

步步为“赢” 决胜必修 2、动量专题（下）

教 师：宋晓垒

温馨提示：本讲义为 A4 大小，如需打印请注意用纸尺寸



爱护环境，从我做起，提倡使用电子讲义

目 录

动量和冲量及理解	2
动量定理	7
动量守恒定律分析	12
动量守恒定律应用	16
动量守恒定律的应用（二）	19
简谐运动及描述	24
典型的简谐运动及受力和能量	30
外力作用下的振动	34
机械波及其图象	37
波的特有现象	42

动量和冲量及理解

一、知识分析

(一) 动量

1. 动量：定义——动量 $p = m v$

(1) 动量是描述物体运动状态的一个状态量，它与时刻相对应。

(2) 动量是矢量，它的方向和速度的方向相同。

2. 动量的变化

(1) 动量的变化是矢量

(2) $\Delta p = p' - p$, Δp 的方向可以跟初动量 p 相同；可以跟初动量 p 的方向相反，也可以跟初动量的方向成某一角度。

(二) 冲量

冲量：定义——恒力的冲量 $I = F t$

(1) 冲量是描述力的时间积累效应的物理量，是过程量，它与时间相对应。

(2) 冲量是矢量，它的方向由力的方向决定（不能说和力的方向相同）。如果力的方向在作用时间内保持不变，那么冲量的方向就和力的方向相同。

当 F 为恒力时， I 的方向与力 F 的方向一致；当 F 为变力时， I 的方向只能由动量的增量方向确定。讲两个冲量相同，一定是指它们的大小和方向均相同；

(3) 力的冲量大小只取决于力的大小和力作用时间的长短，与物体的运动状态无关，无论物体是静止还是运动的，无论是直线运动，还是曲线运动。

(4) 求变力的冲量，不能直接用 $F \cdot t$ 求解，应该由动量定律根据动量的变化间接求解，也可以 $F-t$ 图像下的“面积”的计算方法求解。

(5) 冲量和功不同。恒力在一段时间内可能不作功，但一定有冲量。

(三) 对冲量和动量定的理解

1、区别动量与冲量：动量是一状态量，而冲量则是一过程量。合外力的冲量的大小决定一个物体的动量的变化量，但与某一具体状态的动量无关。

冲量是描述作用力在时间上的积累效果的物理量，也就是说冲量是定量地反映了力对物体作用一段时间的效果，是使物体的动量发生变化。即冲量是物体动量变化的原因（这相当于力是使物体速度发生变化，即产生加速度的原因），也是物体动量变化的量度。

冲量是一个过程矢量，它的方向即冲量的力的方向，冲量的大小等于力与该力作用过程所经历的时间的乘积。所以在谈到冲量时，一定要明确是哪个力、在哪段时间内的冲量。

动量是一个状态矢量，它的方向即物体此时的速度方向。在变速运动中，物体的速度时刻发生着变化，那么物体的动量也在时刻发生变化。当物体沿一直线运动时，动量变化情况可以在选定正方向的情况下，将矢量计算化为代数运算；

2、几个关系

(1) 速度与动量

(2) 动量与动能

(3) 力与冲量

二、典型题型：

例 1、质量为 m 的小球由高为 H 的光滑斜面顶端无初速滑到底端过程中，重力、弹力、合力的冲量各是多大？

例 2、关于冲量、动量及动量变化，下列说法正确的是：（ ）

- A. 冲量方向一定和动量变化的方向相同
- B. 冲量的大小一定和动量变化的大小相同
- C. 动量的方向改变，冲量方向一定改变
- D. 动量的大小不变，冲量一定为 0

例 3、在光滑水平面上水平固定放置一端固定的轻质弹簧，质量为 m 的小球沿弹簧所位于的直线方向以速度 V 运动，并和弹簧发生碰撞，小球和弹簧作用后又以相同的速度反弹回去。在球和弹簧相互作用过程中，弹簧对小球的动量变化量 ΔP 的大小和弹簧对小球所做的功 W 分别为（ ）

- A. $\Delta P=0$ 、 $W=mv^2$
- B. $\Delta P=2mv$ 、 $W=0$
- C. $\Delta P=mv$ 、 $W=mv^2/2$
- D. $\Delta P=2mv$ 、 $W=mv^2/2$

例 4、下列哪些论断是正确的？（ ）

- A. 某力 F 对物体没有做功，此力 F 对物体的冲量必为零；
- B. 如果物体的动能没有发生变化，此物体的动量也不可能发生变化；
- C. 静摩擦力可能做正功，也可能做负功，但滑动摩擦力只能做负功；
- D. 静摩擦力和滑动摩擦力都可能做正功，也都可能做负功。

三、针对训练：

1. 篮球运动员接传来的篮球时，通常要先伸出两臂迎接，手接触到球后，两臂随球迅速引至胸前。这样做可以

- A. 减小球对手的冲量
- B. 减小球的动量变化率
- C. 减小球的动量变化量
- D. 减小球的动能变化量

2. 一物体竖直向上抛出，从开始抛出到落回抛出点所经历的时间是 t ，上升的最大高度是 H ，所受空气阻力大小恒为 F ，则在时间 t 内

- A. 物体受重力的冲量为零
- B. 在上升过程中空气阻力对物体的冲量比下降过程中的冲量小
- C. 物体的初动量大于落地时的末动量
- D. 物体机械能的减小量等于 FH

3. 恒力 F 作用在质量为 m 的物体上，如图 1 所示，由于地面对物体的摩擦力较大，没有被拉动，则经时间 t ，下列说法正确的是

- A. 拉力 F 对物体的冲量大小为零
- B. 拉力 F 对物体的冲量大小为 Ft
- C. 拉力 F 对物体的冲量大小是 $Ft\cos\theta$
- D. 合力对物体的冲量大小为零

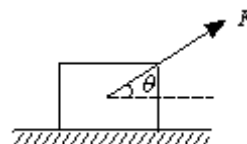


图 1

4. 如 2 图所示，两个质量相等的物体在同一高度沿倾角不同的两个光滑斜面由静止自由滑下，到达斜面底端的过程中，两个物体具有的相同的物理量是

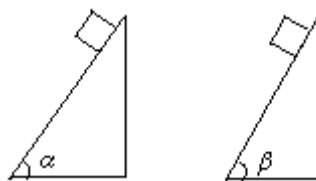


图 2

- A. 重力的冲量
- B. 合力的冲量
- C. 刚到达底端时动量的水平分量
- D. 以上几个量都不同

5. 如 3 图所示，木块 A 和 B 叠放于水平面上，轻推木块 A ， B 会跟着 A 一起运动，猛击 A 时， B 则不再跟着 A 一块运动，以上事实说明

- A. 轻推 A 时， A 对 B 的冲量小
- B. 轻推 A 时， A 对 B 的冲量大
- C. 猛击 A 时， A 对 B 的作用力小
- D. 猛击 A 时， A 对 B 的作用力大

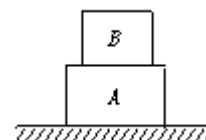


图 3

6. 质量为 $m=0.10\text{ kg}$ 的小钢球以 $v_0=10\text{ m/s}$ 的水平速度抛出，下落 $h=5\text{ m}$ 时撞击一钢板，撞后速度恰好反向，则钢板与水平面的夹角 $\theta=$ _____。刚要撞击钢板时小球的动量大小为_____。(取 $g=10\text{ m/s}^2$)

7. 一个物体的质量是 2 kg ，沿竖直方向下落，以 10 m/s 的速度碰到水泥地面上，随后又以 8 m/s 的速度被反弹回，若取竖直向上为正方向，则小球与地面相碰前的动量是_____ $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ ，相碰后的动量是_____ $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ ，小球的动量变化是_____ $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 。

课堂检测

1. 关于冲量、动量及其增量的下列说法中正确的是 ()

- A. 冲量的方向一定和动量方向相同；
- B. 冲量的大小一定和动量的增量大小相同；
- C. 动量增量的方向一定和动量方向相同；
- D. 动量增量的大小一定和动量大小的增量相同。

2. 对于任何一个质量不变的物体，下列说法中正确的是 ()

- A. 物体的动量发生变化，其速率一定变化
- B. 物体的动量发生变化，其速率不一定变化
- C. 物体的速率发生变化，其动量一定变化
- D. 物体的速率发生变化，其动量不一定变化

3. 下列关于动量的论述中正确的是 ()

- A、质量大的物体动量一定大 B、速度大的物体动量一定大
C、两物体动能相等，动量不一定相等 D、两物体动能相等，动量一定相等

4. 关于物体的动量和动能，下列说法中正确的是 ()

- A、一物体的动量不变，其动能一定不变
B、一物体的动能不变，其动量一定不变
C、两物体的动量相等，其动能一定相等
D、两物体的动能相等，其动量一定相等

5. 两个具有相等动量的物体 A、B，质量分别为 m_A 和 m_B ，且 $m_A > m_B$ ，比较它们的动能，则 ()

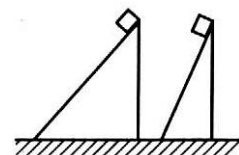
- A、B 的动能较大 B、A 的动能较大
C、动能相等 D、不能确定

6. 甲、乙两物体的质量之比为 $m_{甲}:m_{乙}=1:4$ ，若它们在运动过程中的动能相等，则它们动量大小之比 $p_{甲}:p_{乙}$ 是 ()

- A、1:1 B、1:2 C、1:4 D、2:1

7. 如图所示，两个质量相等的物体在同一高度沿倾角不同的两个光滑斜面由静止自由滑下，到达斜面底端的过程中，两个物体具有的相同的物理量是 ()

- A、重力的冲量 B、弹力的冲量
C、合力的冲量 D、刚达到底端时的动量
E、刚达到底端时动量的水平分量 F、以上几个量都不对



8. 质量为 2 kg 的物体作竖直上抛运动，4s 后回到出发点，不计空气阻力，在此过程中物体动量的改变和所受的冲量分别为 (g 取 10m/s^2) ()

- A、 $80\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 和 $80\text{N}\cdot\text{s}$ ，方向均为竖直向下
B、 $80\text{kg}\cdot\text{m/s}$ ，方向竖直向上， $80\text{N}\cdot\text{s}$ ，方向竖直向下
C、 $40\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 和 $40\text{N}\cdot\text{s}$ ，方向均为竖直向下
D、 $80\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 和 $40\text{N}\cdot\text{s}$ ，方向均为竖直向下

9. 质量不等的两个物体静止在光滑的水平面上，两物体在外力作用下获得相同的动能，则下列说法中正确的是 ()

- A、质量大的物体动量变化小 B、质量大的物体受到的冲量大
C、质量大的物体末动量小 D、质量大的物体动量变化率一定大

10. 从水平地面上方同一高度处，使 a 球竖直上抛，使 b 球平抛，且两球质量相等，初速度大小相同，最后落于同一水平地面上（空气阻力不计）。下列说法中正确的是（ ）

- A、两球着地时的动量相同 B、两球着地时的动能相同
C、重力对两球的冲量相同 D、重力对两球所做的功相同

11. 放在水平桌面上的物体质量为 m ，用一个水平推力 F 推它，作用时间为 t ，物体始终不动，那么在 t 时间内，推力对物体的冲量应为_____。

12. 以初速度 $v_0=40\text{m/s}$ 竖直向上抛出物体，质量为 4kg 则第 2 秒末的动量为_____ $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ ，第 5 秒末动量为_____ $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ ，从第 2 秒末到第 5 秒末动量的变化量为_____ $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ (g 取 10m/s^2)。

针对训练参考答案

一、1、B 2、D 3、BC 4、BD 5、D 6、B

二、8、 45° ； $\sqrt{2}\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 小球撞击后速度恰好反向，说明撞击前速度与钢板垂直。利用这一结论可求得钢板与水平面的夹角 $\theta=45^\circ$ ，利用平抛运动规律（或机械能守恒定律）可求得小球与钢板撞击前的速度大小 $v=\sqrt{2}v_0=10\sqrt{2}\text{ m/s}$ ，因此其动量的大小为 $p=mv=\sqrt{2}\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 。

9. -20; 16; 36

检测答案

1、b 2、BC 3、C 4、A 5、A 6、B 7、F 8、A 9、B 10、BD

11、答案：Ft 12、答案：80，-40，-120

动量定理

一、基础知识:

(1) 内容: 物体所受的合外力冲量等于它的动量的变化。

(2) 公式: $Ft = p' - p$ 或 $Ft = mv' - mv$

(3) 应用: ①应用动量定理解释有关现象

②应用动量定理解决有关问题

(4) 注意:

①动量定理主要用来解决一维问题, 解题时必须先规定正方向, 公式中各矢量的方向用正、负号来体现。

②动量定理不仅适用于恒力作用, 也适用于变力作用。

③动量定理对于短时间作用(如碰撞、打击等)更能显示它的优越性。

④由动量定理可得到 $F = \frac{\Delta P}{\Delta t}$, 这是牛顿第二定律的另一种表达形式: 作用力 F 等于物体的动量变化率 $\frac{\Delta P}{\Delta t}$

二、典型题型:

1、动量定理的定性应用

例1、玻璃杯从同一高度落下, 掉在石头上比掉在草地上容易碎, 这是由于玻璃杯与石块的撞击过程中 ()

A. 玻璃杯的动量较大

B. 玻璃杯受到的冲量较大

C. 玻璃杯的动量变化较大

D. 玻璃杯的动量变化较快

2、动量定理的正确运用

例2、一人做“蹦极”运动, 用原长15 m的橡皮绳拴住身体往下跃, 若此人质量为50kg, 从50m高处由静止下落, 至运动停止所用时间为4s, 则橡皮绳对人的平均作用力约为_____。(g取10 m/s²)

例3、杂技演员从5 m 高处落下, 落到安全网上, 经过1.2 s 速度为零。已知演员的质量为60kg, g=10m/s², 求演员从接触网开始到速度为零的过程中受到网的平均作用力为_____N

3、用动量定理求变力冲量

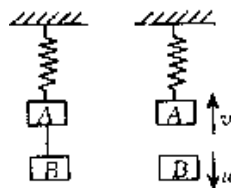
例4、物块A和B用轻绳相连悬在轻弹簧下端静止不动, 如图所示; 连接A和B的绳子被烧断后, A上升到某位置时速度的大小为v, 这时B下落的速度大小为u, 已知A和B的质量分别为m和M, 则在这段时间里, 弹簧的弹力对物块A的冲量为 ()

A. mv

B. mv - Mu

C. mv + Mu

D. mv + mu



三、针对训练

- 1、跳远时，跳在沙坑里比跳在水泥地上安全，这是由于（ ）
 - A. 人跳在沙坑的动量比跳在水泥地上小
 - B. 人跳在沙坑的动量变化比跳在水泥地上小
 - C. 人跳在沙坑受到的冲量比跳在水泥地上小
 - D. 人跳在沙坑受到的冲力比跳在水泥地上小
- 2、某物体受到一个 $-6\text{N}\cdot\text{s}$ 的冲量作用，则（ ）
 - A. 物体的动量一定减小
 - B. 物体的末动量一定是负值
 - C. 物体的动量增量方向一定与规定的正方向相反
 - D. 物体原来动量的方向一定与这个冲量的方向相反
- 3、在以下几种运动中，相等时间内物体的动量变化相同的是（ ）
 - A. 匀速圆周运动
 - B. 自由落体运动
 - C. 平抛运动
 - D. 竖直上抛运动
- 4、一个运动物体，从某时刻起仅受一恒定阻力作用而逐渐减速，直到停止，这段运动时间由下列的哪个物理量完全决定（ ）
 - A. 物体的初速度
 - B. 物体的质量
 - C. 物体的初动量
 - D. 物体的初动能

（该题考查动量定理的简单运用）

- 5、甲、乙两物体均做加速度恒定的变速运动，且 $a_{\text{甲}} > a_{\text{乙}}$ ，若在相同的时间内，其动量变化量相同，则它们所受的合外力 $F_{\text{甲}}$ 和 $F_{\text{乙}}$ 的大小关系为（ ）
 - A. $F_{\text{甲}} > F_{\text{乙}}$
 - B. $F_{\text{甲}} = F_{\text{乙}}$
 - C. $F_{\text{甲}} < F_{\text{乙}}$
 - D. 条件不足，无法判断

（运用动量定理加以比较）

- 6、质量为 1.0kg 的小球从高 20m 处自由下落到软垫上，反弹后上升到最大高度为 5.0m 。小球与软垫接触的时间为 1.0s ，在接触时间内小球受到合力的冲量大小为(空气阻力不计， g 取 10m/s^2)（ ）
 - A. $10\text{N}\cdot\text{s}$
 - B. $20\text{N}\cdot\text{s}$
 - C. $30\text{N}\cdot\text{s}$
 - D. $40\text{N}\cdot\text{s}$

（该题考查动量定理的正确运用，解题时注意动量定理的矢量性，先规定正方向然后列方程求解。）

- 7、一物体静止在水平地面上，当用大小为 F 的水平恒力拉它时，产生的加速度为 a ，在 F 作用下经过时间 t ，它的速度的变化量 Δv ， F 对它的冲量为 I ， F 对它做的功为 W ，若改用 $2F$ 的水平恒力拉它，仍由静止开始，经过相同的时间，则（ ）
 - A. 它的加速度一定为 $2a$
 - B. 它的速度的变化量一定为 $2\Delta v$
 - C. 力对它的冲量一定为 $2I$
 - D. 力对它做的功一定为 $2W$

（该题考查冲量和功的计算以及牛顿第二定律和动量定理简单应用）

8、一个质量为 m 的物体做竖直上抛运动，测得物体从开始抛出到落回抛出点所经历的时间为 t ，若该物体升高的高度为 H ，所受空气阻力忽略不计，则下列结论正确的是（ ）

- A. 在时间 t 内，该物体受重力的冲量为零
- B. 在时间 t 内，上升过程中重力对物体的冲量与下落过程中重力对物体的冲量反向
- C. 在时间 t 内，该物体动量变化量的数值等于零
- D. 在时间 t 内，物体动量变化量的数值为 $2m\sqrt{2gH}$

（该题考查冲量的概念和动量变化量的计算，解题时要注意动量变化量的矢量性）

9、一沿直线轨道运动的质点，初始速率为 V_1 ，受到外力的冲量 I 作用后，速率变为 V_2 ，仍在同一直线轨道上运动。取 V_1 的方向为正方向，则此质点受冲量作用后的末动能 E_{k2} 与初动能 E_{k1} 之差 $E_{k2}-E_{k1}$ 不可能是（ ）

- A. $\frac{1}{2}I(V_1+V_2)$
- B. $-\frac{1}{2}I(V_1+V_2)$
- C. $\frac{1}{2}I(V_1-V_2)$
- D. $-\frac{1}{2}I(V_1-V_2)$

（该题考查动量定理的矢量性，解题时要考虑末速度的方向有可能跟初速度的方向相同或相反，还要注意弄清动能与动量的大小关系）

10、试通过估算，说明鸟类对飞机飞行的威胁。设飞鸟的质量 $m=1\text{kg}$ ，飞机的飞行速度为 $v=500\text{ m/s}$ 。鸟与飞机相撞的时间为 $5\times 10^{-3}\text{s}$ ，冲击力约为（ ）

- A. 10^4 N
- B. 10^5 N
- C. 10^6 N
- D. 10^7 N

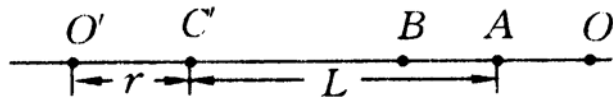
（该题考查动量定理在实际问题中的应用，解题时以飞机作为参照物，对飞鸟运用动量定理）

11. 据报道，一辆轿车高速强行超车时，与迎面驶来的另一辆轿车相撞。两车相撞后连为一体，两车身因碰撞挤压，皆缩短了约 0.5 m ，据测算相撞时两车车速均约 100km/h ，试求碰撞过程中车内质量是 60 kg 的人受到的平均冲击力约为多少？（运算过程及结果均保留两位有效数字）

（该题考查动量定理在实际问题中的应用，解题时应建立正确的物理模型，在碰撞过程中轿车可视为匀减速运动，求出相撞时间，再对人运用动量定理）

高考实战

1、(09·重庆·23) 2009 年中国女子冰壶队首次获得了世界锦标赛冠军，这引起了人们对冰壶运动的关注。冰壶在水平冰面上的一次滑行可简化为如下过程：如题 23 图，运动员将静止于 O 点的冰壶（视为质点）沿直线 OO' 推到 A 点放手，此后冰壶沿 AO 滑行，最后停于 C 点。已知冰面各冰壶间的动摩擦因数为 μ ，冰壶质量为 m ， $AC=L$ ， $CO'=r$ ，重力加速度为 g



- (1) 求冰壶在 A 点的速率；
- (2) 求冰壶从 O 点到 A 点的运动过程中受到的冲量大小；

课堂检测

- 1 鸡蛋从一米高处落到地板肯定会被打破，如果在地板上放一块海棉垫，鸡蛋就不会打破。
 - A. 掉在地板上，鸡蛋的动量大
 - B. 掉在地板上，鸡蛋动量变化
 - C. 掉在地板上，鸡蛋受到的冲量大
 - D. 掉在地板上，鸡蛋受到的作用力大
2. 关于物体所受的合力的冲量方向，下列说法中正确的是
 - A. 可能与初动量同向。
 - B. 可能与末动量同向
 - C. 一定与动量变化量同向
 - D. 可能与动量变化量方向相反
3. 甲乙两个质量相等的物体，以相同的初速度在粗糙程度不同的水平面上运动，甲物体先停下来，乙物体后停下来，则
 - A. 甲物体受到的冲量大，
 - B. 乙物体受到的冲量大
 - C. 两物体受到的冲量相等
 - D. 甲物体受到的摩擦阻力大
4. 下列说法正确的是
 - A. 物体做匀速直线运动时，物体受到的合力的冲量为零。
 - B. 当物体受到合外力为零时，物体的动量为零。
 - C. 作用在物体上的合外力越小，物体的动量变化量越小。
 - D. 做平抛运动的物体，在相等时间里动量变化相等。
5. 对任何运动的物体，用不变力制动使它停下来，所需要时间决定于物体的
 - A. 速度
 - B. 加速度
 - C. 动量
 - D. 质量

6. 某物体受到一个 $-6\text{N}\cdot\text{s}$ 的冲量作用, 则
- 物体的动量增量一定与规定的正方向相反。
 - 物体原来的动量方向一定与这个冲量方向相反。
 - 物体的末动量一定是负值。
 - 物体的动量一定减少。
7. 一质量为 m 的物体静止在地面上, 经过了时间 t , 在这一过程中, 重力的冲量是_____, 合力的冲量是_____。
8. 以速度 v_0 平抛一个质量为 1kg 的物体, 若抛出 3s 后它没有与地面和其他物体相碰, 不计空气阻力, 则在这 3s 内该物体动量的变化大小是_____。
9. 质量是 m 的物体, 从距地面 h 处以水平速度 v 抛出, 不计空气阻力, 则物体在全部飞行过程中受到的冲量为_____, 方向_____。
10. 一个足球的质量为 0.7kg , 当它以 2m/s 的水平速度飞来时, 运动员将球顶回, 足球以 1.5m/s 的速度向相反方向飞去。如果顶球的时间是 0.1s , 则运动员对球施加的力多大?
11. 一个物体静止在水平地面上, 它和地面之间的动摩擦因数为 $\mu=0.2$, 这物体受到一个跟它重力相等的水平力作用, 3s 后撤去该力, 则该物体还要经过多长时间才会停下来。

检测答案:

- 1、D 2、ABC 3、CD 4、AD 5、C 6、A 7、 mgt ; 0 8、 $30\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 9、 $m\sqrt{2gh}$; 竖直向下
10、 24.5N 11、 12s

动量守恒定律分析

一、基础知识

1、正确理解内力和外力

(1) 内力和外力是相对于系统而划分的力，系统内部物体之间的相互作用力为内力，系统之外的物体对系统中的物体的作用，即外部物体对系统的力叫做外力。内力和外力的划分既不反映力的性质，也不反映力的效果，仅是对系统内、外而言的力。

(2) 内力与外力改变动量的作用不同，内力只能改变系统内部各个物体的动量，但不能改变系统的总动量；外力可以改变系统的总动量。

2、动量守恒定律的理解

(1) 会从动量定理和牛顿第三定律推导出动量守恒定律

A、推导过程：

B、说明：动量守恒定律是一条独立的实验定律，比牛顿定律发现得早，并不是牛顿由定律得出的。

(2) 动量守恒定律的内容

(一个系统不受外力或者所受外力之和为零，这个系统的总动量保持不变)

A、系统：由相互作用的物体所组成的整体叫做系统。这是动量守恒定律研究的对象。

B、外力：系统以外的其他物体对系统内物体的作用力称外力或系统外力。

内力：系统内各物体之间的相互作用的力叫内力或系统内力。只有先确定了系统的范围，才能判定某个力是外力还是内力。

C、动量守恒定律的适用条件是：一个系统不受外力或所受外力之和为零。其中“不受外力”是理想情况，“所受外力之和为零”是实际情况。这里所说的“外力之和”与“合外力”不是一个概念。“合外力”是指作用在某个物体（质点）上的外力的矢量和，而“外力之和”是指把作用在系统上的所有外力平移到某点后算出的矢量和。

D、“系统的总动量保持不变”，是指在系统内的物体发生相互作用过程中的任意两个时刻系统的总动量（各物体动量的矢量和）都是相等的（大小相等，方向相同）。内力的冲量只改变系统内各物体的动量而不能改变系统的总动量。决定系统总能量是否改变的因素是系统外力。一旦系统所受外力之和不为零，系统的总动量必将发生变化。

(3) 动量守恒定律的表达式

A、 $p=p'$ 意义：系统相互作用前的总动量 p 等于相互作用后的总动量 p' （从守恒的角度列式）

B、 $\Delta p = p' - p = 0$ 。意义：系统总动量变化等于零（从变化角度列式）

C、对相互作用的两个物体组成的系统：

$$① p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2 \text{ 或者 } m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$$

意义：两个物体作用前的动量的矢量和等于作用后的动量的矢量和。

$$② p'_1 - p_2' = -(p'_2 - p_2) \text{ 或者 } \Delta p_1 = -\Delta p_2$$

意义：两物体动量的变化大小相等，方向相反。（从转移角度看，一物体动量增加多少，另一物体动量必减少多少）

注意：①动量守恒定律的矢量性：动量守恒定律的数学表达式是个矢量关系式。对于我们常见作用前后物体的运动方向都在同一直线上的问题，可选取一个正方向，凡与正方向相同的矢量均取正值，反之为负，这样即可将矢量运算简化为代数运算。

②瞬时性：动量守恒指系统在任一瞬间的动量恒定，等号左边是作用前系统内各动量在同一时刻的矢量和，等号右边是作用后系统内各动量在另一同时刻的矢量和。不是同一时刻的动量不能相加。

③参考系的同一性：表达式中的各速度（动量）均是相对于同一惯性参考系而言的，一般均以地面为参考系。若题设条件中各速度不是同一参考系的速度，就必须经过适当转换，使其成为同一参考系的速度值。

④整体性：初、末两个状态研究对象必须一致。

(4) 系统动量守恒的条件

- (1) 充分且必要条件：系统不外力或所受外力之和为零
- (2) 近似守恒：虽然系统所受外力之和不为零，但系统的内力远远大于外力，此时外力可以忽略不计。如：碰撞和爆炸。
- (3) 某一方向上动量守恒：虽然系统所受外力之和不为零，但系统在某一方向上的外力之和为零，则该方向上的动量守恒。

3、动量守恒的运用范围

动量守恒定律是自然界普遍适用的自然规律，是人类对自然界认识的一次飞跃。动量守恒定律不仅适用于宏观、低速的物体系，而且适用微观、高速的物体系；不仅适用于万有引力、电磁力、分子力相互作用的体系，而且适用于作用方式并不清楚的物体系，在高中阶段可理解为以下几个方面。

- ①与物体间的碰撞是正碰还是斜碰没有关系。
- ②与相互作用内力的形式无关，内力可以是摩擦力，可以是电磁力，可以是弹力等等。
- ③与系统内物体的数目没有关系，系统可以是两个物体，也可以是很多物体，如爆炸后产生的大量碎片。
- ④与相互作用后物体是分开还是粘合在一起没有关系。
- ⑤与物体运动速度的大小没有关系，物体运动的速度甚至可以接近光速。
- ⑥不论是微观还是宏观领域，动量守恒定律都适用。

二、典型例题分析

例1、放在光滑水平面上的A、B两小车中间夹了一压缩轻质弹簧，用两手控制小车处于静止状态，下列说法正确的是（ ）

- A. 两手同时放开，两车的总动量等于零
 - B. 先放开右手，后放开左手，两车的总动量向右
 - C. 先放开右手，后放开左手，两车的总动量向左
 - D. 先放开右手，后放开左手，两车的总动量为零
- （该题考查动量守恒的条件）

例2、质量为 m 的人随平板车以速度 V 在平直跑道上匀速前进，不考虑摩擦阻力，当此人相对于车竖直跳起至落回原起跳位置的过程中，平板车的速度（ ）

- A. 保持不变
 - B. 变大
 - C. 变小
 - D. 先变大后变小
- E. 先变小后变大 （该题考查动量守恒的条件）

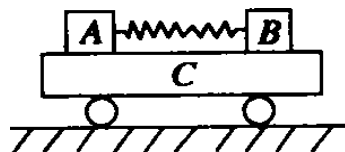
例3、两名质量相等的滑冰人甲和乙都静止在光滑的水平冰面上。现在其中一人向另一人抛出一个篮球，另一人接球后再抛回。如此反复进行几次后，甲和乙最后的速率关系是（ ）

- A. 若甲先抛球，则一定是 $V_{甲} > V_{乙}$
- B. 若乙最后接球，则一定是 $V_{甲} > V_{乙}$
- C. 只有甲先抛球，乙最后接球，才有 $V_{甲} > V_{乙}$
- D. 无论怎样抛球和接球，都是 $V_{甲} > V_{乙}$

（运用动量守恒定律时抓住初态和末态分析，中间的细节不要管）

例 4、如右图所示， A 、 B 两物体的质量 $m_A > m_B$ ，中间用一段细绳相连并有一被压缩的弹簧，放在平板小车 C 上后， A 、 B 、 C 均处于静止状态。若地面光滑，则在细绳被剪断后， A 、 B 从 C 上未滑离之前， A 、 B 在 C 上向相反方向滑动过程中（ ）

- A. 若 A 、 B 与 C 之间的摩擦力大小相同，则 A 、 B 组成的系统动量守恒， A 、 B 、 C 组成的系统动量也守恒
- B. 若 A 、 B 与 C 之间的摩擦力大小不相同，则 A 、 B 组成的系统动量不守恒， A 、 B 、 C 组成的系统动量也不守恒
- C. 若 A 、 B 与 C 之间的摩擦力大小不相同，则 A 、 B 组成的系统动量不守恒，但 A 、 B 、 C 组成的系统动量守恒
- D. 以上说法均不对



例 5、光滑水平面上质量 $m_1=50\text{kg}$ 的木箱 A 以速度 $v_1=5.0\text{m/s}$ 的速度滑行，前面有另一木箱 B ， $m_2=20\text{kg}$ ，以速度 $v_2=4.0\text{m/s}$ 相向滑行，若两木箱相撞后， A 的速度减小为 0.2m/s ， B 的速度多大？

针对训练

- 如果由 A 、 B 两物体组成的系统总动量始终为零，则下列说法正确的是（ ）
 - A 、 B 两物体各自动量一定始终为零
 - A 、 B 两物体所构成的系统所受合外力一定为零
 - A 、 B 两物体各自所受的合外力一定始终为零
 - A 、 B 两物体各自的动量一定保持不变
- A 、 B 两个相互作用的物体，在相互作用的过程中，合外力为零，则下列说法中正确的是（ ）
 - A 的动量变大， B 的动量一定变大
 - A 的动量变大， B 的动量一定变小
 - A 与 B 的动量变化大小相等
 - A 与 B 受到的冲量大小相等
- 关于牛顿运动定律和动量守恒的适用范围，下列说法中不正确的是（ ）
 - 牛顿运动定律不适合解决接近光速的高速运动情况
 - 牛顿运动定律也适用于微观粒子的运动问题
 - 动量守恒定律既适用于低速，也适用于接近高速运动的问题
 - 动量守恒定律既适用于宏观物体，也适用于微观物体
- 应用动量守恒定律解题（ ）
 - 物体间相互作用力必须是恒力
 - 必须知道相互作用力是如何随时间变化的
 - 只要知道相互作用前后的动量，不必详细了解相互作用的中间过程
 - 不必注意动量的矢量性
- 甲乙两船质量均为 M ，以相同的速率 v 相向而行。甲船上站着一个质量为 m 的人随船行驶，不计水的阻力，当他由甲船跳上乙船，再由乙船跳回到甲船上，这样反复几次后，乙船速度变为零，则甲船的速度为（ ）
 - $mv/(M+m)$
 - $(2M+m)v/(M+m)$
 - 0
 - $mv/(2M+m)$
- 一只小船静止在湖面上，一个人从小船的一端走到另一端，不计水的阻力，下列说法中正确的是（ ）
 - 人在船上行走时，人对船的冲量比船对人的冲量小，所以人走得快，船后退的慢
 - 人在船上行走时，人的质量比船小，它们所受冲量大小是相等的，所以人向前走得快，船后退得慢
 - 人停止走动时，因船的惯性大，所以船将继续后退
 - 人停止走动时，因总动量守恒，故船也停止后退

7. 100kg 的小船静止在水面上，船的两端分别站着 $m_{甲}=40\text{kg}$ ， $m_{乙}=60\text{kg}$ 的游泳者。在同一水平线上甲向左，乙向右同时以 3m/s 的速度跃入水中，则小船的速度为_____，方向_____。

8. 试用牛顿运动定律证明两物体在一条直线上相互作用过程中总动量守恒，即证明： $m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$

课堂检测：

1. 把一支枪水平固定在小车上，小车放在光滑的水平地面上，枪发射子弹时，关于枪、子弹和车的下列说法正确的有（ ）

- A. 枪和子弹组成的系统动量守恒
- B. 枪和车组成的系统动量守恒
- C. 枪、子弹和车组成的系统动量守恒
- D. 若忽略不计子弹和枪筒之间的摩擦，枪和车组成的系统动量守恒

2. 两球相向运动，发生正碰，碰撞后两球均静止，于是可以判定，在碰撞以前两球（ ）

- A. 质量相等
- B. 速度大小相等
- C. 动量大小相等
- D. 以上都不能判定

3. 在下列几种现象中，动量守恒的有（ ）

- A. 原来静止在光滑水平面上的车，从水平方向跳上一个人，人车为一系统
- B. 运动员将铅球从肩窝开始加速推出，以运动员和球为一系统
- C. 从高空自由落下的重物落在静止于地面上的车厢中，以重物和车厢为一系统
- D. 光滑水平面上放一斜面，斜面光滑，一物体沿斜面滑下，以重物和斜面为一系统

4. 两物体组成的系统总动量守恒，这个系统中（ ）

- A. 一个物体增加的速度等于另一个物体减少的速度
- B. 一物体受的冲量与另一物体所受的冲量相等
- C. 两个物体的动量变化总是大小相等、方向相反
- D. 系统总动量的变化为零

5. 一只小船静止在水面上，一个人从小船的一端走到另一端，不计水的阻力，以下说法中正确的是（ ）

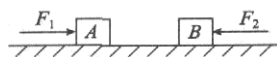
- A. 人在小船上行走，人对船的冲量比船对人的冲量小，所以人向前运动得快，小船后退得慢
- B. 人在小船上行走，人的质量小，它们受的冲量大小是相等的，所以人向前运动得快，小船后退得慢
- C. 当人停止走动时，因为小船惯性大，所以小船要继续向后退
- D. 当人停止走动时，因为总动量守恒，所以小船也停止后退

6. 物体 A 的质量是物体 B 的质量的 2 倍，中间压缩一轻质弹簧，放在光滑的水平面上，由静止同时放开两手后一小段时间内（ ）

- A. A 的速率是 B 的一半
- B. A 的动量大于 B 的动量
- C. A 受的力大于 B 受的力
- D. 总动量为零

7. 如图所示， F_1 、 F_2 等大反向，同时作用于静止在光滑水平面上的 A、B 两物体上，已知 $M_A > M_B$ ，经过相同时间后撤去两力。以后两物体相碰并粘成一体，这时 A、B 将（ ）

- A. 停止运动
- B. 向右运动
- C. 向左运动
- D. 仍运动但方向不能确定



动量守恒定律应用

一、运用动量守恒定律的解题步骤

同动量定理一样，动量守恒定律有极其广泛的应用。应用动量守恒定律解题的步骤是：

1. 明确研究对象，一般是两个或两个以上物体组成的系统；
2. 分析系统相互作用时的受力情况，判定系统动量是否守恒；
3. 选定正方向，确定相互作用前后两状态系统的动量；
4. 在同一地面参考系中建立动量守恒方程，并求解。

二、碰撞和爆炸类

(一) 碰撞问题的特点：

1. 时间特点：在碰撞、爆炸现象中，相互作用时间很短。
2. 相互作用力的特点：在碰撞、爆炸过程中，物体间的相互作用力先是急剧增大，然后再急剧减小，即相互作用力为变力，作用时间短，作用力很大，且远远大于系统的外力，即使系统所受外力之和不为零，外力也可以忽略，故均可用动量守恒定律来处理。
3. 在爆炸过程中，因有其他形式的能转化为动能，故系统的动能会增加，在碰撞过程中，系统的总动能是不可能增加的。
4. 位移特点：由于碰撞、爆炸过程是在一瞬间发生的，时间极短，所以，在物体发生碰撞、炸的瞬间，可忽略物体的位移，即认为物体在碰撞、爆炸前后仍在同一位置。但速度发生了突变。

(二) 碰撞的分类

1. 完全弹性碰撞

特点：系统动量守恒，机械能守恒。

设质量 m_1 的物体以速度 v_0 与质量为 m_2 的在水平面上静止的物体发生弹性正碰，则有动量守恒：

$$m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

$$\text{碰撞前后动能不变：} \frac{1}{2} m_1 v_0^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

$$\text{所以 } v_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_0 \quad v_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_0$$

(注：在同一水平面上发生弹性正碰，机械能守恒即有初末动能相等)

[讨论]

- ①当 $m_1 = m_2$ 时， $v_1 = 0$ ， $v_2 = v_0$ (速度互换)
- ②当 $m_1 < m_2$ 时， $v_1 \approx -v_0$ ， $v_2 \approx 0$ (速度反向)
- ③当 $m_1 > m_2$ 时， $v_1 > 0$ ， $v_2 > 0$ (同向运动)
- ④当 $m_1 < m_2$ 时， $v_1 < 0$ ， $v_2 > 0$ (反向运动)
- ⑤当 $m_1 \gg m_2$ 时， $v_1 \approx v$ ， $v_2 \approx 2v_0$ (同向运动)、

2. 非弹性碰撞

特点：部分机械能转化成物体的内能，系统损失了机械能两物体仍能分离。动量守恒

用公式表示为： $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$

$$\text{机械能的损失：} \Delta E = (\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2) - (\frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2)$$

3. 完全非弹性碰撞

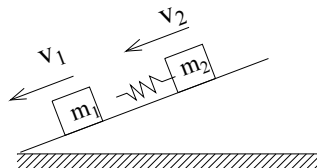
特点：碰撞后两物体粘在一起运动，此时动能损失最大，而动量守恒。

用公式表示为： $m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v$

$$\text{动能损失：} \Delta E_k = (\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2) - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2$$

典型例题:

例1、质量为 m_1 、 m_2 的滑块分别以速度 v_1 和 v_2 沿斜面匀速下滑，如下图所示，已知 $v_2 > v_1$ ，有一轻弹簧固定在 m_2 上，求弹簧被压缩至最短时 m_1 的速度多大？



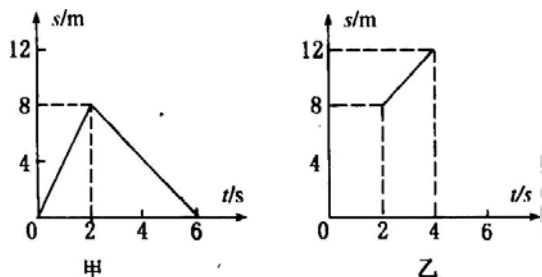
例2、质量为30kg的小孩以8m/s的水平速度跳上一辆静止在水平轨道上的平板车，已知平板车的质量是80kg，求小孩跳上车后他们共同的速度。

例3、向空中发射一物体，不计空气阻力。当此物体的速度恰好沿水平方向时，物体炸裂成 a 、 b 两块，若质量较大的 a 块的速度方向仍沿原来的方向，则：

- A、 b 的速度方向一定与原速度方向相反
- B、从炸裂到落地的这段时间里， a 飞行的水平距离一定比 b 的大
- C、 a 、 b 一定同时到达水平地面
- D、在炸裂过程中， a 、 b 受到的爆炸力的冲量大小一定相等

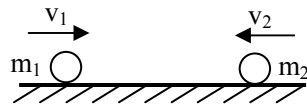
例4、如下图所示，甲、乙两球质量分别为1kg、3kg，它们在光滑水平面上发生正碰，图甲表示甲球碰撞前后的 $s-t$ 图线，图乙表示乙球碰后的 $s-t$ 时间图线，不计碰撞时间，则下列说法正确的是（ ）

- A. 甲、乙两球在 $t=2s$ 时发生碰撞
- B. 碰撞前后系统动量守恒
- C. 碰撞后甲球的速度反向了
- D. 碰撞前后甲球动量改变了 $2\text{kg}\cdot\text{m/s}$

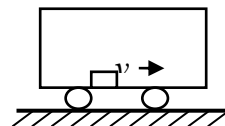


针对训练:

- 两球做相向运动，碰撞后两球变为静止，则碰撞前两球（ ）
 - A. 质量一定相等
 - B. 动能一定相等
 - C. 动量一定相等
 - D. 以上均不正确
- 甲球与乙球相碰，甲球的速度减少了5m/s，乙球速度增加了3m/s，则甲、乙两球质量之比是（ ）
 - A. 2:1
 - B. 3:5
 - C. 5:3
 - D. 1:2
- 设 a 、 b 两小球相撞，碰撞前后都在同一直线上运动，若测得它们相撞前的速度为 v_a 、 v_b ，相撞后的速度为 v_a' 、 v_b' ，可知两球的质量之比为 $m_a:m_b$ 为（ ）
 - A. $(v_b' - v_b) : (v_a - v_a')$
 - B. $(v_a' - v_a) : (v_b' - v_b)$
 - C. $(v_a' - v_b') : (v_a - v_b)$
 - D. $(v_a - v_a') : (v_b' - v_b)$
- 如图所示，两只小球在光滑水平面上沿同一直线运动，已知 $m_1=2\text{kg}$ ， $m_2=4\text{kg}$ ， m_1 以2m/s的速度向右运动， m_2 以8m/s的速度向左运动。两球相撞后， m_1 以10m/s的速度向左运动，由此可得（ ）
 - A. 相撞后 m_2 的速度大小为2m/s，方向向右
 - B. 相撞后 m_2 的速度大小为2m/s，方向向左
 - C. 在相碰过程中， m_2 的动量改变大小为 $24\text{kg}\cdot\text{m/s}$ ，方向向右
 - D. 在相碰过程中， m_1 的冲量改变大小为 $24\text{N}\cdot\text{s}$ ，方向向左
- 沿水平方向飞行的手榴弹，它的速度是20m/s，此时在空中爆炸，分裂成1kg和0.5kg的两块，其中0.5kg的那块以40m/s的速率沿原来速度相反的方向运动，此时另一块的速率为（ ）
 - A. 10m/s
 - B. 30m/s
 - C. 50m/s
 - D. 70m/s



6. 如图所示, 设车厢长为 L , 质量为 M , 静止在光滑水平面上, 车厢内有一质量为 m 的物体, 以速度 v_0 向右运动, 与车厢壁来回碰撞几次后, 静止于车厢中, 这时车厢的速度为 ()



A. v_0 , 水平向右

B. $\frac{mv_0}{M+m}$, 水平向右

C. 0

D. $\frac{Mv_0}{M-m}$, 水平向右

7. 一列火车总质量为 M , 以速度 v 匀速行驶, 若前进途中有一质量为 m 的一节车厢脱钩, 若脱钩后牵引力不变, 当车厢停止时, 火车的速度为 ()

A. $Mv/(M-m)$

B. v

C. $Mv/(M+m)$

D. $(M+m)v/M$

8. 在光滑水平面上, 两球沿球心连线以相等的速率相向而行, 并发生碰撞, 下列现象可能的是 ()

A. 若两球质量相同, 碰后以某一相等速率互相分开

B. 若两球质量相同, 碰后以某一相等速率同向而行

C. 若两球的质量不同, 碰后某一相等速率互相分开

D. 若两球质量不同, 碰后以某一相等速率同向而行

9. A 、 B 两物体的质量分别为 m 和 $2m$, 他们在光滑平面上以相同的动量运动, 两者相碰后, A 的运动方向未变, 但速率减为原来的一半, 则碰后两物体的速率之比为 ()

A. 1:2

B. 1:3

C. 2:1

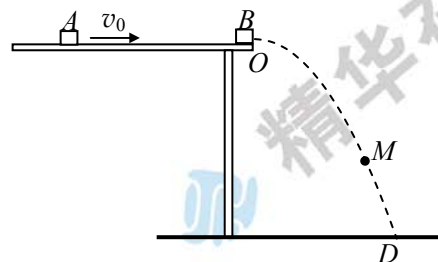
D. 2:3

10. 质量为 2kg 的小球 A 以 3m/s 的速度向东运动, 某时刻与在同一直线上运动的小球 B 迎面相碰。 B 球的质量为 5kg , 撞前速度为 2m/s 。 撞后, A 球以 1m/s 的速度向西返回, 求碰撞后 B 球的速度。

高考真题赏析

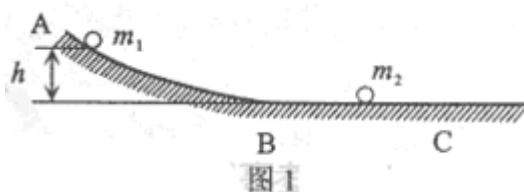
1、(2008 年北京卷 24 题) 有两个完全相同的小滑块 A 和 B , A 沿光滑水平面以速度 v_0 与静止在平面边缘 O 点的 B 发生正碰, 碰撞中无机械能损失。 碰后 B 运动的轨迹为 OD 曲线, 如图所示。

(1) 已知滑块质量为 m , 碰撞时间为 Δt , 求碰撞过程中 A 对 B 平均冲力的大小。



2、(09 北京卷 24 题) 如图 1 所示, ABC 为一固定在竖直平面内的光滑轨道, BC 段水平, AB 段与 BC 段平滑连接。 质量为 m_1 的小球从高位 h 处由静止开始沿轨道下滑, 与静止在轨道 BC 段上质量为 m_2 的小球发生碰撞, 碰撞后两球两球的运动方向处于同一水平线上, 且在碰撞过程中无机械能损失。

(1) 求碰撞后小球 m_2 的速度大小 v_2 ;



动量守恒定律的应用（二）

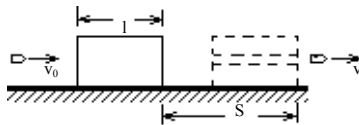
一、“子弹打木块”模型

此模型包括：“子弹打击木块未击穿”和“子弹打击木块击穿”两种情况，它们有一个共同的特点是：初态时相互作用的物体有一个是静止的（木块），另一个是运动的（子弹）

1. “击穿”类

其特点是：在某一方向动量守恒，子弹有初动量，木块有或无初动量，击穿时间很短，击穿后二者分别以某一速度运动

【模型 1】质量为 M 、长为 l 的木块静止在光滑水平面上，现有一质量为 m 的子弹以水平初速度 v_0 射入木块，穿出时子弹速度为 v ，求子弹与木块作用过程中系统损失的机械能。



2. “未击穿”类

其特点是：在某一方向上动量守恒，如子弹有初动量而木块无初动量，碰撞时间非常短，子弹射入木块后二者以相同速度一起运动。

【模型 2】一质量为 M 的木块放在光滑的水平面上，一质量 m 的子弹以初速度 v_0 水平飞来打进木块并留在其中，

设相互作用力为 f

问题 1 子弹、木块相对静止时的速度 v

问题 2 子弹在木块内运动的时间 t ，由动量定理得：对木块

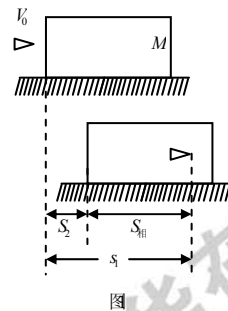
问题 3 子弹、木块发生的位移 s_1 、 s_2 以及子弹打进木块的深度 s 。

由动能定理得：

$$\text{对子弹} -f \cdot s_1 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \quad \therefore s_1 = \frac{Mm(M+m)v_0^2}{2f(M+m)^2}$$

$$\text{对木块: } fs_2 = \frac{1}{2}Mv^2 \quad \therefore s_2 = \frac{Mm^2v_0^2}{2f(M+m)^2}$$

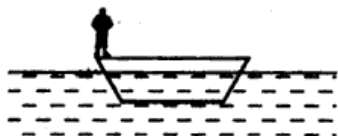
问题 4 系统损失的机械能、系统增加的内能。



二、平均动量守恒问题——人船模型：

特点：初态时相互作用物体都处于静止状态，在物体发生相对运动的过程中，某一个方向的动量守恒（如水平方向动量守恒）。对于这类问题，如果我们应用“人船模型”也会使问题迅速得到解决，现具体分析如下：

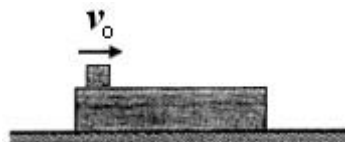
【模型】 如图所示，长为 L 、质量为 M 的小船停在静水中，一个质量 m 的人立在船头，若不计水的粘滞阻力，当人从船头走到船尾的过程中，船和人相对地面的位移各是多少？



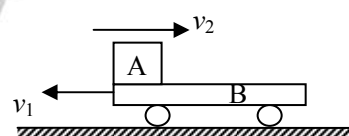
三、滑块类问题

1、滑块在木板上运动类

【例1】质量为 m_1 的木板静止在光滑的水平面上，在木板上放一个质量为 m_2 的木块，现给木块一个相对地面的水平速度 v_0 。已知木块与木板间的动摩擦因数为 μ ，因此木板被木块带动，最后木板与木块以共同的速度运动，求此过程中木块在木板上滑行的距离和木板滑行的距离。

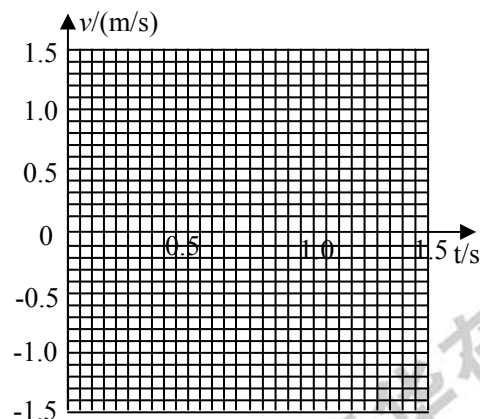


【变1】如图甲所示，质量 $m_B=1\text{ kg}$ 的平板小车 B 在光滑水平面上以 $v_1=1\text{ m/s}$ 的速度向左匀速运动。当 $t=0$ 时，质量 $m_A=2\text{ kg}$ 的小铁块 A 以 $v_2=2\text{ m/s}$ 的速度水平向右滑上小车， A 与小车间的动摩擦因数为 $\mu=0.2$ 。若 A 最终没有滑出小车，取水平向右为正方向， $g=10\text{ m/s}^2$ ，求：



甲

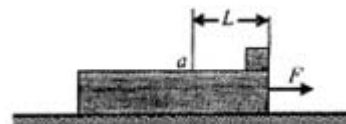
- (1) A 在小车上停止运动时，小车的速度为多大？
- (2) 小车的长度至少为多少？
- (3) 在图乙所示的坐标纸中画出 1.5 s 内小车 B 运动的速度—时间图象。



乙

【变2】质量为 M 的足够长的木板放在光滑水平地面上，在木板的上表面的右端放一质量为 m 的小金属块（可看成质点），如图所示。木板上表面上的 a 点右侧是光滑的， a 点到木板右端的距离为 L ， a 点左侧表面与金属块间的动摩擦因数为 μ 。现用一个大小为 F 的水平拉力向右拉木板，当小金属块到达 a 点时立即撤去此拉力。求：

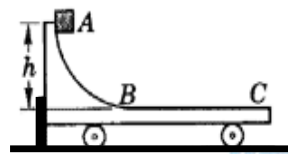
- (1) 拉力 F 的作用时间是多少？
- (2) 最终木板的速度多大？
- (3) 小金属块到木板右端的最大距离为多少？



2、滑块在小车上运动类

【例2】如图所示，带弧形轨道的小车放在光滑的水平地面上，车左端被固定在地面上的竖直挡板挡住，已知小车的弧形轨道和水平部分在 B 点相切， AB 段光滑， BC 段粗糙， BC 段长度为 $L=0.75\text{m}$ 。现有一小木块（可视为质点）从距 BC 面高为 $h=0.2\text{m}$ 的 A 点无初速释放，恰好未从车上滑落。已知木块质量 $m_1=1\text{kg}$ ，小车质量 $m_2=3\text{kg}$ ， g 取 10m/s^2 。求：

- (1) 木块滑到 B 点时的速度；
- (2) 木块与 BC 面之间的动摩擦因数；
- (3) 在整个过程中，小车给挡板的冲量。



【变3】光滑的四分之一圆弧导轨最低点切线水平，且与光滑水平地面上停靠的一小车的上表面等高。小车质量为 $M=2.0\text{kg}$ ，高 $h=0.2\text{m}$ ，如图所示。现从圆弧导轨的顶端将一质量为 $m=0.5\text{kg}$ 的滑块由静止释放，滑块滑上小车后带动小车向右运动。当小车的右端运动到 A 点时，滑块正好从小车右端水平飞出，并且落在地面上的 B 点。滑块落地后 0.2s 小车右端也到达 B 点，已知 AB 相距 $L=0.4\text{m}$ ，（ g 取 10m/s^2 ）求：

- (1) 滑块离开小车时的速度大小；
- (2) 滑块滑上小车时的速度大小；
- (3) 圆弧轨道的半径大小；
- (4) 滑块滑过小车的过程中产生的内能大小。



针对训练

1. 一只小船静止在湖面上，一个人从小船的一端走到另一端，不计水的阻力，下列说法正确的是（ ）
 - A. 人在船上行走对船的冲量比船对人的冲量小，所以人向前运动的快，船后退的慢
 - B. 人在船上行走时，质量比船小，所受的冲量大小是相等的，所以人向前走得快，船后退的慢
 - C. 当人停止走动时，因船的惯性大，所以船将会继续后退
 - D. 当人停止走动时，因为总动量守恒，故船也停止后退
2. 一艘小船的质量为 M ，船上站着一个质量为 m 的人，人和小船原处于静止状态，水对船的阻力可以忽略不计。当人从船尾向船头方向走过距离 d （相对于船），小船后退的距离（ ）
 - A. $\frac{md}{M}$
 - B. $\frac{md}{M-m}$
 - C. $\frac{Md}{M+m}$
 - D. $\frac{md}{M+m}$
3. 甲乙两船质量均为 M ，以相同的速率 v 相向而行。甲船上站着一个质量为 m 的人随船行驶，不计水的阻力，当他由甲船跳上乙船，再由乙船跳回到甲船上，这样反复几次后，乙船速度变为零，则甲船的速度为（ ）
 - A. $mv/(M+m)$
 - B. $(2M+m)v/(M+m)$
 - C. 0
 - D. $mv/(2M+m)$

4. 质量为 $M=2\text{kg}$ 的木块静止在光滑的水平面上，一颗质量为 $m=20\text{g}$ 的子弹以 $v_0=100\text{m/s}$ 的速度水平飞来，射穿木块后以 80m/s 的速度飞去，则木块速度大小为 _____ m/s 。

5. 质量是 10g 的子弹，以 300m/s 的速度射入质量是 24g 静止在水平光滑桌面上的木块，并留在木块中。子弹在木块中以后，木块运动的速度是多大？如果子弹把木块打穿，子弹穿过后的速度为 100m/s ，这时木块的速度又是多大？

6. 甲、乙两个溜冰者相对而立，质量分别为 $m_{\text{甲}}=60\text{kg}$ ， $m_{\text{乙}}=70\text{kg}$ ，甲手中另持有 $m=10\text{kg}$ 的球，如果甲以相对地面的水平速度 $v_0=4\text{m/s}$ 把球抛给乙，求：

- (1) 甲抛出球后的速度；
- (2) 乙接球后的速度

7. 如图 5，质量为 M 的长木板静置在光滑的水平面上。一个质量为 m 的小物块以水平速率 v_0 从左侧进到木板的上表面。它们之间的动摩擦因数为 μ 。试求小物块相对于木板滑行的最大距离 L 。

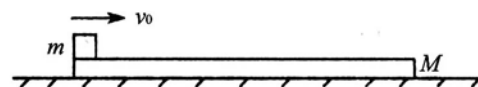
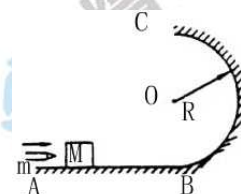


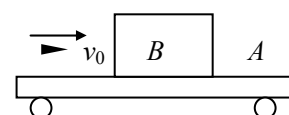
图5

8. 如图所示， ABC 是光滑轨道，其中 BC 部分是半径为 R 的竖直放置的半圆。一质量为 M 的小木块放在轨道水平部分，木块被水平飞来的质量为 m 的子弹射中，并滞留在木块中。若被击中的木块沿轨道能滑到最高点 C ，已知木块对 C 点的压力大小为 $(M+m)g$ ，求：子弹射入木块前瞬间速度的大小。



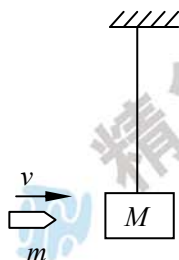
9. 如图所示，小车 A 的质量 $m_1=8\text{kg}$ ，物块 B 质量 $m_2=2\text{kg}$ ，水平面光滑， B 物置于小车上后静止。今有质量为 10g 的子弹以速度 200m/s 射入 B 并穿过 B 物体，击穿时间极短，若子弹穿过 B 物时， B 物获得速度为 0.6m/s 求：(1) 子弹穿过 B 物时的速度大小为多大？

(2) 若最终 B 与 A 一起运动，其速度大小为多大？



图

10、长 l 为 1m 的轻绳下端挂着 1 个质量 M 为 9.99kg 的砂袋，一颗质量为 10g 的子弹以 500m/s 的速度水平射入砂袋，问在子弹射入砂袋后的瞬间，悬绳的拉力是多大。（ $g=10\text{m/s}^2$ ）



图

简谐运动及描述

一、知识点分析：

（一）机械振动

物体（质点）在某一中心位置两侧所做的往复运动就叫做机械振动，物体能够围绕着平衡位置做往复运动，必然受到使它能够回到平衡位置的力即回复力。回复力是以效果命名的力，它可以是一个力或一个力的分力，也可以是几个力的合力。

产生振动的必要条件是：*a*、物体离开平衡位置后要受到回复力作用。*b*、阻力足够小。

（二）简谐振动

1. 定义：物体在跟位移成正比，并且总是指向平衡位置的回复力作用下的振动叫简谐振动。简谐振动是最简单，最基本的振动。研究简谐振动物体的位置，常常建立以中心位置（平衡位置）为原点的坐标系，把物体的位移定义为物体偏离开坐标原点的位移。因此简谐振动也可说是物体在跟位移大小成正比，方向跟位移相反的回复力作用下的振动，即 $F = -kx$ ，其中“ $-$ ”号表示力方向跟位移方向相反。

2. 简谐振动的条件：物体必须受到大小跟离开平衡位置的位移成正比，方向跟位移方向相反的回复力作用。

3. 简谐振动是一种机械运动，有关机械运动的概念和规律都适用，简谐振动的特点在于它是一种周期性运动，它的位移、回复力、速度、加速度以及动能和势能（重力势能和弹性势能）都随时间做周期性变化。

（三）描述振动的物理量，简谐振动是一种周期性运动，描述系统的整体的振动情况常引入下面几个物理量。

1. 振幅：振幅是振动物体离开平衡位置的最大距离，常用字母“ A ”表示，它是标量，为正值，振幅是表示振动强弱的物理量，振幅的大小表示了振动系统总机械能的大小，简谐振动在振动过程中，动能和势能相互转化而总机械能守恒。

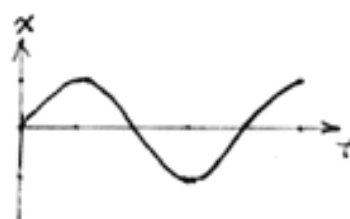
2. 周期和频率，周期是振子完成一次全振动的时间，频率是一秒钟内振子完成全振动的次数。振动的周期 T 跟频率 f 之间是倒数关系，即 $T = 1/f$ 。振动的周期和频率都是描述振动快慢的物理量，简谐振动的周期和频率是由振动物体本身性质决定的，与振幅无关，所以又叫固有周期和固有频率。

四、振动图象。

简谐振动的图象是振子振动的位移随时间变化的函数图象。所建坐标系中横轴表示时间，纵轴表示位移。图象是正弦或余弦函数图象，它直观地反映出简谐振动的位移随时间作周期性变化的规律。

如图 2 所示，要把质点的振动过程和振动图象联系起来，从图象可以得到

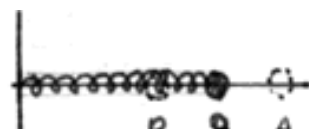
振子在不同时刻或不同位置时位移、速度、加速度，回复力等的变化情况。



二、典型例题

例 1、物体做简谐振动，下列情况可能出现的是（ ）

- A. 在某一时刻，它的速度和回复力的方向相同，与位移方向相反
- B. 在某一时刻，它的动量，位移和加速度的方向都相同
- C. 在某一时间内，它的回复力的大小增大，动能也增大
- D. 在某一段时间内，它的势能减小，加速度的大小也减小



例 2、一个质点作简谐运动的振动图像如图所示。从图中可以看出，该质点的振幅 $A = \underline{\hspace{1cm}}$ m，频率 $f = \underline{\hspace{1cm}}$ Hz，从 $t=0$ 开始在 $\Delta t=1.8$ s 内质点的位移 $= \underline{\hspace{1cm}}$ ，路程 $= \underline{\hspace{1cm}}$ 。

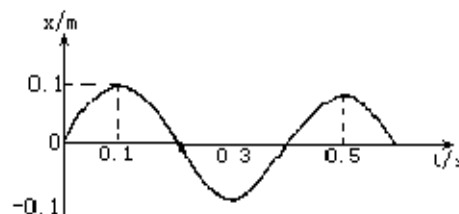


图5-15

例 3、一质点作简谐运动，其位移 x 与时间 t 的关系如图 5-16 所示，在 $t=4$ s 时，质点的（ ）

- A. 速度为正的最大值，加速度为零。
- B. 速度为负的最大值，加速度为零。
- C. 速度为零，加速度为正的最大值。
- D. 速度为零，加速度为负的最大值。

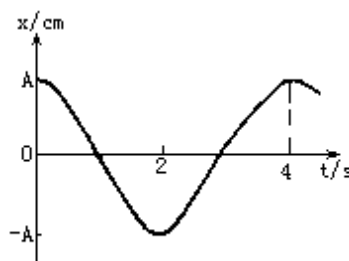


图5-16

例 4、如图是演示简谐运动图像的装置，当沙漏斗下面的薄木板 N 被匀速地拉出时，振动着的漏斗中漏出的沙在板上形成的曲线显示出摆的位移随时间变化的关系。板上的直线 OO_1 代表时间轴，右图中是两个摆中的沙在各自板上形成的曲线，若板 N_1 和板 N_2 拉动的速度 v_1 和 v_2 的关系为 $v_2=2v_1$ ，则板 N_1 、 N_2 上曲线所代表的周期 T_1 和 T_2 的关系为（ ）

- A. $T_2=T_1$
- B. $T_2=2T_1$
- C. $T_2=4T_1$
- D. $T_2=\frac{1}{4}T_1$

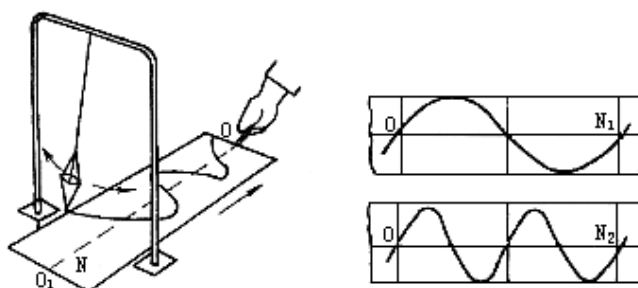


图5-17

针对训练(1)

- 一弹簧振子振动过程中的某段时间内其加速度数值越来越大,在这段时间内()
A. 振子的速度越来越大 B. 振子正在向平衡位置运动
C. 振子的速度方向与加速度方向一致 D. 以上说法都不正确
- 一质点做简谐运动,先后以相同的动量依次通过 A 、 B 两点,历时 1s ,质点通过 B 点后再经过 1s 又第 2 次通过 B 点,在这两秒钟内,质点通过的总路程为 12cm ,则质点的振动周期和振幅分别为()
A. 3s , 6cm B. 4s , 6cm C. 4s , 9cm D. 2s , 8cm
- 做简谐运动的物体,当物体的位移为负值时,下面说法正确的是()
A. 速度一定为正值,加速度一定为负值
B. 速度一定为负值,加速度一定为正值
C. 速度不一定为正值,加速度一定为正值
D. 速度不一定为负值,加速度一定为正值
- 小球做简谐运动,则下述说法正确的是()
A. 小球所受的回弹力大小与位移成正比,方向相反
B. 小球的加速度大小与位移成正比,方向相反
C. 小球的速度大小与位移成正比,方向相反
D. 小球速度的大小与位移成正比,方向可能相同也可能相反
- 做简谐运动的弹簧振子,下述说法中正确的是()
A. 振子通过平衡位置时,速度最大
B. 振子在最大位移处时,加速度最大
C. 振子在连续两次通过同一位置时,位移相同
D. 振子连续两次通过同一位置时,动能相同,动量相同
- 一弹簧振子作简谐运动,下列说法中正确的有()
A. 若位移为负值,则速度一定为正值,加速度也一定为正值
B. 振子通过平衡位置时,速度为零,加速度最大
C. 振子每次通过平衡位置时,加速度相同,速度也一定相同
D. 振子每次通过同一位置时,其速度不一定相同,但加速度一定相同
- 一个弹簧振子,第一次用力把弹簧压缩 x 后开始振动,第二次把弹簧压缩 $2x$ 后开始振动,则两次振动的周期之比和最大加速度的大小之比分别为()
A. $1:2$, $1:2$ B. $1:1$, $1:1$ C. $1:1$, $1:2$ D. $1:2$, $1:1$
- 做简谐运动的弹簧振子,其质量为 m ,最大速度为 v ,则下列说法中正确的是()
A. 从某时刻算起,在半个周期的时间内,弹力做功一定为零
B. 从某时刻算起,在半个周期的时间内,弹力做的功可能是零到 $\frac{1}{2}mv^2$ 之间的某一个值
C. 从某时刻算起,在半个周期的时间内,弹力的冲量一定为零
D. 从某时刻算起,在半个周期的时间内,弹力的冲量可能是零到 $2mv$ 之间的某一个值
- 质点沿直线以 O 为平衡位置做简谐运动, A 、 B 两点分别为正最大位移处与负最大位移处的点, A 、 B 相距 10cm ,质点从 A 到 B 的时间为 0.1s ,从质点到 O 点时开始计时,经 0.5s ,则下述说法正确的是()
A. 振幅为 5cm B. 振幅为 10cm C. 通过路程 50cm D. 质点位移为 50cm
- 对简谐运动下述说法中正确的是()
A. 物体振动的最大位移等于振幅 B. 物体离开平衡位置的最大距离叫振幅
C. 振幅随时间做周期性变化 D. 物体两次通过平衡位置的时间叫周期

二、填空题

- 质点做简谐运动的周期为 0.4s ,振幅为 0.1m ,从质点通过平衡位置开始计时,则经 5s ,质点通过的路程等于_____ m ,位移为_____ m 。

12. 质点以 O 为平衡位置做简谐运动，它离开平衡位置向最大位移处运动的过程中，经 0.15s 第一次通过 A 点，再经 0.1s 第二次通过 A 点，再经 _____ s 第三次通过 A 点，此质点振动的周期等于 _____ s ，频率等于 _____ Hz 。

13. 一个作简谐运动的质点在平衡位置 O 点附近振动。当质点从 O 点向某一侧运动时，经 3s 第 1 次过 M 点，再向前运动，又经 2s 第 2 次过 M 点。求该质点再经 _____ 第 3 次过 M 点。

三、计算题

14. 弹簧振子的固有周期为 0.4s ，振幅为 5cm ，从振子经过平衡位置开始计时，经 2.5s 小球的位置及通过的路程各多大？

15. 木块质量为 m ，放在水面上静止（平衡），如图 1 所示；今用力向下将其压入水中一段深度后撤掉外力，木块在水面上振动，试判别木块的振动是否为简谐运动。

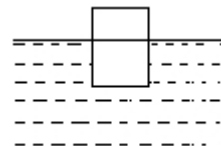


图1

针对训练 (2)

1. 一质点作简谐运动，其位移 x 与时间 t 关系曲线如图 1 所示，由图 1 可知 ()

- A. 质点振动的频率是 4Hz
- B. 质点振动的振幅是 2cm
- C. 在 $t=3\text{s}$ 时，质点的速度为最大
- D. 在 $t=4\text{s}$ 时，质点所受的合外力为零

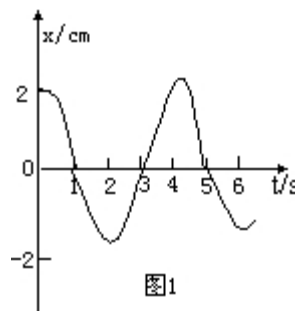


图1

2. 弹簧振子做简谐运动的图线如图 2 所示，在 t_1 至 t_2 这段时间内 ()

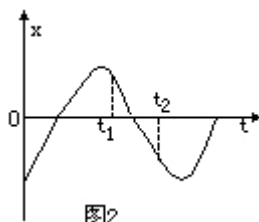


图2

- A. 振子的速度方向和加速度方向都不变
- B. 振子的速度方向和加速度方向都改变
- C. 振子的速度方向改变，加速度方向不变
- D. 振子的速度方向不变，加速度方向改变

3. 如图 4 所示, 做简谐运动的质点, 表示加速度与位移的关系的图线是 ()

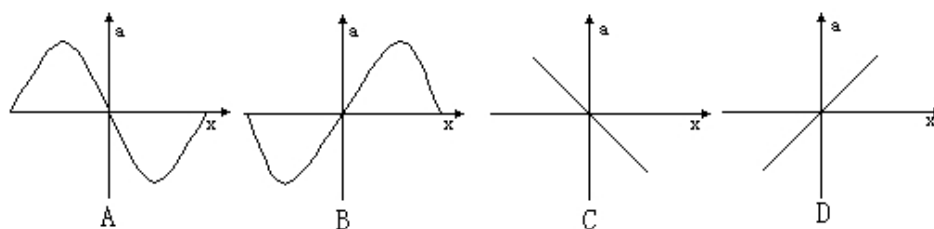


图4

4. 如图 5 所示, 下述说法正确的是 ()

- A. 第 2s 末加速度为正, 最大速度为 0
- B. 第 3s 末加速度为 0, 速度为正最大
- C. 第 4s 内加速度不断增大
- D. 第 4s 内速度不断增大

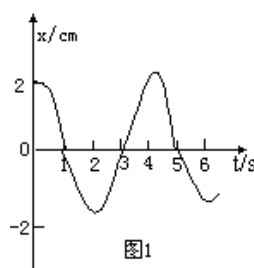


图5

5. 一质点作简谐运动, 图象如图 6 所示, 在 0.2s 到 0.3s 这段时间内质点的运动情况是 ()

- A. 沿负方向运动, 且速度不断增大
- B. 沿负方向运动的位移不断增大
- C. 沿正方向运动, 且速度不断增大
- D. 沿正方向的加速度不断减小

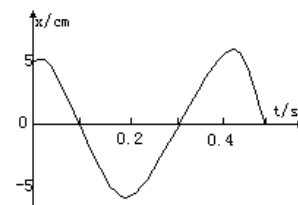


图6

二、填空题

6. 如图 8 所示, 是一个质点的振动图像, 根据图像回答下列各问:

- (1) 振动的振幅_____。
- (2) 振动的频率_____。
- (3) 在 $t=0.1s$ 、 $0.3s$ 、 $0.5s$ 、 $0.7s$ 时质点的振动方向;
- (4) 质点速度首次具有最大负值的时刻和位置; _____。
- (5) 质点运动的加速度首次具有最大负值的时刻和位置; _____。

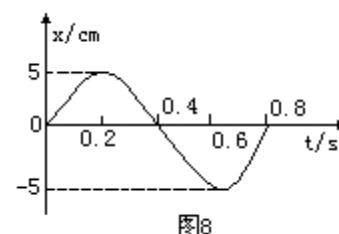


图8

7. 一个做简谐运动的质点, 先后以相同的动量通过 a 、 b 两点历时 $0.1s$, 再经过 $0.1s$ 质点第二次 (反向) 通过 b 点。若质点在这 $0.2s$ 内经过的路程是 $8cm$, 则此简谐运动的周期为_____s, 振幅为_____cm。

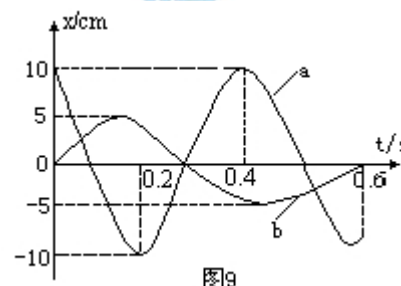


图9

8. 光滑水平面上水平放置一弹簧 AB , A 端固定, B 端受到 $1N$ 的拉力时弹簧伸长 $5cm$ 。现在在 B 点系一个质量为 $100g$ 的小球, 并使弹簧伸长 $10cm$, 放手后让其做简谐运动。它的振幅是_____cm, 振动中加速度的最大值是_____ m/s^2 。

第一讲 针对训练 1——简谐运动及描述答案

一、选择题

1. ABC 2. B 3. CD 4. AB 5. ABC
6. D 7. C 8. AD 9. AC 10. B

二、填空题

11. 5, 0 12. 0.7, 0.8 1.25 13. 14S或 $3\frac{1}{3}S$

三、计算题

14. 125cm, 最大位移处 15. 是

针对训练 2——简谐运动的图象练习题答案

一、选择题

1. BC 2. D 3. C 4. ABC 5. CD、

二、填空题

6. (1) 5cm, (2) $1.25H_2$, (3) 正、负、负、正方向
(4) 0.4s, 平衡位置 (5) 0.2s, 最大位移处
7. 0.4, 4, 8. 10, 20

典型的简谐运动及受力和能量

知识要点

1. 弹簧振子

(1) **周期**: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, 与振幅无关, 只由振子质量和弹簧的劲度决定。

(2) **恢复力**: 在水平方向上振动的弹簧振子的回复力是弹簧的弹力; 在竖直方向上振动的弹簧振子的回复力是弹簧弹力和重力的合力。 $F = -kx$

2. 单摆

(1) **单摆的恢复力**: 单摆振动的回复力是重力的切向分力, 不能说成是重力和拉力的合力。在平衡位置振子所受回复力是零, 但合力是向心力, 指向悬点, 不为零。

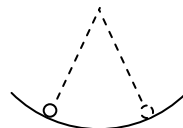
(2) **单摆的周期**: 当单摆的摆角很小时 (小于 5°) 时, 单摆的周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, 与摆球质量 m 、振幅 A 都无关。

其中 l 为摆长, 表示从悬点到摆球质心的距离, 要区分摆长和摆线长。

(3) **等效摆**: 小球在光滑圆弧上的往复滚动, 和单摆完全等同。只要摆角足够小, 这个振动就是简谐运动。这时周期公式中的 l 应该是圆弧半径 R 和小球半径 r 的差。

(4) **摆钟问题**。单摆的一个重要应用就是利用单摆振动的等时性制成摆钟。在计算摆钟类的问题时, 利用以下方法比较简单:

$$n \propto f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} \propto \frac{1}{\sqrt{l}}$$



典型例题

例 1、摆长为 L 的单摆做简谐运动, 若从某时刻开始计时 (取作 $t=0$),

当振动到 $t = \frac{3\pi}{2} \sqrt{\frac{L}{g}}$ 时, 摆球具有负向最大速度, 则单摆的振动图象是

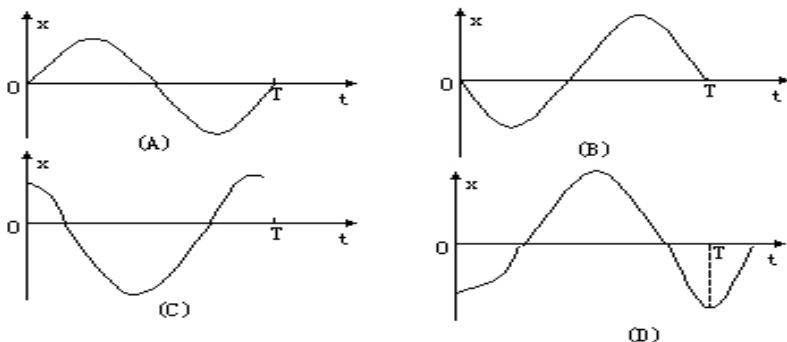
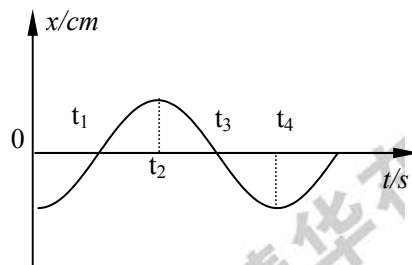
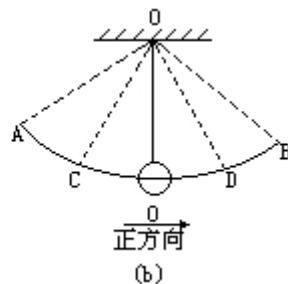
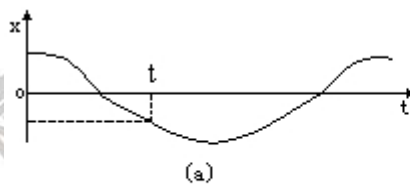


图3

例 2、图 (a) 为单摆的振动图象, 图 (b) 为单摆简谐运动的实际振动图示, 试在 (b) 图中标出 t 时刻摆球所在的位置_____。



例 3、如图为一单摆的振动图象，设 $t_3=3\pi/2$ 秒，则单摆的摆长为_____米，其动能变化的周期为_____秒，速度变化的周期为_____秒。

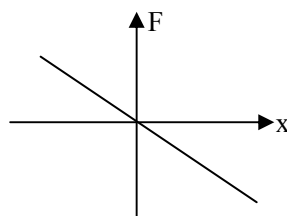
单摆练习题——1：

1. 关于回复力的说法正确的是：

- A、回复力是指与位移大小成正比的力
- B、回复力是指物体所受到的合外力
- C、回复力是从力的作用效果命名的，可以是弹力，也可以是重力或摩擦力，还可以是几个力的合力或某个力的分力
- D、回复力的实质是向心力

2. 某一质点所受的合外力与位移的关系如图所示，由此可判定质点的运动是

- A、匀速直线运动
- B、匀加速直线运动
- C、匀减速直线运动
- D、简谐运动



3. 一弹簧振子在水平面内做简谐运动 当振子每次经过同一位置时，不一定相同的物理量

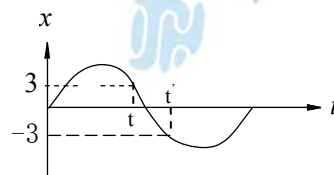
- A、速度
- B、加速度
- C、动能
- D、弹性势能

4 关于单摆下面说法正确的是

- A、摆球运动的回复力是由摆线的拉力和重力的合力提供的
- B、摆球运动过程中，经过同一点的速度是不变的
- C、摆球运动过程中 加速度方向始终指向平衡位置
- D、摆球经过平衡位置时，加速度不为零

5 右图为一质点做简谐运动的图象。则在 t 和 t' 时刻这个质点相同的物理量是

- A、加速度
- B、速度
- C、位移
- D、回复力



单摆练习题——2：

1. 振动着的单摆摆球，通过平衡位置时，它受到的回复力（ ）

- A. 指向地面
- B. 指向悬点
- C. 数值为零
- D. 垂直摆线，指向运动方向

2. 对于秒摆下述说法正确的是（ ）

- A. 摆长缩短为原来的四分之一时，频率是 1Hz
- B. 摆球质量减小到原来的四分之一时，周期是 4s
- C. 振幅减为原来的四分之一时，周期是 2s
- D. 如果重力加速度减为原来的四分之一时，频率为 0.25Hz

3. 一物体在某行星表面受到的万有引力是它在地球表面受到的万有引力的 $1/4$ 。在地球上走得很准的摆钟搬到此行星上后，此钟分针一整圈所经历的时间实际上是（ ）

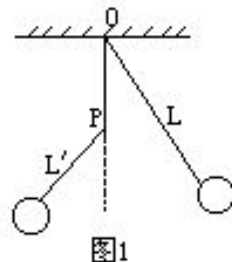
- A. $\frac{1}{4}h$ B. $\frac{1}{2}h$ C. $2h$ D. $4h$

4. 下列单摆的周期相对于地面上的固有周期变大的是（ ）

- A. 加速向上的电梯中的单摆
B. 在匀速水平方向前进的列车中的单摆
C. 减速上升的电梯中的单摆
D. 在匀速向上运动的电梯中的单摆

5. 一绳长为 L 的单摆，在平衡位置正上方 $(L-L')$ 的 P 处有一个钉子，如图 1 所示，这个摆的周期是（ ）

- A. $T = 2\pi \sqrt{L/g}$
B. $T = 2\pi \sqrt{L'/g}$
C. $T = 2\pi \sqrt{L/g} + \sqrt{L'/g}$
D. $T = \pi (\sqrt{L/g} + \sqrt{L'/g})$



6. 用空心铁球内部装满水做摆球，若球正下方有一小孔，水不断从孔中流出，从球内装满水到水流完为止的过程中，其振动周期的大小是（ ）

- A. 不变
B. 变大
C. 先变大后变小回到原值
D. 先变小后变大回到原值

7. 一单摆的摆长为 40cm ，摆球在 $t=0$ 时刻正从平衡位置向右运动，若 g 取 10 m/s^2 ，则在 1s 时摆球的运动情况是（ ）

- A. 正向左做减速运动，加速度正在增大
B. 正向左做加速运动，加速度正在减小
C. 正向右做减速运动，加速度正在增大
D. 正向右做加速运动，加速度正在减小

8. 一个摆钟从甲地拿到乙地，它的钟摆摆动加快了，则下列对此现象的分析及调准方法的叙述中正确的是（ ）

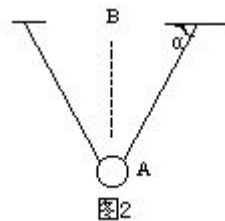
- A. $g_{\text{甲}} > g_{\text{乙}}$ ，将摆长适当增长
B. $g_{\text{甲}} > g_{\text{乙}}$ ，将摆长适当缩短
C. $g_{\text{甲}} < g_{\text{乙}}$ ，将摆长适当增长
D. $g_{\text{甲}} < g_{\text{乙}}$ ，将摆长适当缩短

9. 一个单摆挂在电梯内，发现单摆的周期增大为原来的 2 倍，可见电梯在做加速度运动，加速度 a 为（ ）

- A. 方向向上，大小为 $g/2$
B. 方向向上，大小为 $3g/4$
C. 方向向下，大小为 $g/4$
D. 方向向下，大小为 $3g/4$

二、填空题

10. 如图 2 所示, 为一双线摆, 二摆线长均为 L , 悬点在同一水平面上, 使摆球 A 在垂直于纸面的方向上振动, 当 A 球从平衡位置通过的同时, 小球 B 在 A 球的正上方由静止放开, 小球 A 、 B 刚好相碰, 则小球 B 距小球 A 的平衡位置的最小距离等于_____。



11. 将单摆摆球拉到悬点后由静止放开, 到摆线伸直的时间为 t_1 , 将摆球拉开使摆线与竖直方向的夹角为 3° , 从静止放开摆球回到平衡位置的时间为 t_2 , 则 $t_1 : t_2 =$ _____。

12. A 、 B 二单摆, 当 A 振动 20 次, B 振动 30 次, 已知 A 摆摆长比 B 摆长 40cm, 则 A 、 B 二摆摆长分别为_____cm 与_____cm。

13. 将单摆 A 的摆长增加 1.5m, 振动周期增大到 2 倍, 则 A 摆摆长为_____m, 振动周期等于_____s。

三、计算题

14. 把地球上的一个秒摆 (周期等于 2s 的摆称为秒摆) 拿到月球上去, 它的振动周期变为多少? 已知地球质量 $M_{\text{地}} = 5.98 \times 10^{24} \text{kg}$, 半径 $R_{\text{地}} = 6.4 \times 10^6 \text{m}$, 月球质量 $M_{\text{月}} = 7.34 \times 10^{22} \text{kg}$, 半径 $R_{\text{月}} = 1.74 \times 10^6 \text{m}$ 。

15. 将一摆长为 L 的单摆放置在升降机内, 当升降机各以大小为 a 的加速度加速上升、减速上升时, 单摆的周期各为多大?

单摆练习题答案

针对训练—1 1. C 2. D 3. A 4. D 5. B

针对训练---2 1. C 2. ACD 3. C 4. C 5. D 6. C 7. D 8. C 9. D

10. $\pi^2 \sin \alpha / 2$ 11. $3\sqrt{2} : \pi$ 12. 72, 32 13. 0.5, 1.4

14. 4.91s

15. 加速上升 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g+a}}$, 减速上升 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g-a}}$

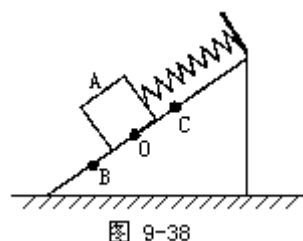
外力作用下的振动

一、基础知识

- 1、做简谐运动的能量跟振幅有关，振幅越大机械能就越大。在简谐运动中，系统机械能守恒，但物体的势能与动能总和不断变化。在简谐运动中，系统在最大位移处势能最大，在平衡位置动能最大，势能最小。
- 2、简谐振动是一种理想化的振动，当外界给系统一定能量以后，如将振子拉离开平衡位置，放开后，振子将一直振动下去，振子在做简谐振动的图象中，振幅是恒定的，表明系统机械能不变，实际的振动总是存在着阻力，振动能量总要有所耗散，因此振动系统的机械能总要减小，其振幅也要逐渐减小，直到停下来。振幅逐渐减小的振动叫阻尼振动，阻尼振动虽然振幅越来越小，但振动周期不变，振幅保持不变的振动叫无阻尼振动。
- 3、振动物体如果在周期性外力——策动力作用下振动，那么它做受迫振动，受迫振动达到稳定时其振动周期和频率等于策动力的周期和频率，而与振动物体的固有周期或频率无关。
- 4、物体做受迫振动的振幅与策动力的周期（频率）和物体的固有周期（频率）有关，二者相差越小，物体受迫振动的振幅越大，当策动力的周期或频率等于物体固有周期或频率时，受迫振动的振幅最大，叫共振。

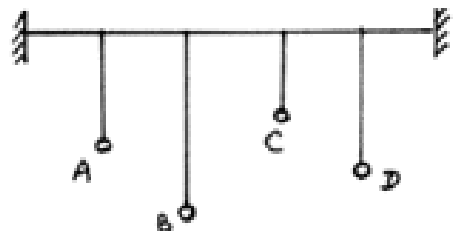
二、典型例题

例 1、光滑斜面上物块 A 被平行斜面的轻质弹簧拉住静止于 O 点，如图所示，现将 A 沿斜面拉到 B 点无初速释放，物体在 BC 范围内做简谐运动，则下列说法正确的是（ ）



- A. OB 越长，振动能量越大
- B. 在振动过程中，物体 A 机械能守恒
- C. A 在 C 点时，由物体与弹簧构成的系统势能最大，在 O 点时势能最小
- D. A 在 C 点时，由物体与弹簧构成的系统势能最大，在 B 点势能最小

例 2、如图所示， A 、 B 、 C 、 D 为四个悬挂在水平细线上的单摆， A 的质量为 $2m$ ，摆长为 L ； B 的质量为 m ，摆长为 $2L$ ； C 的质量为 m ，摆长为 L ， D 的质量为 m ，摆长为 $3L/2$ ，当 A 振动起来后，通过水平绳迫使 B 、 C 、 D 振动，则下列说法中正确的是（ ）



- A. A 、 B 、 C 、 D 四个单摆的振动周期相同
- B. 只有 A 、 C 两个单摆的振动周期相同
- C. C 的振幅比 D 的大， D 的摆幅比 B 的大
- D. A 、 B 、 C 、 D 四个单摆的振幅相同

例 3、判断下列说法中正确的是（ ）

- A. 阻尼振动一定是减幅振动
- B. 物体作阻尼振动时，随振幅的减小，频率不断减小
- C. 受迫振动稳定时的频率等于驱动力的频率，与物体的固有频率无关
- D. 受迫振动频率由驱动力和物体结构特点共同决定

例 4、如图装置中，已知弹簧振子的固有频率 $f_{\text{固}}=2\text{Hz}$ ，电动

机皮带轮的直径 d_1 是曲轴皮带轮直径 d_2 的 $\frac{1}{2}$ ，为使弹簧振子的振幅最大，则电

动机的转速应为（ ）

- A. 60r/min
- B. 120r/min
- C. 30r/min
- D. 240r/min
- E. 180r/min

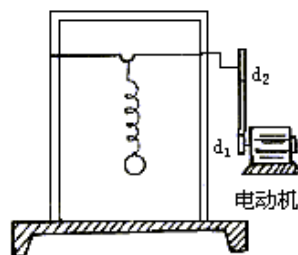


图 5-28

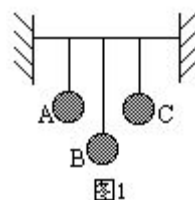
针对训练

1. 两个弹簧振子，甲的固有频率是 100Hz，乙的固有频率是 400Hz，若它们均在频率是 300Hz 的驱动力作用下做受迫振动，则（ ）

- A. 甲的振幅较大，振动频率是 100Hz
- B. 乙的振幅较大，振动频率是 300Hz
- C. 甲的振幅较大，振动频率是 300Hz
- D. 乙的振幅较大，振动频率是 400Hz

2. 如图 1 所示，A 球振动后，通过水平细绳迫使 B、C 振动，下面说法中正确的是（ ）

- A. 只有 A、C 振动周期相等
- B. A 的振幅比 B 小
- C. C 的振幅比 B 的振幅大
- D. A、B、C 的振动周期相等



3. 铁轨上每根钢轨长 12m，若支持车厢的弹簧固有频率是 2Hz，那么列车以多大速度行驶时，车厢振动最厉害（ ）

- A. 6m/s
- B. 12m/s
- C. 24m/s
- D. 48m/s

4. 一单摆做阻尼振动，则在振动过程中（ ）

- A. 振幅越来越小，周期也越来越小
- B. 振幅越来越小，周期不变
- C. 在振动过程中，通过某一位置时，机械能始终不变
- D. 振动过程中，机械能不守恒，周期不变

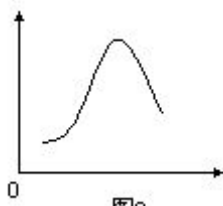
5. 某振动系统的固有频率 f_1 ，该振动系统在频率为 f_2 的驱动力的作用下做受迫振动，系统的振动频率为（ ）

- A. f_1
- B. f_2
- C. $f_1 + f_2$
- D. $(f_1 + f_2) / 2$

6. 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

7. 如图 2 所示是物体受迫振动的共振曲线，其纵坐标表示了物体（ ）



- A. 在不同时刻的振幅
- B. 在不同时刻的位移
- C. 在不同驱动力下的振幅
- D. 在不同驱动力下的位移

8. 一平台沿竖直方向作简谐运动，一物体置于振动的平台上随台一起运动，当振动平台处于什么位置时，物体对台面的正压力最大（ ）

- A. 当振动平台运动到最高点时
- B. 当振动平台向下运动过振动中心点时
- C. 当振动平台运动到最低点时
- D. 当振动平台向上运动过振动中心点时

9. 若列车车厢与其负荷总质量为 $m=55.0\text{t}$ ，车厢弹簧每受 1.0t 重就被压缩 $S=0.80\text{mm}$ ，我国铁路一般轨长为 $L=12.6\text{m}$ ，列车的危险速率（发生激烈颠簸时的速率）为_____。

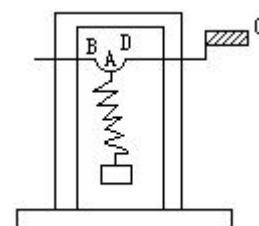


图3

10. 如图 3 所示，在曲柄 A 上悬挂一个弹簧振子，如果转动摇把 C 可带动曲轴 BAD ，用手往下拉振子，再放手使弹簧振子上下振动，测得振子在 10s 内完成 20 次全振动，然后匀速转动摇把，当转速为_____ r/min ，弹簧振子振动最剧烈，稳定后的振动周期为_____ s 。

11. 如图 4 所示，一个偏心轮的圆心为 O ，重心为 C ，它们所组成的系统在竖直方向上发生自由振动的频率为 f ，当偏心轮以角速度 ω 绕 O 轴匀速转动时，则当 $\omega=_____$ 时振动最为剧烈，这个现象称为_____。

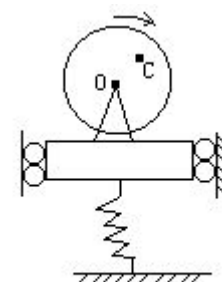


图4

12. 如图 5 为一单摆的共振曲线，则该单摆的摆长约为多少？共振时单摆的振幅多大？共振时摆球的最大加速度和最大速度大小各为多少？

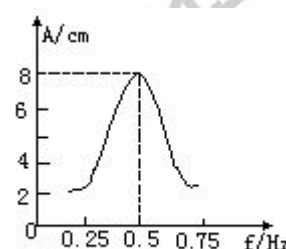


图5

答案

1. B 2. CD 3. C 4. BD 5. B
6. ACD 7. C 8. C
9. 108km/h 10. 120, 0.25 11. $2\pi f$, 共振
12. 8cm 0.8m/s^2 , 0.25m/s

机械波及其图象

【基本概念与基本规律】

一、机械波

1. 机械波的产生

(1) 定义：机械振动在介质中的传播过程，叫做机械波。

(2) 产生条件：波源和介质。

(3) 产生过程：沿波的传播方向上各质点的振动都受它前一个质点的带动而做受迫振动，对简谐波而言各质点振动的振幅和周期都相同，各质点只在自己的平衡位置附近振动，并不“随波逐流”，波只是传播的运动形式和振动能量。

2. 波的分类

(1) 横波：质点的振动方向与传播方向垂直，突起部分叫波峰，凹陷部分叫波谷。

(2) 纵波：质点的振动方向与波的传播方向在一条直线上，质点分布密的叫密部，质点分布疏的叫疏部。

3. 描述机械波的物理量

(1) 波长 λ ：两个相邻的、在振动过程中对平衡位置的位移总是相等的质点间的距离叫波长。

在横波中，两个相邻的波峰（或波谷）间的距离等于波长。

在纵波中，两个相邻的密部（或疏部）间的距离等于波长。

在一个周期内机械波传播的距离等于波长。

(2) 频率 f ：波的频率由波源决定，在传播过程中，只要波源的振动频率一定，则无论在什么介质中传播，波的频率都不变。

(3) 波速 v ：单位时间内振动向外传播的距离，即 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 。波速与波长和频率的关系： $v = \lambda f$ ，波速的大小由介质决定。

【例 1】如图 1，沿波的传播方向上有间距为 2m 的五个质点 a 、 b 、 c 、 d 、 e ，均静止在各自的平衡位置。一列简谐横波以 2m/s 的速度水平向右传播， $t=0$ 时刻波到达质点 a ，质点 a 开始平衡位置向下运动， $t=3s$ 时质点 a 第一次到达最高点，则下列说法中不正确的是？（ ）

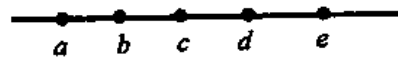


图 1

A、质点 d 开始振动后的振动周期为 4s

B、 $t=4s$ 时刻波恰好传到质点 e

C、 $t=5s$ 时质点 b 到达最高点。

D、在 $3s < t < 4s$ 这段时间内质点 c 速度方向向上

【例 2】关于振动和波的关系，下列说法中正确的是（ ）

A、如果波源停止振动，在介质中传播的波动也立即停止

B、物体作机械振动，一定产生机械波

C、波的速度即波源的振动速度

D、波在介质中的传播频率，与介质性质无关，仅由波源的振动频率决定。

【例 3】一列在竖直方向振动的简谐横波，波长为 λ ，沿正 x 方向传播，某一时刻，在振动位移向上且大小等于振幅一半的各点中，任取相邻的两点 P_1 、 P_2 ，已知 P_1 的 x 坐标小于 P_2 的 x 坐标（ ）

A、若 $P_1 P_2 < \lambda/2$ ，则 P_1 向下运动， P_2 向上运动。

B、若 $P_1 P_2 < \lambda/2$ ，则 P_1 向上运动， P_2 向下运动。

C、若 $P_1 P_2 > \lambda/2$ ，则 P_1 向上运动， P_2 向下运动。

D、若 $P_1 P_2 > \lambda/2$ ，则 P_1 向下运动， P_2 向上运动。

二、机械波的图象

1. 图象：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位移，连接各位移矢量的末端，得出的曲线即为波的图象，简谐波的图象是正弦（或余弦）曲线。

2. 物理意义：某一时刻介质中各质点相对平衡位置的位移。

【例 4】如图 2 所示为波源开始振动一个周期的波形图，设介质中质点振动的周期为 T ，下面说法正确的是（ ）

- A、若 M 点为波源，则 M 点开始振动的方向向下
- B、若 N 点为波源，则 P 质点振动了 $3T/4$ 的时间
- C、若 M 为波源，则 P 质点振动了 $3T/4$ 的时间
- D、若 N 为波源，则该时刻 P 质点的动能最小

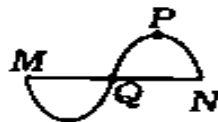


图 2

【例 5】已知一列在弹性绳上传播的简谐横波在某一时刻的波形，则下列说法正确的是（ ）

- A、只要绳上一点（速度不为零的点）的振动速度方向已知，就可确定波的传播方向。
- B、只要波的传播方向已知，就可确定此时绳子上任一点（速度不为零的点）振动的速度方向。
- C、波的周期等于绳上每一点的振动周期。
- D、波在传播过程中，绳子上的各质点将以波的传播速度沿着波形运动。

【例 6】在均匀介质中选取平衡位置在同一直线上的 9 个质点，相邻两质点的距离均为 L ，如图(a) 所示。一列横波沿该直线向右传播， $t=0$ 时到达质点 1，质点 1 开始向下运动，经过时间 Δt 第一次出现如图 (b) 所示的波形。则该波的（ ）

- A、周期为 Δt ，波长为 $8L$
- B、周期为 $\frac{2}{3}\Delta t$ ，波长为 $8L$
- C、周期为 $\frac{2}{3}\Delta t$ ，波速为 $12L/\Delta t$
- D、周期为 Δt ，波速为 $8L/\Delta t$

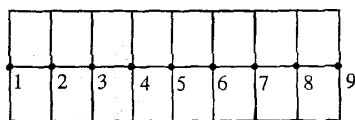


图 (a)

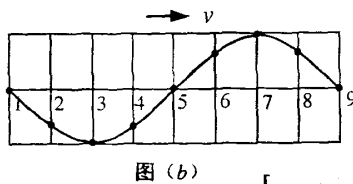
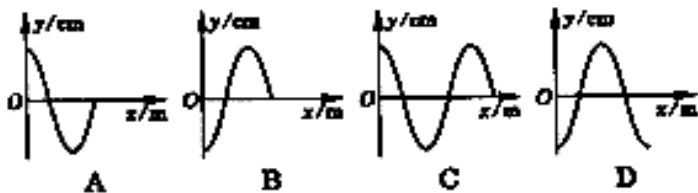


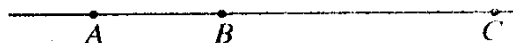
图 (b)

【例 7】呈水平状态的弹性绳，左端在竖直方向做周期为 0.4 s 的简谐振动，在 $t=0$ 时左端开始向上振动，则在 $t=0.5\text{ s}$ 时，绳上的波可能是图中的（ ）



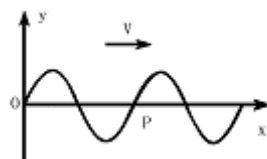
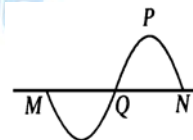
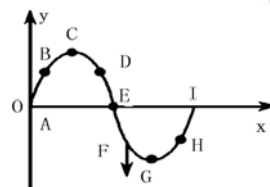
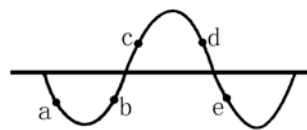
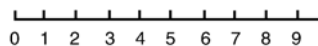
【例 8】一列简谐横波沿直线传播， A 、 B 、 C 是直线上的三个质点，如图所示。某时刻波传播到了 B 点， A 点刚好处于波谷位置。已知波长大于 7 m ，小于 10 m ， $AB=14\text{ m}$ ，周期 $T=0.1\text{ s}$ ，振幅为 5 cm 。再经过 0.5 s ， C 点第一次到达波谷，则（ ）

- A、 A 、 C 两点相距 48 m 。
- B、波速为 80 m/s 。
- C、到此为止， A 点运动的路程为 120 cm
- D、到此为止， A 点运动的路程为 125 cm



针对练习

- 传播一列简谐波的介质中各点具有相同的 ()
A. 步调 B. 振动周期 C. 动能 D. 振幅
- 关于机械波的概念下列说法正确的是 ()
A. 质点振动的方向总是垂直于波传播的方向
B. 波在传播过程中, 介质中的质点的振动是受迫振动
C. 如果振源停止振动, 在媒质中传播的波动也立即停止
D. 物体做机械振动, 一定产生机械波
- 下列关于横波与纵波的说法中, 正确的是 ()
A. 振源上下振动形成的波是横波
B. 振源左右振动形成的波是纵波
C. 振源振动方向与波的传播方向相互垂直, 形成的是横波
D. 在固体中传播的波一定是横波
- 如图所示为沿水平方向的介质中的部分质点, 每相邻两质点间距离相等, 其中 O 为波源。设波源的振动周期为 T , 自波源通过平衡位置竖直向下振动时开始计时, 经过 $T/4$ 质点 1 开始起振, 则下列关于各质点的振动和介质中的波的说法中正确的是 ()
A. 介质中所有质点的起振方向都是竖直向下的, 但图中质点 9 起振最晚
B. 图中所画出的质点起振时间都是相同的, 起振的位置和起振的方向是不同的
C. 图中质点 8 的振动完全重复质点 7 的振动, 只是质点 8 振动时, 通过平衡位置或最大位移的时间总是比质点 7 通过相同位置时落后 $T/4$
D. 只要图中所有质点都已振动了, 质点 1 与质点 9 的振动步调就完全一致, 但如果质点 1 发生的是第 100 次振动, 则质点 9 发生的就是第 98 次振动
- 一列横波水平方向传播, 某时刻的波形如下图所示, 则图中 a 、 b 、 c 、 d 四点在此时刻具有相同运动方向的是 ()
A. a 和 c B. a 和 d
C. b 和 c D. b 和 d
- 如图所示, 为一列简谐横波在某时刻的波动图像, 已知图中质点 F 此时刻运动方向竖直向下, 则应有 ()
A. 此时刻质点 H 和 F 运动方向相反
B. 质点 C 将比质点 B 先回到平衡位置
C. 此时刻质点 C 的加速度为零
D. 此时刻质点 B 和 D 的加速度方向相同
- 如下图所示为波源开始振动后经过一个周期的波形图, 设介质中质点振动周期为 T , 则下列说法中正确的是 ()
A. 若点 M 为振源, 则点 M 开始振动时的方向向下
B. 若点 N 为振源, 则点 P 已振动了 $3T/4$
C. 若点 M 为振源, 则点 P 已振动了 $3T/4$
D. 若点 N 为振源, 到该时刻点 Q 向下振动
- 一列沿 x 轴方向传播的横波, 振幅为 A , 波长为 λ , 某时刻波的图象如图所示, 在该时刻某一质点的坐标为 $(\lambda, 0)$ 经过四分之一周期后, 该质点的坐标为 ()
A. $(5\lambda/4, 0)$
B. $(\lambda, -A)$
C. (λ, A)
D. $(5\lambda/4, A)$

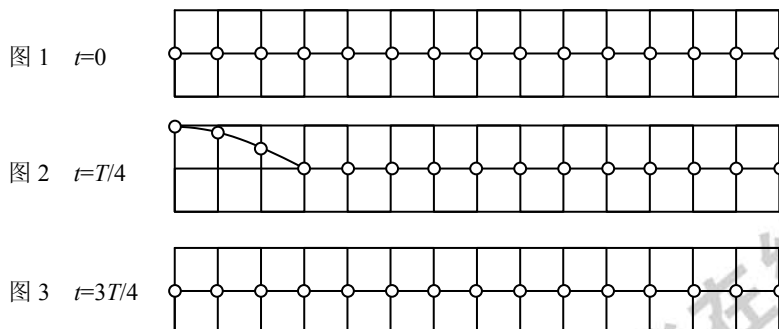


9. 如图所示, S 点为波源, 其频率 100Hz , 所产生的横波向右传播, 波速为 80m/s , P 、 Q 是波传播途径中的两点, 已知 $SP=4.2\text{m}$, $SQ=5.4\text{m}$, 当 S 通过平衡位置向上运动时, 则 ()

- A. P 在波谷, Q 在波峰
B. P 在波峰, Q 在波谷
C. P 、 Q 都在波峰
D. P 通过平衡位置向上运动, Q 通过平衡位置向下运动

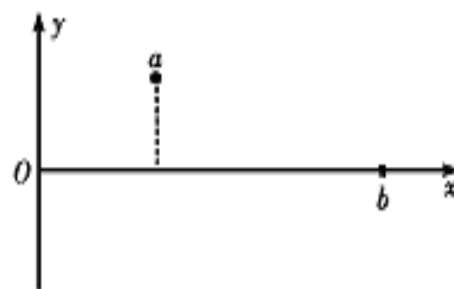


10. 细绳的一端在外力作用下从 $t=0$ 时刻开始做简谐运动, 激发出一列简谐横波。在细绳上选取 15 个点, 图 1 为 $t=0$ 时刻各点所处的位置, 图 2 为 $t=T/4$ 时刻的波形图 (T 为波的周期)。在图 3 中画出 $t=3T/4$ 时刻的波形图。



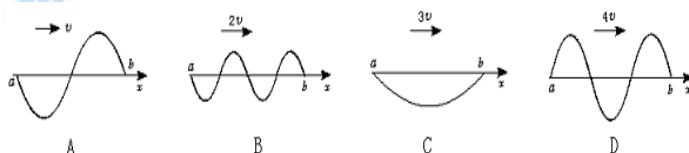
11. 绳中有一列正弦横波, 沿 x 轴传播。如图 a 、 b 是绳上两点, 它们在 x 轴方向上的距离小于一个波长, 当 a 点振动到最高点时, b 点恰经过平衡位置向上运动, 在 a 、 b 之间画出两个波形分别表示:

- (1) 沿 x 轴正方向传播的波;
(2) 沿 x 轴负方向传播的波, 并注明①和②



12. 如图所示, 有四列简谐波同时沿 x 轴正方向传播, 波速分别是 v 、 $2v$ 、 $3v$ 和 $4v$, a 、 b 是 x 轴上所给定的两点, 且 $ab=l$ 。在 t 时刻 a 、 b 两点间四列波的波形分别如图所示, 则:

- (1) 试推算由该时刻起 a 点出现波峰的先后顺序;
(2) 推算频率由高到低的先后顺序。



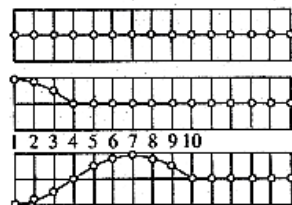
13. 在一列沿水平直线传播的简谐横波上, 有平衡位置相距 0.4m 的 B 、 C 两质点, $t_1=0$ 时 B 、 C 两质点的位移为正的最大值, 而且 B 、 C 间有一个波谷。当 $t_2=0.1\text{s}$ 时, B 、 C 两质点的位置刚好在各自的平衡位置, 并且这时 B 、 C 间呈现一个波峰和一个波谷, 波谷离 B 点为波长的 $1/4$ 。试求: (1) 该简谐横波的周期、波速各为多少?

(2) 若波速为 27m/s , 则 $t_3=3\text{s}$ 时质点 C 的振动方向怎样?

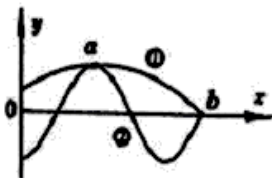
《机械波 波的图像》参考答案

1、B 2、B 3、C 4、ACD 5、BC 6、ABD 7、B 8、B 9、A
10、设每两个相邻点之间的距离为 s ，则由图 2 可知该简谐横波的波长为 $\lambda = 12s$ ，

所以当 $t = \frac{3T}{4}$ 时刻波传播到 10 号点，此时 1 号点在最低点、4 号点在平衡位置和 7 号点在最高点，运用“特殊点法”可作出波形图 3。



11、如图所示：



12、BDCA; DBCA

解析：现分别考查各图。对 A 图： $\lambda_1 = l$ ， $v = \lambda_1 f_1$ ， $f_1 = \frac{v}{l}$ ， a 出现波峰时刻 $t_1 = \frac{T_1}{4} = \frac{l}{4v}$ 。

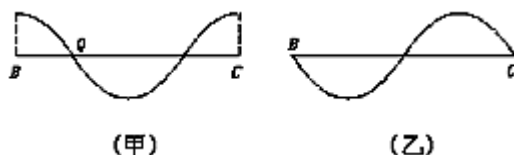
对 B 图： $\lambda_2 = \frac{l}{2}$ ， $f_2 = \frac{2v}{\lambda_2} = \frac{4v}{l}$ ，由于此时 a 点正向上振，故 $t_2 = \frac{T_2}{4} = \frac{l}{16v}$ 。

对 C 图： $\lambda_3 = 2l$ ， $f_3 = \frac{3v}{\lambda_3} = \frac{3v}{2l}$ ， $t_3 = \frac{T_3}{4} = \frac{l}{6v}$ 。

对 D 图： $\lambda_4 = \frac{2l}{3}$ ， $f_4 = \frac{4v}{\lambda_4} = \frac{6v}{l}$ ，由于此时 a 点正向下振，故 $t_4 = \frac{3}{4}T_4 = \frac{l}{8v}$ 。

13、(1) $T_1 = \frac{0.4}{4n+3}$ s， $v_1 = (4n+3)$ m/s 或 $T_2 = \frac{0.4}{4n+1}$ ， $v_2 = (4n+1)$ m/s，其中 $n=0, 1, 2, 3, \dots$ (2) C 向上振动

解析：(1) 据题意作出 $t_1=0$ 时刻 B、C 质点间的波动图象如图 (甲) 所示和 $t_2=0.1$ s 的波动图象 (乙)，可知 B、C 质点空间间距为波长 λ ，由于传播方向不明，由 (甲) 波形变为 (乙) 波形存在的两种可能。



若波从 B 向 C 传播，则经 $nT_1 + \frac{3}{4}T_1$ 时间，甲波变为乙波，即

$$\Delta t = t_2 - t_1 = nT_1 + \frac{3}{4}T_1, \text{ 且 } v_1 = \frac{\lambda}{T_1} \text{ 代入数据得: } T_1 = \frac{0.4}{4n+3} \text{ s, } v_1 = (4n+3) \text{ m/s,}$$

其中 $n=0, 1, 2, 3, \dots$

同理，若波从 C 向 B 传播，则有 $\Delta t = t_2 - t_1 = nT_2 + \frac{1}{4}T_2$ ，且 $v_2 = \frac{\lambda}{T_2}$ 。

得： $T_2 = \frac{0.4}{4n+1}$ ， $v_2 = (4n+1)$ m/s，其中 $n=0, 1, 2, 3, \dots$

(2) 只有预先知道波的传播方向才能判定质点的振动方向，由波速公式得在 Δt 时间内波所传播的距离为 $\Delta s = v\Delta t = 27 \times 0.1 \text{ m} = 2.7 \text{ m} = 6\lambda + \frac{3}{4}\lambda$ ，故波是从 B 向 C 传播的。 $\Delta t' = t_3 - t_1 = 6T_1 + \frac{3}{4}T_1$ ，

则 $t_3=0.3$ s 时刻 C 质点在“效仿”前质点 Q 在 (甲) 图的振动行为，C 向上振动。

波的特有现象

一、基础知识分析

1. 波的独立传播原理和叠加原理

独立传播原理：几列波相遇时，能够保持各自的运动状态继续传播，不互相影响；

叠加原理：介质质点的位移、速度、加速度都等于几列波单独传播时引起的位移、速度、加速度的矢量和。

两者并不矛盾：前者是描述波的性质：同时在同一介质中传播的几列波都是独立的；后者是描述介质质点的运动情况：每个介质质点的运动是各列波在该点引起的运动的矢量和。

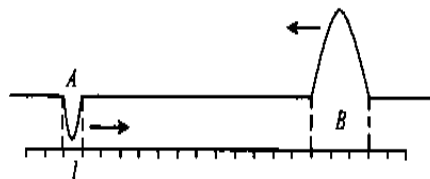


图 1

2. 波的干涉

波的干涉是两列波在特定条件下的叠加。

(1) 产生干涉的条件：两列波的频率相等。

(2) 现象：两列波相遇时，某些区域总是振动加强，某些区域总是振动减弱，且振动加强和减弱的区域相互间隔。

(3) 振动加强区和减弱区：振动完全相同的两列波，某点到两波源间的距离之差为半波长的偶数倍（波长的整数倍），则是振动加强区；某点到两波源间的距离之差为半波长的奇数倍，则是振动减弱区。

3. 波的衍射

(1) 现象：波穿过小孔或障碍物，进入阴影区内。

(2) 发生明显衍射现象的条件是：障碍物或孔的尺寸比波长小，或者跟波长相差不多。

4. 多普勒效应

(1) 由于观察者与波源之间存在相对运动，使观察者感受到的波的频率与波的实际频率不同的现象。

(2) 产生的原因

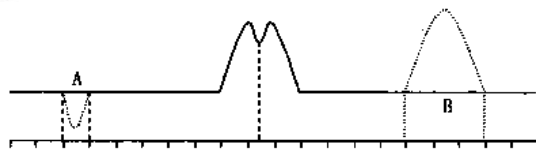
观察者接收到的频率等于观察者在单位时间内接收到的完全波的个数，当波以一定速度 v 通过接收者时， t 内通过的其完全波的个数为 $N = vt/\lambda$ ，因而单位时间内通过接收者的完全波的个数，即接受频率 $f = v/\lambda$ 。

若波源不动观察者朝向波源以速度 v_2 运动，由于相对速度增大而是的单位时间内通过观察者的完全波的个数增多，即 $f' = (v + v_2)/\lambda = (1 + v_2/v)f$ ，可见，接收频率增大了，同理可知，当观察者背离波源运动时，接收频率将减小。

当观察者不动，波源向观察者以速度 v_1 运动，由于波长变短为 $\lambda' = \lambda - v_1 T$ 而使得单位时间内通过观察者的完全波个数增多，即 $f' = v/\lambda' = v/(\lambda - v_1 T) = vf/(v - v_1)$ 。可见，接收频率也增大；反之，减小。

二、典型题例

【例 1】两列波相向而行，在某时刻的波形与位置如图所示，已知波的传播速度为 v ，图中标尺每个长度为 L ，在图中画出又经过 $t = 7L/v$ 时的波形。



【例2】如图2所示， S 为音频发生器， A 、 B 是两个振动情况相同的发生器， A 、 B 间的距离为 $d = 1\text{m}$ ，一个人在 P_0P 线上行走是，在 P_0 处听到强声，到 P 处又听到一个强声，若 $L = 5\text{m}$ ， $P_0P = 85\text{cm}$ ，声速为 340m/s ，求声波的波长和频率。

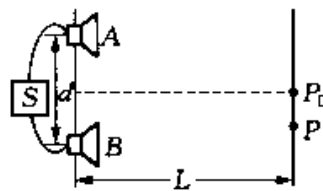
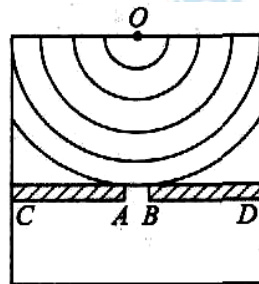


图 2

【例3】如图是观察水波衍射的装置， AC 和 BD 是两块挡板， AB 是一个孔， O 是波源，图中已经画出波源所在区域波的传播情况，每条相邻波纹（图中曲线）之间的距离表示一个波长，则对于波经过孔之后的传播情况，下列描述中正确的是（ ）



- A、此时能明显观察到波的衍射现象。
- B、挡板前后波纹间距相等。
- C、如果孔 AB 扩大后，有可能观察不到明显的衍射现象。
- D、如果孔的大小不变，使波源频率增大，能更明显观察到衍射现象。

【例4】当人听到声音的频率越来越低时，可能的原因是（ ）

- A、声源和人都是静止的，声源振动的频率越来越低。
- B、人静止，声源远离人做匀速直线运动，声源振动的频率不变
- C、人静止，声源远离人做匀加速直线运动，声源振动的频率不变。
- D、人静止，声源远离人做匀减速直线运动，声源振动的频率不变

三、波的干涉衍射针对训练：

1、两固定相同声源发出的波长相等的声波叠加，如果某时刻叠加区域里 P 点是两列波的波谷相遇，那么在以后的时间里， P 点的振动（ ）

- A. 有时加强，有时减弱
- B. 经半个周期的奇数倍时加强
- C. 始终加强
- D. 始终减弱

2、两个振动情况完全相同的波源发出的波都传到 P 点，而 P 点的振动总是加强的，则 P 点到两个波源的距离之差必为（ ）

- A. 半波长的奇数倍
- B. 半波长的整数倍
- C. 波长的奇数倍
- D. 波长的整数倍

3、如图1是某时刻 t 两列波的叠加图， S_1 、 S_2 是相干波源，它们的振动情况完全相同，发出两列完全相同的水波，波峰、波谷分别用实线、虚线表示，下列说法正确的是（ ）

- A. B 质点始终位于波谷处， D 质点始终位于波峰处
- B. 经过半个周期， B 质点变为波峰， D 质点变为波谷
- C. 只有 D 质点振动始终加强
- D. C 、 E 两质点振动始终减弱

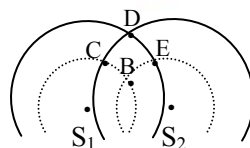


图 1

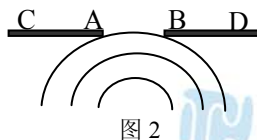
4、以下现象属于声波的干涉现象的是（ ）

- A. 房间外的人听到房间里的人的讲话声
- B. 下雨时雷声轰鸣不绝，这是由于声波在云里发生干涉的结果
- C. 敲响音叉，另一个与它完全相同的音叉也响起来
- D. 敲响音叉，在音叉周围有的地方听到声音响些

5、关于声波以下说法正确的是 ()

- A. 在空中传播的声波一定是纵波
- B. 声波不仅能在空气中传播，还可以在固体、液体中传播
- C. 对于空气中传播的声波来说，由于 $v = \lambda f$ ，故频率越高波速越大
- D. 次声波在空气中传播速度比普通声波传播要快许多

6、如图 2 是观察水面波衍射的实验装置， AC 和 BD 两块挡板， AB 是一小孔， O 是波源，图中已画出波源所在区域波的传播情况，每两条相邻波纹之间距离表示一个波长，则波经过孔之后的传播情况，下列描述中正确的是 ()



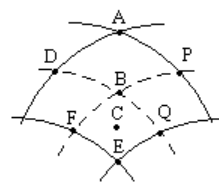
- A. 此时能明显观察到波的衍射现象
- B. 挡板前后波纹距离相等
- C. 如果将孔 AB 扩大，有可能观察不到明显的衍射现象
- D. 如果孔的大小不变，使波源频率增大，能更明显观察到衍射现象

7、如图 3 所示中 S 为在水面上振动的波源， M 、 N 是水面上的两块挡板，其中 N 板可以上下移动，两板中间有一狭缝，此时测得 A 处水没有振动，为使 A 处水也能发生振动，可采用的方法是 ()



- A. 使波源的频率增大
- B. 使波源的频率减小
- C. 移动 N 使狭缝的间距增大
- D. 移动 N 使狭缝的间距减小

8、如图所示表示两列相干水波的叠加情况，图中的实线表示波峰，虚线表示波谷。设两列波的振幅均为 5 cm ，且图示的范围内振幅不变，波速和波长分别为 1 m/s 和 0.5 m 。 C 点是 BE 连线的中点，下列说法中正确的是 ()



- A. C 、 E 两点都保持静止不动
- B. 图示时刻 A 、 B 两点的竖直高度差为 20 cm 。
- C. 图示时刻 C 点正处于平衡位置且向水面上运动。
- D. 从图示的时刻起经 0.25 s ， B 点通过的路程为 20 cm 。

9、关于多普勒效应的说法中，正确的是 ()

- A. 只要波源在运动，就一定能观察到多普勒效应
- B. 当声源静止，观察者运动时，也可以观察到多普勒效应。
- C. 只要声源在运动，观察者总是感到声音的频率变高
- D. 当声源相对观察者运动时，观察者听到的声音的音调可能变高，也可能变低。

10、当正在鸣笛的火车向着我们急驶而来时，我们听到的汽笛声的音调变高了，这是因为 ()

- A. 声源振动的频率变高了
- B. 声波传播的速度变大了
- C. 耳膜振动的频率变大了
- D. 耳膜振动的频率变小了

11、下列说法中不正确的是 ()

- A. 夏日雷声轰鸣不绝，属于声波的干涉
- B. 闻其声而不见其人，属于声波的衍射
- C. 两个完全相同的声源固定在空间某两位置上，如果在声源周围走动，时而感到有声，时而感到无声，这属于声波的干涉
- D. 听到远离的汽笛声音音调较低，这是波的多普勒效应

12、频率相同的声波，在空气中和水中传播时比较，在_____中容易发生明显的衍射现象，这是由于_____的缘故。

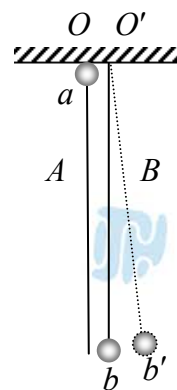
振动和波针对训练

1. 关于机械振动和机械波的关系，以下说法中正确的是（ ）

- A、有机械振动必有机械波；
- B、波源振动时的运动速度和波的传播速度始终相同；
- C、由某波源激起机械波，机械波和波源的频率始终相同；
- D、一旦波源停止振动，由它激起的机械波也立即停止波动。

2. 如图所示，两根细线长度均为 $2m$ ， A 细线竖直悬挂且在悬点 O 处穿有一个金属小球 a ， B 悬挂在悬点 O' 处，细线下端系有一金属小球 b ，并且有 $m_a > m_b$ ，把金属小球 b 向某一侧拉开 $3cm$ 到 b' 处，然后同时让金属小球 a 、 b 由静止开始释放，则两小球的最终情况是（ ）

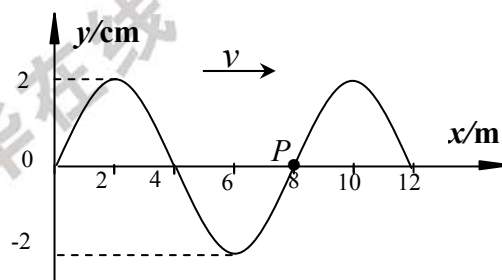
- A、 a 小球先到达最低点，不可能和 b 小球在最低点相碰撞；
- B、 b 小球先到达最低点，不可能和 a 小球在最低点相碰撞；
- C、 a 、 b 两小球恰好在最低点处发生碰撞；
- D、因为不知道 m_a 、 m_b 的具体数值，所以无法判断最终两小球的最终情况。



第 2 题

3. 一列横波沿 x 轴正方向传播， $t=0$ 时刻的波动图像如图所示，已知该横波的传播速度是 $10m/s$ ，那么横波上一点 P 在 $t=0.2s$ 时的位移是（ ）

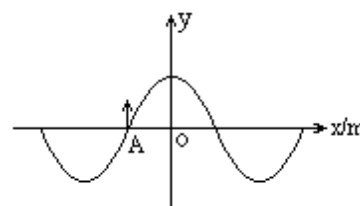
- A、 $2cm$
- B、 $-2cm$
- C、 $2m$
- D、 $-2m$



第 3 题

4. 一列沿 x 轴传播的简谐横波，某时刻的图像如图所示，质点 A 的位置坐标为 $(-5, 0)$ ，且此时它正沿 y 轴正方向运动，再经 $2s$ 将第一次到达正方向最大位移，由此可知（ ）

- A、这列波的波长为 $10m$
- B、这列波的频率为 $0.125Hz$
- C、这列波的波速为 $25m/s$
- D、这列波是沿 x 轴的正方向传播的



第 4 题

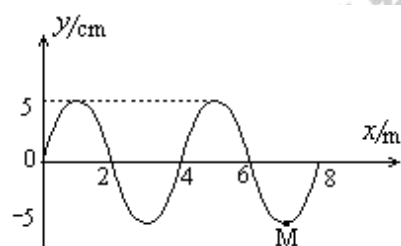
5. 以下关于波的说法中正确的是（ ）

- A、干涉现象是波的特征，因此任何两列波相遇时都会产生干涉现象；
- B、因为声波的波长可以与通常的障碍物尺寸相比，所以声波很容易产生衍射现象；
- C、声波是横波；
- D、纵波传播时，媒质中的各质点将随波的传播一直向前移动。

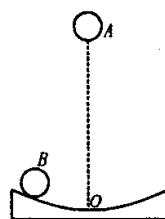
6. 甲、乙两个作简谐振动的单摆摆长之比为 $9:4$ ，则它们的振动周期之比 $T_{甲}:T_{乙} = \underline{\hspace{2cm}}$ ，在甲摆完成 10 次全振动的时间内，乙完成 $\underline{\hspace{2cm}}$ 次全振动。

7. 声音在空气中的传播速度为 $340m/s$ ，在水中的传播速度为 $1450m/s$ ，一列在空气中的波长为 $0.5m$ 的声波，当它传入水中后的频率是 $\underline{\hspace{2cm}}Hz$ ，波长应为 $\underline{\hspace{2cm}}m$ 。（保留 2 位小数）

8. 如图所示, 是一列波在 $t=0$ 时的波形图, 波速为 20 m/s , 传播方向沿 x 轴正向。从 $t=0$ 到 $t=2.5 \text{ s}$ 的时间内, 质点 M 所通过的路程是 _____ m , 位移是 _____ m 。(用小数表示)



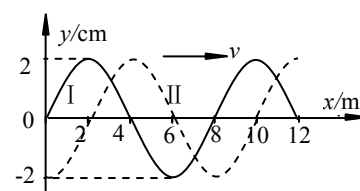
第 8 题



第 9 题

9. 如图所示, 光滑圆弧轨道的半径 R 极大, 圆弧底部中点为 O , 两个相同的小球分别在 O 点正上方高 h 处的 A 点和离 O 很近的轨道上的 B 点, 现同时让两球由静止释放, 若它们能同时到达 O 点, 则高 h 为 _____。(此题和选择题 2 类似)

10. 一列沿 x 轴正方向传播的横波, 某时刻的波形图像如图中的 I 所示, 经 $t=0.2 \text{ s}$ 后, 波形图像如图中的 II 所示。求这列波的波速。(思考若沿 x 轴负方向传播的情况)



第 10 题

11. 一列横波的波源在图中的坐标原点 O 处, 经过 0.4 s , 振动从 O 点向右传播 20 cm , P 点离 O 点的距离是 80 cm 。求:

(1) P 点起振时的速度方向如何?

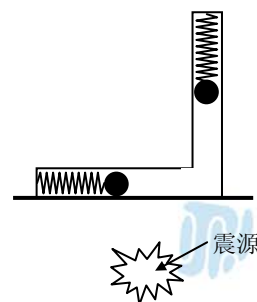
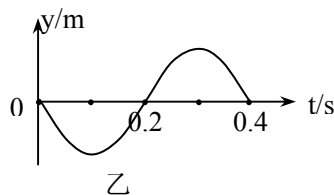
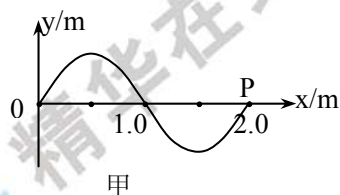
(2) 该波从原点向右传播时开始计时, 经多长时间质点 P 第一次到达波峰? (保留一位小数)



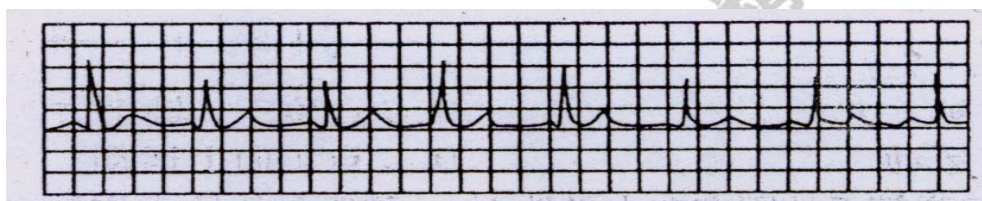
第 11 题

振动和波检测 2009、4

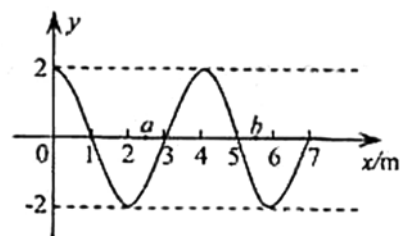
1. 如图所示，甲图为一列简谐横波在 $t=0.2\text{s}$ 时刻的波动图象，乙图为这列波上质点 P 的振动图象，则该波



- 沿 x 轴负方传播，波速为 0.8m/s
 - 沿 x 轴正方传播，波速为 0.8m/s
 - 沿 x 轴负方传播，波速为 5m/s
 - 沿 x 轴正方传播，波速为 5m/s
2. 已知心电图记录仪的出纸速度（纸带移动的速度）是 2.5cm/s ，如图所示是仪器记录下的某人的心电图，图中每个小格的边长为 0.5cm ，由此可知
- 此人的心率约为 75 次/分钟。
 - 此人的心率约为 125 次/分钟
 - 此人心脏每跳动一次所需时间约为 0.70 秒
 - 此人心脏每跳动一次所需时间约为 0.60 秒

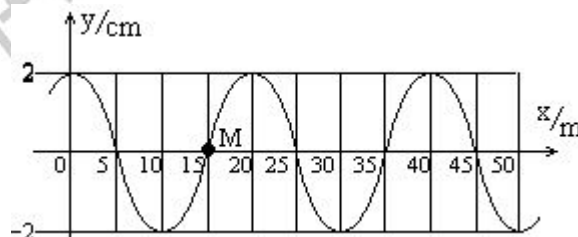


3. 一列简谐横波沿 x 轴传播，周期为 T ， $t=0$ 时刻的波形如图所示。此时平衡位置位于 $x=3\text{m}$ 处的质点正在向上运动，若 a 、 b 两质点平衡位置的坐标分别为 $x_a=2.5\text{m}$ ， $x_b=5.5\text{m}$ ，则
- 当 a 质点处在波峰时， b 质点恰在波谷
 - $t=T/4$ 时， a 质点正在向 y 轴负方向运动
 - $t=3T/4$ 时， b 质点正在向 y 轴负方向运动。
 - 在某一时刻， a 、 b 两质点的位移和速度可能相同

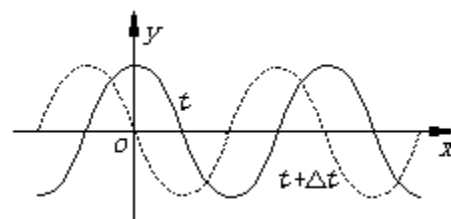


4. 2008 年北京时间 5 月 12 日 14 时 28 分，在四川省汶川县（北纬 31° ，东经 103.4° ）发生了 8 级地震。它是印度板块向亚洲板块俯冲，造成青藏高原快速隆升导致的。已知地震波分为三种：纵波（ P 波），速度 $v_p=9\text{km/s}$ ；横波（ S 波），速度 $v_s=4\text{km/s}$ ； $v_p < v_s$ 。一种简易地震仪由竖直弹簧振子 P 和水平弹簧振子 H 组成。在一次地震中，震源地地震仪下方，观察到两振子相差 5s 开始振动，则
- P 先开始振动，震源距地震仪约 36km
 - P 先开始振动，震源距地震仪约 25km
 - H 先开始振动，震源距地震仪约 36km
 - H 先开始振动，震源距地震仪约 25km

5. 简谐波沿 x 轴传播，波速为 50m/s ， $t=0$ 时的波形如图， M 处的质点此时正经过平衡位置沿 y 轴正方向运动，画出 $t=0.5\text{s}$ 时的波形图。

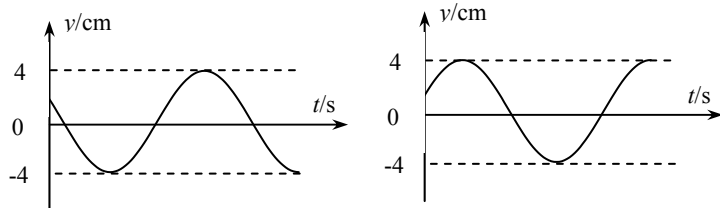
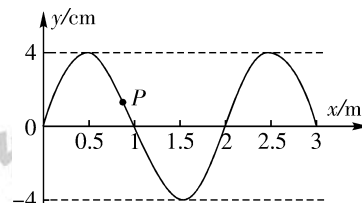


6. 图中的实线表示 t 时刻的一列简谐横波的图像，虚线则表示 $(t+\Delta t)$ 时刻该波的图像。设 T 为该波的周期，则 Δt 的取值（其中 $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ）：



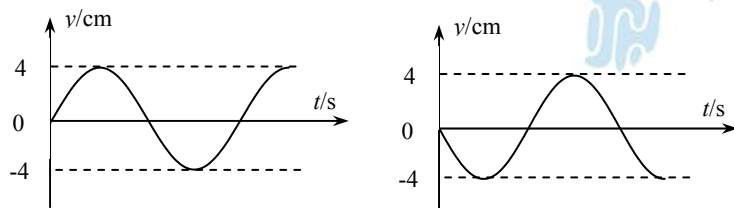
- A、若波沿 x 轴正方向传播， $\Delta t = (n + \frac{1}{4})T$
- B、若波沿 x 轴负方向传播， $\Delta t = (n + \frac{1}{2})T$
- C、若波沿 x 轴正方向传播， $\Delta t = (n + \frac{3}{4})T$
- D、若波沿 x 轴负方向传播， $\Delta t = (n + 1)T$

7. 如图所示，是一列简谐波在 $t=0$ 时刻的波动图像，已知这列波是沿 x 轴正方向传播，波速为 20 m/s ，下列四个是波上的 P 质点的振动图像，其中正确的是：



A

B



C

D

高中物理核心练习（五）

选择题部分

1	2	3	4	5
C	A	B	B	B

填空题部分

- 6、3:2; 15 7、680Hz; 2.13 8、2.5; 0.05 9、 $\frac{\pi^2}{8}R$

计算题部分

10、沿 x 轴正方向传播： $v=10\text{m/s}$ ；沿 x 轴负方向传播： $v=30\text{m/s}$

11、速度方向竖直向下； $t=1.9\text{s}$