知最大弹性势能 $E_{pm} = E_{km} = \frac{2mA^2\pi^2}{T^2}$ ；由 $x - t$ 图像可知小球的位移 $x = A\sin\frac{2\pi}{T}t$ ，弹簧对小球做功的功率 $P = |Fv| = |kxv| = |kA\sin\frac{2\pi}{T}t \cdot A\frac{2\pi}{T}\cos\frac{2\pi}{T}t| = \frac{\pi kA^2}{T}|\sin\frac{4\pi}{T}t|$ ，可见功率的最大值为 $P_m = \frac{\pi kA^2}{T}$ ，从平衡位置开始计时，当经历 $\frac{T}{4}$ 时，弹簧振子的速度为 0，功率为 0，并不是最大功率。故选 C。

迁移应用 1. [2024 · 北京卷 · 9, 3 分] 图甲为用手机和轻弹簧制作的一个振动装置。手机加速度传感器记录了手机在竖直方向的振动情况，以向上为正方向，得到手机振动过程中加速度 a 随时间 t 变化的曲线为正弦曲线，如图乙所示。下列说法正确的是 ()



甲



乙

- A. $t = 0$ 时，弹簧弹力为 0
- B. $t = 0.2\text{s}$ 时，手机位于平衡位置上方
- C. 从 $t = 0$ 至 $t = 0.2\text{s}$ ，手机的动能增大
- D. a 随 t 变化的关系式为 $a = 4\sin(2.5\pi t)\text{m/s}^2$

【答案】D

【解析】 $t = 0$ 时，手机加速度 $a = 0$ ，手机所受弹簧的弹力 F 等于手机的重力 mg ，A 错误。 $t = 0.2\text{s}$ 时，手机的加速度方向向上，由振动特点 a 与 x 方向相反可得手机位于平衡位置的下方，B 错误。从 $t = 0$ 至 $t = 0.2\text{s}$ ，手机由平衡位置运动至最低点，速度由最大值减为零，手机的动能减小，C 错误。设 a 随 t 变化的关系式为 $a = A\sin(\omega t + \varphi)$ ，其中 $\omega = \frac{2\pi}{0.8}\text{rad/s} = 2.5\pi\text{rad/s}$ ， $a_m = 4\text{m/s}^2$ ， $\varphi = 0$ ，可得 $a = 4\sin(2.5\pi t)\text{m/s}^2$ ，D 正确。

迁移应用 2. [2024·安徽合肥模拟]一位游客在千岛湖边欲乘坐游船，当日风浪较大，游船上下浮动。可把游船浮动简化成竖直方向的简谐运动，振幅为 20cm，周期为 6.0s。当船位于最高点时，甲板刚好与码头地面平齐。地面与甲板的高度差不超过 10cm 时，游客能舒服地登船。在一个周期内，游客能舒服登船的时间是 ()

- A. 2.0s B. 2.5s C. 3.0s D. 4.0s

【答案】A

【解析】把游船浮动简化成竖直方向的简谐运动，从船上升到最高点时计时，其振动方程为 $y = A\cos\frac{2\pi}{T}t$ ，代入数据得 $y = 20\cos\frac{\pi}{3}t(\text{cm})$ ，在 $0 \sim 6\text{s}$ 内，当 $y = 10\text{cm}$ 时，解得 $t_1 = 1\text{s}$ ， $t_2 = 5\text{s}$ ，故在一个周期内，游客能舒服登船的时间为 2s，故 A 正确。

考点三 单摆及其周期公式

1. 单摆的受力特征

(1) 回复力：摆球重力沿与摆线垂直方向的分力。在摆角 θ 很小时， $\sin\theta \approx \theta \approx \frac{x}{l}$ ， $F_{\text{回}} = -\frac{mg}{l}x$ ，负号表示回复力 $F_{\text{回}}$ 与位移 x 的方向相反。

(2) 向心力：摆线的拉力和摆球重力沿摆线方向分力的合力充当向心力， $F_{\text{向}} = F_T - mg\cos\theta$ 。

(3) 两点说明

①当摆球在最高点时, $F_{\text{向}} = \frac{mv^2}{l} = 0$, $F_T = mg\cos\theta$ 。

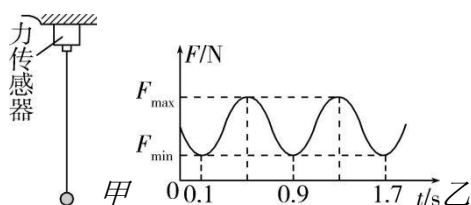
②当摆球在最低点时, $F_{\text{向}} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{l}$, $F_{\text{向}}$ 最大, $F_T = mg + m\frac{v_{\text{max}}^2}{l}$ 。

2. 周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 的两点说明

(1) l 为等效摆长, 表示从悬点到摆球重心的距离。

(2) g 为当地重力加速度。

例 2 多选 图甲是用力传感器对单摆做小角度摆动过程进行测量的装置图, 图乙是与力传感器连接的计算机屏幕所显示的 $F-t$ 图像, 其中 F 的最大值 $F_{\text{max}} = 1.02\text{N}$, 已知摆球质量 $m = 100\text{g}$, 重力加速度取 9.8m/s^2 , π^2 取 9.8, 不计摆线质量及空气阻力。下列说法正确的是 ()

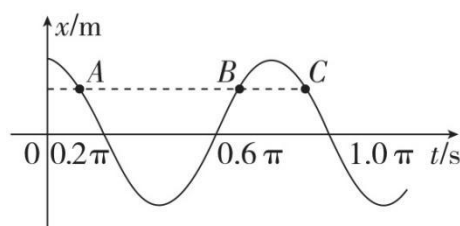


- A. 单摆周期为 0.8s
- B. 单摆摆长为 1.0m
- C. F 的最小值 $F_{\text{min}} = 0.96\text{N}$
- D. 若仅将摆球质量变为 200g, 单摆周期不变

【答案】CD

【解析】由图乙可知, 单摆周期 $T = 1.6\text{s}$, A 错误; 根据 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, 可得 $l = \frac{gT^2}{4\pi^2} = 0.64\text{m}$, B 错误; 摆到最低点时, $mg(1 - \cos\theta) = \frac{1}{2}mv^2$, $F_{\text{max}} - mg = m\frac{v^2}{l}$, 可得 $\cos\theta = \frac{48}{49}$, 则 F 的最小值 $F_{\text{min}} = mg\cos\theta = 0.96\text{N}$, C 正确; 单摆周期与摆球的质量无关, 若仅将摆球质量变为 200g, 单摆周期不变, D 正确。

迁移应用 3. [2024 · 甘肃卷 · 5, 4 分] 如图为某单摆的振动图像, 重力加速度 g 取 10m/s^2 。下列说法正确的是 ()

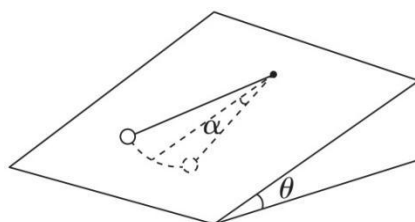


- A. 摆长为 1.6m，起始时刻速度最大
- B. 摆长为 2.5m，起始时刻速度为零
- C. 摆长为 1.6m，A、C点的速度相同
- D. 摆长为 2.5m，A、B点的速度相同

【答案】C

【解析】由单摆的振动图像可知振动周期为 $T = 0.8\pi\text{s}$ ，由单摆的周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 得摆长为 $l = \frac{gT^2}{4\pi^2} = 1.6\text{m}$ ，B、D 错误。 $x-t$ 图像的图线斜率表示速度，故起始时刻速度为零，且 A、C 点的速度相同，A、B 点的速度大小相等，方向不同，A 错误，C 正确。

迁移应用 4. 如图所示，用细绳系住一摆球，让摆球在倾角为 θ 的光滑斜面上做小幅度 ($\alpha < 5^\circ$) 摆动，摆长为 L ，重力加速度为 g ，下列说法正确的是 ()



- A. 该单摆的周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L\sin\theta}{g}}$
- B. 该单摆的周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g\sin\theta}}$
- C. 摆球的振幅会影响单摆的周期
- D. 摆球的质量会影响单摆的周期

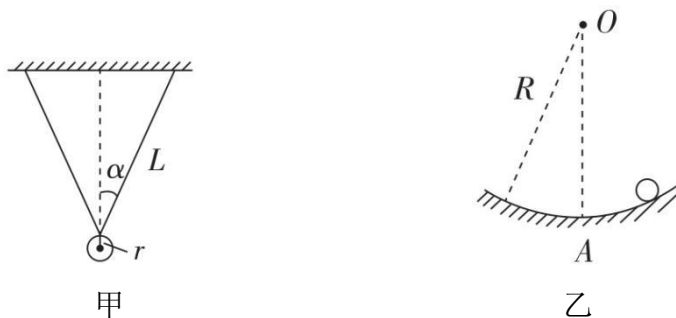
【答案】B

【解析】单摆在平衡位置时，等效重力加速度 $g' = g\sin\theta$ ，所以单摆在斜面上摆动的周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g\sin\theta}}$ ；由 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g\sin\theta}}$ 可知，摆球的振幅、质量不会影响单摆的周期。故选 B。

点拨

等效摆问题

1.等效摆长：摆球摆动圆弧的圆心到摆球重心的距离。如图甲所示的双线摆的摆长 $l' = r + L\cos\alpha$ 。图乙中小球（可看作质点）在半径为 R 的光滑圆槽中 A 点的附近振动，其等效摆长为 $l' = R$ 。



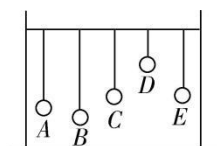
2.等效重力加速度：与单摆所处物理环境有关。

①在不同星球表面（忽略自转）： $g' = \frac{GM}{R^2}$ ， M 为星球的质量， R 为星球的半径。

②单摆处于超重或失重状态下的等效重力加速度分别为 $g' = g + a$ 和 $g' = g - a$ ， a 为超重或失重时单摆系统整体竖直向上或竖直向下的加速度大小。

考点四 受迫振动和共振

1. 受迫振动和共振的理解多选 受迫振动的演示装置如图所示，在一根张紧的绳子上悬挂几个摆球，可以用一个单摆（称为“驱动摆”）驱动另外几个单摆。下列说法正确的是（ ）



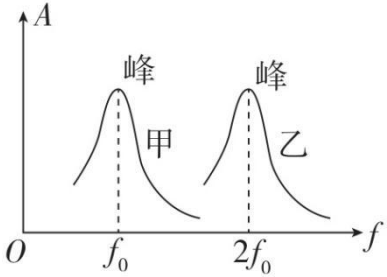
- A. 某个单摆摆动过程中多次通过同一位置时，速度可能不同但加速度一定相同
- B. 如果驱动摆的摆长为 L ，则其他单摆的振动周期都等于 $2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$
- C. 做受迫振动的单摆的摆长越大，振幅也越大
- D. 如果某个单摆的摆长等于驱动摆的摆长，则这个单摆的振幅最大

【答案】ABD

【解析】某个单摆摆动过程中多次通过同一位置时，速度大小相等但方向可能不同，根据 $F = -kx$ 可得，加速度 $a = \frac{F}{m} = -\frac{k}{m}x$ ，故加速度一定相同，A 正确；如果驱动摆的摆长为 L ，根据单摆的周期公式，有驱动摆周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ ，其他

单摆都做受迫振动，故振动周期都等于驱动摆的周期，B 正确；同一地区，单摆的固有频率只取决于单摆的摆长，则只有摆长等于驱动摆的摆长时，单摆的振幅能够达到最大，这种现象称为共振，C 错误，D 正确。

2. **共振曲线的理解** 多选 同一地点，甲、乙两单摆在驱动力作用下振动，其振幅 A 随驱动力频率 f 变化的图像如图所示，下列说法正确的是（ ）



- A. 若驱动力的频率为 f_0 ，乙单摆振动的频率大于 f_0
- B. 若驱动力的频率为 f_0 ，乙单摆振动的频率等于 f_0
- C. 若驱动力的频率为 $3f_0$ ，甲、乙两单摆振动的振幅相同
- D. 若驱动力的频率为 $3f_0$ ，甲、乙两单摆振动的频率均为 $3f_0$

【答案】BD

【解析】当物体做受迫振动时，物体振动的频率等于驱动力的频率；受迫振动物体的固有频率与驱动力频率越接近，振幅越大，由题图可知，甲的固有频率是 f_0 ，乙的固有频率是 $2f_0$ ，若驱动力的频率为 $3f_0$ ，则甲单摆振动的振幅小于乙单摆振动的振幅。故选 B、D。

核心提炼

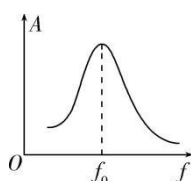
1.自由振动、受迫振动和共振的比较

项目	自由振动	受迫振动	共振
受力情况	仅受回复力	受驱动力	受驱动力
振动周期或频率	由系统本身性质决定，即固有周期 T_0 或固有频率 f_0	由驱动力的周期或频率决定，即 $T = T_{\text{驱}}$ 或 $f = f_{\text{驱}}$	$T_{\text{驱}} = T_0$ 或 $f_{\text{驱}} = f_0$
振动	振动物体的机械能不变	由产生驱动力的物体提供	振动物体获得的能

能量			量最大
常见例子	弹簧振子或单摆($\theta < 5^\circ$)	机械工作时底座发生的振动	共振筛、声音的共鸣等

2.对共振的理解

(1) 共振曲线



如图所示，横坐标为驱动力的频率 f ，纵坐标为振幅 A 。它直观地反映了驱动力的频率对某固有频率为 f_0 的振动系统做受迫振动时振幅的影响，由图可知， f 与 f_0 越接近，振幅 A 越大；当 $f = f_0$ 时，振幅 A 最大。

(2) 受迫振动中系统能量的转化

做受迫振动的系统的机械能不守恒，系统与外界时刻进行着能量交换。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 39

第 2 讲 机械波

课标要求

通过观察，认识波的特征；能区别横波和纵波；能用图像描述横波；理解波速、波长和频率的关系；知道波的反射和折射现象；通过实验，了解波的干涉与衍射现象；通过实验，认识多普勒效应；能解释多普勒效应产生的原因；能列举多普勒效应的应用实例。

必备知识·强基固本

一、机械波

1. 机械波的形成条件：___；___。

【答案】波源； 介质

2. 机械波的特点

(1) 机械波传播的只是振动的___和能量，质点只在各自的平衡位置附近做简谐运动，并不随波迁移。

(2) 介质中每个质点都做___振动，介质中各质点的振幅相同，振动周期和频率都与波源的振动周期和频率相同。

(3) 各质点开始振动（即起振）的方向均相同。

(4) 一个周期内，质点完成一次全振动，通过的路程为_____。

【答案】形式：受迫；4A

3. 机械波的分类

(1) 横波：质点振动方向与波的传播方向___。

(2) 纵波：质点振动方向与波的传播方向_____。

【答案】垂直；在同一直线上

二、描述机械波的物理量

1. 波长：在波动中，振动相位总是___的两个___质点间的距离，用 λ 表示。

【答案】相同；相邻

2. 波速：波在介质中的传播速度，由___本身的性质决定。

【答案】介质

3. 频率：由波源决定，等于___的振动频率。

【答案】波源

4. 波长、波速和频率的关系：_____。

【答案】 $v = f\lambda$

三、机械波的图像

1. 图像：在平面直角坐标系中，用横坐标表示介质中各质点的平衡位置，用纵坐标表示某一时刻各质点偏离平衡位置的___，连接各位移矢量的末端，得出的曲线即波的图像，简谐波的图像是正弦（或余弦）曲线。

【答案】位移

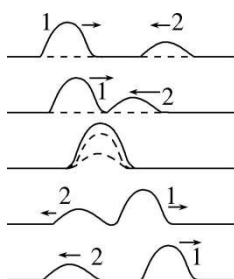
2. 物理意义：描述某一时刻介质中各质点相对_____的位移。

【答案】平衡位置

四、波的干涉和衍射

1. 波的叠加

观察两列波的叠加过程可知：两列波相遇时，每列波都能够保持各自的状态继续传播而不_____，只是在重叠的区域里，质点同时参与这两列波引起的振动，质点的位移等于这两列波单独传播时引起的_____。



【答案】互相干扰； 位移的矢量和

2. 波的干涉和衍射

项目	波的干涉	波的衍射
条件	两列波的频率必须__	明显衍射条件：障碍物或孔的尺寸比波长____或相差不多
现象	形成加强区和减弱区相互隔开的稳定的_____	波能够绕过障碍物或孔继续向前传播

【答案】相同； 小； 干涉图样

3. 多普勒效应

(1) 多普勒效应:由于波源和观察者之间有_____, 使观察者接收到的波的频率发生变化的现象。

(2) 当波源与观察者有相对运动时, 如果二者互相靠近, 观察者接收到的频率___; 如果二者互相远离, 观察者接收到的频率___。

【答案】相对运动； 增大； 减小

自主评价

1. 依据下面小情境, 判断下列说法对错。

公路旁常有警察使用雷达测速仪来测定车辆的速度, 以此来判断车辆是否超速。如图所示, 静止的雷达测速仪 a 发射频率为 f_0 的超声波, 该超声波被迎面驶来的汽车 b 反射后, 又被 a 接收到。



(1) 雷达测速仪所依据的原理是“多普勒效应”。()

(2) a 接收到 b 的反射波频率等于 f_0 。()

(3) a 的发射波与 b 的反射波相遇会发生干涉。()

(4) 反射波在空气中的传播速度与 b 的运动速度有关。()

(5) a 根据接收到的反射波的频率可确定 b 的速度。()

【答案】(1) ✓

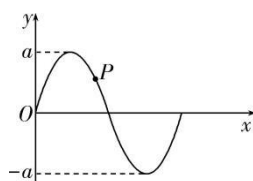
(2) ×

(3) ×

(4) ×

(5) ✓

2. 多选 (人教版选择性必修第一册改编) 简谐横波某时刻的波形如图所示。P 为介质中的一个质点, 波沿x轴的正方向传播。以下说法正确的是 ()



- A. 质点P此时刻的速度沿y轴的正方向
- B. 质点P此时刻的加速度沿y轴的正方向
- C. 再过半个周期时, 质点P的位移为负值
- D. 经过一个周期, 质点P通过的路程为 $4a$

【答案】ACD

3. (鲁科版选择性必修第一册改编) 用手握住较长软绳的一端连续上下抖动, 形成一列简谐横波。某一时刻的波形如图所示, 绳上a、b两质点均处于波峰位置。下列说法正确的是 ()



- A. a、b两质点之间的距离为半个波长
- B. a、b两质点振动开始时刻相差半个周期
- C. 质点b完成的全振动次数比质点a多一次
- D. 质点b完成的全振动次数比质点a少一次

【答案】D

关键能力·核心突破

考点一 波的传播规律与波的图像

考向 1 波的传播规律及波速公式的应用

1. 对机械波传播的理解

(1) 机械波从一种介质进入另一种介质, 由于介质不同, 波长和波速会改变, 但频率和周期不会改变。

(2) 波源经过一个周期 T 完成一次全振动，机械波恰好向前传播一个波长的距离。

2.对波速公式 $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$ 的理解

(1) 波速 v ：机械波在介质中的传播速度，由介质本身的性质决定，与波源的周期 T 无关。

(2) 频率 f ：由波源决定，等于波源的振动频率。各个质点振动的频率都等于波源的振动频率。

例 1 [2024 · 1 月九省联考河南卷 · 14] 如图，在同一根软绳上先后激发出 a 、 b 两段同向传播的简谐波，则它们 ()



- A. 波长相同 B. 振幅相同 C. 波速相同 D. 频率相同

【答案】C

【解析】波在相同介质中传播的速度相同，由图可知，两列波的波长不同，振幅不同，根据 $f = \frac{v}{\lambda}$ 可知，两列波的频率不同。故选 C。

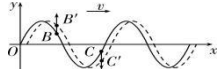
考向 2 波的图像的应用

1.波的图像的特点

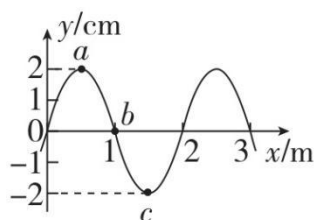
- (1) 质点振动 nT (波传播 $n\lambda$) ($n = 1, 2, 3, \dots$) 时，波形不变。
- (2) 在波的传播方向上，当两质点平衡位置间的距离为 $n\lambda$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) 时，它们的振动步调总相同；当两质点平衡位置间的距离为 $(2n + 1)\frac{\lambda}{2}$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) 时，它们的振动步调总相反。
- (3) 波源的起振方向决定了各质点的起振方向，各质点的起振方向与波源的起振方向相同。

2.根据波的图像、波的传播方向判定质点的振动方向的方法

方法	内容	图像
“上下坡”法	沿波的传播方向，“上坡”时质点向下振动，“下坡”时质点向上振动	
“同侧”法	波形图上某点表示传播方向和振动方向	

	的箭头在图线同侧	
“上下移” 法	将波形沿传播方向进行微小的平移，再由两波形曲线上对应同一平衡位置的点来判断振动方向	

例 2 [2024 · 全国甲卷 · 34 (1) 改编] **多选** 一列简谐横波沿 x 轴传播，周期为 2s ， $t = 0$ 时刻的波形曲线如图所示，此时介质中质点 b 向 y 轴负方向运动，下列说法正确的是 ()

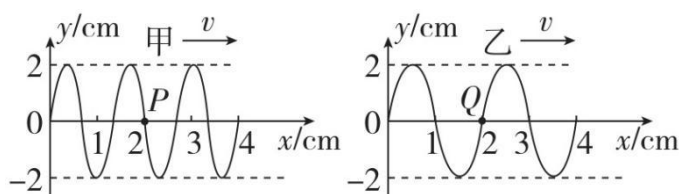


- A. 该波的波速为 1.0m/s
- B. 该波沿 x 轴正方向传播
- C. $t = 0.25\text{s}$ 时质点 a 和质点 c 的运动方向相反
- D. $t = 0.5\text{s}$ 时介质中质点 a 向 y 轴负方向运动

【答案】ACD

【解析】由题图可知波长为 2m ，根据 $v = \frac{\lambda}{T}$ 得 $v = 1\text{m/s}$ ，A 正确。质点 b 向 y 轴负方向运动，根据“同侧法”知该波沿 x 轴负方向传播，B 错误。 $t = 0.25\text{s} = \frac{1}{8}T$ 时，质点 a 向 y 轴负方向运动，质点 c 向 y 轴正方向运动，运动方向相反，C 正确。 $t = 0.5\text{s} = \frac{1}{4}T$ 时，质点 a 向 y 轴负方向运动至平衡位置，此后继续向 y 轴负方向运动，D 正确。

迁移应用 1. [2025 · 1 月八省联考四川卷 · 8] **多选** 甲、乙两列简谐横波在 $t = 0$ 时刻的波形如图所示，传播速度均为 1cm/s 。下列说法正确的是 ()



- A. 甲的周期为 2s
- B. 甲与乙的频率之比为 $3:2$

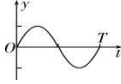
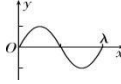
- C. $t = 0$ 时刻，质点P的位移为零
- D. $t = 0$ 时刻，质点Q的速度沿y轴正方向

【答案】BC

【解析】由题图知 $\frac{3}{2}\lambda_{\text{甲}} = 2\text{cm}$ ， $\lambda_{\text{甲}} = \frac{4}{3}\text{cm}$ ，根据 $v = \frac{\lambda}{T}$ 知 $T_{\text{甲}} = \frac{4}{3}\text{s}$ ，故 A 错误。
 由题图知 $\lambda_{\text{乙}} = 2\text{cm}$ ， $T_{\text{乙}} = \frac{\lambda_{\text{乙}}}{v} = 2\text{s}$ ， $f_{\text{甲}}:f_{\text{乙}} = T_{\text{乙}}:T_{\text{甲}} = 3:2$ ，故 B 正确。由
 波形图可知 $t = 0$ 时刻，质点P的位移为零，故 C 正确。根据同侧法， $t = 0$ 时
 刻，质点Q的速度沿y轴负方向，故 D 错误。

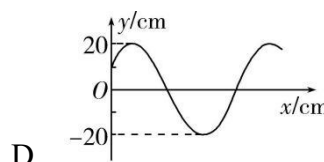
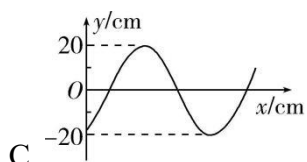
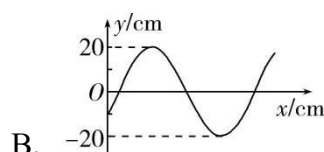
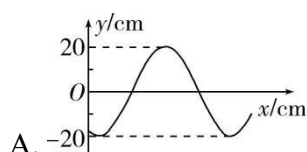
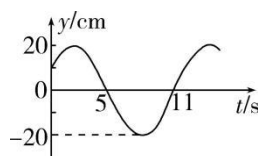
考点二 波的图像和振动图像的综合应用

振动图像与波的图像的比较

项目	振动图像	波的图像
研究对象	一个振动质点	沿波传播方向的所有质点
研究内容	质点的位移随时间的变化规律	某时刻所有质点的空间分布规律
图像		
物理意义	表示同一质点在各时刻的位移	表示某时刻各质点的位移
图像信息	(1) 质点振动周期 (2) 质点振幅 (3) 某一质点在各时刻的位移 (4) 各时刻速度、加速度的方向	(1) 波长、振幅 (2) 任意一质点在该时刻的位移 (3) 任意一质点在该时刻加速度的方向 (4) 传播方向、振动方向的互判
一个完整“波形”对应横轴的长度	表示一个周期	表示一个波长
图像变化	随时间推移，图像延续，但已有形状不变	随时间推移，图像沿传播方向平移
形象比喻	记录着一个人一段时间内活动的	记录着许多人某时刻动作、表情

	录像带	的集体照片
--	-----	-------

例3 [2022·山东卷·9, 4分] **多选** 一列简谐横波沿 x 轴传播, 平衡位置位于坐标原点 O 的质点振动图像如图所示。当 $t = 7\text{s}$ 时, 简谐波的波动图像可能正确的是 ()

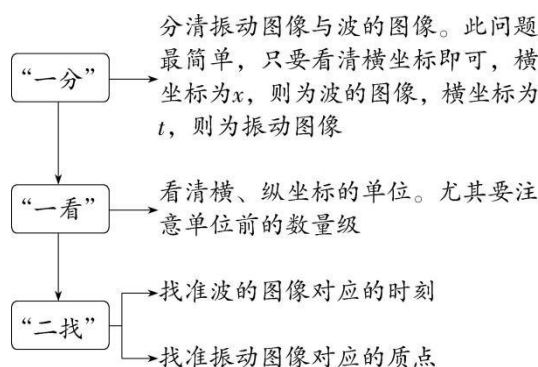


【答案】AC

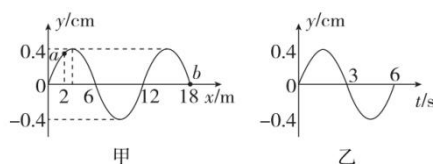
【解析】因为 $t = 0$ 时位于原点 O 的质点在正向最大位移一半的位置, 故该质点的振动方程为 $y = 20\sin(\frac{2\pi}{T}t + \frac{\pi}{6})\text{cm}$, 由题图得 $T = 12\text{s}$, 故 $t = 7\text{s}$ 时该质点的位置 $y_7 = 20\sin(\frac{2\pi}{12} \times 7 + \frac{\pi}{6})\text{cm} = -10\sqrt{3}\text{cm}$, 该简谐波传播方向未知, A、C 正确。

总结归纳

解决波的图像与振动图像综合类问题可采用“一分、一看、二找”的方法:



迁移应用 2. [2024·山东聊城三模] **多选** 一列简谐横波在某时刻的波形图如图甲所示, a 、 b 两质点的平衡位置分别为 $x_1 = 2\text{m}$ 、 $x_2 = 18\text{m}$, 从图甲所示时刻开始计时, b 质点的振动图像如图乙所示。下列说法中正确的是 ()



- A. 此横波的传播速度大小为 3m/s
- B. $x = 30\text{m}$ 处的质点在 13.5s 时出现在波峰
- C. 质点 a 在 1s 时速度最大且速度方向沿 y 轴正方向
- D. 质点 a 在 $0 \sim 4.5\text{s}$ 内运动的路程为 $(1 + \frac{\sqrt{3}}{5})\text{cm}$

【答案】BD

【解析】由题图甲可知该波的波长 $\lambda = 12\text{m}$ ，由题图乙可知该波的周期 $T = 6\text{s}$ ，此横波的传播速度大小为 $v = \frac{\lambda}{T} = 2\text{m/s}$ ，A 错误；题图甲所示时刻波形图中 $x = 3\text{m}$ 处质点出现在波峰，波沿 x 轴正方向传播，根据 $t = \frac{30-3}{2}\text{s} = 13.5\text{s}$ ，可知 $x = 30\text{m}$ 处的质点在 13.5s 时出现在波峰，B 正确； $\Delta x = v\Delta t = 2\text{m}$ ，根据平移法可知质点 a 在 1s 时处于平衡位置，速度最大且速度方向沿 y 轴负方向，C 错误； $t = 0$ 时， a 点的位移为 $\frac{\sqrt{3}}{5}\text{cm}$ ， $t = 1\text{s}$ 时 a 点到达平衡位置向下运动， $t = 4\text{s}$ 时， a 点到达平衡位置向上运动， $t = 4.5\text{s}$ 时， a 点的位移为 0.2cm ，则质点 a 在 $0 \sim 4.5\text{s}$ 内运动的路程为 $s = (\frac{\sqrt{3}}{5} + 0.4 \times 2 + 0.2)\text{cm} = (1 + \frac{\sqrt{3}}{5})\text{cm}$ ，D 正确。

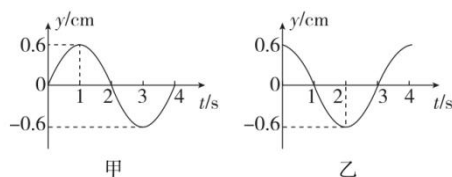
考点三 波的多解问题

1.造成波的多解问题的主要因素

双向性	传播方向双向性：波的传播方向不确定
	振动方向双向性：质点的振动方向不确定
周期性	时间周期性：时间间隔 Δt 与周期 T 的关系不明确
	空间周期性：波传播距离 Δx 与波长 λ 的关系不明确
隐含性	在波动问题中，往往只给出完整波形的一部分，或给出几个特殊点，而其余信息均处于隐含状态，这样，波形就有多种情况，形成波动问题的多解性

2.解决波的多解问题的思路 一般采用从特殊到一般的思维方法,即先找出一个周期内满足条件的关系(Δt 或 Δx),若此关系为时间,则 $t = nT + \Delta t(n = 0,1,2, \dots)$;若此关系为距离,则 $x = n\lambda + \Delta x(n = 0,1,2, \dots)$ 。对于双向性问题,则两个方向对应的情形要分别考虑。

例 4 多选 一列简谐横波沿 x 轴传播,图甲和图乙分别是平衡位置位于 $x_1 = 1\text{m}$ 及 $x_2 = 4\text{m}$ 处两质点的振动图像。下列说法正确的是 ()

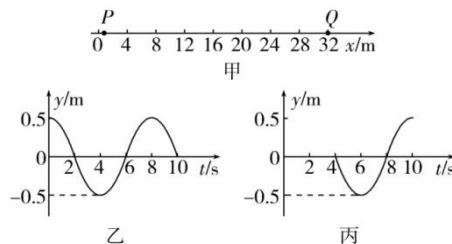


- A. 波长可能为 3m B. 波长可能为 $\frac{12}{5}\text{m}$
C. 波速可能为 $\frac{3}{7}\text{m/s}$ D. 波速可能为 $\frac{6}{5}\text{m/s}$

【答案】BC

【解析】若波沿 x 轴负方向传播,则 $x_1 = 1\text{m}$ 及 $x_2 = 4\text{m}$ 处的质点振动相差时间为 $\Delta t_1 = (n + \frac{1}{4})T(n = 0,1,2, \dots)$,则 $(n + \frac{1}{4})\lambda_1 = 3\text{m}(n = 0,1,2, \dots)$,可得 $\lambda_1 = \frac{12}{4n+1}\text{m}(n = 0,1,2, \dots)$,由题意可知 $T = 4\text{s}$,故对应的波速为 $v_1 = \frac{\lambda_1}{T} = \frac{3}{4n+1}\text{m/s}(n = 0,1,2, \dots)$;同理,若波沿 x 轴正方向传播,则 $x_1 = 1\text{m}$ 及 $x_2 = 4\text{m}$ 处的质点振动相差时间为 $\Delta t_2 = (n + \frac{3}{4})T(n = 0,1,2, \dots)$,则 $(n + \frac{3}{4})\lambda_2 = 3\text{m}(n = 0,1,2, \dots)$,可得 $\lambda_2 = \frac{12}{4n+3}\text{m}(n = 0,1,2, \dots)$,故对应的波速为 $v_2 = \frac{\lambda_2}{T} = \frac{3}{4n+3}\text{m/s}(n = 0,1,2, \dots)$ 。通过以上关系可以判定选项 B、C 正确。

迁移应用 3. 多选 如图甲所示,一列简谐横波沿 x 轴正方向传播,在 x 轴上有 P 、 Q 两点, $x_P = 0.5\text{m}$, $x_Q = 32\text{m}$,波源在 P 点左侧某位置(坐标未知)。从某时刻开始观察,平衡位置在 P 、 Q 处的质点的振动情况分别如图乙、丙所示。已知 $12\text{m} < \lambda < 18\text{m}$, 由此可知 ()



- A. Q 处质点的起振方向沿 y 轴正方向

- B. 该简谐横波的波长为 14m
 C. 该简谐横波的传播速度为 1.75m/s
 D. 该简谐横波从P点传播到Q点所用的时间为 9s

【答案】BC

【解析】由图丙可知，Q处质点的起振方向沿y轴负方向，A 错误；由题图可知 $(\frac{1}{4} + n)\lambda = PQ(n = 0, 1, 2, \dots)$ ，解得 $\lambda = \frac{126}{1+4n}m(n = 0, 1, 2, \dots)$ ，由于 $12m < \lambda < 18m$ ，只有当 $n = 2$ 时， $\lambda = 14m$ 符合要求，故 B 正确；由图乙可知，该简谐横波的周期 $T = 8s$ ，则该简谐横波的传播速度 $v = \frac{\lambda}{T} = 1.75m/s$ ，C 正确；该简谐横波从P点传播到Q点所用时间 $t = \frac{x_Q - x_P}{v} = 18s$ ，D 错误。

考点四 波的干涉、衍射、多普勒效应

1. 波的干涉中加强点与减弱点的比较

项目	振幅	振动能量
加强点	$A_1 + A_2$	最大
减弱点	$ A_1 - A_2 $	最小

2. 波的干涉中加强点和减弱点的判断方法

(1) 图像法：在某时刻的波形图上，波峰与波峰（或波谷与波谷）的交点是加强点，波峰与波谷的交点是减弱点。各加强点或减弱点各自连接形成以两波源为中心向外辐射的连线，形成加强线和减弱线，两种线互相间隔，加强点与减弱点之间各质点的振幅介于加强点与减弱点的振幅之间。

(2) 公式法

①当两个相干波源的振动步调一致时，到两个波源的距离之差 $\Delta x = n\lambda(n = 0, 1, 2, \dots)$ 处是加强区， $\Delta x = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}(n = 0, 1, 2, \dots)$ 处是减弱区。

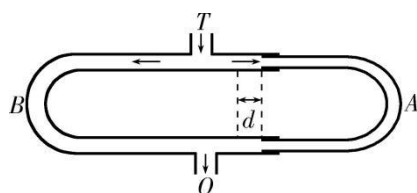
②当两个相干波源的振动步调相反时，到两个波源的距离之差 $\Delta x = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}(n = 0, 1, 2, \dots)$ 处是加强区， $\Delta x = n\lambda(n = 0, 1, 2, \dots)$ 处是减弱区。

3. 多普勒效应的理解

(1) 接收频率：观察者接收到的频率，等于观察者在单位时间内接收到的完全波的个数。

(2) 当波源与观察者相互靠近时，观察者接收到的频率变大，当波源与观察者相互远离时，观察者接收到的频率变小。

例 5 [2023·浙江 6 月选考卷·11, 3 分] 如图所示，置于管口 T 前的声源发出一列单一频率声波，分成两列强度不同的声波分别沿 A 、 B 两管传播到出口 O 。先调节 A 、 B 两管等长， O 处探测到声波强度为 400 个单位，然后将 A 管拉长 $d = 15\text{cm}$ ，在 O 处第一次探测到声波强度最小，其强度为 100 个单位。已知声波强度与声波振幅平方成正比，不计声波在管道中传播的能量损失，则 ()

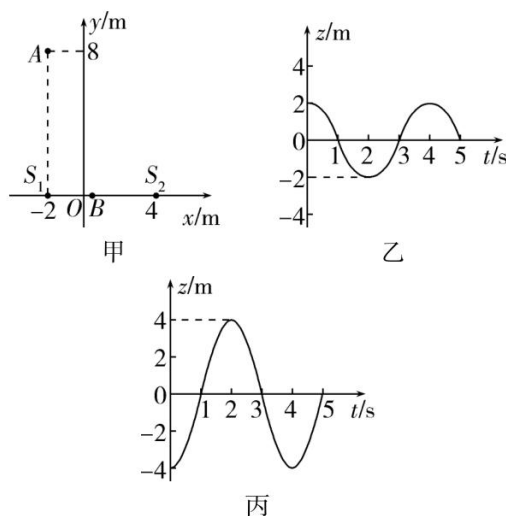


- A. 声波的波长 $\lambda = 15\text{cm}$ B. 声波的波长 $\lambda = 30\text{cm}$
C. 两声波的振幅之比为 3:1 D. 两声波的振幅之比为 2:1

【答案】C

【解析】由题意可知， A 、 B 两管等长时， O 处为振动加强点，将 A 管拉长 $d = 15\text{cm}$ 后， O 处为振动减弱点，声波加强时与声波减弱时振幅之比为 2:1，则 $\frac{A_1 + A_2}{A_1 - A_2} = \frac{2}{1}$ ，解得 $\frac{A_1}{A_2} = \frac{3}{1}$ ，故 C 正确，D 错误；根据振动减弱的条件结合题意可得 $\frac{\lambda}{2} = 2d$ ， $\lambda = 60\text{cm}$ ，故 A、B 错误。

迁移应用 4. 如图甲所示，在 xOy 平面内有两个波源 $S_1(-2\text{m}, 0)$ 和 $S_2(4\text{m}, 0)$ ，两波源做垂直于 xOy 平面的简谐运动，其振动图像分别如图乙和图丙所示，两波源形成的机械波在 xOy 平面内向各个方向传播，波速均为 25cm/s 。 xOy 平面上有 A 、 B 两点，其位置坐标分别为 $A(-2\text{m}, 8\text{m})$ ， $B(0.5\text{m}, 0)$ ，则 ()



- A. 两波源形成的波不同，不能产生干涉现象
 B. 图中点A(-2m,8m)的振幅为 6m
 C. A、B连线上有一个振动加强点
 D. 两波源的连线上有 11 个振动加强点，它们的位移大小始终是 6m

【答案】C

【解析】由图乙、丙可知两列波的周期均为 4s，则两列波的频率均为 $f = \frac{1}{T} = 0.25\text{Hz}$ ，可知两列波的频率相同，相位差恒定，可形成稳定的干涉图样，故 A 错误；两列波的波长均为 $\lambda = vT = 0.25 \times 4\text{m} = 1\text{m}$ ，A 点到两波源的路程差 $\Delta s_1 = \sqrt{6^2 + 8^2}\text{m} - 8\text{m} = 2\text{m} = 2\lambda$ ，由于两波源的振动步调相反，可知 A 点为振动减弱点，故 A 点的振幅为 $4\text{m} - 2\text{m} = 2\text{m}$ ，故 B 错误；B 点到两波源的路程差 $\Delta s_2 = 3.5\text{m} - 2.5\text{m} = 1\text{m} = \lambda$ ，可知 B 点为振动减弱点，A、B 连线上有一个路程差为 $\frac{3}{2}\lambda$ 的点，该点为振动加强点，故 C 正确；两波源的连线上（不含波源）的点到两波源的路程差满足 $-6\lambda = -6\text{m} < \Delta s < 6\text{m} = 6\lambda$ ，由于两波源的振动步调相反，当路程差满足 $\Delta s = (2n+1) \cdot \frac{\lambda}{2} (n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ 时，该点为振动加强点，可知两波源的连线上有 12 个振动加强点，它们的振幅为 6m，位移大小在 0 到 6m 之间变化，故 D 错误。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 40

实验 9 用单摆测量重力加速度的大小

必备知识·强基固本

一、实验目的

1. 用单摆测量重力加速度的大小。

2.会使用秒表测量时间。

3.能分析实验误差的来源，并能采用适当方法减小测量误差。

二、实验器材

长约 1m 的细线、开有小孔的金属小球、带有铁夹的铁架台、刻度尺、秒表、游标卡尺。

三、实验原理与设计

1. 原理：单摆做简谐运动时，由周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ，可得，

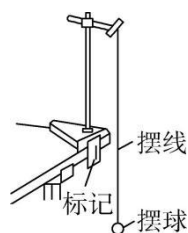
$g = \underline{\hspace{2cm}}$ 。因此，测出单摆摆长和振动周期，便可计算出当地的重力加速度。

【答案】 $\frac{4\pi^2 l}{T^2}$

2.设计：用秒表测量 30~50 次全振动的时间，计算平均做一次全振动的时间，得到的便是振动周期。

四、实验步骤

1.取出长约 1m 的细线，细线的一端连接小球，另一端用铁夹固定在铁架台上，让小球自由下垂。



2. 用刻度尺测摆线长度 $l_{\text{线}}$ ，用游标卡尺测小球的直径 d ，测量多次，取平均值，计算摆长 $l = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

【答案】 $l_{\text{线}} + \frac{d}{2}$

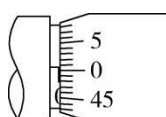
3. 将小球从平衡位置拉至一个偏角小于 5° 的位置并由静止释放，使其在竖直平面内振动。待振动稳定后，从小球经过平衡位置时开始用秒表计时，测量 N 次全振动的时间 t ，则周期 $T = \underline{\hspace{2cm}}$ 。如此重复多次，取平均值。

【答案】 $\frac{t}{N}$

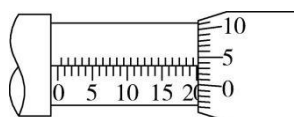
4.改变摆长，重复实验多次。

五、实验数据处理

1.公式法

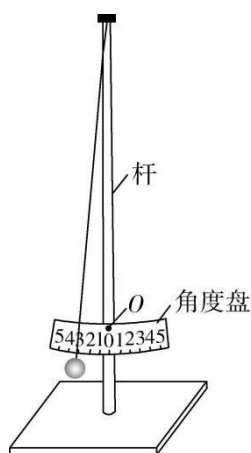


甲



乙

(2) 单摆实验的装置示意图如图丙所示，其中角度盘需要固定在杆上的确定点 O 处，摆线在角度盘上所指的示数为摆角的大小。若将角度盘固定在 O 点上方，则摆线在角度盘上所指的示数为 5° 时，实际摆角__ 5° （选填“大于”或“小于”）。



丙

(3) 某次实验所用单摆的摆线长度为 81.50cm ，则摆长为__ cm 。实验中观测到从摆球第 1 次经过最低点到第 61 次经过最低点的时间间隔为 54.60s ，则此单摆周期为__ s ，该小组测得的重力加速度大小为__ m/s^2 。（结果均保留 3 位有效数字， π^2 取 9.870 ）

【答案】 (1) 0.007 ($0.006 \sim 0.008$ 均正确)； 20.035 ($20.034 \sim 20.036$ 均正确)； 20.028 ($20.026 \sim 20.030$ 均正确)

(2) 大于

(3) 82.5 ； 1.82 ； 9.83

【解析】

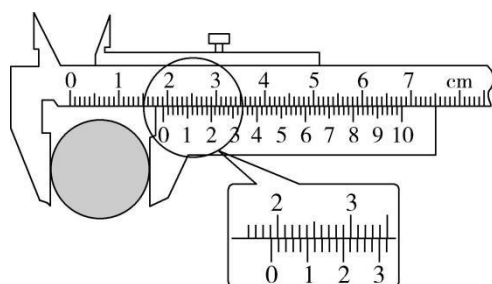
(1) 由题图甲可知，螺旋测微器的示数为 $0.7 \times 0.01\text{mm} = 0.007\text{mm}$ ；夹有摆球时，由题图乙可知螺旋测微器的示数为 $20\text{mm} + 3.5 \times 0.01\text{mm} = 20.035\text{mm}$ 。摆球的直径为两次示数之差， $d = 20.035\text{mm} - 0.007\text{mm} = 20.028\text{mm}$ 。

(2) 若将角度盘固定在 O 点上方, 则角度盘所指的角度偏小; 当摆线在角度盘上所指的示数为 5° 时, 实际摆角大于 5° 。

(3) 摆线长 $L = 81.50\text{cm}$, 则摆长 $l = L + \frac{d}{2} = 81.50\text{cm} + \frac{1}{2} \times 2.0028\text{cm} \approx 82.5\text{cm}$ 。在一个周期内摆球两次经过最低点, 则从第1次经过最低点到第61次经过最低点的时间间隔 $t = 30T$, 代入数据解得 $T = \frac{t}{30} = \frac{54.60}{30}\text{s} = 1.82\text{s}$ 。根据单摆的周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 可得 $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$, 代入数据解得 $g \approx 9.83\text{m/s}^2$ 。

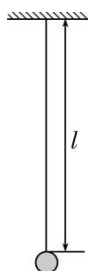
迁移应用. [2023·重庆卷·11, 7分]某实验小组用单摆测量重力加速度。所用实验器材有摆球、长度可调的轻质摆线、刻度尺、50分度的游标卡尺、摄像装置等。

(1) 用游标卡尺测量摆球直径 d 。当量爪并拢时, 游标尺和主尺的零刻度线对齐。放置摆球后游标卡尺示数如图甲所示, 则摆球的直径 d 为_____mm。



甲

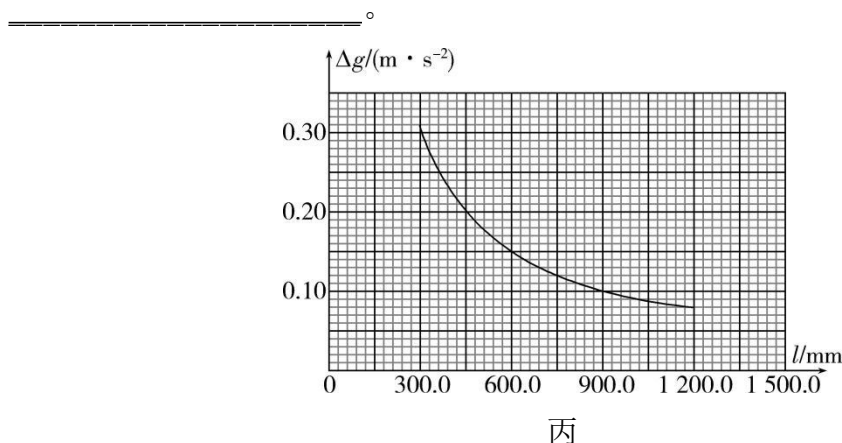
(2) 用摆线和摆球组成单摆, 如图乙所示。当摆线长度 $l = 990.1\text{mm}$ 时, 记录并分析单摆的振动视频, 得到单摆的振动周期 $T = 2.00\text{s}$, 由此算得重力加速度 g 为___ m/s^2 (保留3位有效数字)。



乙

(3) 改变摆线长度 l , 记录并分析单摆的振动视频, 得到相应的振动周期。他们发现, 分别用 l 和 $l + \frac{d}{2}$ 作为摆长, 这两种计算方法得到的重力加速度数值的差异大小 Δg 随摆线长度 l 的变化曲线如图丙所示。由图可知, 该实验中, 随着摆线

长度 l 的增加， Δg 的变化特点是_____，原因是



【答案】（1）19.20

（2）9.86

（3）逐渐减小并趋于稳定；摆线长度越长，小球半径相对摆线的长度就越小，小球半径对重力加速度测量的影响就越小

【解析】

（1）该游标卡尺为 50 分度的，由题图甲可知 $d = 19\text{mm} + 10 \times 0.02\text{mm} = 19.20\text{mm}$ 。

（2）根据单摆的周期公式有 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l + \frac{d}{2}}{g}}$ ，代入数据解得 $g \approx 9.86\text{m/s}^2$ 。

（3）根据题图丙可知，随着 l 的增加， Δg 逐渐减小并趋于稳定，原因是摆线长度越长，小球半径相对摆线的长度就越小，小球半径对重力加速度测量的影响就越小。

探究点二 创新拓展实验

例 2 [2024·广西卷·11，6 分]单摆可作为研究简谐运动的理想模型。

（1）制作单摆时，在图甲、图乙两种单摆的悬挂方式中，选择图甲方式的目的是要保持摆动中__不变。

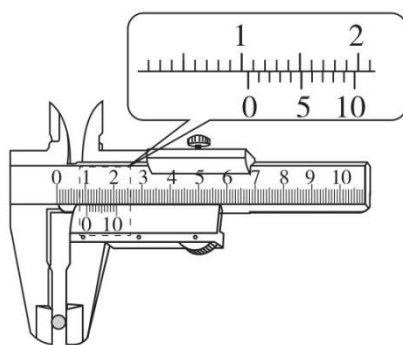


甲



乙

(2) 用游标卡尺测量摆球直径，测得读数如图丙，则摆球直径为__cm。



丙

(3) 若将一个周期为 T 的单摆，从平衡位置拉开 5° 的角度释放，忽略空气阻力，摆球的振动可看为简谐运动。当地重力加速度为 g ，以释放时刻作为计时起点，则摆球偏离平衡位置的位移 x 与时间 t 的关系为

【答案】 (1) 摆长

(2) 1.06

(3) $x = \frac{gT^2 \sin 5^\circ}{4\pi^2} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$

【解析】

(1) 图乙中的单摆在摆动过程中，摆长一直在变化，故选图甲方式的目的是要保持单摆在摆动中摆长不变。

(2) 摆球直径为 $d = 1.0\text{cm} + 6 \times 0.1\text{mm} = 1.06\text{cm}$ 。

(3) 根据单摆的周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ ，可得单摆的摆长为 $L = \frac{gT^2}{4\pi^2}$ ，从平衡位置拉开 5° 的角度释放，可得振幅为 $A = L\sin 5^\circ$ ，以该位置为计时起点，根据简谐运动规律可得摆球偏离平衡位置的位移 x 与时间 t 的关系为 $x = A\cos\omega t =$

$\frac{gT^2 \sin 5^\circ}{4\pi^2} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$ 。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 41