

第七单元 动 量

考点基础巩固卷

1. D 必刷知识 ▶ 动量定理的应用

【深度解析】由于篮球传过来时速度一定,因此接球过程中,篮球对手的冲量以及篮球的动量变化量都相同,A、B 错误;在球的速度一定时,这种接球方式是通过增加球与手接触的时间,从而减小球对手的作用力大小,C 错误,D 正确。

2. C 必刷知识 ▶ 冲量+做功+机械能

【深度解析】运动员从离水平网面 3 m 高处由静止自由下落,着网后沿竖直方向回到离水平网面 5 m 高处,初、末位置动能都为零,但末位置重力势能大于初位置重力势能,运动员的机械能增加了,故机械能不守恒,A 错误;弹性网弹力先对运动员做负功,再做正功,但总体为零,运动员的机械能增加是运动员本身对自己做功的缘故,B 错误;根据动量定理可知,运动员初、末速度都为零,故动量的变化量为零,合外力的冲量为零,故弹性网弹力对运动员的冲量大小等于运动员重力的冲量大小,C 正确,D 错误。

3. C 必刷模型 ▶ 斜面模型中冲量和动量的计算

【深度解析】物体在下滑过程中只有重力做功,而重力做功只与高度差有关,故两种情况下物体重力做功相等,由 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 得两种情况下物体到达斜面底端的速度大小是相等的,又因倾角小的斜面上的物体的加速度小,所以在倾角越小的斜面,物体下滑的时间越长,所以两种情况下重力作用的时间不相等,重力的冲量也不相等,故 A 错误;物体在两种情况下到达斜面底端的速度大小相等、方向不同,所以两物体到达斜面底端时动量不同,动量的水平分量也不同,根据动量定理 $I = \Delta p = mv - 0$,可知两物体所受合力的冲量大小相等、方向不同,故 B、D 错误,C 正确。

易错警示

本题容易忽略动量的矢量性。动量是状态量也是矢量,既要注意它的瞬时性,也要注意它的方向性。

4. A 必刷知识 ▶ 动量定理的运用

【深度解析】在安全带对人有拉力前,人做自由落体运动,此过程机械能守恒,故有 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$,即在产生拉力瞬间速度 $v = \sqrt{2gh}$,之后人在安全带的作用下做变速运动,末速度为零,设向下为正方向,则根据动量定理可得 $mgt - \bar{F}t = 0 - mv$,联立解得 $\bar{F} = \frac{m\sqrt{2gh}}{t} + mg$,故选 A。

5. D 必刷知识 ▶ 流体问题中动量定理的应用

【深度解析】设时间 t 内有体积为 V 的水打在钢板上, 这些水的质量 $m = \rho V = \rho \cdot Svt = \frac{1}{4}\pi d^2 \rho vt$, 以这部分水为研究对象, 它受到钢板的作用力大小为 F , 以水运动的方向为正方向, 由动量定理可得 $-Ft = 0 - mv$, 解得 $F = \frac{mv}{t} = \frac{1}{4}\pi \rho d^2 v^2$, 根据牛顿第三定律, 钢板受到水的冲力大小 $F' = F$, 故选 D。

6. D 必刷知识 ▶ 动量定理的应用

【深度解析】在时间 t 内, 与小明作用的风的质量 $m = \rho V = \rho Svt$, 以风的方向为正方向, 根据动量定理有 $-Ft = 0 - mv$, 解得小明对风的作用力大小 $F = \rho S v^2$, 根据牛顿第三定律, 小明受到风的压力大小 $F' = F$, 故选 D。

7. D 必刷知识 ▶ 动量守恒+能量守恒问题

【深度解析】整个过程中, 对小物块和箱子根据动量守恒定律有 $mv = (m+M)v'$, 最终小物块和箱子的共同速度 $v' = \frac{mv}{M+m}$, 损失的动能 $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}(M+m)v'^2 = \frac{mMv^2}{2(m+M)}$, A、B 错误; 根据能量守恒定律可知, 系统损失的动能等于因摩擦产生的热量, 所以系统损失的动能 $\Delta E_k = NfL = N\mu mgL$, C 错误, D 正确。

8. D 必刷知识 ▶ 子弹打木块模型+动量守恒定律

【深度解析】设子弹的初速度大小为 v , 子弹射入滑块后与滑块的共同速度大小为 v' , 取向右为正方向, 根据动量守恒定律可知 $mv = (m+M)v'$, 解得 $v' = \frac{mv}{m+M}$, 由于两滑块质量相同, 子弹质量也相同, 则子弹射入滑块后与滑块的共同速度也相同, A 错误; 子弹的质量相同, 初、末速度相同, 则子弹的动量变化量相等, 根据动量定理 $Ft = \Delta p$ 可知, 子弹受到的阻力的冲量相同, B 错误; 根据能量守恒定律可知, 两过程中系统产生的热量等于系统减少的机械能, 故两过程系统产生的热量相同, 其中子弹在 A 中受到的平均阻力是在 B 中所受平均阻力的两倍, 由 $Q = fd$ 可知子弹射入滑块 B 中的深度是射入滑块 A 中深度的两倍, C 错误; 根据动能定理可知, 子弹对滑块做的功等于滑块动能的增加量, 两滑块质量相同, 末速度相同, 末动能相同, 则子弹对滑块 A 做的功和对滑块 B 做的功相等, D 正确。

9. C 必刷知识 ▶ 动量守恒结合运动图像分析

【深度解析】 $x-t$ 图像斜率表示速度, 可知碰后两物体的运动方向相反, A 错误; 碰撞后 B 的速度大小为 $v_2 = \frac{8-4}{3-1} \text{ m/s} = 2 \text{ m/s}$, B 错误; 碰撞后 A 的速度为 $v_1 = \frac{2-4}{3-1} \text{ m/s} = -1 \text{ m/s}$, 碰撞前 A 的速度为 $v_0 = \frac{4}{1} \text{ m/s} = 4 \text{ m/s}$, 碰撞前 B 的速度为零, 根据动量守恒定律得 $m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$, 代入数据得 $m_1 : m_2 = 2 : 5$, C 正确; 两物体碰撞前的总动能为 $E_k = \frac{1}{2}m_1 v_0^2$, 碰撞后

的总动能为 $E'_k = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$, 代入数据比较可得 $E_k > E'_k$,

两物体碰撞前后有机械能损失, 故 **D** 错误。

10. B 必刷知识 ▶ 板块模型中的动量守恒

【深度解析】从小物块开始运动至压缩弹簧最短时, 物块减速运动, 木板加速运动; 当弹簧被压缩到最短时, 木板与物块共速, 之后木板与物块受到的摩擦力反向, 物块继续减速, 木板继续加速; 当弹簧弹力与木板与物块受到的摩擦力大小相等之后, 物块加速, 木板减速; 最终, 当物块滑到木板最右端时, 物块与木板共速, 一起向左匀速运动, 则木板先加速再减速, 最终匀速运动, **A** 错误。当弹簧被压缩到最短时, 弹簧的弹性势能最大, 此时物块与木板第一次共速, 将物块、弹簧和木板看成一个系统, 由动量守恒定律可得

$mv_0 = (m+M)v$, 得 $v = \frac{mv_0}{m+M}$, 从物块开始运动到弹簧被压缩

到最短, 由能量守恒定律可得弹簧的弹性势能 $E_p = \frac{1}{2}mv_0^2 -$

$\frac{1}{2}(m+M)v^2 - W_f$, 从开始运动到物块到达木板最右端, 由能

量守恒定律可得 $2W_f = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(m+M)v^2$, 得 $W_f =$

$\frac{Mmv_0^2}{4(m+M)}$, 则最大的弹性势能为 $E_p = \frac{Mmv_0^2}{4(M+m)}$, **B** 正确。根

据动量定理, 整个过程中物块所受合力的冲量为 $I = mv -$

$mv_0 = -\frac{Mmv_0}{M+m}$, 由于木板和弹簧的作用力不是物块受到的合

力, 所以木板和弹簧对物块的冲量大小不是 $\frac{Mmv_0}{M+m}$, **C** 错

误。由题意可知, 物块与木板之间的摩擦力为 $F_f = \mu mg$, 系

统克服摩擦力做的功为 $W_f = F_fx_{\text{相对}}$, 则 $x_{\text{相对}} = \frac{W_f}{F_f} =$

$\frac{Mv_0^2}{4\mu(M+m)g}$, 即弹簧压缩到最短时, 物块到木板最右端的

距离为 $\frac{Mv_0^2}{4\mu(M+m)g}$, **D** 错误。

11. (1) CE (2) $m_1x_2 = m_1x_1 + m_2x_3$ (3) A. $\frac{m_1}{y_2} = \frac{m_1}{y_3} + \frac{m_2}{y_1}$ B. 见

解析

必刷方法 ▶ 利用平抛法验证动量守恒实验

【深度解析】(1) 安装的轨道不必光滑, 因为 A 球每次与轨道的摩擦力均相同, 为了让小球做平抛运动, 末端必须水平, **A** 错误; 实验前不必测出斜槽末端距地面的高度, 保持高度不变即可, **B** 错误; 为了防止 A 球反弹回去, 实验中两个小球的质量应满足 $m_1 > m_2$, **C** 正确; 除了图中器材外, 完成本实验还必须使用的器材是天平、刻度尺, 不需要秒表, **D** 错误; B 球被碰后的落点平均位置一定是 N 点, **E** 正确。

(2) 若两球碰撞前后动量守恒, 根据动量守恒定律得 $m_1 \cdot$

$$\frac{x_2}{t} = m_1 \cdot \frac{x_1}{t} + m_2 \cdot \frac{x_3}{t}, \text{解得 } m_1 x_2 = m_1 x_1 + m_2 x_3。$$

(3) A. 根据平抛运动规律得 $x = v_0 t, y = \frac{1}{2} g t^2$, 解得 $v_0^2 = \frac{g x^2}{2 y}$,

若碰撞前后两球的总动能相等, 则根据动能定理有 $\frac{1}{2} m_1 \times$

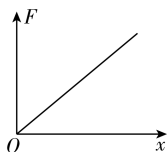
$$\frac{g x^2}{2 y_2} = \frac{1}{2} m_1 \times \frac{g x^2}{2 y_3} + \frac{1}{2} m_2 \times \frac{g x^2}{2 y_1}, \text{整理得 } \frac{m_1}{y_2} = \frac{m_1}{y_3} + \frac{m_2}{y_1}。$$

B. 这种碰撞不是偶然的, 有很大可能。因为碰撞后 A 球做平抛运动, 其竖直方向做自由落体运动, B 球碰墙前是平抛运动, 墙的弹力是水平的, 不改变 B 球竖直方向上的运动, B 球在竖直方向上一直做自由落体运动, 两个球竖直方向都做自由落体运动, 始终在同一水平面上, 很大可能发生碰撞。

12. (1) 见解析 (2) $\sqrt{2gH}$ (3) $mgt + 2m \sqrt{2gH}$

必刷知识 ▶ 胡克定律+机械能守恒定律+动量定理

【深度解析】(1) 根据胡克定律得 $F = kx$, 所以 F 随 x 的变化示意图如图所示。



(2) 小孩从高 H 处下落至刚接触蹦床过程, 由机械能守恒定律有

$$mgH = \frac{1}{2} mv^2$$

得速度大小 $v = \sqrt{2gH}$ 。

(3) 以竖直向下为正方向, 接触蹦床的过程中, 根据动量定律有 $mgt - I = -mv - mv$,

可得蹦床对小孩的冲量大小为 $I = mgt + 2m \sqrt{2gH}$ 。

13. (1) 0.2 m (2) 8 m/s (3) 15 m

必刷知识 ▶ 运动与动量守恒的结合

【深度解析】(1) 设开始时滑块 A 的加速度大小为 a , 有

$$m_1 g \sin \theta + \mu_1 m_1 g \cos \theta = m_1 a,$$

解得 $a = 10 \text{ m/s}^2$,

滑块 A 达到与传送带共速时的时间 $t = \frac{v_0}{a} = 0.2 \text{ s}$,

A 与传送带共速所经过的位移 $x_1 = \frac{1}{2} at^2 = 0.2 \text{ m}$ 。

(2) 滑块 A 与物块 B 共速后, 因为 $m_1 g \sin \theta > \mu_1 m_1 g \cos \theta$,

可知滑块 A 继续加速, 设加速度大小为 a_1 , 有

$$m_1 g \sin \theta - \mu_1 m_1 g \cos \theta = m_1 a_1,$$

解得 $a_1 = 2 \text{ m/s}^2$,

设 A 滑到传送带底端的速度大小为 v , 有 $2a_1(L - x_1) = v^2 - v_0^2$,

解得 $v=6\text{ m/s}$,

A 与 B 碰撞时由动量守恒定律以及能量守恒定律,有

$$m_1 v = m_1 v_1 + m_2 v_2,$$

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

解得 $v_1=2\text{ m/s}$, $v_2=8\text{ m/s}$,

即物块 B 的速度大小 $v_2=8\text{ m/s}$ 。

(3) 对滑块 A 由动能定理有 $-\mu_2 m_1 g s_A = 0 - \frac{1}{2} m_1 v_1^2$,

对物块 B 由动能定理有 $-\mu_2 m_2 g s_B = 0 - \frac{1}{2} m_2 v_2^2$,

滑块 A 与物块 B 都停止运动后,二者之间的距离 $d=s_B-s_A$,

联立并代入数据解得 $d=15\text{ m}$ 。



单元综合提升卷

1. D 必刷知识 ▶ 冲量的概念

选项	分析	正误
A	物体在 $0\sim 2\text{ s}$ 匀加速, $2\sim 4\text{ s}$ 匀减速, 位移一直增大	×
B	物体在 4 s 末速度为零, 由动能定理可知, $0\sim 4\text{ s}$ 内拉力对物体做功为零	×
C	$0\sim 2\text{ s}$ 物体受到恒力作用, 由动量定理 $I=Ft$ 可知, 物体在 2 s 末的动量不为零	×
D	$0\sim 4\text{ s}$ 内拉力对物体的冲量为 $I=(-1\times 2+1\times 2)\text{ N}\cdot\text{s}=0$	√

2. A 必刷知识 ▶ 动量守恒定律

【深度解析】由题意知, 航天员返回飞船时的速度大小为 $v_0 =$

$\frac{x}{t}$, 喷气过程系统动量守恒, 以航天员的速度方向为正方向,

由动量守恒定律得 $(M-\Delta m)v_0 - \Delta m \cdot v = 0$, 解得 $\Delta m = \frac{Mv_0}{v+v_0} <$

$\frac{Mv_0}{v} = \frac{Mx}{vt}$, **A 正确**; 由以上分析得 $v_0 = \frac{\Delta m}{M-\Delta m}v$, 若高压气源喷

出气体的质量不变但速度变大, 则 v_0 变大, 故返回时间小于 t , **B 错误**; 若高压气源喷出气体的速度变大但动量不变, 根据

$p=\Delta m \cdot v$, 可知 Δm 减小, 故 v_0 减小, 则返回时间大于 t , **C 错误**; 在喷气过程中, 航天员、装备及气体所构成的系统动量守恒, 整个系统的动能增加, 故系统机械能不守恒, **D 错误**。

3. D 必刷知识 ▶ 结合 $v-t$ 图像比较冲量的大小

【深度解析】由题意可知, AB 与 CD 平行, 说明推力撤去后两物体的加速度相等, 而撤去推力后物体的合力等于摩擦力, 根据牛顿第二定律可知, 两物体受到的摩擦力大小相等, 但 a 运动的总时间小于 b 运动的总时间, 根据 $I=ft$ 可知, a 物体所受摩擦力的冲量小于 b 物体所受摩擦力的冲量, 故 **C 错**

误;根据动量定理,对整个过程研究得 $F_1 t_1 - f t_B = 0$, $F_2 t_2 - f t_D = 0$,由题图知, $t_B < t_D$,则有 $F_1 t_1 < F_2 t_2$,即 F_1 的冲量小于 F_2 的冲量,故 **A、B 错误**;根据动量定理可知,合外力的冲量等于物体动量的变化量, a 、 b 两物体动量的变化量都为零,所以两物体所受合外力的冲量相等,故 **D 正确**。

4. C 必刷知识 ▶ 动量定理的应用

【深度解析】对离子,根据动量定理有 $F \cdot \Delta t = \Delta m \cdot v$,而 $\Delta m = 3.0 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \Delta t$ (kg),解得 $F = 0.09$ N,由牛顿第三定律得探测器获得的平均推力大小 $F' = F = 0.09$ N,故选 **C**。

5. D 必刷知识 ▶ 力和运动、动量综合

【深度解析】根据题图乙可知, $0 \sim 1$ s 内, P 受到向左的摩擦力做匀减速直线运动,根据牛顿第二定律有 $f_p = ma_p$, P 和 Q 加速度大小相等,又 P 、 Q 质量相等,所以 P 、 Q 所受合力大小相等,方向相反,所以平板车 Q 只受物块 P 的滑动摩擦力作用, $1 \sim 2$ s 内, P 和 Q 一起做匀速直线运动,均不受摩擦力作用, **A 错误**; $0 \sim 2$ s 内,平板车 Q 受到的摩擦力的冲量大小为 $I = mv = 1$ N·s, **B 错误**; 1 s 时, P 和 Q 保持相对静止,此时 $\Delta x = x_p - x_q = \frac{1}{2} \times 2 \times 1$ m = 1 m,即 P 处于 Q 的中间位置, **C 错误**;根据牛顿第二定律有 $f = \mu mg = ma$, $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 1$ m/s²,所以 $\mu = 0.1$, **D 正确**。

6. A 必刷知识 ▶ 动量定理

【深度解析】“直-9”直升机在悬停在空中,所受合力为零,故受到空气的作用力大小为 $F = Mg$,方向竖直向上, **A 正确**;“直-9”直升机悬停在空中,空气对“直-9”直升机的作用力大小为 Mg ,故空气对“直-9”直升机的冲量不为零, **B 错误**;以空气为研究对象,设在 t 时间内有质量为 m 的空气被推动,获得速度 v ,根据动量定理可得 $F' t = mv$,在 t 时间内,飞机发动机对质量为 m 的空气做功为 $W = \frac{1}{2} mv^2$,则发动机的功率为 $P = \frac{W}{t} = \frac{\frac{1}{2} mv^2}{t} = \frac{1}{2} \left(\frac{mv}{t} \right) v = \frac{1}{2} F' v = \frac{1}{2} Mgv$, **C 错误**;设单位时间内被螺旋桨向下推出的空气质量为 m_0 ,根据动量定理可得 $F' \Delta t = mv = m_0 \Delta t \cdot v$,则 $m_0 = \frac{F' \Delta t}{v \Delta t} = \frac{Mg}{v}$, **D 错误**。

7. C 必刷模型 ▶ 子弹打木块和“绳摆”模型

【深度解析】子弹射入木块后的瞬间,子弹和木块组成的系统动量守恒,设子弹射入木块后的瞬间二者的速度大小为 v_1 ,则有 $m_0 v_0 = (M + m_0) v_1$,解得 $v_1 = \frac{m_0 v_0}{m_0 + M}$, **A 错误**;设圆环到木块的距离为 L ,子弹射入木块后的瞬间,根据牛顿第二定律可得 $T - (M + m_0)g = (M + m_0) \frac{v_1^2}{L}$,可知轻绳拉力大于 $(M + m_0)g$, **B 错误**;子弹射入木块后的瞬间,对子弹、木块和圆环整体,

有 $N = T + mg > (M + m + m_0)g$, 根据牛顿第三定律可知环对轻杆的压力大于 $(M + m + m_0)g$, **C 正确**; 子弹射入木块之后, 圆环、木块和子弹构成的系统只在水平方向动量守恒, **D 错误**。

关键点拨

由于子弹打木块的过程时间极短, 子弹和木块组成的系统动量守恒; 子弹打入木块后, 子弹、木块和圆环组成的系统在水平方向上动量守恒。

8. C 必刷知识 ▶ 运动图像和动量守恒的结合

【深度解析】由 $x-t$ 图像可知碰撞前 A 的速度为 $v_A = \frac{4-10}{2} \text{ m/s} = -3 \text{ m/s}$, 碰撞前 B 的速度 $v_B = \frac{4-0}{2} \text{ m/s} = 2 \text{ m/s}$, 碰撞后 $A、B$ 整体的速度为 $v_C = \frac{2-4}{2} \text{ m/s} = -1 \text{ m/s}$, 根据动量守恒定律可得 $m_B v_B + m_A v_A = (m_A + m_B) v_C$, 代入数据得 $m_B = \frac{4}{3} \text{ kg}$, 所以碰撞前的总动量为 $m_B v_B + m_A v_A = -\frac{10}{3} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, **A 错误**; 碰撞时 A 对 B 的冲量即为 B 的动量变化量, 则 $\Delta p_B = m_B v_C - m_B v_B = -4 \text{ N} \cdot \text{s}$, **B 错误**; 根据动量守恒定律可知 $\Delta p_A = -\Delta p_B = 4 \text{ N} \cdot \text{s} = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, **C 正确**; 碰撞过程中 $A、B$ 两球组成的系统损失的动能为 $\Delta E_k = \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 - \frac{1}{2} (m_A + m_B) v_C^2 = 10 \text{ J}$, **D 错误**。

9. D 必刷知识 ▶ 动量守恒和能量守恒分析

【深度解析】设物体 A 的质量为 m_A , 物体 A 压缩弹簧到最大压缩量 x 时, A 的动能全部转化为弹簧的弹性势能, 则 $E_p = \frac{1}{2} m_A v_0^2$, 当 A 以 $2v_0$ 的速度向右运动压缩弹簧的过程, $A、B$ 及弹簧组成的系统动量守恒, 当 $A、B$ 共速 (设为 v) 时, 弹簧达到最大压缩量, 也为 x , 有 $m_A \times 2v_0 = (m_A + m) v$, 由动能定理有 $\frac{1}{2} m_A (2v_0)^2 - \frac{1}{2} (m_A + m) v^2 = E_p$, 联立解得 $m_A = 3m$, $E_p = \frac{3}{2} m v_0^2$, $v = \frac{3}{2} v_0$, **A、B 错误**; 在题图乙中, 弹簧压缩量最大时, A 的速度大小为 $\frac{3}{2} v_0$, 此时 A 的动量大小为 $p = 3m \times \frac{3}{2} v_0 = \frac{9mv_0}{2}$, **C 错误**; 题图乙中, 系统在水平方向的动量始终守恒, 设弹簧恢复原长时, 物体 $A、B$ 的速率分别为 $v_1、v_2$, 根据动量守恒定律可得 $3m \times 2v_0 = 3mv_1 + mv_2$, 根据能量守恒定律可得 $\frac{1}{2} \times 3m \times (2v_0)^2 = \frac{1}{2} \times 3mv_1^2 + \frac{1}{2} mv_2^2$, 联立可解得 $v_1 = v_0$, $v_2 = 3v_0$, **D 正确**。

10. B 必刷知识 ▶ 动量守恒与能量守恒的综合应用

【深度解析】滑块沿弧槽下滑过程中, 滑块在竖直方向有加速度, 弧槽在竖直方向没有加速度, 滑块、弧槽组成的系统在竖直方向的合外力不为零, 故滑块、弧槽组成的系统动量

不守恒, **A 错误**; 滑块沿弧槽下滑过程中, 滑块、弧槽组成的系统在水平方向不受力, 水平方向动量守恒, 设滑块下滑到达底端时, 滑块的速度大小为 v_1 , 弧槽的速度大小为 v_2 , 则有 $mv_1 = 3mv_2$, 滑块沿弧槽下滑过程中, 滑块、弧槽组成的系统机械能守恒, 则有 $mgh = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2} \times 3mv_2^2$, 联立解得 $v_1 = 3\sqrt{\frac{gh}{6}}, v_2 = \sqrt{\frac{gh}{6}}$, 滑块压缩弹簧, 当速度变为零时, 弹簧弹性势能最大, 则有 $E_{\text{pmax}} = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}m \cdot \left(3\sqrt{\frac{gh}{6}}\right)^2 = \frac{3}{4}mgh$, **B 正确**; 根据系统机械能守恒可知, 滑块离开弹簧向左的速度大小 $v'_1 = v_1 = 3\sqrt{\frac{gh}{6}}$, 滑块滑上弧槽, 当滑块上升至最高点时, 两者具有共同的水平速度 v , 根据系统水平方向动量守恒可得 $mv'_1 + 3mv_2 = (m + 3m)v$, 根据系统机械能守恒可得 $mgh' = \frac{1}{2}mv_1'^2 + \frac{1}{2} \times 3mv_2^2 - \frac{1}{2}(m + 3m)v^2$, 联立解得滑块沿弧槽上升的最大高度为 $h' = \frac{1}{4}h$, **C 错误**; 设滑块滑上弧槽到再一次离开时, 滑块的速度大小为 v_3 , 弧槽的速度大小为 v_4 , 根据系统水平方向动量守恒可得 $mv'_1 + 3mv_2 = mv_3 + 3mv_4$, 根据系统机械能守恒可得 $\frac{1}{2}mv_1'^2 + \frac{1}{2} \times 3mv_2^2 = \frac{1}{2}mv_3^2 + \frac{1}{2} \times 3mv_4^2$, 联立解得 $v_3 = 0, v_4 = 2\sqrt{\frac{gh}{6}}$, 可知滑块再一次离开弧槽时, 滑块的速度为零, 故滑块不可能和弹簧发生作用, **D 错误**。

- 11. (1) 大于 (2) 65.0 (3) ABD (4) $m_A OP = m_A OM + m_B ON$**

必刷知识 ▶ 利用平抛法考查验证动量守恒实验

【深度解析】(1) 为了防止两球碰撞后入射球反弹, 入射球的质量应大于被碰球的质量, 即 m_A 大于 m_B 。

(2) 在题图乙中画包括所有落点的最小圆, 圆心即为所有落点的平均值, 约为 65.0 cm。

(3) 两球离开水平槽后做平抛运动, 在空中的运动时间相等, 如果碰撞过程动量守恒, 则有 $m_A OP = m_A OM + m_B ON$, 因此实验需要测量小球的水平位移和小球的质量, 故选 A、B、D。

(4) 验证的表达式为 $m_A OP = m_A OM + m_B ON$ 。

- 12. (1) $\frac{2}{9}$ s (2) 272 N · s 方向与碰前前方垫子的速度方向相同**

必刷知识 ▶ 匀变速直线运动规律 + 动量守恒定律 + 动量定理

【深度解析】(1) 设游客和垫子构成的整体追上前方垫子所需的时间为 t , 则有 $v_1 t - \frac{1}{2}at^2 = x_0 + v_2 t$,

代入数据解得 $t = \frac{2}{9}$ s ($t = 4$ s 不合题意, 舍去)。

(2) 游客和垫子构成的整体追上前方垫子时的速度大小

$$v_0 = v_1 - at = 20 \text{ m/s} - 9 \times \frac{2}{9} \text{ m/s} = 18 \text{ m/s},$$

规定 v_0 的方向为正方向, 游客和垫子构成的整体与前方垫子相碰前后动量守恒, 由动量守恒定律有

$$(m_1 + m_0)v_0 + m_0v_2 = (m_1 + m_0 + m_0)v,$$

解得游客和垫子构成的整体与前方垫子一起运动的速度大小 $v = 14.6 \text{ m/s}$,

设碰撞瞬间冲击力对前方垫子的冲量大小为 I ,

对前方垫子, 由动量定理有 $I = m_0v - m_0v_2$,

解得 $I = 272 \text{ N} \cdot \text{s}$, 方向与碰前前方垫子的速度方向相同。

关键点拨

解答本题的关键是从游客坐在垫子在彩虹滑道上的运动抽象出匀变速直线运动、碰撞的运动模型, 再根据运动模型对应规律列方程求解。

13. (1) 2 m/s (2) 0.2 m (3) 7.2 J

必刷模型 ▶ 板块模型 + 碰撞

【深度解析】(1) 从 A 滑上 C 到 A 、 B 碰撞前的瞬间, A 做匀减速直线运动, 加速度大小为

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

B 、 C 整体做匀加速直线运动, 加速度大小为

$$a_{BC} = \frac{\mu mg}{M+m} = 0.5 \text{ m/s}^2,$$

设从 A 滑上 C 到 A 、 B 碰撞的时间为 t_1 , 根据匀变速直线运动的规律, 结合几何关系有

$$v_0 t_1 - \frac{1}{2} a_A t_1^2 = L + \frac{1}{2} a_{BC} t_1^2,$$

解得 $t_1 = 2 \text{ s}$,

根据速度—时间关系有 $v_{A1} = v_0 - a_A t_1$,

解得 $v_{A1} = 2 \text{ m/s}$ 。

(2) A 、 B 碰撞前的瞬间, B 、 C 的共同速度大小

$$v_{BC} = a_{BC} t_1 = 1 \text{ m/s},$$

设 A 、 B 碰撞后的瞬间, A 、 B 的速度大小分别为 v_{A2} 与 v_{B2} , 根据动量守恒定律有

$$mv_{A1} + mv_{BC} = mv_{A2} + mv_{B2},$$

根据机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2} mv_{A1}^2 + \frac{1}{2} mv_{BC}^2 = \frac{1}{2} mv_{A2}^2 + \frac{1}{2} mv_{B2}^2,$$

解得 $v_{A2} = 1 \text{ m/s}$, $v_{B2} = 2 \text{ m/s}$,

此后, B 做匀减速直线运动, A 、 C 一起做匀加速直线运动, 最终三者速度相等, 根据动量守恒定律有

$$mv_0 = (m+m+M)v,$$

解得 $v = 1.2 \text{ m/s}$,

A 、 B 碰撞后, B 做匀减速直线运动的加速度大小为

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

A 、 B 碰撞后, B 通过的位移大小为 $x_B = \frac{v_{B2}^2 - v^2}{2a_B} = 0.64 \text{ m}$,

A 、 B 碰撞后, A 、 C 一起做匀加速直线运动的加速度大小为

$$a_{AC} = \frac{\mu mg}{M+m} = 0.5 \text{ m/s}^2,$$

A 、 B 碰撞后, C 通过的位移大小为

$$x_C = \frac{v^2 - v_{BC}^2}{2a_{AC}} = 0.44 \text{ m},$$

所以 $x = x_B - x_C = 0.2 \text{ m}$ 。

(3) A 、 B 碰撞前, A 、 C 间因摩擦产生的热量为

$$Q_1 = \mu mgL = 7 \text{ J},$$

A 、 B 碰撞后, B 、 C 间因摩擦产生的热量为

$$Q_2 = \mu mgx = 0.2 \text{ J},$$

所以 $Q = Q_1 + Q_2 = 7.2 \text{ J}$ 。

14. (1) 4 m/s (2) 0.5 J (3) 10 (4) 11 m

必刷方法 ▶ **累积法+传送带模型**

【深度解析】(1) 物块 A 在下滑到斜面底端的过程中, 由动能定理得

$$m_A g L_1 \sin 37^\circ - \mu_3 m_A g L_1 \cos 37^\circ = \frac{1}{2} m_A v_A^2,$$

代入数据可得 $v_A = 4 \text{ m/s}$ 。

(2) A 、 B 两物块发生弹性碰撞, 规定水平向左为正方向, 设碰后 A 的速度为 v_{A1} , B 的速度为 v_B , 有

$$m_A v_A = m_A v_{A1} + m_B v_B,$$

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 = \frac{1}{2} m_A v_{A1}^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2,$$

代入数据得 $v_B = 3 \text{ m/s}$,

物块 B 在传送带上运动的速度大于传送带速度, 物块 B 做匀减速运动, 对物块 B 有

$$-\mu_1 m_B g = m_B a_B$$

解得 $a_B = -\mu_1 g = -2 \text{ m/s}^2$,

设物块 B 经时间 t_1 后, 速度与传送带速度相等, 设向左运动的位移为 x , 则有

$$t_1 = \frac{v - v_B}{a_B} = 0.5 \text{ s}, x = \frac{v_B + v}{2} t_1 = 1.25 \text{ m},$$

此过程传送带向左的位移 $s_1 = vt_1 = 1 \text{ m}$,

由于 $x < L_2$, 物块 B 与传送带速度相等后与传送带一起做匀速运动,

因此物块 B 与传送带间因摩擦而产生的热量

$$Q = \mu_1 m_B g (x - s_1),$$

代入数据得 $Q = 0.5 \text{ J}$ 。

(3) 物块 B 与物块 C 在传送带左端发生弹性碰撞, 取向左为正方向, 有

$$m_B v = m_B v_{B1} + m_C v_{C1},$$

$$\frac{1}{2} m_B v^2 = \frac{1}{2} m_B v_{B1}^2 + \frac{1}{2} m_C v_{C1}^2,$$

代入数据得 $v_{B1}=0, v_{C1}=2\text{ m/s}$,

由此可知,以后每次 B 与 C 相碰,速度都发生交换。对物块 C ,设来回运动了 n 次,由动能定理可知

$$-\mu_2 m_c g \times 2ns = 0 - \frac{1}{2} m_c v_{C1}^2,$$

代入数据得 $n=10$ 。

(4) 设物块 C 第 k 次返回至传送带左端时速度平方大小为 v_k^2 ,由运动学公式得

$$v_k^2 = v_{C1}^2 - 2\mu_2 g \times 2ks = 4 - 0.4k (\text{m}^2/\text{s}^2) (k=1, 2, \cdots, 10),$$

物块 B 获得速度后在传送带上先向右做匀减速运动,后向左做匀加速运动,回到传送带左端时速度大小不变,物块 B 第 k 次在传送带上来回一次运动的路程

$$x_k = \frac{v_k^2}{2\mu_1 g} \times 2 = 2 - 0.2k (\text{m}) (k=1, 2, \cdots, 10),$$

所以整个过程物块 B 在传送带上滑行的总路程

$$x_{\text{总}} = L_2 + (x_1 + x_2 + \cdots + x_{10}),$$

代入数据得 $x_{\text{总}} = 11\text{ m}$ 。