

专题 05 动量定理及碰撞类动量守恒定律的应用

NO.1

压轴题解读

命题预测	动量定理及动量守恒定律在高考物理中拥有极其重要的地位,它们不仅是力学知识体系的核心组成部分,也是分析和解决物理问题的重要工具。 在 2025 年的高考命题中,动量定理及动量守恒定律的考查形式丰富多样。这些考点既可能以选择题、计算题的形式直接检验学生对基本原理的掌握情况,也可能通过复杂的计算题、应用题,要求学生运用动量定理和动量守恒定律进行深入分析和计算。此外,这些考点还经常与其他物理知识点相结合,形成综合性强的题目,以检验学生的综合应用能力。 在复习时,考生应首先深入理解动量定理和动量守恒定律的基本原理和概念,明确它们的适用范围和条件。其次,考生需要熟练掌握相关的公式和计算方法,并能够在实际问题中灵活运用。此外,考生还应注重解题方法的总结和归纳,特别是对于典型题目的解题思路和方法,要进行反复练习和巩固。
高频考法	1. 应用动量定理处理蹦极类问题 2. 应用动量定理处理流体类问题 3. 分方向动量定理应用问题 4. 弹性碰撞类问题 5. 完全非弹性碰撞类问题 6. 斜面类碰撞问题 7. 弹簧类碰撞问题

NO.2

压轴题密押



方法总结

考向一：应用动量定理处理蹦极类问题

1. 动量定理的表达式 $F \cdot \Delta t = \Delta p$ 是矢量式,在一维的情况下,各个矢量必须以同一个规定的方向为正方向。运用

它分析问题时要特别注意冲量、动量及动量变化量的方向,公式中的 F 是物体或系统所受的合力。

2. 动量定理的应用技巧

(1) 应用 $I = \Delta p$ 求变力的冲量

如果物体受到大小或方向改变的力的作用,则不能直接用 $I = Ft$ 求冲量,可以求出该力作用下物体动量的变化 Δp ,等效代换得出变力的冲量 I 。

(2) 应用 $\Delta p = F\Delta t$ 求动量的变化

考向二：流体类和微粒类问题中应用动量定理

1. 流体类“柱状模型”问题

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	1	建立“柱状模型”，沿流速 v 的方向选取一段柱形流体，其横截面积为 S
	2	微元研究，作用时间 Δt 内的一段柱形流体的长度为 Δl ，对应的质量为 $\Delta m = \rho S v \Delta t$
	3	建立方程，应用动量定理研究这段柱状流体

2. 微粒类“柱状模型”问题

微粒及其特点		通常电子流、光子流、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，柱体的横截面积为 S
	2	微元研究，作用时间 Δt 内一段柱形流体的长度为 Δl ，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

考向三：应用动量守恒定律解决碰撞类问题

1. 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

① 若碰前两物体同向运动，则应有 $v_{后} > v_{前}$ ，碰后原来在前的物体速度一定增大，若碰后两物体同向运动，则应有 $v_{前}' \geq v_{后}'$ 。

②碰前两物体相向运动，碰后两物体的运动方向不可能都不改变。

2. “动碰动”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，若两物体质量分别为 m_1 和 m_2 ，碰前速度为 v_1 ， v_2 ，碰后速度分别为 v_1' ， v_2' ，则有：

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

联立（1）、（2）解得：

$$v_1' = 2 \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} - v_1, \quad v_2' = 2 \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} - v_2.$$



特殊情况：若 $m_1 = m_2$ ， $v_1' = v_2$ ， $v_2' = v_1$ 。

3. “动碰静”弹性碰撞的结论

两球发生弹性碰撞时应满足动量守恒和机械能守恒。以质量为 m_1 、速度为 v_1 的小球与质量为 m_2 的静止小球发生正面弹性碰撞为例，则有 $m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ (1)

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

解得： $v_1' = \frac{(m_1 - m_2) v_1}{m_1 + m_2}$, $v_2' = \frac{2 m_1 v_1}{m_1 + m_2}$

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)

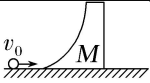
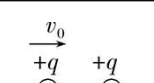
(3)当 $m_1 < m_2$ 时， $v_1' < 0$ ， $v_2' > 0$ (小碰大，要反弹)

(4)当 $m_1 \gg m_2$ 时， $v_1' = v_0$ ， $v_2' = 2v_1$ (极大碰极小，大不变，小加倍)

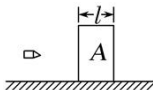
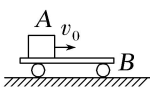
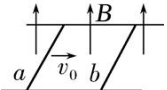
(5)当 $m_1 \ll m_2$ 时， $v_1' = -v_1$ ， $v_2' = 0$ (极小碰极大，小等速率反弹，大不变)

考向四：应用动量守恒定律解决类碰撞问题

1. 碰撞模型拓展——“保守型”

图例(水平面光滑)			
达到共速	相当于完全非弹性碰撞，系统水平方向动量守恒，满足 $mv_0 = (m + M)v_{共}$ ，损失的动能最大，分别转化为弹性势能、重力势能或电势能		
再次分离	相当于弹性碰撞，系统水平方向动量守恒，满足 $mv_0 = mv_1 + Mv_2$ ，能量满足 $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2$		

2.碰撞模型拓展——“耗散型”

图例(水平面、水平导轨都光滑)			
达到共速	相当于完全非弹性碰撞，动量满足 $mv_0 = (m+M)v_{共}$ ，损失的动能最大，分别转化为内能或电能		

考向四：多次碰撞问题

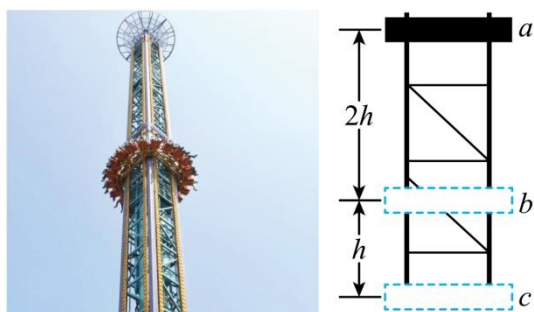
当两个物体之间或物体与挡板之间发生多次碰撞时，因碰撞次数较多，过程复杂，在求解多次碰撞问题时，通常可用到以下两种方法：

数学归纳法	先利用所学知识把前几次碰撞过程理顺，分析透彻，根据前几次数据，利用数学归纳法，可写出以后碰撞过程中对应规律或结果，然后可以计算全程的路程等数据
图像法	通过分析前几次碰撞情况，画出物体对应的 $v-t$ 图像，通过图像可使运动过程清晰明了，并且可通过图像所围面积把物体的位移求出



题型 01 应用动量定理处理蹦极类问题

1. 如图所示，左图为大型游乐设施跳楼机，右图为其结构简图。跳楼机由静止从 a 自由下落到 b ，再从 b 开始以恒力制动竖直下落到 c 停下。已知跳楼机和游客的总质量为 m ， ab 高度差为 $2h$ ， bc 高度差为 h ，重力加速度为 g 。则



- A. 从 a 到 b 与从 b 到 c 的运动时间之比为 2: 1
- B. 从 a 到 b ，跳楼机座椅对游客的作用力与游客的重力大小相等
- C. 从 a 到 b ，跳楼机和游客总重力的冲量大小为 $m\sqrt{gh}$
- D. 从 b 到 c ，跳楼机受到制动力的大小等于 $2mg$

【答案】A

【详解】A. 由题意可知，跳楼机从 a 运动 b 过程中做自由落体运动，由 $2h = \frac{1}{2}gt_1^2$ 可得，下落时间

$$t_1 = \sqrt{\frac{4h}{g}} = 2\sqrt{\frac{h}{g}}$$

由 $v_b^2 = 2g \cdot 2h$ 可知，运动到 b 的速度大小为

$$v_b = \sqrt{4gh} = 2\sqrt{gh}$$

跳楼机从 b 运动 c 过程中做减速运动，同理可得

$$h = \frac{1}{2}at_2^2, \quad v_b^2 = 2ah$$

解得减速过程的加速度大小为 $a = 2g$ ，时间为 $t_2 = \sqrt{\frac{h}{g}}$ ，故从 a 到 b 与从 b 到 c 的运动时间之比为

$$t_1 : t_2 = 2\sqrt{\frac{h}{g}} : \sqrt{\frac{h}{g}} = 2 : 1$$

故 A 正确；

B. 从 a 到 b ，跳楼机做自由落体运动，故跳楼机座椅对游客的作用力为零，故 B 错误；

C. 从 a 到 b ，根据动量定理可得

$$I_G = mv_b = 2m\sqrt{gh}$$

则跳楼机和游客总重力的冲量大小为 $2m\sqrt{gh}$ ，故 C 错误；

D. 从 b 到 c ，根据牛顿第二定律有：

$$F - mg = ma = 2mg$$

解得跳楼机受到制动力的大小为 $F = 3mg$ ，故 D 错误。

● 题型 02 应用动量定理处理流体类问题

2. 科学团队在地球表面进行探测器的悬停实验，为未来探测器在更遥远的天体安全着陆做准备。当探测器向下喷出气体时，探测器悬停在地表上空。已知探测器竖直向下喷射的气体密度为 ρ ，横截面积为 S ，喷出时的速度大小为 v ，重力加速度为 g 。若近似认为喷射气体的重力忽略不计，探测器的质量保持不变，不计空气阻力，则（ ）

- A. 探测器对喷射气体的冲量大小大于喷射气体对探测器的冲量大小
- B. 探测器与喷射气体两者的动量变化量大小相等，方向相反

C. 探测器 t 时间内喷出气体的质量为 $\frac{\rho S v}{2}$

D. 探测器的质量为 $\frac{\rho S v^2}{g}$

【答案】D

【详解】C. 探测器 t 时间内喷出气体的质量为

$$m = \rho V = \rho S L = \rho S v t$$

故 C 错误；

A. 根据牛顿第三定律可知，探测器对喷射气体的力等于喷射气体对探测器的力，作用时间相同，根据

$$I = Ft$$

可知探测器对喷射气体的冲量大小等于喷射气体对探测器的冲量大小。故 A 错误；

B. 当探测器向下喷出气体时，探测器悬停在地表上空，动量变化量为 0，而气体获得速度，动量变化量不为 0，所以两者的动量变化量大小不等。故 B 错误；

D. 设探测器对气体的力为 F ，根据动量定理有

$$Ft = mv = \rho S v t \cdot v = \rho S v^2 t$$

解得

$$F = \rho S v^2$$

根据牛顿第三定律可知气体对探测器的力

$$F' = F = \rho S v^2$$

探测器悬停在地表上空，则有

$$Mg = F'$$

解得

$$M = \frac{\rho S v^2}{g}$$

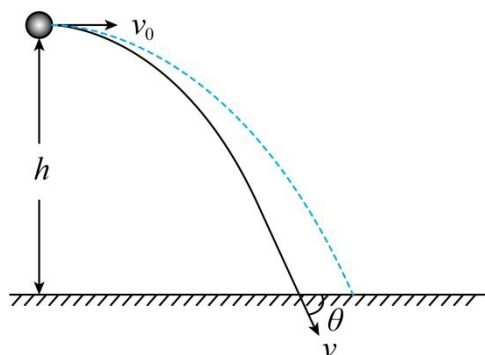
故 D 正确。

故选 D。

题型 03 分方向动量定理应用问题

3. 如图所示，实线是实验小组某次研究平抛运动得到的实际轨迹，虚线是相同初始条件下平抛运动的理论轨迹。分析后得知这种差异是空气阻力影响的结果。实验中，小球的质量为 m ，水平初速度为 v_0 ，初始时小球离地面高度为 h 。已知小球落地时速度大小为 v ，方向与水平面成 θ 角，小球在运动过程中受到的空气

阻力大小与速率成正比，比例系数为 k ，重力加速度为 g 。下列说法正确的是（ ）



- A. 小球落地时重力的功率为 mgv
- B. 小球下落的时间为 $\frac{mv \sin \theta + kh}{mg}$
- C. 小球下落过程中的水平位移大小为 $\frac{m(v_0 - v \cos \theta)}{k}$
- D. 小球下落过程中空气阻力所做的功为 $\frac{1}{2}m(v^2 - v_0^2) + mgh$

【答案】B

【详解】A. 小球落地时重力的功率为

$$P_G = mgv \sin \theta$$

故 A 错误；

B. 小球下落过程在竖直方向根据动量定理

$$mv \sin \theta = mgt - k(v_{y1} + v_{y2} + v_{y3} + \dots)t$$

$$\sum (v_{y1} + v_{y2} + v_{y3} + \dots)t = h$$

解得小球下落的时间为

$$t = \frac{mv \sin \theta + kh}{mg}$$

故 B 正确；

C. 小球在水平方向根据动量定理

$$mv \cos \theta - mv_0 = -k(v_{x1} + v_{x2} + v_{x3} + \dots)t$$

$$\sum (v_{x1} + v_{x2} + v_{x3} + \dots)t = x$$

解得小球下落过程中的水平位移大小为

$$x = \frac{m(v_0 - v \cos \theta)}{k}$$

故 C 错误；

D. 小球下落过程根据动能定理

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = mgh + W_f$$

解得小球下落过程中空气阻力所做的功为

$$W_f = -mgh + \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

故 D 错误。

故选 B。

● 题型 04 弹性碰撞类问题

4. 弹珠游戏对同学们稍显陌生，但它却是许多 80 后难忘的童年记忆。其示意图如图所示，水平地面上相距 $x=3\text{ m}$ 的地方分别有可视为质点、大小相同的球形弹珠 A、B，两者质量关系为 $m_A=3m_B$ ，假设两弹珠在水平地面上行进时受到的阻力（包括空气阻力和摩擦力等）均恒为其重力的 k 倍。现给弹珠 A 一个 $v_0=4\text{ m/s}$ 的初速度，使其与静止的弹珠 B 发生弹性碰撞，碰撞前后 A、B 均沿同一直线运动。已知 $k=0.2$ ， $g=10\text{ m/s}^2$ 。求：

- (1) 弹珠 A 与弹珠 B 碰撞前瞬间，弹珠 A 的速度大小 v_A ；
- (2) 在碰撞刚结束时弹珠 A 和弹珠 B 的速度大小 v_A' 、 v_B' ；
- (3) 弹珠 A 和弹珠 B 之间最终的距离。



【答案】 (1) $v_A = 2\text{ m/s}$ ； (2) $v_A' = 1\text{ m/s}$ ， $v_B' = 3\text{ m/s}$ ； (3) $x = 2\text{ m}$

【详解】 (1) 对弹珠 A，在碰撞前的加速度为 a ，根据牛顿第二定律可得

$$kmg = ma$$

解得

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

方向：与 v_0 方向相反。设碰撞前弹珠 A 的速度为 v_A ，由运动学公式有

$$v_0^2 - v_A^2 = 2ax$$

解得

$$v_A = 2\text{ m/s}$$

(2) 碰撞过程中弹珠 A、B 系统动量守恒，机械能守恒。以向右为正方向，根据题意得

$$m_A v_A = m_A v_A' + m_B v_B'$$

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 = \frac{1}{2} m_A v_A'^2 + \frac{1}{2} m_B v_B'^2$$

解得

$$v_A' = 1 \text{ m/s} \quad v_B' = 3 \text{ m/s}$$

(3) 碰撞之后弹珠 A 和弹珠 B 分别向右做匀减速直线运动，设从碰撞后到停下来弹珠 A 的位移为 x_A ，弹珠 B 的位移为 x_B 。由动能定理可得

对弹珠 A

$$-k m_A g x_A = 0 - \frac{1}{2} m_A v_A'^2$$

对弹珠 B

$$-k m_B g x_B = 0 - \frac{1}{2} m_B v_B'^2$$

解得

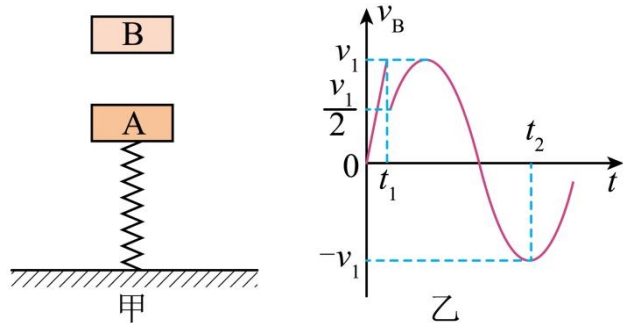
$$x_A = \frac{1}{4} m, \quad x_B = \frac{9}{4} m$$

因此弹珠 A 和弹珠 B 最终的距离

$$x = x_B - x_A = 2 \text{ m}$$

● 题型 05 完全非弹性碰撞类问题

5. 如图甲所示，质量为 m 的物块 A 与竖直放置的轻弹簧上端连接，弹簧下端固定在地面上。 $t = 0$ 时，物块 A 处于静止状态，物块 B 从 A 正上方一定高度处自由落下，与 A 发生碰撞后一起向下运动（碰撞时间极短，且未粘连），到达最低点后又向上运动。已知 B 运动的 $v-t$ 图像如图乙所示，其中 $0 \sim t_1$ 的图线为直线，不计空气阻力，则（ ）



A. 物块 B 的质量为 m

B. $t = t_2$ 时，弹簧的弹性势能最大

C. $t = \frac{5t_2 + 3t_1}{8}$ 时, B 速度为零

D. $t = \frac{5t_2 - t_1}{4}$ 时, A、B 开始分离

【答案】AC

【详解】A. 碰撞时间极短, 可认为碰撞过程满足动量守恒, 则有

$$m_B v_1 = (m_B + m) \frac{v_1}{2}$$

解得

$$m_B = m$$

故 A 正确;

B. 当 v_B 为零时, 弹簧压缩量最短, 弹簧的弹性势能最大, 故 B 错误;

C. B 与 A 一起运动过程属于简谐振动, 故图乙中 B 物体的速度时间图线为正余弦函数关系, 设振动周期为 T , 由数学知识可得

$$\begin{aligned}\frac{v_1}{2} &= v_1 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t_1 + \varphi_0\right) \\ -v_1 &= v_1 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t_2 + \varphi_0\right)\end{aligned}$$

可得

$$\begin{aligned}\frac{2\pi}{T}t_1 + \varphi_0 &= \frac{\pi}{6} \\ \frac{2\pi}{T}t_2 + \varphi_0 &= \frac{3}{2}\pi\end{aligned}$$

则有

$$t_2 - t_1 = \frac{2}{3}T$$

设 B 速度为零时刻为 t , 则有

$$0 = v_1 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right)$$

可得

$$\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0 = \pi$$

则有

$$t_2 - t = \frac{T}{4}$$

联立解得

$$t = \frac{5t_2 + 3t_1}{8}$$

故 C 正确；

D. 根据

$\frac{5t_2 - t_1}{4} - t_2 = \frac{t_2 - t_1}{4} = \frac{T}{6} t = \frac{5t_2 - t_1}{4}$ 时, B 的速度为

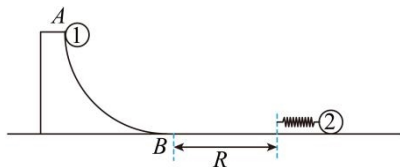
$$v_B = v_1 \sin \left[\frac{2\pi}{T} \left(t_2 + \frac{T}{6} \right) + \varphi_0 \right] = v_1 \left(\sin \frac{2\pi}{T} t_2 + \varphi_0 + \frac{\pi}{3} \right) = v_1 \sin \frac{11\pi}{6} = -\frac{v_1}{2}$$

可知此时 A、B 刚好回到碰撞时的位置, 此时弹簧仍处于压缩状态, A、B 并未分离, 故 D 错误。

故选 AC。

● 题型 06 斜面类碰撞问题

6. 如图所示, 半径为 R 、质量为 $3m$ 的 $\frac{1}{4}$ 圆弧槽 AB 静止放在光滑水平地面上, 圆弧槽底端 B 点切线水平, 距离 B 点为 R 处有一质量为 $3m$ 的小球 2, 其左侧连有轻弹簧。现将质量为 m 的小球 1 (可视为质点) 从左侧圆弧槽上端的 A 点由静止释放, 重力加速度为 g , 不计一切摩擦。则下列说法正确的是 ()



A. 系统 (三个物体) 全程动量守恒

B. 小球 1 刚与弹簧接触时, 与圆弧槽底端 B 点相距 $\frac{5}{3}R$

C. 弹簧弹性势能的最大值为 $\frac{9}{16}mgR$

D. 小球 1 最终的速度大小为 $\frac{\sqrt{6gR}}{4}$

【答案】BC

【详解】A. 小球 1 在圆弧槽上运动时, 系统在竖直方向上动量不守恒, 故 A 错误;

B. 小球 1 从圆弧槽的 A 点到 B 点的过程中, 设小球 1 滑到 B 点时小球 1 的速度为 v_0 , 圆弧槽的速度为 v , 取水平向右为正方向, 小球 1 与圆弧槽在水平方向动量守恒有

$$0 = mv_0 - 3mv$$

由能量守恒有

$$mgR = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2} \cdot 3mv^2$$

解得

$$v_0 = 3v = \sqrt{\frac{3gR}{2}}$$

设小球 1 到 B 点时，小球 1 水平向右移动的距离为 x_1 ，圆弧槽向左运动的距离为 x_2 ，两者的相对位移为 R ，因此有

$$mx_1 - 3mx_2 = 0$$

$$x_1 + x_2 = R$$

联立解得

$$x_1 = \frac{3}{4}R$$

$$x_2 = \frac{1}{4}R$$

此时圆弧槽的 B 点与弹簧之间的距离

$$L = x_2 + R = \frac{5}{4}R$$

小球 1 从 B 点向右以 v_0 匀速运动，圆弧槽向左以 $\frac{v_0}{3}$ 匀速运动，小球 1 刚与弹簧接触时，与圆弧槽底端 B 点的距离

$$L' = L + \frac{v_0}{3} \cdot \frac{L}{v_0} = \frac{4}{3}L = \frac{5}{3}R$$

故 B 正确；

C. 小球 1 与小球 2 共速时，弹簧弹性势能有最大值，从小球 1 刚与弹簧接触到两球共速，由动量守恒有

$$mv_0 = (m + 3m)v_{\text{共}}$$

由能量守恒有

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}(m + 3m)v_{\text{共}}^2 + E_p$$

联立解得

$$E_p = \frac{9}{16}mgR$$

故 C 正确；

D. 从小球 1 刚与弹簧接触到两球分开，由动量守恒有

$$mv_0 = mv_1 + 3mv_2$$

由能量守恒有

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2} \cdot 3mv_2^2$$

解得

$$v_1 = -\frac{1}{2}v_0$$

$$v_2 = \frac{1}{2}v_0$$

小球 1 之后向左以 $\frac{1}{2}v_0$ 匀速运动，因为圆弧槽此时正向左以 $\frac{v_0}{3}$ 匀速运动，故会再次和圆弧槽碰撞，以向左为正，碰撞前、后动量守恒有

$$m \cdot \frac{v_0}{2} + 3m \cdot \frac{v_0}{3} = mv_3 + 3mv_4$$

由能量守恒有

$$\frac{1}{2}m\left(\frac{v_0}{2}\right)^2 + \frac{1}{2} \cdot 3m\left(\frac{v_0}{3}\right)^2 = \frac{1}{2}mv_3^2 + \frac{1}{2} \cdot 3mv_4^2$$

解得

$$v_3 = \frac{1}{4}v_0$$

$$v_4 = \frac{5}{12}v_0$$

最终小球 1 以 $\frac{1}{4}v_0$ 的速度向左运动，圆弧槽以 $\frac{5}{12}v_0$ 的速度向左运动，小球 2 以 $\frac{1}{2}v_0$ 的速度向右运动，小球 1 最终的速度为

$$v_3 = \frac{1}{4}v_0 = \frac{\sqrt{6gR}}{8}$$

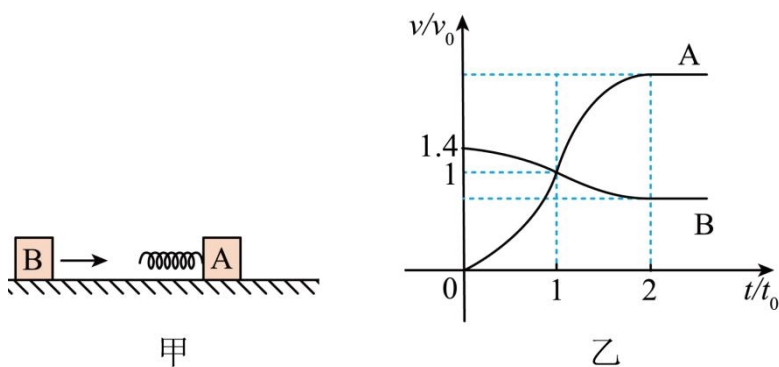
故 D 错误。

故选 BC。

● 题型 07 弹簧类碰撞问题

7. 如图甲，一质量为 m 的物块 A 与轻质弹簧连接，静止在光滑水平面上。物块 B 向 A 运动，从 $t=0$ 时与弹簧接触，到 $t=2t_0$ 时与弹簧分离。A、B 的 $v-t$ 图像如图乙所示。已知从 $t=0$ 到 $t=t_0$ 时间内，物块 A 运动的距离为 $0.5v_0t_0$ ；弹簧始终处于弹性限度内。求：

- (1) 物块 B 的质量；
- (2) 分离后物块 A、B 的速度大小；
- (3) 弹簧的最大压缩量。



【答案】（1） $2.5m$ ；（2） $2v_0$ ， $0.6v_0$ ；（3） $0.7v_0t_0$

【详解】（1）由题图可知，在 t_0 时刻，A、B 两物体的速度均为 v_0 ，由动量守恒有

$$m_B(1.4v_0) = (m + m_B)v_0$$

解得

$$m_B = 2.5m$$

（2）从两物块接触弹簧到分开过程，系统动量守恒，有

$$m_B(1.4v_0) = mv_A + m_Bv_B$$

该过程机械能守恒，有

$$\frac{1}{2}m_B(1.4v_0)^2 = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}m_Bv_B^2$$

解得

$$v_A = 2v_0, \quad v_B = 0.6v_0$$

（3）同一时刻弹簧对 A、B 的弹力大小相等，根据牛顿第二定律

$$F = ma$$

可知同一时刻

$$a_A = 2.5a_B$$

同一时刻 A、B 的瞬时速度分别为

$$v_A = a_A t, \quad v_B = 1.4v_0 - \frac{2}{5}a_A t$$

根据位移等于速度在时间的累积可得

$$s_A = v_A t \quad (\text{累积})$$

$$s_B = v_B t \quad (\text{累积})$$

又因为

$$s_A = 0.5v_0t_0$$

解得

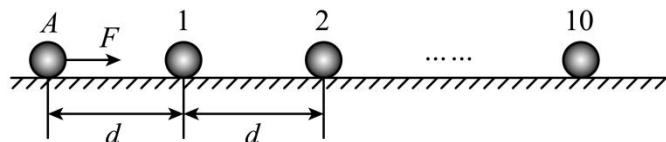
$$s_B = 1.2v_0t_0$$

第一次碰撞过程中弹簧压缩量的最大值为

$$\Delta s = s_B - s_A = 0.7v_0t_0$$

题型08 多次碰撞问题

8.光滑水平面上每隔距离 d 静止放置一个质量为 m 的小球，共放置 10 个小球，从左至右依次标号为 1、2、3、...、10。小球 A 静止放置在 1 号小球左端 d 处。现用一水平向右的恒力 F 作用于小球 A，当小球 A 运动到 10 号球位置时，撤掉 F 。小球均可视为质点，小球间碰撞时间忽略不计。



- (1)若小球 A 质量为 m ，且小球之间的碰撞均为弹性碰撞，求 10 号球开始运动的时间；
- (2)若小球 A 质量为 $2m$ ，且小球之间的碰撞均为完全非弹性碰撞，求小球 A 与 1 号球碰撞过程中的能量损失；
- (3)在（2）中条件下，求小球 A 运动过程中的最大速度。

【答案】(1) $\frac{11}{2}\sqrt{\frac{2md}{F}}$

(2) $\frac{Fd}{3}$

(3) $\frac{3}{2}\sqrt{\frac{Fd}{2m}}$

【详解】（1）

小球 A 与 1 号球碰前，做匀加速直线运动，对小球 A 由牛顿第二定律得 $F = ma$

由运动学公式得

$$d = \frac{1}{2}at_1^2, \quad v = at_1$$

小球 A 与 1 号球碰撞过程动量守恒，机械能守恒，有

$$mv = mv_A + mv', \quad \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv'^2$$

联立解得

$$v_A = 0, \quad v' = v$$

1 号球碰后以速度 v 匀速运动，同理可得， n 号球与 $n+1$ 号球碰撞后速度交换， $n+1$ 号球碰后也以速度 v 匀速运动，所以 10 号球开始运动的时间

$$t = t_1 + \frac{9d}{v}$$

解得

$$t = \frac{11}{2} \sqrt{\frac{2md}{F}}$$

(2) 小球 A 与 1 号球碰前，对小球 A 由动能定理得

$$Fd = \frac{1}{2} \times 2mv_1^2$$

小球 A 与 1 号球碰撞前后动量守恒，有

$$2mv_1 = (2m + m)v'_1$$

小球 A 与 1 号球碰撞后能量损失

$$E_{\text{损}} = \frac{1}{2} \times 2mv_1^2 - \frac{1}{2} (2m + m)v'^2_1$$

解得

$$E_{\text{损}} = \frac{Fd}{3}$$

(3) 设小球 A 和前 $(n-1)$ 个小球组成的系统与第 n 号小球碰前的速度为 v_n ，与第 n 号小球碰后，小球 A 和 n 个小球组成的系统的速度为 v'_n ，小球 A 与前 $(n-2)$ 个小球组成的系统与第 $(n-1)$ 号小球碰后的速度为 v'_{n-1} ，从小球 A 和前 $(n-2)$ 个小球组成的系统与第 $(n-1)$ 号球碰后到与第 n 号球碰前的过程中，对小球 A 和前 $(n-1)$ 个小球，由动能定理得

$$Fd = \frac{1}{2} [2m + (n-1)m] v_n^2 - \frac{1}{2} [2m + (n-1)m] v'^2_{n-1}$$

小球 A 和前 $n-1$ 个小球组成的系统与第 n 号球碰撞前后，对小球 A 和前 n 个小球，由动量守恒定律，有

$$[2m + (n-1)m] v_n = (2m + nm) v'_n$$

由上式解得 $v'_n = \frac{n+1}{n+2} v_n$ ，同理可推出

$$v'_{n-1} = \frac{n}{n+1} v_{n-1}$$

联立可得

$$(n+1)^2 v_n^2 = n^2 v_{n-1}^2 + (n+1) \frac{2Fd}{m},$$

同理可推出

$$n^2 v_{n-1}^2 = (n-1)^2 v_{n-2}^2 + n \frac{2Fd}{m}, \quad (n-1)^2 v_{n-2}^2 = (n-2)^2 v_{n-3}^2 + (n-1) \frac{2Fd}{m} \dots (2+1)^2 v_2^2 = 2^2 v_1^2 + (2+1) \frac{2Fd}{m}$$

以上式子相加得

$$(n+1)^2 v_n^2 = 2^2 v_1^2 + (n+4)(n-1) \frac{Fd}{m}$$

又

$$v_1^2 = \frac{Fd}{m}$$

解得

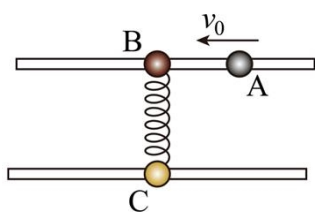
$$v_n^2 = \left[-\frac{2}{(n+1)^2} + \frac{1}{n+1} + 1 \right] \frac{Fd}{m}$$

根据数学知识可知，当 $\frac{1}{n+1} = -\frac{1}{2 \times (-2)} = \frac{1}{4}$ ，即 $n=3$ 时 v_n 有最大值

$$v_{A\max} = v_3 = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{Fd}{2m}}$$

NO.3 压轴题速练

1. 如图所示，A、B、C 三个半径相同的小球穿在两根平行且光滑的足够长的杆上，A、B、C 三球的质量分别为 $m_A=2\text{kg}$ 、 $m_B=2\text{kg}$ 、 $m_C=6\text{kg}$ ，初状态三个小球均静止，B、C 球之间连着一根轻质弹簧，弹簧处于原长状态。现给 A 一个向左的初速度 $v_0=10\text{m/s}$ ，A、B 碰撞后立即粘连在一起，下列说法正确的是（ ）



- A. 球 A 和球 B 碰撞结束后，A、B、C 三球的机械能守恒
- B. 球 A 和球 B 碰后，球 C 的最大速度为 2m/s
- C. 球 A 和球 B 碰后，弹簧的最大弹性势能为 30J
- D. 球 A 和球 B 碰撞结束后，A、B 球的最小速度大于 0

【答案】C

【详解】A. 球 A 和球 B 碰撞结束后，由于有弹簧弹力对系统做功，A、B、C 三球的机械能不守恒，故 A 错误；

B. AB 两球相碰，根据动量守恒定律有

$$m_A v_0 = (m_A + m_B) v_1$$

解得

$$v_1 = 5 \text{ m/s}$$

此后 AB 做减速运动，C 做加速运动，当 A、B、C 共速时，有

$$(m_A + m_B) v_1 = (m_A + m_B + m_C) v_2$$

解得

$$v_2 = 2 \text{ m/s}$$

此时弹簧处于拉长状态，C 球将继续做加速运动，所以球 C 的最大速度大于 2m/s。故 B 错误；

C. 当三球速度相同时，弹簧弹性势能最大，有

$$E_p = \frac{1}{2} (m_A + m_B) v_1^2 - \frac{1}{2} (m_A + m_B + m_C) v_2^2 = 30 \text{ J}$$

故 C 正确。

D. 由于 ABC 及弹簧组成的系统，在运动的过程中满足动量守恒和机械能守恒，当弹簧再次处于原长状态时

$$(m_A + m_B) v_1 = (m_A + m_B) v_2 + m_C v_3$$

$$\frac{1}{2} (m_A + m_B) v_1^2 = \frac{1}{2} (m_A + m_B) v_2^2 + \frac{1}{2} m_C v_3^2$$

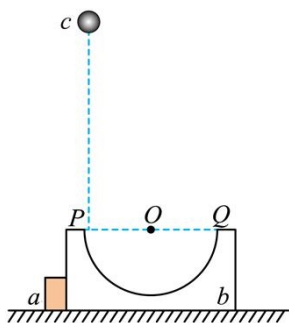
即得

$$v_2 = -1 \text{ m/s}$$

可见 A、B 球的已经反向，因此最小速度为 0，故 D 错误。

故选 C。

2. 如图所示，铁块 a 与内壁光滑的半圆形凹槽 b 并排静止在光滑的水平地面上，半圆形凹槽的半径为 R ，直径 POQ 水平。可视为质点的小球 c 自 P 点正上方高 $3R$ 处由静止开始下落，恰好从 P 点进入槽内。已知铁块 a 、半圆形凹槽 b 和小球 c 的质量均为 m ，重力加速度为 g ，不计空气阻力。小球进入槽内之后的运动过程中，下列说法正确的是（ ）



A. c 第一次到达最低点前, a 、 b 、 c 组成的系统动量守恒

B. c 第一次到达最低点时, a 的速度大小为 $4\sqrt{\frac{gR}{3}}$

C. c 第一次冲出 Q 点后, 上升的最大高度为 $2R$

D. b 能获得的最大速度大小为 $\frac{4}{3}\sqrt{gR}$

【答案】C

【详解】A. c 第一次到达最低点前, a 、 b 、 c 组成的系统水平方向不受外力, 竖直方向合力不为零, 故水平方向动量守恒, 竖直方向动量不守恒, A 错误;

B. c 第一次到达最低点时, a 、 b 速度向左, 设其大小为 v_{x1} , c 速度向右, 设其大小为 v_{x2} , 则由水平方向动量守恒得

$$2mv_{x1} = mv_{x2}$$

由能量关系

$$mg \cdot 4R = \frac{1}{2} \cdot 2mv_{x1}^2 + \frac{1}{2}mv_{x2}^2$$

解得可

$$v_{x1} = 2\sqrt{\frac{gR}{3}}, \quad v_{x2} = 4\sqrt{\frac{gR}{3}}$$

B 错误;

C. 当 c 从最低点滑到右侧 Q 点时, b 减速, 铁块 a 与 b 分离, c 第一次冲出 Q 点后上升至最大高度时, bc 水平方向共速, 对 bc 系统有

$$mv_{x2} - mv_{x1} = 2mv_{x3}$$

解得

$$v_{x3} = \sqrt{\frac{gR}{3}}$$

根据系统机械能守恒有

$$mg \cdot 4R = \frac{1}{2}mv_{x1}^2 + \frac{1}{2} \cdot 2mv_{x3}^2 + mgH + mgR$$

解得

$$H = 2R$$

C 正确；

D. 当 c 从右端滑下经过最低点时，该过程 bc 系统机械能守恒和水平方向动量守恒，结合以上分析可知此时 bc 速度交换，即 b 能获得的最大速度大小为 $\frac{4}{3}\sqrt{3gR}$ ，D 错误。

故选 C。

3. 2024 年 8 月 4 日，樊振东赢得了巴黎奥运会乒乓球男子单打项目的金牌。某次发球时，樊振东以初速度 v_0 竖直向上抛出乒乓球，乒乓球经过时间 t 到达最高点，落回抛出点之前已经匀速，匀速运动的速度大小为 v 。已知乒乓球的质量为 m ，重力加速度为 g ，乒乓球在运动过程中受到的空气阻力大小与其速率成正比。

下列说法正确的是（ ）

- A. 上升过程中重力的冲量大于下降过程中重力的冲量
- B. 上升过程中空气阻力的冲量大于下降过程中空气阻力的冲量
- C. 空气阻力与速率的比例系数为 $\frac{mg}{v_0}$
- D. 乒乓球从最高点落回到抛出点的时间为 $\frac{v_0 + v}{g} - t$

【答案】D

【详解】A. 由牛顿第二定律，上升过程

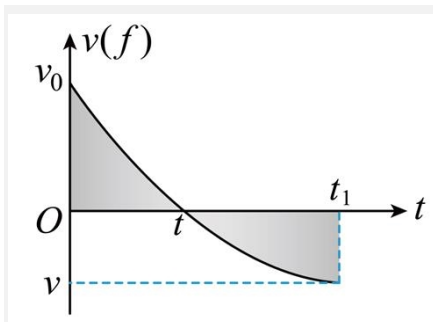
$$mg + kv = ma_1$$

随着速度的减小，阻力逐渐减小，加速度逐渐减小，下降过程

$$mg - kv = ma_2$$

随着速度的增大，阻力逐渐增加，加速度逐渐减小，可知上升过程的平均加速度大于下降过程的平均加速度，而上升过程中由于上升和下降过程中，位移大小相等，而上升过程的平均加速度大，所用时间短，则重力的冲量小于下降过程中重力的冲量，故 A 错误；

B. 做出小球的 $v-t$ 图像，如图所示



第一、第四象限中阴影部分的面积表示上升和下降过程的位移大小相等方向相反；若将纵坐标改为 f ，由于 $f \propto v$ ，因此第一、第四象限中阴影部分的面积仍相等，其物理意义为上升、下降过程阻力的冲量等大反向，故 B 错误；

C. 根据题意，落回抛出点之前已经匀速，匀速运动的速度大小为 v 。由

$$f = kv = mg$$

解得

$$k = \frac{mg}{v}$$

故 C 错误；

D. 对整个过程，设向下为正方向，根据动量定理

$$mgt' + f_{\uparrow}t - f_{\downarrow}t_{\downarrow} = mv - (-mv_0)$$

由 B 选项可知上升、下降过程阻力的冲量等大反向，解得

$$t' = \frac{v_0 + v}{g}$$

解得乒乓球从最高点落回到抛出点的时间为

$$t_1 = \frac{v_0 + v}{g} - t$$

故 D 正确；

故选 D。

4. 如图所示，两相距为 d 、带同种电荷的小球在外力作用下，静止在光滑绝缘水平面上。在撤去外力的瞬间，A 球的加速度大小为 a ，两球运动一段时间后，B 球的加速度大小为 $\frac{a}{2}$ ，速度大小为 v 。已知 A 球质量为 $2m$ ，B 球质量为 m ，两小球均可视为点电荷，不考虑带电小球运动产生的电磁效应，则在该段时间内()



A. 两球间的距离由 d 变为 $2d$

B. 两球组成的系统电势能减少了 mv^2

C. B 球运动的距离为 $\frac{2}{3}d$

D. 库仑力对 A 球的冲量大小为 $2mv$

【答案】AC

【详解】A. 当两球间的距离为 d 时，在撤去外力的瞬间，对 A 进行分析，由牛顿第二定律可得

$$k \frac{q_A q_B}{d^2} = 2ma$$

一段时间后设两球间的距离为 d' ，对 B 进行分析有

$$k \frac{q_A q_B}{d'^2} = m \cdot \frac{1}{2}a$$

解得

$$d' = 2d$$

故 A 正确；

B. 设球 B 的速度为 v 时，A 球的速度为 v' ，由动量守恒可得

$$2mv' = mv$$

解得

$$v' = \frac{v}{2}$$

两球的动能增加了

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot 2m \left(\frac{v}{2} \right)^2 + \frac{1}{2} mv^2 = \frac{3}{4} mv^2$$

由能量守恒定律可知，两球组成的系统其电势能减少了 $\frac{3}{4} mv^2$ ，故 B 错误；

C. 根据动量守恒定律有

$$2mv_A - mv_B = 0$$

解得

$$v_B = 2v_A$$

上述表达式在任意时刻均成立，则有

$$\bar{v}_B \Delta t = 2\bar{v}_A \Delta t$$

即有

$$x_B = 2x_A$$

又因为

$$x_B + x_A = d' - d = d$$

解得

$$x_B = \frac{2}{3}d$$

故 C 正确；

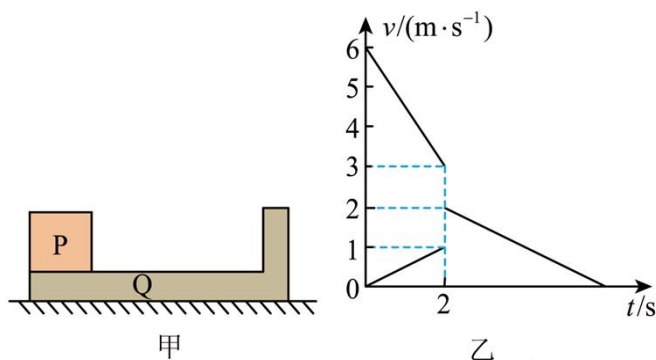
D. 在该段时间内，A 球的速度由 0 变为 $\frac{v}{2}$ ，由动量定理可得库仑力对 A 球的冲量大小为

$$I_A = 2mv' = mv$$

故 D 错误。

故选 AC。

5. 如图甲所示，“L”形木板 Q（竖直挡板厚度不计）静止于粗糙水平地面上，质量为 1kg 的滑块 P（视为质点）以 6m/s 的初速度滑上木板， $t = 2\text{s}$ 时滑块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 $g = 10\text{m/s}^2$ ，则下列说法正确的是（ ）



A. “L”形木板的长度为 9m

B. Q 的质量为 1kg

C. 地面与木板之间的动摩擦因数为 0.1

D. 由于碰撞系统损失的机械能与碰撞后木板 Q 与地面摩擦产生的内能之比为 1:4

【答案】BD

【详解】A. “L”形木板的长度

$$L = \frac{6+3}{2} \times 2\text{m} - \frac{1}{2} \times 2\text{m} = 8\text{m}$$

A 错误；

B. 滑块 P 滑上木板后，滑块 P 做匀减速运动，木板 Q 做匀加速运动，由两者运动的 $v-t$ 图像可知，两者在碰撞前滑块 P 的速度为

$$v_1 = 3\text{m/s}$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/388043001141007045>