



第07讲

动量定理

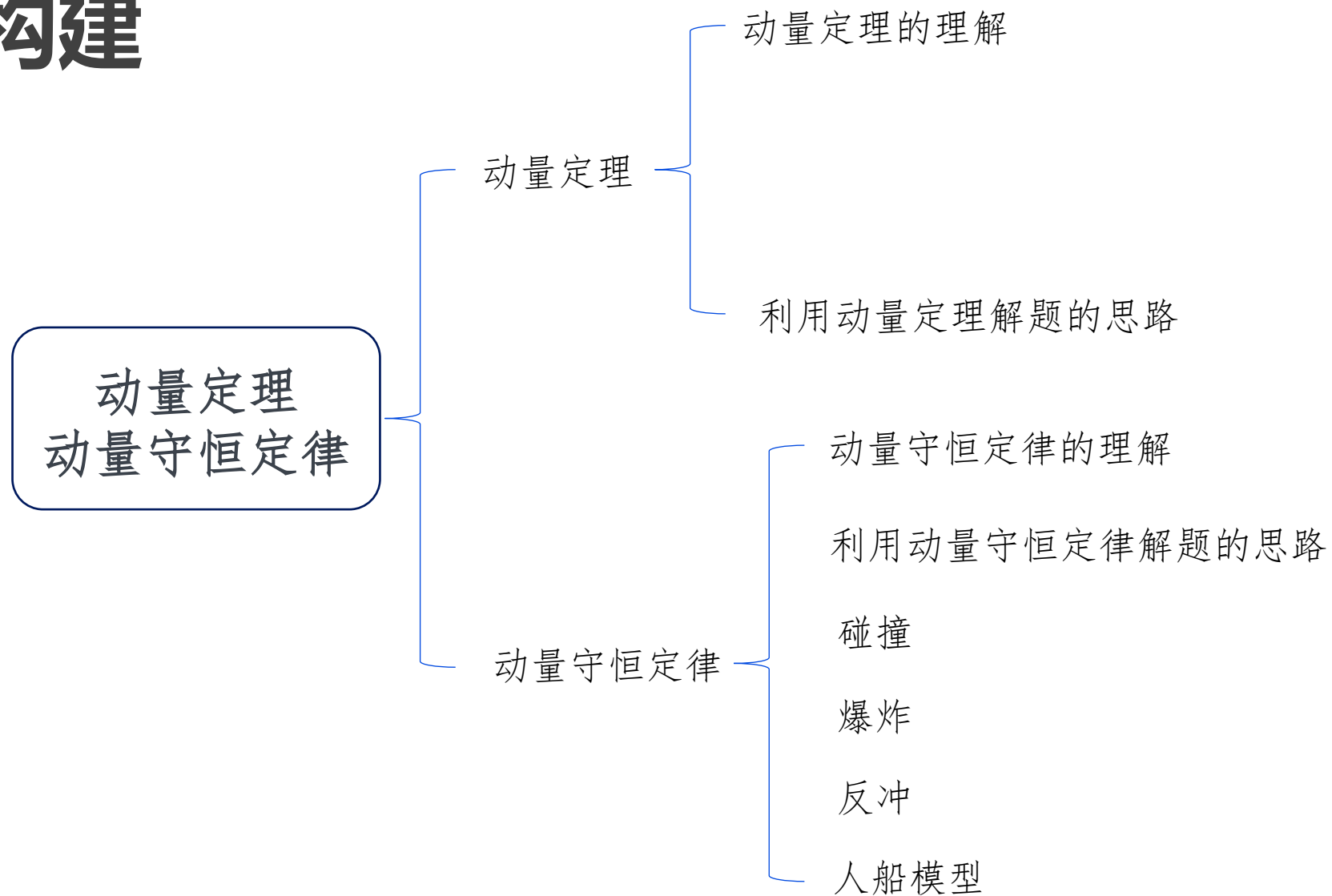
动量守恒定律



课标内容要求

1. 理解冲量和动量。通过理论推导，理解动量定理和动量守恒定律，能用其解释生产生活中的有关现象。知道动量守恒定律的普适性。
2. 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。

网络构建





动量定理的理解及应用

核心提炼

动量定理的深入理解

1. 内容：物体所受合外力的冲量等于它的动量的变化

2. 表达式： $\vec{I} = \vec{F}t = \vec{p} - \vec{p}_0 = m\vec{v} - m\vec{v}_0$

注意：

① 上述公式是一矢量式，两边不仅大小相等，而且方向相同，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。

② 由 $\vec{F}t = \vec{p} - \vec{p}_0$ ，得 $\vec{F} = \frac{\vec{p} - \vec{p}_0}{t}$ ，即物体所受的合外力等于物体动量的变化率。

核心提炼

利用动量定理解题的基本思路

1. 确定研究对象.
2. 对物体进行受力分析. 可先求每个力的冲量, 再求各力冲量的矢量和——合力的冲量; 或先求合力, 再求合力的冲量.
3. 抓住过程的初、末状态, 选好正方向, 确定各动量和冲量的正负号.
4. 根据动量定理列方程, 最后代入数据求解.

核心提炼

用动量定理处理多过程问题

如果物体在不同阶段受力不同，即合外力不恒定，此情况下应用动量定理时，一般采取以下两种方法：

1) **分段**处理法：找出每一段合外力的冲量 $\vec{I}_1, \vec{I}_2, \dots, \vec{I}_n$ ，这些冲量的矢量和即外力的合冲量 $\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \dots + \vec{I}_n$ ，根据动量定理 $\vec{I} = \vec{p}' - \vec{p}$ 求解。

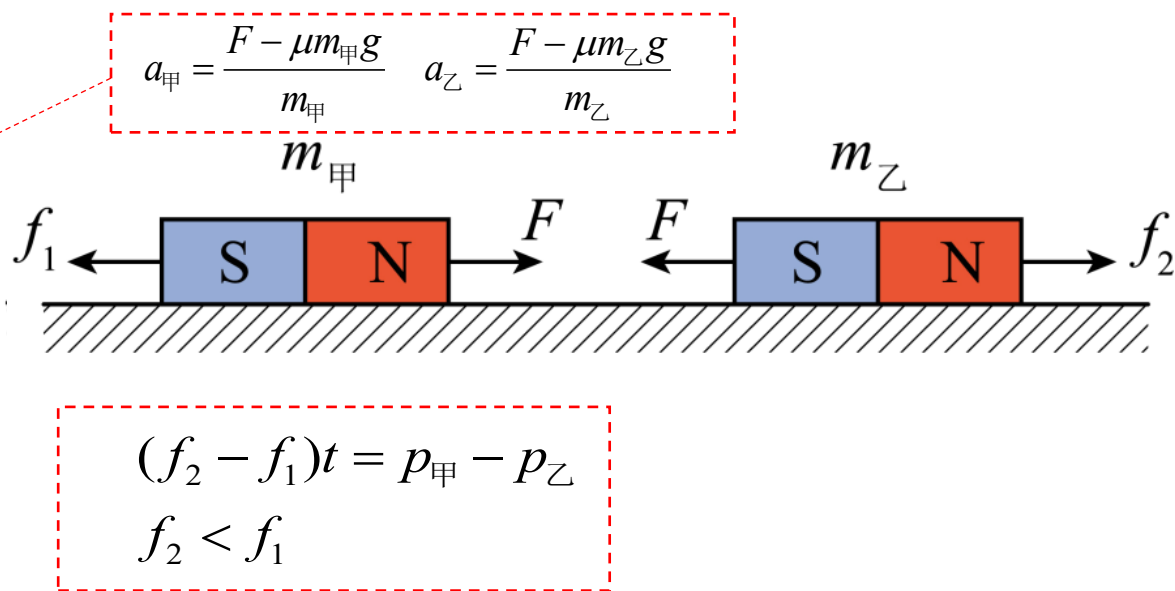
2) **全过程**处理法：在全过程中，第一个力的冲量 \vec{I}_1 ，第二个力的冲量 \vec{I}_2 ，...第 n 个力的冲量 \vec{I}_n ，这些冲量的矢量和即合冲量 I ，根据 $\vec{I} = \vec{p}' - \vec{p}$ 求解

注意：若不要求中间量，用全程法更为简便。

题型特训

(2023·山西·高考真题) (多选) 使甲、乙两条形磁铁隔开一段距离，静止于水平桌面上，甲的N极正对着乙的S极，甲的质量大于乙的质量，两者与桌面之间的动摩擦因数相等。现同时释放甲和乙，在它们相互接近过程中的任一时刻 (**BD**)

- A. 甲的速度大小比乙的大
- B. 甲的动量大小比乙的小
- C. 甲的动量大小与乙的相等
- D. 甲和乙的动量之和不为零



题型特训

(2023·广东·高考真题) (多选) 某同学受电动窗帘的启发, 设计了如图所示的简化模型. 多个质量均为 1kg 的滑块可在水平滑轨上滑动, 忽略阻力. 开窗帘过程中, 电机对滑块1施加一个水平向右的恒力 F , 推动滑块1以 0.4m/s 的速度与静止的滑块2碰撞, 碰撞时间为 0.04s , 碰撞结束后瞬间两滑块的速度为 0.22m/s . 关于两滑块的碰撞过程, 下列说法正确的有 (BD)

A. 该过程动量守恒

碰撞前 $p_1 = mv_1 = 0.40\text{kg} \cdot \text{m/s}$

碰撞后 $p_2 = 2mv_2 = 0.44\text{kg} \cdot \text{m/s}$

B. 滑块1受到合外力的冲量大小为 $0.18\text{N} \cdot \text{s}$

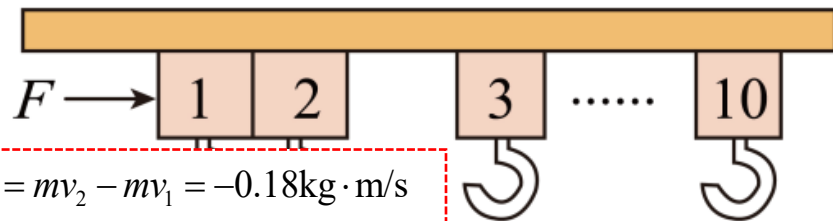
$I_1 = mv_2 - mv_1 = -0.18\text{kg} \cdot \text{m/s}$

C. 滑块2受到合外力的冲量大小为 $0.40\text{N} \cdot \text{s}$

$I_2 = mv_2 = 0.22\text{kg} \cdot \text{m/s}$

D. 滑块2受到滑块1的平均作用力大小为 $5.5\text{N} \cdot \text{s}$

$F\Delta t = I_2 \Rightarrow F = 5.5\text{N}$





动量守恒定律的理解及应用

核心提炼

动量守恒定律的深入理解

1.内容：一个系统不受外力或者所受外力之和为零，这个系统的总动量保持不变.

2.表达式（系统相互作用前的总动量等于相互作用后的总动量）：

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'$$

3.动量守恒定律成立的条件

①理想守恒：系统不受外力或系统所受外力的合力为零.

②近似守恒：系统所受的外力的合力虽不为零，但系统外力比内力小得多，如碰撞问题中的摩擦力，爆炸过程中的重力等外力比相互作用的内力小得多，可忽略不计.

③某一方向守恒：系统所受外力的合力虽不为零，但在某个方向上的分量为零，则在该方向上系统的总动量的分量保持不变.

4.动量守恒的速度具有“四性”：①矢量性；②瞬时性；③相对性；④普适性.

核心提炼

利用动量守恒定律解题的基本思路

- 1.明确研究对象，确定系统的组成(系统包括哪几个物体及研究的过程).
- 2.进行受力分析，判断系统动量是否守恒(或某一方向上是否守恒).
- 3.确定研究对象的初、末状态动量.
- 4.由动量守恒定律列出方程，并且代入数据，求出结果.

核心提炼

碰撞

- 1.碰撞：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很大的现象.
- 2.特点：在碰撞现象中，一般都满足内力远大于外力，可认为相互碰撞的系统动量守恒.
- 3.分类

类型	定义	动量是否守恒	机械能是否守恒
弹性碰撞	碰撞时,内力是弹性力,只发生机械能的转移,系统内无机械能损失	守恒	守恒
非弹性碰撞	发生非弹性碰撞时,内力是非弹性力,部分机械能转化为物体的内能	守恒	有损失
完全非弹性碰撞	发生完全非弹性碰撞时,机械能向内能转化得最多,机械能损失最大.碰后物体粘在一起,以共同速度运动	守恒	损失最大

核心提炼

碰撞

4. 碰撞问题遵守的三条原则

① **动量守恒**: $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$

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**

a. 碰前两物体同向运动，若要发生碰撞，则应有 $v_{\text{后}} > v_{\text{前}}$ ，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 $v'_{\text{前}} > v'_{\text{后}}$

b. 碰前两物体相向运动，碰后两物体的运动方向至少有一个改变。

核心提炼

碰撞

5. 弹性碰撞的结论

以质量为 m_1 、速度为 v_1 的小球与质量为 m_2 的静止小球发生弹性碰撞为例，则

$$\text{有 } m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2', \quad \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$$

$$\text{联立解得: } v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1, \quad v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1$$

讨论:

① 若 $m_1 = m_2$, 则 $v_1' = 0, v_2' = v_1$ (速度交换);

② 若 $m_1 > m_2$, 则 $v_1' > 0, v_2' > 0, v_2' > v_1'$ (碰后两物体沿同一方向运动);

当 $m_1 \gg m_2$ 时, $v_1' \approx v_1, v_2' \approx 2v_1$;

③ 若 $m_1 < m_2$, 则 $v_1' < 0, v_2' > 0$ (碰后两物体沿相反方向运动);

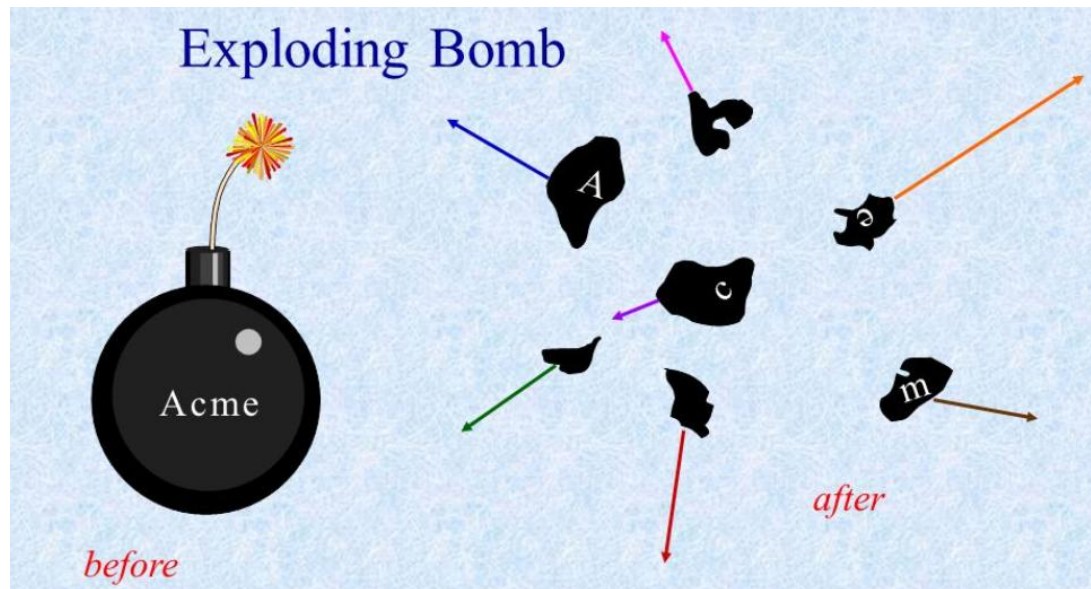
当 $m_1 \ll m_2$ 时, $v_1' \approx -v_1, v_2' \approx 0$.

核心提炼

爆炸

爆炸问题的特点是物体间的相互作用突然发生，作用时间很短，作用力很大，且远大于系统受的外力，故可用动量守恒定律来处理。

$$\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = 0$$



核心提炼

反冲运动

反冲现象：喷气式飞机、火箭等指在**系统内力**作用下，系统内一部分物体向某方向发生动量变化时，系统内其余部分物体向**相反**的方向发生动量变化的现象。在反冲现象里，**系统的动量守恒**。



核心提炼

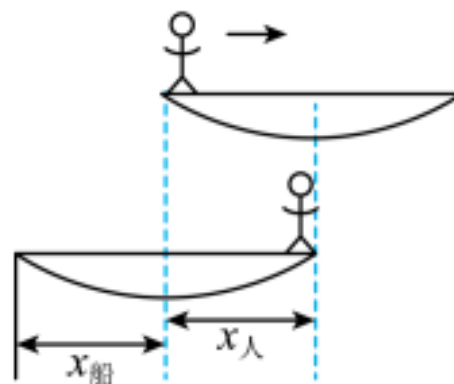
人船模型

① 模型特点

a. 两物体满足动量守恒定律： $m_{\text{人}}v_{\text{人}} - m_{\text{船}}v_{\text{船}} = 0$

b. 两物体的位移大小满足： $m_{\text{人}} \frac{x_{\text{人}}}{t} - m_{\text{船}} \frac{x_{\text{船}}}{t} = 0$ 又 $x_{\text{人}} + x_{\text{船}} = L$

得 $x_{\text{人}} = \frac{m_{\text{船}}}{m_{\text{船}} + m_{\text{人}}} L$, $x_{\text{船}} = \frac{m_{\text{人}}}{m_{\text{船}} + m_{\text{人}}} L$



② 运动特点

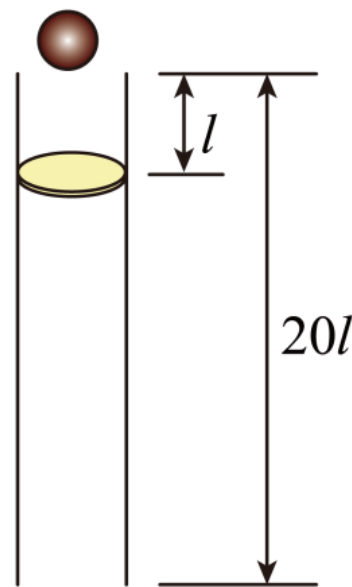
a. 人动则船动，人静则船静，人快船快，人慢船慢，人左船右；

b. 人船位移比等于它们质量的反比；人船平均速度(瞬时速度)比等于它们质量的反比，即 $\frac{x_{\text{人}}}{x_{\text{船}}} = \frac{v_{\text{人}}}{v_{\text{船}}} = \frac{m_{\text{船}}}{m_{\text{人}}}$.

题型特训

(2023·全国·高考真题)如图，一竖直固定的长直圆管内有一质量为 M 的静止薄圆盘，圆盘与管的上端口距离为 l ，圆管长度为 $20l$ 。一质量为 $m = \frac{1}{3}M$ 的小球从管的上端口由静止下落，并撞在圆盘中心，圆盘向下滑动，所受滑动摩擦力与其所受重力大小相等。小球在管内运动时与管壁不接触，圆盘始终水平，小球与圆盘发生的碰撞均为弹性碰撞且碰撞时间极短。不计空气阻力，重力加速度大小为 g 。求

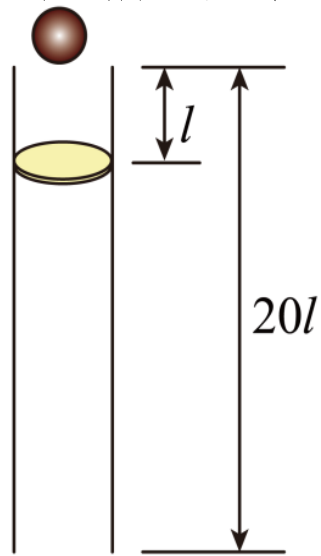
- (1) 第一次碰撞后瞬间小球和圆盘的速度大小；
- (2) 在第一次碰撞到第二次碰撞之间，小球与圆盘间的最远距离；



题型特训

解析：（1）小球第一次与圆盘碰撞前做自由落体运动，设两者第一次碰撞前瞬间小球的速度大小为 v_1 ，竖直向下为正方向

$$\begin{cases} \text{速度-位移公式: } 2gl = v_1^2 \\ \text{动量守恒: } mv_1 = mv_{m1} + Mv_{M1} \\ \text{机械能守恒: } \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_{m1}^2 + \frac{1}{2}Mv_{M1}^2 \Rightarrow v_{m1} = -\frac{\sqrt{2gl}}{2}, v_{M1} = \frac{\sqrt{2gl}}{2} \\ m = \frac{1}{3}M \end{cases}$$



（2）第一次碰撞后，小球做竖直上抛运动，圆盘做向下匀速直线运动，当小球与圆盘速度相同时，两者距离最远。设第一碰撞后两者经过时间 t 后速度相同，两者最远距离为 x_m ，竖直向下为正方向

$$\begin{cases} v_{M1} = v_{m1} + gt \\ x_m = v_{M1}t - (v_{m1} + \frac{1}{2}gt^2) \Rightarrow x_m = l \end{cases}$$

【答案】（1）小球速度大小 $\frac{\sqrt{2gl}}{2}$ ，圆盘速度大小 $\frac{\sqrt{2gl}}{2}$ ；（2） l

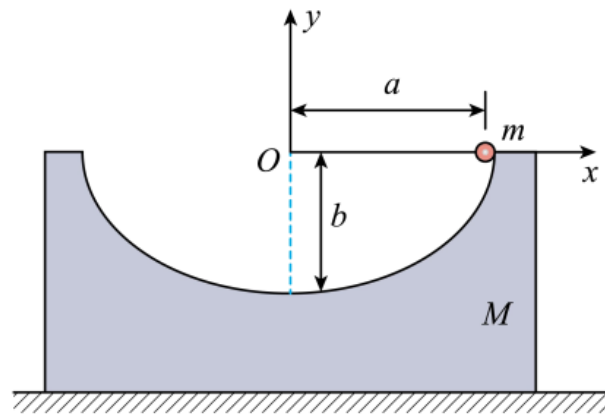
题型特训

(2023·湖南·高考真题) 如图，质量为 M 的匀质凹槽放在光滑水平地面上，凹槽内有一个半椭圆形的光滑轨道，椭圆的半长轴和半短轴分别为 a 和 b ，长轴水平，短轴竖直。质量为 m 的小球，初始时刻从椭圆轨道长轴的右端点由静止开始下滑。以初始时刻椭圆中心的位置为坐标原点，在竖直平面内建立固定于地面的直角坐标系 xOy ，椭圆长轴位于 x 轴上。整个过程凹槽不翻转，重力加速度为 g 。

(1) 小球第一次运动到轨道最低点时，求凹槽的速度大小以及凹槽相对于初始时刻运动的距离；

(2) 在平面直角坐标系 xOy 中，求出小球运动的轨迹方程；

(3) 若 $\frac{M}{m} = \frac{b}{a-b}$ ， $h = \frac{b}{2}$ 求小球下降高度时，小球相对于地面的速度大小（结果用 a 、 b 及 g 表示）。



【答案】 (1) $v_2 = \sqrt{\frac{2m^2gb}{M^2 + Mm}}$, $x_2 = \frac{m}{M+m}a$; (2) $\frac{[x(M+m) - ma]^2}{M^2a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$; (3) $2b\sqrt{\frac{g}{a+3b}}$