

第15讲 外力作用下的振动和机械波

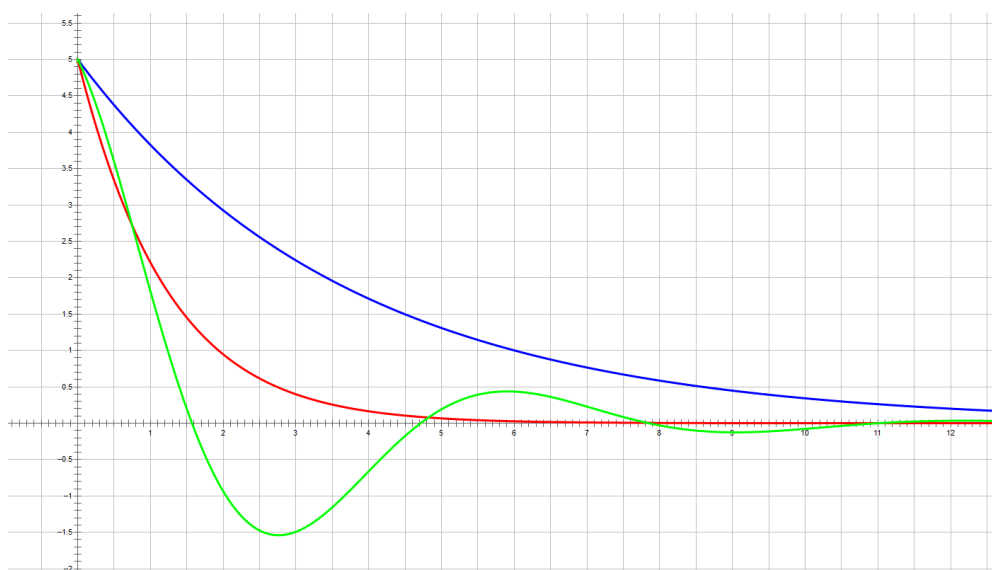
一、知识点睛

1. 外力作用下的振动

阻尼振动

不论是弹簧振子还是单摆，由于外界的介质阻力总是存在，在振动过程中要不断克服外界阻力做功，消耗能量，振幅就会逐渐减小，最后停下来。这种在阻力下，振幅逐渐减小的振动叫**阻尼振动**。

在一定的条件下，阻力的大小与物体速度的大小成正比，方向与速度相反，即 $f = -kv$ 。这样的情况下，阻尼振动有三种类型：欠阻尼、过阻尼、临界阻尼。如下图所示。 $x \sim t$ 图中的绿线对应**欠阻尼**，蓝线对应**过阻尼**，红线对应**临界阻尼**。其中临界阻尼对应的情况是，运动物体回到平衡位置并停在那里所需的时间最短。



而当阻尼很小时，在不长的时间内看不出振幅有明显的减小，于是可以把它当做简谐振动处理。前面的弹簧振子和单摆就属于这种情形。

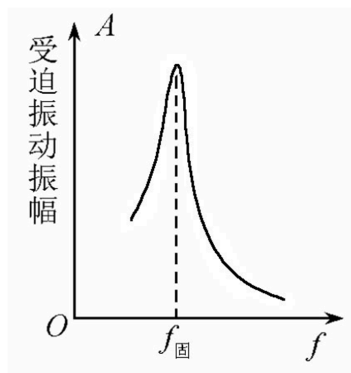
受迫振动和共振

阻尼振动最终要停下来，那么怎样才能产生持续的振动呢？最简单的办法是使周期性的外力作用于振动系统，外力对系统做功，补偿系统的能量损失，使系统的振动维持下去。这种周期性的外力就叫做

驱动力，系统在驱动力作用下的振动叫做**受迫振动**。

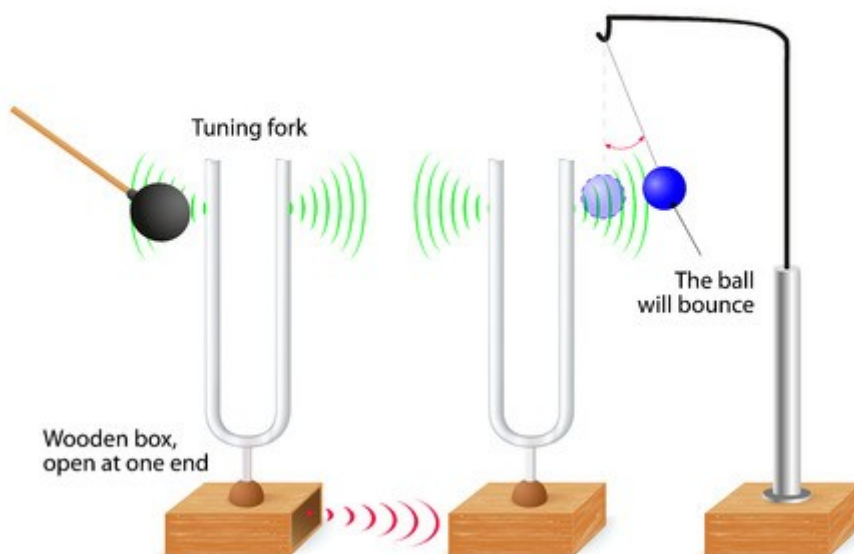
物体做受迫振动时，振动稳定后的节奏完全由驱动力确定，这表现为振动的角频率等于驱动力的角频率 ω ，跟物体的**固有频率** ω_0 没有关系。

实验表明，当系统做受迫振动时，如果驱动力的频率十分接近系统的固有频率，系统的振幅会很大。驱动力频率 f 等于系统的固有频率 f_0 时，受迫振动的振幅最大，这种现象叫做**共振**。



事实上，也可以这样理解，当强迫力的频率越接近系统的固有频率时，强迫力 F 与位移方向一致的机会就越多，单位时间内输入的能量就越多，阻尼耗散的能量会在较大的速度状态下得以平衡，所以系统稳定振动的能量会更大。因此可以断定，当强迫力的频率等于系统固有频率时，系统将有最大的振动振幅。强迫力的频率偏离系统的固有频率越大，振幅则越小。

RESONANCE



头脑风暴1

1 下列说法中正确的是 ()

- A. 实际的自由振动必然是阻尼振动
- B. 在外力作用下的振动是受迫振动
- C. 阻尼振动的振幅越来越小
- D. 受迫振动稳定后的频率与自身物理条件无关

答案 ACD

解析 略

2. 初识机械波

机械波和非机械波

什么是波动？投石入水，水面激起同心圆形波纹，由中心向四面八方传播开来，这是大家最熟悉的波动现象。如果投石于一潭死水，漂浮在水面上的树叶只在原处摇曳，并不随了波纹向外漂流。树叶的运动反映了载波的介质水并没有向外流动。那么，向外传播的是什么呢？实际上，向外传播的是水的振动状态，以及伴随它的能量。所以，波动是振动状态（能量）的传播。

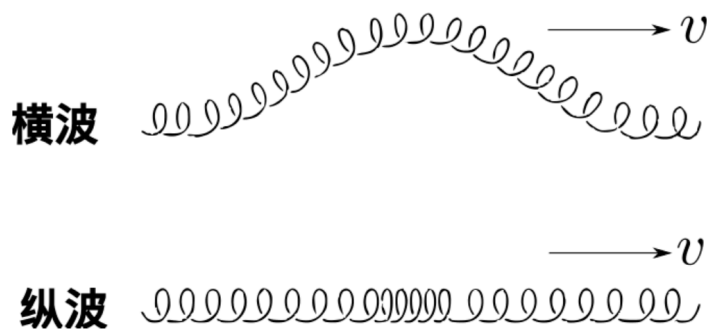
宏观系统中，某个物体的机械振动可激发起周围物质的振动，形成由近而远的机械波。初始振动的物体称为波源，被带动的周围物质则为波的传播介质。

非机械振动状态传播形成的波称为非机械波。电视台发射天线附近电磁场的变化，即电磁场的振动，可在大气中朝四面八方传播出去，形成的电磁波便是非机械波。电磁波可在**介质**（例如大气、水等）中传播，也可在**真空**（例如太阳到地球之间的太空）中传播。

横波和纵波

①**横波**：质点的振动方向与波的传播方向垂直。横波中，凸起的最高处叫波峰，凹下的最低处叫波谷。

②**纵波**：质点的振动方向与波的传播方向在同一直线上。纵波中，质点分布最密的地方叫密部，分布最疏的地方叫疏部。



如图，向右传播的机械波称为右行波。反之，则称为左行波。

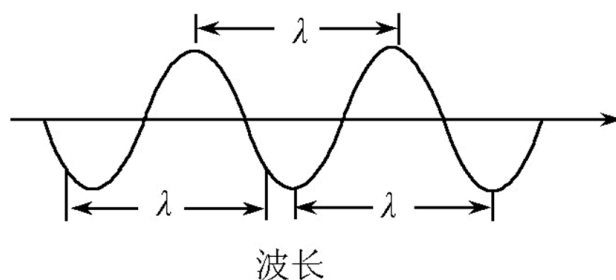
3. 描述机械波的物理量

(1) 周期 T 和频率 f

在波动中，介质中各个质点的振动周期或频率都是相同的，它们都等于波源的振动周期或频率，这个周期或频率也叫做波的周期 T 或频率 f 。（波的频率由振源决定，与介质无关。）

(2) 波长 λ

在波动中，振动步调总是相同的两个相邻质点间的距离，叫做波长，通常用 λ 表示。



在横波中，两个相邻的**波峰**（或**波谷**）之间的距离等于波长。

在纵波中，两个相邻的**密部**（或**疏部**）之间的距离等于波长。

(3) 波速 v

经过一个周期，振动在介质中传播的距离等于一个波长，所以定义波速 $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$ 。波速由介质决定，与振源无关。

(4) 波数 k

在理论物理中，波数指的是 2π 长度上出现的全波数目。所以定义波数 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 。

4. 机械波的图像



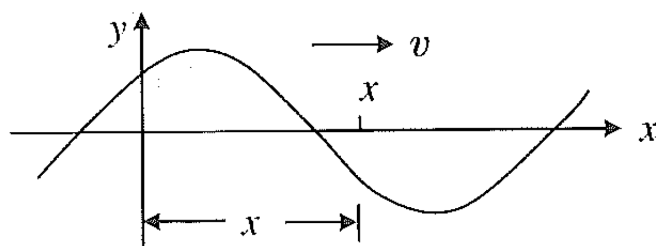
平面简谐波的运动方程

过去我们研究的是单个质点的运动情况，波却是很多质点的运动。为了表示这么多质点在同一时刻的运动情况，图象是一个很有用的工具。如果波源的扰动是简谐振动，那么在媒介中传播的波称为简谐波。如果简谐波是沿着一个确定的方向传播，便称为**平面简谐波**。

设一个沿正 x 方向传播的平面简谐波在某一时刻 t 的波形曲线，如图所示，波速为 v 。它可以是无吸收的无限媒介中沿正 x 方向传播的平面压缩简谐波（纵波），也可以是绳中正向传播的、波源作横向简谐振动的横波。图中 x 为波线上各质量元的平衡位置， y 为各质量元离平衡位置的位移。设 O 点处质量元的振动方程为

$$y_0 = A \cos \omega t$$

现在要写出波线上任意一点 x （指平衡位置为 x ）处的质量元在 t 时刻的位移。



因为振动是由 O 点传播到 x 点， x 点在 t 时刻的状态一定是由 O 点在 t 以前某一时刻的振动状态传过来的。这个时刻可以由 O 点到 x 点的距离和传播速度 v 确定，即 $t - \frac{x}{v}$ 时刻。所以时刻 t 点处的位移为：

$$y = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

也就是说，上述方程描述了波线上任一位置 x 在任一时刻 t 的位移。这就是我们所寻求的平面简谐波的运动方程。其中 A 为振幅， ω 为角频率， $\omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$ 为相位。

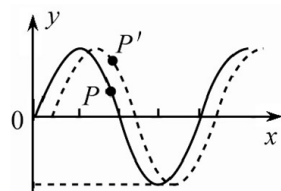
借助波数的定义式 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ，我们可以得到简谐波运动方程的另一种写法：

$$y = A \cos(\omega t - kx)$$

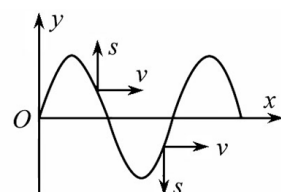
波上任意点的振动方向的判断方法

①带动法：首先，明确波的传播方向，确定波源方位；然后在质点 P 靠近波源一方附近（不超过 $\lambda/4$ ）图象上找另一点 P' ；若 P' 在 P 上方，则 P' 带动 P 向上运动，若 P' 在 P 下方，则 P' 带动 P 向下运动。

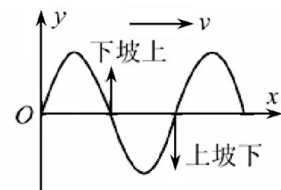
②微平移法：作出经微小时间 Δt ($\Delta t < T/4$) 后的波形，就知道了各质点经过 Δt 时间到达的位置，运动方向就知道了。



③同侧法：在波的图象上的某一点，沿水平方向画一个箭头表示波的传播方向，并设想在同一点沿竖直方向画出一个箭头表示质点振动方向，那么这两个箭头总是在曲线的同侧，其中 s 表示质点振动方向， v 表示波的传播方向。



④上下坡法：沿波的传播方向看，“上坡”的质点向下振动，“下坡”的质点向上振动，简称“上坡下，下坡上”。

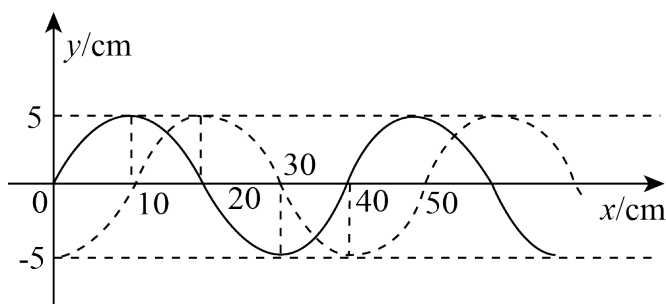


头脑风暴2

2 如图所示，曲线表示一列横波的传播，其中实线是 $t_1 = 1\text{s}$ 时的波形，虚线是 $t_2 = 2.5\text{s}$ 时的波形，且 $(t_2 - t_1)$ 小于一个周期，由此可以判断：

- ①波长一定为 40cm ；
- ②此波一定是向 x 轴正方向传播；
- ③振幅为 10cm ；
- ④周期可能为 6s ，也可能为 2s 。

其中正确的是 ()



- A. 只有②和③ B. 只有①和④ C. 只有①和② D. 只有①、②和③

答案 B

解析

①由图读出：质点的振幅 $A = 5\text{cm}$ ，波长 $\lambda = 40\text{cm}$ 。故①正确，⑤错误；

②根据波形的平移法得知，波不一定向 x 轴正方向传播，也可能向 x 轴负方向传播。故②错误；

③振幅是指偏离平衡位置的最大距离，由图知振幅为 5cm ，③错误；

④若波向 x 轴正方向传播时， $(t_2 - t_1)$ 小于一个周期，

根据波形的平移法可知， $t_2 - t_1 = \frac{1}{4}T$ ，得周期为 $T = 4(t_2 - t_1) = 4 \times 1.5\text{s} = 6\text{s}$ ；

若波向 x 轴负方向传播， $t_2 - t_1 = \frac{1}{4}T$ ， $T = 2\text{s}$ 。故④正确。

故选B。



辨析振动图像与波动图像

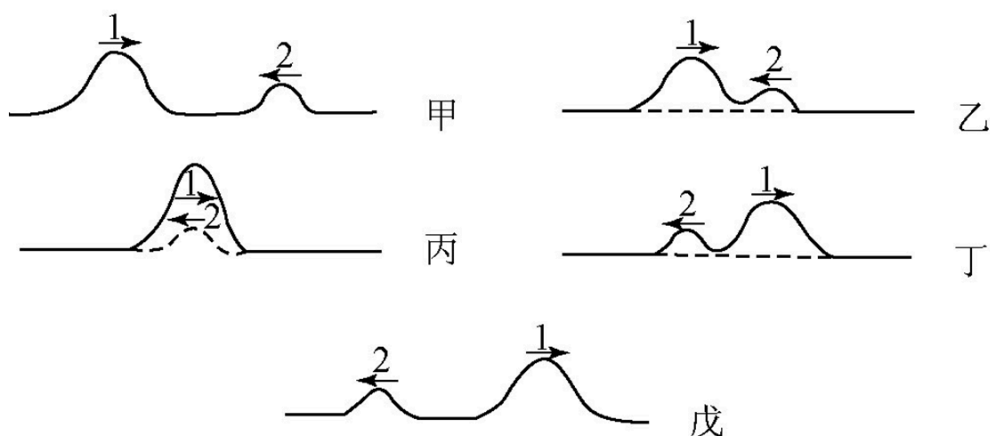
对比	振动图像	波动图像
研究对象	一个振动质点	波传播方向上的所有振动质点
形象比喻	记录着一个人一段时间内活动的录像带	记录着许多人某时刻动作表情的集体照片
图像形式		
物理意义	表示某质点各个时刻相对平衡位置的位移	表示某时刻各个质点相对平衡位置的位移
图像信息	①质点振动周期	①波的波长

	②质点振幅 ③各时刻此质点的位移 ④各时刻此质点的速度和加速度的方向	②质点振幅 ③各质点此时此刻的位移 ④各质点此时此刻的速度和加速度的方向 ⑤波的传播方向与振动方向互判
研究内容	一质点位移随时间的变化规律	某时刻所有质点的空间分布规律
图像变化	随着时间的推移，图象将沿着横坐标的正方向延伸，但已有图象不发生变化。	随着时间的推移，波的图象将沿波的传播方向平移，且每经过一个周期，图象又恢复到原来的形状。
两个相邻峰值沿横轴的间距	等于质点振动周期，显示出振动的时间对称性。	等于波的一个波长，显示出波动的空间对称性。

5. 波的干涉初步

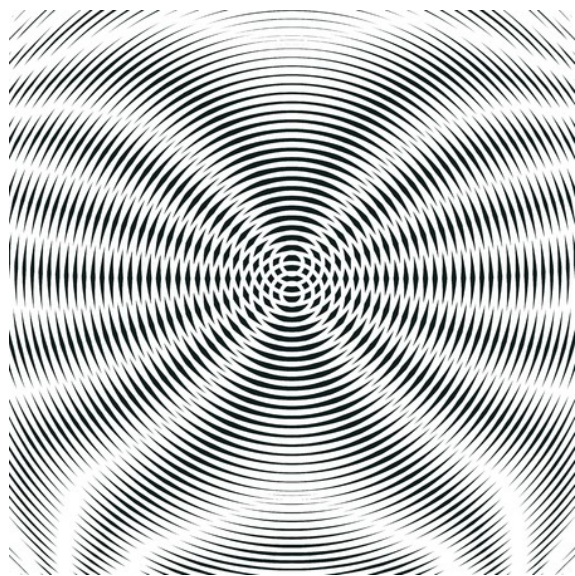
波的叠加原理

当两列波相遇时，每列波将保持原有的特性，即频率、振幅、波长、波速及振动方向不变，继续按原来的方向传播，它们互不干扰。在两列波的重叠区域内，介质中的质点同时参与两种振动，其振动的位移等于这两列波分别引起的位移的矢量和。这就是波的叠加原理。



波的干涉

频率相同的两列波叠加，使某些区域的振动加强，某些区域的振动减弱，并且振动加强和振动减弱的区域互相间隔的现象，叫做波的干涉。



在两振源的振动情况完全相同的情况下，讨论：

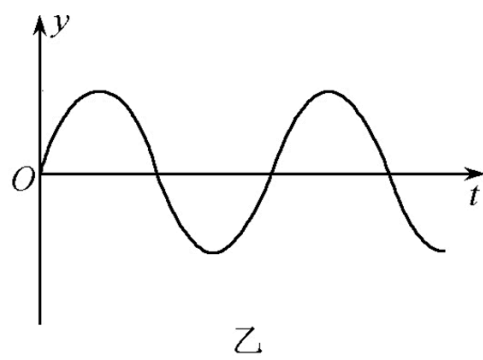
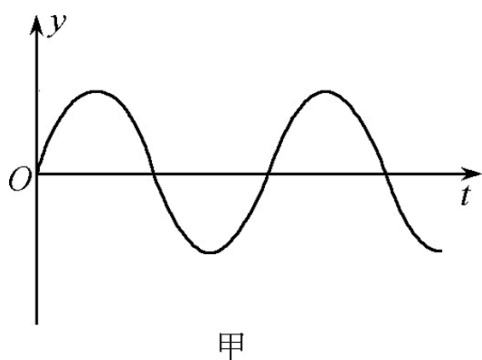
(1) 振动加强的条件：

参考点到两相干波源的距离差 $\Delta s = k\lambda$ ，其中 $k = 0, 1, 2, 3 \dots$ 。

从某时刻开始计时，参考点由波源 S_1 引起振动图象如图甲所示。

同样从该时刻计时，参考点由波源 S_2 引起振动图象如图乙所示。

两振动叠加后，振幅增大，振动加强。



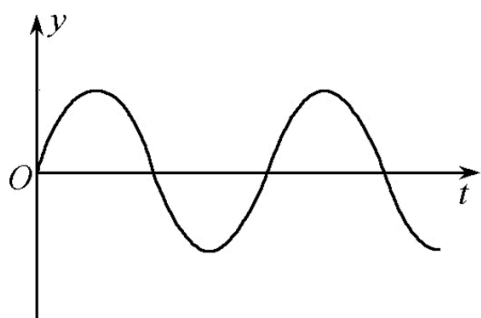
(2) 振动减弱的条件：

参考点到两相干波源的距离差 $\Delta s = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$ ，其中 $k = 0, 1, 2, 3 \dots$ 。

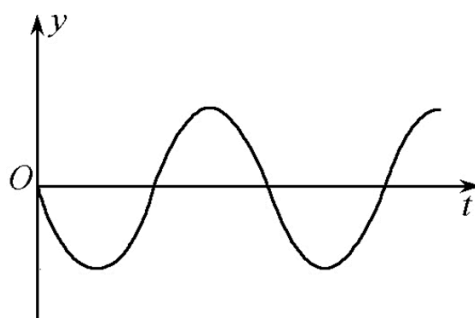
从某时刻开始计时，参考点由波源 S_1 引起振动图象如图丙所示。

同样从该时刻计时，参考点由波源 S_2 引起振动图象如图丁所示。

两振动叠加后，振动消失。



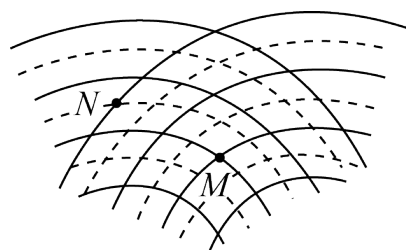
丙



丁

头脑风暴3

- 3 如图所示，两列水波发生干涉，某时刻， M 点波峰与波峰相遇， N 点波峰与波谷相遇，则下列说法中正确的是（ ）



- A. M 点的振动始终是加强的
- B. N 点的振动始终是减弱的
- C. M 点振动的位移不会为0
- D. M 点的振幅等于 N 点的振幅

答案 AB

解析 AC. M 点波峰与波峰相遇，总处于振动加强区域，振幅即为原来两振幅之和，但 M 点可能会振动到平衡位置，则此时位移为0，故A正确，C错误；

B. 由图知 N 点是波谷和波峰叠加，位移始终为0，即处于平衡位置，始终是振动减弱点，故B正确；

D. M 点的振幅大于 N 点的振幅，故D错误。

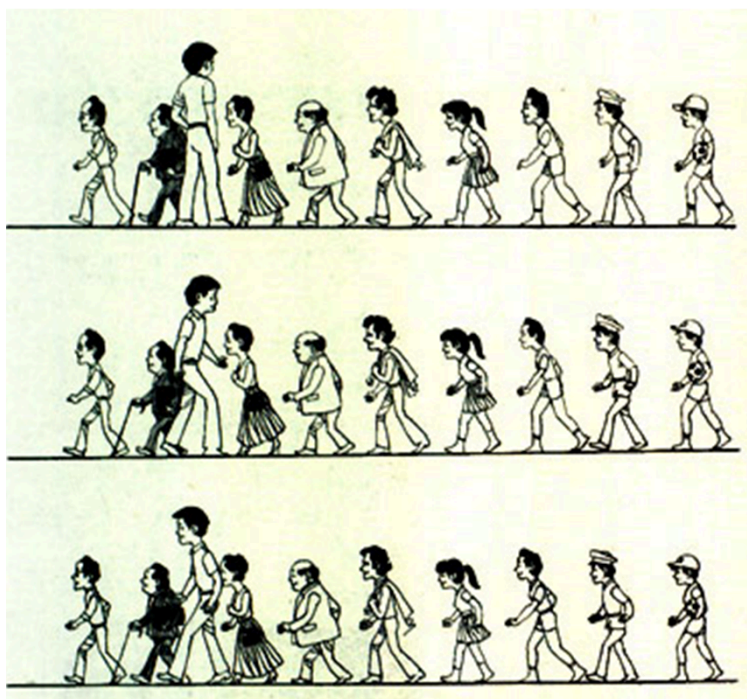
故选AB。

6. 波的多普勒效应

一辆汽车在我们身旁急驰而过，车上喇叭的音调有一个从高到低的突然变化；站在铁路旁边听列车的汽笛声也能够发现，列车迅速迎面而来时音调较静止时更高，而列车迅速离去时则音调较静止时更低。此外，若声源静止而观察者运动，或者声源和观察者都运动，也会发生收听频率和声源频率不一致

的现象。这种现象称为**多普勒效应**。

为了理解多普勒效应我们做了如下模拟实验：让一人沿街行走，观察者站在街旁不动，假设每分钟有30个人从他身边通过，这这种情况下的“过人频率”是30人每分。如果观察者逆着队伍行走，每分钟与观察者相遇的人数增加，也就是频率增加；反之，如果观察者顺着队伍行走，频率降低。



也就是说，在相对介质静止的参考系中，多普勒效应描述的频率变化对应以下几种情况：

- ①波源与观察者相对静止时，接收频率等于波源频率；
- ②波源与观察者相互靠近时，接收频率大于波源频率；
- ③波源与观察者相互远离时，接收频率小于波源频率。

头脑风暴4

4 下列关于多普勒效应的说法正确的是（ ）

- A. 只有声波才能发生多普勒效应
- B. 当波源与观察者相向运动时，波源自身的频率会变大
- C. 只要声源在运动，观察者听到的声音的音调变高
- D. 当声源相对观察者运动时，观察者听到的声音音调可能变高，也可能变低

答案 D

解析

- A. 多普勒效应不仅仅适用于声波，它也适用于所有类型的波，包括电磁波，故A错误；
 B. 波源与观察者相向运动时，波源自身的频率不会变化，故B错误；
 C. 在波源与观察者靠近时观察者接收到的波的频率变高，听到的音调变高，而在波源与观察者远离时接收频率变低，听到的音调变低，故C错误，D正确。
 故选D。

定量计算多普勒效应下的频率变化（选讲）

设波源、观察者以及它们的运动方向在同一直线上，并设观察者相对介质速度记为 v ，指向波源为正；波源相对于介质的速度记为 u ，指向观察者为正；介质中的波速为 V （在各向同性介质中， V 为恒量）。

（1）波源运动，观察者静止的情况，即 $u \neq 0, v = 0$ 。

若波源、观察者相对媒质静止时，声音的频率为：

$$f = \frac{V}{\lambda}$$

现在令波源运动，设波动周期为 T ，观察者在—个周期时间内接收到的波长为 $\lambda' = \lambda - uT$ ，因此，观察者接收到的频率为：

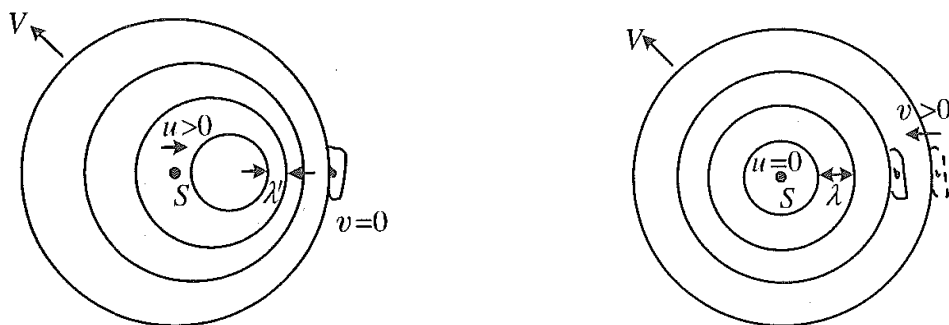
$$f' = \frac{V}{\lambda'} = \frac{V}{\lambda(1 - \frac{u}{V})} = \frac{f}{1 - \frac{u}{V}}$$

可见，当 $u > 0$ 时， $f' > f$ 。

（2）波源静止，观察者运动的情况，即 $u = 0, v \neq 0$ 。

在波源、观察者相对介质静止时，声频率 f 表示观察者在单位时间内所接收到的完整波的数目。现在观察者相对介质运动，速度为 v ，如图所示。因此在单位时间内接收完整波的数目为 $\frac{V+v}{\lambda}$ ，增加数为 $\frac{v}{\lambda}$ ，所以

$$f' = f + \frac{v}{\lambda} = f(1 + \frac{v}{V})$$



(3) 波源和观察者同时运动的情况，即 $u \neq 0, v \neq 0$ 。

如果把波源运动导致观察者接收频率的改变，看作除以一个压缩因子 $1 - \frac{u}{V}$ ，而观察者运动导致频率的改变，看作乘以一个**扩张因子** $1 + \frac{v}{V}$ ，那么，两者同时运动，就应该有表达式：

$$f' = f \cdot \frac{V + v}{V - u}$$

二、例题精讲

基础训练

- 5 某振动系统的固有频率为 f_0 ，在周期性驱动力的作用下做受迫振动，驱动力的频率为 f ，若驱动力的振幅保持不变，下列说法正确的是（ ）
- A. 当 $f < f_0$ 时，该振动系统的振幅随 f 的增大而减小
 - B. 当 $f > f_0$ 时，该振动系统的振幅随 f 的减小而增大
 - C. 该振动系统的振动稳定后，振动的频率等于 f_0
 - D. 该振动系统的振动稳定后，振动的频率等于 f

答案 BD

解析 A选项：当 $f = f_0$ 时，系统达到共振，振幅最大，故 $f < f_0$ 时，随 f 的增大，振幅增大，故A错误；

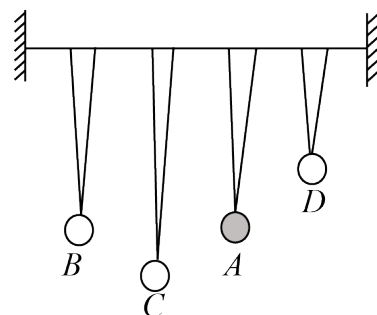
B选项：当 $f > f_0$ 时，随 f 的减小，驱动力的频率接近固有频率，故该振动系统的振幅增大，故B正确；

C选项：该振动系统的振动稳定后，振动的频率等于驱动力的频率，故C错误；

D选项：系统的振动稳定后，系统的振动频率等于驱动力的频率，故振动频率等于 f ，故D正确。

故选BD。

- 6 如图所示，在一根张紧的绳上挂四个单摆，其中摆球A的质量比其他三个摆球的质量大很多，它们的摆长关系为 $L_C > L_A = L_B > L_D$ 。当摆球A摆动起来后，通过张紧的绳的作用使其余三个摆球也摆动起来，达到稳定后，有（ ）

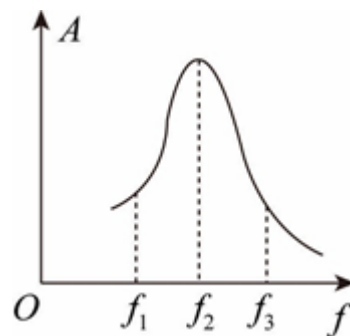


- A. 单摆 B 、 C 、 D 中 B 摆的振幅最大，但它们振动周期一样大
- B. 单摆 B 、 C 、 D 中 C 摆的振幅最大，振动周期也最大
- C. 单摆 B 、 C 、 D 的振幅一样大，振动周期也一样大
- D. 单摆 B 、 C 、 D 中各摆的振幅不同，振动周期也不同

答案 A

解析 在 A 球的作用下，三个球均以相同的频率做受迫振动，振动幅度与振动频率和固有频率的差值相关， B 球达到共振条件，因此振幅最大， A 正确。
 D 选项中 C 、 D 摆的振动幅度可能相同，因此 D 错误。
 故选 A 。

- 7 如图所示是一弹簧振子做受迫振动时的振幅与驱动力频率的关系，由图可知，下列不正确的是（ ）



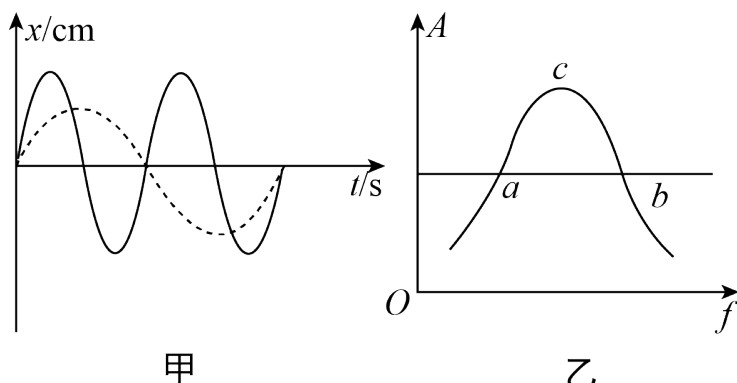
- A. 驱动力的频率为 f_2 时，振子处于共振状态
- B. 驱动力的频率为 f_3 时，振子的振动频率为 f_3
- C. 假如让振子自由振动，它的频率为 f_2
- D. 振子做自由振动时，频率可以为 f_1 、 f_2 、 f_3

答案 D

解析

- A. 由共振曲线可知，出现振幅最大，则固有频率等于受迫振动的频率，为 f_2 ．振子振动频率为 f_2 时，它处于共振状态．故A正确；
- B. 受迫振动的频率有驱动力频率决定，驱动力的频率为 f_3 时，振子振动的频率也为 f_3 ，故B正确；
- C. 当驱动力频率等于固有频率时，振子的振动幅度最大，故由图看出固有频率为 f_2 ．振子自由振动的频率由系统本身决定，为 f_2 ．故C正确；
- D. 振子作自由振动时，频率由系统本身决定，为 f_2 ．故D错误．
- 本题选择不正确的，故选：D．

8 某简谐振子，自由振动时的振动图象如甲图中实线所示，而在某驱动力作用下作受迫振动时，稳定后的振动图象如甲图中虚线所示，那么，此受迫振动对应的状态可能是图乙中的（ ）



- A. a点 B. b点 C. c点 D. 一定不是c点

答案 AD

解析 某简谐振子，自由振动时的振动图象如图甲中的实线所示，设周期为 T_1 ；

而在某驱动力作用下做受迫振动时，稳定后的振动图象如图甲中的虚线所示，设周期为 T_2 ；

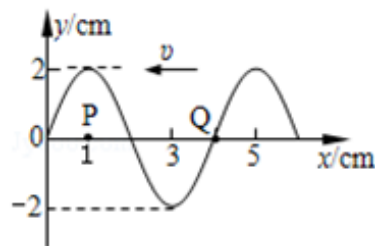
显然 $T_1 < T_2$ ，根据 $f = \frac{1}{T}$ ，有 $f_1 > f_2$ ；

图乙中c点是发生共振，驱动力频率等于固有频率 f_1 ；

当受迫振动时，驱动力频率为 $f_2 < f_1$ ，故此受迫振动对应的状态可能是图乙中的a点，不可能是b点或c点，故AD正确，BC错误．

故选AD．

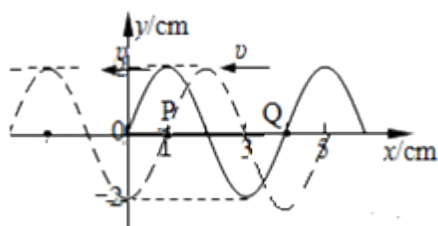
- 9 如图为一列沿 x 轴负方向传播的简谐横波在 $t = 0$ 时的波形图，当 Q 点在 $t = 0$ 的振动状态传至 P 点时（ ）



- A. Q 处的质点此时正在波峰位置
- B. Q 处的质点此时的加速度沿 y 轴的正方向
- C. Q 处的质点此时的振动速度比 P 处的大
- D. $1\text{cm} < x < 3\text{cm}$ 范围内的质点正在向 y 轴的负方向运动

答案 B

解析 A. 当 Q 点在 $t = 0$ 时的振动状态传到 P 点时， Q 点在 $t = 0$ 时的波沿也向左传到 P 点，波形图如图虚线；



所以 $x = 0\text{cm}$ 处质元在波谷， Q 处质元在波谷，故A错误；

B. Q 处质元在波谷，则此时的加速度沿 y 轴的正方向。故B正确；

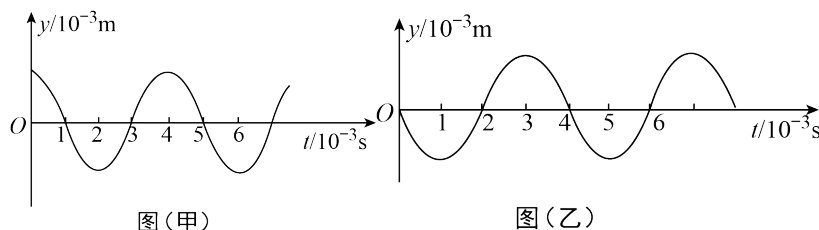
C. Q 处的质点此时的振动速度是0，而 P 处质点处于平衡位置，速度为最大。故C错误；

D. 该波向左传播，由上下坡法可知 $1\text{cm} < x < 2\text{cm}$ 范围内的质点正在向 y 轴的负方向运动；

$2\text{cm} < x < 3\text{cm}$ 范围内的质点正在向 y 轴的正方向运动。故D错误。

故选B。

- 10 一列简谐横波沿直线传播，在这条直线上相距 $d = 1.5\text{m}$ 的 A 、 B 两点，其振动图象分别如图中甲、乙所示。已知波长 $\lambda > 1\text{m}$ ，求这列波的波速 v 。



图(甲)

图(乙)

答案 500m/s ; 1500m/s ; 300m/s

解析 由振动图象读出 $t = 0$ 时刻 A 点位于波峰, B 点经过平衡位置向下运动, 根据波形得到,

若波从 A 传到 B , 则有 $d = \left(n + \frac{3}{4}\right) \lambda$, $n = 0, 1, 2, \dots$ 得 $\lambda = \frac{4d}{4n+3} = \frac{6}{4n+3} \text{m}$,

若波从 B 传到 A , 则有 $d = \left(n + \frac{1}{4}\right) \lambda$, $n = 0, 1, 2, \dots$ 得 $\lambda = \frac{4d}{4n+1} = \frac{6}{4n+1} \text{m}$,

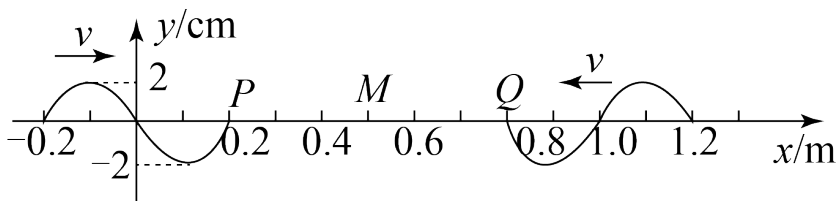
由题波长 $\lambda > 1\text{m}$, 则波长的取值为: 2m , 6m , 1.2m .

由图读出周期为 $T = 4 \times 10^{-3}\text{s}$, 根据波速公式 $v = \frac{\lambda}{T}$ 得:

波速的可能值为: 500m/s ; 1500m/s ; 300m/s .

答: 这列波的波速 v 可能为 500m/s ; 1500m/s ; 300m/s .

- 11 如图所示, 两列简谐横波分别沿 x 轴正方向和负方向传播, 两波源分别位于 $x = -0.2\text{m}$ 和 $x = 1.2\text{m}$ 处, 两列波的速度均为 $v = 0.4\text{m/s}$, 两列波的振幅均为 2cm . 图示为 $t = 0$ 时刻两列波的图象 (传播方向如图所示), 此刻平衡位置处于 $x = 0.2\text{m}$ 和 $x = 0.8\text{m}$ 的 P 、 Q 两质点刚开始振动. 质点 M 的平衡位置处于 $x = 0.5\text{m}$ 处, 下列说法正确的是 ()

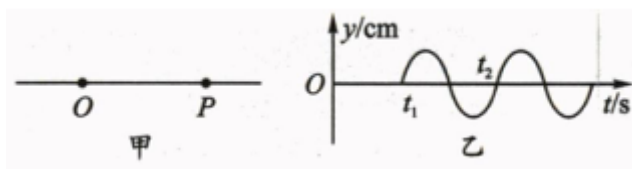


- A. $t = 0.75\text{s}$ 时刻, 质点 P 、 Q 都运动到 M 点
- B. 质点 M 的起振方向沿 y 轴负方向
- C. $t = 2\text{s}$ 时刻, 质点 M 的纵坐标为 -2cm
- D. 0 到 2s 这段时间内质点 M 通过的路程为 20cm
- E. M 点振动后的振幅是 4cm

答案 BDE

解析 略

- 12 如图甲所示， O 为波源， OP 间距为 s ， $t = 0$ 时刻 O 点开始由平衡位置向下振动，产生向右的沿直线传播的简谐横波，图乙表示 P 点振动的图像（从 t_1 时刻开始振动）。则以下说法正确的是（ ）

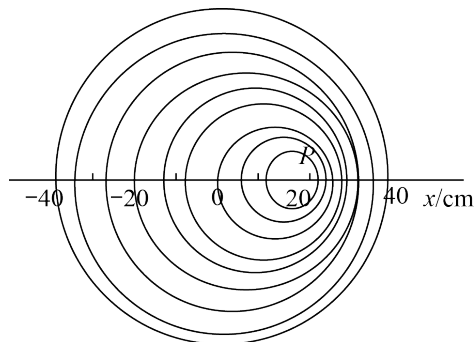


- A. 该波的波长为 $s(t_2 - t_1)/t_1$
- B. 该波与另一列频率为 $\frac{1}{t_2 - t_1}$ Hz 的同类波叠加不可能产生稳定的干涉现象
- C. 某障碍物的尺寸为 $\frac{s}{2t_1}(t_2 - t_1)$ ，该波遇到此障碍物时能产生明显的衍射现象
- D. 若波源 O 向右匀减速运动，靠近 P 点，则 P 点的观察者接收到的波的频率比实际高

答案 ACD

解析 周期为 $t_2 - t_1$ ，波速为 s/t_1 ，故波长为该波的波长为 $s(t_2 - t_1)/t_1$ ，A正确；
频率为 $\frac{1}{t_2 - t_1}$ Hz 的同类波与此波周期相同，故可以稳定干涉，B错误；
障碍物的尺寸 $\frac{s}{2t_1}(t_2 - t_1)$ 半个波长，故可以明显衍射，C正确；
多普勒效应，D正确。

- 13 如图所示，让小球 P 一边贴水面每秒振动5次，一边沿 x 轴正方向匀速移动， O 点是它的初始位置。图示为观察到的某一时刻的水面波，图中的实线表示水面波的波峰位置，此时小球 P 处于波峰位置，激起的第一个波峰刚好传到40cm处，那么水面波的传播速度及小球 P 匀速移动的速度分别是（ ）



- A. 0.05m/s，0.025m/s
- B. 0.1m/s，0.1m/s

C. 0.15m/s , 0.125m/s

D. 0.2m/s , 0.1m/s

答案 D

解析 由图可知 P 振动的时间为 2s , 波速 $= \frac{0.4\text{ m}}{2\text{ s}} = 0.2\text{m/s}$, P 点移动速度 $= \frac{0.2\text{ m}}{2\text{ s}} = 0.1\text{m/s}$.
故选 D .

进阶拓展

14 一个观察者在铁路近旁, 当火车迎面驶来时, 他听到的汽笛声频率为 $f_1 = 440\text{Hz}$, 当火车驶过他身旁后, 他听到的汽笛声的频率降为 $f_2 = 392\text{Hz}$. 如果知道大气中声速约为 $v = 330\text{m/s}$, 求火车速度 u .

答案 19m/s

解析 当火车驶近时, $f_1 = \frac{vf}{v-u}$; 当火车远离时, $f_2 = \frac{vf}{v+u}$; 联立解得: $u = \frac{f_1 - f_2}{f_1 + f_2}v \approx 19\text{m/s}$.

三、阅读材料

1. 音爆与马赫锥

物体运行速度接近音速时, 会有一股强大的阻力, 使物体产生强烈的振荡, 速度衰减。这一现象被俗称为音障(Sound Barrier)。突破音障时, 由于物体本身对空气的压缩无法迅速传播, 逐渐在物体的迎风面积累而终形成激波面, 在激波面上声学能量高度集中。这些能量传到人们耳朵里时, 会让人感受到短暂而极其强烈的爆炸声, 称为音爆(Sonic Boom)。



当声波波源以超声速运动时，波阵面将在波源后呈球面，球面的包络面为如同所示的锥面，锥角称为**马赫角**，可以计算出锥的半顶角 $\mu = \arcsin \frac{v_{\text{波}}}{v_{\text{源}}}$ 。当 $\mu = \frac{\pi}{2}$ 时，就会出现之前提到的音障现象。

