第十一章　动量

主讲：小瑞老师

目录

1 第 1 节动量定理及其应用

1.1 考点 1 动量和冲量

1.1.1 一、概念对比

物理量	动能	动量	冲量
表达式	$E_\mathrm{k}=\frac{1}{2}mv^2$	$p=mv$	$I=Ft$
单位	J	$\mathrm{kg\cdot m/s}$	$\mathrm{N\cdot s}$
矢标性	标量	矢量	
过程量、状态量	状态量		过程量
关联式	$E_\mathrm{k}=\frac{p^2}{2m}, p=\sqrt{2mE_k}$		-

1.1.2 二、动量的 " 三性 "

1. 瞬时性：动量是状态量，对应的速度必须是瞬时速度，是针对某一时刻或某一位置而言的。
2. 矢量性：动量是矢量，其方向与速度方向相同。
3. 相对性：动量的大小与参考系的选取有关，通常情况是指相对地面的动量。

1.1.3 三、动量变化量

$\Delta p=p_2-p_1$
1. 若初、末动量在同一直线上，规定正方向后就可以转化为代数运算，如图 1、2 所示（规定向右为正方向）。
2. 若初、末动量不在同一直线上，用矢量合成来计算，遵循平行四边形定则或三角形定则，其方向与速度的变化量方向相同，如图 3 所示。

1.1.4 四、冲量的特点

1. 矢量性：只有在作用时间内力的方向不变时冲量的方向才和力的方向一致，恒力冲量的方向与力的方向相同。
2. 过程量：冲量是反映力的作用对时间的累积效应的物理量。
（1）绝对性：因为力和时间都与参考系的选择无关，所以冲量也与参考系的选择无关。
（2）作用力与反作用力具有同时性，所以作用力和反作用力的冲量的矢量和一定为 0。

（2024 届江苏南京六校联合体调研）如图所示，质量为 m 的滑块沿倾角为 θ 的固定斜面向上滑动，经过时间 t_1 ，速度为 0 并又开始下滑，经过时间 t_2 回到斜面底端。滑块在运动过程中受到的摩擦力大小始终为 F_f ，重力加速度为 g 。在整个运动过程中，下

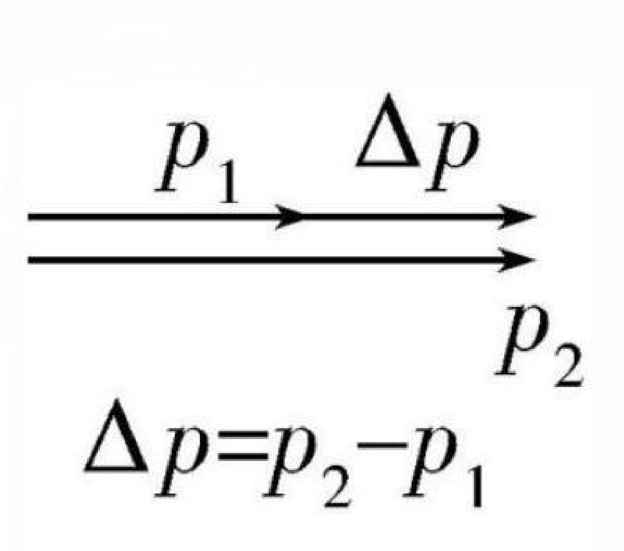


图 1: 图 1

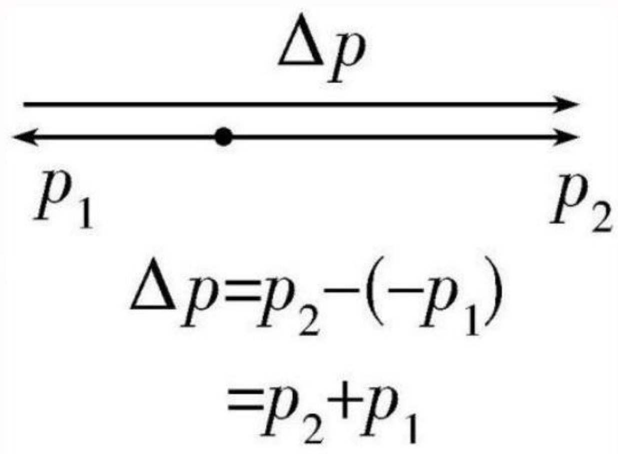
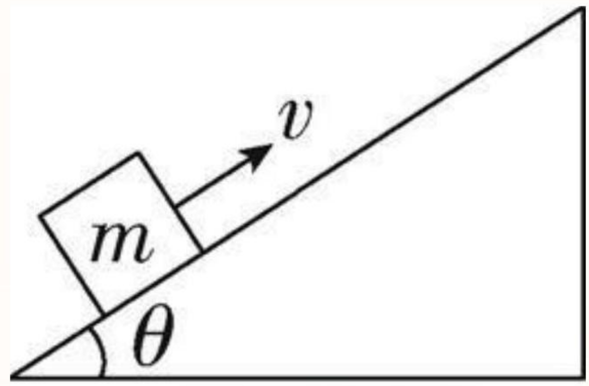


图 2: 图 2

列说法正确的是 ()



A. 重力对滑块的总冲量为 $mg\,(t_1+t_2)\sin\theta$

B. 支持力对滑块的总冲量为 $mg\,(t_1+t_2)\cos\theta$

C. 支持力对滑块的总冲量为 0

D. 摩擦力的总冲量为 $F_{\mathrm{f}}\,(t_1+t_2)$

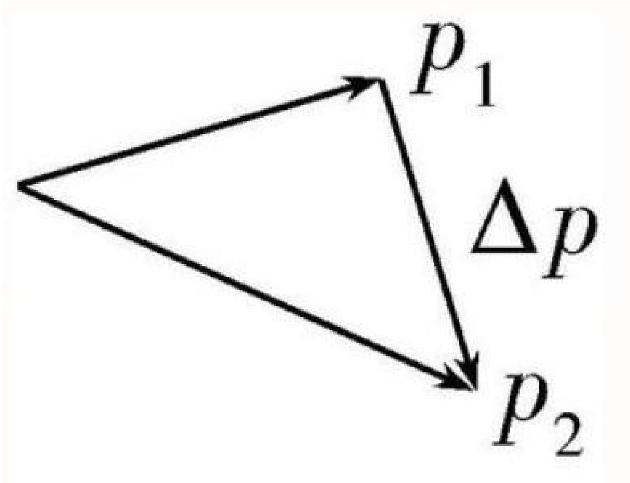


图 3: 图 3

1.1.5 提分关键 • 方法提升

冲量的四种计算方法

公式法	此方法仅适用于求恒力的冲量, 无须考虑物体的运动状态
图像法	F - t 图线与 t 轴所围的 " 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 $I=\frac{F_1+F_2}{2}\Delta t$
动量定理法	根据物体动量的变化量，由 $I=\Delta p$ 求冲量，多用于求变力的冲量

1.2 考点 2 动量定理的理解及应用

1.2.1 一、动量定理及其理解

2 1. 动量定理

(1) 内容：物体在一个过程中所受合力的冲量等于它在这个过程始末的动量变化量。
(2) 表达式：$I=F\left(t'-t\right)=\Delta p=p'-p$ 。

3 2. 对动量定理的理解

(1) $F\Delta t=p'-p$ 是矢量式，两边不仅大小相等，而且方向相同。式中 $F\Delta t$ 是物体所受的合力的冲量。

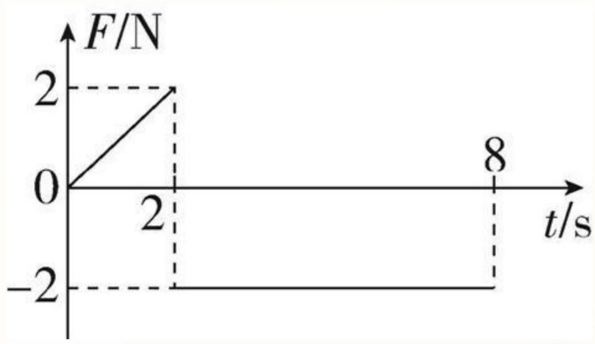
（2）$F\Delta t=p'-p$ 除了表明两边大小、方向的关系外，还说明了两边的因果关系，即合力的冲量是动量变化的原因。
（3）由 $F\Delta t=p'-p$ ，得 $F=\frac{p'-p}{\Delta t}=\frac{\Delta p}{\Delta t}$ ，即物体所受的合力等于物体动量的变化率。

3.0.1 二、应用动量定理解释生活现象

1. 当物体的动量变化量 Δp 一定时，力的作用时间 Δt 越短，力 F 就越大；力的作用时间 Δt 越长，力 F 就越小。
2. 当作用力 F 一定时，力的作用时间 Δt 越长，动量变化量 Δp 越大；力的作用时间 Δt 越短，动量变化量 Δp 越小。

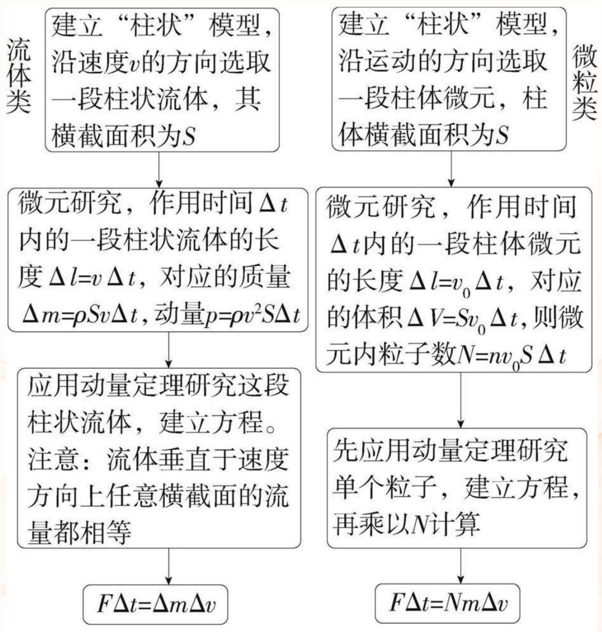
质量为 60 kg 的建筑工人不慎从高空跌下，由于弹性安全带的保护而使他悬挂起来。已知安全带的缓冲时间为 1.2 s ，安全带长 5 m, g 取 10 $\mathrm{m/s^2}$ ，不计空气阻力，则安全带所受的平均冲力的大小为 ()
A. 500 N
B. 600 N
C. 1000 N
D. 1100 N

质量 $m=4$ kg 的物块在光滑水平地面上以 $v_0=2$ m/s 的速度运动，$t=0$ 时对物块施加一水平外力 F ，规定 v_0 的方向为正方向，外力 F 随时间 t 的变化图像如图所示，则 ()



A. 第 1 s 末物块的速度大小为 2.5 m/s
B. 第 2 s 末物块的动量大小为 12 kg· m/s
C. 在 0 ~ 3 s 内物块的动量变化量为 2 kg· m/s
D. 第 7 s 末物块的运动方向发生了改变

3.1 考点 3 应用动量定理分析流体问题



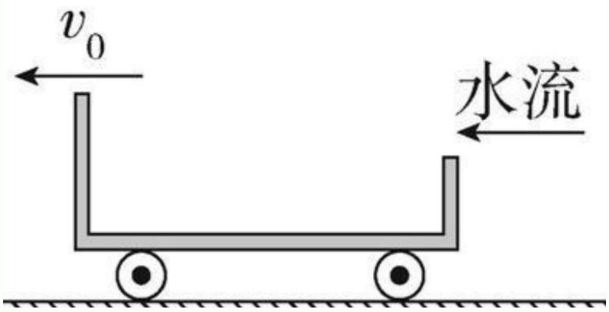
3.1.1 教考衔接

（人教版选必一 P_{30} ，B 组，T_4 改编）水流射向墙壁，会对墙壁产生冲击力。假设水枪喷水口的横截面积为 S ，喷出水流的速度为 v ，水流垂直射向竖直墙壁后速度变为 0 。已知水的密度为 ρ ，重力加速度大小为 g 。

（1）（回归教材）求墙壁受到的平均冲击力。

（2）（拓展变式）若水流垂直射向竖直墙壁后速度变为 $-v$ ，求墙壁受到的平均冲击力。

（3）（情境变式）假设水枪喷水口的横截面积为 S ，喷出水流的流速为 v ，水流垂直射向以恒定速度 $v_0\,(v_0<v)$ 匀速向左行驶的小车左壁，并沿左壁流入车厢内，如图所示。已知水的密度为 ρ ，求小车受到的平均冲击力大小。



（4）（链接高考）（经典高考题）某游乐园入口旁有一喷泉，喷出的水柱使一质量为 M 的卡通玩具稳定地悬停在空中。为方便计算，假设水柱从横截面积为 S 的喷口持续以速度 v_0 坚直向上喷出；玩具底部为平板（面积略大于 S ）；水柱冲击到玩具底部后，在坚直方向水的速度变为 0 ，在水平方向朝四周均匀散开。忽略空气阻力。已知水的密度为 ρ ，重力加速度大小为 g 。求：

（1）喷泉单位时间内喷出的水的质量；

（2）玩具在空中悬停时，其底部相对于喷口的高度。

4 第 2 节动量守恒定律

4.1 考点 1 动量守恒定律的理解和应用

4.1.1 1. 动量守恒定律的内容

如果一个系统不受外力，或者所受外力的矢量和为 0 ，这个系统的总动量保持不变。

4.1.2 2. 表达式

（1）$p=p'$ ： 系统相互作用前的总动量 p 等于相互作用后的总动量 p' 。
（2）$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$ ：相互作用的两个物体组成的系统，作用前的动量之和等于作用后的动量之和。
（3）$\Delta p=-\Delta p$ ： 相互作用的两个物体动量的变化量等大反向。

4.1.3 3. 动量守恒定律的适用条件

（1）理想守恒：系统不受外力或所受外力的矢量和为 0 ，则系统动量守恒。
（2）近似守恒：系统受到的外力的矢量和不为 0 ，但当内力远大于外力时，系统的动量可近似看成守恒。
（3）某一方向上守恒：系统在某个方向上所受外力的矢量和为 0 时，系统在该方向上动量守恒。

4.1.4 4. 动量守恒定律的五个特性

矢量性	动量守恒定律的表达式为矢量式，解题应选取统一的正方向
相对性	各物体的速度必须是相对同一参考系的速度
同时性	动量是瞬时量，表达式中的 p_1 p_2 $\cdots$ 应是系统中各物体在相互作用前同一时刻的动量，$\mathrm{p}_1{}'$ $\mathrm{p}_2{}'$ $\cdots$ 应是系统中各物体在相互作用后同一时刻的动量
系统性	研究的对象是相互作用的两个或多个物体组成的系统
普适性	动量守恒定律不仅适用于低速宏观物体组成的系统，还适用于接近光速运动的微观粒子组成的系统

（2023 新课标，19，6 分）（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（）

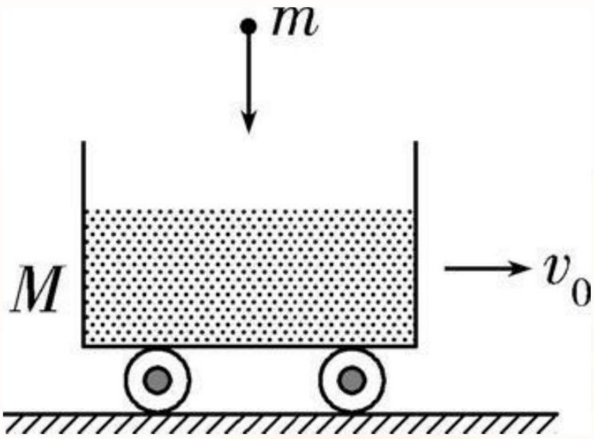
A. 甲的速度大小比乙的大
B. 甲的动量大小比乙的小
C. 甲的动量大小与乙的相等
D. 甲和乙的动量之和不为零

4.1.5 高考变式

（动量由不守恒到守恒）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，两者与桌面间的滑动摩擦力相等。现同时释放甲和乙，在它们相互接近过程中的任一时刻（）

A. 甲的速度大小比乙的大
B. 甲的动量大小大于乙的
C. 甲的动量大小与乙的相等
D. 甲和乙的动量之和不为 0

质量为 M 的沙车沿光滑水平面以速度 v_0 做匀速直线运动，此时从沙车上方落入一个质量为 m 的铁球，如图所示，则铁球落入沙车后（）



A. 沙车立即停止运动
B. 沙车仍做匀速运动，速度等于 v_0
C. 沙车仍做匀速运动，速度小于 v_0

D. 沙车仍做匀速运动，速度大于 v_0

4.2 考点 2 碰撞问题

4.2.1 一、碰撞现象的特点

在碰撞现象中，一般都满足内力远大于外力，可认为相互碰撞的物体组成的系统动量守恒。

4.2.2 二、碰撞现象的分类

	动量是否守恒	机械能是否守恒	形变恢复程度
弹性碰撞	守恒	守恒	完全恢复
非弹性碰撞	守恒	有损失	部分恢复
完全非弹性碰撞	守恒	损失最大	完全不可恢复

4.2.3 三、碰撞问题遵守的三条原则

1. 动量守恒：$p_1+p_2=p_1{}'+p_2{}'$ 。
2. 动能不增加：$E_{\mathrm{k}1}+E_{\mathrm{k}2} \geqslant E_{\mathrm{k}1}{}'+E_{\mathrm{k}2}{}'$ 。
3. 速度要符合实际情况

（1）碰前两物体同向运动，若要发生碰撞，则应有 $v_{后}>v_{前\text{，碰后原来在前的物体速度一定增}}$ 大，若碰后两物体同向运动，则应有 $v_{前} \geqslant v_{后}$ 。

（2）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。

4.2.4 四、弹性碰撞实例分析

1. 以质量为 m_1 、速度为 v_1 的小球与质量为 m_2 、速度为 v_2 的小球发生弹性碰撞为例，则有

$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1{}'+m_2v_2{}'$

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

$$\left.\begin{aligned} v_1' &= \frac{(m_1-m_2)v_1+2m_2v_2}{m_1+m_2} \\ v_2' &= \frac{(m_2-m_1)v_2+2m_1v_1}{m_1+m_2} \end{aligned}\right\}$$

熟记重要公式

2. 特例：若 $v_2=0$ ，即 " 一动一静 " 的弹性碰撞，碰后二者速度分别为

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

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

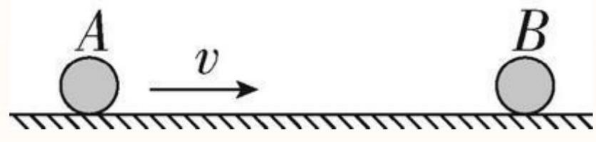
（2）若 $m_1>m_2$ ，则 $v_1'>0, v_2'>0$（碰后两小球沿同一方向运动）；当 $m_1 \gg m_2$ 时，$v_1' \approx v_1, v_2' \approx 2v_1$ 。

(3) 若 $m_1 < m_2$ ，则 $v_1' < 0, v_2' > 0$（碰后两小球沿相反方向运动）；当 $m_1 \ll m_2$ 时，$v_1' \approx -v_1, v_2' \approx 0$ 。

4.2.5 即练即清

质量为 m_A 、初速度为 v_0 的物体 A 与静止的质量为 m_B 的物体 B 发生碰撞，碰撞后物体 B 的速度范围为 $\qquad \leqslant v_B \leqslant \qquad$ 。

如图所示，质量为 3 m 的小球 B 静止在光滑水平面上，质量为 m 、速度为 v 的小球 A 与小球 B 发生正碰，碰撞可能是弹性的，也可能是非弹性的，所以碰撞后小球 B 的速度可能有不同的值。碰撞后小球 B 的速度大小可能是（）



A. 0.15 v

B. 0.2 v

C. 0.4 v

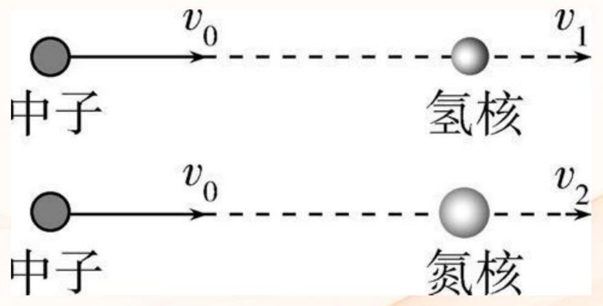
D. 0.6 v

（2022 湖南，4，4 分）1932 年，查德威克用未知射线轰击氢核，发现这种射线是由质量与质子大致相等的中性粒子（即中子）组成。如图，中子以速度 v_0 分别碰撞静止的氢核和氮核，碰撞后氢核和氮核的速度分别为 v_1 和 v_2 。设碰撞为弹性正碰，不考虑相对论效应，下列说法正确的是（）

A. 碰撞后氮核的动量比氢核的小

B. 碰撞后氮核的动能比氢核的小

C. v_2 大于 v_1

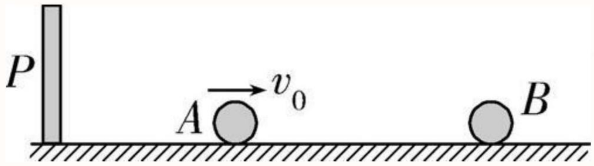


D. v_2 大于 v_0

4.2.6 高考变式

（由中子轰击氢核到核反应堆中子减速）有些核反应堆里要让中子与原子核碰撞，以便把中子的速度降下来。中子与 $^{14}{}_{7}$ N 和 $^{12}{}_{6}$C 中的哪一个原子核发生弹性碰撞后的速度更小？为什么？

如图所示，质量为 m 的 A 球以速度 v_0 在光滑水平面上运动，与原来静止的质量为 4 m 的 B 球碰撞，碰撞后 A 球以 $v = av_0$（待定系数 $a < 1$ ）的速率弹回，并与挡板 P 发生弹性碰撞，要使 A 球能与 B 球再次相撞，则 a 的取值范围为 ()



A. $\frac{1}{5} < a < \frac{1}{3}$
B. $\frac{1}{3} < a < \frac{2}{3}$
C. $\frac{1}{3} < a < \frac{2}{5}$
D. $\frac{1}{3} < a \leqslant \frac{3}{5}$

4.3 考点 3 爆炸反冲人船模型

4.3.1 一、爆炸问题

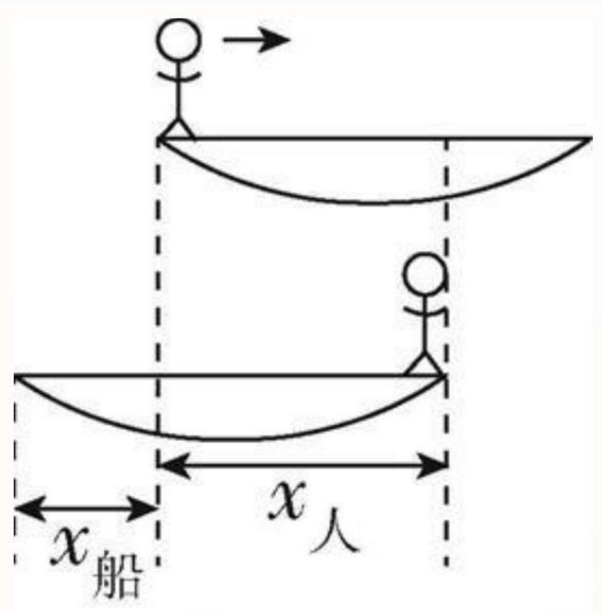
概念	一个物体由于内力的巨大作用而分为两个或两个以上物体的过程
特点	动量守恒：由于爆炸是在极短时间内完成的，爆炸物体间的相互作用力远大于受到的外力，所以在爆炸过程中，系统的动量守恒
	动能增加：在爆炸过程中，因为有其他形式的能量转化为动能，所以爆炸后系统的总动能增加
	位置不变：爆炸的时间极短，因而在爆炸过程中，物体产生的位移很小，一般忽略不计，即认为位置不变

4.3.2 二、反冲现象

概念	根据动量守恒定律，如果一个静止的物体在内力的作用下分裂为两部分，一部分向某个方向运动，另一部分必然向相反的方向运动	
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	
特点	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	
	动能增加：反冲运动中，作用力与反作用力均做正功，有其他形式的能转化为动能，所以系统的总动能增加	

4.3.3 三、人船模型

5 1. 模型图示



6 2. 模型特点

（1）两者满足动量守恒定律：$mv_{人} - Mv_{船} = 0$ 。

(2) 两者的位移大小满足：$m\frac{x_{人}}{t} - M\frac{x_{船}}{t} = 0$, $x_{人} + x_{船} = L$, 得 $x_{人} = \frac{M}{M+m}L, x_{船} = \frac{m}{M+m}L$ 。

7 3. 运动特点

（1）人动则船动，人静则船静，人快船快，人慢船慢，人左船右。

（2）人、船位移比等于二者质量的反比；人、船平均速度（或瞬时速度）比等于它们质

量的反比，即 $\frac{x_{人}}{x_{船}}=\frac{v_{人}}{v_{船}}=\frac{M}{m}$ 。

将静止的质量为 M（含燃料）的导弹点火升空，在极短时间内以相对地面的速度 v_0 竖直向下喷出质量为 m 的炽热气体，忽略喷气过程中重力和空气阻力的影响，则喷气结束时导弹获得的速度大小是 ()

A. $\frac{m}{M}v_0$

B. $\frac{M}{m}v_0$

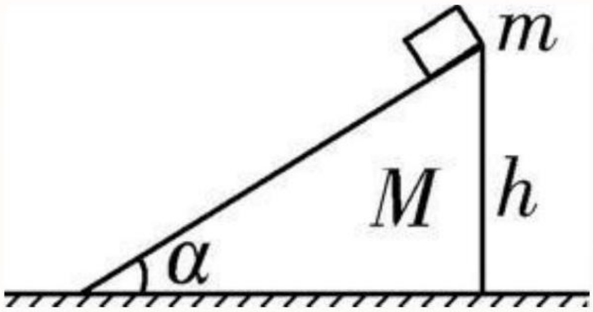
C. $\frac{M}{M-m}v_0$

D. $\frac{m}{M-m}v_0$

（拓展设问）若导弹喷气时已经具有速度，喷出的气体相对喷气前导弹的速度是 u ，在一次喷气后增加的速度 Δ 如何表示?

点拨提醒动量守恒列式时必须为同一参考系。

如图所示，一个倾角为 α 的直角斜面体静置于光滑水平面上，斜面体质量为 M ，顶端高度为 h ，今有一质量为 m 的小物体（可视为质点），沿光滑斜面下滑，当小物体从斜面顶端自由下滑到底端时，斜面体在水平面上移动的距离是 ()



A. $\frac{mh}{M+m}$

B. $\frac{Mh}{M+m}$

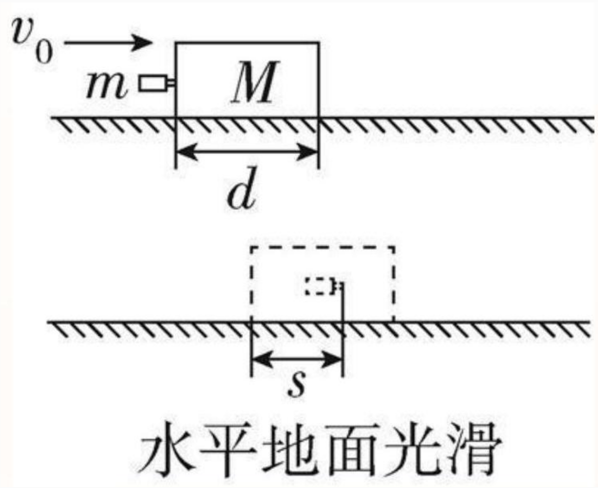
C. $\frac{mh}{(M+m)\tan\alpha}$

D. $\frac{Mh}{(M+m)\tan\alpha}$

8 微专题 12 动量守恒中的几种常见模型

8.1 题型 1 子弹打木块模型

8.1.1 一、模型图示



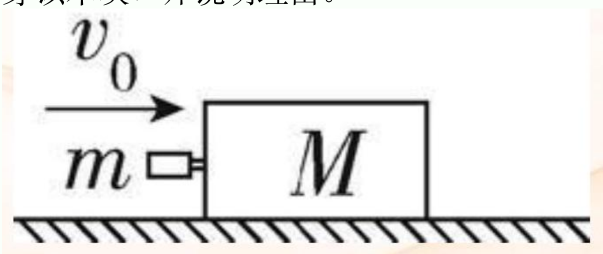
8.1.2 二、模型解读

1. 子弹水平打进木块的过程中，系统的动量守恒。
2. 系统的机械能有损失（因为摩擦生热，可以应用能量守恒定律）。

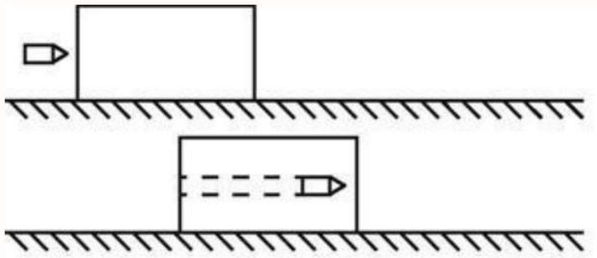
8.1.3 三、两种情境

1. 子弹嵌入木块中，两者速度相同，机械能损失最多（类比完全非弹性碰撞）。
动量守恒：$mv_0 = (m + M)v$。
能量守恒：$f \cdot s = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(M + m)v^2$ 。
2. 子弹穿透木块，两者速度不相同，机械能有损失（类比非弹性碰撞）。
动量守恒：$mv_0 = mv_1 + Mv_2$ 。
能量守恒：$Q = f \cdot d = \frac{1}{2}mv_0^2 - \left(\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2\right)$

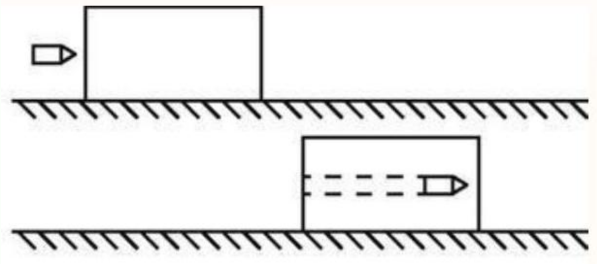
如图所示，在光滑的水平桌面上静止放置一个质量为 980 g 的长方体匀质木块，现有一质量为 20 g 的子弹以大小为 300 m/s 的水平速度沿木块的中心轴线射向木块，最终留在木块中没有射出，和木块一起以共同的速度运动。已知木块沿子弹运动方向的长度为 10 cm ，子弹打进木块的深度为 6 cm 。设木块对子弹的阻力保持不变。
(1) 求子弹和木块的共同速度大小以及它们在此过程中所产生的内能。
(2) 若子弹是以大小为 400 m/s 的水平速度从同一方向水平射向该木块，则子弹能否射穿该木块？并说明理由。



质量为 m 的子弹以某一初速度 v_0 击中静止在光滑水平地面上质量为 M 的木块，并陷入木块一定深度后与木块相对静止，甲、乙两图表示了这一过程开始和结束时子弹和木块可能的相对位置。设木块对子弹的阻力大小恒定，下列说法正确的是 ()



甲：木块对地位移小于木块长度



乙：木块对地位移大于木块长度

A. M 越大，子弹射入木块的时间越短

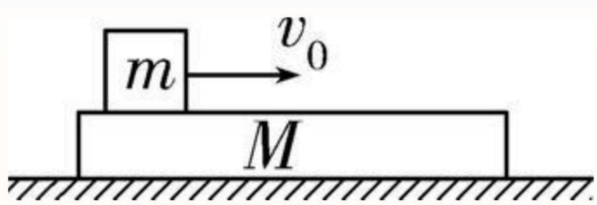
B. M 越大，子弹射入木块的深度越浅

C. 无论 m M v_0 的大小如何，都只可能是甲图所示的情形

D. 若 v_0 较小，则可能是甲图所示的情形；若 v_0 较大，则可能是乙图所示的情形

8.2 题型 2 滑块 - 木板模型

8.2.1 一、模型图示



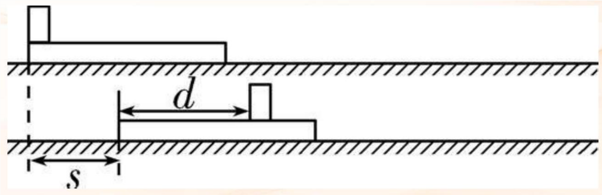
8.2.2 二、模型特点

1. 系统的动量守恒，但机械能不守恒，摩擦力与两者相对位移大小的乘积等于系统减少的机械能。

2. 若滑块未从木板上滑下，当两者速度相同时，木板速度最大，相对位移最大。根据能量守恒，系统损失的动能 $\Delta E_{\mathrm{k}}=\frac{M}{m+M}E_{\mathrm{k0}}$ ，可以看出，滑块的质量越小、木板的质量越大，动能损失越多。

8.2.3 三、模型解读

1. 如图所示，若滑块未滑离木板，当滑块与木板相对静止时，二者的共同速度为 v ，滑块相对木板的位移为 d ，木板相对地面的位移为 s ，滑块和木板间的摩擦力为 F_{f} 。



这类问题类似于子弹打木块模型中子弹未射出的情况。

（1）系统动量守恒：$mv_0=(M+m)v_0$

（2）系统能量守恒：$F_{\mathrm{f}}d=\frac{1}{2}m^{v_0{}^2}-\frac{1}{2}(M+m)v^2$ 。

2. 若滑块滑离木板，设滑离木板时，滑块的速度为 v_1 ，木板的速度为 v_2 ，木板长为 L 。

（1）系统动量守恒：$mv_0=mv_1+Mv_2$ 。

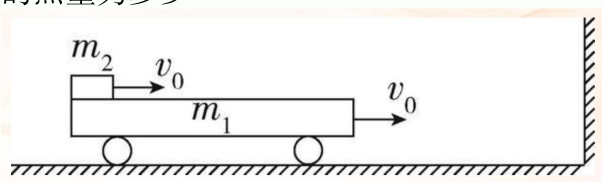
（2）系统能量守恒：$F_{\mathrm{f}}L=\frac{1}{2}m^{v_0{}^2}-\frac{1}{2}m^{v_1{}^2}-\frac{1}{2}M{v_2}^2$ 。

如图所示，质量为 m_1 的平板小车的左端放有一质量为 m_2 的铁块，两者间的动摩擦因数 $\mu=0.2$ 。开始时，小车和铁块一起在光滑的水平面上以 $v_0=3\ \mathrm{m/s}$ 的速度向右运动，之后小车与墙壁发生正碰，设碰撞中无机械能损失且碰撞时间忽略不计。已知重力加速度 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$ ，铁块始终不从小车上掉下来。

（1）若 $m_1=2m_2$ ，小车与墙壁碰后，小车和铁块的加速度大小分别为多少？铁块向右运动的最大位移为多少？

（2）若 $m_1>m_2$ ，且满足题意的小车的最小长度 $L=6\ \mathrm{m}$ ，求 m_1 与 m_2 的比值。

（3）若 $m_1=1\ \mathrm{kg}, m_2=3\ \mathrm{kg}$ ，则小车与墙壁碰后的整个运动过程，系统由于摩擦产生的热量为多少？



8.2.4 提分关键 • 规律总结

9 滑块 - 木板模型的解题关键

（1）在涉及滑块或木板的运动时间时，优先考虑应用动量定理。

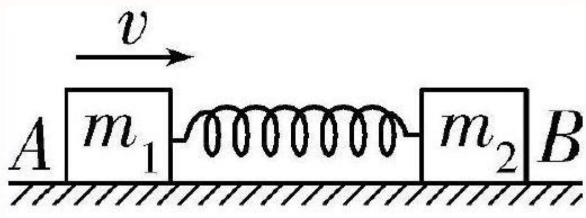
（2）在涉及滑块或木板的位移时，优先考虑应用动能定理。

（3）在涉及滑块与木板的相对位移时，优先考虑应用系统的能量守恒（或功能关系）。

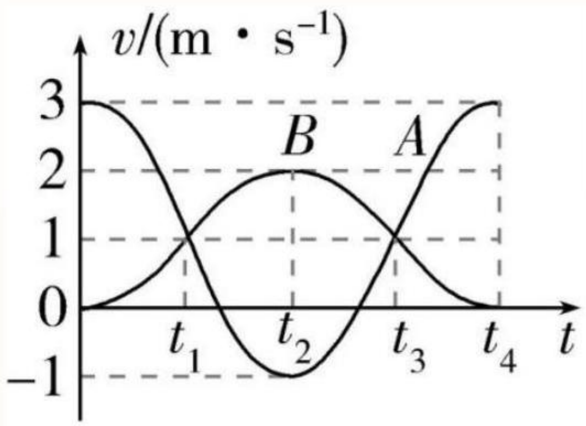
9.1 题型 3 滑块 - 弹簧模型

模型图例	物体 A、B 通过轻弹簧（初始处于原长）相连，物体 A 以初速度 v_0 运动
两种情境	（1）当弹簧处于最短（或最长）时，两物体瞬时速度相同，弹簧的弹性势能最大 (类比完全非弹性碰撞） 系统动量守恒：$m_1v_0=(m_1+m_2)v_{共}$ 系统机械能守恒：$\frac{1}{2}m_1v_0^2=\frac{1}{2}(m_1+m_2)v_{共}^2+E_{pm}$ (2) 当弹簧恢复原长时, 弹性势能为 0 (类比弹性碰撞） 系统动量守恒：$m_1v_0=m_1v_1+m_2v_2$ 系统机械能守恒：$\frac{1}{2}m_1v_0^2=\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2$

一水平轻弹簧的两端与质量分别为 m_1 和 m_2 的两物块 A B 相连接，并静止在光滑的水平面上，如图甲所示。现使 A 瞬时获得水平向右的速度 3 m/s ，此后两物块的速度随时间变化的规律如图乙所示。从图像信息可得 ()



甲



乙

A. 在 t_1 t_3 时刻两物块达到共同速度 1 m/s ，且弹簧都是处于压缩状态

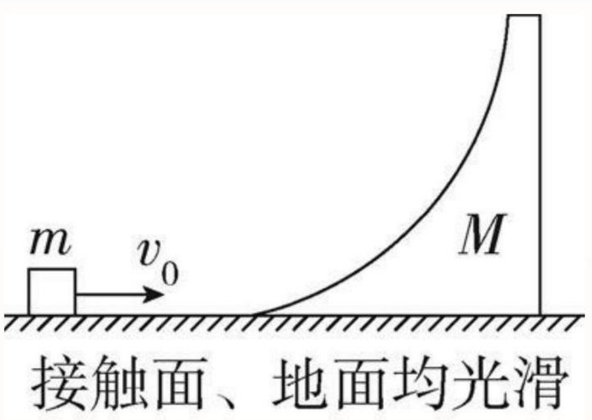
B. 从 t_1 到 t_3 时刻弹簧由压缩状态恢复到原长

C. 两物块的质量之比 m_1 : $m_2=1:3$

D. 在 t_2 时刻 A 与 B 的动能之比 E_{k1} : $E_{k2}=1:8$

9.2 题型 4 滑块 - 斜（曲）面体模型

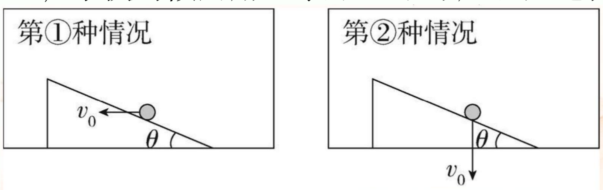
9.2.1 一、模型图示



9.2.2 二、模型解读

1. 整个过程中因为系统水平方向所受合力为 0 ，系统水平方向动量守恒，但竖直方向动量不守恒，所以不能说系统动量守恒，只能说系统水平方向动量守恒。整个过程中系统的机械能守恒。
2. 上升到最大高度：滑块的水平分速度与斜（曲）面体速度相同，为 $v_{共}$，此时滑块的竖直分速度 $v_y=0$ 。系统水平方向动量守恒，$mv_0=(M+m)v_{共}$；系统的机械能守恒，$\frac{1}{2}m{v_0}^2=\frac{1}{2}(M+m){v_{共}}^2+mgh$ ，其中 h 为滑块上升的最大高度，不一定等于轨道的高度（相当于完全非弹性碰撞，系统减少的动能转化为滑块的重力势能）。
3. 返回最低点：滑块与斜（曲）面体分离点。系统水平方向动量守恒，$mv_0=mv_1+Mv_2$ ；系统机械能守恒，$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}Mv_2^2$（相当于弹性碰撞）。

（2024 届北京东城区二模）如图所示，台球桌上一光滑木楔紧靠桌边放置，第（1）次击球和第（2）次击球分别使台球沿平行于桌边和垂直于桌边的方向与木楔碰撞，速度大小均为 v_0 。碰撞后，木楔沿桌边运动，速度大小用 V 表示，台球平行于桌边方向和垂直于桌边方向的速度大小分别用 v_x 和 v_y 表示。已知木楔的质量为 M ，台球的质量为 m ，木楔的倾角用 θ 表示。不考虑碰撞过程的能量损失，则 ()



A. 第（1）种情况碰后 V 可能大于 $\frac{2m}{m+M}v_0$
B. 若满足 $\tan\theta=\sqrt{\frac{M}{M-m}}$ ，第（1）种情况 $v_x=0$ ，即碰后台球速度方向垂直于桌边
C. 第（2）种情况碰后 V 可能大于 $\frac{mv_0}{\sqrt{M(M+m)}}$
D. 若满足 $\tan\theta=\sqrt{\frac{M}{M-m}}$ ，第（2）种情况 $v_y=0$ ，即碰后台球速度方向平行于桌边

9.2.3 能力进阶

如图 1 所示，水平桌面上放置一个半圆形槽，质量为 $2m$ ，圆面半径为 R 。$A\,C$ 两点为槽口端点，B 点为槽的最低点。质量为 m 的小球（可视为质点）从 A 点沿槽滑下。重力加速度为 g 。

(1) 若槽固定且槽面粗糙。小球以初速度 v_0 滑下，并且滑到 B 点时的速度大小仍为 v_0 ，那么小球从 A 点滑到 B 点的过程中克服摩擦力做了多少功？若初速度大小改为 $2v_0$ ，滑到 B 点的速度大小还是 $2v_0$ 吗？

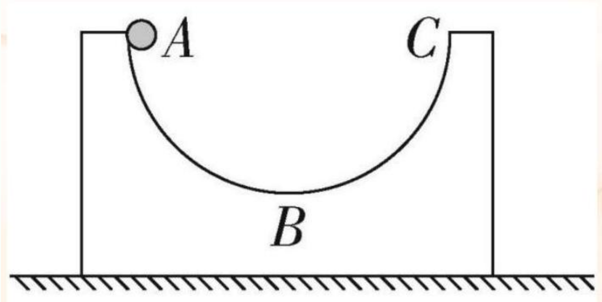


图 1

(2) 进阶 1（非固定槽）若槽不固定，水平桌面光滑，槽面也光滑。小球从静止开始下滑。当小球滑到 B 点时，小球和槽的速度大小分别是多少？球对槽的压力大小是多大？小球从 A 点滑到 B 点的过程中，小球对槽做了多少功？槽对小球做了多少功？

(3) 进阶 2（人船模型+轨迹方程）若槽不固定，水平桌面光滑，槽面也光滑。小球从静止开始下滑，当小球从 A 点滑到 C 点时，小球和槽发生的位移大小分别是多少？记小球的初始位置坐标为 $(0, R)$ ，槽静止时圆心的坐标为 (R, R) ，建立直角坐标系，求解小球的轨迹方程。

(4) 进阶 3（单侧固定槽 + 多过程分析）如图 2 所示，在半圆槽左边放置一个质量为 $\frac{m}{2}$ 的物块，若物块固定，槽不固定，桌面光滑，槽面也光滑。小球以初速度 $v_0\left(v_0>\sqrt{gR}\right)$ 滑下，槽的最大速度是多少？小球上升到最高点时到 C 点的距离是多少？

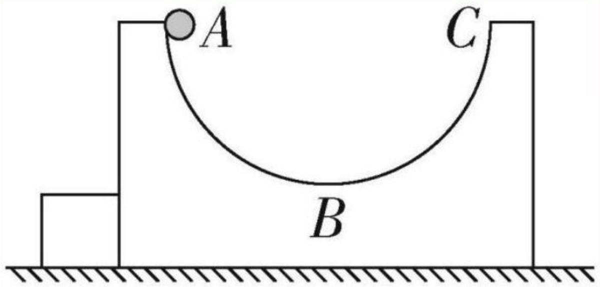


图 2

答案 (1) mgR 见解析

(2) $\sqrt{\frac{4Rg}{3}}$ $\quad\sqrt{\frac{Rg}{3}}$ $\quad 4mg$ $\quad\frac{1}{3}mgR$ $\quad -\frac{1}{3}mgR$

(3) $\frac{4}{3}R$ $\quad\frac{2}{3}R$ $\quad\frac{\left(x-\frac{2}{3}R\right)^2}{\left(\frac{2}{3}R\right)^2}+\frac{(y-R)^2}{R^2}=1$

(4) $\frac{2}{3}\sqrt{v_0^2+2Rg}$ $\quad\frac{1}{3}\left(\frac{v_0^2}{g}-R\right)$

10 微专题 13 力学三大观点的综合应用

10.1 动量观点和能量观点的比较

10.1.1 1. 相同点

（1）研究对象都是相互作用的物体组成的系统。
（2）都是针对某一运动过程的初末状态列式求解。

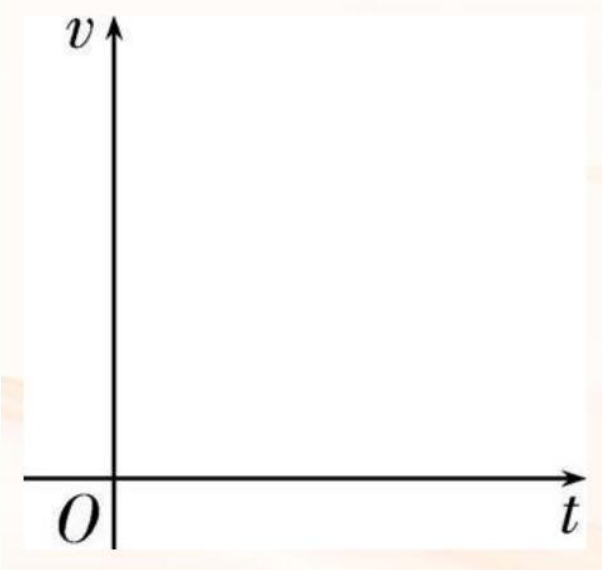
10.1.2 2. 不同点

动量守恒定律是矢量表达式，还可以写出某一方向上的分量表达式；而动能定理和能量守恒定律都是标量表达式，无分量表达式。

10.2 力学三大观点的应用

（2023 天津，11,16 分）质量 $m_A = 2$ kg 的物体 A 自距地面 $h = 1.2$ m 高度自由落下，与此同时质量 $m_B = 1$ kg 的物体 B 由地面竖直上抛，经 $t = 0.2$ s 与 A 碰撞，碰后两物体粘在一起，碰撞时间极短，忽略空气阻力。两物体均可视为质点，g 取 10 m/s^2 。求 A B ：
（1）碰撞位置与地面的距离 x ；
（2）碰撞后瞬间的速度大小 v ；
（3）碰撞中损失的机械能 ΔE 。

（2024 届北京海淀二模）热气球飞行的原理是通过改变热气球内气体的温度以改变热气球内气体的质量，从而控制热气球的升降。可认为热气球在空中运动过程中体积及形状保持不变。
设热气球在体积、形状不变的条件下受到的空气阻力 $f = kv^2$ ，其方向与热气球相对空气的速度 v 的方向相反，k 为已知常量。已知热气球的质量（含载重及热气球内的热空气）为 m 时，可悬浮在无风的空中，重力加速度为 g ，不考虑热气球所处环境中空气密度的变化。
（1）若热气球初始时悬浮在无风的空中，现将热气球的质量调整为 0.9 m （忽略调整时间），设向上为正，请在图中定性画出此后热气球的速度 v 随时间 t 变化的图像。
（2）若热气球初始时处在速度为 v_0 的水平气流中，且相对气流静止。将热气球质量调整为 1.1 m （忽略调整时间），热气球下降距离 h 时趋近平衡（可视为达到平衡状态）。
（1）求热气球平衡时的速率 v_1 及下降距离 h 过程中空气对热气球做的功 W 。
（2）热气球达到平衡速率 v_1 后，若水平气流速度突然变为 0 ，经过时间 t 热气球再次达到平衡状态，求该过程中空气对热气球的冲量大小 I 。

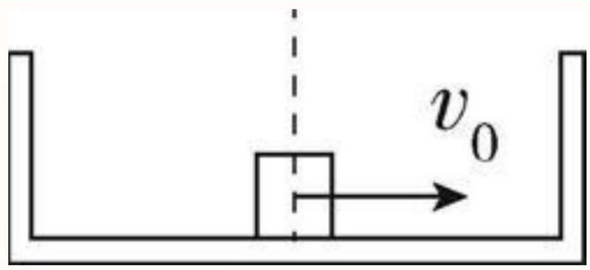


10.2.1 提分关键 • 规律总结

11 力学规律的选用原则

（1）如果要列出各物理量在某一时刻的动力学关系式，可应用牛顿第二定律。
（2）研究某一物体受到力的持续作用发生运动状态改变时，一般应用动量定理（涉及时间的问题）或动能定理（涉及位移的问题）去解决问题。
（3）若研究对象为多个物体组成的系统，且它们之间有相互作用，一般应用动量守恒定律和能量守恒定律（或机械能守恒定律）去解决问题，但需注意所研究的过程是否满足守恒的条件。
（4）在涉及相对位移问题时优先考虑能量守恒定律，以及系统克服摩擦力所做的总功等于系统机械能的减少量。
（5）在涉及碰撞、爆炸、打击、绳绷紧等物理现象时，需注意这些过程一般均隐含系统机械能与其他形式能量的转换。由于作用时间都极短，应用动量守恒定律解决此类问题更便捷。

质量 $M = 1$ kg 的箱子静止在光滑水平面上，箱子内侧的两壁间距 $l = 2$ m，另一质量也为 $m = 1$ kg 且可视为质点的物体从箱子中央以 $v_0 = 6$ m/s 的速度开始运动，如图所示。已知物体与箱底的动摩擦因数 $\mu = 0.5$，物体与箱壁间发生的是弹性碰撞，$g = 10$ m/s^2。



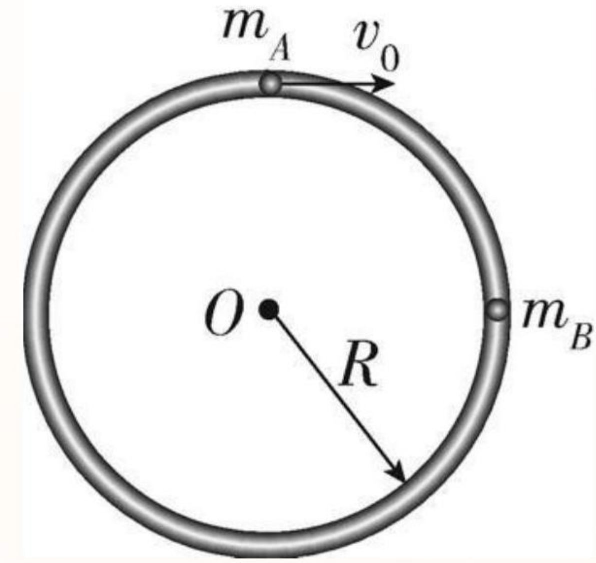
（1）求物体与箱壁碰撞的次数。
（2）从物体开始运动到刚好停在箱子上，求箱子在水平面上移动的距离。

11.0.1 提分关键 • 知识拓展

12 质心运动定律

作用在质点系上的合力等于质点系总质量与质心加速度的乘积，即 $F = Ma_C$ 。其中 F 表示质点系所受合力，M 表示质点系总质量，a_c 表示质心的加速度。

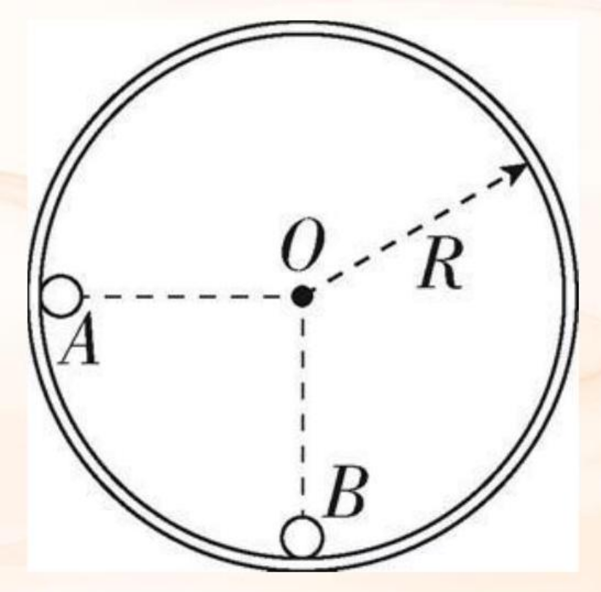
（2024 湖南，15,16 分）如图，半径为 R 的圆环水平放置并固定，圆环内有质量为 m_A 和 m_B 的小球 A 和 $B\,(m_A > m_B)$ 。初始时小球 A 以初速度 v_0 沿圆环切线方向运动，与静止的小球 B 发生碰撞。不计小球与圆环之间的摩擦，两小球始终在圆环内运动。
（1）若小球 A 与 B 碰撞后结合在一起，求碰撞后小球组合体的速度大小及做圆周运动所需向心力的大小；
（2）若小球 A 与 B 之间为弹性碰撞，且所有的碰撞位置刚好位于等边三角形的三个顶点，求小球的质量比 $\frac{m_A}{m_B}$ ；
（3）若小球 A 与 B 之间为非弹性碰撞，每次碰撞后的相对速度大小为碰撞前的相对速度大小的 e 倍 $(0 < e < 1)$ ，求第 1 次碰撞到第 $2n+1$ 次碰撞之间小球 B 通过的路程。



12.0.1 高考变式

（水平变竖直）如图所示，半径为 R 的光滑圆形轨道固定在竖直面内。小球 A B 的质量分别为 m $3m$ 。A 球从左边与圆心等高处由静止开始沿轨道下滑，与静止于轨道最低点的 B 球相碰，碰撞中无机械能损失。重力加速度为 g 。
（1）求第一次与小球 B 碰前瞬间，小球 A 的速度大小；
（2）求第一次碰撞过程中小球 A 对小球 B 的冲量大小；

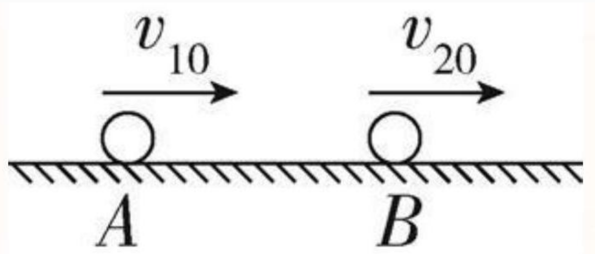
（3）请通过推理论证，说明小球 A B 每次碰撞的地点，并讨论小球 A B 在每次碰撞刚结束时各自的速度。



12.0.2 提分关键 • 方法提升

13 巧用变换参考系求解动碰动问题

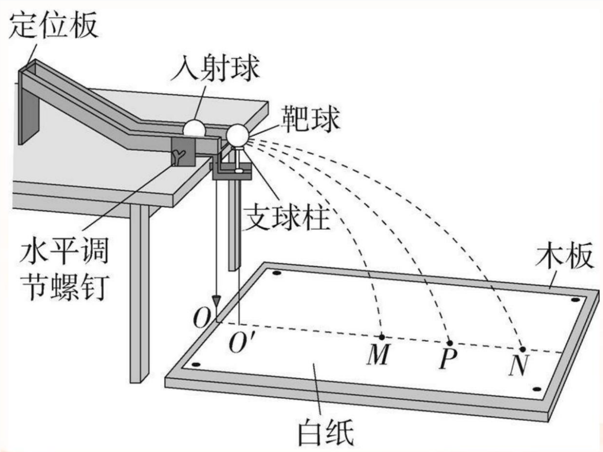
如图所示，质量分别为 m_1 和 m_2 、半径相同的两个小球 A 和 B 在同一光滑水平面上向右运动。A B 的速度分别是 v_{10} 和 v_{20} ，且满足 $v_{10} > v_{20}$ 。某时刻发生碰撞，碰后 A B 的速度分别是 v_1 和 v_2 。



处理动碰动问题，可通过变换参考系从而将动碰动模型转化为动碰静模型。以碰前相对地面以速度 v_{20} 运动的 B 为参考系，则碰前 A 相对于 B 的速度为 $(v_{10}-v_{20})$ ，在此参考系中：A 碰后速度为 $\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}(v_{10}-v_{20})$ ，B 碰后速度为 $\frac{2m_1}{m_1+m_2}\cdot(v_{10}-v_{20})$ ，以地面为参考系时 A 的碰后速度 $v_1=\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}(v_{10}-v_{20})+v_{20}$，$B$ 的碰后速度 $v_2=\frac{2m_1}{m_1+m_2}(v_{10}-v_{20})+v_{20}$ 。

14 实验 8 验证动量守恒定律

14.1 一、实验原理及装置图



在一维碰撞中，测出相碰的两球的质量 m_1 m_2 和碰撞前后球的速度，计算得出碰撞前的动量 $p = m_1v_0$ 及碰撞后的动量 $p' = m_1v_1 + m_2v_2$ ，验证碰撞前后的动量是否相同。如图所示，在此实验装置图中，由于平抛运动时间相等，有碰撞前的动量与时间的乘积 $pt = m_1v_0$ 巩碰撞后的动量与时间的乘积 $p't = m_1v_1t + m_2v_2t$ ，因此只要验证 $m_1S_{OP} = m_1S_{OM} + m_2S_{ON}$ ，即可验证动量守恒定律。

14.2 二、操作要领及注意事项

1. 需要测量哪些物理量：两小球质量以及水平位移。
2. 如何选择小球：本实验方案不需要两球大小相同，但需要调节支球柱的高度，以保证两球能发生正碰。若不使用支球柱，则需要两球大小相同。为使入射球碰撞不被弹回且不静止，需要入射球质量大于靶球质量。
3. 如何安装斜槽：斜槽不要求光滑，但斜槽末端必须水平。
4. 如何控制起点位置：每次让入射球从斜槽上同一位置由静止滚下。

14.3 三、数据处理

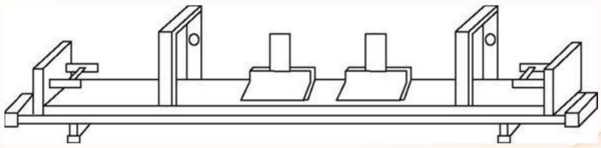
让入射球从同一位置释放，测出不发生碰撞时入射球飞出的水平距离 s_{op} ，再测出入射球、靶球碰撞后分别飞出的水平距离 s_{OM} s_{ON} ，只要验证 $m_1s_{OP} = m_1s_{OM} + m_2s_{ON}$ ，即可验证动量守恒定律。若 $m_1s_{OP}^2 = m_1s_{OM}^2 + m_2s_{ON}^2$ 也成立，说明两球的碰撞是弹性碰撞。

14.4 四、减小误差的方法

1. 小球落点的确定：画尽量小的圆把尽可能多的小球落点圈在里面，圆心就是小球落点的平均位置。
2. 水平位移的测量：本实验中的 O 点和 O' 点分别为斜槽末端的正下方和靶球球心的正下方，O 点可通过铅垂线在白纸上直接画出，而 O' 点不可以直接画出，需通过测量确定，O、O' 两点间距离为两小球半径之和，而半径的测量存在误差，同时水平位移的测量也会存在误差，测量半径和水平位移时可通过多次测量取平均值的方法减小误差。

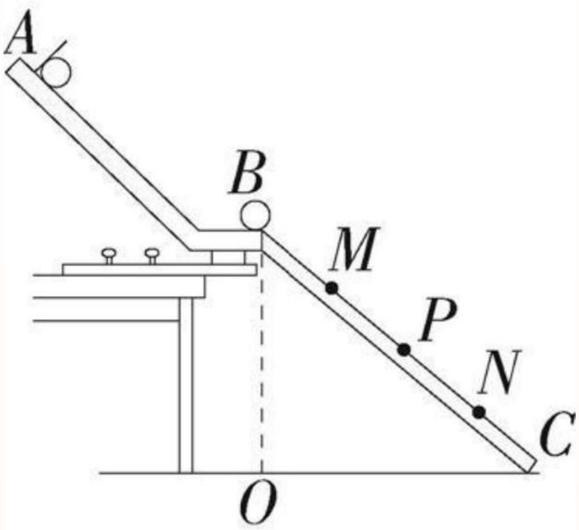
14.5 五、其他实验方案

方案一利用滑块和气垫导轨完成实验（如图所示）



本方案在气垫导轨上进行，阻力小，测量速度时产生的误差小。

方案二利用斜槽末端小球的碰撞在斜面上完成实验（如图所示）



本方案小球抛出点相同，无须使用铅垂线确定 O 点的位置。