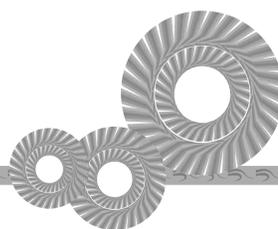


# 目录

# Contents ★★★★★



<b>第一章 动量守恒定律</b> .....	1
第一节 动量 .....	1
第二节 动量定理 .....	4
第三节 动量守恒定律 .....	8
第四节 实验:验证动量守恒定律 .....	13
第五节 弹性碰撞和非弹性碰撞 .....	18
第六节 反冲现象 火箭 .....	22
章末总结 .....	26
章末检测 .....	28
<b>第二章 机械振动</b> .....	33
第一节 简谐运动 .....	33
第二节 简谐运动的描述 .....	36
第三节 简谐运动的回复力和能量 .....	39
第四节 单摆 .....	42
第五节 实验:用单摆测量重力加速度 .....	45
第六节 受迫振动 共振 .....	48
章末总结 .....	51
章末检测 .....	52
<b>第三章 机械波</b> .....	56
第一节 波的形成 .....	56
第二节 波的描述 .....	59
第三节 波的反射、折射和衍射 .....	63
第四节 波的干涉 .....	65
第五节 多普勒效应 .....	68
章末总结 .....	70
章末检测 .....	72
<b>第四章 光</b> .....	76
第一节 光的折射 .....	76

第二节 全反射 .....	81
第三节 光的干涉 .....	85
第四节 实验:用双缝干涉测量光的波长 .....	90
第五节 光的衍射 .....	93
第六节 光的偏振 激光 .....	96
章末总结 .....	99
章末检测 .....	101
学业水平测试(A) .....	104
学业水平测试(B) .....	108
参考答案 .....	111

山东科学技术出版社

# 第一章 动量守恒定律

## 第一节 动量

### 一、学科素养与学习目标

1. 了解生产、生活中的碰撞现象,初步了解碰撞的不同类型,知道探究碰撞中不变量的基本思路,知道研究一维碰撞的实验方法,经历两个物体碰撞前后保持不变的物理量猜想过程。

2. 掌握实验数据的处理思路,合理分析实验数据并与猜想相结合,经历根据实验数据进行猜测、探究、发现规律的过程。通过实验过程提高动手操作能力和分析数据能力,认识实验探究在科学研究中的意义。

3. 经历动量概念的建立过程,经过科学推理和论证,意识到需要从不同角度描述物体运动,才能全面认识物体的运动。

4. 理解动量和动量变化的矢量性,会正确计算做一维运动的物体的动量变化。

5. 在培养创造性思维同时,激发对自然科学的探索热情,逐渐形成对科学和技术应有的态度及责任感。

### 二、自主探究与自我诊断

#### 自主探究

1. 碰撞是自然界中很常见的现象,火车车厢之间的挂钩靠碰撞连接,台球由于碰撞而改变运动状态。如图 1-1-1 所示,A、B 是两个悬挂起来的钢球,质量相等,使 B 球静止,拉起 A 球,放开后 A 球与 B 球碰撞,观察碰撞前后两球运动的变化。

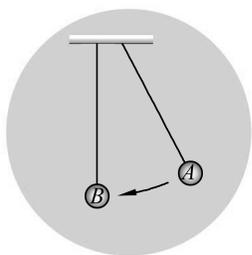


图 1-1-1

换成质量相差较多的两个小球,又会出现什么现象?

2. 我们研究最简单的碰撞情形:两物体碰撞前后沿同一条直线运动,即一维碰撞。请你设计实验,进行验证。实验中,如果碰撞前后速度方向相反,应该怎样记录  $v, v'$ ? 请你设计实验方案。

3. 为了寻找碰撞中的不变量,同学们经过思考得到以下 4 个猜想,  $v_1, v_2$  是碰撞前的速度,  $v_1', v_2'$  是碰撞后的速度。

$$\textcircled{1} v_1 + v_2 = v_1' + v_2'$$

$$\textcircled{2} \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$$

$$\textcircled{3} m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

$$\textcircled{4} \frac{v_1}{m_1} + \frac{v_2}{m_2} = \frac{v_1'}{m_1} + \frac{v_2'}{m_2}$$

请你经过分析先否定 2 个猜想,并说一说理由。

#### 自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 运动物体在任一时刻的动量方向一定是该时刻的速度方向。 ( )
2. 物体的动量越大,其惯性也越大。 ( )
3. 物体的加速度不变,其动量一定不变。 ( )
4. 物体的动能发生变化,其动量一定变化。 ( )
5. 物体的动量发生变化,其动能一定变化。 ( )

### 三、合作探究与疑难剖析

#### 重点解读

动量

(1) 定义:物体的质量和速度的乘积。

(2) 表达式:  $p = mv$ 。

(3) 单位:  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 。

(4) 方向:动量是矢量,方向与速度的方向相同,因此动量的运算遵从平行四边形定则。在一维碰撞中,相互作用的两个物体在碰撞前后的速度在一条

直线上,矢量运算转化为代数运算。

### 疑难突破

#### 1. 动量的变化量

(1) 定义:物体在某段时间内末动量和初动量的矢量差(也是矢量)。

(2) 公式: $\Delta p = mv' - mv$ (矢量式)。

(3) 方向:与速度变化量的方向相同。

(4) 同一直线上动量变化的计算:选定一个正方向,与正方向同向的动量取正值,与正方向反向的动量取负值,从而将矢量运算简化为代数运算。计算结果中的正负号仅代表方向,不代表大小。

#### 2. 动量、动能、动量变化量的比较

	动量	动能	动量变化量
定义式	$p = mv$	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	$\Delta p = p' - p$
标矢性	矢量	标量	矢量
特点	状态量	状态量	过程量
关联方程	$E_k = \frac{p^2}{2m}, E_k = \frac{1}{2}pv, p = \sqrt{2mE_k}, p = \frac{2E_k}{v}$		
联系	(1) 对于给定的物体,若动能发生变化,则动量一定也发生变化;若动量发生变化,则动能不一定发生变化 (2) 都是相对量,都与参考系的选取有关,通常选取地面为参考系		

### 典型例题

**例1** (多选)关于动量的概念,下列说法正确的是 ( )

- A. 动量大的物体惯性一定大
- B. 动量大的物体运动一定快
- C. 动量相同的物体运动方向一定相同
- D. 动量相同的物体速度小的惯性大

**思路点拨:**需要明确动量的概念。

**解析:**物体的动量是其质量和速度的乘积,所以动量大的物体不一定质量大,也不一定速度大,而是质量和速度的乘积大,所以 A、B 均错误, D 正确;物体的动量方向与速度方向相同,所以 C 正确。故选 CD。

**方法提炼:**物体的动量是质量和速度的乘积,方向时刻与速度相同。

**变式训练 1** (多选)关于动量和动能,下列说法正确的是 ( )

- A. 动能变化的物体,动量一定变化

B. 动能不变的物体,动量一定不变

C. 动量变化的物体,动能一定变化

D. 动量不变的物体,动能一定不变

**例2** 如图 1-1-2 所示,质量是 8 g 的玻璃球,以 3 m/s 的速度向右运动,碰到一个物体后被弹回,以 2 m/s 的速度沿同一直线向左运动,试求该玻璃球的动量变化量。

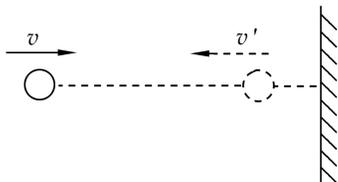


图 1-1-2

**思路点拨:**需要知道动量变化的定义方法,才能准确计算动量变化。

**解析:**设水平向右的方向为正方向,则  $p = mv = 8 \times 10^{-3} \times 3 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 2.4 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $p' = mv' = 8 \times 10^{-3} \times (-2) \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -1.6 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ;

故玻璃球动量的变化量为  $\Delta p = p' - p = -1.6 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 2.4 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -4.0 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 。“-”表示动量变化量的方向水平向左。

**方法提炼:**动量变化是末动量和初动量的矢量差,运算时遵循矢量运算法则,应该先规定正方向。

**变式训练 2** 对于竖直向上抛出的物体,下列关于物体在上升阶段的动量和动量变化量说法,正确的是 ( )

- A. 物体的动量方向向上,动量变化量的方向也向上
- B. 物体的动量方向向上,动量变化量的方向向下
- C. 物体的动量方向向下,动量变化量的方向向上
- D. 物体的动量方向向下,动量变化量的方向也向下

### 四、分层训练与能力提升

#### 基础达标

- 下列关于动量的说法正确的是 ( )
  - 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,动量一定相等
  - D. 两物体动能相等,动量不一定相等
- 在“探究碰撞中的不变量”的实验中,为了顺利地完成实验,入射球质量为  $m_1$ ,被碰球质量为  $m_2$ ,二者关系应是 ( )

- A.  $m_1 > m_2$       B.  $m_1 = m_2$   
C.  $m_1 < m_2$       D. 以上三个关系都可以

3. 质量为 0.5 kg 的物体,运动速度为 3 m/s,它在一个变力作用下速度变为 7 m/s,方向和原来相反,则这段时间内动量的变化量为 ( )  
A. 5 kg·m/s,方向与原运动方向相反  
B. 5 kg·m/s,方向与原运动方向相同  
C. 2 kg·m/s,方向与原运动方向相反  
D. 2 kg·m/s,方向与原运动方向相同
4. 两球相向运动发生正碰,碰撞后两球均静止,于是可以断定,在碰撞以前 ( )  
A. 两球的质量相等  
B. 两球的速度大小相同  
C. 两球的质量与速度的乘积大小相等  
D. 以上都不能断定
5. 质量为 2 kg 的物体,速度由向东的 3 m/s 变为向西的 3 m/s,它的动量和动能是否变化了? 如果变化了,变化量各是多少?

6. 如图 1-1-3 甲所示,在水平光滑轨道上停着  $a$ 、 $b$  两辆实验小车, $a$  车系一穿过打点计时器的纸带,当  $a$  车受到水平向右的瞬时力时,随即启动打点计时器, $a$  车运动一段距离后,与静止的  $b$  车发生正碰并连在一起运动,纸带记录下碰撞前  $a$  车和碰撞后两车的运动情况如图乙所示,电源频率为 50 Hz,则碰撞前  $a$  车速度大小为 \_\_\_\_\_ m/s,碰撞后的共同速度大小为 \_\_\_\_\_ m/s。

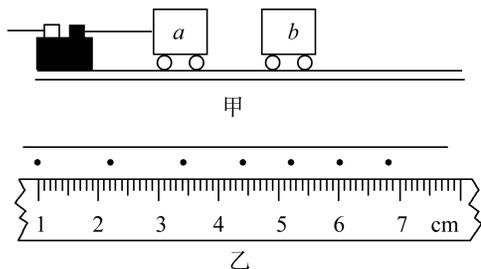


图 1-1-3

## 能力提升

7. (多选)在利用气垫导轨探究碰撞中不变量的实验中,哪些因素可导致实验误差 ( )  
A. 导轨安放不水平  
B. 小车上挡光板倾斜  
C. 两小车质量不相等  
D. 两小车碰后连在一起
8. 一个质量是 5 kg 的小球以 5 m/s 的速度竖直落到地板上,随后以 3 m/s 的速度反向弹回。若取竖直向下的方向为正方向,则小球动量的变化量是 ( )  
A. 10 kg·m/s      B. -10 kg·m/s  
C. 40 kg·m/s      D. -40 kg·m/s
9. 如图 1-1-4 所示, $PQS$  是固定于竖直平面内的光滑的  $\frac{1}{4}$  圆周轨道,圆心  $O$  在  $S$  的正上方。在  $O$  和  $P$  两点各有一质量为  $m$  的小物块  $a$  和  $b$ ,从同一时刻开始, $a$  自由下落, $b$  沿圆弧下滑。下列说法正确的是 ( )  
A.  $a$  比  $b$  先到达  $S$ ,它们在  $S$  点的动量不相等  
B.  $a$  与  $b$  同时到达  $S$ ,它们在  $S$  点的动量不相等  
C.  $a$  比  $b$  先到达  $S$ ,它们在  $S$  点的动量相等  
D.  $b$  比  $a$  先到达  $S$ ,它们在  $S$  点的动量相等
10. 一个质量是 2 kg 的物体,在合力  $F$  的作用下从静止开始沿直线运动。 $F$  随时间  $t$  变化的图像如图 1-1-5 所示。  
(1)  $t=2$  s 时物体的动量大小是多少?  
(2)  $t=3$  s 时物体的动量大小是多少?

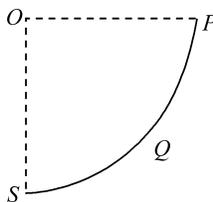


图 1-1-4

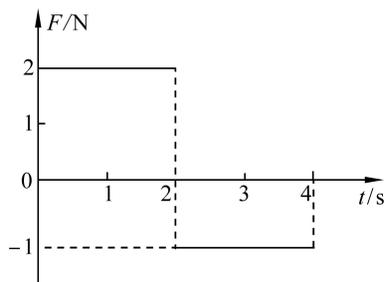


图 1-1-5

11. 某同学利用打点计时器和气垫导轨做“探究碰撞中的不变量”的实验,气垫导轨装置如图 1-1-6 甲所示,所用的气垫导轨装置由导轨、滑块、弹射架等组成。在空腔导轨的两个工作面上均匀分布着一定数量的小孔,向导轨空腔内不断通入压缩空气,压缩空气会从小孔中喷出,使滑块稳定地漂浮在导轨上,如图 1-1-6 乙所示,这样就大大减小了因滑块和导轨之间的摩擦而引起的误差。

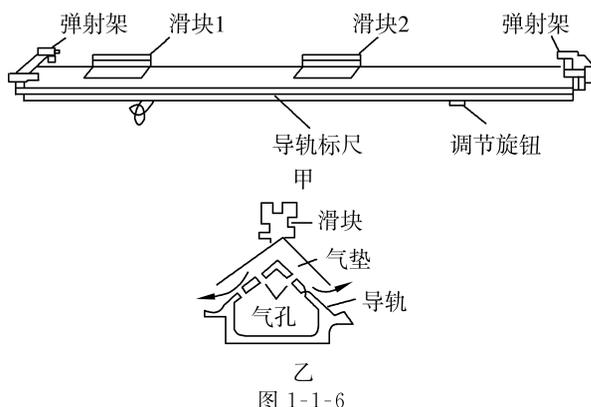


图 1-1-6

- (1) 下面是实验的主要步骤:

- ① 安装好气垫导轨,调节气垫导轨的调节旋钮,使导轨水平;
- ② 向气垫导轨通入压缩空气;
- ③ 把打点计时器固定在紧靠气垫导轨左端弹射架的外侧,将纸带穿过打点计时器越过弹射架并固定在滑块 1 的左端,调节打点计时器的高度,直至滑块拖着纸带移动时,纸带始终在水平方向;
- ④ 滑块 1 挤压导轨左端弹射架上的橡皮绳;
- ⑤ 把滑块 2 放在气垫导轨的中间;
- ⑥ 先 \_\_\_\_\_, 然后 \_\_\_\_\_, 让滑块带动纸带一起运动;
- ⑦ 取下纸带,重复步骤④⑤⑥,选出较理想的纸带如图 1-1-7 所示。

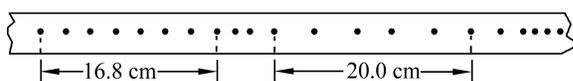


图 1-1-7

- ⑧ 测得滑块 1(包括撞针)的质量为 310 g, 滑块 2(包括橡皮泥)的质量为 205 g; 试完善实验步骤⑥的内容。
- (2) 已知打点计时器每隔 0.02 s 打一个点,计算可知,两滑块相互作用前质量与速度的乘积之和为 \_\_\_\_\_ kg · m/s; 两滑块相互作用以后质量与速度的乘积之和为 \_\_\_\_\_ kg · m/s。(均保留三位有效数字)
- (3) 试说明第(2)问中两结果不完全相等的主要原因是 \_\_\_\_\_。

### 情境融合

12. 足球是一项激烈的体育运动。某足球队员将质量为 0.4 kg 的足球以 10 m/s 的速率踢向球门,结果足球被门柱以 10 m/s 的速率沿原来的反方向弹回,观众的欢呼瞬间变成失望和叹惜。在此过程中,足球的动量有变化吗? 是怎样变化的?

## 第二节 动量定理

### 一、学科素养与学习目标

1. 经历冲量概念的建立过程,理解和掌握冲量的概念,强调冲量的矢量性。

2. 能从牛顿运动定律和运动学公式推导出动量定理的表达式,经历科学推理和论证过程,体会科学思维方法。

3. 学习动量定理,知道动量定理也适用于变

力,理解和掌握冲量和动量改变的关系,进一步建立运动和相互作用的概念。

4. 能够利用动量定理解释有关现象和解决实际问题,培养追求科学本质的精神和理论联系实际的态度和责任。

## 二、自主探究与自我诊断

### 自主探究

如图 1-2-1 所示,光滑水平面上有一物块,在恒力  $F$  作用下运动了时间  $t$ ,请你推导在此过程中物体的动量变化了多少? 动量变化量的方向如何?

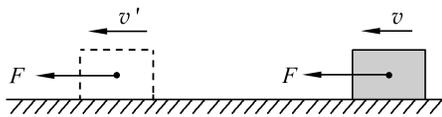


图 1-2-1

### 自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 一个物体的运动状态变化,它的动能一定改变。 ( )
2. 合外力的冲量是物体动量发生变化的原因。 ( )
3. 恒力  $F$  作用于物体上一段时间,物体没有运动,则该力做功为零。 ( )
4. 恒力  $F$  作用于物体上一段时间,物体没有运动,则该力冲量为零。 ( )
5. 动量和冲量的单位是等价的,所以冲量就是动量。 ( )

## 三、合作探究与疑难剖析

### 重点解读

#### 1. 冲量

(1) 定义:力与力作用时间的乘积叫作力的冲量。

表达式:  $I = F\Delta t$  ( $I$  为冲量)。

(2) 冲量是力和力的作用时间的累积,是一个过程量;只要有力,且作用了一段时间,冲量就不为零。

(3) 冲量的单位:牛秒( $\text{N} \cdot \text{s}$ )。

(4) 冲量是矢量,当力的方向在力作用时间内不变时,冲量的方向与力的方向相同。

(5) 讲冲量时必须指明是哪个力的冲量,是某一个力的冲量,还是几个力合力的冲量。

#### 2. 动量定理

(1) 内容:物体在一个过程始末的动量变化量等于它在这个过程中所受力的冲量。

(2) 表达式:  $F\Delta t = mv' - mv$ , 或  $I = \Delta p$ 。

(3) 动量定理描述力对时间的累积效果,物体所受合外力的冲量等于它动量的增量(或变化量)。

(4) 动量定理是矢量方程,式中  $I$  表示物体受到所有外力冲量的矢量和,或等于合外力的冲量,  $\Delta p$  为物体的动量增量,方向与合冲量方向一致。

### 疑难突破

#### 1. 冲量的计算方法

(1) 求某个恒力的冲量:用该力和力的作用时间的乘积。

(2) 求合冲量的两种方法:可分别求每一个力的冲量,再求各冲量的矢量和;另外,如果各个力的作用时间相同,也可以先求合力,再用公式  $I_{\text{合}} = F_{\text{合}}\Delta t$  求解。

#### (3) 求变力的冲量

① 若力与时间呈线性关系变化,则可用平均力求变力的冲量。

② 若给出了力随时间变化的图像如图所示,可用面积法求变力的冲量。

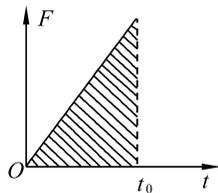


图 1-2-2

③ 利用动量定理求解。

#### 2. 动量定理的认识

项目	动量定理
内容	物体在一个过程始末的动量变化量等于它在这个过程中所受合外力的冲量
表达式	$p' - p = F_{\text{合}}t$ 或 $mv' - mv = F_{\text{合}}t$
意义	合外力的冲量是引起物体动量变化的原因
标矢性	矢量式(注意正方向的选取)

#### 3. 动量定理定量计算的步骤

- ① 选定研究对象、明确运动过程;
- ② 进行受力和运动的初末状态分析;
- ③ 选定正方向(一般选初速度方向),表达初末动量、冲量;
- ④ 根据动量定理列方程求解。

### 典型例题

例1 (多选)物体在恒力作用下动量变化量的大小

- 为  $5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 这说明 ( )
- A. 物体的动量在减小  
B. 物体的动量在增大  
C. 物体受到的合力冲量大小为  $5 \text{ N} \cdot \text{s}$   
D. 若发生变化的时间为  $1 \text{ s}$ , 则物体所受合外力的大小为  $5 \text{ N}$

**思路点拨:** 厘清动量、冲量、动量增量这三个概念, 注意它们的区别和联系, 注意它们都有方向性。

**解析:** 因不知动量变化的方向与初动量方向是否相同, 故无法确定动量是增大还是减小, A、B 错误; 由动量定理  $I = \Delta p$  可知, 合外力的冲量与物体动量变化量大小一定相同, C 正确; 由  $\Delta p = F \cdot t$  可知 D 正确。故选 CD。

**方法提炼:** 物体所受外力的冲量之和等于物体动量的增量, 合力的冲量方向与动量增量方向相同。

**变式训练 1** 如图 1-2-3 所示, 两个质量相同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, 在到达斜面底端的过程中 ( )

- A. 重力的冲量相同  
B. 弹力的冲量相同  
C. 合力的冲量相同  
D. 合力的冲量大小相同

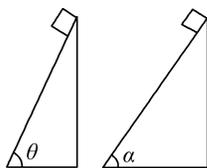


图 1-2-3

**例 2** 从同一高度自由落下的玻璃杯, 掉在水泥地上易碎, 掉在软泥地上不易碎。这是因为 ( )

- A. 掉在水泥地上, 玻璃杯的动量大  
B. 掉在水泥地上, 玻璃杯的动量变化大  
C. 掉在水泥地上, 玻璃杯受到的冲量大, 且与水泥地的作用时间短, 因而受到水泥地的作用力大  
D. 掉在水泥地上, 玻璃杯受到的冲量和掉在软泥地上一样大, 但与水泥地的作用时间短, 因而受到水泥地的作用力大

**思路点拨:** 杯子受的力大就容易碎, 判断力的大小, 需要考虑动量变化量  $\Delta p$  及时间  $t$  两个因素。

**解析:** 杯子从同一高度落下, 到达地面时的速度一定相等, 故着地时动量相等; 与地面接触后速度减小为零, 故动量的变化相同, 由动量定理  $I = \Delta p$  可知, 冲量也相等; 但由于在软泥地上, 软泥地的缓冲使接触时间较大, 由  $I = Ft$  可知, 杯子受到的作用力较小, 故杯子在水泥地上比在软泥地上更易破碎; 只有 D 选项正确。

**方法提炼:** 物体的动量变化一定时, 力的作用时间越短, 力就越大; 时间越长, 力就越小。生活中, 我们要得到很大的作用力, 就要缩短力的作用时间; 而

有时需要延长力的作用时间来减小力的作用。

**变式训练 2** 篮球运动员通常伸出双手迎接传来的篮球。接球时, 两手随球迅速收缩至胸前。这样做可以 ( )

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

**例 3** 一个铁球, 从静止状态由  $10 \text{ m}$  高处自由下落, 然后陷入泥潭中, 从进入泥潭到静止用去  $0.4 \text{ s}$ , 该铁球的质量为  $336 \text{ g}$ , 求从开始下落到进入泥潭前, 重力对小球的冲量为多少? 从进入泥潭到静止, 泥潭的阻力对小球的冲量为多少? (取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , 保留两位小数)

**思路点拨:** 小球进入泥潭前做自由落体运动, 求出小球下落的时间, 便可以求出恒定重力在这一过程的冲量; 小球进入泥潭后, 泥土对小球的阻力是变力, 此变力的冲量要由动量定理求得。

**解析:** 小球自由下落  $10 \text{ m}$  所用的时间是  $t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 10}{10}} \text{ s} = \sqrt{2} \text{ s}$ , 重力的冲量  $I_G = mgt_1 = 0.336 \times 10 \times \sqrt{2} \text{ N} \cdot \text{s} \approx 4.75 \text{ N} \cdot \text{s}$ 。对小球从静止开始运动至停在泥潭中的全过程运用动量定理得  $mg(t_1 + t_2) - Ft_2 = 0$ 。泥潭的阻力  $F$  对小球的冲量  $Ft_2 = mg(t_1 + t_2) = 0.336 \times 10 \times (\sqrt{2} + 0.4) \text{ N} \cdot \text{s} \approx 6.10 \text{ N} \cdot \text{s}$ , 方向竖直向上。如图 1-2-4 所示。

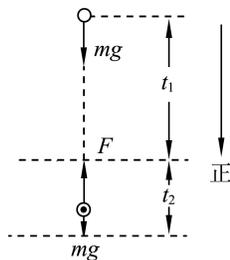


图 1-2-4

**方法提炼:** 动量定理的表达式是矢量式, 列式时要注意各个量与规定的正方向之间的关系 (即要注意各个量的正负)。动量定理中的冲量是合外力的冲量, 而不是某一个力的冲量, 它可以是合力的冲量, 也可以是各力冲量的矢量和, 还可以是外力在不同阶段的冲量的矢量和。

**变式训练 3** 如图

1-2-5 所示, 质量为  $m = 2 \text{ kg}$  的物体, 在水平力  $F =$

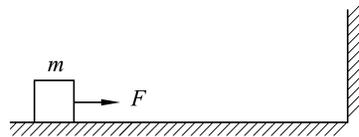


图 1-2-5

16 N 的作用下,由静止开始沿水平面向右运动。已知物体与水平面间的动摩擦因数  $\mu=0.2$ ,若  $F$  作用  $t_1=2\text{ s}$  后撤去,撤去  $F$  后又经  $t_2=2\text{ s}$ ,物体与竖直墙壁相碰,若物体与墙壁作用时间  $t_3=0.1\text{ s}$ ,碰撞后反向弹回的速度  $v'=6\text{ m/s}$ ,求墙壁对物体的平均作用力大小。(取  $g=10\text{ m/s}^2$ )

#### 四、分层训练与能力提升

##### 基础达标

- 鸡蛋落在软垫上不易碎的原因是 ( )
  - 减小了鸡蛋的动量
  - 减小了鸡蛋的动量变化
  - 减小了对鸡蛋的冲量
  - 延长了鸡蛋与接触面的作用时间,从而减小了对鸡蛋的冲力

- 如图 1-2-6 所示,质量为  $m$  的物体在跟水平方向成  $\theta$  角的力  $F$  作用下,以速度  $v$  匀速前进  $t$  秒钟,则物体在这段时间内受到力  $F$  的冲量与合外力的冲量各为 ( )
  - $Ft\cos\theta, 0$
  - $Ft\sin\theta, Ft\cos\theta$
  - $Ft\cos\theta, Ft$
  - $Ft, 0$



图 1-2-6

- 质量为  $1\text{ kg}$  的物体做直线运动,其速度图像如图 1-2-7 所示,则物体在前  $10\text{ s}$  内和后  $10\text{ s}$  内所受外力的冲量分别是 ( )
  - $10\text{ N}\cdot\text{s}, 10\text{ N}\cdot\text{s}$
  - $10\text{ N}\cdot\text{s}, -10\text{ N}\cdot\text{s}$
  - $0, 10\text{ N}\cdot\text{s}$
  - $0, -10\text{ N}\cdot\text{s}$

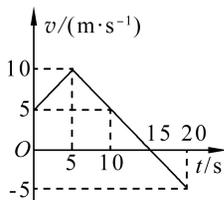


图 1-2-7

- (多选)恒力  $F$  作用在质量为  $m$  的物体上,如图 1-2-8 所示,由于地

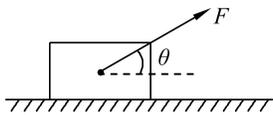


图 1-2-8

面对物体的摩擦力较大,物体没有被拉动,则经时间  $t$ ,下列说法正确的是 ( )

- 拉力  $F$  对物体的冲量大小为零
  - 拉力  $F$  对物体的冲量大小为  $Ft$
  - 拉力  $F$  对物体的冲量大小为  $Ft\cos\theta$
  - 合力对物体的冲量大小为零
- 运动员向球踢了一脚,踢球时的力  $F=100\text{ N}$ ,球在地面上滚动了  $t=10\text{ s}$  停下来,则运动员对球的冲量为 ( )
    - $1\ 000\text{ N}\cdot\text{s}$
    - $500\text{ N}\cdot\text{s}$
    - $0$
    - 无法确定
  - 一个质量为  $0.18\text{ kg}$  的垒球以  $25\text{ m/s}$  的水平速度飞向球棒,被球棒打击后,反向水平飞回,速度的大小为  $45\text{ m/s}$ ,设球棒与垒球的作用时间为  $0.01\text{ s}$ ,求球棒对垒球的平均作用力的大小和方向。

##### 能力提升

- (多选)以初速度  $v$  水平抛出一质量为  $m$  的石块,不计空气阻力,则对石块在空中运动过程中的下列各物理量的判断中,正确的是 ( )
  - 在两个相同的时间间隔内,石块受到的冲量相同
  - 在两个相同的时间间隔内,石块动量的增量相同
  - 在两个下落高度相同的过程中,石块动量的增量相同
  - 在两个下落高度相同的过程中,石块动能的增量相同
- 有一宇宙飞船,它的正对面积  $S=2\text{ m}^2$ ,以  $v=3\times 10^3\text{ m/s}$  的相对速度飞入一宇宙微粒区。此微粒区每  $1\text{ m}^3$  空间中有一个微粒,每一个微粒

的平均质量为  $m=2\times 10^{-7}$  kg。设微粒与飞船外壳碰撞后附着于飞船上,要使飞船速度不变,飞船的牵引力应增加 ( )

- A.  $3.6\times 10^3$  N      B. 3.6 N  
C.  $1.2\times 10^3$  N      D. 1.2 N

9. 两个质量相等的木块 A 和 B 并排放置在光滑水平面上,处于静止。一颗子弹水平穿过两个木块,设子弹穿过两木块所用的时间分别为  $t$  和  $1.5t$ 。木块对子弹的阻力恒为  $f$ ,则子弹先后穿出 A、B 后,A、B 的速度之比为 ( )

- A. 2:3      B. 1:3      C. 1:4      D. 1:2

10. 质量为 1 kg 的木块静止在水平面上,一颗质量为 20 g 的子弹以 200 m/s 的速度水平射入木块,又以 100 m/s 的速度穿出木块。设子弹穿透木块的过程中水平面的摩擦可忽略不计。

- (1) 求子弹穿过木块过程中所受的冲量以及木块所受的冲量。  
(2) 若木块与水平面间的滑动摩擦系数为 0.2,木块还能运动多久?(取  $g=10$  m/s<sup>2</sup>)

### 情境融合

11. 记者用镜头记录下某空调安装工辛劳的一天,记者注意到,每次安装空调室外机都一定要系牢安全绳。如果质量为  $m$  的高空作业人员不慎跌落,从开始跌落到安全带对人刚产生作用力前人下落的距离为  $h$ (可视为自由落体运动),此后经历时间  $t$  安全带达到最大伸长。若在此过程中该作用力始终竖直向上,则该段时间安全带对人的平均作用力大小为 ( )

- A.  $\frac{m\sqrt{2gh}}{t}+mg$       B.  $\frac{m\sqrt{2gh}}{t}-mg$   
C.  $\frac{m\sqrt{gh}}{t}+mg$       D.  $\frac{m\sqrt{gh}}{t}-mg$

12. 在一些电视节目或影视剧中,我们可能见到这样的现象:非常迅速地把桌布抽走,本来在桌布上的物品仍然好好地立在没有桌布的桌子上,如图 1-2-9 所示。你可以亲身体验一个类似的小实验:把一纸条放在桌面上,然后把粉笔立在纸条上,当你快速和慢速地把纸条从粉笔下抽出,会发生什么现象?如何用动量定理解释?

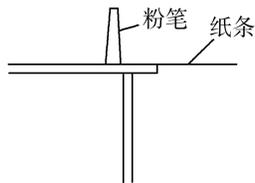


图 1-2-9

## 第三节 动量守恒定律

### 一、学科素养与学习目标

1. 正确区分内力和外力。
2. 能用动量定理和牛顿第三定律推导出动量守恒定律,经历这一科学推理和论证过程,培养观察和思考能力,在研究过程中主动获取知识,培养实事求是的科学态度和严谨的推理方法。
3. 理解动量守恒定律的确切含义和表达式,知道定律的适用条件,体会物质运动与相互作用观念。
4. 会应用动量守恒定律分析解释现象和计算一维运动的有关问题,了解自然科学规律发展的深远意义及对社会发展的巨大推动作用。

5. 通过实践探究,养成根据实验分析问题、总结理论的习惯,追寻科学本质,培养实事求是的科学态度,激发积极向上的人生观和价值观。

### 二、自主探究与自我诊断

#### 自主探究

如图 1-3-1 所示,在光滑水平面上做匀速运动的两个小球质量分别是  $m_1$  和  $m_2$ ,它们沿着同一直线向相同的方向运动,速度分别是  $v_1$  和  $v_2$ ,且  $v_1 < v_2$ ,经过一段时间后, $m_2$  追上了  $m_1$ ,两球发生碰撞,碰撞后的速度分别是  $v_1'$  和  $v_2'$ 。

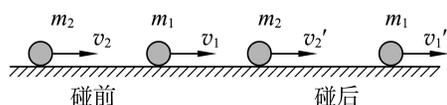


图 1-3-1

(1) 这两个小球在碰撞过程中所受到的平均作用力  $F$  和  $F'$  有什么关系?

(2) 写出碰撞过程中小球各自所受到的合外力的冲量和每个小球动量的变化。

(3) 结合动量定理, 推导得到一个什么表达式?

### 自我诊断

判断下列说法的正误。

- 只要系统内存在摩擦力, 系统动量就不可能守恒。 ( )
- 只要系统中有一个物体具有加速度, 系统动量就不守恒。 ( )
- 只要系统所受的合外力为零, 系统动量就守恒。 ( )
- 系统中所有物体的加速度为零时, 系统的总动量一定守恒。 ( )
- 只要系统初状态和末状态动量相等, 就是动量守恒。 ( )

### 三、合作探究与疑难剖析

#### 重点解读

##### 1. 内力和外力

- 系统: 相互作用的物体组成系统。
- 内力: 系统内物体相互间的作用力。
- 外力: 外物对系统内物体的作用力。

##### 2. 动量守恒定律

(1) 内容: 如果一个系统不受外力, 或者所受外力的矢量和为零, 这个系统的总动量保持不变。

(2) 表达式:

①  $p = p'$ , 系统相互作用前总动量  $p$  等于相互作用后的总动量  $p'$ 。

②  $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ , 相互作用的两个物体组成的系统, 作用前的动量和等于作用后的动量和。

③  $\Delta p_1 = -\Delta p_2$ , 相互作用的两个物体动量的变化量等大反向。

④  $\Delta p = 0$ , 系统总动量的增量为零。

(3) 适用条件:

① 理想守恒: 不受外力或所受外力的合力为零。

② 近似守恒: 系统内各物体间相互作用的内力

远大于它所受到的外力。

③ 某一方向守恒: 如果系统在某一方向上所受外力的合力为零, 则系统在这一方向上动量守恒。

### 疑难突破

#### 1. 学习动量守恒定律的几个要点

研究对象	几个相互作用的物体组成的系统(如: 碰撞)
矢量性	以上表达式是矢量表达式, 列式前应先规定正方向
同一性	所用速度都是相对同一参考系、同一时刻而言
条件	系统不受外力, 或受合外力为 0。要正确区分内力和外力; 当 $F_{内} \gg F_{外}$ 时, 系统动量可视为守恒
适用范围	动量守恒定律不仅适用于宏观物体的低速运动, 也适用于微观现象和高速运动。不仅适用于两个物体的相互作用, 也适用于多个物体的相互作用; 不仅适用于内力是恒力的情况, 也适用于内力是各种性质且作用时间长短不一的变力的情况; 不仅适用于相互直接接触且发生相互作用的物体系统, 也适用于相互通过场力不直接接触的物体系统

#### 2. 应用动量守恒定律解决问题的基本思路和一般方法

(1) 分析题意, 明确研究对象。在分析相互作用的物体总动量是否守恒时, 通常把这些被研究的物体总称为系统。对于比较复杂的物理过程, 要采用程序法对全过程进行分段分析, 要明确在哪些阶段中, 哪些物体发生相互作用, 从而确定所研究的系统是由哪些物体组成的。

(2) 要对各阶段所选系统内的物体进行受力分析, 弄清哪些是系统内部物体之间相互作用的内力, 哪些是系统外物体对系统内物体作用的外力。在受力分析的基础上根据动量守恒定律条件, 判断能否应用动量守恒定律。

(3) 明确所研究的相互作用过程, 确定过程的始、末状态, 即系统内各个物体的初动量和末动量的量值或表达式。

注意: 在研究地面上物体间相互作用的过程时, 各物体运动的速度均应取地球为参考系。

(4) 确定好正方向建立动量守恒方程求解。

### 典型例题

**例1** (多选) 在光滑水平面上,  $A$ 、 $B$  两小车用一根弹簧连在一起, 如图 1-3-2 所示。用手抓住小车并将弹簧压缩后使小车处于静止状态。将两小车及弹簧看作一个系统, 下列说法中正确的是 ( )

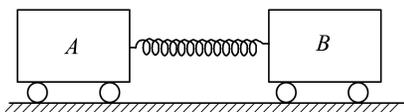


图 1-3-2

- A. 两手同时放开后,系统总动量始终为零
- B. 先放开左手,再放开右手后,动量不守恒
- C. 先放开左手,再放开右手后,总动量向左
- D. 无论何时放手,两手放开后,在弹簧恢复原长的过程中,系统总动量都保持不变,但系统的总动量不一定为零

**思路点拨:**动量守恒定律都有一定的使用范围,在应用这一定律时,必须明确它的使用条件。

**解析:**在两手同时放开后,水平方向无外力作用,只有弹簧的弹力(内力),故动量守恒,即系统的总动量始终为零,A 正确;先放开左手,再放开右手后,是指两手对系统都无作用力之后的那一段时间,系统所受合外力也为零,即动量是守恒的,B 错误;先放开左手,系统就在右手作用下,产生向左的冲量,故有向左的动量,再放开右手后,系统的动量仍守恒,即此后的总动量向左,C 正确;其实,无论何时放开手,只要是两手都放开就满足动量守恒的条件,即系统的总动量保持不变。若同时放开,那么放手后系统的总动量就等于放手前的总动量,即为零;若两手先后放开,那么两手都放开后的总动量就与放开最后一只手后系统所具有的总动量相等,即不为零,D 正确。故选 ACD。

**方法提炼:**判定系统动量是否守恒,主要看系统所受的外力之和是否为零。

**变式训练 1** (多选)关于动量守恒的条件,下列说法正确的是 ( )

- A. 只要系统受到弹力作用,动量不可能守恒
- B. 只要系统做加速运动,动量就不守恒
- C. 只要系统所受合外力恒定,动量守恒
- D. 只要系统所受外力的合力为零,动量守恒

**例 2** 如图 1-3-3 所示,在列车编组站里,一辆质量为  $1.8 \times 10^4 \text{ kg}$  的货车在平直轨道上以  $2 \text{ m/s}$  的速度运动,碰上一辆质量为  $2.2 \times 10^4 \text{ kg}$  的静止的货车,它们碰撞后结合在一起,继续运动。求货车碰撞后运动的速度。

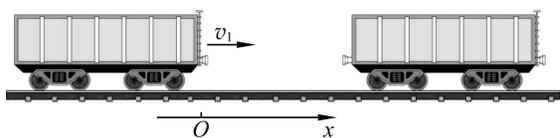


图 1-3-3

**思路点拨:**分析两辆货车在碰撞过程中发生相

互作用,将它们看成一个系统,可以认为碰撞过程中系统所受外力的矢量和为 0,动量守恒。为了应用动量守恒定律解决这个问题,需要确定碰撞前后的动量。

**解析:**两车碰撞前的总动量为  $p = m_1 v_1$ ,碰撞后的总动量为  $p' = (m_1 + m_2)v$

根据动量守恒定律可得  $(m_1 + m_2)v = m_1 v_1$

解得  $v = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}$ ,代入已知数值后,解得  $v = 0.9 \text{ m/s}$ 。

两车结合后速度的大小是  $0.9 \text{ m/s}$ , $v$  是正值,表示两车结合后仍然沿坐标轴的方向运动,即仍然向右运动。

**方法提炼:**应用动量守恒定律的关键是选好合适的系统、合适的过程,即一定要明确研究对象是谁,明确守恒过程的初、末状态;要注意规定正方向。

**变式训练 2** 一枚在空中飞行的火箭质量为  $m$ ,在某时刻的速度为  $v$ ,方向水平,燃料即将耗尽。此时,火箭突然炸裂成两块如图 1-3-4 所示,其中质量为  $m_1$  的一块沿着原来方向相反的方向飞去,速度为  $v_1$ 。求炸裂后另一块的速度  $v_2$ 。

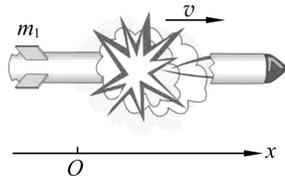


图 1-3-4

**例 3** 光滑水平面上放着一质量为  $M$  的槽,槽与水平面相切且光滑,如图 1-3-5 所示,一质量为  $m$  的小球以速度  $v_0$  向槽运动,若开始时槽固定不动,求小球上升的高度(槽足够高);若槽不固定,则小球又上升多高?

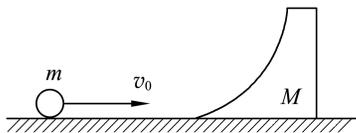


图 1-3-5

**思路点拨:**(1)槽固定时,小球的机械能守恒;槽不固定时,小球和槽组成系统的机械能守恒,且水平方向上动量守恒。(2)小球上升到最高点时,与槽速度相同。

**解析:**槽固定时,设球上升的高度为  $h_1$ ,由机械

能守恒得  $mgh_1 = \frac{1}{2}mv_0^2$

$$\text{解得 } h_1 = \frac{v_0^2}{2g}$$

槽不固定时,设球上升的最大高度为  $h_2$ ,此时两者速度为  $v$ 。

由水平方向上动量守恒得  $mv_0 = (m+M)v$

由机械能守恒得  $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}(m+M)v^2 + mgh_2$

解得槽不固定时,小球上升的高度

$$h_2 = \frac{Mv_0^2}{2(m+M)g}$$

**方法提炼:**在应用动量守恒定律时,一定要注意守恒的条件,不要盲目使用,注意选好研究对象及其作用的方向,也许整个系统动量不守恒,但在某一个方向上动量是守恒的。

**变式训练 3** 如图 1-3-6 所示,游乐场上,甲、乙两位同学各驾着一辆碰碰车迎面相撞,此后,两车以共同的速度运动。设甲同学和他的车的总质量为 150 kg,碰撞前向右运动,速度的大小为 4.5 m/s;乙同学和他的车的总质量为 200 kg,碰撞前向左运动,速度的大小为 3.7 m/s。求碰撞后两车共同的运动速度。

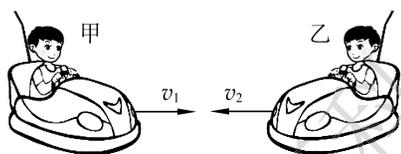


图 1-3-6

左匀速运动,水平轻质弹簧左端固定在 A 点,物体与固定在 A 点的细线相连,弹簧处于压缩状态(物体与弹簧未连接),某时刻细线断了,物体沿车滑动到 B 端粘在 B 端的油泥上,取小车、物体和弹簧为一个系统,下列说法正确的是 ( )

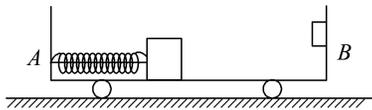


图 1-3-7

- A. 若物体滑动中不受摩擦力,则该系统全过程机械能守恒  
 B. 若物体滑动中有摩擦力,则该系统全过程动量守恒  
 C. 不论物体滑动中有没有摩擦,小车的最终速度与断线前相同  
 D. 不论物体滑动中有没有摩擦,系统损失的机械能相同
3. 物体 A 在光滑的水平地面上运动,与静止在同一水平面的物体 B 相碰,碰后 A 继续沿原方向运动,但速度减为原来的一半,已知 A、B 两物体质量的比是 2 : 1,则碰后两物体的速度之比是 ( )  
 A. 1 : 1    B. 1 : 2    C. 1 : 4    D. 2 : 1
4. 如图 1-3-8 所示,两滑块 A、B 在光滑水平面上沿同一直线相向运动,滑块 A 的质量为  $m$ ,速度大小为  $2v_0$ ,方向向右,滑块 B 的质量为  $2m$ ,速度大小为  $v_0$ ,方向向左,两滑块发生碰撞后的运动状态是 ( )

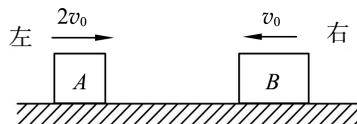


图 1-3-8

- A. A 和 B 都向左运动  
 B. A 和 B 都向右运动  
 C. A 静止, B 向右运动  
 D. A 向左运动, B 向右运动
5. 质量为 30 kg 的小孩以 8 m/s 的水平速度跳上一辆静止在水平轨道上的平板车,已知平板车的质量为 90 kg,求小孩跳上车后他们共同的速度。

#### 四、分层训练与能力提升

##### 基础达标

1. 一小船相对地面以速度  $v_1$  向东行驶,若在船上以相对于地面的速率  $v$  水平向西抛出一个质量为  $m$  的重物,则小船的速度将 ( )  
 A. 不变    B. 增大    C. 减小    D. 改变方向
2. (多选)如图 1-3-7 所示,小车在光滑水平面上向

6. 质量为  $m$  的物体 A, 以一定的速度  $v$  沿光滑的水平面运动, 跟迎面而来的速度大小为  $\frac{1}{2}v$  的物体 B 相碰撞, 碰后两个物体结合在一起沿碰前 A 的方向运动且它们的共同速度大小为  $\frac{1}{3}v$ , 则物体 B 的质量是多少?

9. 如图 1-3-10 所示, 甲、乙两船的总质量(包括船、人和货物)分别为  $12m$ 、 $14m$ , 两船沿同一直线、同一方向运动, 速度分别为  $2v_0$ 、 $v_0$ 。为避免两船相撞, 乙船上的人将一质量为  $m$  的货物沿水平方向抛向甲船, 甲船上的人将货物接住, 求抛出货物的最小速度。(不计水的阻力)

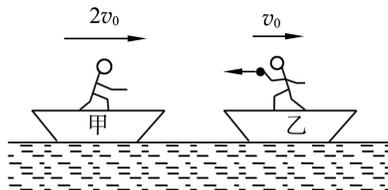


图 1-3-10

### 能力提升

7. 如图 1-3-9 所示, A、B 两物体的质量之比为  $m_A : m_B = 1 : 2$ , 它们原来静止在平板车 C 上, A、B 两物体间有一根被压缩了的水平轻质弹簧, A、B 两物体与平板车上表面间的动摩擦因数相同, 水平地面光滑。当弹簧突然释放后, A、B 两物体被弹开 (A、B 两物体始终不滑出平板车), 则 ( )

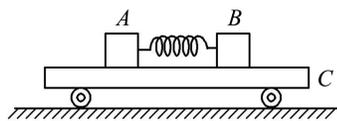


图 1-3-9

- A. A、B 系统动量守恒  
 B. A、B、C 及弹簧整个系统机械能守恒  
 C. 小车 C 先向左运动后向右运动  
 D. 小车 C 一直向右运动直到静止
8. 在水平轨道上放置一门质量为  $M$  的炮车, 发射炮弹的质量为  $m$ , 炮弹与轨道间摩擦不计, 当炮身与水平方向成  $\theta$  角发射炮弹时, 炮弹相对于地面的出口速度为  $v_0$ 。

- (1) 炮车和炮弹组成的系统动量是否守恒;  
 (2) 求炮车后退的速度。

10. 如图 1-3-11 所示, 在光滑水平面上有 A、B 两辆小车, 水平面的左侧有一竖直墙, 在小车 B 上坐着一个小孩, 小孩与 B 车的总质量是 A 车质量的 10 倍。两车开始都处于静止状态, 小孩把 A 车以相对于地面的速度  $v$  推出, A 车与墙壁碰后仍以原速率返回, 小孩接到 A 车后, 又把它以相对于地面的速度  $v$  推出。每次推出, A 车相对于地面的速度都是  $v$ , 方向向左。则小孩把 A 车推出几次后, A 车返回时小孩不能再接到 A 车?

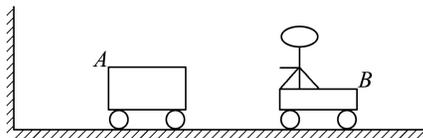


图 1-3-11

## 情境融合

11. 花样滑冰是集运动、健美、舞蹈于一身的竞技表演项目,一质量  $m_1=60\text{ kg}$  的男滑冰运动员以  $v_1=9.2\text{ m/s}$  的速度匀速滑行,另一质量为  $m_2=40\text{ kg}$  的女滑冰运动员也匀速滑行且在  $t=0$  时刻与男运动员相距  $s=4.0\text{ m}$ ,  $t=2.0\text{ s}$  时女运动员追上男运动员且被男运动员抱住完成阿尔塞托举动作,则男运动员抱住女运动员后共同速度为多少?

## 第四节 实验:验证动量守恒定律

## 一、学科素养与学习目标

1. 理解本实验中验证碰撞中动量守恒的方法,并了解其他方法。
2. 掌握实验装置中的几个要点及实际操作。
3. 明确实验中要测量的数据并对实验数据进行分析和归纳进而得到结论。
4. 在实验过程中培养严谨的推理方法,养成实事求是的科学态度。
5. 养成根据实验分析问题、总结理论的习惯,追寻科学本质,激发积极向上的人生观和价值观。

## 二、自主探究与自我诊断

## 自主探究

利用研究平抛运动的实验装置来研究两个小球碰撞前后动量是否守恒。

请你设想一下,物体的动量无法直接测量该怎么办?为了解决这个问题,我们需要测量哪些物理量?为了达成实验目的,在实验过程中需要注意什么?

## 自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 本实验中,入射球的质量应该和被碰球一样。( )
2. 本实验中,必须要测量或计算出小球的速度大小,否则无法验证。( )
3. 两个小球碰撞过程中,可以认为系统动量守恒。( )

4. 小球在空中飞行的过程中,空气阻力越小越好。( )
5. 入射小球每次被释放的位置可以不同。( )

## 三、合作探究与疑难剖析

## 实验基础

## 1. 实验原理

在一维碰撞中,测出物体的质量  $m$  和碰撞前、后物体的速度  $v$ 、 $v'$ ,算出碰撞前的动量  $p=m_1v_1+m_2v_2$  及碰撞后的动量  $p'=m_1v_1'+m_2v_2'$ ,判断碰撞前后动量是否守恒。

## 2. 实验器材

斜槽、小球(两个)、天平、复写纸、白纸等。

## 3. 实验步骤

(1) 用天平测出两小球的质量,并选定质量大的小球为入射小球。

(2) 按照图 1-4-1 甲安装实验装置。调整、固定斜槽使斜槽底端水平。

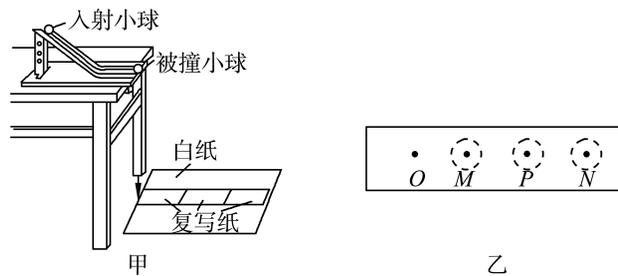


图 1-4-1

(3) 白纸在下,复写纸在上且在适当位置铺放好。标记重垂线所指的位置  $O$ 。

(4) 不放被撞小球,让入射小球从斜槽上某固

定高度处自由滚下,重复 10 次。用圆规画尽量小的圆把小球所有的落点都圈在里面。圆心  $P$  就是小球落点的平均位置。

(5) 把被撞小球放在斜槽末端,让入射小球从斜槽同一高度自由滚下,使它们发生碰撞,重复实验 10 次。用步骤(4)的方法,标出碰后入射小球落点的平均位置  $M$  和被撞小球落点的平均位置  $N$ 。如图 1-4-1 乙所示。

(6) 连接  $ON$ ,测量线段  $OP$ 、 $OM$ 、 $ON$  的长度。将测量数据填入表中。最后代入  $m_1 \cdot \overline{OP} = m_1 \cdot \overline{OM} + m_2 \cdot \overline{ON}$ ,看在误差允许的范围内是否成立。

(7) 整理好实验器材放回原处。

(8) 实验结论:在实验误差允许范围内,碰撞系统的动量守恒。

### 注意事项

1. 前提条件是保证一维碰撞,即保证两物体在碰撞之前沿同一直线运动,碰撞之后还沿这条直线运动。

2. 入射球质量要大于被撞球质量,即  $m_1 > m_2$ ,防止碰后  $m_1$  被反弹,而且两小球必须大小相同,保证对心正碰。

3. 斜槽末端的切线必须水平。

4. 入射小球每次都必须从斜槽同一高度由静止释放。

5. 实验过程中实验桌、斜槽、记录的白纸的位置要始终保持不变。

### 典型例题

**例1** 某同学用如图 1-4-2 所示的装置做“验证动量守恒定律”的实验。先将  $a$  球从斜槽轨道上某固定点处由静止开始滚下,在水平地面上的记录纸上留下压痕,重复 10 次;再把同样大小的  $b$  球放在斜槽轨道末水平段的最右端上,让  $a$  球仍从固定点由静止开始滚下,和  $b$  球相碰后,两球分别落在记录纸的不同位置处,重复 10 次。

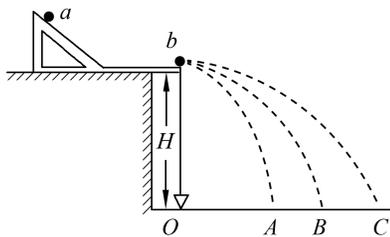


图 1-4-2

(1) 本实验必须测量的物理量有\_\_\_\_\_。

A. 斜槽轨道末端距水平地面的高度  $H$

B. 小球  $a$ 、 $b$  的质量  $m_a$ 、 $m_b$

C. 小球  $a$ 、 $b$  的半径  $r$

D. 小球  $a$ 、 $b$  离开斜槽轨道末端后平抛飞行的时间  $t$

E. 记录纸上  $O$  点到  $A$ 、 $B$ 、 $C$  各点的距离  $\overline{OA}$ 、 $\overline{OB}$ 、 $\overline{OC}$

F.  $a$  球的固定释放点到斜槽轨道末端水平部分间的高度差  $h$

(2) 放上被撞小球  $b$ ,两球( $m_a > m_b$ )相碰后,小球  $a$ 、 $b$  的落地点依次是图中水平面上的\_\_\_\_\_点和\_\_\_\_\_点。

(3) 某同学在做实验时,测量出实验过程中的各个物理量,利用上述数据验证碰撞中的动量守恒,那么判断的依据是看\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_在误差允许范围内是否相等。

**思路点拨:**弄清本实验的原理和基本操作规范、数据处理方法。

**解析:**(1)  $B$  点是不发生碰撞时  $a$  球的落地点,  $A$  点是发生碰撞后  $a$  球的落地点,  $C$  点是碰后  $b$  球的落地点。设小球  $a$  运动到轨道末端时的速度大小为  $v_B$ ,与球  $b$  发生碰撞后的瞬时速度大小为  $v_A$ ,碰后  $b$  球的速度大小为  $v_C$ ,本实验就是要验证关系式  $m_a v_B = m_a v_A + m_b v_C$  是否成立。因为小球做平抛运动的高度相同,下落时间相同,它们在水平方向上位移与水平方向上的速度成正比,所以本实验也可以验证  $m_a \cdot \overline{OB} = m_a \cdot \overline{OA} + m_b \cdot \overline{OC}$  是否成立,  $B$ 、 $E$  正确。

(2) 两球碰撞后,  $a$  球在水平方向上的分速度较小,下落时间相同时,落地时的水平位移也较小,所以小球  $a$ 、 $b$  的落地点依次是图中水平面上的  $A$  点和  $C$  点。

(3) 根据(1)的分析,判断两球碰撞过程中的动量是否守恒的依据是看  $m_a \cdot \overline{OB}$  和  $m_a \cdot \overline{OA} + m_b \cdot \overline{OC}$  在误差允许范围内是否相等。

**方法提炼:**根据实验的原理确定需要测量的物理量,小球离开轨道后做平抛运动,它们在空中的运动时间相同,水平位移与初速度成正比,可以用水平位移代替小球的初速度,根据动量守恒定律求出需要验证的表达式。

**变式训练 1** 某同学用图 1-4-3 所示装置通过半径相同的  $A$ 、 $B$  两球的碰撞来验证动量守恒定律。图中  $PQ$  是斜槽,  $QR$  为水平槽,实验时先使  $A$  球从斜槽上某一固定位置  $G$  由静止开始滚下,落到

位于水平地面的记录纸上,留下痕迹。重复上述操作 10 次。图中  $O$  点是水平槽末端  $R$  在记录纸上的垂直投影点。 $B$  球落点的痕迹如图 1-4-4 所示,其中米尺水平放置,且平行于  $G$ 、 $R$ 、 $O$  所在平面,米尺的零刻度线与  $O$  点对齐。

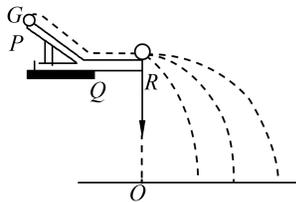


图 1-4-3

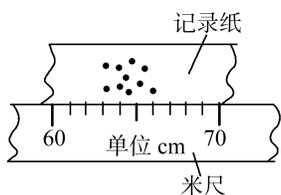


图 1-4-4

- (1) 碰撞后  $B$  球的水平射程应为 \_\_\_\_\_ cm。
- (2) 下列选项中,哪些是本次实验必须进行的测量的物理量? \_\_\_\_\_ (填选项前字母)。
- A. 水平槽上未放  $B$  球时,测量  $A$  球落点位置到  $O$  点的距离
- B.  $A$  球与  $B$  球碰撞后,测量  $A$  球落点位置到  $O$  点的距离
- C. 测量  $A$  球或  $B$  球的直径
- D. 测量  $A$  球和  $B$  球的质量(或两球质量之比)
- E. 测量  $G$  点相对于水平槽面的高度

**例2** 气垫导轨是常用的一种实验仪器,它是利用气泵使带孔的导轨与滑块之间形成气垫,使滑块悬浮在导轨上,在导轨上运动的滑块可认为不受摩擦力的作用。我们可以用带竖直挡板  $C$ 、 $D$  的气垫导轨和滑块  $A$ 、 $B$  探究碰撞中的不变量,实验装置如图 1-4-5 所示(弹簧的长度忽略不计)。实验步骤如下:

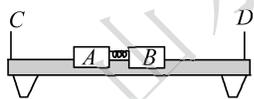


图 1-4-5

- A. 用天平分别测出滑块  $A$ 、 $B$  的质量  $m_A$ 、 $m_B$
- B. 调整气垫导轨,使导轨处于水平
- C. 在  $A$  和  $B$  间放入一个被压缩的轻弹簧,用电动卡销锁定,静止放置在气垫导轨上
- D. 用刻度尺测出  $A$  的左端至挡板  $C$  的距离  $L_1$
- E. 按下电钮,放开卡销,同时让分别记录滑块  $A$ 、 $B$  运动时间的计时器开始工作,当  $A$ 、 $B$  滑块分别碰撞挡板  $C$ 、 $D$  时计时结束,记下  $A$ 、 $B$  分别到达  $C$ 、 $D$  的运动时间  $t_1$  和  $t_2$ 。
- (1) 实验中还应测量的物理量及其符号是 \_\_\_\_\_。
- (2) 碰撞前  $A$  和  $B$  两滑块质量与速度乘积之和为 \_\_\_\_\_;碰撞后  $A$ 、 $B$  两滑块质量与速度乘积之和为 \_\_\_\_\_。

(3) 碰撞前、后  $A$  和  $B$  两滑块质量与速度乘积之和并不完全相等,产生误差的原因有 \_\_\_\_\_。(至少答出两点)

**思路点拨:**  $A$ 、 $B$  两滑块被压缩的弹簧弹开后,在气垫导轨上运动时可视为匀速运动,因此只要测出  $A$  与  $C$  的距离  $L_1$ 、 $B$  与  $D$  的距离  $L_2$  及  $A$  到  $C$ 、 $B$  到  $D$  的时间  $t_1$  和  $t_2$ ,测出两滑块的质量,就可以探究碰撞中的不变量。

**解析:** (1) 实验中还应测量的物理量为  $B$  的右端至挡板  $D$  的距离  $L_2$ 。

(2) 设向左为正方向,根据所测数据求得两滑块的速度分别为  $v_A = \frac{L_1}{t_1}$ ,  $v_B = -\frac{L_2}{t_2}$ 。碰前两滑块静止,即  $v = 0$ ,质量与速度乘积之和为零,碰后两滑块的质量与速度乘积之和为  $m_A v_A + m_B v_B = m_A \frac{L_1}{t_1} - m_B \frac{L_2}{t_2}$ 。

(3) 产生误差的原因:①  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $m_A$ 、 $m_B$  的数据测量误差;② 滑块并不是做标准的匀速直线运动,滑块与导轨间有少许摩擦力;③ 气垫导轨不完全水平。

**方法提炼:** 无论采用哪种方法来验证动量守恒,最终还是要归结到  $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$  上来。

**变式训练 2** (多选)如图 1-4-6 所示,在利用悬线悬挂两大小相等的小球进行验证动量守恒定律的实验中,下列说法正确的是 ( )

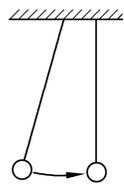


图 1-4-6

- A. 悬挂两球的线长度要适当且等长
- B. 由静止释放小球以便较准确地计算小球碰前的速度
- C. 两小球必须都是刚性球,且质量相同
- D. 两小球碰后可以粘合在一起共同运动

#### 四、分层训练与能力提升

##### 基础达标

1. 在做“碰撞中的动量守恒”的实验中,入射球每次都应从斜槽上的同一位置无初速释放,目的是为了 ( )
- A. 小球每次都能水平飞出槽口
- B. 小球每次都以相同的速度飞出槽口
- C. 小球在空中飞行的时间不变
- D. 小球每次都能对心碰撞
2. 如图 1-4-7 所示,用“碰撞实验器”可以验证动量

守恒定律,即研究两个小球在轨道水平部分碰撞前后的动量关系。

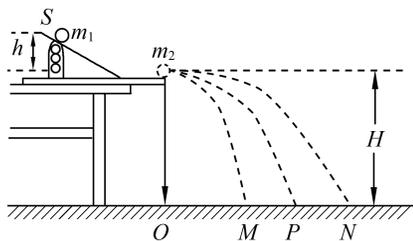


图 1-4-7

(1) 实验中,直接测定小球碰撞前后的速度是不容易的,但是,可以通过测量\_\_\_\_\_ (填选项前字母),间接解决这个问题。

- A. 小球开始释放高度  $h$
- B. 小球抛出点距地面的高度  $H$
- C. 小球做平抛运动的射程

(2) 图中  $O$  点是小球抛出点在地面上的垂直投影,实验时,先让入射球多次从斜轨上  $S$  位置由静止释放,找到其平均落地点的位置  $P$ ,测量  $OP$ 。然后,把被碰小球静置于轨道的水平部分,再将入射球从斜轨上  $S$  位置由静止释放,与被碰小球相碰,并多次重复。接下来要完成的必要步骤是\_\_\_\_\_ (填选项前字母)。

- A. 用天平测量两个小球的质量  $m_1$ 、 $m_2$
- B. 测量入射小球开始释放高度  $h$
- C. 测量抛出点距地面的高度  $H$
- D. 分别找到两小球相碰后平均落地点的位置  $M$ 、 $N$
- E. 测量平抛射程  $OM$ 、 $ON$

3. 在利用平抛运动验证动量守恒定律实验中,入射小球在斜槽上释放点的高低直接影响实验的准确性,下列说法正确的是 ( )

- A. 释放点越高,两球碰撞时相互作用的内力越大,外力(小支柱对被碰小球作用力)的冲量就相对越小,碰撞前后总动量之差越小,因而误差越小
- B. 释放点越高,入射小球对被碰小球的作用力越大,小支柱对被碰小球作用力越小
- C. 释放点越低,两球飞行的水平距离越接近,测量水平位移的相对误差就小
- D. 释放点越低,入射小球速度越小,小球受阻力就小,误差就小

4. (多选)在“验证动量守恒定律实验”中,下列关于小球落点的说法,正确的是 ( )

- A. 如果小球每次都从同一点无初速度释放,重复几次的落点一定是重合的
- B. 由于偶然因素的存在,重复操作时小球落点不重合是正常的,但落点应当比较密集
- C. 测定  $P$  的位置时,如果重复 10 次的落点分别是  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_{10}$ , 则  $OP$  应取  $OP_1, OP_2, OP_3, \dots, OP_{10}$  的平均值,即  $OP = \frac{OP_1 + OP_2 + OP_3 + \dots + OP_{10}}{10}$
- D. 用半径尽可能小的圆把  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_{10}$  圈住,这个圆的圆心是入射小球落点的平均位置  $P$

5. 一位同学受到“研究平抛运动”实验的启示,想用如图 1-4-8 所示的装置来验证动量守恒定律:一光滑水平台上,等大的甲、乙两小球间有一

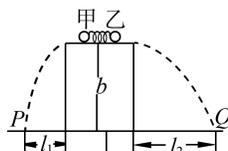


图 1-4-8

根被压缩的轻质弹簧,弹簧的原长较短。当弹簧突然释放后,两个小球被弹簧弹射,分别落在水平地面上的  $P$ 、 $Q$  两点。

然后该同学进行了下列物理量的测量:

- A. 用天平测出甲、乙两个小球的质量分别是  $m_1$ 、 $m_2$
- B. 用米尺测出甲、乙两个小球的落地点与平台边缘的水平距离分别为  $s_1$ 、 $s_2$
- C. 用米尺测出平台离地面的高度  $h$

(1) 上面的三个步骤中,你认为不必要的步骤有\_\_\_\_\_ (填选项前字母)。

(2) 根据需要选用上面 A、B、C 三个步骤中的物理量来表示,只要满足关系式\_\_\_\_\_, 则说明弹簧弹射小球的过程中动量守恒。

### 能力提升

6. 某气垫导轨如图 1-4-9 所示,滑块在水平气垫导轨上滑动时摩擦很小可以忽略不计。导轨上的两滑块质量均为  $m$ ,两滑块上的挡光片宽度均为  $d$ 。现用该装置做“验证动量守恒定律”实验。

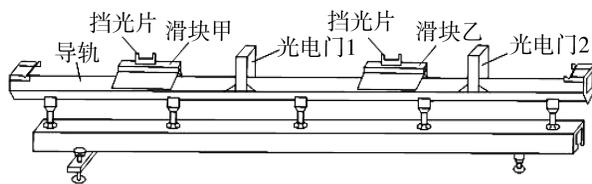


图 1-4-9

(1) 调节气垫导轨,在导轨上只放一个滑块,轻推滑块,观察滑块通过两个光电门的挡光时间

\_\_\_\_\_即可认为气垫导轨调水平了。

- (2) 实验时使滑块甲从图示位置获得一初速度撞击静止在导轨上的滑块乙,两滑块碰撞端粘有橡皮泥,碰撞后两滑块粘在一起。光电门 1 记录了滑块甲上的挡光片的挡光时间为  $t_1$ ,光电门 2 记录了滑块乙上的挡光片的挡光时间为  $t_2$ 。实验数据满足表达式 \_\_\_\_\_ 即可认为两滑块组成的系统遵循动量守恒定律。

7. 如图 1-4-10 甲所示,用“碰撞实验器材”可以验证动量守恒定律,即研究两个小球在轨道末端碰撞前后的动量关系:先安装好实验装置,在地上铺一张白纸,白纸上铺放复写纸,标记重垂线所指的位置  $O$ 。

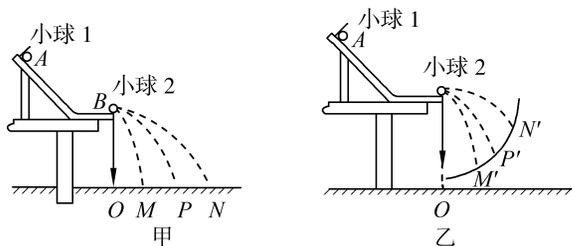


图 1-4-10

接下来的实验步骤如下:

步骤 1:不放小球 2,让小球 1 从斜槽上  $A$  点由静止滚下,并落在地面上。重复多次,用尽可能小的圆,把小球的所有落点圈在里面,其圆心就是小球落点的平均位置。

步骤 2:把小球 2 放在斜槽前端边缘位置  $B$ ,让小球 1 从  $A$  点由静止滚下,使它们碰撞。重复多次,并使用与步骤 1 同样的方法分别标出碰撞后两小球落点的平均位置。

步骤 3:用刻度尺分别测量三个落地点的平均位置  $M$ 、 $P$ 、 $N$  离  $O$  点的距离,即线段  $OM$ 、 $OP$ 、 $ON$  的长度。

- (1) 上述实验除需测量线段  $OM$ 、 $OP$ 、 $ON$  的长度外,还需要测量的物理量有 \_\_\_\_\_。

\_\_\_\_\_。(写出物理量及相应符号)

- (2) 实验中造成误差的可能情况有 \_\_\_\_\_。

- A. 用直尺测量的线段  $OM$ 、 $OP$ 、 $ON$  长度值  
B. 轨道不光滑  
C. 轨道末端不水平  
D. 轨道末端到地面的高度未测量

- (3) 若测得各落点痕迹到  $O$  点的距离: $\overline{OM}=2.68\text{ cm}$ , $\overline{OP}=8.62\text{ cm}$ , $\overline{ON}=11.50\text{ cm}$ ,并知小球 1、2 的质量比为  $2:1$ ,则系统碰撞前

总动量  $P$  与碰撞后总动量  $P'$  的百分误差

$\left| \frac{P-P'}{P} \right| = \text{_____}\%$  (结果保留一位有效数字)。

- (4) 完成上述实验后,某实验小组成员对上述装置进行了改造,改造后的装置如图 1-4-10 乙所示。使小球 1 仍从斜槽上  $A$  点由静止滚下,重复实验步骤 1 和 2 的操作,得到两球落在以斜槽末端为圆心的  $\frac{1}{4}$  圆弧上,平均落点为  $M'$ 、 $P'$ 、 $N'$ 。测量轨道末端到  $M'$ 、 $P'$ 、 $N'$  三点的连线与水平方向的夹角分别为  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ ,则验证两球碰撞过程中动量守恒的表达式为 \_\_\_\_\_。(用所测物理量的符号表示)

8. 如图 1-4-11 甲所示的冲击摆装置,主要用于研究物体的碰撞及测定钢球的速度等实验。其原理是利用弹簧枪发射钢球,将钢球水平打入静止摆块左侧的小洞并停在里面,时间极短,摆块(内含钢球)向右摆动,推动指针,指针摆过的最大角度即为摆块的最大摆角,如图 1-4-11 乙所示。已知摆块质量为  $m=80\text{ g}$ ,钢球质量为  $m=8.4\text{ g}$ ,直径  $d=12.7\text{ mm}$ ,弹簧枪水平发射钢球的速度有三档。

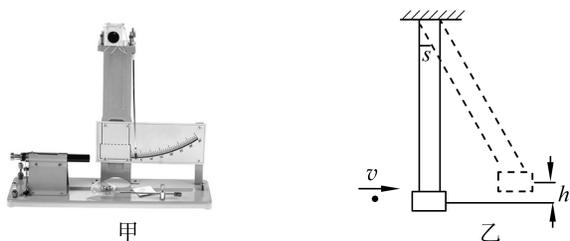


图 1-4-11

- (1) 某实验小组利用平抛规律测量弹簧枪全部三档的发射钢球速度,先将摆块移开,发射后钢球做平抛运动,测得三次实验中钢球的水平位移如表所示,并通过相关数据计算出了 1、3 档钢球的发射速度,请你估算  $v_2$  的大小。

发射档位	平抛水平位移	发射速度
1	0.27 m	$v_1=5.4\text{ m/s}$
2	0.33 m	$v_2=\text{_____}$
3	0.38 m	$v_3=7.6\text{ m/s}$

- (2) 设钢球打进摆块的初速度为  $v_0$ ,如果钢球和摆块系统的动量守恒,则钢球打进摆块后系统的机械能与打进前瞬间的比值为(设摆块初始位置的重力势能为 0) \_\_\_\_\_。

- A.  $\frac{m}{M+m}$       B.  $\frac{M}{M+m}$   
 C. 1              D.  $\frac{M+m}{m}$

情境融合

9. 验证动量守恒的实验装置如图 1-4-12 所示,弹性球 1 用细线悬挂于 O 点, O 点下方桌子的边缘有一直立柱。实验时,调节悬点,使弹性球 1 静止时恰与立柱上的

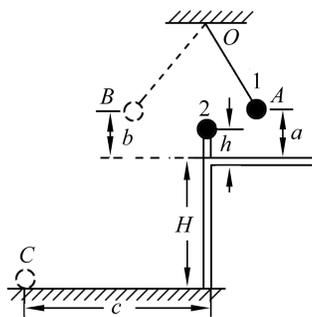


图 1-4-12

球 2 右端接触且两球等高。将球 1 拉到 A 点,并使之静止,同时把球 2 放在立柱上。释放球 1,当它摆到悬点正下方时与球 2 发生对心碰撞,碰后球 1 向左最远可摆到 B 点,球 2 落到水平地面上的 C 点。测出有关数据即可验证 1、2 两球碰撞时动量守恒。现已测出 A 点离水平桌面的距离为 a、B 点离水平桌面的距离为 b、C 点与桌子边缘沿间的水平距离为 c。此外:

- (1) 还需要测量的量是 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和 \_\_\_\_\_。  
 (2) 根据测量的数据,该实验中动量守恒的表达式为 \_\_\_\_\_。(忽略小球的大小)

## 第五节 弹性碰撞和非弹性碰撞

### 一、学科素养与学习目标

1. 认识弹性碰撞与非弹性碰撞,了解不同类型的碰撞。
2. 探究物体弹性碰撞的一些特点,通过判断碰撞中动量、机械能守恒与否,体会动量守恒定律、机械能守恒定律的应用,体会碰撞现象中体现出来的物理运动与相互作用观及能量观。
3. 建构一维弹性碰撞模型,通过理论探究一维碰撞结果,经历科学推理和论证过程;讨论碰撞产生的不同结果。
4. 经历实验探究碰撞规律的过程,用实验数据验证和解释理论推导结果,掌握科学探究的方法,感受不同碰撞的区别,培养勇于探索科学本质的态度与责任。
5. 通过实验,继续深化理解动量和动量守恒定律。能用动量守恒定律定量分析一维碰撞问题,能根据弹性碰撞的规律解释、判断有关现象和解决有关的问题,知道动量守恒定律的普遍意义。通过物理学中的守恒定律,体会自然界的和谐与统一。

### 二、自主探究与自我诊断

#### 自主探究

在本章第一节我们就知道,碰撞是自然界中很常见的现象。如图 1-5-1 所示,A、B 是两个悬挂起来的

钢球,质量相等,使 B 球静止,拉起 A 球,放开后 A 球与 B 球碰撞,观察碰撞前后两球运动的变化。

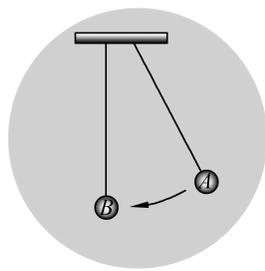


图 1-5-1

请你就这一碰撞模型思考。

1. 碰撞有什么特点? 有哪几种类型?
  2. 各种碰撞的动量和动能遵循什么规律? 为什么? 怎样设计实验来验证你的猜想?
- 自主学习后,谈谈你对以上问题的认识。

#### 自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 碰撞是指相对运动的物体相遇时,在极短时间内,它们的运动状态发生了显著变化的过程。 ( )
2. 在碰撞现象中,一般内力都远远大于外力,所以可以认为碰撞时系统的总动量守恒。 ( )
3. 如果碰撞过程中机械能也守恒,这样的碰撞叫作非弹性碰撞。 ( )
4. 所有的碰撞现象中,动量和动能均守恒。 ( )

5. 微观粒子的碰撞由于不发生直接接触,所以不满足动量守恒的条件,不能应用动量守恒定律求解。

( )

### 三、合作探究与疑难剖析

#### 重点解读

##### 1. 弹性碰撞和非弹性碰撞

(1) 弹性碰撞:在弹性力作用下,碰撞过程只产生机械能的转移,系统内无机械能损失的碰撞,称为弹性碰撞。

弹性碰撞后的物体不发生永久性形变,不裂成碎片,不粘在一起,不发生热传递及其他变化。

##### (2) 非弹性碰撞

① 非弹性碰撞:受非弹性力作用,使部分机械能转化为内能的碰撞。

② 完全非弹性碰撞:是非弹性碰撞的特例,这种碰撞的特点是碰后粘在一起(或碰后具有共同的速度),其动能损失最大。

碰撞后发生永久性形变、粘在一起、摩擦生热等的碰撞往往为非弹性碰撞。

##### 2. 碰撞的特点

(1) 作用时间极短,内力远大于外力,总动量总是守恒的。

(2) 碰撞过程中,总动能不增。因为没有其他形式的能量转化为动能。

(3) 碰撞过程中,当两物体碰后速度相等时,即发生完全非弹性碰撞时,系统动能损失最大。

(4) 碰撞过程中,两物体产生的位移可忽略。

无论是弹性碰撞还是非弹性碰撞,都满足动量守恒。

##### 3. 必须掌握动量守恒定律的两种思想

(1) 守恒思想: $p = p'$ 、 $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ 。

(2) 转化思想: $\Delta p_1 = -\Delta p_2$ 。

#### 疑难突破

##### 1. 碰撞问题遵守的三条原则

(1) 动量守恒: $p_1 + p_2 = p_1' + p_2'$ 。

(2) 动能不增加: $E_{k1} + E_{k2} \geq E_{k1}' + E_{k2}'$ 。

(3) 速度要符合实际情况。

##### 2. 弹性碰撞的特殊类型分析

在光滑的水平面上,质量为  $m_1$  的钢球沿一条直线以速度  $v_0$  与静止在水平面上的质量为  $m_2$  的钢球发生弹性碰撞,碰后的速度分别是  $v_1$ 、 $v_2$ 。则

$$m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad ①$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_0^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \quad ②$$

$$\text{由①②可得: } v_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_0 \quad ③$$

$$v_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_0 \quad ④$$

利用③式和④式,可讨论以下五种特殊情况:

- 当  $m_1 > m_2$  时,  $v_1 > 0$ ,  $v_2 > 0$ , 两钢球沿原方向运动;
- 当  $m_1 < m_2$  时,  $v_1 < 0$ ,  $v_2 > 0$ , 质量较小的钢球被反弹,质量较大的钢球向前运动;
- 当  $m_1 = m_2$  时,  $v_1 = 0$ ,  $v_2 = v_0$ , 两钢球交换速度;
- 当  $m_1 \ll m_2$  时,  $v_1 \approx v_0$ ,  $v_2 \approx 0$ ,  $m_1$  很小时,几乎以原速率被反弹回来,而质量很大的  $m_2$  几乎不动。例如橡皮球与墙壁的碰撞;
- 当  $m_1 \gg m_2$  时,  $v_1 \approx v_0$ ,  $v_2 \approx 2v_0$ , 说明  $m_1$  很大时速度几乎不变,而质量很小的  $m_2$  获得的速度是原来运动物体速度的 2 倍,这是原来静止的钢球通过碰撞可以获得的最大速度,例如,铅球碰乒乓球。

#### 典型例题

**例1** 质量  $m_1 = 10 \text{ g}$  的小球在光滑的水平面上以  $v_1 = 30 \text{ cm/s}$  的速度向右运动,恰遇上质量  $m_2 = 50 \text{ g}$  的小球以  $v_2 = 10 \text{ cm/s}$  的速度向左运动。碰撞后,小球  $m_2$  恰好静止。那么碰撞后小球  $m_1$  的速度多大? 方向如何?

**思路点拨:** 本题中的速度方向虽在同一直线上,但有的向右,有的向左,运用动量守恒定律求解时,一定要规定正方向。

**解析:** 设  $v_1$  的方向为正方向(向右),则各球的速度为  $v_1 = 30 \text{ cm/s}$ ,  $v_2 = -10 \text{ cm/s}$ ,  $v_2' = 0$ , 据  $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$  解得  $v_1' = -20 \text{ cm/s}$ , 负号表示碰撞后  $m_1$  的运动方向与  $v_1$  的方向相反,即向左。

**方法提炼:** 碰撞问题满足动量守恒定律,动量守恒定律是矢量规律,规定正方向十分重要。

**变式训练 1** A、B 两球沿一直线运动并发生正碰,两球碰撞前后的  $x-t$  图像如图 1-5-2 所示, a、b 分别为 A、B 两球碰前的位移图像, c 为碰撞后两球共同运动的位移图像,若 A 球质量是  $m = 2 \text{ kg}$ ,则由图判断下列结论

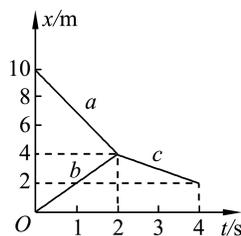


图 1-5-2

不正确的是 ( )

- A. 碰撞前后 A 的动量变化为  $4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
 B. 碰撞时 A 对 B 所施冲量为  $-4 \text{ N} \cdot \text{s}$   
 C. A、B 碰撞前的总动量为  $3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
 D. 碰撞中 A、B 两球组成的系统损失的动能为  $10 \text{ J}$

**例2** 如图 1-5-3 所示, P 物体与一个连着弹簧的 Q 物体正碰, 碰撞后 P 物体静止, Q 物体以 P 物体碰撞前速度  $v$  离开, 已知 P 与 Q 质量相等, 弹簧质量忽略不计, 那么当弹簧被压缩至最短时, 下列结论正确的是 ( )



图 1-5-3

- A. P 的速度恰好为零 B. P 与 Q 具有相同速度  
 C. Q 刚开始运动 D. Q 的速度等于  $v$

**思路点拨:** 用弹簧连着的物体间相互作用时, 可类似于弹性碰撞, 此类题目常见的有相互作用的物体中出现“恰好”“最近”“最远”等临界问题, 求解的关键点是速度相等。

**解析:** P 物体接触弹簧后, 在弹簧弹力的作用下, P 做减速运动, Q 做加速运动, P、Q 间的距离减小, 当 P、Q 两物体速度相等时, 弹簧被压缩到最短, B 正确, A、C 错误。由于作用过程中动量守恒, 设速度相等时速度为  $v'$ , 则  $mv = (m+m)v'$ , 所以弹簧被压缩至最短时, P、Q 的速度  $v' = \frac{v}{2}$ , D 错误。故选 B。

**方法提炼:** 在碰撞现象中, 系统的动量关系和能量关系往往是解题关键。

**变式训练 2** (多选) 甲物体在光滑水平面上运动速度为  $v_1$ , 与静止的乙物体相碰, 碰撞过程中无机械能损失, 下列结论正确的是 ( )

- A. 乙的质量等于甲的质量时, 碰撞后乙的速度为  $v_1$   
 B. 乙的质量远远小于甲的质量时, 碰撞后乙的速率是  $2v_1$   
 C. 乙的质量远远大于甲的质量时, 碰撞后甲的速率是  $v_1$   
 D. 碰撞过程甲对乙做的功大于乙动能的增量

**例3** 两个质量相等的小球在光滑水平面上沿同一直线同向运动, A 球的动量是  $8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , B 球的动量是  $6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , A 球追上 B 球时发生碰撞, 则碰撞后 A、B 两球的动量可能为 ( )

- A.  $p_A = 0, p_B = 14 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
 B.  $p_A = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}, p_B = 10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
 C.  $p_A = 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}, p_B = 8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
 D.  $p_A = 7 \text{ kg} \cdot \text{m/s}, p_B = 8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

**思路点拨:** 对于碰撞过程, 往往根据三个规律进行分析: 动量守恒定律, 总动能不增加, 符合物体的

实际运动情况。

**解析:** 以 A、B 两球组成的系统为对象。设两球的质量均为  $m$ 。当 A 球追上 B 球时发生碰撞, 遵守动量守恒。由题可知, 碰撞前总动量为  $p = p_A + p_B = (8+6) \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 14 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 碰撞前总动能为  $E_k = \frac{p_A^2}{2m} + \frac{p_B^2}{2m} = \frac{8^2}{2m} + \frac{6^2}{2m} = \frac{50}{m}$ 。A 选项碰撞后总动量为  $p' = p_A' + p_B' = (0+14) \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 14 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 符合动量守恒定律; 碰撞后总动能为  $E_k' = \frac{14^2}{2m} = \frac{98}{m} > E_k$ , 总动能增加, 违反了能量守恒定律, 不可能, 故 A 错误。B 选项碰撞后总动量为  $p' = p_A' + p_B' = (4+10) \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 14 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 符合动量守恒定律; 碰撞后总动能为  $E_k' = \frac{4^2}{2m} + \frac{10^2}{2m} = \frac{58}{m} > E_k$ , 总动能增加, 违反了能量守恒定律, 不可能, 故 B 错误。C 选项碰撞后总动量为  $p' = p_A' + p_B' = (6+8) \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 14 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 符合动量守恒定律; 碰撞后总动能为  $E_k' = \frac{6^2}{2m} + \frac{8^2}{2m} = \frac{50}{m} = E_k$ , 符合能量守恒定律, 可能发生, 故 C 正确。D 选项碰撞后总动量为  $p' = p_A' + p_B' = (7+8) \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 15 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 不符合动量守恒定律, 是不可能发生的, 故 D 错误。故选 C。

**方法提炼:** 碰撞不能违反动量守恒定律, 动能不能增加, 碰撞结束后, 后面的物体速度不能超过前面的物体。

**变式训练 3** 质量相等的 A、B 两球在光滑水平面上沿同一直线、向同一方向运动, A 球的动量是  $7 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , B 球的动量是  $5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 随后 A 球追上 B 球并发生碰撞, 则碰撞后 A、B 两球的动量可能值是 ( )

- A.  $p_A = 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}, p_B = 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
 B.  $p_A = 3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}, p_B = 9 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
 C.  $p_A = -2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}, p_B = 14 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
 D.  $p_A = -4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}, p_B = 17 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

#### 四、分层训练与能力提升

##### 基础达标

- 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
- 如图 1-5-4 所示, 车厢静止在光滑水平面上, 车厢内有一个物体, 当给物体一个向右的初速度后, 物体与车厢内壁碰撞而在车厢内来回运动, 最后物体静止在车厢内时, 则 ( )

- A. 车厢处于静止  
B. 车厢向左运动  
C. 车厢向右运动  
D. 车厢与物体之间没有机械能的损失

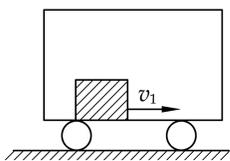


图 1-5-4

3. 如图 1-5-5 所示,质量相等的五个物块在光滑水平面上,间隔一定距离排成一条直线。具有初动能  $E_0$  的物块 1 向其他 4 个静止的物块运动,依次发生碰撞,每次碰撞后不再分开。最后 5 个物块粘成一个整体。这个整体的动能等于 ( )

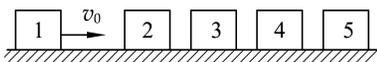


图 1-5-5

- A.  $E_0$     B.  $\frac{4}{5}E_0$     C.  $\frac{1}{5}E_0$     D.  $\frac{1}{25}E_0$

4. 质量为  $m_a = 1 \text{ kg}$ 、 $m_b = 2 \text{ kg}$  的小球在光滑的水平面上发生碰撞,碰撞前后两球的位移—时间图像如图 1-5-6 所示,则可知碰撞属于 ( )

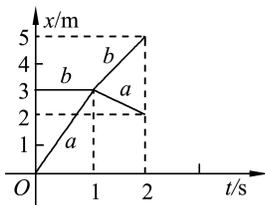


图 1-5-6

- A. 弹性碰撞  
B. 非弹性碰撞  
C. 完全非弹性碰撞  
D. 条件不足,不能确定
5. (多选)如图 1-5-7 所示,质量为  $M$  的小车原来静止在光滑水平面上,小车 A 端固定一根轻弹簧,弹簧的另一端放置一质量为  $m$  的物体 C,小车底部光滑,开始让弹簧处于压缩状态,当弹簧释放后,物体 C 被弹出向小车 B 端运动,最后与 B 端粘在一起,下列说法正确的是 ( )
- A. 物体 C 离开弹簧时,小车向左运动  
B. 物体 C 与 B 端粘在一起之前,小车的运动速度与物体 C 的运动速率之比为  $m/M$   
C. 物体 C 与 B 端粘在一起后,小车静止下来  
D. 物体 C 与 B 端粘在一起后,小车向右运动
6. 光滑水平轨道上有三个木块 A、B、C,其中 A 质量为  $m_A = 3m$ 、C 质量为  $m_C = 2m$ ,开始时 B、C 均静止,A 以初速度  $v_0$  向右运动,A 与 B 发生弹性碰撞后分开,B 又与 C 发生碰撞并粘在一起,此后 A 与 B 间的距离保持不变。求 B 的质量及 B 与 C 碰撞前 B 的速度大小。

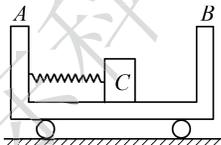


图 1-5-7

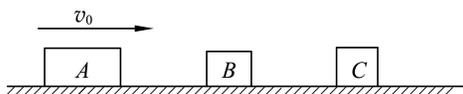


图 1-5-8

## 能力提升

7. 在光滑水平面上的两个小球发生正碰。图 1-5-9 为它们碰撞前后的位置图像,小球的质量分别为  $m_1$  和  $m_2$ ,已知  $m_1 = 0.1 \text{ kg}$ 。由此可以判断 ( )

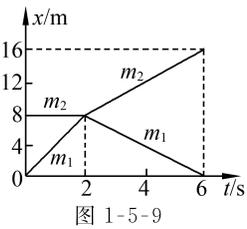


图 1-5-9

- A. 碰前  $m_2$ 、 $m_1$  都运动  
B. 碰后  $m_2$  和  $m_1$  运动方向相同  
C. 由动量守恒定律可以算出  $m_2 = 0.3 \text{ kg}$   
D. 碰撞过程中系统损失了  $0.4 \text{ J}$  的机械能
8. (多选)在光滑的水平面上,有 A、B 两球沿同一直线向右运动,如图 1-5-10 所示。已知碰撞前两球的动量分别为  $p_A = 12 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 、 $p_B = 13 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 。碰撞后它们的动量变化  $\Delta p_A$ 、 $\Delta p_B$  有可能是 ( )

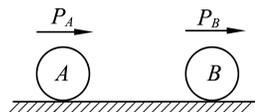


图 1-5-10

- A.  $\Delta p_A = -3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $\Delta p_B = 3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
B.  $\Delta p_A = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $\Delta p_B = -4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
C.  $\Delta p_A = -5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $\Delta p_B = 5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
D.  $\Delta p_A = -24 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $\Delta p_B = 24 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
9. (多选)带有  $\frac{1}{4}$  光滑圆弧轨道质量为  $M$  的滑车静止置于光滑水平面上,如图 1-5-11 所示,一质量也为  $M$  的小球以速度  $v_0$  水平冲上滑车,到达某一高度后,小球又返回车的左端,则 ( )
- A. 小球以后将向左做平抛运动  
B. 小球将做自由落体运动  
C. 此过程小球对小车做的功为  $\frac{Mv_0^2}{2}$   
D. 小球在弧形槽上升的最大高度为  $\frac{v_0^2}{2g}$

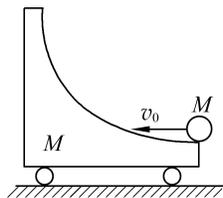


图 1-5-11

10. 如图 1-5-12 所示,可看成质点的 A 物体叠放在上表面光滑的 B 物体上,一起以  $v_0$  的速度沿光

滑的水平轨道匀速运动,与静止在同一光滑水平轨道上的木板  $C$  发生碰撞,碰撞时间极短,碰撞后  $B$ 、 $C$  的速度相同, $B$ 、 $C$  的上表面相平且  $B$ 、 $C$  不粘连, $A$  滑上  $C$  后恰好能到达  $C$  板的右端。已知  $A$ 、 $B$  质量均为  $m$ , $C$  的质量为  $A$  的质量的 2 倍,木板  $C$  长为  $L$ ,重力加速度为  $g$ 。求:

- (1)  $B$ 、 $C$  碰撞过程中,损失的机械能  $\Delta E$ ;
- (2)  $A$  运动到  $C$  的右端时的速度  $v$ ;
- (3)  $A$  物体与木板  $C$  上表面间的动摩擦因数  $\mu$ 。

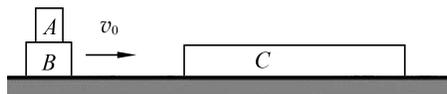


图 1-5-12

## 情境融合

11. 汽车  $A$  在水平冰雪路面上行驶,驾驶员发现其正前方停有汽车  $B$ ,立即采取制动措施,但仍然撞上了汽车  $B$ 。两车碰撞时和两车都完全停止后的位置如图 1-5-13 所示,碰撞后  $B$  车向前滑动了 4.5 m, $A$  车向前滑动了 2.0 m,已知  $A$  和  $B$  的质量分别为  $2.0 \times 10^3$  kg 和  $1.5 \times 10^3$  kg,两车与该冰雪路面间的动摩擦因数均为 0.10,两车碰撞时间极短,在碰撞后车轮均没有滚动,重力加速度大小  $g=10$  m/s<sup>2</sup>。求:

- (1) 碰撞后的瞬间  $B$  车速度的大小;
- (2) 碰撞前的瞬间  $A$  车速度的大小。

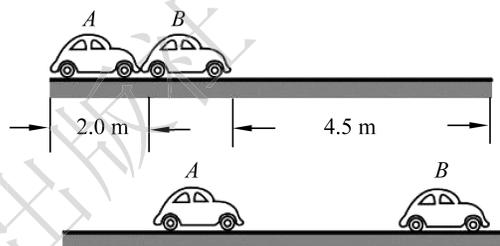


图 1-5-13

## 第六节 反冲现象 火箭

### 一、学科素养与学习目标

1. 能通过生活中常见反冲运动的实例分析、概括出反冲运动的特点,培养观察能力与分析能力,体会物理学科与生活的联系。

2. 知道反冲运动和火箭的工作原理,能够运用动量守恒定律分析、解释有关反冲运动的问题。

3. 能够用动量守恒定律解释反冲运动并进行简单计算,通过反冲运动中动量守恒的探究过程以及火箭最终速度决定因素的推导过程,独立利用已

有概念探索新知识,培养创造思维和独立学习的思维方法。

4. 了解反冲运动的应用,了解航天技术的发展和应用。

5. 体会物理知识来源于生活而又应用于生活的特点,养成主动探究、乐于探究的品质。

## 二、自主探究与自我诊断

### 自主探究

1. 如图 1-6-1 所示,你知道章鱼、乌贼是怎样游动的吗? 它们先把水吸



图 1-6-1

入体腔,然后用力压水,通过身体前面的孔将水喷出,使身体很快地运动。章鱼能够调整喷水方向,这样可以使得身体向任意方向前进。

章鱼游动时体现了什么物理原理?

2. 把一个气球吹起来,用手捏住气球的通气口如图 1-6-2 甲所示,然后突然放开,让气体喷出,观察气球的运动。如图 1-6-2 乙所示,把弯管装在可旋转的盛水容器的下部。当水从弯管流出时,容器就旋转起来。尝试用学过的知识解释这两种现象。



甲



乙

图 1-6-2

### 自我诊断

判断下列说法的正误。

- 物体把一部分向前抛出,就一定能获得向后的速度。 ( )
- 在反冲现象中,系统的动能保持不变。 ( )
- 喷气式飞机实际上就是利用了反冲作用。 ( )
- 火箭前进是因为燃料燃烧发热,加热周围空气,空气膨胀推动火箭。 ( )
- 火箭发动机用力将燃料燃烧产生的气体向后推出,气体的反作用力推动火箭。 ( )

## 三、合作探究与疑难剖析

### 重点解读

#### 1. 反冲现象

(1) 定义:一个静止的物体在内力的作用下分裂为两部分,一部分向某个方向运动,另外一个部分必然向相反方向运动,这个现象叫作反冲现象。

(2) 反冲运动遵循的规律:反冲运动是系统内力作用的结果,虽然有时系统所受的合外力不为零,但由于系统内力远远大于外力,所以系统的总动量是守恒的。

#### 2. 反冲运动的应用实例

(1) 利用有益的反冲运动:反击式水轮机是使水从转轮的叶片中流出,使转轮由于反冲而旋转,从而带动发电机发电;喷气式飞机是靠喷出的气流的反冲作用而获得巨大的速度;等等。

(2) 避免有害的反冲运动:射击时,子弹向前飞去,枪身向后发生反冲,这就会影响射击准确性等。

#### 3. 火箭

(1) 火箭是利用了反冲原理。发射火箭时,尾管中喷射出的高速气体有动量,根据动量守恒定律,火箭就获得向上的动量,从而向上飞去。

(2) 根据  $\Delta v = -\frac{\Delta m u}{m}$  可知,火箭速度增量与喷气速度  $u$  和火箭质量比  $\frac{\Delta m}{m}$  有关,一般  $u$  在 2 000 ~ 4 000 m/s 之间,质量之比小于 10。

### 疑难突破

#### 1. 反冲运动的特点及其遵循的规律

(1) 特点:

① 物体的不同部分在内力作用下向相反方向运动。

② 反冲运动中,由于有其他形式的能转变为机械能,所以系统的总动能增加。

(2) 反冲运动中,下列三种情况均可应用动量守恒定律解决:

① 系统不受外力或所受外力之和为零,满足动量守恒的条件,可以用动量守恒定律解决反冲运动问题;

② 系统虽然受到外力作用,但内力远远大于外力,外力可以忽略,也可以用动量守恒定律解决反冲运动问题;

③ 系统虽然所受外力之和不为零,系统的动量并不守恒,但系统在某一方向上不受外力或外力在该

方向上的分力之和为零,则系统的动量在该方向上的分量保持不变,可以在该方向上应用动量守恒定律。

## 2. 分析反冲运动应注意的问题

(1) 速度的反向性问题:对于原来静止的整体,抛出部分具有速度时,剩余部分的反冲是相对于抛出部分来说的,二者运动方向必然相反。在列动量守恒方程时,可任意规定某一部分的运动方向为正方向,则反方向的另一部分的速度应取负值。

(2) 相对速度问题:反冲运动的问题中,有时遇到的速度是相互作用的两物体的相对速度。由于动量守恒定律中要求速度为对同一参考系的速度,通常为对地的速度,因此,应先将相对速度转换成对地的速度后,再列动量守恒定律方程。

(3) 变质量问题:在反冲运动中还常遇到变质量物体的运动,如在火箭的运动过程中,随着燃料的消耗,火箭本身的质量不断减小,此时必须取火箭本身和在相互作用的短时间内喷出的所有气体为研究对象,取相互作用的这个过程为研究过程来进行研究。

## 典型例题

**例1** 火箭发动机每次喷出  $m_0 = 200 \text{ g}$  的气体,喷出的气体相对于地面的速度为  $v = 1\,000 \text{ m/s}$ ,设火箭的初质量  $M = 300 \text{ kg}$ ,发动机每秒喷气 20 次,在不考虑地球引力及空气阻力的情况下,火箭在 1 s 末的速度为多大?

**解析:**设火箭 1 s 末的速度为  $v_1$ ,由于忽略了万有引力和阻力,所以动量守恒。

以火箭飞行的方向为正方向,

$$0 = (M - 20m_0)v_1 - 20m_0v$$

$$v_1 = \frac{20m_0v}{M - 20m_0} = \frac{20 \times 0.2 \times 1\,000}{300 - 20 \times 0.2} \text{ m/s} \approx 13.5 \text{ m/s}$$

**方法提炼:**火箭工作的原理是利用反冲运动,是火箭燃料燃烧产生的高温高压燃气从尾喷管迅速喷出时,使火箭获得的反冲速度,反冲过程满足动量守恒定律。

**变式训练 1** 在水平铁轨上放置一门质量为  $M$  的炮车,发射的炮弹质量为  $m$ ,铁轨和炮车间摩擦忽略不计。

- (1) 水平发射炮弹时,炮弹速度为  $v_0$ ,炮身的反冲速度为多大?
- (2) 炮身水平方向,炮弹出炮口时,相对炮口速度为  $v_0$ ,炮身的反冲速度为多大?
- (3) 炮车车身与水平方向成  $\theta$  角,炮弹速度大小为  $v_0$ ,炮身反冲速度为多大?

**例2** 如图 1-6-3 所示,长为  $L$ 、质量为  $m_{\text{船}}$  的小船停在静水中,质量为  $m_{\text{人}}$  的人由静止开始从船头走到船尾,不计水的阻力,求船和人相对地面的位移各为多少?

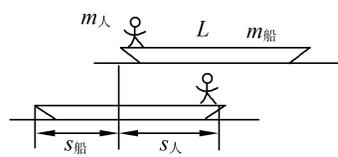


图 1-6-3

**思路点拨:**以人和船组成的系统为研究对象,在人由船头走到船尾的过程中,系统水平方向不受外力作用,所以整个系统水平方向动量守恒为 0。当人起步加速前进时,船同时向后做加速运动;人匀速运动,则船匀速运动;当人停下来时,船也停下来。

**解析:**设某时刻人对地的速度为  $v_{\text{人}}$ ,船对地的速度为  $v_{\text{船}}$ ,取人前进的方向为正方向,根据动量守恒定律

$m_{\text{人}}v_{\text{人}} - m_{\text{船}}v_{\text{船}} = 0$ ,即  $v_{\text{船}} : v_{\text{人}} = m_{\text{人}} : m_{\text{船}}$

$$\text{由图可以看出: } s_{\text{船}} + s_{\text{人}} = L \quad \text{①}$$

而人的位移  $s_{\text{人}} = v_{\text{人}}t$ ,船的位移  $s_{\text{船}} = v_{\text{船}}t$ ,所以船的位移与人的位移也与它们的质量成反比,即

$$s_{\text{船}} : s_{\text{人}} = m_{\text{人}} : m_{\text{船}} \quad \text{②}$$

$$\text{由①②两式解得: } s_{\text{人}} = \frac{m_{\text{船}}}{m_{\text{人}} + m_{\text{船}}} L, s_{\text{船}} = \frac{m_{\text{人}}}{m_{\text{人}} + m_{\text{船}}} L$$

**方法提炼:**因为人由船头走到船尾的过程中,每一时刻都满足动量守恒定律,所以每一时刻人的速度与船的速度之比,都与它们的质量之比成反比。因此人由船头走到船尾的过程中,人的平均速度与船的平均速度也与它们的质量成反比。

**变式训练 2** 如图 1-6-4 所示,一个质量为  $m_1 = 50 \text{ kg}$  的人抓在一只大气球下方,气球下面有一根长绳。气球和长绳的总质量为  $m_2 = 20 \text{ kg}$ ,长绳的下端刚好和水平面接触。当静止时人离地面的高度为  $h = 10 \text{ m}$ 。如果这个人开始沿绳向下滑,当他滑到绳下端时,他离地面的高度是(可以把人看作质点)

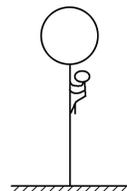


图 1-6-4

( )

- A. 10 m    B. 7.1 m    C. 5.1 m    D. 16 m

## 四、分层训练与能力提升

### 基础达标

1. 下列不属于反冲运动的是 ( )  
A. 喷气式飞机的运动

- B. 直升机的运动  
C. 火箭的运动  
D. 反击式水轮机的运动
2. 假设一个人静止于完全光滑的水平冰面上, 现欲离开冰面, 下列方法中可行的是 ( )  
A. 向后踢腿                      B. 手臂向后甩  
C. 在冰面上滚动                D. 脱下外衣水平抛出
3. 运送人造地球卫星的火箭开始工作后, 火箭做加速运动的原因是 ( )  
A. 燃料燃烧推动空气, 空气反作用力推动火箭  
B. 火箭发动机将燃料燃烧产生的气体向后推出, 气体的反作用力推动火箭  
C. 火箭吸入空气, 然后向后推出, 空气对火箭的反作用力推动火箭  
D. 火箭燃料燃烧发热, 加热周围空气, 空气膨胀推动火箭

4. 如图 1-6-5 所示, 设质量为  $M$  的导弹运动到空中最高点时速度为  $v_0$ , 突然炸成两块, 质量为  $m$  的一块以速度  $v$  沿  $v_0$  的方向飞去, 则另一块的运动 ( )  
A. 一定沿  $v_0$  的方向飞去  
B. 一定沿  $v_0$  的反方向飞去  
C. 可能做自由落体运动  
D. 以上说法都不对

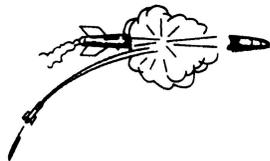


图 1-6-5

5. 一质量为  $M$  的航天器, 正以速度  $v_0$  在太空中飞行, 某一时刻航天器接到加速的指令后, 发动机瞬间向后喷出一定质量的气体, 气体喷出时速度大小为  $v_1$ , 加速后航天器的速度大小为  $v_2$ , 则喷出气体的质量  $m$  为 ( )  
A.  $\frac{v_2 - v_0}{v_1} M$                       B.  $\frac{v_2}{v_2 + v_1} M$   
C.  $\frac{v_2 - v_0}{v_2 + v_1} M$                 D.  $\frac{v_2 - v_0}{v_2 - v_1} M$

6. 如图 1-6-6 所示, 光滑水平面上有两辆车, 甲车上面有发射装置, 甲车连同发射装置质量  $M_1 = 1 \text{ kg}$ , 车上另有一个质量为  $m = 0.2 \text{ kg}$  的小球。甲车静止在平面上, 乙车以  $v_0 = 8 \text{ m/s}$  的速度向甲车运动, 乙车上有接收装置, 总质量  $m_2 = 2 \text{ kg}$ 。甲车至少以多大的水平速度将小球发射到乙车上, 两车才不会相撞? (球最终停在乙车上)

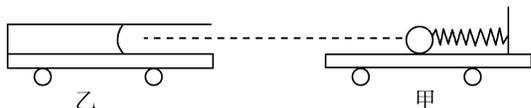


图 1-6-6

## 能力提升

7. 如图 1-6-7 所示, 小车由光滑的弧形段  $AB$  和粗糙的水平段  $BC$  组成, 静止在光滑水平面上, 当小车固定时, 从  $A$  点由静止滑下的物体到  $C$  点恰好停止。如果小车不固定, 物体仍从  $A$  点由静止滑下, 则 ( )

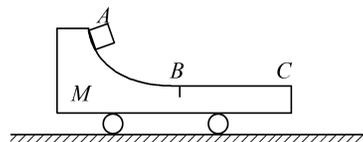


图 1-6-7

- A. 仍滑到小车上的  $C$  点停住  
B. 滑到小车上的  $BC$  间某处停住  
C. 会冲出  $C$  点落到车外  
D. 小车向左运动, 其位移与物体在水平方向的位移大小一定相等
8. 穿着溜冰鞋的人, 站在光滑的冰面上, 沿水平方向举枪射击。设每次射出的子弹对地速度相等, 第一次射出子弹后, 人后退的速度为  $v$ , 则 ( )  
A. 无论射出多少颗子弹, 人后退的速度为  $v$  且保持不变  
B. 射出  $n$  颗子弹后, 人后退的速度为  $nv$   
C. 射出  $n$  颗子弹后, 人后退的速度大于  $nv$   
D. 射出  $n$  颗子弹后, 人后退的速度小于  $nv$
9. (多选) 一个运动员在地面上跳远, 最远可跳  $l$ , 如果他立在船头, 船头离河岸距离为  $l$ , 船面与河岸表面平齐, 他若从船头向岸上跳, 下列说法正确的是 ( )  
A. 他不可能跳到岸上  
B. 他有可能跳到岸上  
C. 他先从船头跑到船尾, 再返身跑回船头起跳, 就可以跳到岸上  
D. 采用 C 中的方法也无法跳到岸上
10. 以初速度  $v_0$  与水平方向成  $60^\circ$  角斜向上抛出的手榴弹, 到达最高点时炸成质量分别为  $m$  和  $2m$  的两块。其中质量大的一块沿着原来的方向以  $2v_0$  的速度飞行。  
(1) 求质量较小的另一块弹片速度的大小和方向。  
(2) 爆炸过程有多少化学能转化为弹片的动能?

情境融合

11. 小车置于光滑水平面上, 一个人站在车上练习打靶, 如图 1-6-8 所示, 除了子弹外, 车、人、靶、枪的总质量为  $M$ 。  $n$  发子弹每发质量为  $m$ 。枪口和靶的距离为  $d$ 。子弹沿水平方向射出。射中靶后即留在靶内。待前一发打入靶

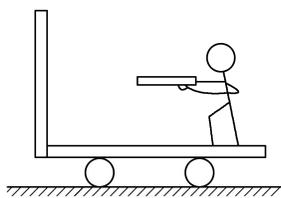
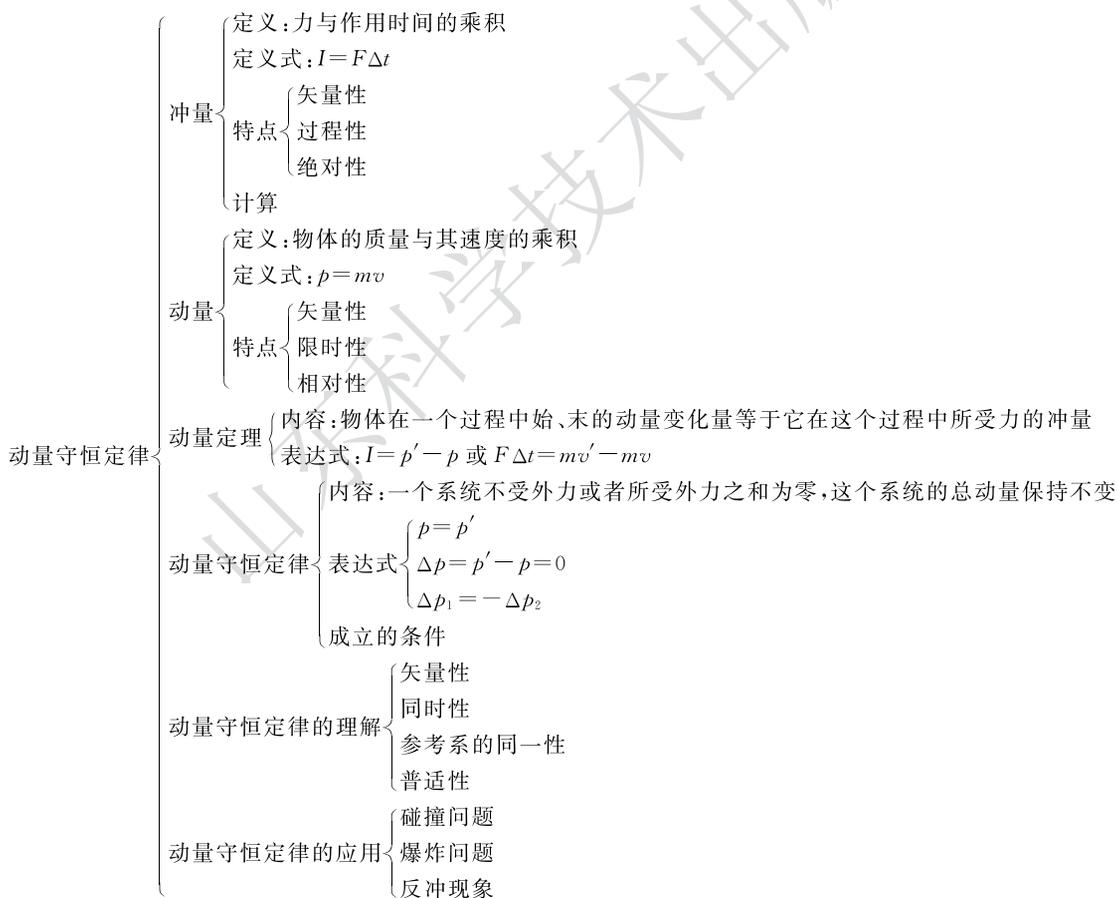


图 1-6-8

中, 再打下一发,  $n$  发子弹全部打完后, 小车移动的总距离是多少?

## 章末总结

### 知网建构



## 重点探究

## 【小微专题 碰撞模型】

## 1. 弹性碰撞

发生弹性碰撞的两个物体碰撞前后动量守恒, 动能守恒:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$$



图 1-1

## 2. 完全非弹性碰撞

碰后物体的速度相同, 根据动量守恒定律可得:  $m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_{共}$ 。

完全非弹性碰撞系统损失的动能最多, 损失动能:  $\Delta E_k = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_{共}^2$ 。



图 1-2

## 3. 非弹性碰撞

根据动量守恒定律可得:  $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ 。

损失动能  $\Delta E_k$ , 根据机械能守恒定律可得:

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 + \Delta E_k$$

## 4. 碰撞三原则

(1) 动量守恒: 即  $p_1 + p_2 = p_1' + p_2'$ 。

(2) 动能不增加: 即  $E_{k1} + E_{k2} \geq E_{k1}' + E_{k2}'$  或

$$\frac{p_1^2}{2m_1} + \frac{p_2^2}{2m_2} \geq \frac{p_1'^2}{2m_1} + \frac{p_2'^2}{2m_2}$$

(3) 速度要合理。

**例1** 如图 1-3 所示, A、B 两小球在光滑水平面上分别以动量  $p_1 = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  和  $p_2 = 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  (向右为正方向) 做匀速直线运动, 则在 A 球追上 B 球并与其碰撞的过程中, 两小球的动量变化量  $\Delta p_1$  和  $\Delta p_2$  可能分别为 ( )

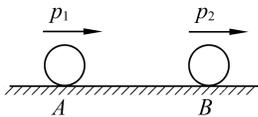


图 1-3

- A.  $-2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
B.  $-8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

C.  $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $-1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

D.  $-2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

**解析:** 由于碰撞过程中动量守恒, 两小球动量变化大小相等, 方向相反, A 错误; 因为碰撞的过程中系统动能不增加。若  $\Delta p_1$  和  $\Delta p_2$  分别为  $-8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 则  $p_1' = -4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $p_2' = 14 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 根据  $E_k = \frac{p^2}{2m}$  知相撞过程中系统动能增加, B 错误; 两球碰撞的过程中, B 球的动量增加,  $\Delta p_2$  为正值, A 球的动量减小,  $\Delta p_1$  为负值, C 错误; 变化量分别为  $-2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 符合动量守恒、动能不增加以及实际的规律, D 正确。故选 D。

**例2** 如图 1-4 所示, 在光滑水平

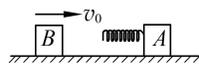
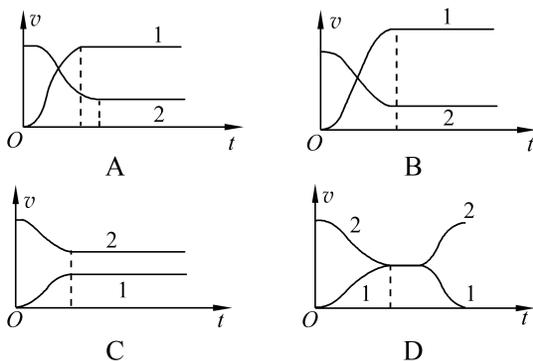


图 1-4

地面上有 A、B 两个小物块, 其中物块 A 的左侧连接一水平轻

质弹簧。物块 A 处于静止状态, 物块 B 以一定的初速度向物块 A 运动, 并通过弹簧与物块 A 发生弹性正碰。对于该作用过程, 两物块的速率变化可用速率—时间图像进行描述, 在下图所示的图像中, 图线 1 表示物块 A 的速率变化情况, 图线 2 表示物块 B 的速率变化情况。则在这四个图像中可能正确的是 ( )



**解析:** 物块 B 压缩弹簧的过程, 开始时 A 做加速运动, B 做减速运动, 两个物块的加速度增大。当弹簧压缩至最短时, 二者的速度相等; 此后 A 继续加速, B 继续减速。当弹簧恢复原长时 B 离开弹簧, A、B 均做匀速直线运动, C、D 错误; 由动量守恒定律和机械能守恒定律可得, 碰后速度  $v_A = \frac{2m_B}{m_A + m_B} v_0$ ,

$v_B = \frac{m_B - m_A}{m_A + m_B} v_0$ 。A、B 两项中碰后 B 的速度为正值, 可知  $m_B > m_A$ , 故  $v_A = \frac{2}{\frac{m_A}{m_B} + 1} v_0 > v_0$ , 故 A 错误,

B 正确。故选 B。

**例3** (多选) 矩形滑块由不同材料的上、下两层粘在一起组成, 将其放在光滑的水平面上, 质量为  $m$

的子弹以速度  $v$  水平射向滑块。若射击下层,子弹刚好不射出;若射击上层,则子弹刚好能射穿一半厚度,如图 1-5 所示。则上述两种情况相比较

( )

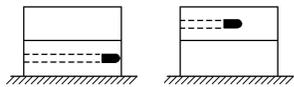


图 1-5

- A. 子弹的末速度大小相等  
B. 系统产生的热量一样多  
C. 子弹对滑块做的功不相同  
D. 子弹和滑块间的水平作用力一样大

**解析:**根据动量守恒,两种情况下最终子弹与木块的速度相等,A 正确;根据能量守恒可知,初状态子弹动能相同,末状态两木块与子弹的动能也相同,因此损失的动能转化成的热量也相同,B 正确;子弹对滑块做的功等于滑块末状态的动能,因此做功相同,C 错误;产生的热量  $Q = F_f \cdot \Delta x$ ,由于产生的热量相同,而相对位移  $\Delta x$  不同,因此子弹和滑块间的水平作用力大小不同,D 错误。故选 AB。

**例 4** 如图 1-6 所示,水平面上相距为  $L=5\text{ m}$  的  $P$ 、 $Q$  两点分别固定一竖直挡板,一质量为  $M=2\text{ kg}$  的小物块  $B$  静止在  $O$  点, $OP$  段光滑, $OQ$  段粗糙且长度为  $d=3\text{ m}$ 。一质量为  $m=1\text{ kg}$  的小物块  $A$  以  $v_0=6\text{ m/s}$  的初速度从  $OP$  段的某点向右运动,并与  $B$  发生弹性碰撞。两物块与  $OQ$  段的动摩擦因数均为  $\mu=0.2$ ,两物块与挡板的碰撞时间极短且均不损失机械能。取重力加速度  $g=10\text{ m/s}^2$ ,求:

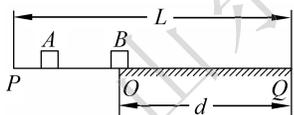


图 1-6

(1)  $A$  与  $B$  在  $O$  点碰后瞬间各自的速度;

(2) 两物块各自停止运动时的时间间隔。

**解析:**(1) 设  $A$ 、 $B$  在  $O$  点碰后的速度分别为  $v_1$  和  $v_2$ ,以向右为正方向

$$\text{由动量守恒得: } mv_0 = mv_1 + Mv_2$$

$$\text{碰撞前后动能相等: } \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2$$

解得: $v_1 = -2\text{ m/s}$ ,负号表示方向向左; $v_2 = 4\text{ m/s}$ ,方向向右。

(2) 碰后,两物块在  $OQ$  段减速时加速度大小均为:

$$a = \mu g = 2\text{ m/s}^2$$

$B$  经过  $t_1$  时间与  $Q$  处挡板相碰,由运动学公式:

$$v_2 t_1 - \frac{1}{2} a t_1^2 = d$$

$$\text{得 } t_1 = 1\text{ s} (t_1 = 3\text{ s 舍去})$$

与挡板相碰后, $B$  的速度大小  $v_3 = v_2 - a t_1 = 2\text{ m/s}$

$$\text{反弹后减速时间 } t_2 = \frac{v_3}{a} = 1\text{ s}$$

反弹后经过位移  $x_1 = \frac{v_3^2}{2a} = 1\text{ m}$ , $B$  停止运动。

物块  $A$  与  $P$  处挡板碰后,以  $v_1 = 2\text{ m/s}$  的速度滑上  $O$  点,经过

$$x_2 = \frac{v_1^2}{2a} = 1\text{ m 停止。}$$

所以最终  $A$ 、 $B$  的距离  $x = d - x_1 - x_2 = 1\text{ m}$ ,两者不会碰第二次。

在  $A$ 、 $B$  相碰后, $A$  运动总时间  $t_A = \frac{2(L-d)}{|v_1|} +$

$$\frac{v_1}{\mu g} = 3\text{ s}$$

$B$  运动总时间  $t_B = t_1 + t_2 = 2\text{ s}$

则时间间隔  $\Delta t_{AB} = 1\text{ s}$

## 章末检测

一、选择题(本题共 12 个小题,每小题 4 分。在每个小题给出的四个选项中,只有一项符合题目要求)

- 某物体受到一个  $-6\text{ N}\cdot\text{s}$  的冲量作用,则( )
  - 物体的动量一定减少
  - 物体的末动量一定是负值
  - 物体动量变化量的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方向相反

- 如图 1 所示,一内外侧均光滑的半圆柱槽置于光滑的水平面上。槽的左侧有一竖直墙壁。现让一小球(可认为质点)自左端槽口  $A$  点的正上方从静止开始下落,与半圆槽相切并从  $A$  点进入槽内,下列说法正确的是( )

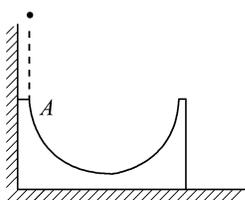


图 1

- A. 小球离开右侧槽口以后,将做竖直上抛运动  
 B. 小球在槽内运动的全过程中,只有重力对小球做功  
 C. 小球在槽内运动的全过程中,小球与槽组成的系统机械能守恒  
 D. 小球在槽内运动的全过程中,小球与槽组成的系统水平方向上的动量守恒
3. 如图 2 所示,在水平面上有两个物体 A 和 B,质量分别为  $m_A=2\text{ kg}$ ,  $m_B=1\text{ kg}$ ,A 和 B 相距  $x=9.5\text{ m}$ ,A 以  $v_0=10\text{ m/s}$  的初速度向静止的 B 运动。已知 A 从开始运动到碰后停止运动共运动了 6 s。碰后 B 运动的时间为(已知物体与水平面间的动摩擦因数均为  $\mu=0.1$ ,取  $g=10\text{ m/s}^2$ ,A、B 相碰时间极短,可忽略) ( )

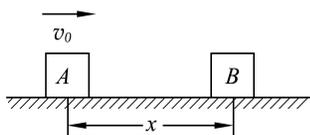


图 2

- A. 2 s    B. 3 s    C. 8 s    D. 10 s
4. 某一水平力  $F=1\ 000\text{ N}$ ,对竖直固定的墙壁作用,作用时间为  $t_1=10\text{ s}$ , $t_2=1\text{ h}$ ,若其力对应的冲量分别为  $I_1$ 、 $I_2$ ,则 ( )
- A.  $I_1=I_2=0$   
 B.  $I_1=10^4\text{ N}\cdot\text{s}$ ;  $I_2=3.6\times 10^6\text{ N}\cdot\text{s}$   
 C.  $I_1=10^3\text{ N}\cdot\text{s}$ ;  $I_2=10^2\text{ N}\cdot\text{s}$   
 D. 以上都不正确
5. 如图 3 所示,A、B 两物体质量之比  $m_A:m_B=3:2$ ,原来静止在平板小车 C 上。A、B 间有一根被压缩的弹簧,地面光滑,当弹簧突然释放后,则下列说法中不正确的是 ( )

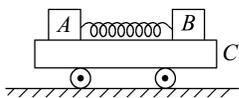


图 3

- A. 若 A、B 与平板车上表面间的动摩擦因数相同,A、B 组成的系统动量守恒

- B. 若 A、B 与平板车上表面间的动摩擦因数相同,A、B、C 组成的系统动量守恒  
 C. 若 A、B 所受的摩擦力大小相等,A、B 组成的系统动量守恒  
 D. 若 A、B 所受的摩擦力大小相等,A、B、C 组成的系统动量守恒

6. 在光滑的水平面上有 a、b 两球,其质量分别为  $m_a$ 、 $m_b$ ,两球在  $t_0$  时刻发生正碰,并且在碰撞过程中无机械能损失,两球碰撞前后的速度-时间图像如图 4 所示,下列关系正确的是 ( )

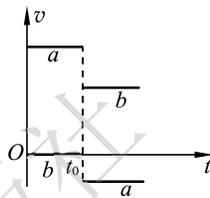
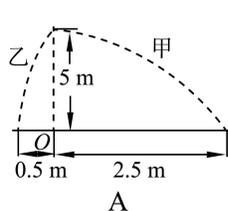
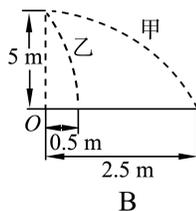


图 4

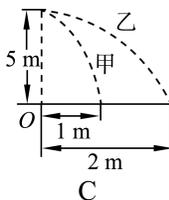
- A.  $m_a > m_b$     B.  $m_a < m_b$   
 C.  $m_a = m_b$     D. 无法判断
7. 两质量、大小完全相同的正方体木块 A、B,靠在一起放在光滑水平面上,一水平射来的子弹先后穿透两木块后飞出,若木块对子弹的阻力恒定不变,子弹射穿两木块的时间相同,则 A、B 两木块被子弹射穿后的速度之比为 ( )
- A. 1:1    B. 1:2    C. 1:3    D.  $1:\sqrt{3}$
8. 一弹丸在飞行到距离地面 5 m 高时仅有水平速度  $v=2\text{ m/s}$ ,爆炸成为甲、乙两块水平飞出,甲、乙的质量比为 3:1。不计质量损失,取重力加速度  $g=10\text{ m/s}^2$ ,下列选项中两块弹片飞行的轨迹可能正确的是 ( )



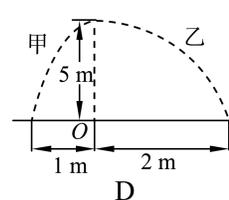
A



B



C



D

9. 如图 5 所示,曲线是某质点只在一恒力作用下的部分运动轨迹。质点从 M 点出发经 P 点到达 N 点,已知质点从 M 点到 P 点的路程大于从 P 点

到  $N$  点的路程,质点由  $M$  点运动到  $P$  点与由  $P$  点运动到  $N$  点的时间相等。下列说法正确的是

( )

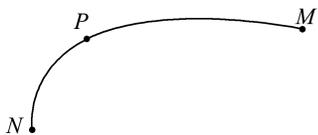


图 5

- A. 质点从  $M$  到  $N$  过程中速度大小保持不变
- B. 质点在  $M$ 、 $N$  间的运动不是匀变速运动
- C. 质点在这两段时间内的动量变化量大小相等,方向相同
- D. 质点在这两段时间内的动量变化量大小不相等,但方向相同

10. 一架飞机飞到  $1\,500\text{ m}$  高时正面撞到了一只兔子,当时这只兔子正被一只鹰抓着,二者撞到飞机当场殒命。设当时飞机正以  $720\text{ km/h}$  的速度飞行,撞到质量为  $2\text{ kg}$  的兔子,作用时间为  $0.1\text{ s}$ 。飞机受到兔子的平均撞击力约为( )

- A.  $1.44 \times 10^3\text{ N}$
- B.  $4.0 \times 10^3\text{ N}$
- C.  $8.0 \times 10^3\text{ N}$
- D.  $1.44 \times 10^4\text{ N}$

11. 光滑水平面上放有一上表面光滑、倾角为  $\alpha$  的斜面体  $A$ ,斜面体质量为  $M$ 、底边长为  $L$ ,如图 6 所示。将一质量为  $m$ 、

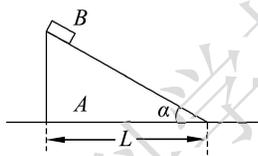


图 6

可视为质点的滑块  $B$  从斜面的顶端由静止释放,滑块  $B$  经过时间  $t$  刚好滑到斜面底端。此过程中斜面对滑块的支持力大小为  $F_N$ 。下列说法正确的是 ( )

- A.  $F_N = mg \cos \alpha$
- B. 滑块下滑过程中支持力对  $B$  的冲量大小为  $F_N t \cos \alpha$
- C. 滑块  $B$  下滑的过程中  $A$ 、 $B$  组成的系统动量守恒

D. 此过程中斜面体向左滑动的距离为  $\frac{m}{M+m}L$

12. 如图 7 所示,  $A$ 、 $B$  两小球静止在光滑水平面上,用轻弹簧相连接,  $A$  球的质量小于  $B$



图 7

球的质量。若用锤子敲击  $A$  球使  $A$  得到大小为  $v$  的速度,弹簧压缩到最短时的长度为  $L_1$ ;若用锤子敲击  $B$  球使  $B$  得到大小为  $v$  的速度,弹簧压缩到最短时的长度为  $L_2$ ,则  $L_1$  与  $L_2$  的

大小关系为

( )

- A.  $L_1 > L_2$
- B.  $L_1 < L_2$
- C.  $L_1 = L_2$
- D. 不能确定

二、实验题(本题共 2 个小题,16 分。把答案填在题中的横线上或按题目要求作答)

13. 如图 8 所示,在实验室用两端带竖直挡板  $C$ 、 $D$  的气垫导轨和带固定挡板的质量都是  $M$  的滑块  $A$ 、 $B$ ,做“探究碰撞中的不变量”的实验。

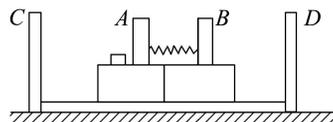


图 8

(1) 把两滑块  $A$  和  $B$  紧贴在一起,在滑块  $A$  上放质量为  $m$  的砝码,置于导轨上,用电动卡销卡住两滑块  $A$  和  $B$ ,在两滑块  $A$  和  $B$  的固定挡板间放一弹簧,使弹簧处于水平方向上的压缩状态。

(2) 按下电钮使电动卡销放开,同时启动两个记录两滑块运动时间的电子计时器,当两滑块  $A$  和  $B$  与挡板  $C$  和  $D$  碰撞同时,电子计时器自动停表,记下滑块  $A$  运动至挡板  $C$  的时间  $t_1$ ,滑块  $B$  运动至挡板  $D$  的时间  $t_2$ 。

(3) 重复几次取  $t_1$ 、 $t_2$  的平均值。

请回答以下几个问题:

① 在调整气垫导轨时应注意\_\_\_\_\_;

② 应测量的数据还有\_\_\_\_\_;

③ 作用前  $A$ 、 $B$  两滑块的速度与质量乘积之和为\_\_\_\_\_,作用后  $A$ 、 $B$  两滑块的速度与质量乘积之和为\_\_\_\_\_。

(用测量的物理量符号和已知的物理量符号表示)

14. 如图 9 所示,用“碰撞实验器”可以验证动量守恒定律,即研究两个小球在轨道水平部分碰撞前后的动量关系。

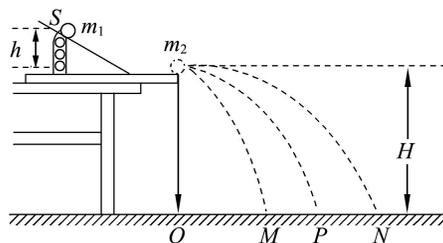


图 9

(1) 实验中,直接测定小球碰撞前后的速度是不容易的,但是,可以通过仅测量\_\_\_\_\_ (填选项前的字母),间接地解决这个问题。

- A. 小球开始释放的高度  $h$   
 B. 小球抛出点距地面的高度  $H$   
 C. 小球做平抛运动的射程

(2) 图 10 中  $O$  点是小球抛出点在地面上的垂直投影。实验时,先将入射球  $m_1$  多次从斜轨上  $S$  位置由静止释放,找到其平均落地点的位置  $P$ ,测量平抛射程  $OP$ 。然后,把被碰小球  $m_2$  静止于轨道的水平部分,再将入射小球  $m_1$  从斜轨上  $S$  位置由静止释放,与小球  $m_2$  相撞,并多次重复。

接下来要完成的必要步骤是\_\_\_\_\_。(填选项前的字母)

- A. 用天平测量两个小球的质量  $m_1$ 、 $m_2$   
 B. 测量小球  $m_1$  开始释放的高度  $h$   
 C. 测量抛出点距地面的高度  $H$   
 D. 分别找到  $m_1$ 、 $m_2$  相碰后平均落地点的位置  $M$ 、 $N$   
 E. 测量平抛射程  $OM$ 、 $ON$

(3) 若两球相碰前后的动量守恒,其表达式可表示为\_\_\_\_\_。[用(2)中测量的物理量表示]

(4) 经测定,  $m_1 = 45.0 \text{ g}$ ,  $m_2 = 7.5 \text{ g}$ , 小球落地地点的平均位置距  $O$  点的距离如图 10 所示。碰撞前后  $m_1$  的动量分别为  $p_1$  与  $p_1'$ , 则  $p_1 : p_1' =$  \_\_\_\_\_ : 11; 若碰撞结束时  $m_2$  的动量为  $p_2'$ , 则  $p_1' : p_2' = 11 :$  \_\_\_\_\_。

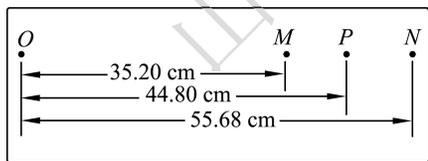


图 10

实验结果说明,碰撞前后总动量的比值  $\frac{p_1}{p_1' + p_2'}$  为\_\_\_\_\_。

三、计算题(本题共 4 小题,36 分。解答应写出必要的文字说明、方程式和重要演算步骤。只写出最后答案的不能得分。有数值计算的题,答案中必须明确写出数值和单位)

15. 将质量为  $500 \text{ g}$  的杯子放在台秤上,一个水龙头以每秒  $700 \text{ g}$  水的流量注入杯中。注至  $10 \text{ s}$  末时,台秤的读数为  $78.5 \text{ N}$ ,取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,则注

入杯中水流的速度是多大?

16. 如图 11 所示,质量为  $0.01 \text{ kg}$  的子弹以  $200 \text{ m/s}$  的速度从正下方击穿一个质量为  $0.2 \text{ kg}$  的木球,子弹击穿木球后,木球升起  $2.5 \text{ m}$  高,求击穿木球后,子弹还能上升多高。(不计空气阻力,取  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ )

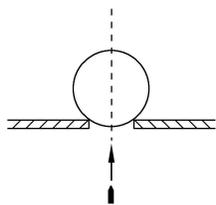


图 11

17. 如图 12 所示, 质量  $m_1 = 0.3 \text{ kg}$  的小车静止在光滑的水平面上, 车长  $L = 1.5 \text{ m}$ , 现有质量  $m_2 = 0.2 \text{ kg}$  可视为质点的物块, 以水平向右的速度  $v_0 = 2 \text{ m/s}$  从左端滑上小车, 最后在车面上某处与小车保持相对静止。物块与车面间的动摩擦因数  $\mu = 0.5$ , 取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , 求:

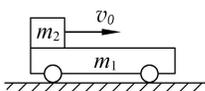


图 12

- (1) 物块在车面上滑行的时间  $t$ ;
- (2) 要使物块不从小车右端滑出, 物块滑上小车速度的  $v_0'$  不超过多少。

18. 如图 13 所示, 小车的质量  $M = 2.0 \text{ kg}$ , 带有光滑的圆弧轨道  $AB$  和粗糙的水平轨道  $BC$ , 一小物块 (可视为质点) 质量为  $m = 0.5 \text{ kg}$ , 与轨道  $BC$  间的动摩擦因数  $\mu = 0.10$ ,  $BC$  部分的长度  $L = 0.80 \text{ m}$ , 重力加速度  $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ 。

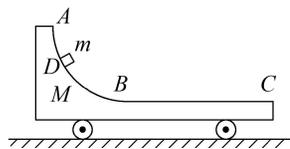


图 13

- (1) 若小车固定在水平面上, 将小物块从  $AB$  轨道的  $D$  点静止释放, 小物块恰好可运动到  $C$  点。求  $D$  点与  $BC$  轨道的高度差。
- (2) 若将小车置于光滑水平面上, 小物块仍从  $AB$  轨道的  $D$  点静止释放, 求小物块滑到  $BC$  中点时的速度大小。

## 第二章 机械振动

### 第一节 简谐运动

#### 一、学科素养与学习目标

1. 知道简谐运动的定义和特点。
2. 能从力的角度分析弹簧振子运动过程中受力、速度、加速度的变化规律。
3. 能根据位移和时间图像,得到位移的大小和方向,能判断某时刻速度、加速度的大小和方向。
4. 了解生活中的简谐运动,分析其特点,体会简谐运动的特点。

#### 二、自主探究与自我诊断

##### 自主探究

放在光滑水平面上在A、B间运动的弹簧振子,如图2-1-1所示。

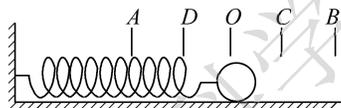


图 2-1-1

1. 小球从O运动到B的过程中和从B运动到O的过程中途经C时,其相对平衡位置的位移是否相同?速度、合外力、加速度呢?
2. 若C点和D点关于位置O对称,则小球在C点和D点的位移有什么关系?与小球的速度方向有关吗?
3. 小球由O点向A点和由O点向B点运动的过程中,小球的速度如何变化?位移、加速度、合外力呢?

##### 自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 物体的往复运动都是机械振动。 ( )
2. 弹簧振子的位移是从平衡位置指向振子所在位置的有向线段。 ( )
3. 振子每次通过平衡位置时,速度一定相同。 ( )
4. 振子振动是非匀变速运动。 ( )

5. 简谐运动的图像表示质点振动的轨迹是正弦或余弦曲线。 ( )

#### 三、合作探究与疑难剖析

##### 重点解读

##### 1. 弹簧振子

(1) 定义:如图2-1-2所示,光滑杆上穿一个有孔的小球,小球和弹簧一端相连,弹簧的另一端固定,忽略一切摩擦,弹簧的质量与小球的质量相比也可以忽略,这样的系统称为弹簧振子。

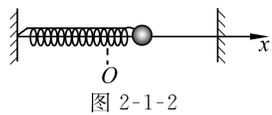


图 2-1-2

(2) 平衡位置:小球原来静止时的位置。  
(3) 机械振动:小球在平衡位置附近的往复运动,叫作机械振动,简称振动。

##### 2. 简谐运动的图像

(1) 坐标系的建立:在简谐运动的位移—时间图像中,以横轴表示时间,以纵轴表示振子离开平衡位置的位移,如图2-1-3所示。

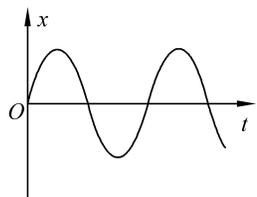


图 2-1-3

(2) 物理意义:表示振动物体的位移随时间的变化规律,它不是振子运动的轨迹。

##### 疑难突破

##### 1. 对弹簧振子的理解

- (1) 弹簧振子是一个理想化模型。
- (2) 平衡位置。
  - ① 振子静止时的位置。
  - ② 在平衡位置时,弹簧不一定处于原长。

##### 2. 对简谐运动的理解

- (1) 简谐运动的位移

① 定义:从平衡位置指向振子所在位置的有向线段。

② 表示方法:以平衡位置为坐标原点,以振动所在的直线为坐标轴,规定正方向,则某时刻振子偏离平衡位置的位移可用该时刻振子所在位置的坐标来表示。

(2) 简谐运动的速度

① 物理含义:速度是描述振子在平衡位置附近振动快慢的物理量。

② 特点:振子在平衡位置速度最大,在位移最大处速度为零。

典型例题

例1 (多选)如图 2-1-4 所示的弹簧振子,  $O$  点为它的平衡位置,关于振子的运动,下列说法正确的是 ( )

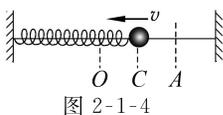


图 2-1-4

- A. 振子从  $A$  点运动到  $C$  点时位移大小为  $\overline{OC}$ , 方向向右
- B. 振子从  $C$  点运动到  $A$  点时位移大小为  $\overline{CA}$ , 方向向右
- C. 振子从  $A$  点运动到  $C$  点的过程中, 速度在增大, 加速度在减小
- D. 振子从  $A$  点运动到  $O$  点的过程中, 速度先增大后减小, 加速度先减小后增大

思路点拨: 简谐运动的位移是从平衡位置指向振子所在位置的有向线段。

解析: 振子从  $A$  点运动到  $C$  点时的位移是以  $O$  点为起点,  $C$  点为终点, 故大小为  $\overline{OC}$ , 方向向右,  $A$  正确; 振子从  $C$  点运动到  $A$  点时位移是以  $O$  点为起点,  $A$  点为终点, 故大小为  $\overline{OA}$ , 方向向右,  $B$  错误; 振子的合外力为弹簧的弹力, 振子从  $A$  点运动到  $C$  点的过程和从  $A$  点运动到  $O$  点的过程中, 弹力都在减小, 故加速度都在减小, 速度方向与加速度方向相同, 故速度在增大,  $C$  正确,  $D$  错误。故选  $AC$ 。

方法提炼: 简谐运动位移表示方法是以平衡位置为坐标原点, 以振动所在的直线为坐标轴, 规定正方向, 则某时刻振子偏离平衡位置的位移可用该时刻振子所在位置的坐标来表示。

变式训练 1 如图 2-1-5 所示, 一弹簧振子在一条直线上做简谐运动, 第一次先后经过  $M$ 、 $N$  两点时速度  $v$  ( $v \neq 0$ ) 相同, 下列说法正确的是 ( )

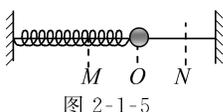


图 2-1-5

- A. 振子在  $M$ 、 $N$  两点所受弹簧弹力相同
- B. 振子在  $M$ 、 $N$  两点对平衡位置的位移相同

C. 振子在  $M$ 、 $N$  两点加速度大小相等

D. 从  $M$  点到  $N$  点, 振子先做匀加速运动, 后做匀减速运动

例2 如图 2-1-6 甲所示, 弹簧振子以  $O$  点为平衡位置, 在  $A$ 、 $B$  两点之间做简谐运动, 取向右为正方向, 振子的位移  $x$  随时间  $t$  的变化图像如图乙所示。下列说法正确的是 ( )

- A.  $t=0.8$  s 时, 振子的速度方向向左
- B.  $t=0.2$  s 时, 振子在  $O$  点右侧 6 cm 处
- C.  $t=0.4$  s 和  $t=1.2$  s 时, 振子的加速度相同
- D.  $t=0.4$  s 到  $t=0.8$  s 的时间内, 振子的速度逐渐减小

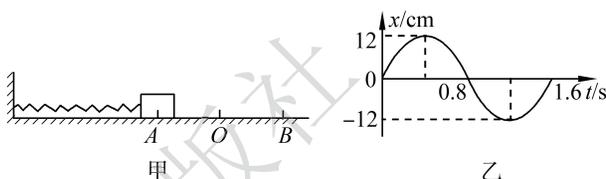


图 2-1-6

思路点拨: 处理此类问题主要从以下几个要点入手思考: 弹簧振子的平衡位置处的特点是什么? 图像的斜率表示什么? 加速度与位移有什么关系?

解析: 由乙图可知,  $t=0.8$  s 时斜率为负, 说明振子速度为负, 即振子的速度方向向左,  $A$  正确。在  $0 \sim 0.4$  s 内, 振子做变减速运动, 不是匀速运动, 所以  $t=0.2$  s 时, 振子不在  $O$  点右侧 6 cm 处,  $B$  错误。  $t=0.4$  s 和  $t=1.2$  s 时, 振子的位移方向相反, 加速度相反,  $C$  错误。  $t=0.4$  s 到  $t=0.8$  s 的时间内, 振子的位移减小, 正向平衡位置靠近, 速度逐渐增大,  $D$  错误。

方法提炼: 振动图像类问题, 应抓住三个要点。

(1) 可以从图像中直接读出某时刻质点的位移大小和方向、速度方向、质点的最大位移。(2) 可比较不同时刻质点位移的大小、速度的大小。(3) 可以确定一段时间后质点位置、位移大小与方向、某时刻速度的方向和大的变化趋势。

变式训练 2 某弹簧振子运动的  $x-t$  图像如图 2-1-7 所示, 下列说法正确的是 ( )

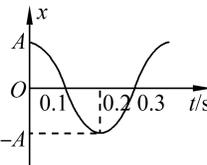


图 2-1-7

- A. 0.1 s 时振子正通过平衡位置向正方向运动
- B. 0.1~0.15 s 这段时间内, 振子的加速度增大, 速度减小, 加速度方向与速度方向相反
- C. 0.2~0.3 s 这段时间内, 振子的位移在增大
- D. 该图像是从振子在平衡位置时开始计时画出的

## 四、分层训练与能力提升

## 基础达标

1. (多选) 下列说法正确的是 ( )
- 树枝在风中摇动是振动
  - 拍篮球时, 篮球的运动是振动
  - 人走路时手的运动是振动
  - 转动的砂轮边缘上某点的运动是振动, 圆心可以看作振动中心
2. (多选) 关于描述简谐运动的物理量, 下列说法错误的是 ( )
- 回复力方向总是指向平衡位置
  - 向平衡位置运动时, 加速度越来越小, 速度也越来越小
  - 加速度和速度方向总是跟位移方向相反
  - 速度方向有时跟位移方向相同, 有时相反
3. 如图 2-1-8 所示, 弹簧振子以  $O$  点为平衡位置做简谐振动, 当它从  $C$  向  $O$  点运动的过程中, 位移方向及其大小的变化是 ( )

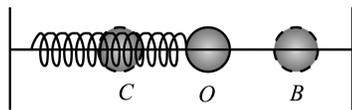


图 2-1-8

- 向右, 逐渐增大
  - 向右, 逐渐减小
  - 向左, 逐渐增大
  - 向左, 逐渐减小
4. 如图 2-1-9 所示, 弹簧振子以  $O$  点为平衡位置, 在  $A$ 、 $B$  间做简谐振动, 下列说法正确的是 ( )

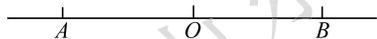


图 2-1-9

- 振子在  $A$ 、 $B$  处的加速度和速度均为零
  - 振子通过  $O$  点后, 加速度方向改变
  - 振子通过  $O$  点后, 速度方向改变
  - 振子从  $O \rightarrow B$  或从  $O \rightarrow A$  的运动都是匀减速运动
5. 弹簧上端固定在  $O$  点, 下端连接一小球, 组成一个振动系统, 如图 2-1-10 所示, 用手向下拉一小段距离后释放小球, 小球便上下振动起来, 下列说法正确的是 ( )

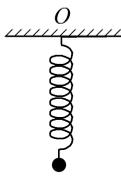


图 2-1-10

- 小球运动的最低点为平衡位置
- 弹簧原长时的位置为平衡位置
- 球速为零的位置为平衡位置
- 小球原来静止时的位置为平衡位置

6. 如图 2-1-11 甲所示, 弹簧振子以点  $O$  为平衡位置, 在  $A$ 、 $B$  两点之间做简谐运动。取向右为正方向, 振子的位移  $x$  随时间  $t$  的变化图像如图乙所示, 下列说法正确的是 ( )

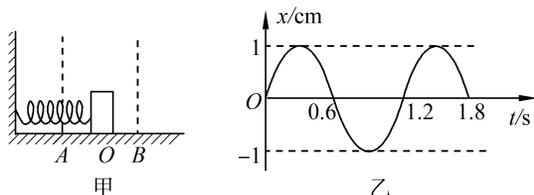


图 2-1-11

- $t=0.4$  s 时, 振子的速度方向向右
  - $t=0.8$  s 时, 振子在  $O$  点和  $B$  点之间
  - $t=0.6$  s 和  $t=1.2$  s 时刻, 振子的速度完全相同
  - $t=1.5$  s 到  $t=1.8$  s 的时间内, 振子的加速度逐渐减小
7. 一质点做简谐运动的图像如图 2-1-12 所示, 下列说法正确的是 ( )

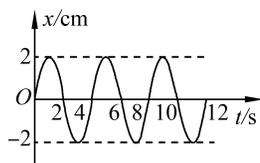


图 2-1-12

- 质点的振动频率是 4 Hz
- 在 10 s 内质点经过的路程是 20 cm
- 第 4 s 末质点的速度为零
- 在  $t=1$  s 和  $t=3$  s 两时刻, 质点位移大小相等、方向相同

## 能力提升

8. (多选) 某物体做简谐运动的图像如图 2-1-13 所示, 下列说法正确的是 ( )

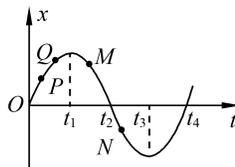


图 2-1-13

- 由  $P \rightarrow Q$  位移在增大
- 由  $P \rightarrow Q$  速度在增大
- 由  $M \rightarrow N$  位移是先减小后增大
- 由  $M \rightarrow N$  位移始终减小

9. 某质点做简谐运动的图像如图 2-1-14 所示, 根据图像中的信息, 回答下列问题。

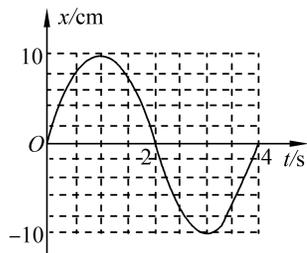


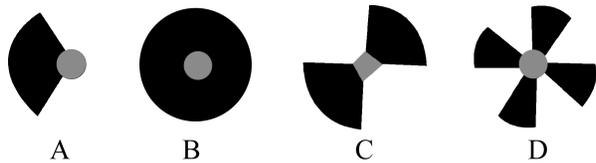
图 2-1-14

- 质点离开平衡位置的最大距离有多大?
- 在 1.5 s 和 2.5 s 两个时刻, 质点向哪个方向运动?

- (3) 质点在第 2 s 末的位移是多少? 在前 4 s 内的路程是多少?

## 情境融合

10. 手机是常用的通信工具, 来电话时它可以用振动来提示人们。振动原理很简单: 一个微型电动机带动转轴上的叶片转动, 当叶片转动后, 电动机就跟着振动起来。其中叶片的形状你认为下图中的 ( )



## 第二节 简谐运动的描述

## 一、学科素养与学习目标

1. 知道描述简谐运动的振幅、周期、相位。
2. 知道简谐运动的表达式。
3. 能根据简谐运动的表达式确定其周期、振幅、相位、频率。
4. 能根据图像和相关物理量写出简谐运动的振动方程。
5. 体会数学和物理之间的联系, 更好地运用数学工具解决物理问题。

## 二、自主探究与自我诊断

## 自主探究

将弹簧上端固定, 下端悬吊钢球, 旁边立一刻度尺, 把钢球从平衡位置向下拉一段距离  $A$ , 放手让其运动。仔细观察钢球的运动。

1. 钢球的位移怎么变化?
2. 钢球偏离平衡位置的最大距离改变吗?

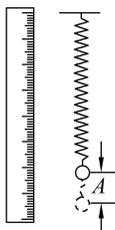


图 2-2-1

## 自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 在机械振动的过程中, 振幅是不断变化的。 ( )
2. 做简谐运动的物体的振幅是矢量, 方向从平衡位置指向最大位移处。 ( )

3. 做简谐运动的物体, 振幅增加, 其周期必然增加。 ( )
4. 振幅是振动物体离开平衡位置的最大位移, 它是矢量。 ( )
5. 振动周期指的是振动物体从一侧最大位移处, 运动到另一侧最大位移处所用的时间。 ( )
6. 按  $x=5\sin\left(8\pi t+\frac{1}{4}\pi\right)$  cm 的规律振动的弹簧振子的振动周期为  $\frac{1}{4}$  s。 ( )

## 三、合作探究与疑难剖析

## 重点解读

1. 描述简谐运动的物理量
  - (1) 振幅: 振动物体离开平衡位置的最大距离。
  - (2) 全振动: 类似于  $O \rightarrow B \rightarrow O \rightarrow C \rightarrow O$  的一个完整的振动过程。

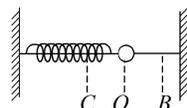


图 2-2-2

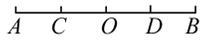
- (3) 周期和频率
  - ① 周期: 做简谐运动的物体完成一次全振动所需要的时间。
  - ② 频率: 单位时间内完成全振动的次数。
  - ③  $T$  和  $f$  的关系:  $T = \frac{1}{f}$ 。
2. 简谐运动的表达式  $x = A\sin(\omega t + \varphi)$ 
  - (1)  $x$  表示振动物体相对于平衡位置的位移;  $t$  表示时间。

(2)  $A$  表示简谐运动的振幅。

(3)  $\omega$  表示简谐运动的快慢,  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ 。

(4)  $\omega t + \varphi$  代表简谐运动的相位,  $\varphi$  表示  $t=0$  时的相位, 叫作初相位(或初相)。

### 疑难突破

描述简谐运动的物理量	振幅和位移的区别	振幅等于最大位移的数值 对于一个给定的振动, 振子的位移是时刻变化的, 但振幅是不变的 位移是矢量, 振幅是标量
	路程与振幅的关系	振动物体在一个周期内的路程为四个振幅
		振动物体在半个周期内的路程为两个振幅
振动物体在 $\frac{1}{4}$ 个周期内的路程不一定等于一个振幅		
周期和频率	由振动系统本身的性质决定, 与振幅无关	
简谐运动的周期性和对称性	时间的对称性	 ① 物体来回通过相同两点间的时间相等, 即 $t_{DB} = t_{BD}$ ② 物体经过关于平衡位置对称的等长的两线段的时间相等, 图中 $t_{OB} = t_{BO} = t_{OA} = t_{AO}$ , $t_{OD} = t_{DO} = t_{OC} = t_{CO}$
	速度的对称性	① 物体连续两次经过同一点(如 $D$ 点)的速度大小相等, 方向相反 ② 物体经过关于 $O$ 点对称的两点(如 $C$ 与 $D$ )时, 速度大小相等, 方向可能相同, 也可能相反

### 典型例题

例1 如图 2-2-3 所示, 弹簧振子在  $A$ 、 $B$  间做简谐运动,  $O$  为平衡位置,  $A$ 、 $B$  间距离是 20 cm, 从  $A$  到  $B$  运动时间是 2 s, 则

图 2-2-3

- ( )
- A. 从  $O \rightarrow B \rightarrow O$  振子做了一次全振动  
 B. 振动周期为 2 s, 振幅是 10 cm  
 C. 从  $B$  开始经过 6 s, 振子通过的路程是 60 cm  
 D. 从  $O$  开始经过 3 s, 振子处在平衡位置

**思路点拨:** 一个完整的振动过程, 称为一次全振动。不管从哪里作为开始研究的起点, 振动物体完

成一次全振动的时间总是相同的。此时, 位移、速度第一次同时与初始状态相同, 即物体从同一方向回到出发点。

**解析:** 振子从  $O \rightarrow B \rightarrow O$  只完成半个全振动,  $A$  错误; 从  $A \rightarrow B$  振子也只是半个全振动, 半个全振动是 2 s, 所以振动周期是 4 s,  $B$  错误;  $t=6$ ,  $s=1\frac{1}{2}T$ , 所以振子经过的路程为  $4A+2A=6A=60$  cm,  $C$  正确; 从  $O$  开始经过 3 s, 振子处在最大位移处  $A$  或  $B$ ,  $D$  错误。

**方法提炼:** 如果物体的位移和速度都相同(大小、方向两方面), 即物体完成了一次全振动。如果物体的路程等于振幅的四倍, 即物体完成一次全振动。

例2 一个小球和轻质弹簧组成的系统, 按  $x_1 = 5\sin(8\pi t + \frac{1}{4}\pi)$  cm 的规律振动。

(1) 求该振动的周期、频率、振幅和初相。

(2) 另一简谐运动表达式为  $x_2 =$

$5\sin(8\pi t + \frac{5}{4}\pi)$  cm, 求它们的相位差。

**思路点拨:** 解决此类问题需要明确简谐运动的表达式  $x = A\sin(\omega t + \varphi)$  各个字母所代表的物理量的含义。

**解析:** (1) 已知  $\omega = 8\pi$  rad/s, 由  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  得

$$T = \frac{1}{4} \text{ s}, f = \frac{1}{T} = 4 \text{ Hz}$$

$$\text{由 } x_1 = 5\sin(8\pi t + \frac{1}{4}\pi) \text{ cm}$$

$$\text{得 } A = 5 \text{ cm}, \varphi_1 = \frac{\pi}{4}$$

$$(2) \text{ 由 } \Delta\varphi = (\omega t + \varphi_2) - (\omega t + \varphi_1) = \varphi_2 - \varphi_1$$

$$\text{得 } \Delta\varphi = \frac{5}{4}\pi - \frac{\pi}{4} = \pi$$

**方法提炼:** 应用简谐运动的表达式解决相关问题, 首先应明确振幅  $A$ 、周期  $T$ 、频率  $f$  的对应关系, 其中  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ,  $f = \frac{\omega}{2\pi}$ , 然后把确定的物理量与所要解决的问题相对应, 找到关系。

**变式训练**  $A$ 、 $B$  两个简谐运动的位移—时间图像如图 2-2-4 所示。请根据图像回答。

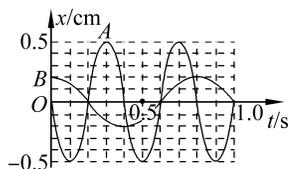


图 2-2-4

(1)  $A$  的振幅是 \_\_\_\_\_ cm, 周期是 \_\_\_\_\_ s;

$B$  的振幅是 \_\_\_\_\_ cm, 周期是 \_\_\_\_\_ s。

(2) 写出这两个简谐运动的位移随时间变化的关系式。

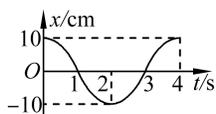
(3) 在  $t=0.05\text{ s}$  时两质点的位移分别是多少?

关系式为  $x=A\sin\frac{\pi}{4}t$ , 则质点 ( )

- A. 第 1 s 末与第 3 s 末的位移相同
- B. 第 1 s 末与第 3 s 末的速度相同
- C. 3 s 末至 5 s 末的位移方向相同
- D. 3 s 末至 5 s 末的速度方向相同

5. 一个做简谐运动的质点, 先后  $\underline{A}$   $\underline{B}$  以同样大小的速度通过相距 图 2-2-6 10 cm 的 A、B 两点, 且由 A 到 B 的过程中速度方向不变, 历时 0.5 s。过 B 点后再经过  $t=0.5\text{ s}$  质点以方向相反、大小相同的速度再次通过 B 点, 则质点振动的周期是 ( )
- A. 0.5 s    B. 1.0 s    C. 2.0 s    D. 4.0 s

6. 根据如图 2-2-7 所示的某振子的振动图像, 回答下列问题。



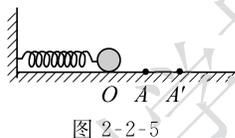
- (1) 算出下列时刻振子相对平衡位置的位移: ①  $t_1 = 0.5\text{ s}$ ; ②  $t_2 = 1.5\text{ s}$ 。

- (2) 将位移随时间的变化规律写成  $x = A\sin(\omega t + \varphi)$  的形式并指出振动的初相位的大小。

四、分层训练与能力提升

基础达标

1. 如图 2-2-5 所示, 在光滑水平面上振动的弹簧振子的平衡位置为 O, 把振子拉到 A 点,  $OA = 1\text{ cm}$ , 然后释放振子, 经过 0.2 s 振子第 1 次到达 O 点。如果把振子拉到 A' 点,  $OA' = 2\text{ cm}$ , 则释放振子后, 振子第 1 次到达 O 点所需的时间为 ( )
- A. 0.2 s    B. 0.4 s    C. 0.1 s    D. 0.3 s



2. (多选) 弹簧振子在 AOB 之间做简谐运动, O 为平衡位置, 测得 A、B 之间的距离为 8 cm, 完成 30 次全振动所用时间为 60 s, 下列说法正确的是 ( )

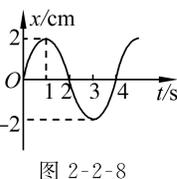
- A. 振子的振动周期是 2 s, 振幅是 8 cm
- B. 振子的振动频率是 2 Hz
- C. 振子完成一次全振动通过的路程是 16 cm
- D. 振子通过 O 点时开始计时, 3 s 内通过的路程为 24 cm

3. 某振子做简谐运动的表达式为  $x = 2\sin(2\pi t + \frac{\pi}{6})\text{ cm}$ , 则该振子振动的振幅和周期为 ( )
- A. 2 cm    1 s                      B. 2 cm     $2\pi\text{ s}$
- C. 1 cm     $\frac{\pi}{6}\text{ s}$                       D. 以上全错

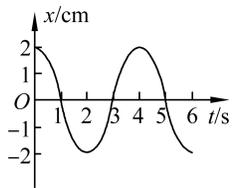
4. (多选) 某质点做简谐运动, 其位移随时间变化的

能力提升

7. 在水平方向上做简谐运动的质点其振动图像如图 2-2-8 所示, 假设向右为正方向, 则物体加速度向右且速度向右的时间是 ( )
- A. 0~1 s 内    B. 1~2 s 内
- C. 2~3 s 内    D. 3~4 s 内



8. 一质点做简谐运动, 其位移 x 与时间 t 的关系图像如图 2-2-9 所示, 则 ( )
- A. 振幅为 4 m, 频率为 0.25 Hz
- B.  $t=1\text{ s}$  时速度为零, 但质



- 点所受的合外力最大  
 C.  $t=2\text{ s}$  时质点具有正方向最大加速度  
 D. 该质点的振动方程为  $x=2\sin\left(\frac{\pi}{2}t\right)\text{ cm}$

### 情境融合

9. 一根自由长度为  $10\text{ cm}$  的轻弹簧, 下端固定, 上端连一个质量为  $m$  的物块  $P$ , 在  $P$  上再放一个质量为  $m$  的物块  $Q$ , 系统静止后, 弹簧长度为  $6\text{ cm}$ , 如图 2-2-10 所示。如果迅速向上移去  $Q$ , 物块  $P$

将在竖直方向做简谐运动, 此后弹簧的最大长度是 ( )

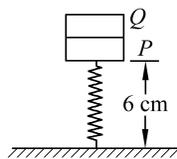


图 2-2-10

- A.  $8\text{ cm}$     B.  $9\text{ cm}$     C.  $10\text{ cm}$     D.  $11\text{ cm}$

## 第三节 简谐运动的回复力和能量

### 一、学科素养与学习目标

- 知道回复力的方向、效果、来源及公式。
- 理解简谐运动中动能和势能之间的转化。
- 会解释简谐运动中能量大小的决定因素。
- 能够利用  $F=-kx$  判断物体是否在做简谐运动。
- 会分析弹簧振子中动能、势能的转化情况。
- 联系生活中简谐运动实例, 分析其回复力和能量转化情况, 体会物理和实际生活的密切联系。

### 二、自主探究与自我诊断

#### 自主探究

如图 2-3-1 所示, 振子在外力作用下把水平弹簧拉伸至  $A$  点, 松手后振子做简谐运动。仔细观察水平放置的弹簧振子的运动, 完成下表, 并分析总结简谐运动回复力的特点。

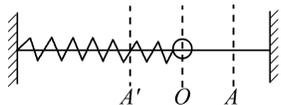


图 2-3-1

振子的运动		$A \rightarrow O$	$O \rightarrow A'$	$A' \rightarrow O$	$O \rightarrow A$
物理量的变化	$x$				
	$F$				
	$a$				

#### 自我诊断

判断下列说法的正误。

- 回复力的方向总是与位移的方向相反。 ( )
- 水平弹簧振子运动到平衡位置时, 回复力为零, 因此加速度一定为零。 ( )
- 回复力可以是一个力的分力, 也可以是几个力的合力。 ( )
- 在最大位移处时它的弹性势能最大。 ( )
- 从平衡位置到最大位移处它的动能减小。 ( )
- 位移减小时, 加速度减小, 速度也减小。 ( )

### 三、合作探究与疑难剖析

#### 重点解读

简谐运动的回复力	定义: 总是指向平衡位置, 把物体拉回到平衡位置的力
	方向: 总是与位移 $x$ 的方向相反, 即总是指向平衡位置
	简谐运动的回复力与位移的关系: $F=-kx$ 。 (“-”表明回复力与位移的方向始终相反)
简谐运动的能量	简谐运动的加速度: 据牛顿第二定律, $a = \frac{F}{m} = -\frac{k}{m}x$ , 表明简谐运动的加速度大小也与位移大小成正比, 加速度方向与位移方向相反
	忽略一切阻力时, 弹簧振子运动在任意位置, 系统的动能与势能之和是一定的, 即机械能守恒
简谐运动的能量	简谐运动的机械能由振幅决定: 对同一振动系统来说, 振幅越大, 振动的能量越大。如果没有能量损耗, 振幅保持不变, 它将永不停息地振动下去
	实际的运动都有一定的能量损耗, 所以简谐运动是一种理想化的模型

### 疑难突破

#### 1. 对回复力的理解

(1) 简谐运动中的回复力是根据力的效果命名的,它可以是一个力,也可以是多个力的合力,还可以由某个力的分力提供。

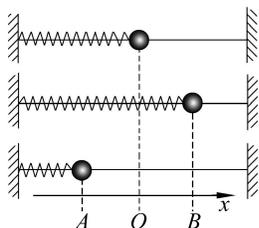


图 2-3-2

(2) 表达式  $F = -kx$ 。

#### 2. 简谐运动中各个物理量的变化规律

位置	A	A→O	O	O→B	B
位移的大小	最大	减小	0	增大	最大
加速度的大小	最大	减小	0	增大	最大
速度的大小	0	增大	最大	减小	0
动能	0	增大	最大	减小	0
势能	最大	减小	最小	增大	最大
总能	不变	不变	不变	不变	不变

### 典型例题

**例1** 一质量为  $m$  的小球,通过一根轻质弹簧悬挂在天花板上,如图 2-3-3 所示。

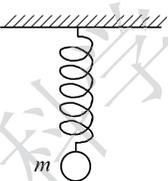


图 2-3-3

- 小球在振动过程中的回复力实际上是\_\_\_\_\_。
- 该小球的振动\_\_\_\_\_ (填“是”或“不是”)简谐运动。

**思路点拨:**从以下三个方面思考,如何确定小球振动的平衡位置?小球在此处时受力如何?小球在振动时,合力与位移方向有何关系?

**解析:**(1) 此振动过程的回复力实际上是弹簧的弹力与重力的合力。

(2) 设振子的平衡位置为  $O$ , 向下方向为正方向, 此时弹簧已经有了一个伸长量  $h$ , 设弹簧的劲度系数为  $k$ , 由平衡条件得  $kh = mg$ , 当振子向下偏离平衡位置的距离为  $x$  时, 回复力即合外力为  $F_{\text{回}} = mg - k(x+h)$ , 联立两个公式得  $F_{\text{回}} = -kx$ , 可见小球所受合外力与它的位移的关系符合简谐运动的受力特点, 该振动系统的振动是简谐运动。

**方法提炼:**判断振动是否为简谐运动的方法

- 找出振动的平衡位置。
- 让质点沿振动方向偏离平衡位置的位移为  $x$ 。
- 对质点进行受力分析。

(4) 规定正方向, 求出指向平衡位置的合力, 判断是否符合  $F = -kx$  的关系。

**变式训练** 如图 2-3-4 所示, 弹簧振子  $B$  上放一个物块  $A$ , 在  $A$  与  $B$  一起做简谐运动的过程中, 下列关于  $A$  受力的说法中正确的是 ( )

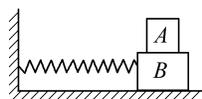


图 2-3-4

- 物块  $A$  受重力、支持力及弹簧对它的恒定的弹力
- 物块  $A$  受重力、支持力及弹簧对它的大小和方向都随时间变化的弹力
- 物块  $A$  受重力、支持力及  $B$  对它的恒定的摩擦力
- 物块  $A$  受重力、支持力及  $B$  对它的大小和方向都随时间变化的摩擦力

**例2** (多选) 振子在振动过程中, 下列说法正确的是 ( )

- 振子在平衡位置, 动能最大, 势能最小
- 振子在最大位移处, 势能最大, 动能最小
- 振子在向平衡位置运动时, 由于振子振幅减小, 故总机械能减小
- 在任意时刻, 动能与势能之和保持不变

**思路点拨:**弹簧振子在振动的过程中机械能守恒, 动能和弹性势能的和不变。弹性势能和位移、弹力、加速度的增减是一致的。

**解析:**振子在平衡位置两侧往复运动, 在最大位移处速度为零, 动能为零, 此时弹簧的形变最大, 势能最大,  $B$  正确; 在任意时刻只有弹簧的弹力做功, 所以机械能守恒,  $D$  正确; 到平衡位置处速度达到最大, 动能最大, 势能最小,  $A$  正确; 振幅的大小与振子的位置无关,  $C$  错误。故选  $ABD$ 。

**方法提炼:**首先抓住平衡位置和最大位移处各物理量的特点。在平衡位置处回复力、加速度为零, 速度、动能最大, 势能最小, 总能量不变; 在最大位移处, 回复力、加速度最大, 速度、动能为零, 势能最大, 总能量不变。

### 四、分层训练与能力提升

#### 基础达标

- 下列对简谐运动的回复力公式  $F = -kx$  的理解, 正确的是 ( )
  - $k$  只表示弹簧的劲度系数
  - 式中的负号表示回复力总是负值
  - 位移  $x$  是相对平衡位置的位移
  - 回复力只随位移变化, 不随时间变化

2. (多选)关于质点做简谐运动,下列说法正确的是 ( )
- A. 在某一时刻,它的速度与回复力的方向相同,与位移的方向相反
- B. 在某一时刻,它的速度、位移和加速度的方向都相同
- C. 在某一段时间内,它的回复力增大,动能也增大
- D. 在某一段时间内,它的势能减小时,加速度也减小
3. 弹簧振子的质量是 2 kg,当它运动到平衡位置左侧 2 cm 时,受到的回复力是 4 N,当它运动到平衡位置右侧 4 cm 时,它的加速度是 ( )
- A.  $2 \text{ m/s}^2$ , 向右      B.  $2 \text{ m/s}^2$ , 向左
- C.  $4 \text{ m/s}^2$ , 向右      D.  $4 \text{ m/s}^2$ , 向左
4. (多选)关于振幅,下列说法正确的是 ( )
- A. 物体振动的振幅越大,振动越强烈
- B. 一个确定的振动系统,振幅越大,振动系统的能量越大
- C. 振幅越大,物体振动的位移越大
- D. 振幅越大,物体振动的加速度越大
5. 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,则在这段时间内 ( )
- A. 振子的速度逐渐增大
- B. 振子的位移逐渐增大
- C. 振子正在向平衡位置运动
- D. 振子的速度方向与加速度方向一致
6. 如图 2-3-5 所示,质量为  $m$  的物体 A 放置在质量为  $M$  的物体 B 上, B 与弹簧相连,它们一起在光滑水平面上做简谐运动,振动过程中 A、B 之间无相对运动,设弹簧的劲度系数为  $k$ ,当物体离开平衡位置的位移为  $x$  时, A、B 间摩擦力的大小等于 ( )
- A. 0      B.  $kx$       C.  $\frac{m}{M}kx$       D.  $\frac{m}{M+m}kx$
7. 一质点做简谐运动,其位移和时间关系如图 2-3-6 所示。

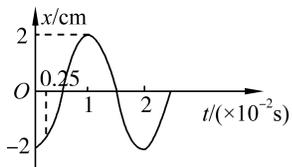


图 2-3-6

- (1) 求  $t=0.25 \times 10^{-2} \text{ s}$  时的位移;

- (2) 在  $t=1.5 \times 10^{-2} \text{ s}$  到  $2 \times 10^{-2} \text{ s}$  的振动过程中,质点的位移、回复力、速度、动能、势能如何变化?
- (3) 在  $t=0$  到  $8.5 \times 10^{-2} \text{ s}$  时间内,质点的路程、位移各多大?

## 能力提升

8. (多选)如图 2-3-7 所示,一弹簧振子在 B、C 间做简谐运动,平衡位置为 O,振幅为 A,已知振子的质量为  $M$ 。若振子运动到 C 处时,将一质量为  $m$  的物体放到 M 的上面,  $m$  和  $M$  一起运动且无相对滑动,下列说法正确的是 ( )
- A. 振幅不变      B. 振幅减小
- C. 最大动能不变      D. 最大动能减小
9. 甲、乙两弹簧振子,振动图像如图 2-3-8 所示。下列说法正确的是 ( )

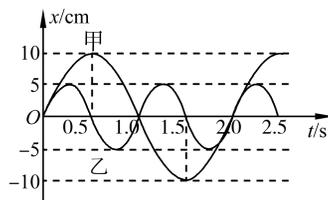


图 2-3-8

- A. 两弹簧振子完全相同
- B. 两弹簧振子所受回复力最大值之比  $F_{\text{甲}} : F_{\text{乙}} = 2 : 1$
- C. 振子甲速度为零时,振子乙速度最大
- D. 振子的振动频率之比  $f_{\text{甲}} : f_{\text{乙}} = 2 : 1$
10. 某个弹簧振子做简谐运动的振动图像如图 2-3-9 所示,由图像可知 ( )

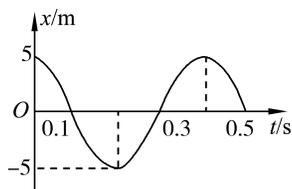


图 2-3-9

- A. 在 0.1 s 时,由于位移为零,所以振动能量为零

- B. 在 0.2 s 时, 振子具有最大势能  
 C. 在 0.35 s 时, 振子具有的能量尚未达到最大值  
 D. 在 0.4 s 时, 振子的动能最大

### 情境融合

11. 如图 2-3-10 所示, 在劲度系数为  $k$ , 原长为  $l_0$  的一端固定的弹簧下端挂一质量为  $m$  的小物块,

释放后小物块做上下振动, 此时弹簧没有超出弹性限度。证明: 小物块的振动是简谐运动。

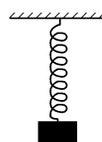


图 2-3-10

## 第四节 单摆

### 一、学科素养与学习目标

1. 知道单摆的组成, 知道把单摆看成简谐运动的理想化条件。
2. 知道单摆的回复力来源, 知道回复力的表达式。
3. 通过实验, 得出单摆周期的影响因素, 理解并记住周期计算公式。
4. 理解单摆模型回复力的推导过程及近似条件。
5. 结合生活实际, 理解单摆在生活中的应用, 初步认识各种摆。

### 二、自主探究与自我诊断

#### 自主探究

如图 2-4-1 所示, 小球和细线构成一个振动系统, 请思考以下问题。

1. 在什么情况下能把该振动系统看成单摆?
2. 小球受到几个力的作用?
3. 什么力充当了小球振动的回复力?

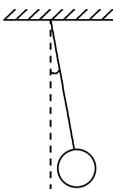


图 2-4-1

#### 自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 单摆是一个理想化的模型。 ( )
2. 单摆运动的回复力是重力沿圆弧切线方向的一个分力。 ( )
3. 单摆运动的回复力是重力和摆线拉力的合力。 ( )
4. 单摆经过平衡位置时受到的合力为零。 ( )

5. 若单摆的振幅变为原来的一半, 则周期也将变为原来的一半。 ( )
6. 一个单摆在月球上摆动的周期大于其在地球上摆动的周期。 ( )

### 三、合作探究与疑难剖析

#### 重点解读

#### 1. 单摆

定义: 细线一端固定在悬点, 另一端系一个小球, 如果细线的质量与小球相比可以忽略, 球的直线与线的长度相比也可以忽略, 这样的装置就叫单摆。

理想化要求: 摆动过程中忽略空气阻力, 单摆是一种理想化的模型, 尽量选择质量大、体积小的小球和尽量细的线。

单摆的平衡位置: 摆球静止时所在的位置。

#### 2. 单摆的回复力

单摆回复力的来源: 摆球的重力沿圆弧切线方向的分力。

单摆回复力的特点: 在偏角很小时, 摆球所受的回力与它偏离平衡位置的位移成正比, 方向总是指向平衡位置, 即  $F = -kx$ , 其运动为简谐运动, 振动图像为正弦曲线。

#### 3. 单摆的周期

单摆振动的周期与摆球质量无关, 在振幅较小时与振幅无关, 但与摆长有关, 摆长越长, 周期越长。

单摆的周期公式  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 。

#### 疑难突破

#### 1. 对单摆模型的认识

(1) 运动规律: 摆球以悬点为圆心沿圆弧运动,

也是以平衡位置为中心的往复运动。

(2) 受力规律

① 在运动过程中,沿半径方向的合力一定不为0。

② 除平衡位置外,小球一定受回复力。

2. 对单摆周期公式的理解

(1) 对摆长  $l$  的理解

① 摆长应是从悬点到摆球重心的长度,摆长等于摆线长加上摆球半径。

② 等效摆长。

(2) 公式中  $g$  的确定方法

在实际中,单摆可能处在不同的情境中,则  $g$  值也因此而不同,但  $g$  值一定等于摆球相对静止在自己的平衡位置时摆线所受的张力与摆球质量的比值。

### 典型例题

例1 下列关于单摆的说法正确的是 ( )

- A. 单摆摆球从平衡位置运动到正向最大位移处时的位移为  $A$  ( $A$  为振幅),从正向最大位移处运动到平衡位置时的位移为  $-A$
- B. 单摆摆球的回复力等于摆球所受的合外力
- C. 单摆摆球的回复力是摆球重力沿圆弧切线方向的分力
- D. 单摆摆球经过平衡位置时加速度为零

**思路点拨:** 主要思考以下问题:单摆的回复力由谁提供?单摆的回复力为零的位置在什么地方?向心力最大的位置在什么地方?

**解析:** 简谐运动中的位移是以平衡位置作为起点,摆球在正向最大位移处时位移为  $A$ ,在平衡位置时位移为零,  $A$  错误;摆球的回复力由合外力沿圆弧切线方向的分力(等于重力沿圆弧切线方向的分力)提供,合外力沿摆线方向的分力提供向心力,  $B$  错误,  $C$  正确;摆球经最低点(振动的平衡位置)时回复力为零,但向心力不为零,所以合外力不为零(摆球到最高点时,向心力为零,回复力最大,合外力也不为零),加速度不为零,  $D$  错误。故选  $C$ 。

**方法提炼:** 单摆的回复力为重力沿圆弧切线方向的分力,回复力和加速度变化是一致的,满足  $F=ma$ ,弄清楚单摆运动过程中位移、回复力、加速度、速度的变化是解决此题的关键。

变式训练 1 (多选) 一单摆做小角度摆动,其振动图像如图 2-4-2 所示,下列说法正确的是 ( )

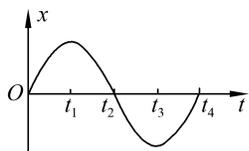


图 2-4-2

- A.  $t_1$  时刻摆球速度为零,

摆球的合外力为零

B.  $t_2$  时刻摆球速度最大,悬线对它的拉力最小

C.  $t_3$  时刻摆球速度为零,摆球的回复力最大

D.  $t_4$  时刻摆球速度最大,悬线对它的拉力最大

例2 如图 2-4-3 所示,单摆的周期为  $T$ ,则下列说法正确的是 ( )

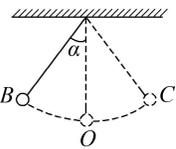


图 2-4-3

- A. 把摆球质量增加一倍,其他条件不变,则单摆的周期变小
- B. 把摆角  $\alpha$  变小,其他条件不变,则单摆的周期变小
- C. 将此摆从地球移到月球上,其他条件不变,则单摆的周期将变长
- D. 将单摆摆长增加为原来的 2 倍,其他条件不变,则单摆的周期将变为  $2T$

**思路点拨:** 在运用  $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  时,要注意  $l$  和  $g$  是否发生变化,如果发生变化,则分别求出不同  $l$  和  $g$  时的运动周期。

**解析:** 根据单摆的周期公式  $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  知,周期与摆球的质量和摆角无关,摆长增加为原来的 2 倍,周期变为原来的  $\sqrt{2}$  倍,故 A、B、D 错误;月球表面的重力加速度小于地球表面的重力加速度,由周期公式  $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  知,将此摆从地球移到月球上,单摆的周期将变长,  $C$  正确。

**方法提炼:** 改变单摆振动周期的途径有

(1) 改变单摆的摆长。

(2) 改变单摆所处环境的重力加速度(如改变单摆的位置或让单摆失重或超重)。

明确单摆振动周期与单摆的质量和振幅没有任何关系。

变式训练 2 (多选) 甲、乙两单摆的振动图像如图 2-4-4 所示,则 ( )

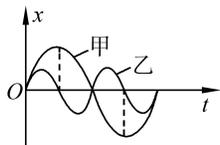


图 2-4-4

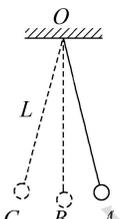
- A. 若甲、乙两单摆在同一地点摆动,则甲、乙两单摆的摆长之比  $l_{\text{甲}}:l_{\text{乙}}=2:1$
- B. 若甲、乙两单摆在同一地点摆动,则甲、乙两单摆的摆长之比  $l_{\text{甲}}:l_{\text{乙}}=4:1$
- C. 若甲、乙两单摆摆长相同,且在不同的星球上摆动,则甲、乙两单摆所在星球的重力加速度之比  $g_{\text{甲}}:g_{\text{乙}}=4:1$
- D. 若甲、乙两单摆摆长相同,且在不同的星球上

摆动,则甲、乙两单摆所在星球的重力加速度之比  $g_{甲} : g_{乙} = 1 : 4$

四、分层训练与能力提升

基础达标

- 下列关于单摆的说法正确的是 ( )
  - 单摆摆球所受的合外力指向平衡位置
  - 摆球经过平衡位置时加速度为零
  - 摆球运动到平衡位置时,所受回复力等于零
  - 摆角很小时,摆球所受合力的大小跟摆球相对平衡位置的位移大小成正比
- 将秒摆(周期为 2 s)的周期变为 1 s,下列措施可行的是 ( )
  - 将摆球的质量减半
  - 将振幅减半
  - 将摆长减半
  - 将摆长减为原来的  $\frac{1}{4}$

- 图中  $O$  点为单摆的固定悬点,现将摆球(可视为质点)拉至  $A$  点,此时细线处于张紧状态,释放摆球,摆球将在竖直平面内的  $A$ 、 $C$  之间来回摆动, $B$  点为运动中的最低位置,在摆动过程中 ( )
 

- 摆球在  $A$  点和  $C$  点处,速度为零,合力也为零
- 摆球在  $A$  点和  $C$  点处,速度为零,回复力也为零
- 摆球在  $B$  点处,速度最大,回复力也最大
- 摆球在  $B$  点处,速度最大,细线拉力也最大

- 演示简谐运动图像的装置如图 2-4-6 甲所示,当盛沙漏斗下面的薄木板  $N$  被匀速地拉出时,摆动着的漏斗中漏出的沙在板上形成曲线,显示出摆的位移随时间变化的关系,板上直线  $OO_1$  代表时间轴。

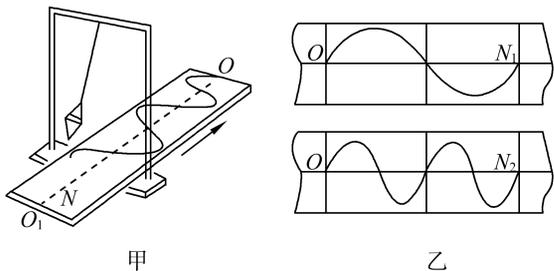


图 2-4-6

图乙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  $N_1$ 、 $N_2$  上曲线所代表的振动的周期  $T_1$  和  $T_2$  的关系为 ( )

- $T_2 = T_1$
- $T_2 = 2T_1$
- $T_2 = 4T_1$
- $T_2 = \frac{1}{4}T_1$

- 已知在单摆  $a$  完成 10 次全振动的时间内,单摆  $b$  完成 6 次全振动,两单摆摆长之差为 1.6 m,则两单摆摆长  $L_a$  与  $L_b$  分别为 ( )

- $L_a = 2.5 \text{ m}, L_b = 0.9 \text{ m}$
- $L_a = 0.9 \text{ m}, L_b = 2.5 \text{ m}$
- $L_a = 2.4 \text{ m}, L_b = 4.0 \text{ m}$
- $L_a = 4.0 \text{ m}, L_b = 2.4 \text{ m}$

- 图 2-4-7 甲中是一个单摆振动的情形, $O$  是它的平衡位置, $B$ 、 $C$  是摆球所能到达的最远位置,设摆球向右运动为正方向,图乙是这个单摆的振动图像,根据图像回答下列问题。

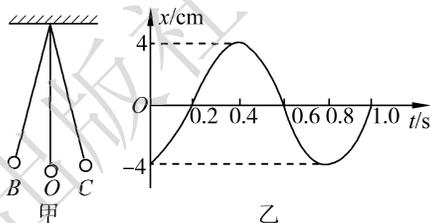


图 2-4-7

- 单摆振动的频率是多大?
- 开始时刻摆球在何位置?
- 若当地的重力加速度为  $10 \text{ m/s}^2$ ,试求这个单摆的摆长是多少?

能力提升

- (多选)同一地点的两单摆甲、乙的振动图像如图 2-4-8 所示,下列说法中正确的是 ( )

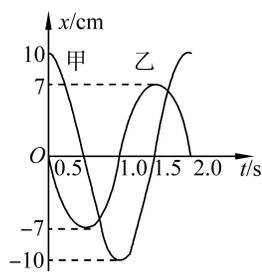


图 2-4-8

- 甲、乙两单摆的摆长相等
- 甲单摆的振幅比乙的大
- 甲单摆的机械能比乙的大
- 在  $t = 0.5 \text{ s}$  时有正向最大加速度的是乙单摆

8. 如图 2-4-9 所示,一摆长为  $l$  的单摆,在悬点的正下方的  $P$  处有一钉子, $P$  与悬点相距  $l-l'$ ,则这个单摆做小幅度摆动时的周期为 ( )

- A.  $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$   
 B.  $2\pi\sqrt{\frac{l'}{g}}$   
 C.  $\pi\left(\sqrt{\frac{l}{g}}+\sqrt{\frac{l'}{g}}\right)$   
 D.  $2\pi\sqrt{\frac{l+l'}{2g}}$

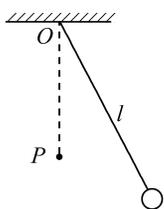


图 2-4-9

9. 如图 2-4-10 所示的单摆,摆长为  $l=40\text{ cm}$ ,摆球在  $t=0$  时刻从右侧最高点释放做简谐振动,则当  $t=1\text{ s}$  时,小球的运动情况是 ( )

- A. 向右加速    B. 向右减速  
 C. 向左加速    D. 向左减速

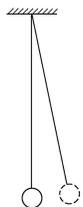


图 2-4-10

10. 有一单摆,其摆长  $l=1.02\text{ m}$ ,摆球的质量  $m=0.10\text{ kg}$ ,已知单摆做简谐运动,单摆 30 次全振动所用的时间  $t=60.8\text{ s}$ .

- (1) 当地的重力加速度约为多大?  
 (2) 如果将这个单摆改为秒摆(周期为  $2\text{ s}$ ),摆长应怎样改变? 改变约为多少?

## 情境融合

11. 摆钟中的钟摆如图 2-4-11 所示,当发现摆钟走时过快时,应该怎么调整钟摆下方的螺母?



图 2-4-11

## 第五节 实验：用单摆测量重力加速度

### 一、学科素养与学习目标

- 学会并利用单摆测定当地的重力加速度。
- 巩固和加深对单摆周期公式的理解。
- 在实验过程中学会处理信息,基于证据并做出解释。
- 在实验中学会合作交流,培养科学严谨、实事求是和持之以恒的科学态度。

### 二、自主探究与自我诊断

#### 自主探究

当摆角较小时,单摆做简谐运动,根据周期公式  $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  想一想,要想利用该公式测量重力加速度,需要测量哪些物理量? 应该如何设计实验装置、

选择实验器材? 怎样才能减小实验误差?

### 自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 摆线要选择细些的、伸缩性小些的,并且尽可能长一些。 ( )
2. 摆球尽量选择质量大些、体积小些的。 ( )
3. 为了使摆的周期大一些,以方便测量,开始时拉开摆球,使摆线相距平衡位置有较大的角度。 ( )
4. 拉开摆球,使摆线偏离平衡位置大于 $5^\circ$ ,在释放摆球的同时开始计时,当摆球回到开始位置时停止计时,此时间间隔 $\Delta t$ 即为单摆周期 $T$ 。 ( )
5. 拉开摆球,使摆线偏离平衡位置不大于 $5^\circ$ ,释放摆球,当摆球振动稳定后,从平衡位置开始计时,记下摆球做50次全振动所用的时间 $\Delta t$ ,则单摆周期 $T = \frac{\Delta t}{50}$ 。 ( )

### 三、合作探究与疑难剖析

#### 重点解读

##### 1. 实验原理

单摆(偏角不大于 $5^\circ$ )的固有周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ,

可得 $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ 。

##### 2. 实验器材

铁架台及铁夹、金属小球(上面有一个通过球心的小孔)、秒表、细线(长1 m左右)、刻度尺(最小刻度为1 mm)、游标卡尺。

##### 3. 实验步骤

(1) 让细线穿过球上的小孔,在细线的一端打一个比孔稍大一些的线结,制成一个单摆。

(2) 把单摆上端固定在铁夹上,使摆球自由下垂。

(3) 用刻度尺测量单摆的摆长(摆线静止时从悬点到球心间的距离)。

(4) 把此单摆从平衡位置拉开一个角度,并使这个角小于等于 $5^\circ$ ,再释放小球。当摆球摆动稳定以后,过最低点位置时,用秒表开始计时,测量单摆全振动30次(或50次)的时间,求出一次全振动的的时间,即单摆的振动周期。

(5) 改变摆长,反复测量几次,将数据填入表格。

##### 4. 数据处理

(1) 公式法:每改变一次摆长,将相应的 $l$ 和 $T$ 代入公式 $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ 中,求出 $g$ 值,最后求出 $g$ 的平均值。

(2) 图像法:由 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 得 $T^2 = \frac{4\pi^2}{g}l$ ,做出 $T^2 - l$ 图像,即以 $T^2$ 为纵轴,以 $l$ 为横轴,如图2-5-1所示。其斜率 $k = \frac{4\pi^2}{g}$ ,由图像的斜率即可求出重力加速度 $g$ 。

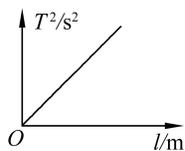


图 2-5-1

1 所示。其斜率 $k = \frac{4\pi^2}{g}$ ,由图像的斜率即可求出重力加速度 $g$ 。

#### 疑难突破

##### 1. 构成单摆的条件

摆线应选择细且不易伸长的线(长度约1 m),小球应选用密度较大、体积较小的金属球(直径最好不超过2 cm),摆角不能超过 $5^\circ$ (可通过估算振幅的办法掌握)。

##### 2. 固定悬点

单摆悬线的上端不可随意卷在杆上,应夹紧在铁夹中,以免摆动时发生摆线下滑,摆长改变。

##### 3. 摆动方法

要使摆球在同一竖直面内摆动,不能形成圆锥摆,方法是将摆球拉到一定位置后由静止释放。

##### 4. 测摆长

摆长应是悬点到球心的距离,等于摆线长加上小球半径。

##### 5. 测周期

要从摆球经过平衡位置时开始计时,以摆球从同一方向通过最低点时计数,要多测几次(如30次或50次)全振动的的时间,并用取平均值的方法求周期。

#### 典型例题

例 实验小组的同学们用如图2-5-2甲所示的装置做“用单摆测定重力加速度”的实验。

(1) 用 $l$ 表示单摆的摆长,用 $T$ 表示单摆的周期,则重力加速度 $g = \underline{\hspace{2cm}}$ 。(用 $l$ 、 $T$ 表示)

(2) 在这个实验中,应该选用下列哪两组材料构成单摆 ( )

- A. 长约1 m的细线
- B. 长约1 m的橡皮绳
- C. 直径约1 cm的均匀铁球
- D. 直径约1 cm的塑料球

(3) 将单摆正确悬挂后进行如下操作,其中正确的是 ( )

- A. 测出摆线长作为单摆的摆长
- B. 把单摆从平衡位置拉开一个很小的角度释放,使之在竖直平面内做简谐运动
- C. 在摆球经过平衡位置时开始计时

- D. 用秒表测量单摆完成 1 次全振动所用时间并作为单摆的周期
- (4) 某同学多次改变单摆的摆长并测得相应的周期,他根据测量数据做出了如图乙所示的图像,横坐标为摆长,纵坐标为周期的平方。若图线斜率为  $k$ ,则当地的重力加速度  $g =$  \_\_\_\_\_ (用  $k$  表示)。

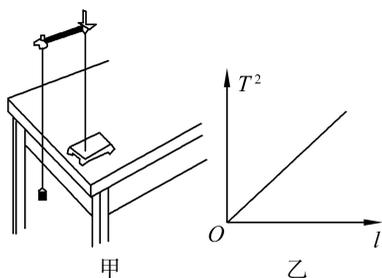


图 2-5-2

**思路点拨:** 实验过程首先应该满足单摆的运动是简谐运动,因此摆线应选择细且不易伸长的线(长度约 1 m),小球应选用密度较大、体积较小的金属球(直径最好不超过 2 cm),摆角不能超过  $5^\circ$ ,应用  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  解决问题。

**解析:** (1) 由  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  得  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ 。

(2) 根据单摆模型的条件可知 AC 正确。

(3) 根据实验操作原理及步骤可知 BC 正确。

(4) 图线斜率  $k = \frac{4\pi^2}{g}$ , 所以  $g = \frac{4\pi^2}{k}$ 。

**方法提炼:** 测摆长和周期时应注意的问题

(1) 确定单摆的摆长时,应测量从悬点到小球球心的距离而不是“摆线长”。

(2) 用测量  $n$  次摆动所用时间求周期时,应从摆球摆至最低点开始计时,相较于从最大偏角开始计时可减小测量误差。

**变式训练** 根据单摆周期公式  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ , 可以通过实验测量当地的重力加速度。如图 2-5-3 甲所示,将细线的上端固定在铁架台上,下端系一小钢球,就做成了单摆。

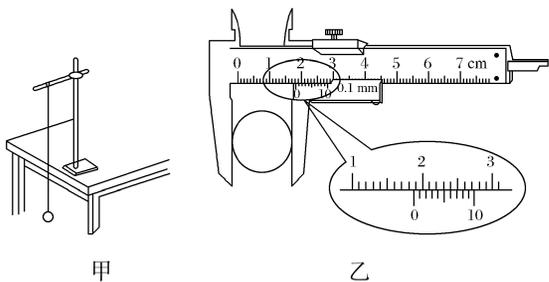


图 2-5-3

- (1) 用游标卡尺测量小钢球直径,示数如图乙所示,读数为 \_\_\_\_\_ mm。
- (2) 以下是实验过程中的一些做法,其中正确的是 \_\_\_\_\_。
- A. 选用密度和直径都较小的摆球  
B. 选用轻且不易伸长的细线  
C. 实验时使摆球在同一竖直平面内摆动  
D. 计时起、终点都应在摆球的最高点且不少于 30 次全振动的时间

#### 四、分层训练与能力提升

##### 基础达标

1. 用单摆测定重力加速度,依据的原理是 ( )
- A. 由  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$  看出,  $T$  一定时,  $g$  与  $l$  成正比  
B. 由  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$  看出,  $l$  一定时,  $g$  与  $T^2$  成反比  
C. 由于单摆的振动周期  $T$  和摆长  $l$  可用实验测定,利用  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$  可算出当地的重力加速度  
D. 同一地区单摆的周期不变,不同地区重力加速度与周期的平方成反比
2. 某实验小组在“利用单摆测定当地重力加速度”的实验中:

- (1) 用游标卡尺测定摆球的直径,测量结果如图 2-5-4 所示,则该摆球的直径为 \_\_\_\_\_ cm。

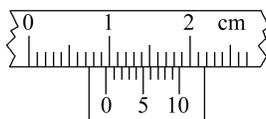


图 2-5-4

- (2) 小组成员在实验过程中有如下说法,其中正确的是 \_\_\_\_\_。
- A. 把单摆从平衡位置拉开  $30^\circ$  的摆角,并在释放摆球的同时开始计时  
B. 测量摆球通过最低点 100 次的时间  $t$ , 则单摆周期为  $\frac{t}{100}$   
C. 用悬线的长度加摆球的直径作为摆长,代入单摆周期公式计算得到的重力加速度值偏大  
D. 选择密度较小的摆球,测得的重力加速度值误差较小

##### 情境融合

3. 将一单摆装置竖直悬挂于某一深度为  $h$  (未知) 且开口向下的小筒中(单摆的下部分露于筒外),如

图 2-5-5 甲所示,将悬线拉离平衡位置一个小角度后由静止释放,设单摆摆动过程中悬线不会碰到筒壁,如果本实验的长度测量工具只能测量出筒的下端口到摆球球心的距离  $l$ ,并通过改变  $l$  而测出对应的摆动周期  $T$ ,再以  $T^2$  为纵轴、 $l$  为横轴做出函数关系图像,那么就可以通过此图像得出小筒的深度  $h$  和当地的重力加速度  $g$ 。

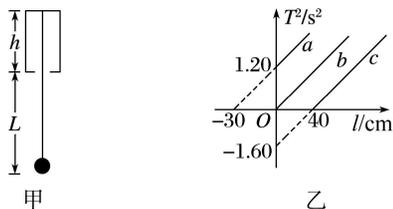


图 2-5-5

- (1) 测量单摆的周期时,某同学在摆球某次通过最低点时,按下秒表开始计时,同时数“1”,当摆球第二次通过最低点时数“2”,依此法往下数,当他数到“59”时,停止计时,读出这段时间  $t$ ,则该单摆的周期为 ( )
- A.  $\frac{t}{29}$     B.  $\frac{t}{29.5}$     C.  $\frac{t}{30}$     D.  $\frac{t}{59}$
- (2) 如果实验中所得到的  $T^2-l$  关系图像如图乙所示,那么真正的图像应该是  $a$ 、 $b$ 、 $c$  中的\_\_\_\_\_。
- (3) 由图像可知,小筒的深度  $h =$  \_\_\_\_\_ m;当地重力加速度  $g =$  \_\_\_\_\_  $\text{m/s}^2$ 。(  $\pi = 3.14$ ,后一空结果保留三位有效数字)

## 第六节 受迫振动 共振

### 一、学科素养与学习目标

- 知道自由振动、固有振动、受迫振动的概念和特点。
- 知道共振的条件和特点。
- 会应用共振解释实际问题。
- 了解生活中与振动相关的现象,体会振动在生活生产中的应用。

### 二、自主探究与自我诊断

#### 自主探究

如图 2-6-1 所示的实验装置为一挂在曲轴上的弹簧振子,匀速摇动手柄,下面的弹簧振子就会振动起来。实际动手做一下,然后回答以下几个问题。

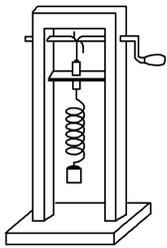


图 2-6-1

- 如果手柄不动而用手拉动一下振子,从振幅角度看弹簧振子的振动属于什么振动?
- 从没有系统外力作用的角度看弹簧振子的振动属于什么振动?
- 手柄匀速摇动时,观察到振幅有什么变化?为什么?
- 用不同的转速匀速转动把手,弹簧振子的振动有何不同?这能说明什么问题?

#### 自我诊断

判断下列说法的正误。

- 弹簧振子做自由振动时,其振动频率与振幅有关。 ( )
- 发生阻尼振动的物体,其振幅越来越小,周期也越来越小。 ( )
- 受迫振动的频率与振动系统的固有频率无关。 ( )
- 共振只有害处没有好处。 ( )
- 做受迫振动的物体一定会发生共振。 ( )

### 三、合作探究与疑难剖析

#### 重点解读

- 固有振动、阻尼振动
  - 固有振动和固有频率
    - 固有振动:振动系统在不受外力作用下的振动。
    - 固有频率:固有振动的频率。
  - 阻尼振动
    - 阻尼:当振动系统受到阻力的作用时,振动受到了阻尼。
    - 阻尼振动:振幅逐渐减小的振动。
- 受迫振动
  - 驱动力:作用于振动系统的周期性的外力。
  - 受迫振动
    - 定义:系统在驱动力作用下的振动。

② 受迫振动的频率(周期):其振动频率总等于驱动力的频率,与系统的固有频率无关。

### 3. 共振

(1) 定义:驱动力的频率  $f$  等于系统的固有频率  $f_0$  时,受迫振动的振幅最大,这种现象叫作共振。

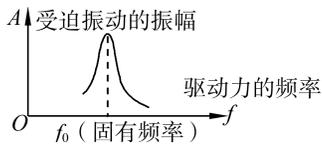


图 2-6-2

(2) 共振曲线(如图 2-6-2 所示)

## 疑难突破

### 简谐运动、阻尼振动与受迫振动的区别

	简谐运动	阻尼振动	受迫振动
产生条件	不受阻力作用	受阻力作用	受阻力和驱动力
频率	固有频率	固有频率	驱动力频率
振幅	不变	减小	大小变化不确定
振动图像			形状不确定
实例	弹簧振子、单摆小角度摆动	敲鼓声音越来越弱	钟摆的摆动

## 典型例题

例1 (多选)一单摆做阻尼振动,则在振动过程中

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

**思路点拨:**从阻尼振动的定义和特点入手解决问题。

**解析:**因为单摆做阻尼振动,所以振幅越来越小,机械能越来越小,振动周期不变。因此选择 BD。

**方法提炼:**阻尼振动系统的周期决定于振动系统本身,与振幅无关,振幅减小,周期不变。

**变式训练 1** (多选)弹簧振子在振动过程中振幅逐渐减小,这是由于 ( )

- 振子开始振动时振幅太小
- 在振动过程中要不断克服外界阻力做功,消耗能量
- 动能和势能相互转化
- 振子的机械能逐渐转化为内能

例2 (多选)一个单摆做受迫振动时的共振曲线如图 2-6-3 所示,表示振幅  $A$  与驱动力频率  $f$  的关系,下列说法正确的是 ( )

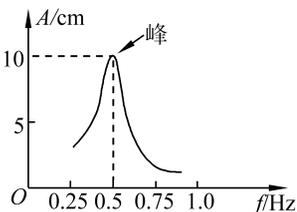


图 2-6-3

- 摆长约为 10 cm
- 摆长约为 1 m
- 若增大摆长,共振曲线的“峰”将向右移动
- 若增大摆长,共振曲线的“峰”将向左移动

**思路点拨:**驱动力的频率  $f$  等于系统的固有频率  $f_0$  时,受迫振动的振幅最大,发生共振,根据图像和单摆的周期公式解决问题。

**解析:**由图可知,单摆的周期  $T = \frac{1}{0.5} \text{ s} = 2 \text{ s}$ ,由

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \text{ 可求得 } l = \frac{gT^2}{4\pi^2} \approx 1 \text{ m}, \text{ A 错误, B 正确;}$$

若增大摆长,单摆的固有周期增大,固有频率减小,故共振曲线的“峰”将向左移动, C 错误, D 正确。故选 BD。

**方法提炼:**在解决有关共振的实际问题时,要抽象出受迫振动这一物理模型,弄清驱动力频率和固有频率,然后利用共振的条件求解。

**变式训练 2** A、B 两个单摆, A 摆的固有频率为  $f$ , B 摆的固有频率为  $4f$ ,若让它们在频率为  $5f$  的驱动力作用下做受迫振动,那么 A、B 两个单摆比较 ( )

- A 摆的振幅较大,振动频率为  $f$
- B 摆的振幅较大,振动频率为  $5f$
- A 摆的振幅较大,振动频率为  $5f$
- B 摆的振幅较大,振动频率为  $4f$

## 四、分层训练与能力提升

### 基础达标

1. (多选)一单摆在空气中振动,振幅逐渐减小,下列说法正确的是 ( )
- 振动的机械能逐渐转化为其他形式的能
  - 后一时刻的动能一定小于前一时刻的动能
  - 后一时刻的势能一定小于前一时刻的势能
  - 后一时刻的机械能一定小于前一时刻的机

## 机械能

2. 下列振动中属于受迫振动的是 ( )
- 用重锤敲击一下悬吊着的钟后, 钟的摆动
  - 打点计时器接通电源后, 振针的振动
  - 小孩睡在自由摆动的吊床上, 小孩随着吊床一起摆动
  - 弹簧振子在竖直方向上沿上下方向振动
3. (多选) 下列说法正确的是 ( )
- 某物体做自由振动时, 其振动频率与振幅无关
  - 某物体做受迫振动时, 其振动频率与固有频率无关
  - 某物体发生共振时的频率等于其自由振动的频率
  - 某物体发生共振时的振动就是无阻尼振动
4. (多选) 下列关于共振和防止共振的说法正确的是 ( )
- 共振现象总是有害的, 所以要避免共振现象发生
  - 队伍过桥要慢行是为了不产生周期性的驱动力, 从而避免产生共振
  - 火车过桥慢行是为了使驱动力的频率远小于桥的固有频率, 从而避免产生共振
  - 利用共振时, 应使驱动力的频率接近或等于振动物体的固有频率; 防止共振危害时, 应使驱动力的频率远离振动物体的固有频率
5. 脱水机把衣服脱完水后切断电源, 电动机还要转一会儿才能停下来, 在这一过程中, 发现脱水机在某一时刻振动得很剧烈, 然后又慢慢振动直至停止运转, 其中振动很剧烈的原因是 ( )
- 脱水机没有放平稳
  - 电动机在这一时刻转快了
  - 电动机在这一时刻的转动频率跟脱水机的固有频率相近或相等
  - 脱水机出现了故障

## 能力提升

6. (多选) 蜘蛛虽有 8 只眼睛, 但视力很差, 完全靠感觉来捕食和生活。它的腿能敏捷地感觉到落在丝网上的昆虫对丝网造成的振动。当丝网的振动频率为  $f=200\text{ Hz}$  左右时, 丝网振动的振幅最大, 最大振幅为  $0.5\text{ cm}$ 。已知该丝网共振时, 蜘蛛能立即捕捉到丝网上的昆虫。对于落在丝网上的昆虫 ( )

- 当其翅膀振动的频率为  $200\text{ Hz}$  左右时, 蜘蛛能立即捕捉到它
- 当其翅膀振动的周期为  $0.05\text{ s}$  左右时, 蜘蛛能立即捕捉到它
- 当其翅膀振动的频率为  $300\text{ Hz}$  左右时, 蜘蛛能立即捕捉到它
- 当其翅膀振动的频率为  $250\text{ Hz}$  时, 该丝网的振幅一定小于  $0.5\text{ cm}$

7. (多选) 如图 2-6-4 所示单摆  $M$ 、 $N$ 、 $O$ 、 $P$  自由振动时, 振动图像分别如图 2-6-5 甲、乙、丙、丁所示。现将单摆  $M$ 、 $N$ 、 $O$ 、 $P$  悬挂在如图所示支架的细线上, 并保持各自的摆长不变, 使其中一个单摆振动, 经过足够长的时间, 其他三个都可能振动起来。不计空气阻力, 下列判断正确的是 ( )

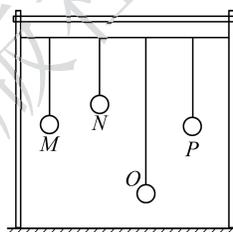


图 2-6-4

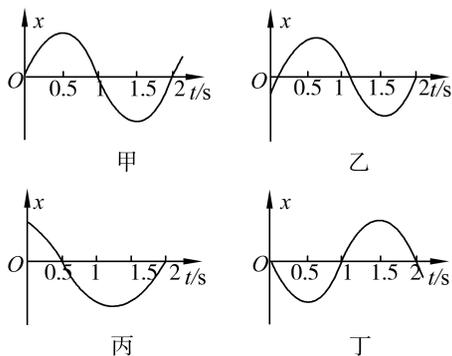


图 2-6-5

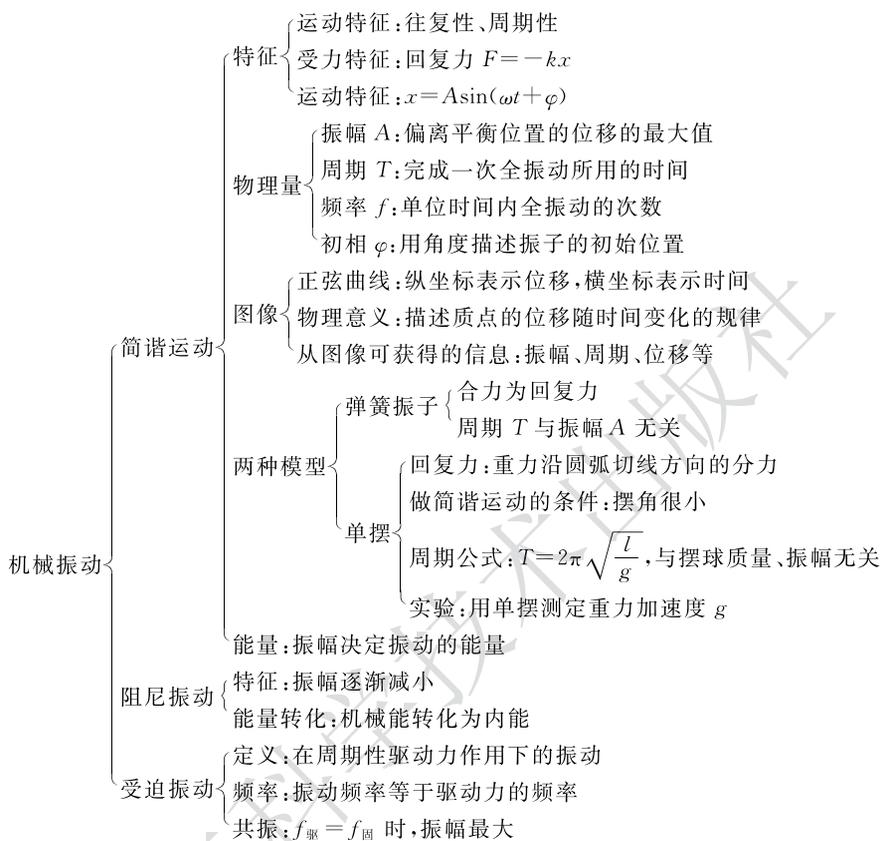
- 若使  $M$  振动起来,  $P$  不会振动
- 若使  $M$  振动起来, 稳定时  $N$  振动的周期仍小于  $2\text{ s}$
- 若使  $P$  振动起来, 稳定时  $M$  比  $N$  的振幅大
- 若使  $O$  振动起来, 稳定时  $M$  的振动周期等于  $3\text{ s}$

## 情境融合

8. (多选) 大地震会导致很多建筑物坍塌, 下列关于地震发生过程中说法正确的是 ( )
- 所有建筑物振动周期相同
  - 所有建筑物振幅相同
  - 建筑物的振动周期由其固有周期决定
  - 所有建筑物均做受迫振动

# 章末总结

## 知网建构



## 重点探究

### 【小微专题一 简谐运动图像的应用】

#### 1. 对 $x-t$ 图像的理解

$x-t$  图像上的  $x$  坐标表示振子相对平衡位置的位移, 也表示振子的位置坐标。它反映了振子位移随时间变化的规律, 不是振子的运动轨迹。

#### 2. $x-t$ 图像的应用

(1) 可直接读出不同时刻  $t$  的位移  $x$  值。某时刻振子位置在  $t$  轴上方, 表示位移为正, 位置在  $t$  轴下方表示位移为负。如图 2-1 甲所示, 质点在  $t_1$ 、 $t_2$  时刻的位移分别为  $x_1$  和  $-x_2$ 。

(2) 任意时刻质点的振动方向。看下一时刻质点的位置, 如图 2-1 乙中的  $a$  点, 下一时刻离平衡位置远, 故  $a$  点此刻向  $+x$  方向运动。

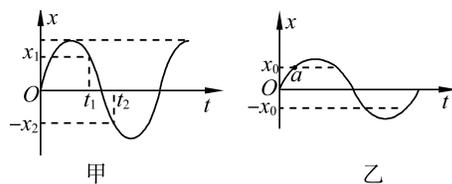


图 2-1

(3) 速度的大小和方向, 根据图线的斜率判断。图像上某点的斜率的大小表示速度大小, 斜率的正负表示运动的方向。在平衡位置, 图线的切线斜率最大, 质点速度最大; 在最大位移处, 图线的切线斜率为零, 质点速度为 0。在从平衡位置向最大位移处运动的过程中, 速度减小; 在从最大位移处向平衡位置运动的过程中, 速度增大。

**例 1** 一弹簧振子的振动图像如图 2-2 甲所示, 规定向右的方向为正方向, 试根据图像分析下列问题。

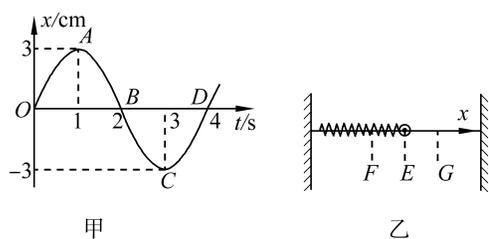


图 2-2

- 如图乙所示,振子振动的起始位置是\_\_\_\_\_,从起始位置开始,振子向\_\_\_\_\_ (填“右”或“左”)运动。
- 在图乙中,找出图甲中的  $O$ 、 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  各点对应振动过程中的位置: $O$  对应\_\_\_\_\_, $A$  对应\_\_\_\_\_, $B$  对应\_\_\_\_\_, $C$  对应\_\_\_\_\_, $D$  对应\_\_\_\_\_。
- 在  $t=2\text{ s}$  时,振子的速度方向与  $t=0$  时振子的速度的方向\_\_\_\_\_; $1\sim 2\text{ s}$  内振子的速度大小的变化情况是\_\_\_\_\_。
- 振子在前  $4\text{ s}$  内的位移等于\_\_\_\_\_。

**解析:**(1) 由图 2-2 甲所示  $x-t$  图像可知,在  $t=0$  时,振子在平衡位置,故起始位置为  $E$ ;从  $t=0$  时,振子向正的最大位移处运动,即向右运动。(2) 由  $x-t$  图像可知, $O$  点、 $B$  点、 $D$  点对应振动过程中的  $E$  点, $A$  点在正的最大位移处,对应  $G$  点; $C$  点在负的最大位移处,对应  $F$  点。(3)  $t=2\text{ s}$  时,图像斜率为负,即速度方向为负方向; $t=0$  时,图像斜率为正,即速度方向为正方向,故两时刻速度方向相反, $1\sim 2\text{ s}$  内振子的速度逐渐增大。(4)  $4\text{ s}$  末振子回到平衡位置,故振子在前  $4\text{ s}$  内的位移为零。

### 【小微专题二 简谐运动的周期性和对称性】

#### 1. 周期性

做简谐运动的物体经过一个周期或几个周期后,能恢复到原来的状态,因此在处理实际问题中,

要注意到多解的可能性。

#### 2. 对称性

(1) 速率的对称性:系统在关于平衡位置对称的两位置具有相等的速率。

(2) 加速度和回复力的对称性:系统在关于平衡位置对称的两位置具有等大反向的加速度和回复力。

(3) 时间的对称性:系统通过关于平衡位置对称的两段位移的时间相等。振动过程中通过任意两点  $A$ 、 $B$  的时间与逆向通过的时间相等。

**例 2** 物体做简谐运动,通过  $A$  点时的速度为  $v$ ,经过  $1\text{ s}$  后物体第一次以相同速度  $v$  通过  $B$  点,再经过  $1\text{ s}$  物体紧接着又通过  $B$  点,已知物体在  $2\text{ s}$  内所走过的总路程为  $12\text{ cm}$ ,则该简谐运动的周期和振幅分别是多大?

**解析:**物体通过  $A$  点和  $B$  点时的速度大小相等, $A$ 、 $B$  两点一定关于平衡位置  $O$  对称。依题意做出物体可能的振动路径图如图 2-3 甲、乙所示,在图甲中物体从  $A$  向右运动到  $B$ ,即图中从 1 运动到 2,时间为  $1\text{ s}$ ,从 2 运动到 3,又经过  $1\text{ s}$ ,从 1 到 3 共经历了  $0.5T$ ,即  $0.5T=2\text{ s}$ , $T=4\text{ s}$ , $2A=12\text{ cm}$ , $A=6\text{ cm}$ 。

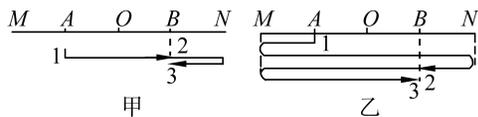


图 2-3

在图乙中,物体从  $A$  先向左运动,当物体第一次以相同的速度通过  $B$  点时,即图中从 1 运动到 2 时,时间为  $1\text{ s}$ ,从 2 运动到 3,又经过  $1\text{ s}$ ,同样  $A$ 、 $B$  两点关于  $O$  点对称,从图中可以看出从 1 运动到 3 共经历了  $1.5T$ ,即  $1.5T=2\text{ s}$ , $T=\frac{4}{3}\text{ s}$ , $1.5\times 4A=12\text{ cm}$ , $A=2\text{ cm}$ 。

## 章末检测

一、选择题(本题共 12 小题,每小题 4 分。在每小题给出的四个选项中,只有一项符合题目要求)

- 简谐运动属于下列哪种运动 ( )
  - 匀变速运动
  - 匀速直线运动
  - 非匀变速运动
  - 匀加速直线运动
- 在飞机的发展史中有一个阶段,飞机上天后不

久,飞机的机翼很快就抖动起来,而且越抖越厉害,后来人们经过了艰苦探索,利用在飞机机翼前缘处装置一个配重杆的方法解决了这一问题,在飞机机翼前缘处装置配重杆的主要目的是 ( )

- 加大飞机的惯性
- 使机体更加平衡
- 使机翼更加牢固
- 改变机翼的固有频率

3. 周期为 2 s 的简谐运动, 在半分钟内振子通过的路程是 60 cm, 则在此时间内振子经过平衡位置的次数和振子的振幅分别为 ( )
- A. 15 次, 2 cm      B. 30 次, 1 cm  
C. 15 次, 1 cm      D. 60 次, 2 cm

4. 某弹簧振子的振动图像如图 1 所示, 将弹簧振子从平衡位置拉开 4 cm 后放开, 同时开始计时, 则在  $t=0.15$  s 时

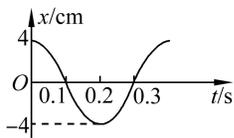


图 1

- ( )
- A. 振子正在做加速度减小的加速运动  
B. 振子正在做加速度增大的减速运动  
C. 振子速度方向沿  $x$  轴正方向  
D. 振子的位移一定等于 2 cm
5. 一水平弹簧振子的振动图像如图 2 所示, 由此可知 ( )

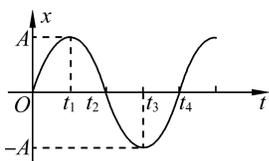


图 2

- A. 在  $t_1$  时刻, 振子的动能最大, 所受的弹力最大  
B. 在  $t_2$  时刻, 振子的动能最大, 所受的弹力最小  
C. 在  $t_3$  时刻, 振子的动能最大, 所受的弹力最小  
D. 在  $t_4$  时刻, 振子的动能最大, 所受的弹力最大
6. 某质点的振动图像如图 3 所示, 下列判断正确的是 ( )

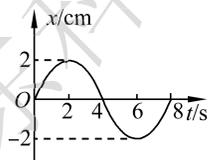
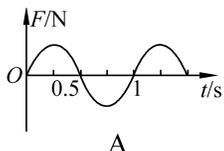
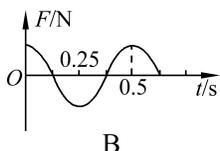


图 3

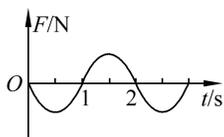
- A. 质点振动周期是 8 s  
B. 振幅是  $\pm 2$  cm  
C. 4 s 末质点的速度为正, 加速度为零  
D. 10 s 末质点的加速度为正, 速度为零
7. 一个摆长约 1 m 的单摆, 在下列的四个随时间变化的驱动力作用下振动, 要使单摆振动的振幅尽可能大, 应选用的驱动力是 ( )



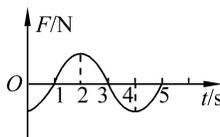
A



B



C



D

8. 有一个弹簧振子, 振幅为 0.8 cm, 周期为 0.5 s, 开始时具有沿负方向的最大加速度, 则它的振动方程为 ( )

A.  $x=0.008\sin\left(4\pi t+\frac{\pi}{2}\right)$  m  
B.  $x=0.008\sin\left(4\pi t-\frac{\pi}{2}\right)$  m  
C.  $x=0.008\sin\left(\pi t+\frac{\pi}{2}\right)$  m  
D.  $x=0.008\sin\left(\frac{\pi}{4}t+\frac{\pi}{2}\right)$  m

9. 将秒摆的周期变为 4 s, 下列哪些措施是正确的 ( )

A. 只将摆球质量变为原来的  $\frac{1}{4}$   
B. 只将振幅变为原来的 2 倍  
C. 只将摆长变为原来的 4 倍  
D. 只将摆长变为原来的 16 倍

10. 一登山运动员用一单摆来测量某山的海拔高度, 当他在海平面时, 在一定时间  $t_0$  内测得一单摆全振动  $N$  次, 当他到达山顶后, 在相同时间  $t_0$  内测得同一单摆全振动的次数为  $(N-1)$  次。若把地球视为半径为  $R$  的均匀球体, 则此山的海拔高度为 ( )

A.  $\frac{R}{N}$       B.  $\frac{2R}{2N-1}$   
C.  $\frac{R}{N-1}$       D.  $\frac{R}{N+1}$

11. 如图 4 所示,  $MN$  为半径较大的光滑圆弧轨道的一部分, 把小球  $A$  放在  $MN$  的圆心处, 再把另一小球  $B$  放在  $MN$  上离最低点  $C$  很近的某处, 今使两球同时自由释放, 不计空气阻力。下列说法正确的是 ( )

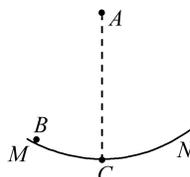


图 4

- A.  $A$  球先到达  $C$  点  
B.  $B$  球先到达  $C$  点  
C. 两球同时到达  $C$  点  
D. 无法确定哪一个球先到达  $C$  点

12. 光滑的水平面上放有质量分别为  $m$  和  $0.5m$  的两木块, 下方木块与一劲度系数为  $k$  的弹簧相连, 弹簧的另一端固定在墙上, 如图 5 所示。已知两木块之间的最大静摩擦力为  $f$ , 为使这两个木块组成的系统能像一个整体一样振动, 系统的最大振幅为 ( )

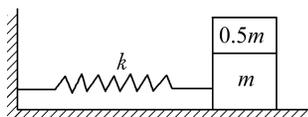


图 5

- A.  $\frac{f}{k}$                       B.  $\frac{2f}{k}$   
 C.  $\frac{3f}{k}$                       D.  $\frac{4f}{k}$

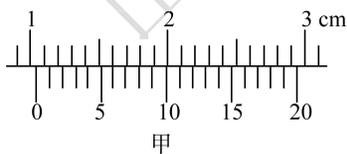
**二、实验题**(本题共 2 小题,16 分。把答案填在题中的横线上或按题目要求作答)

13. 在用单摆测定重力加速度时,某同学用同一套实验装置、同样的步骤进行实验,但所测得的重力加速度总是偏大,其原因可能是 ( )
- A. 测定周期时,振动次数少数了一次  
 B. 测定周期时,振动次数多数了一次  
 C. 摆球的质量过大  
 D. 计算摆长时,只考虑悬线的长度,没有加上小球的半径
14. 某同学利用单摆测量重力加速度。

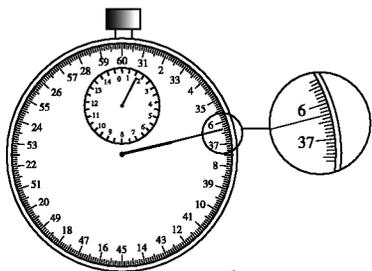
(1) 为了使测量误差尽量小,下列说法正确的是\_\_\_\_\_。

- A. 组装单摆须选用密度和直径都较小的摆球  
 B. 组装单摆须选用轻且不易伸长的细线  
 C. 实验时须使摆球在同一竖直面内摆动  
 D. 摆长一定的情况下,摆的振幅尽量大

(2) 用游标卡尺测量摆球的直径如图 6 甲所示,则小球的直径为\_\_\_\_\_ cm。用停表测出单摆的多个周期如图 6 乙所示,停表读数为\_\_\_\_\_ s。



甲



乙

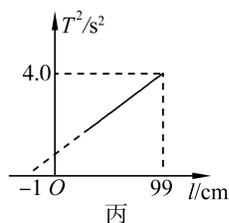


图 6

- (3) 改变摆长多次测量,得到多组周期( $T$ )与摆长( $l$ )的值,做出  $T^2-l$  图像如图 6 丙所示。图像不过原点的原因可能是测出摆线长度后,在计算摆长时\_\_\_\_\_ (填“漏加小球半径”或“加了小球直径”)。根据图像中的数据,可计算出当地的重力加速度为\_\_\_\_\_  $m/s^2$ 。(结果保留三位有效数字)

**三、计算题**(本题共 4 小题,36 分。解答应写出必要的文字说明、方程式和重要演算步骤。只写出最后答案的不能得分。有数值计算的题,答案中必须明确写出数值和单位)

15. 某质点做简谐运动的振动图像如图 7 所示。根据图像中的信息,回答下列问题。

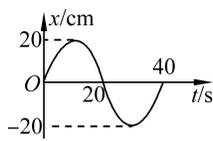


图 7

- (1) 质点离开平衡位置的最大距离有多大?  
 (2) 质点在 10 s 末和 20 s 末的位移是多少?  
 (3) 质点在 15 s 末和 25 s 末各向什么方向运动?  
 (4) 质点在前 30 s 内的运动路程是多少?

16. 某弹簧振子的振动图像如图 8 所示, 回答下列问题。

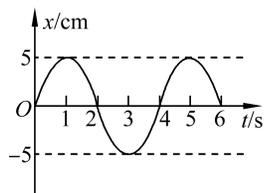


图 8

- (1) 写出该振子简谐运动的表达式;
- (2) 在第 2 s 末到第 3 s 末这段时间内, 弹簧振子的位移、加速度、速度各是怎样变化的?
- (3) 该振子在前 100 s 的总位移是多少? 路程是多少?

17. 如图 9 所示, 天花板上  $O$  点悬挂一单摆, 绳子长度为  $0.99l$ , 质量分布均匀的实心小球质量为  $m$ , 直径为  $0.02l$ ,  $O$  点正下方  $0.1l$  处有一钉子  $P$ , 现将单摆向左拉开一个小角度  $\theta$ , 并由静止释放, 小球左右摆动过程中, 偏角始终都小于  $5^\circ$ , 重力加速度为  $g$ 。求:

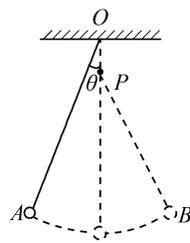


图 9

- (1) 单摆的振动周期;
- (2) 小球从左摆到最低点时, 绳子对小球的拉力大小。

18. 如图 10 所示, 一质量为  $M$  的无底木箱, 放在水平面上, 一轻质弹簧一端悬于木箱的上边, 另一端挂着用细线连接在一起的两物体  $A$  和  $B$ ,  $m_A = m_B = m$ 。剪断  $A$ 、 $B$  间的细线后,  $A$  做简谐运动, 则当  $A$  振动到最高点时, 木箱对地面的压力为多大?

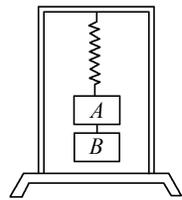


图 10

# 参考答案

## 第一章 动量守恒定律

### 第一节 动量

#### 【自我诊断】

1.  $\checkmark$  2.  $\times$  3.  $\times$  4.  $\checkmark$  5.  $\times$

#### 【典型例题】

变式训练 1 AD

变式训练 2 B

#### 【基础达标】

1. D 2. D 3. A 4. C

5. 动量变化了,  $\Delta p = 12 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 方向向西; 动能没有变化

6. 0.6 0.4

#### 【能力提升】

7. AB 8. D 9. A

10. (1)  $4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  (2)  $3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

11. (1) 接通打点计时器的电源 放开滑块 1  
(2) 0.620 0.618 (3) 纸带与打点计时器的限位孔有摩擦

#### 【情境融合】

12. 有变化, 动量变化量为  $8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 方向与足球原速度方向相反

### 第二节 动量定律

#### 【自我诊断】

1.  $\times$  2.  $\checkmark$  3.  $\checkmark$  4.  $\times$  5.  $\times$

#### 【典型例题】

变式训练 1 D

变式训练 2 B

变式训练 3 280 N

#### 【基础达标】

1. D 2. D 3. D 4. BD 5. D

6. 1 260 N, 方向与原方向相反

#### 【能力提升】

7. ABD 8. B 9. C

10. (1)  $-2 \text{ N} \cdot \text{s}, 2 \text{ N} \cdot \text{s}$  (2) 1 s

#### 【情境融合】

11. A

12. 快速抽纸条, 粉笔不易倒。快抽和慢抽纸条, 粉笔受到的摩擦力大小一样。快抽时, 时间短, 由

$F\Delta t = \Delta P$  知, 动量的变化小, 速度的变化小, 粉笔不易倒。

### 第三节 动量守恒定律

#### 【自我诊断】

1.  $\times$  2.  $\times$  3.  $\checkmark$  4.  $\checkmark$  5.  $\times$

#### 【典型例题】

变式训练 1 BD

变式训练 2  $v_2 = \frac{mv + m_1 v_1}{m - m_1}$ , 方向水平向右

变式训练 3 0.186 m/s, 方向向左

#### 【基础达标】

1. B 2. BCD 3. B 4. D

5. 2 m/s, 沿原来方向 6. 0.8 m

#### 【能力提升】

7. D

8. (1) 系统水平方向动量守恒 (2)  $\frac{mv_0 \cos \theta}{M}$

9.  $v \geq 5v_0$  10. 6 次

#### 【情境融合】

11. 10 m/s

### 第四节 实验: 验证动量守恒定律

#### 【自我诊断】

1.  $\times$  2.  $\times$  3.  $\checkmark$  4.  $\checkmark$  5.  $\times$

#### 【典型例题】

变式训练 1 (1) 64.7 (2) ABD

变式训练 2 ABD

#### 【基础达标】

1. B 2. (1) C (2) ADE 3. B

4. BD 5. (1) C (2)  $m_1 s_1 = m_2 s_2$

#### 【能力提升】

6. (1) 相等 (2)  $\frac{1}{t_1} = \frac{2}{t_2}$

7. (1) 小球 1 和小球 2 的质量  $m_1$  和  $m_2$   
(2) AC (3) 2

(4)  $m_1 \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha_2}{\sin \alpha_2}} = m_1 \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha_1}{\sin \alpha_1}} + m_2 \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha_3}{\sin \alpha_3}}$

8. (1) 6.6 m/s (2) A

## 【情境融合】

9. (1) 球 1 的质量  $m_1$  球 2 的质量  $m_2$  立柱高  $h$  桌面离水平地面的高度  $H$

$$(2) 2 m_1 \sqrt{a-h} = 2 m_1 \sqrt{b-h} + m_2 \frac{c}{\sqrt{H+h}}$$

## 第五节 弹性碰撞和非弹性碰撞

## 【自我诊断】

1.  $\checkmark$  2.  $\checkmark$  3.  $\times$  4.  $\times$  5.  $\times$

## 【典型例题】

变式训练 1 C

变式训练 2 ABC

变式训练 3 A

## 【基础达标】

1. D 2. C 3. C 4. A 5. ABC

6.  $m_B = m, v_B = \frac{3}{2}v_0$

## 【能力提升】

7. C 8. AC 9. BC

10. (1)  $\frac{1}{3}mv_0^2$  (2)  $\frac{5}{9}v_0$ , 方向水平向右

(3)  $\frac{4v_0^2}{27gL}$

## 【情境融合】

11. (1)  $v_B' = 3.0 \text{ m/s}$  (2)  $v_A = 4.3 \text{ m/s}$

## 第六节 反冲现象 火箭

## 【自我诊断】

1.  $\times$  2.  $\times$  3.  $\checkmark$  4.  $\times$  5.  $\checkmark$

## 【典型例题】

变式训练 1 (1)  $v_1 = \frac{mv_0}{M}$  (2)  $v_2 = \frac{mv_0}{M+m}$

(3)  $v_3 = \frac{mv_0 \cos \theta}{M}$

变式训练 2 B

## 【基础达标】

1. B 2. D 3. B 4. C 5. C 6. 25 m/s

## 【能力提升】

7. A 8. C 9. AD

10. (1)  $2.5v_0$ , 方向与爆炸前速度的方向相反

(2)  $\frac{27}{4}mv_0^2$

## 【情境融合】

11.  $\frac{nmd}{M+nm}$

## 章末检测

1. C 2. C 3. C 4. B 5. A 6. B 7. C  
8. B 9. C 10. B 11. D 12. C

13. (3) 使气垫导轨水平 滑块 A 至挡板 C 的距离  $L_1$ 、滑块 B 至挡板 D 的距离  $L_2$  0  $(M+m)$

$\frac{L_1}{t_1} - M \frac{L_2}{t_2}$  或  $M \frac{L_2}{t_2} - (M+m) \frac{L_1}{t_1}$

14. (1) C (2) ADE (3)  $m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON = m_1 \cdot OP$  (4) 14 2.9 1.01

15. 5 m/s 16. 183.7 m

17. (1) 0.24 s (2) 5 m/s

18. (1)  $8.0 \times 10^{-2} \text{ m}$  (2) 0.80 m/s

## 第二章 机械振动

## 第一节 简谐运动

## 【自我诊断】

1.  $\times$  2.  $\checkmark$  3.  $\times$  4.  $\checkmark$  5.  $\times$

## 【典型例题】

变式训练 1 C

变式训练 2 B

## 【基础达标】

1. AC 2. BC 3. D 4. B 5. D 6. D 7. B

## 【能力提升】

8. AC

9. (1) 10 cm (2) 向平衡位置运动 背离平衡位置运动 (3) 0 40 cm

## 【情境融合】

10. A

## 第二节 简谐运动的描述

## 【自我诊断】

1.  $\times$  2.  $\times$  3.  $\times$  4.  $\times$  5.  $\times$  6.  $\checkmark$

## 【典型例题】

变式训练 (1) 0.5 0.4 0.2 0.8

(2)  $x_A = 0.5 \sin(5\pi t + \pi) \text{ cm}$

$x_B = 0.2 \sin\left(2.5\pi t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ cm}$

(3)  $x_A = -\frac{\sqrt{2}}{4} \text{ cm}$   $x_B = 0.2 \sin \frac{5}{8}\pi \text{ cm}$

【基础达标】

1. A 2. CD 3. A 4. AD 5. C  
6. (1) ①  $5\sqrt{2}$  cm ②  $-5\sqrt{2}$  cm  
(2)  $x=10\sin\left(\frac{\pi}{2}t+\frac{\pi}{2}\right)$  cm  $\frac{\pi}{2}$

【能力提升】

7. D 8. C

【情境融合】

9. C

### 第三节 简谐运动的回复力和能量

【自我诊断】

1.  $\checkmark$  2.  $\checkmark$  3.  $\checkmark$  4.  $\times$  5.  $\checkmark$  6.  $\times$

【典型例题】

变式训练 D

【基础达标】

1. C 2. AD 3. D 4. AB 5. B 6. D  
7. (1)  $-\sqrt{2}$  cm (2) 变大 变大 变小 变小  
变大 (3) 34 cm 2 cm

【能力提升】

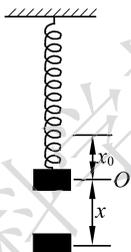
8. AC 9. C 10. B

【情境融合】

11. 物块静止在平衡位置  $O$  时, 弹簧的形变量为  $x_0$ , 有  $mg=kx_0$ 。当物块向下运动  $x$  时, 物块所受重力与弹簧弹力的合力提供物块所需的回复力。

设向下为正方向, 有  $F=mg-k(x+x_0)=-kx$ 。

可见物块所受回复力的大小与位移的大小成正比, 方向与位移方向相反, 且指向平衡位置, 因此小物块的振动是简谐运动。



### 第四节 单摆

【自我诊断】

1.  $\checkmark$  2.  $\checkmark$  3.  $\times$  4.  $\times$  5.  $\times$  6.  $\checkmark$

【典型例题】

变式训练 1 CD

变式训练 2 BD

【基础达标】

1. C 2. D 3. D 4. D 5. B  
6. (1) 1.25 Hz (2) B 点 (3) 0.16 m

【能力提升】

7. ABD 8. C 9. B  
10. (1) 9.79 m/s<sup>2</sup> (2) 缩短 0.027 m

【情境融合】

11. 由单摆周期公式  $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  可知, 要想让摆钟走慢些, 可以增大摆长以增大钟摆的周期, 所以需要把螺母向下调节。

### 第五节 实验: 用单摆测量重力加速度

【自我诊断】

1.  $\checkmark$  2.  $\checkmark$  3.  $\times$  4.  $\times$  5.  $\checkmark$

【典型例题】

变式训练 (1) 18.6 (2) BC

【基础达标】

1. C 2. (1) 0.97 (2) C

【情境融合】

3. (1) A (2) a (3) 0.3 9.86

### 第六节 受迫振动 共振

【自我诊断】

1.  $\times$  2.  $\times$  3.  $\checkmark$  4.  $\times$  5.  $\times$

【典型例题】

变式训练 1 BD

变式训练 2 B

【基础达标】

1. AD 2. B 3. ABC 4. CD 5. C

【能力提升】

6. AD 7. CD

【情境融合】

8. AD

### 章末检测

1. C 2. D 3. B 4. B 5. B 6. A 7. C  
8. A 9. C 10. C 11. A 12. C  
13. B  
14. (1) BC (2) 1.030 96.3 (3) 漏加小球半径 9.86  
15. (1) 20 cm (2) 质点在 10 s 末的位移  $x_1=20$  cm, 20 s 末的位移  $x_2=0$  (3) 质点在 15 s 末向负方向运动, 25 s 末质点也向负方向运动 (4) 60 cm  
16. (1)  $x=5\sin 0.5\pi t$  (cm) (2) 弹簧振子的位移负向逐渐增大, 速度逐渐减小, 加速度逐渐增大 (3) 0 5 m  
17. (1)  $\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1+\frac{3\sqrt{10}}{10}\right)$  (2)  $mg(3-2\cos\theta)$   
18.  $Mg$

## 第三章 机械波

## 第一节 波的形成

【自我诊断】

- 1.
- $\times$
- 2.
- $\times$
- 3.
- $\times$
- 4.
- $\checkmark$
- 5.
- $\checkmark$

【典型例题】

变式训练 ACD

【基础达标】

1. BC 2. D 3. ABC 4. A 5. C

【能力提升】

6. B 7. C

【情境融合】

8. 相互垂直 在同一条直线上 略

## 第二节 波的描述

【自我诊断】

- 1.
- $\checkmark$
- 2.
- $\times$
- 3.
- $\times$
- 4.
- $\checkmark$
- 5.
- $\times$

【典型例题】

变式训练 1 B

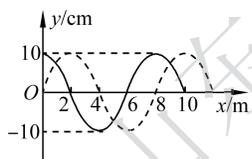
变式训练 2 BD

【基础达标】

1. AC 2. BD 3. BC

4. (1) 上 下 下 (2) 4 0

5. (1) 10 cm (2) 如图中的虚线所示



【能力提升】

6. D 7. B 8. D

【情境融合】

9. (1) 向左 (2) 向右 (3) 向上

## 第三节 波的反射、折射和衍射

【自我诊断】

- 1.
- $\checkmark$
- 2.
- $\times$
- 3.
- $\checkmark$

【典型例题】

变式训练 ABC

【基础达标】

1. ABD 2. B 3. B

【能力提升】

4. D 5. 17 m

【情境融合】

6. 4 900 m

## 第四节 波的干涉

【自我诊断】

- 1.
- $\checkmark$
- 2.
- $\checkmark$
- 3.
- $\times$

【典型例题】

变式训练 1 AD

变式训练 2 AB C

【基础达标】

1. C 2. AD 3. D 4. BD

【能力提升】

5. 2m 减弱 加强 6. 振动减弱点

【情境融合】

7. 相同 等于 0 等于原振幅的 2 倍

## 第五节 多普勒效应

【自我诊断】

- 1.
- $\times$
- 2.
- $\times$
- 3.
- $\checkmark$

【基础达标】

1. BD 2. C 3. AB 4. ABD 5. BC

【能力提升】

6. AD 7. A

【情境融合】

8. A

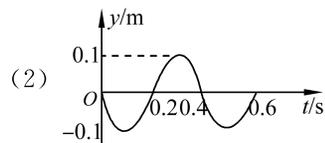
## 章末检测

1. D 2. A 3. A 4. B 5. B 6. D 7. B
- 
8. D 9. B 10. C 11. D 12. A

- 13.
- $x$
- 轴正方向
- $c$
- $c$
- 100

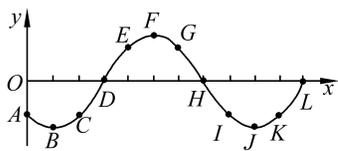
14. 负 8

15. (1) 0.1 m 2.5 Hz 0.4 s 5 m/s



16. (1) 1.25 Hz (2) 小于等于 20 m (3) 0
- 
- 4 m 10 m (4) 1.8 s

17. (1) 横波 质点振动方向与波的传播方向
- 
- 垂直 10 m/s (2) 0.75 s
- 
- (3) 如图



18. (1) 4 m

(2) 若波由  $a$  传向  $b$ ,  $s_{ab} = (n + \frac{3}{4})\lambda$ ,  $v = \lambda f =$

$$\frac{600}{4n+3} \text{ m/s} (n=1, 2, 3, \dots); \text{若波由 } b \text{ 传向 } a, s_{ab} = (n + \frac{1}{4})\lambda, v = \lambda f = \frac{600}{4n+1} \text{ m/s} (n=1, 2, 3, \dots)$$

## 第四章 光

### 第一节 光的折射

【自我诊断】

1.  $\times$  2.  $\times$  3.  $\checkmark$  4.  $\times$  5.  $\checkmark$  6.  $\times$   
7.  $\times$

【典型例题】

变式训练 1 AC

变式训练 2  $\sqrt{3}$

【基础达标】

1. B 2. ABC 3. BD 4. C 5. B 6. AB  
7. B

【能力提升】

8. D 9. C

10. (1)  $\sqrt{3}$  (2)  $\frac{\sqrt{3}}{3}c$

11. 偏小 不变

【情境融合】

12. B 13.  $30^\circ$

### 第二节 全反射

【自我诊断】

1.  $\times$  2.  $\checkmark$  3.  $\times$  4.  $\times$  5.  $\checkmark$  6.  $\times$   
7.  $\checkmark$

【典型例题】

变式训练 1 10.6 m

变式训练 2  $\sqrt{\frac{ct}{s}}$

【基础达标】

1. C 2. ACD 3. BC 4. C 5. AB  
6. BCD

【能力提升】

7. D 8. (1)  $\sqrt{2}$  (2) 能

9. (1)  $\sin i \leq \sqrt{n^2 - 1}$  (2)  $\frac{n^2 L}{c}$

【情境融合】

10. C

### 第三节 光的干涉

【自我诊断】

1.  $\checkmark$  2.  $\times$  3.  $\checkmark$  4.  $\times$  5.  $\checkmark$  6.  $\times$   
7.  $\checkmark$  8.  $\times$  9.  $\times$

【典型例题】

变式训练 1 AB

变式训练 2 B

【基础达标】

1. D 2. C 3. BD 4. ABC 5. BC 6. D  
7. AB

【能力提升】

8. AC 9. BD 10. BD 11. B

【情境融合】

12. A

### 第四节 实验:用双缝干涉测量光的波长

【自我诊断】

1.  $\checkmark$  2.  $\times$  3.  $\times$  4.  $\times$  5.  $\checkmark$

【典型例题】

变式训练 ABD

【基础达标】

1. ACD  
2.  $>$  0.300 3.  $1.178 \times 10^{-2}$  m

【能力提升】

4. ABD 5. 0 0.640  $6.86 \times 10^{-7}$

### 第五节 光的衍射

【自我诊断】

1.  $\times$  2.  $\times$  3.  $\times$  4.  $\times$  5.  $\checkmark$  6.  $\times$

【典型例题】

变式训练 BC

【基础达标】

1. ABD 2. AC 3. A 4. C 5. A

【能力提升】

6. BC 7. AD

【情境融合】

8. CD

第六节 光的偏振 激光

【自我诊断】

1. × 2. √ 3. × 4. √ 5. √ 6. ×  
7. × 8. √ 9. √

【典型例题】

变式训练 BD

【基础达标】

1. B 2. ACD 3. D 4. D 5. AB

【能力提升】

6. D 7. B

【情境融合】

8. ACD

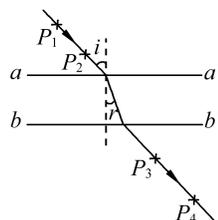
章末检测

1. C 2. D 3. A 4. B 5. C 6. A 7. A

8. C 9. A 10. C 11. B 12. A

13. (1) CD (2) (需要测量的量是图中  $i$  和  $r$ )

$$\frac{\sin i}{\sin r}$$



14. (1) 甲 (2) EDDB (3) 111.15 0.60  
(4)  $6.0 \times 10^{-7}$  (5) 变小

15. 亮条纹 两条暗条纹

16. 1.43 17. (1)  $\sqrt{3} \frac{6R}{c}$  (2) 不会发生全反  
射 18. 1.55

学业水平测试(A)

1. B 2. B 3. C 4. C 5. C 6. B 7. A  
8. B 9. D 10. C 11. A 12. A

13. (1)  $l_1, l_3$   $n = \frac{l_1}{l_3}$  (2) 偏大

14. (1) C (2) AC (3) BCD (4)  $m_1 \cdot OP = m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON$

15. (1)  $9.78 \text{ m/s}^2$  (2)  $7.02 \text{ s}$

16. (1)  $\frac{\pi}{3}$  (2)  $\frac{10\sqrt{3}}{3} \text{ cm}$

17. (1) 133 cm (2) 125 cm

18. (1)  $5.2 \text{ m/s}$  (2) 432 N

学业水平测试(B)

1. AC 2. BCD 3. AB 4. BCD 5. AD  
6. ACD 7. BCD 8. B 9. ABD 10. AC

11. (1) 低 2. 0.5 s (2) 0.998 0 (3)  $\frac{4\pi^2 L}{T^2}$   
(4) A

12. (1) 0.25  $4.8 \times 10^{-7}$  (2) D

13. (1)  $x = 5 \sin \frac{\pi}{2} t \text{ cm}$  (2) 加速度变大, 速

度变小, 动能减小, 弹性势能增大 (3) 总位移  $x = 0$ , 路程  $s = 5 \text{ m}$

14. (1)  $105^\circ$  (2)  $\frac{\sqrt{3}}{3} R$   $45^\circ$

15. (1) 3 m/s (2) 12 J

16. (1) 10 m/s (2) 1.1 s (3) 0.9 m