

第七章 动量守恒定律

第 1 讲 动量和动量定理

课标要求

理解冲量和动量；理解动量定理，能用其解释生产生活中的有关现象。

必备知识·强基固本

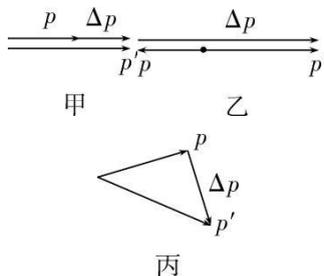
一、动量、动量的变化量、冲量

1. 动量

- (1) 定义：物体的质量与__的乘积。
- (2) 表达式： $p = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
- (3) 方向：动量的方向与__的方向相同。

【答案】速度； mv ；速度

2. 动量的变化量



- (1) 因为动量是矢量，所以动量的变化量 Δp 也是矢量，其方向与速度变化量 Δv 的方向__。

- (2) 动量的变化量 Δp 一般用末动量 p' 减去初动量 p 进行计算，也称为动量的增量，即 $\Delta p = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

【答案】相同； $p' - p$

3. 冲量

- (1) 定义：力与_____的乘积叫作力的冲量。
- (2) 表达式： $I = \underline{\hspace{2cm}}$ ，单位为 $\text{N} \cdot \text{s}$ ，冲量为矢量，方向与_____的方向相同。

【答案】力的作用时间； $F\Delta t$ ；力

二、动量定理

1. 内容：物体在一个过程中所受力的冲量等于它在这个过程始末的_____。

【答案】动量变化量

2. 公式: $F(t' - t) = mv' - mv$ 或_____。

【答案】 $I = p' - p$

教材挖掘. (人教版选择性必修第一册第一章第2节)

有些船上总是悬挂着许多旧轮胎(如图甲), 你知道这些旧轮胎的作用吗? 现在的轿车均安装有安全气囊, 在紧急情况下, 如剧烈碰撞时, 气囊会自动弹出(如图乙), 你知道气囊的作用吗?



甲

乙

提示: 旧轮胎和气囊均起到延长作用时间、减小作用力的作用, 即缓冲作用。

自主评价

1. 依据下面小情境, 判断下列说法对错。网球质量为 0.05kg , 以 30m/s 的水平速度飞向球拍, 被球拍打击后反向水平飞回, 速度大小变为 50m/s , 设球拍与网球的作用时间为 0.01s 。

- (1) 被球拍打击前网球的动量大小为 $1.5\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 。 ()
- (2) 被球拍打击后网球的动量大小为 $2.5\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 。 ()
- (3) 被球拍打击前后网球的动量变化了 $1\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 。 ()
- (4) 球拍给网球的冲量方向与网球的初速度方向相同。 ()
- (5) 球拍给网球的冲量大小为 $4\text{N} \cdot \text{s}$ 。 ()

【答案】 (1) \checkmark

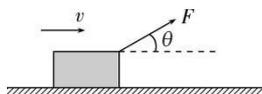
(2) \checkmark

(3) \times

(4) \times

(5) \checkmark

2. **多选** (人教版选择性必修第一册改编) 如图所示, 质量为 m 的物体在一个与水平方向成 θ 角的拉力 F 作用下, 一直沿水平面向右匀速运动, 重力加速度为 g 。则下列关于物体在时间 t 内所受力的冲量, 正确的是 ()



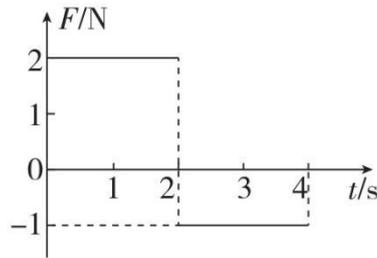
A. 重力的冲量大小为 mgt

B. 物体所受合力的冲量为 0

C. 拉力 F 的冲量大小为 $Ft\cos\theta$ D. 摩擦力的冲量大小为 $Ft\sin\theta$

【答案】AB

3. 多选 (人教版选择性必修第一册改编) 一质量为 2kg 的物块在合力 F 的作用下从静止开始沿直线运动。 F 随时间 t 变化的图线如图所示, 则 ()



- A. $t = 1\text{s}$ 时物块的速率为 1m/s
- B. $t = 2\text{s}$ 时物块的动量大小为 $4\text{kg} \cdot \text{m/s}$
- C. $t = 3\text{s}$ 时物块的动量大小为 $5\text{kg} \cdot \text{m/s}$
- D. $t = 4\text{s}$ 时物块的速度为零

【答案】AB

关键能力·核心突破

考点一 冲量、动量及动量变化量的理解

1. 动量多选 两个质量不同的物体, 如果它们的 ()

- A. 动能相等, 则质量大的动量大
- B. 动能相等, 则动量大小也相等
- C. 动量大小相等, 则质量大的动能小
- D. 动量大小相等, 则动能也相等

【答案】AC

【解析】根据动能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 可知, 动量 $p = \sqrt{2mE_k}$, 两个质量不同的物体, 当动能相等时, 质量大的动量大, A 正确, B 错误; 若动量大小相等, 则质量大的动能小, C 正确, D 错误。

2. 动量、动量变化量、冲量多选 颠球是足球的基本功之一, 足球爱好者小华在练习颠球时, 某次足球由静止自由下落 0.8m , 被重新颠起, 离开脚部后竖直上升的最大高度为 0.45m 。已知足球与脚部的作用时间为 0.1s , 足球的质量为 0.4kg , 重力加速度 g 取 10m/s^2 , 不计空气阻力, 下列说法正确的是 ()

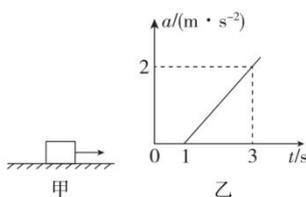


- A. 足球从下落到再次上升到最大高度，全过程用时 0.7s
- B. 足球下落到与脚部刚接触时动量大小为 $1.6\text{kg} \cdot \text{m/s}$
- C. 足球与脚部作用过程中动量变化量大小为 $0.4\text{kg} \cdot \text{m/s}$
- D. 足球从开始下落至再次上升到最大高度的过程中重力的冲量大小为 $3.2\text{N} \cdot \text{s}$

【答案】BD

【解析】根据 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 可得足球下落的时间 $t_1 = \sqrt{\frac{2 \times 0.8}{10}}\text{s} = 0.4\text{s}$ ，与脚作用的时间 $t_2 = 0.1\text{s}$ ，根据逆向思维可得足球上升的时间 $t_3 = \sqrt{\frac{2 \times 0.45}{10}}\text{s} = 0.3\text{s}$ ，足球从下落到再次上升到最大高度，全过程的时间 $t = t_1 + t_2 + t_3 = 0.8\text{s}$ ，故 A 错误；足球下落到与脚部刚接触时的速度 $v_1 = gt_1 = 4\text{m/s}$ ，足球下落到与脚部刚接触时动量大小为 $p_1 = mv_1 = 1.6\text{kg} \cdot \text{m/s}$ ，故 B 正确；足球离开脚开始上升瞬间的速度大小 $v_2 = gt_3 = 3\text{m/s}$ ，取向上为正方向，可得足球与脚部作用过程中动量变化量大小为 $\Delta p = mv_2 - (-mv_1) = 2.8\text{kg} \cdot \text{m/s}$ ，故 C 错误；足球从开始下落至再次上升到最大高度的过程中重力的冲量大小为 $I_G = mgt = 3.2\text{N} \cdot \text{s}$ ，故 D 正确。

3. **冲量的计算** 多选 如图甲所示，一滑块放在水平面上， $t = 0$ 时刻在滑块上施加一水平向右的外力 F ，已知外力随时间的变化规律为 $F = 2.5t(\text{N})$ ，滑块的加速度和时间的关系如图乙所示，假设滑动摩擦力等于最大静摩擦力，重力加速度 g 取 10m/s^2 。则下列说法正确的是 ()



- A. 滑块的质量为 2.5kg
- B. 滑块与水平面间的动摩擦因数为 0.25

C. 0~3s 时间内, 滑块所受摩擦力的冲量大小为 $6.25\text{N}\cdot\text{s}$

D. 3s 末滑块的速度大小为 6.5m/s

【答案】 AC

【解析】 由题图乙可知, $t = 1\text{s}$ 时, 滑块开始运动, 此时的拉力 F_1 大小等于滑块所受的最大静摩擦力, 由 $F = 2.5t(\text{N})$ 可知 $F_1 = 2.5\text{N}$, 则 $F_f = 2.5\text{N}$, 又最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 则滑块与水平面间的滑动摩擦力大小为 2.5N , 根据牛顿第二定律有 $F - F_f = ma$, 由题图乙知, 当 $t = 3\text{s}$ 时, $a = 2\text{m/s}^2$, $F = 7.5\text{N}$, 解得 $m = 2.5\text{kg}$, 又 $F_f = \mu mg$, 则 $\mu = \frac{F_f}{mg} = 0.1$, 故 A 正确, B 错误; 0~1s 时间内, 滑块所受摩擦力为静摩擦力, 大小由 0 均匀增大到 2.5N , 则其冲量为 $I_1 = \frac{2.5}{2} \times 1\text{N}\cdot\text{s} = 1.25\text{N}\cdot\text{s}$, 1~3s 时间内滑块所受摩擦力为滑动摩擦力, 其冲量为 $I_2 = 2.5 \times 2\text{N}\cdot\text{s} = 5\text{N}\cdot\text{s}$, 所以 0~3s 时间内, 滑块所受摩擦力的冲量大小为 $I = I_1 + I_2 = 6.25\text{N}\cdot\text{s}$, 故 C 正确; 0~3s 时间内, 由 $a - t$ 图像中图线与横轴所围的面积可知, $v = \Delta v = 2\text{m/s}$, 故 D 错误。

核心提炼

1. 动能、动量、动量变化量的比较

项目	动能	动量	动量变化量
定义	物体由于运动而具有的能量	物体的质量和速度的乘积	物体末动量与初动量的矢量差
定义式	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	$p = mv$	$\Delta p = p' - p$
标矢性	标量	矢量	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) 动能和动量都是相对量, 与参考系的选取有关, 通常选取地面为参考系;		

	(2) 若物体的动能发生变化, 则动量一定也发生变化; 但动量发生变化时动能不一定发生变化
--	---

2. 冲量的计算

公式法	利用定义式 $I = F\Delta t$ 计算冲量, 此方法仅适用于计算恒力的冲量, 不需要考虑物体的运动状态
图像法	利用 $F-t$ 图像计算, $F-t$ 图像中图线与 t 轴围成的面积表示冲量, 此法既可以计算恒力的冲量, 也可以计算变力的冲量
平均值法	若方向不变的变力, 大小随时间均匀变化, 即力为时间的一次函数, 则力 F 在某段时间 Δt 内的冲量 $I = \frac{F_1+F_2}{2}\Delta t$, F_1 、 F_2 分别为该段时间内初、末两时刻力的大小
动量定理法	如果物体受到大小或方向变化的力的作用, 不能直接用 $I = F\Delta t$ 求变力的冲量, 可以求出该力作用下物体动量的变化量, 由 $I = \Delta p$ 求变力的冲量

考点二 动量定理的理解和应用

1. 对动量定理的理解

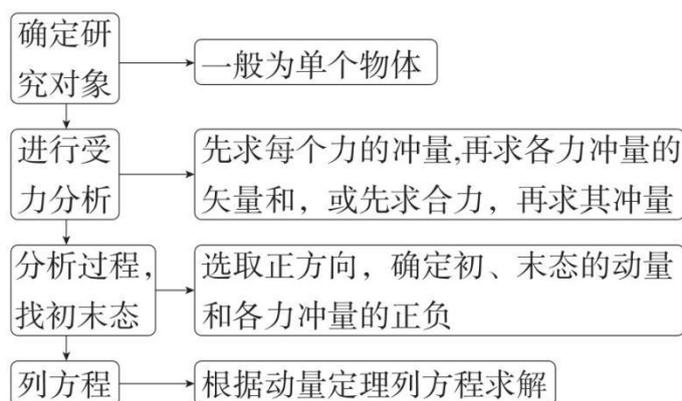
(1) 中学物理中, 动量定理研究的对象通常是单个物体。

(2) 动量定理反映了合力的冲量与动量变化量之间的因果关系, 即合力的冲量是原因, 物体的动量变化量是结果。

(3) 动量定理表达式是矢量式, 等号包含了大小相等、方向相同两方面的含义。在一维情况下, 各个矢量必须选同一个正方向。

(4) 由 $F\Delta t = p' - p$, 得 $F = \frac{p' - p}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$, 即物体所受的合力等于物体的动量的变化率。

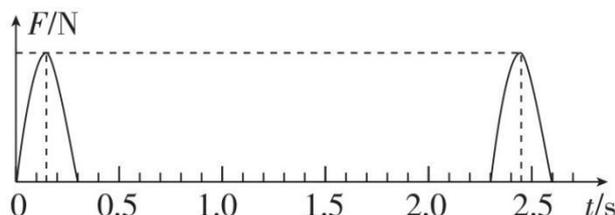
2. 解题基本思路



点拨

对过程较复杂的运动,可分段用动量定理,也可整个过程用动量定理。

例 1 [2024·全国甲卷·20,6分] 多选 蹦床运动中,质量为 60kg 的运动员在 $t = 0$ 时刚好落到蹦床上,对蹦床作用力大小 F 与时间 t 的关系如图所示。假设运动过程中运动员身体始终保持竖直,在其不与蹦床接触时蹦床水平。忽略空气阻力,重力加速度大小取 10m/s^2 。下列说法正确的是 ()



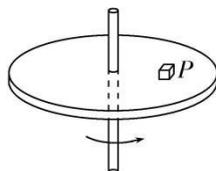
- A. $t = 0.15\text{s}$ 时,运动员的重力势能最大
- B. $t = 0.30\text{s}$ 时,运动员的速度大小为 10m/s
- C. $t = 1.00\text{s}$ 时,运动员恰好运动到最大高度处
- D. 运动员每次与蹦床接触到离开过程中对蹦床的平均作用力大小为 4600N

【答案】BD

【解析】由题图知, $t = 0.15\text{s}$ 时 F 达到最大,此时蹦床的形变量达到最大,可知 $t = 0.15\text{s}$ 时运动员运动至最低处,重力势能最小, A 错误; $t = 0.3\text{s}$ 时,运动员恰好离开蹦床, $t = 2.3\text{s}$ 时运动员又刚好接触蹦床,该段时间内运动员的运动可看作竖直上抛运动,从抛出到落回原处所用时间为 2s ,所以运动员在空中上升的时间为 1s ,根据 $v = gt$ 可知运动员在离开蹦床时速度大小为 10m/s , B 正确;运动员在最高点对应的时刻为 1.30s , C 错误;以竖直向下为正方向,运动员刚好接触蹦床时的速度 $v_1 = 10\text{m/s}$,经 0.3s 离开蹦床时的速度 $v_2 = -$

10m/s, 根据动量定理有 $mgt - \bar{F}t = mv_2 - mv_1$, 解得蹦床对运动员的平均作用力大小 $\bar{F} = 4600\text{N}$, 根据牛顿第三定律可知, D 正确。

迁移应用 1. [2021 · 北京卷 · 10, 3 分] 如图所示, 圆盘在水平面内以角速度 ω 绕中心轴匀速转动, 圆盘上距轴 r 处的 P 点有一质量为 m 的小物体随圆盘一起转动。某时刻圆盘突然停止转动, 小物体由 P 点滑至圆盘上的某点停止。下列说法正确的是 ()



- A. 圆盘停止转动前, 小物体所受摩擦力的方向沿运动轨迹切线方向
- B. 圆盘停止转动前, 小物体运动一圈所受摩擦力的冲量大小为 $2m\omega r$
- C. 圆盘停止转动后, 小物体沿圆盘半径方向运动
- D. 圆盘停止转动后, 小物体整个滑动过程所受摩擦力的冲量大小为 $m\omega r$

【答案】D

【解析】 圆盘停止转动前, 物体所受的静摩擦力提供其做匀速圆周运动的向心力, 方向沿半径指向圆心, A 错误。物体匀速转动一周受到的摩擦力是一个变力, 可用动量定理来计算摩擦力的冲量, 转动一周动量的变化量为零, $I = \Delta p = 0$, B 错误。停止转动后, 物体做离心运动, 不是沿着半径方向运动, C 错误。停止转动后, 物体初动量为 $m\omega r$, 最后物体停下来, 末动量为零, 整个过程中摩擦力的冲量大小等于动量的变化量大小, 为 $m\omega r$, D 正确。

考点三 应用动量定理巧解“柱状”模型问题

考向 1 “流体类”柱状模型

流体及其特点	通常液体流、气体流等被广义地视为“流体”, 质量具有连续性, 通常已知密度 ρ
分析步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1 建立“柱状”模型, 沿流速 v 的方向选取一段微元, 其横截面积为 S 2 微元研究, 作用时间 Δt 内的一段柱状流体的长度为 $\Delta l = v\Delta t$, 对应的质量为 $\Delta m = \rho S v \Delta t$ 3 应用动量定理研究这段柱状流体, 建立方程

例 2 [2024 · 1 月九省联考广西卷 · 10] 多选 水塔顶部有一蓄满水的蓄水池，内部水的深度用 h 表示，靠近蓄水池底部的侧壁有一个面积为 S 的小孔，水从小孔水平喷出，水流下落过程中分离成许多球状小水珠，小水珠所受空气阻力大小可近似为 $f = k\pi r^2 v^2$ ，其中 k 为比例系数， r 为小水珠半径， v 为小水珠速度（ v 未知），设重力加速度为 g ，水的密度为 ρ ，水塔足够高，则（ ）

- A. 水从小孔喷出的速度约为 $\sqrt{2gh}$
- B. 水珠最终下落速度不会超过 $\frac{2}{3}\sqrt{\frac{3\rho gr}{k}}$
- C. 小水珠在水平方向的最大位移仅由小孔离地高度和水喷出的速度决定
- D. 若用一块木板正面去堵小孔，即将堵住时水对木板的冲击力大小为 $5\rho ghS$

【答案】 AB

【解析】 质量为 m 的水从小孔喷出时，由机械能守恒定律可知 $mgh = \frac{1}{2}mv_0^2$ ，解得 $v_0 = \sqrt{2gh}$ ，故 A 正确；水珠下落速度最大时有 $mg = f$ ，即 $\rho \frac{4}{3}\pi r^3 g = k\pi r^2 v_m^2$ ，解得 $v_m = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{3\rho gr}{k}}$ ，所以水珠最终下落速度不会超过 $\frac{2}{3}\sqrt{\frac{3\rho gr}{k}}$ ，故 B 正确；不计空气阻力时，小水珠在水平方向的最大位移仅由小孔离地高度和水喷出的速度决定，由于小水珠喷出后受空气阻力的作用，所以小水珠在水平方向的最大位移与小孔离地高度和水喷出的速度以及阻力大小有关，故 C 错误；若用一块木板正面去堵小孔，设水与木板表面的作用时间为 t ，则在 t 时间内射到木板表面水的质量为 $m = \rho S v_0 t$ ，对射到木板表面的水，以水的速度方向为正方向，由动量定理得 $Ft = 0 - mv_0$ ，解得 $F = -2\rho ghS$ ，所以即将堵住时水对木板的冲击力大小为 $2\rho ghS$ ，故 D 错误。

迁移应用 2. [2024 · 安徽亳州模拟] 多选 如图所示，质量为 M 的某武装直升机旋翼有 4 片桨叶，桨叶旋转形成的圆面面积为 S 。已知空气密度为 ρ ，重力加速度大小为 g 。当直升机悬停空中时，桨叶旋转推动空气，空气获得的速度为 v_0 ，则单位时间内桨叶旋转推动空气的质量可表示为（ ）



- A. $\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho S v_0^2$
- B. $\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho S v_0$
- C. $\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{Mg}{2v_0}$
- D. $\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{Mg}{v_0}$

【答案】BD

【解析】直升机处于平衡状态，设直升机与空气间的作用力为 F ，则 $F = Mg$ ，直升机对空气的作用力与空气对直升机的作用力为一对作用力与反作用力，即 $F = F'$ ，对空气由动量定理可得 $F'\Delta t = \Delta m \cdot v_0 = \rho S v_0 \Delta t \cdot v_0$ ，解得 $\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho S v_0$ ，故B正确；由上式知 $F'\Delta t = \Delta m \cdot v_0$ ，且 $F = Mg$ ，联立解得 $\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{Mg}{v_0}$ ，故D正确。

考向2 “微粒类”柱状模型

微粒及其特点	通常电子、光子、尘埃等被广义地视为“微粒”，质量具有独立性，通常给出单位体积内的粒子数 n
分析步骤	1 建立“柱状”模型，沿运动的方向选取一段微元，其横截面积为 S
	2 微元研究，作用时间 Δt 内一段柱体的长度为 $\Delta l = v_0 \Delta t$ ，对应的体积为 $\Delta V = S v_0 \Delta t$ ，则微元内的粒子数 $N = n v_0 S \Delta t$
	3 先应用动量定理研究单个粒子，建立方程，再乘以 N 计算

例3 对于同一物理问题，常常可以从宏观与微观两个不同角度进行研究，找出其内在联系，从而更加深刻地理解其物理本质。正方体密闭容器中有大量运动粒子，每个粒子质量为 m ，单位体积内粒子数量 n 为恒量。为简化问题，我们假定粒子大小可以忽略；其速率均为 v ，且与器壁各面碰撞的机会均等；与器壁碰撞前后瞬间，粒子速度方向都与器壁垂直，且速率不变。利用所学力学知识，导出器壁单位面积所受粒子压力 f 与 m 、 n 和 v 的关系正确的是（ ）

- A. $f = \frac{1}{2} n m v^2$ B. $f = \frac{1}{3} n m v^2$ C. $f = \frac{1}{6} n m v^2$ D. $f = n m v^2$

【答案】B

【解析】以器壁上面积为 S 的部分为底、 $v\Delta t$ 为高构成柱体，由题设可知，其内有 $\frac{1}{6}$ 的粒子在 Δt 时间内与器壁上面积为 S 的部分发生碰撞，碰撞粒子总数 $N = \frac{1}{6} n \cdot S v \Delta t$ ，由动量定理得 $F\Delta t = N m v - N m (-v)$ ，由牛顿第三定律及题意可知 $f = \frac{F}{S}$ ，联立解得 $f = \frac{1}{3} n m v^2$ 。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业34

第2讲 动量守恒定律及其应用

课标要求

通过理论推导和实验，理解动量守恒定律，能用其解释生活中的有关现象；知道动量守恒定律的普适性；通过实验，了解弹性碰撞和非弹性碰撞的特点；定量分析一维碰撞问题并能解释生产生活中的弹性碰撞和非弹性碰撞现象；体会用守恒定律分析物理问题的方法，体会自然界的和谐与统一。

必备知识·强基固本

一、动量守恒定律及其应用

1. 动量守恒定律

(1) 内容：如果一个系统_____，或者所受外力的矢量和为 0，这个系统的总动量保持不变。

(2) 表达式： $m_1v_1 + m_2v_2 =$ _____或 $\Delta p_1 = -\Delta p_2$ 。

【答案】不受外力； $m_1v_1' + m_2v_2'$

2. 系统动量守恒的条件

理想守恒	系统不受外力或所受__的合力为零，则系统动量守恒
近似守恒	系统受到的合外力不为零，但当内力_____合外力时，系统的动量可近似看成守恒
分方向守恒	系统在某个方向上所受_____为零或在该方向上 $F_{内} \gg F_{外}$ 时，系统在该方向上动量守恒

【答案】外力；远大于；合外力

二、碰撞、反冲和爆炸

1. 碰撞

(1) 碰撞是指物体间的相互作用持续时间很短，而物体间相互作用力__的现象。

(2) 特点：在碰撞现象中，一般都满足内力_____外力，可认为系统动量守恒。

(3) 分类

种类	动量是否守恒	机械能是否守恒
弹性碰撞	守恒	—
非弹性碰撞	守恒	有损失
完全非弹性碰撞	守恒	损失__

【答案】很大；远大于；守恒；最大

2. 反冲和爆炸

(1) 反冲特点：在反冲运动中，如果没有外力作用或外力远小于物体间的相互作用力，系统的__是守恒的。

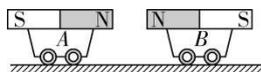
(2) 爆炸现象：爆炸与碰撞类似，物体间的相互作用力很大，且_____系统所受的外力，所以系统动量守恒。爆炸过程中位移很小，可忽略不计，作用后从相互作用前的位置以新的动量开始运动。

【答案】动量；远大于

教材挖掘。（教科版选择性必修第一册第一章第3节）

观察图示情境，两块磁铁固定在两辆小车上，构成一个系统。两小车在光滑的水平桌面上同时由静止释放，思考以下问题：（1）系统满足动量守恒吗？

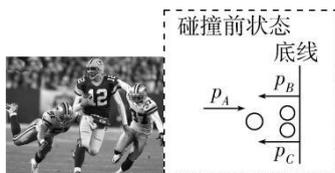
（2）系统机械能守恒吗？有哪些形式的能量相互转化？



提示：（1）水平桌面光滑，系统所受合外力为0，满足动量守恒。（2）机械能不守恒，因为涉及磁场能和动能的相互转化。

自主评价

1. 依据下面小情境，判断下列说法对错。如图所示，在橄榄球比赛中，质量为100kg的橄榄球前锋以 $v_A = 5\text{m/s}$ 的速度跑动，想穿越防守队员到底线触地得分。就在他刚要到底线时，迎面撞上了对方两名质量均为75kg的球员，一个速度为 $v_B = 2\text{m/s}$ ，另一个速度为 $v_C = 4\text{m/s}$ ，他们腾空扭在了一起。



- （1）他们碰撞后的共同速率是0.2m/s。
- （2）碰撞后这名前锋动量的方向仍向前。
- （3）这名前锋能得分。
- （4）在此过程中三名球员的总机械能损失约为5J。

【答案】（1）√

（2）√

（3）√

(4) ×

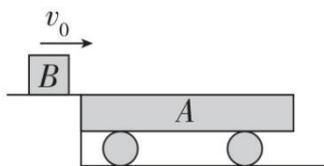
2. 多选 (鲁科版选择性必修第一册改编) 如图所示, 光滑水平面上的两玩具小车中间连接一被压缩的轻弹簧, 两手分别按住小车, 使它们静止。对于两车及弹簧组成的系统, 下列说法正确的是 ()



- A. 两手同时放开后, 系统总动量始终为 0
- B. 两手先后放开后, 系统总动量始终为 0
- C. 只有两手同时放开, 系统机械能守恒
- D. 无论先放哪只手, 系统机械能都守恒

【答案】AD

3. [教科版选择性必修第一册改编] 如图所示, 质量为 M 的小车 A 停在光滑的水平面上, 小车上表面粗糙。质量为 m 的滑块 B 以初速度 v_0 滑到小车 A 上, 已知小车足够长, 滑块不会从小车上滑落, 则小车的最终速度为 ()



- A. $\frac{m-M}{M+m} v_0$
- B. $\frac{2M}{M+m} v_0$
- C. $\frac{m}{M+m} v_0$
- D. $\frac{M-m}{M+m} v_0$

【答案】C

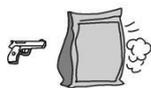
关键能力·核心突破

考点一 动量守恒定律的理解及简单应用

1. 动量守恒的判断 多选 下列相互作用的过程中, 可以认为系统动量守恒的是 ()



A. 轮滑男孩推轮滑女孩



B. 子弹击穿放在地面上的面粉袋的瞬间



C. 航天员在舱外发射子弹



D. 公路上运动的汽车发生轻微碰撞

【答案】AC

【解析】 滑轮男孩推滑轮女孩过程，两人组成的系统所受的摩擦力很小，可忽略不计，动量守恒，故 A 正确；子弹击穿面粉袋的瞬间，面粉所受地面对它的摩擦力很大，不能忽略，系统的动量不守恒，故 B 错误；航天员在太空舱外发射子弹，系统处于完全失重状态，系统动量守恒，故 C 正确；两辆汽车轻微相撞时所受地面的摩擦力不能忽略，系统动量不守恒，故 D 错误。

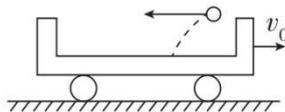
2. **动量守恒的简单应用** 甲、乙两运动员在光滑冰面上做花样滑冰表演，沿同一直线相向运动，速度大小都是 2m/s ，甲、乙相遇时用力推对方，此后都沿各自原方向的反方向运动，速度大小分别为 1m/s 和 2m/s 。则甲、乙两运动员的质量之比为 ()

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

【答案】B

【解析】 由动量守恒定律得， $m_1v_1 - m_2v_2 = m_2v'_2 - m_1v'_1$ ，解得 $\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2 + v'_2}{v_1 + v'_1} = \frac{4}{3}$ ，B 正确。

3. **某方向动量守恒** 如图所示，质量为 0.5kg 的小球在离车厢底面高度 20m 处以一定的初速度向左平抛，落在以 7.5m/s 的速度沿光滑的水平面向右匀速行驶的敞篷小车中，小车的车厢底面上涂有一层油泥，车与油泥的总质量为 4kg ，若小球落在车厢底面之前的瞬时速度是 25m/s ，则当小球和小车相对静止时，小车的速度是 (取 $g = 10\text{m/s}^2$) ()



- A. 5m/s B. 4m/s C. 8.5m/s D. 9.5m/s

【答案】A

【解析】 由平抛运动规律可知，小球下落的时间 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 20}{10}}\text{s} = 2\text{s}$ ，在竖直方向的分速度 $v_y = gt = 20\text{m/s}$ ，水平方向的分速度 $v_x = \sqrt{25^2 - 20^2}\text{m/s} =$

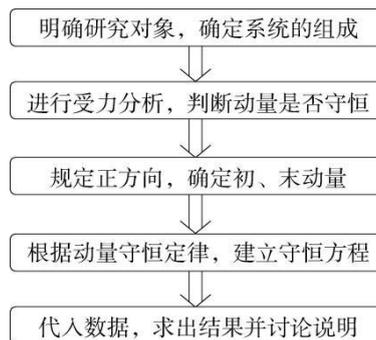
15m/s, 取小车初速度的方向为正方向, 小球和小车组成的系统水平方向上动量守恒, 则 $m_{\text{车}}v_0 - m_{\text{球}}v_x = (m_{\text{车}} + m_{\text{球}})v$, 解得 $v = 5\text{m/s}$, 故 A 正确。

核心提炼

1. 动量守恒定律的“六性”

- (1) 系统性: 研究对象是相互作用的两个或多个物体组成的系统。
- (2) 条件性: 必须满足动量守恒定律的适用条件。
- (3) 矢量性: 表达式中初、末动量都是矢量, 首先需要选取正方向, 分清各物体初、末动量的正、负。
- (4) 瞬时性: 动量是状态量, 动量守恒指对应每一时刻的总动量都和初时刻的总动量相同。
- (5) 相对性: 动量守恒定律方程中的动量必须是相对于同一惯性参考系。一般选地面为参考系。
- (6) 普适性: 不仅适用于宏观低速物体组成的系统, 也适用于微观高速粒子组成的系统。

2. 应用动量守恒定律解题的步骤



考点二 碰撞模型

1. 弹性碰撞

碰撞前后动能没有损失, 不仅动量守恒, 而且初、末动能相等。

$$(1) m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$$

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2$$

$$\text{解得 } v'_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2},$$

$$v'_2 = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}$$

$$(2) v_2 = 0 \text{ 时 (即一动碰一静), } v'_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}v_1, v'_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}v_1。$$

结论:

- ①当 $m_1 = m_2$ 时, $v'_1 = 0$, $v'_2 = v_1$ (质量相等, 速度交换)。
- ②当 $m_1 > m_2$ 时, $v'_1 > 0$, $v'_2 > 0$, 且 $v'_2 > v'_1$ (大碰小, 一起跑)。
- ③当 $m_1 < m_2$ 时, $v'_1 < 0$, $v'_2 > 0$ (小碰大, 要反弹)。
- ④当 $m_1 \gg m_2$ 时, $v'_1 = v_1$, $v'_2 = 2v_1$ (极大碰极小, 大不变, 小加倍)。
- ⑤当 $m_1 \ll m_2$ 时, $v'_1 = -v_1$, $v'_2 = 0$ (极小碰极大, 小等速率反弹, 大不变)。

2.非弹性碰撞

碰撞结束后, 动能有部分损失。

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$$

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2 + \Delta E_{k \text{ 损}}$$

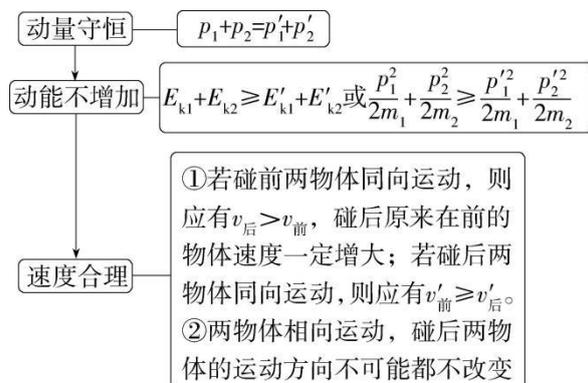
3.完全非弹性碰撞

碰撞结束后, 两物体合二为一, 以同一速度运动, 动能损失最大。

$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v$$

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 + \Delta E_{k \text{ 损 max}}$$

4.碰撞问题的“三条原则”



例 1 [2024 · 1 月九省联考甘肃卷 · 7] 游乐场里小明坐在一辆小车里, 车前方有一静止排球, 排球前面 6m 处有一面墙。小华用力推了一下小车后, 小车以 2m/s 的速度撞向排球。排球被撞后向前运动, 被墙壁反弹后再次与小车正面相撞。忽略小车、排球与地面的摩擦, 碰撞均视为弹性碰撞, 与小车两次碰撞期间, 排球运动的路程约为 ()

- A. 7m B. 8m C. 9m D. 10m

【答案】B

【解析】设小车（含小明）的质量为 m_1 ，排球的质量为 m_2 ，小车与排球第一次碰撞后的速度分别为 v_1 、 v_2 ，由动量守恒定律和机械能守恒定律，有 $m_1v_0 = m_1v_1 + m_2v_2$ ， $\frac{1}{2}m_1v_0^2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$ ，解得 $v_1 = \frac{(m_1-m_2)v_0}{m_1+m_2}$ ， $v_2 = \frac{2m_1v_0}{m_1+m_2}$ ，排球以 v_2 的速度向前做匀速直线运动，撞墙后原速率反弹，与小车相遇，发生第二次碰撞，有 $v_2t + v_1t = 2d$ ，而排球运动的路程为 $s = v_2t = \frac{24m_1}{3m_1-m_2} = \frac{24}{3-\frac{m_2}{m_1}}$ ，结合实际情况有 $m_2 \ll m_1$ ，则 $\frac{m_2}{m_1} \rightarrow 0$ ，路程 $s \rightarrow 8m$ ，则排球运动的路程约为8m。故选 B。

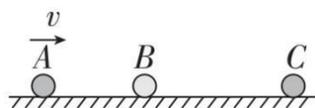
迁移应用 1. 多选 质量相等的A、B两球在光滑水平面上沿同一直线、同一方向运动，A球的动量 $p_A = 9\text{kg} \cdot \text{m/s}$ ，B球的动量 $p_B = 3\text{kg} \cdot \text{m/s}$ ，当A追上B时发生碰撞，则正碰后A、B两球的动量可能是（ ）

- A. $p'_A = 6\text{kg} \cdot \text{m/s}$ ， $p'_B = 6\text{kg} \cdot \text{m/s}$
- B. $p'_A = 6\text{kg} \cdot \text{m/s}$ ， $p'_B = 4\text{kg} \cdot \text{m/s}$
- C. $p'_A = -6\text{kg} \cdot \text{m/s}$ ， $p'_B = 18\text{kg} \cdot \text{m/s}$
- D. $p'_A = 4\text{kg} \cdot \text{m/s}$ ， $p'_B = 8\text{kg} \cdot \text{m/s}$

【答案】AD

【解析】设两球质量为 m ，碰前总动量 $p = p_A + p_B = 12\text{kg} \cdot \text{m/s}$ ，碰前总动能 $E_k = \frac{p_A^2}{2m} + \frac{p_B^2}{2m} = \frac{45}{m}$ ，碰后总动量 $p' = p$ ，故 B 错误；碰后总动能 $E'_k \leq E_k$ ，故 C 错误；对碰后A、B速度的合理性分析可知，A、D 正确。

迁移应用 2. [2024·海南海口模拟] 多选 如图所示，质量分别为 $2m$ 、 km (k 未知且 $k > 2$)的小球B、C静止放置在光滑水平面上，一质量为 m 的小球A从小球B的左侧以速度 v 水平向右运动。已知所有碰撞均为弹性碰撞，且碰撞时间极短，A与B只发生一次碰撞，则 k 的值可能为（ ）



- A. 4.5
- B. 6
- C. 7.5
- D. 9

【答案】AB

【解析】A与B碰撞过程，由动量守恒和机械能守恒可得 $mv = mv_A + 2mv_B$ ， $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2} \times 2mv_B^2$ ，联立解得碰后A、B的速度分别为 $v_A = -\frac{1}{3}v$ ， $v_B =$

$\frac{2}{3}v$, B与C碰撞过程, 由动量守恒和机械能守恒可得 $2mv_B = 2mv_B' + kmv_C$,
 $\frac{1}{2} \times 2mv_B^2 = \frac{1}{2} \times 2mv_B'^2 + \frac{1}{2} \times kmv_C^2$, 联立解得碰后B的速度为 $v_B' = \frac{2(2-k)}{3(2+k)}v$, 为了保证A与B只发生一次碰撞, 需要满足 $|v_B'| = |\frac{2(2-k)}{3(2+k)}v| \leq |v_A| = |-\frac{1}{3}v|$, 由于 $k > 2$, 则有 $\frac{2(k-2)}{3(2+k)} \leq \frac{1}{3}$, 联立解得 $2 < k \leq 6$, 故选 A、B。

考点三 反冲和爆炸 人船模型

考向 1 反冲和爆炸

1.反冲运动的三点说明

作用原理	反冲运动是系统内物体之间的作用力和反作用力产生的效果
动量守恒	反冲运动中系统不受外力或内力远大于外力, 所以反冲运动遵循动量守恒定律
机械能增加	反冲运动中, 由于有其他形式的能转化为机械能, 所以系统的机械能增加

2.爆炸现象的三个规律

动量守恒	爆炸时物体间的相互作用力远远大于受到的外力, 所以在爆炸过程中, 系统的总动量守恒
机械能增加	在爆炸过程中, 有其他形式的能量(如化学能)转化为机械能, 所以系统的机械能增加
位置不变	爆炸的时间极短, 因而作用过程中物体产生的位移很小, 可以认为爆炸后各部分仍然从爆炸前的位置以新的动量开始运动

例 2 某电影中, 航天员在太空中与飞船之间相距 7.5m, 飞船无法实施救援活动, 为了靠近飞船, 航天员剪破自己的航天服, 反向喷出气体使自己飞向飞船。假设气体能以 50m/s 的速度喷出, 航天员连同装备共 100kg, 开始时航天员和飞船保持相对静止, 航天员必须在 100s 内到达飞船, 喷出气体的质量至少为 ()

- A. 0.1kg B. 0.15kg C. 0.2kg D. 0.25kg

【答案】B

【解析】 设航天员反冲获得的最小速度为 u , 则有

$$u = \frac{x}{t} = \frac{7.5}{100} \text{ m/s} = 0.075 \text{ m/s}, \text{ 设喷出气体的质量为 } m, \text{ 航天员连同装备的质量}$$

为 M ，喷出气体的过程系统动量守恒，以气体喷出的速度方向为正方向，由动量守恒定律得 $mv - (M - m)u = 0$ ，解得 $m \approx 0.15\text{kg}$ ，故选项 B 正确。

迁移应用 3. [2021·浙江 1 月选考卷·12, 3 分]在爆炸实验基地有一发射塔，发射塔正下方的水平地面上安装有声音记录仪。爆炸物自发射塔竖直向上发射，上升到空中最高点时炸裂成质量之比为 2:1、初速度均沿水平方向的两个碎块。遥控器引爆瞬间开始计时，在 5s 末和 6s 末先后记录到从空气中传来的碎块撞击地面的响声。已知声音在空气中的传播速度为 340m/s，忽略空气阻力， g 取 10m/s^2 。下列说法正确的是 ()

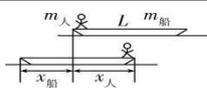
- A. 两碎块的位移大小之比为 1:2
- B. 爆炸物的爆炸点离地面高度为 80m
- C. 爆炸后质量大的碎块的初速度为 68m/s
- D. 爆炸后两碎块落地点之间的水平距离为 340m

【答案】B

【解析】根据动量守恒有 $m_1v_1 = m_2v_2$ ，若 $m_1:m_2 = 2:1$ ，则两碎块速度之比 $v_1:v_2 = 1:2$ 。由于从同一高度做平抛运动，故在空中运动时间相等，设平抛运动时间为 t_0 ，有 $v_1t_0 = v_{\text{声}}(5s - t_0)$ 、 $v_2t_0 = v_{\text{声}}(6s - t_0)$ ，联立解得 $t_0 = 4s$ 、 $v_1 = 85\text{m/s}$ 、 $v_2 = 170\text{m/s}$ ，两碎块的水平位移大小分别为 $x_1 = v_1t_0 = 340\text{m}$ 、 $x_2 = v_2t_0 = 680\text{m}$ ，爆炸后两碎块落地点之间的水平距离为 $x_1 + x_2 = 1020\text{m}$ ，爆炸点离地面高度 $h = \frac{1}{2}gt_0^2 = 80\text{m}$ ，B 正确，C、D 错误。由于碎块的位移大小 $s = \sqrt{x^2 + h^2}$ ， $x_1:x_2 = 1:2$ ，故两碎块的位移大小之比 $s_1:s_2 \neq 1:2$ ，A 错误。

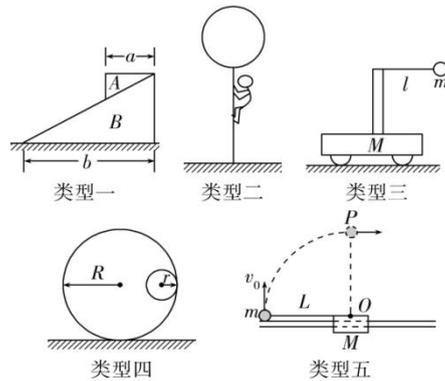
考向 2 人船模型

1.人船模型特点

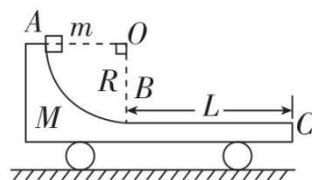
运 动 情 境	
满 足	动量守恒定律， $m_{\text{人}}v_{\text{人}} - m_{\text{船}}v_{\text{船}} = 0$

规律	
运动特点	人动船动，人静船静，人快船快，人慢船慢，人右船左；人与船的位移比等于质量比的倒数；人与船的平均速度（瞬时速度）比等于质量比的倒数，即 $\frac{x_{人}}{x_{船}} = \frac{v_{人}}{v_{船}} = \frac{m_{船}}{m_{人}}$
结论	$x_{人} = \frac{m_{船}}{m_{人}+m_{船}}L$, $x_{船} = \frac{m_{人}}{m_{人}+m_{船}}L$
注意事项	应用 $\frac{x_{人}}{x_{船}} = \frac{v_{人}}{v_{船}} = \frac{m_{船}}{m_{人}}$ 时要注意： $v_{人}$ 、 $v_{船}$ 和 $x_{人}$ 、 $x_{船}$ 一般都是相对地面而言的

2.类人船模型



例 3 如图所示，质量为 $M = 4\text{kg}$ 的小车静止在光滑水平面上，小车 AB 段是半径为 $R = 1\text{m}$ 的四分之一光滑圆弧轨道， BC 段是长为 L 的粗糙水平轨道，两段轨道相切于 B 点。一质量为 $m = 1\text{kg}$ 、可视为质点的滑块从小车上的 A 点由静止开始沿轨道下滑，然后滑入 BC 轨道，最后恰好停在 C 点，滑块与轨道 BC 间的动摩擦因数为 0.5 ，取重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$ ，则（ ）



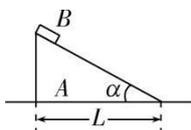
A. 整个过程中滑块和小车组成的系统动量守恒

- B. 滑块由A点滑到B点过程中，滑块的机械能守恒
- C. BC段长度为 $L = 1\text{m}$
- D. 全过程小车相对地面的位移大小为 0.6m

【答案】D

【解析】滑块在圆弧上运动时有竖直方向的加速度，所以对系统而言竖直方向外力矢量和不为零，不满足动量守恒的条件，故A错误；滑块由A点滑到B点过程中，小车对滑块的弹力做负功，滑块的机械能不守恒，故B错误；恰好停在C点时，小车和滑块均静止，根据能量守恒定律有 $mgR = \mu mgL$ ，解得 $L = 2\text{m}$ ，故C错误；根据水平方向动量守恒有 $Mv_1 = mv_2$ ，通过相同的时间有 $Mx_1 = mx_2$ ，且有 $x_1 + x_2 = R + L$ ，解得 $x_1 = 0.6\text{m}$ ，故D正确。

迁移应用 4. 光滑水平面上放有一上表面光滑、倾角为 α 的斜面体A，斜面体质量为 M 、底边长为 L ，如图所示。将一质量为 m 、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 ，则下列说法中正确的是（重力加速度为 g ）（ ）



- 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 $\frac{m}{M+m}L$

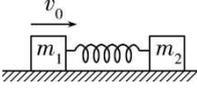
【答案】D

【解析】当滑块B相对于斜面加速下滑时，斜面体A水平向左做加速运动，所以滑块B相对于地面的加速度方向不再沿斜面方向，即沿垂直于斜面方向的合外力不为零，所以斜面对滑块的支持力 F_N 不等于 $mg\cos\alpha$ ，A错误；滑块B下滑过程中支持力对B的冲量大小为 $F_N t$ ，B错误；由于滑块B有竖直方向的分加速度，所以A、B组成的系统竖直方向合外力不为零，系统的动量不守恒，C错误；A、B组成的系统水平方向不受外力，水平方向动量守恒，设A、B两者水平位移大小分别为 x_1 、 x_2 ，则 $Mx_1 = mx_2$ ， $x_1 + x_2 = L$ ，解得 $x_1 = \frac{m}{M+m}L$ ，D正确。

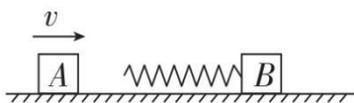
专题突破 10 动量守恒中的力学综合问题

关键能力·核心突破

题型一 “滑块—弹簧”模型

模型 图例	
	水平地面光滑，两物块与轻弹簧（开始处于原长）相连，物块 1 以初速度 v_0 向右运动
模型 规律	(1) 系统的动量守恒。 (2) 系统的机械能守恒
两个 状态	(1) 弹簧最短（或最长）时两物块瞬时速度相等，弹簧弹性势能最大。 ①系统动量守恒： $m_1 v_0 = (m_1 + m_2) v_{共}$ ； ②系统机械能守恒： $\frac{1}{2} m_1 v_0^2 = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_{共}^2 + E_{pm}$ 。 (2) 弹簧处于原长时弹性势能为零。 ①系统动量守恒： $m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$ ； ②系统机械能守恒： $\frac{1}{2} m_1 v_0^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$

例 1 [2024·安徽黄山模拟] 多选 如图所示，光滑水平面上质量为 $2M$ 的物体 A 以速度 v 向右匀速滑动，质量为 M 的物体 B 左端与轻质弹簧连接并静止在光滑水平面上，在物体 A 与弹簧接触后，以下判断正确的是（ ）



- A. 在 A 与弹簧接触过程中，弹簧对 A 的弹力冲量大小为 $\frac{4}{3} Mv$
- B. 在 A 与弹簧接触过程中，弹簧对 B 的弹力做功的功率一直增大
- C. 从 A 与弹簧接触到 A、B 相距最近的过程中，弹簧对 A、B 做功的代数和为 0
- D. 从 A 与弹簧接触到 A、B 相距最近的过程中，最大弹性势能为 $\frac{1}{3} Mv^2$

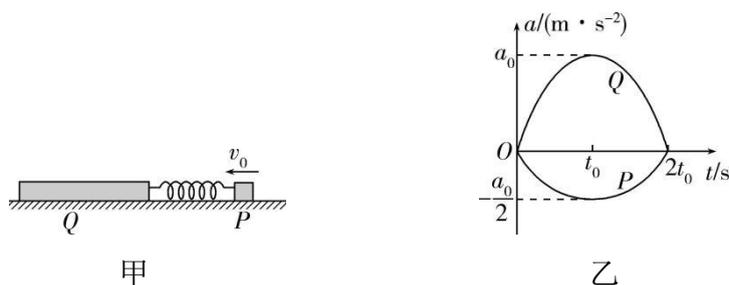
【答案】AD

【解析】根据动量守恒定律得 $2Mv = 2Mv'_A + Mv'_B$ ，根据机械能守恒定律得 $\frac{1}{2} \times 2Mv^2 = \frac{1}{2} \times 2Mv_A'^2 + \frac{1}{2} \times Mv_B'^2$ ，联立解得 $v'_A = \frac{1}{3}v$ ， $v'_B = \frac{4}{3}v$ ，

对物体A，根据动量定理得 $I = 2M \cdot \frac{1}{3}v - 2M \cdot v$ ，解得 $I = -\frac{4}{3}Mv$ ，故 A 正确。

在A与弹簧接触到弹簧压缩到最短的过程中，弹簧的弹力和B的速度都增大，弹簧对B的弹力做功的功率增大；在弹簧接近原长时，B的速度接近 $\frac{4}{3}v$ ，而弹簧的弹力几乎等于零，弹簧对B的弹力做功的功率几乎等于零。所以在A与弹簧接触过程中，弹簧对B的弹力做功的功率先增大后减小，故 B 错误。设弹簧最短时，A、B共同速度为 v' ，根据动量守恒定律得 $2Mv = (2M + M)v'$ ，解得 $v' = \frac{2}{3}v$ ，弹簧对A、B做功分别为 $W_A = \frac{1}{2} \times 2Mv'^2 - \frac{1}{2} \times 2Mv^2 = -\frac{5}{9}Mv^2$ ， $W_B = \frac{1}{2}Mv'^2 = \frac{2}{9}Mv^2$ ，弹簧对A、B做功的代数和为 $W = W_A + W_B = -\frac{1}{3}Mv^2$ ，最大弹性势能为 $E_p = \frac{1}{2} \times 2Mv^2 - \frac{1}{2} \times 3Mv'^2 = \frac{1}{3}Mv^2$ ，故 C 错误，D 正确。

迁移应用 1. **多选** 如图甲所示，质量为 m 的物块P与长木板Q之间有一轻弹簧，静止在光滑的水平地面上，P与弹簧拴接，Q与弹簧接触但不拴接，Q的上表面粗糙。 $t = 0$ 时，物块P以初速度 v_0 向左运动， $0 \sim 2t_0$ 时间内物块P与长木板Q的 $a - t$ 图像如图乙所示， $2t_0$ 时刻，把质量为 $\frac{1}{2}m$ 的物块M放在Q的最左端，图中未画出，M最终未从Q上滑出，则 ()



- A. 长木板Q的质量为 $\frac{1}{2}m$
- B. t_0 时刻弹簧的弹性势能为 $\frac{1}{3}mv_0^2$
- C. M和Q之间由于摩擦产生的热量为 $\frac{2}{9}mv_0^2$
- D. 弹簧可以和Q发生二次作用

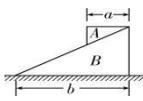
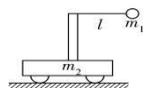
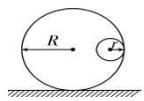
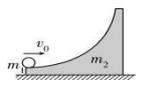
【答案】AC

【解析】 t_0 时刻，P、Q所受弹力最大且大小相等，由牛顿第二定律可得 $\frac{F_{\text{弹}}}{m_P} =$

$\frac{F_{\text{弹}}}{m} = \frac{a_0}{2}$ ， $\frac{F_{\text{弹}}}{m_Q} = a_0$ ，则长木板Q的质量为 $\frac{1}{2}m$ ，故 A 正确； t_0 时刻，弹簧被压缩到

最短， P 和 Q 速度大小相等，根据动量守恒定律得 $m_P v_0 = (m_P + m_Q)v$ ，根据能量守恒定律可得最大弹性势能 $\Delta E_p = \frac{1}{2}m_P v_0^2 - \frac{1}{2}(m_P + m_Q)v^2 = \frac{1}{6}m v_0^2$ ，故 B 错误； $0 \sim 2t_0$ 时间内，根据动量守恒定律得 $m_P v_0 = m_P v_1 + m_Q v_2$ ，根据机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}m_P v_0^2 = \frac{1}{2}m_P v_1^2 + \frac{1}{2}m_Q v_2^2$ ，联立解得 $v_2 = \frac{4}{3}v_0$ ， $v_1 = \frac{1}{3}v_0$ ， $2t_0$ 时刻， Q 和弹簧分离，此后 M 与 Q 组成的系统水平方向动量守恒，有 $m_Q v_2 = (m_Q + m_M)v'$ ，解得 $v' = \frac{2}{3}v_0$ ，由于摩擦产生的热量 $Q = \frac{1}{2}m_Q v_2^2 - \frac{1}{2}(m_Q + m_M)v'^2 = \frac{2}{9}m v_0^2$ ，故 C 正确；由上述分析可知 M 和 Q 共速时 $v' = \frac{2}{3}v_0 > v_1$ ，弹簧不能和 Q 发生二次作用，故 D 错误。

题型二 “滑块—斜（曲）面”模型

模型一	模型二	模型三	模型四
			
水平面光滑	水平面光滑	水平面光滑	水平面光滑

适用条件：系统在水平方向所受的合外力为零，满足水平方向动量守恒

运动的特点和满足的规律（以模型四为例）：

（1）小球沿 $\frac{1}{4}$ 光滑圆弧上升至最高点时，小球与滑块具有相同的速度，小球离曲面底端的高度为 h ，此时

系统水平方向动量守恒： $m_1 v_0 = (m_1 + m_2)v$ ；

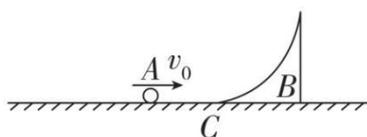
系统能量守恒： $\frac{1}{2}m_1 v_0^2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 + m_1 g h$ （相当于完全非弹性碰撞）。

（2）小球返回曲面底端时

系统水平方向动量守恒： $m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$ ；

系统能量守恒： $\frac{1}{2}m_1 v_0^2 = \frac{1}{2}m_1 v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 v_2^2$ （相当于弹性碰撞）

例 2 多选 如图所示，在光滑足够长水平面上有半径 $R = 0.8\text{m}$ 的 $\frac{1}{4}$ 光滑圆弧面斜劈 B ，斜劈的质量 $M = 3\text{kg}$ ，底端与水平面相切，左边有质量 $m = 1\text{kg}$ 的小球 A 以初速度 $v_0 = 4\text{m/s}$ 从切点 C （圆弧的最低点）冲上斜劈，不计空气阻力，重力加速度 g 取 10m/s^2 ，下列说法正确的是（ ）

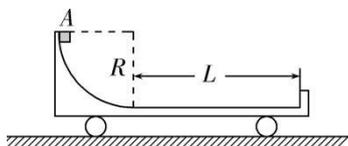


- A. 小球不能从斜劈顶端冲出
- B. 小球从斜劈顶端冲出后还会再落入斜劈
- C. 小球冲上斜劈过程中经过最低点C时对斜劈的压力大小是 30N
- D. 小球从斜劈上返回最低点C时速度大小为 2m/s，方向向左

【答案】ACD

【解析】设小球向右运动到斜劈最低点C时斜劈对小球的支持力为 F_1 ，由牛顿第二定律有 $F_1 - mg = m\frac{v_0^2}{R}$ ，代入数据得 $F_1 = 30\text{N}$ ，根据牛顿第三定律可知，小球对斜劈的压力大小为 30N，C 正确；假设小球能运动到斜劈顶端，此时小球和斜劈水平方向的速度相等，设为 v_1 ，小球竖直方向的速度为 v_2 ，根据小球和斜劈系统水平方向动量守恒，有 $mv_0 = (m + M)v_1$ ，小球和斜劈系统机械能守恒，有 $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}m(v_1^2 + v_2^2) + \frac{1}{2}Mv_1^2 + mgR$ ，联立得 $v_1 = 1\text{m/s}$ ， $v_2^2 = -4\text{m}^2/\text{s}^2 < 0$ ，说明小球不能从斜劈顶端冲出，A 正确，B 错误；当小球从斜劈上返回最低点C时，设小球和斜劈的速度分别为 v_3 、 v_4 ，规定水平向右为正方向，有 $mv_0 = mv_3 + Mv_4$ ， $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_3^2 + \frac{1}{2}Mv_4^2$ ，联立得 $v_3 = -2\text{m/s}$ ， $v_4 = 2\text{m/s}$ ，小球从斜劈上返回最低点C时速度大小为 2m/s，方向向左，D 正确。

迁移应用 2. 多选 如图所示，一辆质量为 $M = 2\text{kg}$ 的小车静止在光滑水平面上，小车左边部分为半径 $R = 1.8\text{m}$ 的四分之一光滑圆弧轨道，圆弧轨道末端平滑连接一长度 $L = 5.4\text{m}$ 的水平粗糙面，粗糙面右端是一挡板。有一个质量为 $m = 1\text{kg}$ 的小物块（可视为质点）从小车左侧圆弧轨道顶端A点由静止释放，小物块与小车粗糙区域间的动摩擦因数 $\mu = 0.2$ ，小物块与挡板的碰撞无机械能损失，重力加速度取 $g = 10\text{m/s}^2$ ，则（ ）



- A. 小物块滑到圆弧轨道末端时的速度大小为 $2\sqrt{3}\text{m/s}$
- B. 小物块滑到圆弧轨道末端时小车的速度大小为 $\sqrt{6}\text{m/s}$
- C. 小物块与右侧挡板碰撞前瞬间的速度大小为 $\frac{4}{5}\sqrt{15}\text{m/s}$

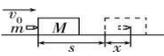
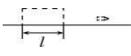
D. 小物块最终距圆弧轨道末端的距离为 3.6m

【答案】BC

【解析】小物块滑到圆弧轨道末端时，由水平方向动量守恒和能量守恒得 $mv_1 - Mv_2 = 0$, $mgR = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2$, 联立解得 $v_1 = 2\sqrt{6}\text{m/s}$, $v_2 = \sqrt{6}\text{m/s}$, 故 A 错误, B 正确; 小物块与右侧挡板碰撞前, 由水平方向动量守恒和能量守恒得 $mv_3 - Mv_4 = 0$, $mgR - \mu mgL = \frac{1}{2}mv_3^2 + \frac{1}{2}Mv_4^2$, 联立解得 $v_3 = \frac{4}{5}\sqrt{15}\text{m/s}$, $v_4 = \frac{2}{5}\sqrt{15}\text{m/s}$, 故 C 正确; 由水平方向动量守恒知, 小物块和小车最终都静止, 由能量守恒得 $\mu mgx = mgR$, 解得 $x = 9\text{m}$, 则小物块最终距圆弧轨道末端的距离 $\Delta x = 2L - x = 1.8\text{m}$, 故 D 错误。

题型三 子弹打木块模型 板块模型

1.子弹打木块模型

模型图例		
模型规律	(1) 地面光滑, 系统的动量守恒。 (2) 系统的机械能有损失, 一般应用能量守恒定律	
两种情况	(1) 子弹未穿出木块: 两者最终速度相等, 机械能损失最多。 ①系统动量守恒: $mv_0 = (m + M)v$; ②能量守恒: $Q = fx = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(M + m)v^2$ 。 (2) 子弹穿出木块: 两者速度不相等, 机械能有损失。 ①系统动量守恒: $mv_0 = mv_1 + Mv_2$; ②能量守恒: $Q = fl = \frac{1}{2}mv_0^2 - (\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2)$	
解题思路	三个角度求解子弹打木块过程中损失的机械能。 (1) 利用系统前、后的机械能之差求解。 (2) 利用 $Q = fx_{相对}$ 求解。 (3) 利用打击过程中子弹克服阻力做的功与阻力对木块做的功的差值进行求解	

2.板块模型

模 型 图 例	
模 型 规 律	<p>(1) 地面光滑，系统的动量守恒；</p> <p>(2) 系统减少的机械能等于摩擦力与两者相对位移大小的乘积，即摩擦生成的热量</p>
两 种 情 况	<p>(1) 若滑块未滑离木板，则类似于子弹打木块模型中子弹未穿出木块的情况。</p> <p>①系统动量守恒：$mv_0 = (M + m)v$；</p> <p>②能量守恒：$Q = fx = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(M + m)v^2$。</p> <p>(2) 若滑块滑离木板，则类似于子弹穿出木块的情况。</p> <p>①系统动量守恒：$mv_0 = mv_1 + Mv_2$；</p> <p>②能量守恒：$Q = fl = \frac{1}{2}mv_0^2 - (\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2)$</p>
解 题 思 路	<p>(1) 系统的动量守恒。</p> <p>(2) 在涉及滑块或木板的运动时间时，优先考虑用动量定理。</p> <p>(3) 在涉及滑块或木板的位移时，优先考虑用动能定理。</p> <p>(4) 在涉及滑块与木板的相对位移时，优先考虑用能量守恒定律。</p> <p>(5) 滑块与木板不相对滑动时，两者达到共同速度</p>

例 3 如图所示，光滑水平地面上并排放置着质量分别为 $m_1 = 1\text{kg}$ 、 $m_2 = 2\text{kg}$ 的木板 A、B，一质量 $M = 2\text{kg}$ 的滑块 C（视为质点）以初速度 $v_0 = 10\text{m/s}$ 从 A 左端滑上木板，C 滑离木板 A 时的速度大小为 $v_1 = 7\text{m/s}$ ，最终 C 与木板 B 相对静止，则（ ）



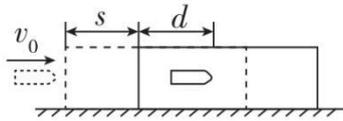
- A. 木板 B 与滑块 C 最终均静止在水平地面上
- B. 木板 B 的最大速度为 2m/s
- C. 木板 A 的最大速度为 1m/s

D. 整个过程，A、B、C组成的系统机械能减少了 57.5J

【答案】D

【解析】整个系统水平方向动量守恒，C滑离木板A时有 $Mv_0 = Mv_1 + (m_1 + m_2)v_A$ ，解得木板A的最大速度 $v_A = 2\text{m/s}$ ，滑上B后，对B、C整体，水平方向动量守恒，有 $Mv_1 + m_2v_A = (M + m_2)v_B$ ，解得木板B的最大速度 $v_B = 4.5\text{m/s}$ ，并且B、C一起做匀速运动，故A、B、C错误；整个过程中，A、B、C组成的系统机械能减少量 $\Delta E = \frac{1}{2}Mv_0^2 - \frac{1}{2}m_1v_A^2 - \frac{1}{2}(m_2 + M)v_B^2 = 57.5\text{J}$ ，故D正确。

迁移应用 3. [2024·浙江宁波模拟]如图所示，质量为 m 的子弹，以初速度 v_0 射入静止在光滑水平面上的木块，并留在其中。木块质量为 M ，长度为 L ，子弹射入木块的深度为 d ，在子弹射入木块的过程中木块移动距离为 s 。假设木块对子弹的阻力始终保持不变，不计空气阻力，下列说法正确的是（ ）



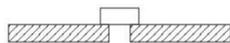
- A. d 可能大于 s ，也可能小于 s
- B. s 可能大于 L ，也可能小于 L
- C. s 一定小于 d ， s 一定小于 L
- D. 若子弹质量减小， d 和 s 不一定同时变小

【答案】C

【解析】木块和子弹组成的系统所受合力为零，系统动量守恒，有 $mv_0 = (m + M)v$ ，解得 $v = \frac{mv_0}{m+M} = \frac{v_0}{1+\frac{M}{m}}$ ，木块增加的动能等于阻力与木块的位移的乘积，即 $F_f s = \frac{1}{2}Mv^2 = \frac{Mm^2v_0^2}{2(M+m)^2} = \frac{Mv_0^2}{2(1+\frac{M}{m})^2}$ ，系统损失的机械能等于阻力与两个物体相对位移的乘积，即 $F_f d = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(m + M)v^2 = \frac{mMv_0^2}{2(m+M)} = \frac{Mv_0^2}{2(1+\frac{M}{m})}$ ，由此计算可得， s 一定小于 d ，而 d 小于 L ，所以 s 一定小于 L ，若子弹质量减小， d 一定变小， s 一定变小。故选C。

迁移应用 4. [2025·1月八省联考河南卷·14]如图，在有圆孔的水平支架上放置一物块，玩具子弹从圆孔下方竖直向上击中物块中心并穿出，穿出后物块和子弹上升的最大高度分别为 h 和 $8h$ 。已知子弹的质量为 m ，物块的质量为 $4m$ ，

重力加速度大小为 g ；在子弹和物块上升过程中，子弹所受阻力忽略不计，物块所受阻力大小为自身重力的 $\frac{1}{8}$ 。子弹穿过物块时间很短，不计物块厚度的影响，求：



- (1) 子弹击中物块前瞬间的速度大小；
- (2) 子弹从击中物块到穿出过程中，系统损失的机械能。

【答案】 (1) $10\sqrt{gh}$

(2) $\frac{75}{2}mgh$

【解析】

(1) 设子弹击中物块前瞬间的速度大小是 v ，子弹击中物块穿出后，子弹的速度大小是 v_1 ，物块的速度大小是 v_2 ，子弹击中物块穿出过程动量守恒，有 $mv = mv_1 + 4mv_2$ 子弹击中物块穿出后，子弹、物块均向上匀减速运动，对子弹， $v_1^2 = 2g \cdot 8h$ 对物块， $v_2^2 = 2a \cdot h$ 由牛顿第二定律有 $4mg + \frac{1}{8} \times 4mg = 4ma$ 联立解得 $v_1 = 4\sqrt{gh}$ ， $v_2 = \frac{3}{2}\sqrt{gh}$ ， $v = 10\sqrt{gh}$

(2) 子弹从击中物块到穿出过程中，系统损失的机械能 $\Delta E = \frac{1}{2}mv^2 - (\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2} \cdot 4mv_2^2)$ 解得 $\Delta E = \frac{75}{2}mgh$

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 36

专题突破 11 三大观点在力学中的应用

关键能力·核心突破

题型 三大观点在力学中的应用

1.力学三大观点比较

观点	基本规律	解题优势
动力学观点	牛顿运动定律 运动学公式	(1) 研究瞬时状态，分析运动性质。 (2) 研究匀变速直线运动。 (3) 研究平抛运动、圆周运动。 (4) 求解加速度、时间
能量观点	动能定理机械能守恒定律	(1) 只涉及运动初、末状态。 (2) 研究曲线运动。

	量守恒定律	(3) 研究多过程运动。 (4) 求解功、能、位移、速度
动量观点	动量定理 动量守恒定律	(1) 只涉及运动初、末状态。 (2) 研究相互作用系统的运动。 (3) 求解动量、冲量、速度

2.基本规律

规律	公式表达
动能定理	$W_{\text{合}} = \Delta E_k W_{\text{合}} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$
能量守恒定律	$E_1 = E_2$
动量定理	$F_{\text{合}}\Delta t = p' - p I_{\text{合}} = \Delta p$
动量守恒定律	$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$

3.规律的选用

(1) 若研究的对象为一物体系统，且它们之间有相互作用，一般用动量守恒定律和机械能守恒定律去解决问题，但需注意所研究的问题是否满足守恒的条件。

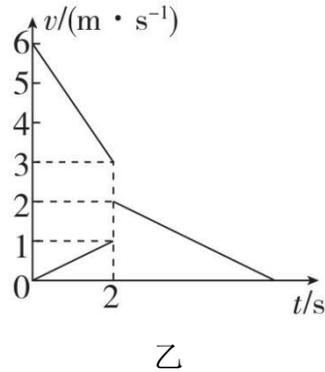
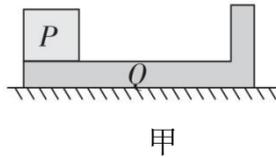
(2) 在涉及相对位移时则优先考虑能量守恒定律，系统克服摩擦力所做的总功等于系统机械能的减少量。

(3) 在涉及碰撞、爆炸、打击、绳绷紧等物理过程时，需注意这些过程一般都隐含有系统机械能与其他形式能量之间的转化。这种问题由于作用时间都极短，因此用动量守恒定律去解决。

(4) 两个物体与弹簧组成的系统相互作用的过程，如果系统内每个物体除弹簧弹力外所受合力为零，则具有以下特点：①当弹簧伸长或压缩到最大程度时两物体速度相同；②当水平弹簧为自然状态时某一端的物体具有最大速度。

例 1 [2024·河南模拟] **多选** 如图甲所示，“L”形木板 Q 静置于粗糙水平地面上，质量为 1kg 的滑块 P 以 6m/s 的初速度滑上木板， $t = 2\text{s}$ 时与木板相撞并粘

在一起。两者运动的 $v-t$ 图像如图乙所示。重力加速度大小 g 取 10m/s^2 ，不计空气阻力，则 ()



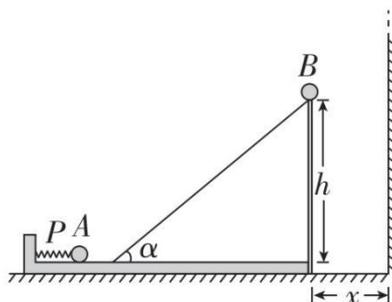
- A. Q 的质量为 1kg
- B. 地面与木板之间的动摩擦因数为 0.1
- C. 由于碰撞, 系统损失的机械能为 1.0J
- D. $t = 5.8\text{s}$ 时木板速度恰好为零

【答案】AC

【解析】两者碰撞时，取滑块 P 的速度方向为正方向， P 的质量为 $m = 1\text{kg}$ ，设 Q 的质量为 M ，由动量守恒定律得 $mv_1 + Mv_2 = (m + M)v_3$ ，根据 $v-t$ 图像可知， $v_1 = 3\text{m/s}$ ， $v_2 = 1\text{m/s}$ ， $v_3 = 2\text{m/s}$ ，解得 $M = 1\text{kg}$ ，故 A 正确；设 P 与 Q 之间的动摩擦因数为 μ_1 ， Q 与地面之间的动摩擦因数为 μ_2 ，根据 $v-t$ 图像可知， $0\sim 2\text{s}$ 内 P 与 Q 的加速度大小分别为 $a_p = 1.5\text{m/s}^2$ ， $a_Q = 0.5\text{m/s}^2$ ，对 P 、 Q 分别受力分析，由牛顿第二定律得 $\mu_1 mg = ma_p$ ， $\mu_1 mg - \mu_2(m + M)g = Ma_Q$ ，联立解得 $\mu_1 = 0.15$ ， $\mu_2 = 0.05$ ，故 B 错误；由于碰撞，系统损失的机械能为 $\Delta E = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2 - \frac{1}{2}(m + M)v_3^2$ ，代入数据解得 $\Delta E = 1.0\text{J}$ ，故 C 正确；对碰撞后整体进行受力分析，由动量定理得 $-\mu_2(m + M)gt_2 = 0 - (m + M)v_3$ ，代入数据解得 $t_2 = 4\text{s}$ ，因此木板速度恰好为零的时刻为 $t = t_1 + t_2 = 2\text{s} + 4\text{s} = 6\text{s}$ ，故 D 错误。

例 2 在图示固定在地面上的装置中，斜面高 $h = 0.9\text{m}$ ，倾角 $\alpha = 37^\circ$ ，形状相同的刚性小球 A 、 B 质量分别为 100g 和 20g ，轻弹簧 P 的劲度系数 $k = 270\text{N/m}$ ，用 A 球将弹簧压缩 $\Delta l = 10\text{cm}$ 后无初速度释放， A 球沿光滑表面冲上斜面顶端与

B 球发生对心弹性碰撞，设碰撞时间极短，弹簧弹性势能 $E_p = \frac{1}{2}k(\Delta l)^2$ ，重力加速度的大小取 $g = 10\text{m/s}^2$ ， $\sin 37^\circ = 0.6$ 。



- (1) 求碰撞前瞬间 A 球的速度大小；
- (2) 求 B 球飞离斜面时的速度大小；
- (3) 将装置固定于竖直墙面左侧，仍取 $\Delta l = 10\text{cm}$ ，再次弹射使 B 球与墙面碰撞，碰撞前后瞬间，速度平行于墙面方向的分量不变，垂直于墙面方向的分量大小不变、方向相反，为使 B 球能落回到斜面上，求装置到墙面距离 x 的最大值。

【答案】 (1) 3m/s (2) 5m/s (3) 1.2m

【解析】

(1) 设 A 球与 B 球碰撞前的速度大小为 v_A ，由能量守恒定律 $E_p = m_Agh + \frac{1}{2}m_Av_A^2$ 其中 $E_p = \frac{1}{2}k(\Delta l)^2 = \frac{1}{2} \times 270 \times 0.1^2\text{J} = 1.35\text{J}$ 代入数据解得，碰撞前瞬间 A 球的速度大小为 $v_A = 3\text{m/s}$

(2) A 球与 B 球发生对心弹性碰撞，则碰撞过程中由动量守恒定律得 $m_Av_A = m_Av'_A + m_Bv'_B$

由机械能守恒定律得

$$\frac{1}{2}m_Av_A^2 = \frac{1}{2}m_Av_A'^2 + \frac{1}{2}m_Bv_B'^2$$

联立解得， B 球飞离斜面时的速度大小为

$$v'_B = 5\text{m/s}$$

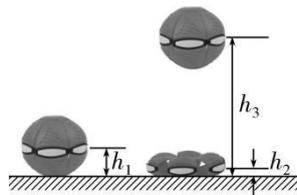
(3) 仍取 $\Delta l = 10\text{cm}$ ，则 B 球飞离斜面时的速度仍为 $v'_B = 5\text{m/s}$ ，设 B 球运动的总时间为 t ，由对称性可知，若 B 球能落回到斜面，则水平方向有 $2x =$

$$v'_B \cos 37^\circ \cdot t$$

$$\text{竖直方向有 } y = v'_B \sin 37^\circ \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 = 0$$

解得 $t = 0.6\text{s}$ ， $x = 1.2\text{m}$

迁移应用 1. **多选** 小朋友喜欢的“踩踩球”其实就是由上下两个连在一起且质量相等的半球组成，两半球间装有一个轻弹簧。玩耍时，将“踩踩球”直立静放在水平地面上，用脚从上半球顶部中心点向下踩压，当两半球贴合后放开脚，过一会儿贴合装置失效，弹簧恢复原长，球就会突然展开，瞬间弹起。如图所示，小明同学测得“踩踩球”展开静止在地面上时中间白色标记距地面的高度为 h_1 ；踩压贴合时中间白色标记距地面的高度为 h_2 ；弹起后到达最高点时中间白色标记距地面的高度为 h_3 。已知“踩踩球”总质量为 m ，并全部集中在质量分布均匀的上下半球上，重力加速度大小为 g ，不计一切阻力，下列说法中正确的是（ ）



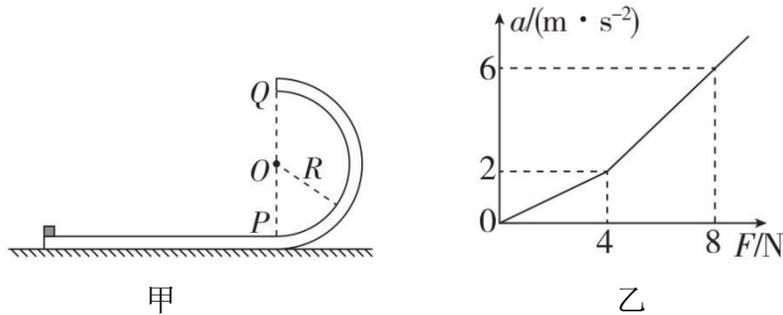
- A. “踩踩球”离开地面时的速度大小为 $\sqrt{2g(h_3 - h_1)}$
- B. 上述踩压过程中压力做的功为 $mg(h_3 - h_1)$
- C. 弹簧的最大弹性势能为 $mg(2h_3 - h_1 - h_2)$
- D. 弹簧恢复原长过程中“踩踩球”所受合外力的冲量大小为 $m\sqrt{2g(h_3 - h_2)}$

【答案】AC

【解析】 设“踩踩球”离地的速度大小为 v ，由动能定理可得 $-mg(h_3 - h_1) = 0 - \frac{1}{2}mv^2$ ，解得 $v = \sqrt{2g(h_3 - h_1)}$ ，故 A 正确；弹簧恢复原长过程中，根据动量定理，“踩踩球”所受合外力的冲量大小 $I_{\text{合}} = mv - 0 = m\sqrt{2g(h_3 - h_1)}$ ，故 D 错误；设弹簧的最大弹性势能为 E_p ，踩压过程中压力做的功为 W ，弹簧恢复原长且连接装置拉紧前上半球的速度大小为 v_1 ，球展开过程由机械能守恒定律可得 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}mv_1^2 + mg(h_1 - h_2) = E_p$ ，连接装置拉紧过程由动量守恒定律可得 $mv = \frac{1}{2}mv_1$ ，踩压过程由功能关系可得 $E_p = W + mg(h_1 - h_2)$ ，联立解得 $W = 2mg(h_3 - h_1)$ ， $E_p = mg(2h_3 - h_1 - h_2)$ ，故 B 错误，C 正确。

迁移应用 2. [2024·山东卷·17, 14分] 如图甲所示，质量为 M 的轨道静止在光滑水平面上，轨道水平部分的上表面粗糙，竖直半圆形部分的表面光滑，两

部分在P点平滑连接，Q为轨道的最高点。质量为m的小物块静置在轨道水平部分上，与水平轨道间的动摩擦因数为 μ ，最大静摩擦力等于滑动摩擦力。已知轨道半圆形部分的半径 $R = 0.4\text{m}$ ，重力加速度大小 $g = 10\text{m/s}^2$ 。



(1) 若轨道固定，小物块以一定的初速度沿轨道运动到Q点时，受到轨道的弹力大小等于 $3mg$ ，求小物块在Q点的速度大小 v 。

(2) 若轨道不固定，给轨道施加水平向左的推力 F ，小物块处在轨道水平部分时，轨道的加速度 a 与 F 的对应关系如图乙所示。

(i) 求 μ 和 m ；

(ii) 初始时，小物块静置在轨道最左端，给轨道施加水平向左的推力 $F = 8\text{N}$ ，当小物块到P点时撤去 F ，小物块从Q点离开轨道时相对地面的速度大小为 7m/s ，求轨道水平部分的长度 L 。

【答案】 (1) 4m/s

(2) (i) $0.2; 1\text{kg}$

(ii) 4.5m

【解析】

(1) 对小物块在Q点，由牛顿第二定律得 $3mg + mg = m\frac{v^2}{R}$ 代入数据解得 $v = 4\text{m/s}$ 。

(2) (i) 由题图乙可知， $F_1 = 4\text{N}$ 时 $a_1 = 2\text{m/s}^2$ ，此时小物块与轨道间刚要发生相对滑动，对小物块，由牛顿第二定律得 $\mu mg = ma_1$ 解得 $\mu = 0.2$ 对小物块与轨道整体，由牛顿第二定律得 $F_1 = (M + m)a_1$ 解得 $m + M = 2\text{kg}$ $F_2 = 8\text{N}$ 时 $a_2 = 6\text{m/s}^2$ ，对轨道，由牛顿第二定律得 $F_2 - \mu mg = Ma_2$ 联立解得 $m = M = 1\text{kg}$ 。

(ii) 若初始时 $F = 8\text{N}$ ，向左推动轨道，则从一开始小物块就与轨道发生相对滑动设经过时间 t 物块运动到 P 点，此时物块速度为 v_1 ，对地位移为 x_1 ，轨道速度为 v_2 ，对地位移为 x_2 由运动学公式可得 $t = \frac{v_1}{a_1} = \frac{v_2}{a_2}$ 代入数据得 $v_2 = 3v_1$ 物块与轨道在 t 时间内的相对位移 $L = \frac{1}{2}(v_2 - v_1)t$ 物块在 Q 点的对地速度为 $v_3 = 7\text{m/s}$ ，方向水平向左，设此时轨道的对地速度为 v_4 ，物块从 P 运动到 Q 的过程中，以向左为正方向，对物块和轨道整体由水平方向动量守恒得 $mv_1 + Mv_2 = mv_3 + Mv_4$ 由机械能守恒得 $\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2 = \frac{1}{2}mv_3^2 + \frac{1}{2}Mv_4^2 + mg \times 2R$ 且由于小物块从 Q 点离开轨道，则有 $v_3 > v_4$ 联立解得 $v_1 = 3\text{m/s}$ ， $v_2 = 9\text{m/s}$ ， $v_4 = 5\text{m/s}$ ， $t = 1.5\text{s}$ ， $L = 4.5\text{m}$ 。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 37

实验 8 验证动量守恒定律

必备知识·强基固本

一、实验目的

1. 会用实验装置测速度或用其他物理量表示物体的速度大小。
2. 验证在系统所受合外力为零的情况下，系统内物体相互作用时系统总动量守恒。

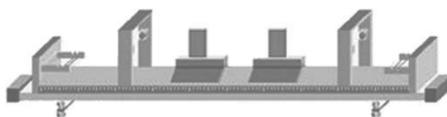
二、实验原理

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' ，找出碰撞前的动量 $p = m_1v_1 + m_2v_2$ 及碰撞后的动量 $p' = m_1v'_1 + m_2v'_2$ ，验证碰撞前后动量是否守恒。

三、实验方案

方案一 利用气垫导轨完成一维碰撞实验

1. 实验器材 气垫导轨、光电计时器、天平、滑块（两个，上面装有挡光片）、重物、弹簧片、细绳、弹性碰撞架、胶布、撞针、橡皮泥、游标卡尺等。



2. 实验步骤

- (1) 测质量：用天平测出滑块质量。
- (2) 安装：正确安装好气垫导轨。

(3) 实验：接通电源，利用配套的光电计时装置测出两滑块各种情况下碰撞前后的速度（a.改变滑块的质量；b.改变滑块的初速度大小和方向）。

3. 数据处理

(1) 滑块速度的测量： $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ ，式中 Δx 为滑块上的挡光片的宽度（仪器说明书上给出，也可直接测量）， Δt 为数字计时器显示的滑块上挡光片经过光电门的时间。

(2) 验证的表达式：_____。

【答案】 $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$

方案二 利用等长悬线悬挂的摆球完成一维碰撞实验

1.实验器材 带细线的刚性小球（两套，球等大不等重）、铁架台、天平、量角器、刻度尺、游标卡尺、胶布等。

2.实验步骤

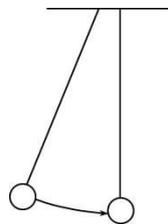
(1) 测质量和直径：用天平测出小球的质量 m_1 、 m_2 ，用游标卡尺测出小球的直径 d 。

(2) 安装：把小球用等长悬线悬挂起来，并用刻度尺测量悬线长度 l 。

(3) 实验：一个小球静止，拉起另一个小球，放下后它们相碰。

(4) 测角度：用量角器测量小球被拉起的角度和碰撞后两小球摆起的角度。

(5) 改变条件重复实验：a.改变小球被拉起的角度；b.改变摆长。



3. 数据处理

(1) 小球速度的测量： $v = \sqrt{2gh}$ ，式中 h 为小球释放时（或碰撞后摆起）的高度， h 可由摆角和摆长 $(l + \frac{d}{2})$ 计算出。

(2) 验证的表达式： $m_1v_1 = m_1v'_1 + m_2v'_2$ 。

【答案】 $\sqrt{2gh}$

方案三 利用两个小车完成一维碰撞实验

1.实验器材 光滑长木板、打点计时器、纸带、小车（两个）、天平、撞针、橡皮泥、刻度尺等。



2.实验步骤

(1) 测质量：用天平测出两小车的质量。

(2) 安装：将打点计时器固定在光滑长木板的一端，把纸带穿过打点计时器，连在小车A的后面，在两小车的碰撞端分别装上撞针和橡皮泥。

(3) 实验：小车B静止，接通电源，让小车A运动，碰撞时撞针插入橡皮泥中，两小车组成一个整体，一起运动。

(4) 改变条件重复实验：a.改变小车A的初速度；b.改变两小车的质量。

3.数据处理

(1) 小车速度的测量：通过纸带上两计数点间的距离及对应的时间，由 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 计算。

(2) 验证的表达式： $m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v_2$ 。

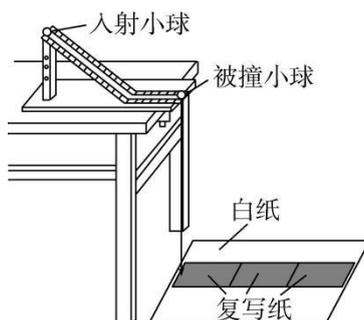
方案四 利用斜槽滚球验证动量守恒定律

1.实验器材 斜槽、小球（两个）、天平、复写纸、白纸、圆规、刻度尺、重锤等。

2.实验步骤

(1) 测质量：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。

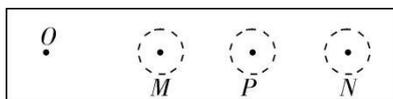
(2) 安装：按照如图所示安装实验装置。调整固定斜槽使斜槽末端水平。



(3) 铺纸：白纸在下，复写纸在上且在适当位置铺放好。记下重垂线所指的位置O。

(4) 单球找点：不放被撞小球，每次让入射小球从斜槽上某固定高度处自由滚下，重复多次。用圆规找出小球落点的平均位置P。

(5) 碰撞找点：把被撞小球放在斜槽末端，每次让入射小球从斜槽同一高度自由滚下，使它们发生碰撞，重复实验多次。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 ，如图所示。



3. 数据处理

(1) 小球水平射程的测量：连接 ON ， O 、 P 、 M 、 N 四点共线，分别测出 O 点到 P 、 M 、 N 三点的距离，记为 OP 、 OM 、 ON 。

(2) 验证的表达式：_____。

【答案】 $m_1 \cdot OP = m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON$

四、误差分析

1. 系统误差：主要来源于实验器材及实验操作等。

(1) 碰撞是否为一维。

(2) 气垫导轨是否完全水平；摆球受到空气阻力；小车受到长木板的摩擦力；入射小球的释放高度存在差异。

2. 偶然误差：主要来源于质量 m_1 、 m_2 和碰撞前后速度（或水平射程）的测量。

五、注意事项

1. 前提条件：碰撞的两物体应保证“水平”和“正碰”。

2. 方案提醒

(1) 若利用气垫导轨进行验证，给滑块的初速度应沿着导轨的方向。

(2) 若利用摆球进行验证，实验前两摆球应刚好接触且球心在同一水平线上，将摆球拉起后，两摆线应在同一竖直面内。

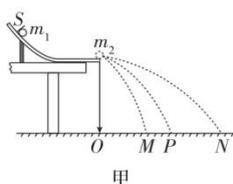
(3) 若利用两小车相碰进行验证，要注意平衡摩擦力。

(4) 若利用平抛运动规律进行验证，安装实验装置时，应注意调整斜槽，使斜槽末端水平，且选质量较大的小球为入射小球。

关键能力·核心突破

探究点一 教材原型实验

例 1 [2024·北京卷·16, 10分]如图甲所示，让两个小球在斜槽末端碰撞来验证动量守恒定律。



(1) 关于本实验，下列做法正确的是（选填选项前的字母）。

- A. 实验前，调节装置，使斜槽末端水平
- B. 选用两个半径不同的小球进行实验
- C. 用质量大的小球碰撞质量小的小球

(2) 图甲中 O 点是小球抛出点在地面上的垂直投影。首先，将质量为 m_1 的小球从斜槽上的 S 位置由静止释放，小球落到复写纸上，重复多次。然后，把质量为 m_2 的被碰小球置于斜槽末端，再将质量为 m_1 的小球从 S 位置由静止释放，两球相碰，重复多次。分别确定平均落点，记为 M 、 N 和 P （ P 为 m_1 单独滑落时的平均落点）。

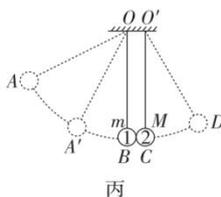


乙

- a. 图乙为实验的落点记录，简要说明如何确定平均落点；
- b. 分别测出 O 点到平均落点的距离，记为 OP 、 OM 和 ON 。在误差允许范围内，若关系式_____成立，即可验证碰撞前后动量守恒。

(3) 受上述实验的启发，某同学设计了另一种验证动量守恒定律的实验方案。如图丙所示，用两根不可伸长的等长轻绳将两个半径相同、质量不等的匀质小球悬挂于等高的 O 点和 O' 点，两点间距等于小球的直径。将质量较小的小球1向左拉起至 A 点由静止释放，在最低点 B 与静止于 C 点的小球2发生正碰。碰后小球1向左反弹至最高点 A' ，小球2向右摆动至最高点 D 。测得小球1、2的质量分别为 m 和 M ，弦长 $AB = l_1$ 、 $A'B = l_2$ 、 $CD = l_3$ 。

推导说明， m 、 M 、 l_1 、 l_2 、 l_3 满足什么关系即可验证碰撞前后动量守恒。



丙

【答案】 (1) AC

(2) a 见解析

b $m_1OP = m_1OM + m_2ON$

(3) 见解析

【解析】

(1) 实验前，应调节装置，使斜槽末端水平，保证小球抛出后的运动为平抛运动，A 正确。为保证两个小球发生对心正碰，选用的两个小球的半径必须相同，B 错误。为保证碰后小球不反向弹回，要用质量大的小球碰撞质量小的小球，C 正确。

(2) a 用圆规画一个尽可能小的圆，将各个落点圈在圆内，圆心位置就是平均落点位置。

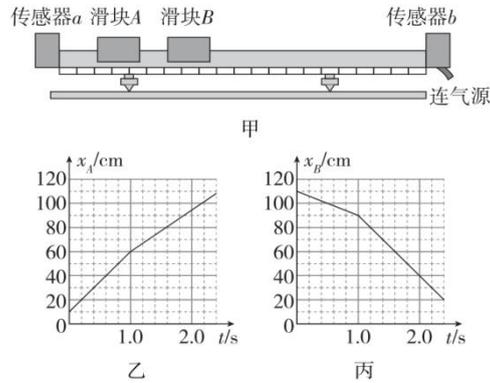
b 设质量为 m_1 的小球单独滑落做平抛运动的初速度为 v_0 ，碰撞后瞬间，质量为 m_1 的小球的速度为 v_1 ，质量为 m_2 的被碰小球的速度为 v_2 ，要验证动量守恒定律，即验证 $m_1v_0 = m_1v_1 + m_2v_2$ ，本实验中两小球都做平抛运动，竖直位移相同，则运动时间相同，水平方向做匀速直线运动，可得 $m_1v_0t = m_1v_1t + m_2v_2t$ ，可知若测量的物理量满足关系式 $m_1OP = m_1OM + m_2ON$ ，即可验证碰撞前后动量守恒。

(3) 设将小球 1 拉起至 A 点时其轻绳与竖直方向的夹角为 θ_1 ，碰后小球 1 反弹到 A' 点时其轻绳与竖直方向的夹角为 θ_2 ，小球 2 向右摆动到最高点 D 时其轻绳与竖直方向的夹角为 θ_3 ，碰撞过程若满足动量守恒，则满足 $m\sqrt{2gl(1 - \cos\theta_1)} = -m\sqrt{2gl(1 - \cos\theta_2)} + M\sqrt{2gl(1 - \cos\theta_3)}$ ，由几何关系结合三角函数知识可得 $l(1 - \cos\theta_1) = l_1\cos(\frac{\pi - \theta_1}{2}) = l_1\sin\frac{\theta_1}{2}$ ，同理可得 $l(1 - \cos\theta_2) = l_2\sin\frac{\theta_2}{2}$ ， $l(1 - \cos\theta_3) = l_3\sin\frac{\theta_3}{2}$ ，结合三角函数关系 $1 - \cos\theta = 2\sin^2\frac{\theta}{2}$ ，可得 $ml_1 = -ml_2 + Ml_3$ 。

迁移应用. [2024·山东卷·13, 6分]在第四次“天宫课堂”中，航天员演示了动量守恒实验。受此启发，某同学使用如图甲所示的装置进行了碰撞实验，气垫导轨两端分别安装 a、b 两个位移传感器，a 测量滑块 A 与它的距离 x_A ，b 测量滑块 B 与它的距离 x_B 。部分实验步骤如下：

- ①测量两个滑块的质量，分别为 200.0g 和 400.0g；
- ②接通气源，调整气垫导轨水平；
- ③拨动两滑块，使 A、B 均向右运动；

④导出传感器记录的数据，绘制 x_A 、 x_B 随时间变化的图像，分别如图乙、图丙所示。



回答以下问题：

- (1) 从图像可知两滑块在 $t = \underline{\quad}$ s 时发生碰撞；
- (2) 滑块B碰撞前的速度大小 $v = \underline{\quad}$ m/s (结果保留 2 位有效数字)；
- (3) 通过分析，得出质量为 200.0g 的滑块是 $\underline{\quad}$ (选填“*A*”或“*B*”)。

【答案】 (1) 1.0

(2) 0.20

(3) *B*

【解析】

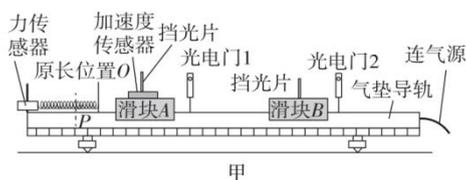
(1) 根据绘制的 x_A 、 x_B 随时间变化的图像可知 $t = 1.0\text{s}$ 时斜率发生变化，即速度发生变化，故从图像可知两滑块在 $t = 1.0\text{s}$ 时发生碰撞。

(2) 根据绘制的 x_B 随时间变化的图像可知滑块B碰撞前的速度大小 $v = \frac{(110-90)\times 10^{-2}}{1.0}\text{m/s} = 0.20\text{m/s}$ 。

(3) 根据绘制的 x_B 随时间变化的图像可知滑块B碰撞后的速度大小 $v' = \frac{(90-20)\times 10^{-2}}{2.4-1.0}\text{m/s} = 0.50\text{m/s}$ ，根据绘制的 x_A 随时间变化的图像可知滑块A碰撞前的速度大小 $v_A = \frac{(60-10)\times 10^{-2}}{1.0}\text{m/s} = 0.50\text{m/s}$ ，滑块A碰撞后的速度大小 $v'_A = \frac{(109-60)\times 10^{-2}}{2.4-1.0}\text{m/s} = 0.35\text{m/s}$ 。对滑块A和滑块B，根据动量守恒定律有 $m_A v_A + m_B v = m_A v'_A + m_B v'$ ，若滑块A的质量为 200.0g，代入数据不满足动量守恒定律；若滑块B的质量为 200.0g，代入数据在误差允许范围内满足动量守恒定律，故滑块B的质量为 200.0g。

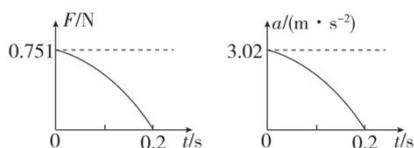
探究点二 创新拓展实验

例 2 [2025·湖北新八校协作体联考]某同学利用气垫导轨、力传感器、无线加速度传感器、光电门、轻质弹簧和滑块等器材设计了测量物体质量和验证动量守恒定律的实验，组装摆放好的装置如图甲所示。

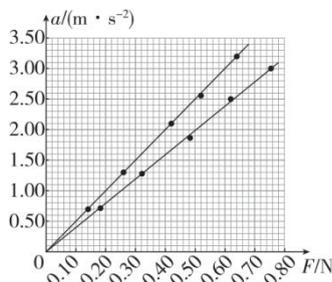


主要步骤如下：

- 测得A、B滑块上固定的挡光片的宽度均为 d ，并根据挡光片调节光电门到合适的高度；
- 将力传感器固定在气垫导轨左端支架上，加速度传感器固定在滑块A上；
- 接通气源，放上滑块，调节气垫导轨，使滑块能在导轨上保持静止状态；
- 弹簧处于原长时右端位于O点，将滑块A向左水平推动，使弹簧右端压至P点，稳定后由静止释放滑块A，并开始计时；
- 计算机采集获取数据，得到滑块A所受弹力大小 F 、加速度大小 a 随时间 t 变化的图像，如图乙所示；
- 滑块A与弹簧分开后，经过光电门1，记录遮光时间 Δt ，然后滑块A、B发生碰撞，碰撞时间极短，B、A分开后依次通过光电门2的时间分别为 Δt_B 和 Δt_A ；
- 用滑块B重复实验步骤d、e，并得到滑块B的 $F-t$ 和 $a-t$ 图像，分别提取滑块A、B某些时刻 F 与 a 对应的数据，画出 $a-F$ 图像如图丙所示。



乙



丙

回答以下问题：（结果均保留 2 位有效数字）

- (1) 滑块A与加速度传感器以及挡光片的总质量 $m_A = \underline{\quad}$ kg;
- (2) 滑块B与挡光片的总质量 $m_B = \underline{\quad}$ kg;
- (3) 利用上述测量的数据, 验证动量守恒定律的表达式是
 _____ (用题中字母表示)。

【答案】 (1) 0.25

(2) 0.20

(3) $\frac{m_A}{\Delta t} = \frac{m_A}{\Delta t_A} + \frac{m_B}{\Delta t_B}$

【解析】

(1) 根据牛顿第二定律 $F = ma$, 可知 $a = \frac{1}{m}F$, 由乙图可知, 当 $t = 0$ 时 $F = 0.751\text{N}$, $a = 3.02\text{m/s}^2$, 可知滑块A与加速度传感器以及挡光片的总质量 $m_A = \frac{F}{a} \approx 0.25\text{kg}$, 结合图丙可知, 斜率较小的图线为A的图线, $k = \frac{1}{m_A} = \frac{2.00}{0.50}\text{kg}^{-1} = 4\text{kg}^{-1}$, 可得 $m_A = 0.25\text{kg}$ 。

(2) 由上述分析可知, 斜率较大的图线是B的图线, $k_1 = \frac{1}{m_B} = \frac{3.00}{0.60}\text{kg}^{-1} = 5\text{kg}^{-1}$, 滑块B与挡光片的总质量 $m_B = 0.20\text{kg}$ 。

(3) 碰撞前滑块A的速度 $v_A = \frac{d}{\Delta t}$, 碰撞后滑块A的速度 $v'_A = \frac{d}{\Delta t_A}$, 碰撞后滑块B的速度 $v'_B = \frac{d}{\Delta t_B}$, 由动量守恒定律得 $m_A v_A = m_A v'_A + m_B v'_B$, 代入可得 $\frac{m_A}{\Delta t} = \frac{m_A}{\Delta t_A} + \frac{m_B}{\Delta t_B}$, 此式即验证动量守恒定律的表达式。

例3 [2023·辽宁卷·11, 8分]某同学为了验证对心碰撞过程中的动量守恒定律, 设计了如下实验: 用纸板搭建如图所示的滑道, 使硬币可以平滑地从斜面滑到水平面上, 其中OA为水平段。选择相同材质的一元硬币和一角硬币进行实验。

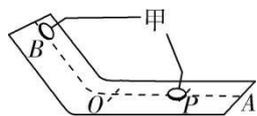


图 (a)

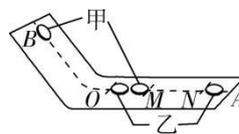


图 (b)

测量硬币的质量, 得到一元和一角硬币的质量分别为 m_1 和 m_2 ($m_1 > m_2$)。将硬币甲放置在斜面上某一位置, 标记此位置为B。由静止释放甲, 当甲停在水平面上某处时, 测量甲从O点到停止处的滑行距离OP。将硬币乙放置在O处, 左

侧与O点重合，将甲放置于B点由静止释放。当两枚硬币发生碰撞后，分别测量甲、乙从O点到停止处的滑行距离OM和ON。保持释放位置不变，重复实验若干次，得到OP、OM、ON的平均值分别为 s_0 、 s_1 、 s_2 。

(1) 在本实验中，甲选用的是___（选填“一元”或“一角”）硬币；

(2) 碰撞前，甲到O点时速度的大小可表示为_____（设硬币与纸板间的动摩擦因数为 μ ，重力加速度为 g ）；

(3) 若甲、乙碰撞过程中动量守恒，则 $\frac{\sqrt{s_0}-\sqrt{s_1}}{\sqrt{s_2}} = \underline{\hspace{2cm}}$ （用 m_1 和 m_2 表示），然后通过测得的具体数据验证硬币对心碰撞过程中动量是否守恒；

(4) 由于存在某种系统或偶然误差，计算得到碰撞前后甲动量变化量大小与乙动量变化量大小的比值不是1，写出一条产生这种误差可能的原因：

_____。

【答案】 (1) 一元

(2) $\sqrt{2\mu gs_0}$

(3) $\frac{m_2}{m_1}$

(4) 见解析

【解析】

(1) 用质量较大的一元硬币去碰撞质量较小的一角硬币，确保碰撞后甲的运动方向不变。

(2) 设甲到O点时速度的大小为 v_1 ，由动能定理有 $-\mu m_1 g s_0 = 0 - \frac{1}{2} m_1 v_1^2$ ，解得 $v_1 = \sqrt{2\mu g s_0}$ 。

(3) 由动能定理可得一元和一角硬币碰撞后的速度分别为 $v'_1 = \sqrt{2\mu g s_1}$ ， $v'_2 = \sqrt{2\mu g s_2}$ 由动量守恒定律有 $m_1 v_1 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$ 即 $m_1 \sqrt{2\mu g s_0} = m_1 \sqrt{2\mu g s_1} + m_2 \sqrt{2\mu g s_2}$ 解得 $\frac{\sqrt{s_0}-\sqrt{s_1}}{\sqrt{s_2}} = \frac{m_2}{m_1}$ 。

(4) ①非理想的“对心”碰撞造成系统误差；②位移或质量的测量造成偶然误差；③两硬币实际与纸板间的动摩擦因数不同造成系统误差。其他符合题意的原因均可得分。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 38