

# 第十二章 机械振动与机械波

## 目录

<b>1 第 1 节 机械振动</b>	<b>3</b>
1.1 考点 1 弹簧振子简谐运动	3
1.1.1 简谐运动的表达式	3
1.1.2 简谐运动的特征	3
1.1.3 4. 简谐运动的图像	3
1.2 教考衔接	4
1.3 考点 2 单摆	5
1.3.1 1. 单摆做简谐运动的条件	5
1.3.2 2. 单摆的受力特征	5
1.4 考点 3 受迫振动共振	6
1.4.1 1. 受迫振动	6
1.4.2 2. 共振	6
1.4.3 3. 简谐运动、受迫振动和共振的比较	7
1.5 即练即清	7
<b>2 第 2 节 机械波</b>	<b>8</b>
2.1 考点 1 机械波的形成波的图像	8
2.1.1 1. 波在传播过程中的特点	8
2.1.2 2. 波长、波速和频率	8
2.1.3 3. 波的图像的信息 (如图示)	8
2.1.4 4. 波的图像的特点	9
2.1.5 5. 波的传播方向与质点振动方向的互判方法	9
2.2 考点 2 波传播的周期性和多解性问题	10
2.2.1 1. 造成波传播多解的主要因素	10
2.2.2 2. 解决波的多解问题的思路	10
2.3 考点 3 波的干涉、衍射多普勒效应	11
2.3.1 1. 波的干涉现象中加强点、减弱点的判断方法	11
2.3.2 2. 波的衍射	12
2.3.3 3. 多普勒效应	12
<b>3 微专题 14 波的图像和振动图像的综合应用</b>	<b>13</b>
3.1 题型 1 已知两质点的振动图像	13
3.2 题型 2 已知两时刻的波的图像	14
3.3 题型 3 已知某质点的振动图像和某时刻的波的图像	14
3.4 提分关键·方法提升	15

# 目录

2

3.4.1	三步求解波的图像与振动图像综合问题 . . . . .	15
<b>4</b>	<b>实验 用单摆测量重力加速度 . . . . .</b>	<b>15</b>
4.1	一、实验原理及装置图 . . . . .	15
4.2	二、操作要领及注意事项 . . . . .	16
4.3	三、数据处理 . . . . .	16
4.4	四、误差分析 . . . . .	17
4.5	五、其他方案 . . . . .	17

# 1 第 1 节 机械振动

## 1.1 考点 1 弹簧振子简谐运动

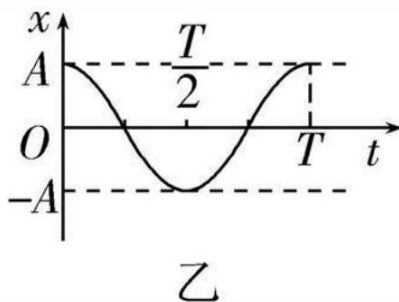
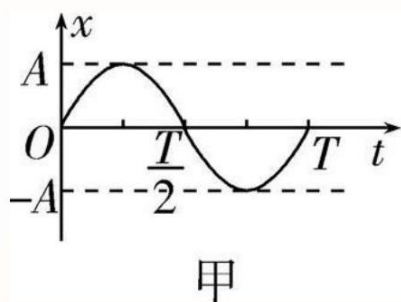
### 1.1.1 简谐运动的表达式

(1) 动力学表达式:  $F = -kx$ 。

(2) 运动学表达式:  $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ , 其中  $A$  代表振幅,  $\omega = 2\pi f$  表示简谐运动的快慢。

### 1.1.2 简谐运动的特征

动力学特征	$F = -kx$ , ” - ” 表示回复力的方向与位移的方向相反
能量特征	(1) 振幅越大, 系统能量越大; (2) 在运动过程中, 动能和势能相互转化, 系统的机械能守恒
周期性特征	(1) 位移、回复力、加速度和速度随时间发生周期性变化, 周期为 $T$ ; (2) 动能和势能随时间发生周期性变化, 周期为 $\frac{T}{2}$
对称性特征	(1) $\Delta t = (n + \frac{1}{2})T$ ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) 的两个时刻, 物体位置关于平衡位置对称; (2) $t_{BC} = t_{CB}$ , 物体经过关于平衡位置对称的等长两段距离的时间相等



### 1.1.3 4. 简谐运动的图像

图像	<p style="text-align: center;">甲                      乙</p>
意义	反映一个质点振动的位移随时间变化的规律 (不是质点的运动轨迹)
特点	图线都是正弦或余弦曲线
蕴含信息	(1) 振幅 $A$ 、周期 $T$ 以及各时刻质点的位置、某段时间内质点的位移 (2) 各时刻回复力、加速度、速度、位移的方向 (3) 某段时间内位移、回复力、加速度、速度、动能、势能

## 1.2 教考衔接

(人教版选必一 P<sub>39</sub> 例题改编) 如图 1 所示, 弹簧振子以  $O$  点为平衡位置, 在  $BC$  两点之间做简谐运动, 以向右为正方向。小球的位移  $x$  随时间  $t$  变化的图像如图 2 所示。

(1) (回归教材) 下列判断正确的是 ( )

- A.  $t = 0.8 \text{ s}$  时, 小球的速度方向向右
- B.  $t = 0.4 \text{ s}$  和  $t = 1.2 \text{ s}$  时, 小球的加速度相同
- C. 小球做简谐运动的表达式为  $x = 12 \sin 1.25\pi t \text{ cm}$
- D. 从  $t = 0.4 \text{ s}$  到  $t = 0.8 \text{ s}$  时间内, 小球的速度逐渐减小

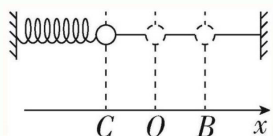


图 1

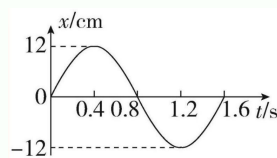
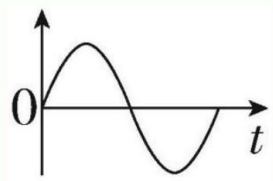
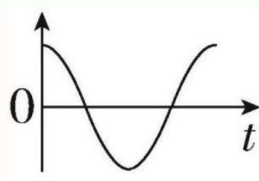


图 2

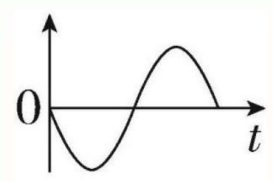
(2) (拓展变式) (多选) 小球的位移  $x$  随时间  $t$  变化的图像如图 2 所示, 若用  $v$ 、 $a$  和  $F$  分别表示该小球的速度、加速度及回复力, 下列选项判断正确的是 (BC)



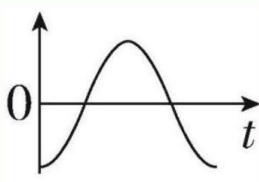
图甲



图乙



图丙

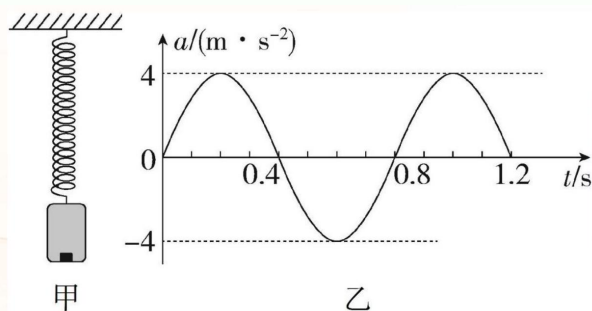


图丁

- A. 图甲可能是  $F - t$  图像
- B. 图乙可能是  $v - t$  图像
- C. 图丙可能是  $a - t$  图像
- D. 图丁可能是  $v - t$  图像

(3) (链接高考) (2024 北京, 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 (D)

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



手机振动装置及加速度曲线

### 1.3 考点 2 单摆

#### 1.3.1 1. 单摆做简谐运动的条件

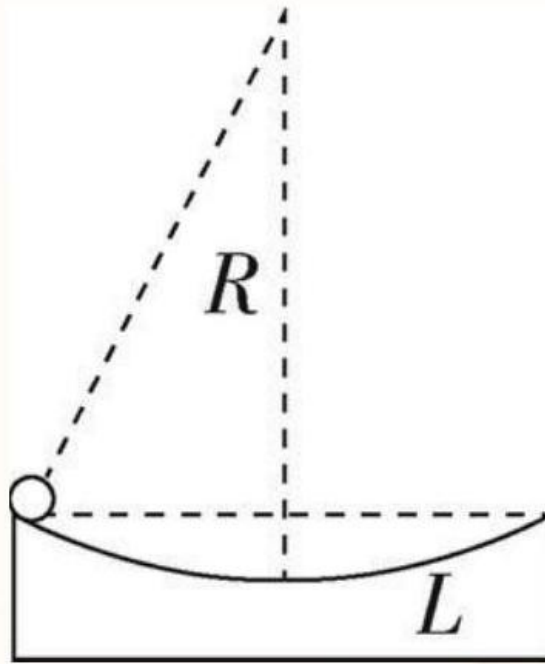
- (1) 摆线为不可伸缩的轻质细线; (2) 不计空气阻力; (3) 最大摆角  $\theta_m \leq 5^\circ$ 。

#### 1.3.2 2. 单摆的受力特征

- (1) 回复力: 由摆球重力沿垂直于摆线方向的分力提供,  $F_{\text{回}} = mg \sin \theta \approx -\frac{mg}{l}x = -kx$ , 负号表示回复力方向与位移方向相反。  
 (2) 向心力: 由摆线的张力和摆球重力沿摆线方向分力的合力提供,  $F_{\text{向}} = F_{\text{T}} - mg \cos \theta$ 。  
 (3) 两点说明  
 (1) 当摆球在最高点时,  $F_{\text{回}} = \frac{mv^2}{l} = 0$ ,  $F_{\text{T}} = mg \cos \theta_m$ ; (2) 当摆球在最低点时,  $F_{\text{回}} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{l}$ ,  $F_{\text{向最大}}$ ,  $F_{\text{T}} = mg + m \frac{v_{\text{max}}^2}{l}$ 。  
 (4) 单摆是一个理想化模型, 做简谐运动的周期为  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ , 与单摆的振幅  $A$ 、摆球质量  $m$  无关, 式中的  $g$  为单摆所处位置的重力加速度。

(多选) 如图所示, 一个光滑弧形回槽半径为  $R$ , 弧长为  $L$  (已知  $R \gg L$ )。现将一质量为  $m$  的小钢球从凹槽边缘由静止释放, 小钢球以最低点为平衡位置做简谐运动。已知重力加速度大小为  $g$ , 下列说法正确的是 ()

- A. 小球做简谐运动的回复力为重力和支持力的合力  
 B. 小球做简谐运动的回复力为重力沿凹槽圆弧切线方向的分力  
 C. 小球做简谐运动的周期为  $2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$   
 D. 小球做简谐运动的周期为  $2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$



弧形凹槽中的小球

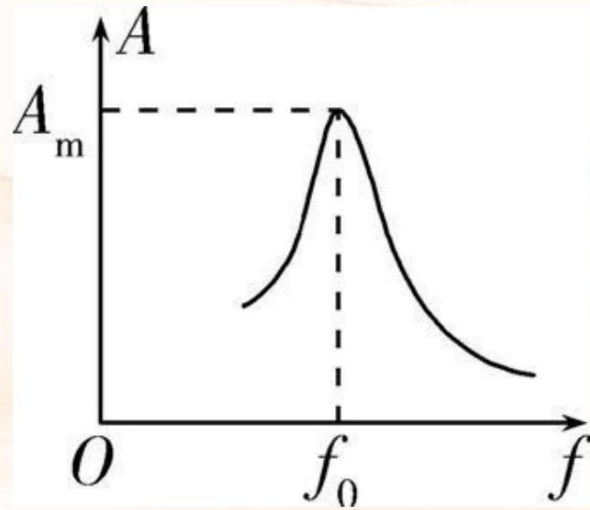
## 1.4 考点 3 受迫振动共振

### 1.4.1 1. 受迫振动

- (1) 定义：系统在驱动力作用下的振动。
- (2) 特点：受迫振动的频率等于驱动力的频率，跟系统的固有频率无关。

### 1.4.2 2. 共振

- (1) 现象：当驱动力的频率等于系统的固有频率时，受迫振动的振幅最大。
- (2) 条件：驱动力的频率等于固有频率。
- (3) 共振曲线（如图所示）。



共振曲线

## 1.4.3 3. 简谐运动、受迫振动和共振的比较

	简谐运动	受迫振动	共振
受力情况	回复力	受驱动力作用	受驱动力作用
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 $f = f_{\text{驱}}$	$T_{3E} = T_0$ 或 $f_{3Z} = f_0$
振动能量	振动系统的机械能不变	由产生驱动力的物体提供	振动物体获得的能量最大
常见例子	弹簧振子或单摆 ( $\theta \leq 5^\circ$ )	机械工作时底座发生的振动	共振筒、声音的共鸣

## 1.5 即练即清

判断正误, 正确的打  $\checkmark$ , 错误的打  $\times$ 。

- (1) 受迫振动的频率与振动系统的固有频率无关 ( $\checkmark$ )
- (2) 驱动力频率越大, 振幅越大 ( $\times$ )
- (3) 共振只有害处没有好处 ( $\times$ )
- (4) 做受迫振动的物体一定会发生共振 ( $\times$ )

## 2 第2节 机械波

### 2.1 考点1 机械波的形成波的图像

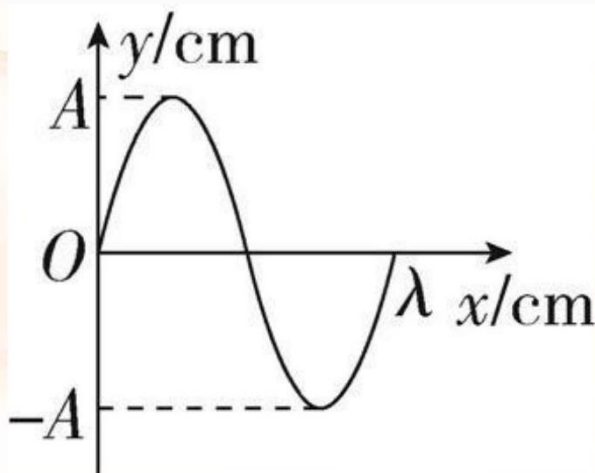
#### 2.1.1 1. 波在传播过程中的特点

(1) 质点并不随波迁移；(2) 各质点的起振方向相同；离波源越远的质点，振动越滞后；(3) 各质点都做受迫振动，且振动的周期、频率与波源的相同；(4) 机械波传播的是振动的形式和能量，也可以传递信息；(5) 波源经过一个周期  $T$  完成一次全振动，波恰好向前传播一个波长的距离。

#### 2.1.2 2. 波长、波速和频率

(1) 波长：在波的传播方向上，振动相位总是相同的两个相邻质点间的距离，用  $\lambda$  表示。波长由频率和波速共同决定。  
 (2) 频率：波的频率由波源决定，等于波源的振动频率。  
 (3) 波速：波的传播速度。波速由介质决定，与波源无关。  
 (4) 波速公式： $v = \lambda f = \frac{\lambda}{T}$  或  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 。

#### 2.1.3 3. 波的图像的信息（如图所示）



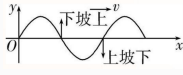
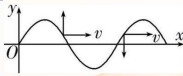
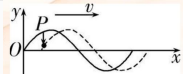
波的图像

(1) 可直接读取振幅  $A$  和波长  $\lambda$ ，以及该时刻各质点的位移。  
 (2) 确定该时刻各质点加速度的方向，并能比较其大小。  
 (3) 结合波的传播方向确定各质点的振动方向，或由各质点的振动方向确定波的传播方向。

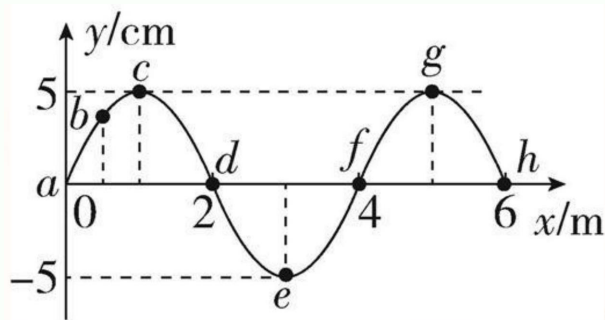
## 2.1.4 4. 波的图像的特点

- (1) 质点振动  $nT$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) 或波传播  $n\lambda$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) 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  $(2n + 1)\frac{\lambda}{2}$  ( $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) 时, 它们的振动步调总相反。

## 2.1.5 5. 波的传播方向与质点振动方向的互判方法

	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	
微平移法	将波形图沿传播方向进行微小平移, 再由对应 x 轴上某一点的两波形曲线上的点来判定质点振动方向	

一列简谐横波以质点  $a$  为波源, 起初质点  $a$  在坐标原点处,  $t = 0$  时刻起振, 当  $t_1 = 0.3 \text{ s}$  时, 波恰好传到质点  $h$  处, 如图所示。



波的传播示意图

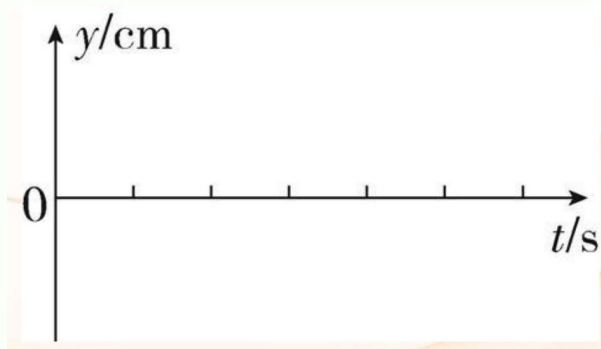
- (1) 质点  $d$  振动周期是 0.2 s, 振幅是 5 cm, 简谐横波的波长是 4 m, 波速是 20 m/s。
- (2)  $t_1 = 0.3 \text{ s}$  时, 质点  $a$  的振幅是 5 cm, 向 下 (选填 "上" 或 "下") 振动。质点  $a$  的起振方向是 竖直向上 (选填 "竖直向上" 或 "竖直向下")。
- (3)  $t_1 = 0.3 \text{ s}$  时, 平衡位置坐标为  $(0.5 \text{ m}, 0)$  的质点  $b$  的位移是  $\frac{5\sqrt{2}}{2} \text{ cm}$ , 振动方

向是 竖直向下 (选填 " 竖直向上 " 或 " 竖直向下 " ), 再经过 0.175 s 到达波峰。

(4)  $0 \sim 0.3$  s 内, 质点  $a$  通过的路程是 30 cm, 质点  $g$  通过的路程是 5 cm。

(5) 若波源振动频率变大, 则波速 不变, 波长 变小, 质点  $b$  振动周期 变小 (均选填 " 变大 " " 变小 " 或 " 不变 " )。

(6) 画出质点  $d$  的振动图像。



质点  $d$  振动图像坐标系

(7) 已知质点  $q$  (未画出) 的平衡位置坐标为  $(26 \text{ m}, 0)$ , 质点  $q$  第一次到达波谷是什么时刻?

## 2.2 考点 2 波传播的周期性和多解性问题

### 2.2.1 1. 造成波传播多解的主要因素

(1) 周期性

(1) 时间周期性: 时间间隔  $\Delta t$  与周期  $T$  的关系不明确。

(2) 空间周期性: 波传播距离  $\Delta x$  与波长  $\lambda$  的关系不明确。

(2) 双向性

(1) 传播方向双向性: 波的传播方向不确定。

(2) 振动方向双向性: 质点振动方向不确定。

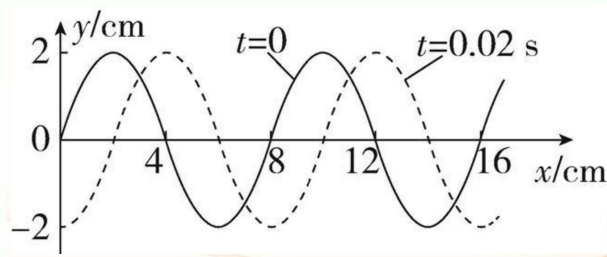
### 2.2.2 2. 解决波的多解问题的思路

(1) 首先找出造成多解的原因。

(2) 列多解性的关系式, 例如时间的关系式  $t = nT + \Delta t (n = 0, 1, 2, \dots)$ , 传播距离的关系式  $x = n\lambda + \Delta x (n = 0, 1, 2, \dots)$ 。

(3) 根据需要应用波速  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$  或  $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$  等有关规律求解。

(2024 届安徽滁州模拟) 一列简谐横波在  $t = 0$  时刻的波形如图中的实线所示,  $t = 0.02$  s 时刻的波形如图中虚线所示。若该波的周期  $T$  大于  $0.02$  s, 则该波的传播速度可能是 ()



波形图

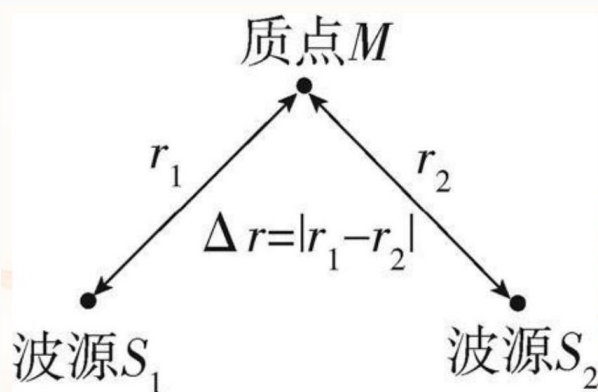
- A. 2 m/s
- B. 3 m/s
- C. 4 m/s
- D. 5 m/s

## 2.3 考点 3 波的干涉、衍射多普勒效应

### 2.3.1 1. 波的干涉现象中加强点、减弱点的判断方法

(1) 公式法

某质点的振动是加强还是减弱, 取决于该质点到两相干波源的距离之差的绝对值  $\Delta r$ , 如图所示。



波的干涉示意图

(1) 两波源振动步调一致

若  $\Delta r = n\lambda (n = 0, 1, 2, \dots)$ , 则振动加强; 若  $\Delta r = (2n + 1)\frac{\lambda}{2} (n = 0, 1, 2, \dots)$ , 则振动减弱。

## (2) 两波源振动步调相反

若  $\Delta r = (2n + 1)\frac{\lambda}{2} (n = 0, 1, 2, \dots)$ ，则振动加强；若  $\Delta r = n\lambda (n = 0, 1, 2, \dots)$ ，则振动减弱。

## (2) 图像法

(1) 在某时刻波的干涉的波形图上，波峰与波峰（或波谷与波谷）的交点，一定是加强点，而波峰与波谷的交点一定是减弱点。

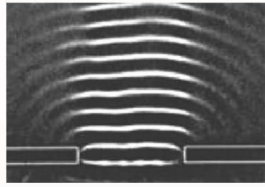
(2) 加强点与减弱点之间各质点的振幅介于加强点的振幅与减弱点的振幅之间。

(3) 各加强点（或减弱点）连接形成以两波源为中心向外辐射的线，即加强线（或减弱线），加强线与减弱线互相间隔。

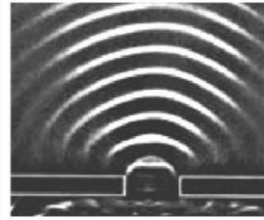
## 2.3.2 2. 波的衍射

(1) 定义：波绕过障碍物继续传播的现象。

(2) 产生明显衍射现象的条件：障碍物的尺寸或孔（缝）的宽度跟波长相差不多，或者比波长更小。



甲



乙

波长一定的水波通过宽度不同的狭缝

注意一切波都能发生衍射。衍射是波特有的现象。

## 2.3.3 3. 多普勒效应

(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) 现象：当波源与观察者相互靠近时，观察者接收到的频率增加；当波源与观察者相互远离时，观察者接收到的频率变小。

(2024 江西, 6, 4 分) 如图 (a) 所示, 利用超声波可以检测飞机机翼内部缺陷。在某次检测实验中, 入射波为连续的正弦信号, 探头先后探测到机翼表面和缺陷表面的反射信号, 分别如图 (b)、(c) 所示。已知超声波在机翼材料中的波速为  $6300 \text{ m/s}$ 。关于这两个反射信号在探头处的叠加效果和缺陷深度  $d$ , 下列选项正确的是 ( )

- A. 振动减弱;  $d = 4.725 \text{ mm}$   
 B. 振动加强;  $d = 4.725 \text{ mm}$   
 C. 振动减弱;  $d = 9.45 \text{ mm}$   
 D. 振动加强;  $d = 9.45 \text{ mm}$

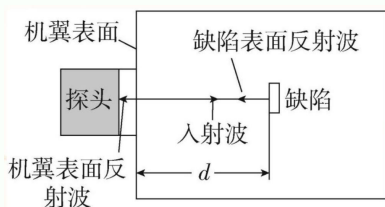


图 (a) 超声波检测原理示意图

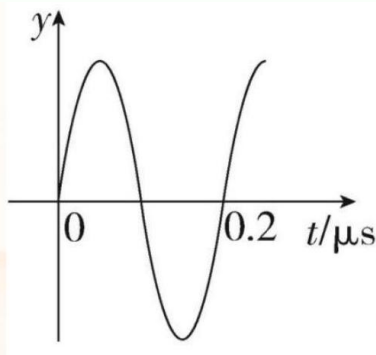


图 (b) 机翼表面反射信号

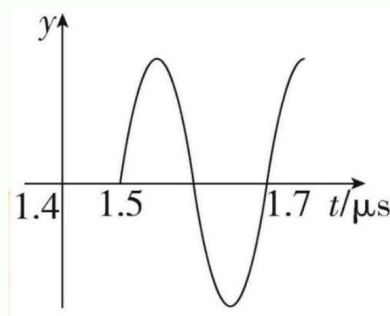


图 (c) 缺陷表面反射信号

### 3 微专题 14 波的图像和振动图像的综合应用

#### 3.1 题型 1 已知两质点的振动图像

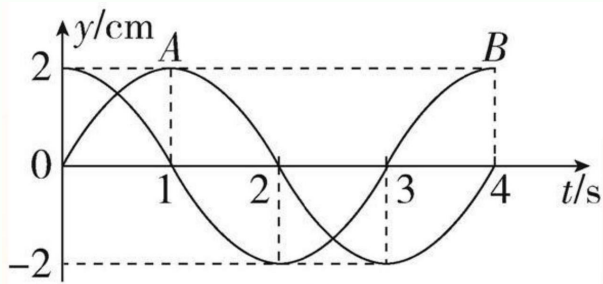
已知两质点振动图像确定波动情况时, 主要方法有两种。

方法一: 利用同一时刻两质点所在的位置画出小于一个波长的波形, 从而分析两质点距离与波长的关系。

方法二: 从图像中找到波分别传到两质点的时间间隔与周期的关系, 从而确定两质点距离与波长的关系。

(2024 届山西晋中模拟) 一列波长大于  $1 \text{ m}$  的横波沿着  $x$  轴正方向传播, 处在  $x_1 = 1 \text{ m}$  和  $x_2 = 2 \text{ m}$  的两质点  $A B$  的振动图像如图所示, 由此可知 ()

- A. 波长为  $\frac{4}{3} \text{ m}$   
 B. 波速为  $1 \text{ m/s}$   
 C.  $t = 3 \text{ s}$  时,  $A B$  两质点的位移相同  
 D.  $t = 1 \text{ s}$  时,  $A$  质点的振动速度大于  $B$  质点的振动速度



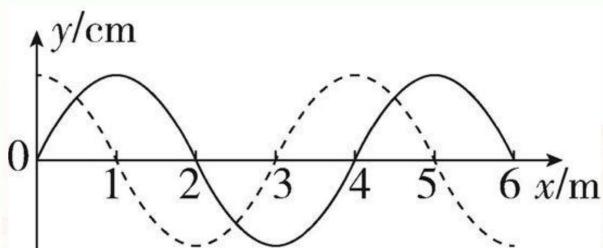
振动图像

### 3.2 题型 2 已知两时刻的波的图像

这类问题一般需要根据波在两个不同时刻的波形图来分析这列波的周期，再结合机械波的波长分析波传播的速度。

(多选) 如图所示，一列简谐横波沿  $x$  轴正方向传播，实线为  $t = 0$  时的波形图，虚线为  $t = 0.5$  s 时的波形图。已知该简谐波的周期大于 0.5 s。关于该简谐波，下列说法正确的是 ( )

- A. 波长为 2 m
- B. 波速为 6 m/s
- C.  $t = 1$  s 时， $x = 1$  m 处的质点处于波峰
- D.  $t = 2$  s 时， $x = 2$  m 处的质点经过平衡位置

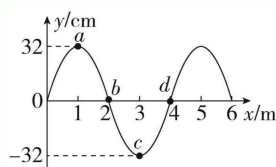


波形图

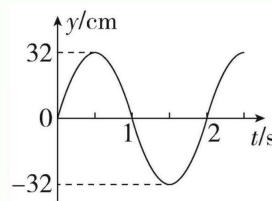
### 3.3 题型 3 已知某质点的振动图像和某时刻的波的图像

这类问题的解题关键是根据横坐标轴的物理量区分波的图像和振动图像，由振动图像读出周期，根据题目所给时刻质点的振动方向来判断这列波的传播方向，再由波的图像读出波长，求出波传播的速度，进而利用波动规律分析波动相关的问题，利用振动规律分析振动相关的问题。

(2024 届广东惠州模拟) 一列沿  $x$  轴方向传播的简谐横波, 在  $t = 0$  时刻的波形如图甲所示,  $a b c d$  为介质中的四个质点, 图乙为质点  $b$  的振动图像, 下列说法中正确的是 ( )



甲

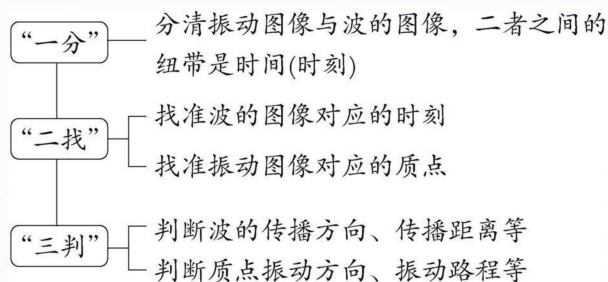


乙

- A. 该波的波速为  $8 \text{ m/s}$
- B. 该波沿  $x$  轴正方向传播
- C.  $t = 0.5 \text{ s}$  时, 质点  $a$  具有最大加速度
- D. 质点  $c$  在  $t = 1 \text{ s}$  时处于平衡位置, 并沿  $y$  轴负方向运动

### 3.4 提分关键·方法提升

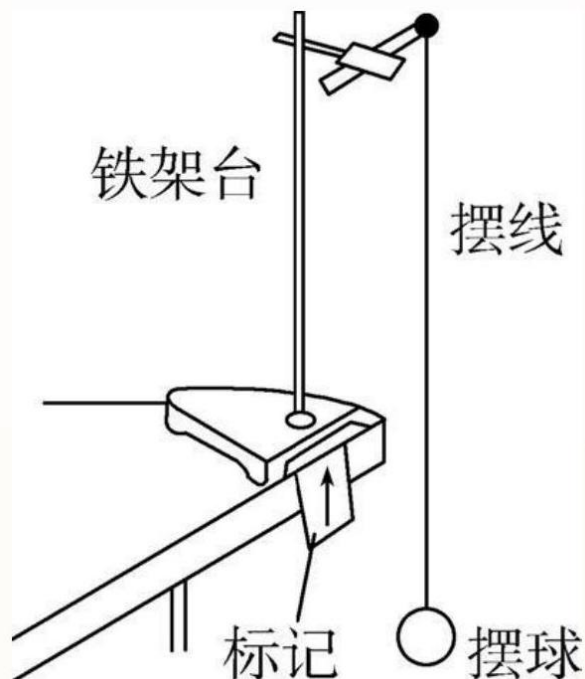
#### 3.4.1 三步求解波的图像与振动图像综合问题



解题步骤示意图

## 4 实验 用单摆测量重力加速度

### 4.1 一、实验原理及装置图



单摆实验装置

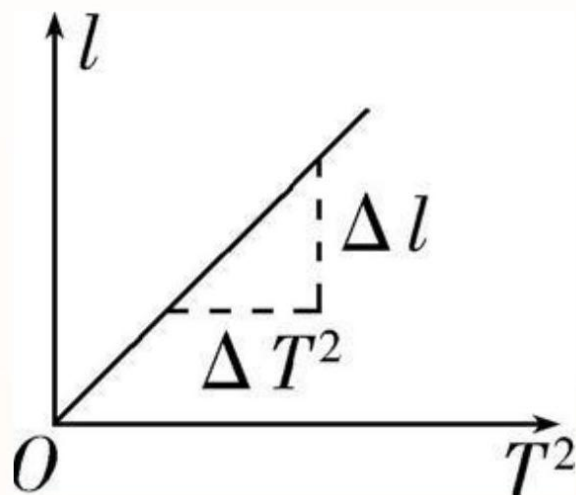
当摆角较小时，单摆做简谐运动，其运动周期  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ，由此得到  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ 。

## 4.2 二、操作要领及注意事项

1. 如何制作单摆：摆线顶端不能晃动，需用夹子夹住；摆线不可伸缩；摆球应选用质量大、体积小的金属球。
2. 如何测量摆长：应在摆球自然下垂时用毫米刻度尺测量摆线长，摆长为摆线长与摆球半径之和。
3. 如何计时并计算周期：单摆必须在同一竖直平面内摆动，且摆角小于  $5^\circ$ ；当摆球摆到平衡位置处开始计时，记录  $N$  次全振动的时间  $t$ ，周期  $T = \frac{t}{N}$ 。

## 4.3 三、数据处理

1. 公式法：利用  $T = \frac{t}{N}$  求出周期，然后利用公式  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$  求出一次实验的重力加速度，再求多次实验的重力加速度，然后取平均值。
2. 图像法：根据测出的一系列摆长  $l$  对应的周期  $T$ ，作  $l - T^2$  图像，由单摆周期公式得  $l = \frac{g}{4\pi^2} T^2$ ，图线应是一条过原点的倾斜直线，如图所示，求出图线的斜率  $k$ ，即可利用  $g = 4\pi^2 k$  求重力加速度。

 $l - T^2$  图像

#### 4.4 四、误差分析

项目	产生原因	减小方法
偶然误差	测量时间（单摆周期）及摆长时产生误差	(1) 多次测量取平均值 (2) 从单摆经过平衡位置时开始计时
系统误差	主要来源于单摆模型本身	(1) 摆球要选体积小、密度大的金属球 (2) 最大摆角不超过 $5^\circ$

#### 4.5 五、其他方案

方案一如图甲、乙所示，使用力传感器显示绳子拉力大小，根据拉力变化的周期性，可以测出单摆周期，进而得到重力加速度大小。

