



教育图书



功能学具



学生之家

基础教育行业专研品牌

30<sup>+</sup>年专注教育行业

# 全品智能作业

QUANPIN ZHINENGZUOYE

# 攻略手册

主 编 肖德好

高中物理

选择性必修第一册 RJ

# CONTENTS 目录

## 攻略手册

<b>第一章 动量守恒定律</b> .....	攻 001
要点攻略 1 力的两种累积的对比 .....	攻 001
溯源攻略 2 推导动量定理的表达式 .....	攻 002
模型攻略 3 动量定理在流体模型中的应用 .....	攻 003
模型攻略 4 动量定理在微粒模型中的应用 .....	攻 004
方法攻略 5 如何判断动量是否守恒 .....	攻 004
溯源攻略 6 推导动量守恒定律的表达式 .....	攻 005
实验攻略 7 验证动量守恒定律实验中速度的测量方法 .....	攻 006
模型攻略 8 弹性碰撞和非弹性碰撞 .....	攻 008
模型攻略 9 “动碰静”模型和“动碰动”模型 .....	攻 008
要点攻略 10 碰撞能否真实发生的条件 .....	攻 010
模型攻略 11 人船模型 .....	攻 011
模型攻略 12 子弹打木块模型和滑块—木板模型 .....	攻 012
模型攻略 13 滑块—曲(斜)面模型 .....	攻 014
模型攻略 14 弹簧类模型 .....	攻 016
<b>第二章 机械振动</b> .....	攻 017
模型攻略 15 弹簧振子的简谐运动过程 .....	攻 017
方法攻略 16 确定简谐运动表达式的思路 .....	攻 018
方法攻略 17 画过程图解决简谐运动中对称性问题 .....	攻 019
方法攻略 18 简谐运动的几种证明方法 .....	攻 020
模型攻略 19 单摆模型的特点及其周期公式 .....	攻 021
溯源攻略 20 证明单摆的运动是简谐运动 .....	攻 023
模型攻略 21 圆弧摆 .....	攻 024
模型攻略 22 双线摆 .....	攻 025
模型攻略 23 斜面摆 .....	攻 026
模型攻略 24 折线摆 .....	攻 026
要点攻略 25 固有振动、受迫振动和共振的对比 .....	攻 028

<b>第三章 机械波</b>	.....	攻 029
方法攻略 26	带动法 .....	攻 029
方法攻略 27	同侧法 .....	攻 030
方法攻略 28	“上下坡”法 .....	攻 031
方法攻略 29	微平移法 .....	攻 031
方法攻略 30	波的多解问题的求解方法 .....	攻 032
模型攻略 31	波的衍射及使波明显衍射的方法 .....	攻 034
模型攻略 32	波的叠加原理 .....	攻 034
模型攻略 33	波的干涉条件及干涉图样 .....	攻 036
模型攻略 34	多普勒效应中音调变化与相对运动的关系 .....	攻 037
<b>第四章 光</b>	.....	攻 039
模型攻略 35	放在杯内水中的筷子“变粗”又“折断”的原因 .....	攻 039
实验攻略 36	测量折射率实验中转换测量量的思想 .....	攻 040
要点攻略 37	光疏介质与光密介质——全反射能否发生的首要因素 .....	攻 041
模型攻略 38	海市蜃楼与沙漠蜃景 .....	攻 042
溯源攻略 39	推导视深公式 .....	攻 043
模型攻略 40	霓与虹中的七彩排列 .....	攻 044
要点攻略 41	双缝干涉中明暗条纹出现的条件 .....	攻 046
溯源攻略 42	推导双缝干涉中相邻亮条纹间距的表达式 .....	攻 047
模型攻略 43	利用劈尖干涉判断物体表面的凸凹性 .....	攻 049
要点攻略 44	三种衍射图样的对比 .....	攻 050
要点攻略 45	单缝衍射与双缝干涉的对比 .....	攻 052
要点攻略 46	增反膜、增透膜与偏振滤光片的应用 .....	攻 053
要点攻略 47	激光的几个特性及其应用 .....	攻 054

## 要点攻略 1 力的两种累积的对比

### 通关攻略

#### 要点 对比冲量和功

	冲量	功
公式	$I = F\Delta t$	$W = Fx$
标、矢量	矢量	标量
意义	力对时间的累积,在 $F-t$ 图像中可以用图线下的面积表示	力对空间的累积,在 $F-x$ 图像中可以用图线下的面积表示
正、负	正、负表示与正方向相同或相反	正、负表示动力做功或阻力做功
作用效果	改变物体的动量	改变物体的动能

### 典型示例

**示例** (多选) 在光滑水平面上,原来静止的物体在水平恒力  $F$  的作用下,经过时间  $t$ 、通过位移  $x$  后动量变为  $p$ 、动能变为  $E_k$ . 下列说法正确的是 ( )

- A. 由静止出发,在  $F$  的作用下,这个物体经过位移  $2x$ ,其动量变为  $2p$
- B. 由静止出发,在  $F$  的作用下,这个物体经过位移  $2x$ ,其动能变为  $2E_k$
- C. 由静止出发,在  $F$  的作用下,这个物体经过时间  $2t$ ,其动能变为  $2E_k$
- D. 由静止出发,在  $F$  的作用下,这个物体经过时间  $2t$ ,其动量变为  $2p$

**【解析】** 由题意,根据动能定理可知  $E_k = Fx = \frac{1}{2}mv^2$ ,位移变为原来的 2 倍,动能变为原来的 2 倍,又  $p = \sqrt{2mE_k}$ ,则动量变为原来的  $\sqrt{2}$  倍,故 A 错误,B 正确;由于  $v = at = \frac{F}{m}t$ ,时间变为原来的 2 倍,则速度变为原来的 2 倍,又  $p = mv$ ,则动量变为原来的 2 倍,又  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ,则动能变为原来的 4 倍,故 C 错误,D 正确.

**【答案】** BD

#### 备考攻略

**攻略 1** 冲量和功都是过程量,所以求冲量和功时一定要明确所求的是哪个力在哪段时间和哪段位移内的冲量和功.

**攻略 2** 求合力的冲量和合力做功的方法都有两个,一是如果受到恒力作用时,可先求出合力,再代入冲量和功的计算式求解,二是求出各个力的冲量和功,再求各冲量的矢量和与各力做功的代数和.

## 溯源攻略 2 推导出动量定理的表达式

### 通关攻略

#### 1. 公式内容

动量定理的表达式为  $F \cdot \Delta t = \Delta p$ , 公式中的  $F$  是物体或系统所受的合力. 动量定理不仅适用于恒定的作用力, 也适用于随时间变化的作用力. 这种情况下, 动量定理中的力  $F$  应理解为变力在作用时间内的平均值.

#### 2. 推导过程

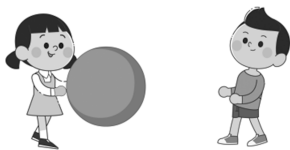
如图所示, 一个质量为  $m$  的物体在光滑的水平面上受到恒力  $F$  的作用, 做匀变速直线运动. 在初始时刻, 物体的速度为  $v$ , 经过一段时间  $\Delta t$ , 它的速度变为  $v'$ . 试推导  $F$ 、 $\Delta t$  与  $\Delta p$  的关系.



根据加速度公式有  $a = \frac{v' - v}{\Delta t}$ , 根据牛顿第二定律有  $F = ma$ , 则  $F = m \frac{v' - v}{\Delta t} = \frac{mv' - mv}{\Delta t} = \frac{p' - p}{\Delta t}$ , 即  $F \Delta t = p' - p = \Delta p$ .

### 典型示例

**示例** 如图所示, 甲同学将一个轻质乳胶气球充至直径约为 1.0 m, 以 10 m/s 的速度水平投向乙同学, 气球被原速反弹. 已知气球与乙同学的接触时间约为 0.1 s, 空气密度约为  $1.29 \text{ kg/m}^3$ , 则乙同学受到气球的冲击力约为 ( )



- A. 135 N                      B. 68 N  
C. 34 N                        D. 17 N

**[解析]** 根据题意, 可得气球的质量为  $m = \frac{4}{3} \rho \pi \left(\frac{d}{2}\right)^3$ , 设乙同学对气球的作用力为  $F$ , 取反弹方向为正方向, 根据动量定理有  $Ft = mv - (-mv)$ , 代入数据解得  $F \approx 135 \text{ N}$ , 根据牛顿第三定律可知乙同学受到气球的冲击力约为 135 N, 故选 A.

**[答案]** A

### 备考攻略

**攻略 1** 应用动量定理定性分析有关现象的方法

(1) 物体的动量变化量一定时, 力的作用时间越短, 力就越大; 力的作用时间越长, 力就越小.

(2) 作用力一定时, 力的作用时间越长, 动量变化量越大; 力的作用时间越短, 动量变化量越小.

**攻略 2** 应用动量定理计算的一般步骤: 选择研究对象 → 明确运动过程 → 进行受力分析, 列出各力的冲量 → 选取正方向, 表示出初、末态的冲量 → 列动量定理方程求解.

## 模型攻略 3 动量定理在流体模型中的应用

### 通关攻略

#### 1. 模型建构

- (1) 研究对象: 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  $\rho$ .
- (2) 受力特点: 在持续的流体冲击下, 被撞击的物体受到的冲击力可用流体的密度、速度和接触面积表达出来.
- (3) 物理原理: 动量定理.

#### 2. 模型分析

- (1) 建立“柱状模型”, 沿流速  $v$  的方向选取一段柱状流体, 其横截面积为  $S$ .
- (2) 微元研究, 作用时间  $\Delta t$  内的一段柱状流体的长度为  $\Delta l$ , 对应的质量为  $\Delta m = \rho S \Delta l = \rho S v \Delta t$ .
- (3) 应用动量定理研究这段柱状流体, 得出一个方程式.

### 典型示例

**示例** (多选)[2025·四川南充白塔中学高二月考] 如图所示为清洗汽车用的高压水枪. 设水枪喷出水柱的直径为  $D$ , 水流速度为  $v$ , 水柱垂直于汽车表面, 水柱冲击汽车后水的速度为零, 手持高压水枪操作, 进入水枪的水流速度可忽略不计, 已知水的密度为  $\rho$ . 下列说法正确的是 ( )



- 高压水枪单位时间喷出的水的质量为  $\rho \pi v D^2$
- 高压水枪单位时间喷出的水的质量为  $\frac{1}{4} \rho \pi v D^2$
- 水柱对汽车的平均冲力大小为  $\frac{1}{4} \rho D^2 v^2$
- 当高压水枪喷口的出水速度变为原来的 2 倍时, 喷出的水对汽车的压强变为原来的 4 倍

**【解析】** 高压水枪单位时间喷出水的质量等于单位时间内喷出的水柱的质量, 即  $m_0 = \rho V =$

$$\rho \pi \frac{D^2}{4} \cdot v = \frac{1}{4} \rho \pi v D^2, \text{ B 正确, A 错误; 设水柱对}$$

汽车的平均冲力大小为  $F$ , 汽车对水柱的平均作用力大小为  $F'$ , 以水流速度方向为正方向, 对水柱, 由动量定理有  $-F't = 0 - mv$ , 即  $F't =$

$$\frac{1}{4} \rho \pi v D^2 \cdot t \cdot v, \text{ 解得 } F' = \frac{1}{4} \rho \pi v^2 D^2, \text{ 根据牛顿}$$

第三定律可知  $F = F' = \frac{1}{4} \rho \pi v^2 D^2$ , C 错误; 高压

水枪喷出的水对汽车产生的压强  $p = \frac{F}{S} =$

$$\frac{\frac{1}{4} \rho \pi v^2 D^2}{\frac{1}{4} \pi D^2} = \rho v^2, \text{ 则当高压水枪喷口的出水速度}$$

变为原来的 2 倍时, 压强变为原来的 4 倍, D 正确.

**【答案】** BD

#### 备考攻略

**攻略 1** 用动量定理处理“流体类”问题时, 应将“无形”流体变为“有形”实物.

**攻略 2** 若求解流体对接触物体的力, 首先转换研究对象, 分析与流体接触的物体对流体的力, 再结合牛顿第三定律进行解答.

## 模型攻略 4 动量定理在微粒模型中的应用

### 通关攻略

#### 1. 模型建构

(1) 研究对象: 电子流、光子流、尘埃等被广义地视为“微粒”, 质量具有独立性, 通常已知单位体积内的微粒数  $n$ .

(2) 受力特点: 在持续的微粒冲击下, 被撞击的物体受到的冲击力可用微粒的体积密度、速度和接触面积表达出来.

(3) 物理原理: 动量定理.

#### 2. 模型分析

(1) 建立“柱状模型”, 沿流速  $v$  的方向选取一段柱状流体, 其横截面积为  $S$ .

(2) 微元研究, 作用时间  $\Delta t$  内的一段柱状流体的长度为  $\Delta l$ , 对应的体积为  $\Delta V = Sv\Delta t$ , 则微元内的粒子数  $N = nSv\Delta t$ .

(3) 先应用动量定理研究单个粒子, 再乘  $N$  计算, 得出一个方程式.

### 典型示例

**示例** 有一宇宙飞船, 它的正面面积为  $S = 0.98 \text{ m}^2$ , 以  $v = 2 \times 10^3 \text{ m/s}$  的速度飞入一宇宙微粒尘区, 此尘区每立方米空间内有一个微粒, 微粒的平均质量为  $m = 2 \times 10^{-7} \text{ kg}$ , 设微粒与飞船外壳碰撞后附着于飞船上. 要使飞船速度保持不变, 则飞船的牵引力应增加 ( )

- A. 0.584 N      B. 0.784 N  
C. 0.884 N      D. 0.984 N

**【解析】** 以在时间  $\Delta t$  内与飞船碰撞的微粒为研究对象, 其质量应等于底面积为  $S$ 、高为  $v\Delta t$  的柱体内微粒的总质量, 即  $M = mSv\Delta t$ , 初动量

为 0, 末动量为  $Mv$ , 设飞船对微粒的作用力为  $F$ , 以飞船速度方向为正方向, 对微粒由动量

定理得  $F\Delta t = Mv - 0$ , 则  $F = \frac{Mv}{\Delta t} =$

$\frac{mSv^2\Delta t}{\Delta t} = mSv^2 = 0.784 \text{ N}$ , 根据牛顿第三定律

可知, 微粒对飞船的作用力大小为 0.784 N, 则飞船要保持原速度匀速飞行, 牵引力应增加 0.784 N, B 正确.

**【答案】** B

### 备考攻略

**攻略 1** 动量和冲量均为矢量, 解题前务必规定正方向, 避免因符号错误导致结果出错. 比如微粒反弹时, 末动量方向与正方向相反, 需带负号计算.

**攻略 2** 若微粒速率较大, 重力、浮力等力远小于碰撞力或电场力时, 可忽略不计; 但速率较小时需结合受力分析判断是否保留, 避免漏力导致合力计算错误.

## 方法攻略 5 如何判断动量是否守恒

### 通关攻略

#### 1. 方法解读

系统动量守恒的条件是合外力为零, 判断动量是否守恒可以从条件(合外力为零)方面进行判断, 也可以从结果(对不同时刻的动量进行比较)方面进行判断.

## 2. 方法应用

系统动量是否守恒的判定方法:

(1) 选定研究对象及研究过程,分清外力与内力.

(2) 分析系统受到的外力矢量和是否为零,若外力矢量和为零,则系统动量守恒;若外力在某一方向上合力为零,则在该方向上系统动量守恒.系统动量严格守恒的情况很少,在分析具体问题时要注意把实际过程理想化.

(3) 除了利用动量守恒条件判定外,还可以通过实际过程中系统各物体各方向上总动量是否保持不变来进行直观的判定.

### 典型示例

**示例** 把一支枪水平固定在小车上,小车放在光滑的水平面上,枪发射出一颗子弹时,关于枪、子弹和车,下列说法正确的是 ( )

- A. 枪和子弹组成的系统动量守恒
- B. 枪和车组成的系统动量守恒
- C. 三者组成的系统因为子弹和枪筒之间的摩擦力很小,使系统的动量变化很小,可忽略不计,故系统动量近似守恒
- D. 三者组成的系统动量守恒,因为系统只受重

力和地面支持力这两个外力作用,且这两个外力的合力为零,故系统动量守恒

**【解析】** 由于枪水平放置,故三者组成的系统除受重力和支持力外,不受其他外力,而两外力平衡,系统动量守恒;子弹和枪筒之间的力应为系统的内力,对系统的总动量没有影响;枪和子弹组成的系统受到车对其的外力作用,车和枪组成的系统受到子弹对其的外力作用,动量都不守恒,故正确选项为 D.

**【答案】** D

### 备考攻略

**攻略 1** 系统在整个过程中任意两个时刻的总动量都相等,不能误认为只是初、末两个状态的总动量相等.

**攻略 2** 系统的总动量保持不变,但系统内每个物体的动量可能都在不断变化.

**攻略 3** 系统的总动量指系统内各物体动量的矢量和,总动量不变指的是系统总动量的大小和方向都不变.

## 溯源攻略 6 推导动量守恒定律的表达式

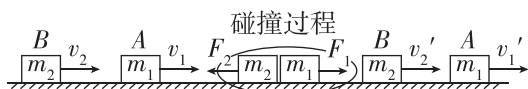
### 通关攻略

#### 1. 公式内容

动量守恒定律的表达式为  $p_1' + p_2' = p_1 + p_2$  或  $m_1v_1' + m_2v_2' = m_1v_1 + m_2v_2$ . 即两个物体碰撞后的动量之和等于碰撞前的动量之和.

#### 2. 推导过程

对两个物体的碰撞过程进行理论分析



如图所示,在光滑水平桌面上做匀速运动的两个物体 A、B,质量分别是  $m_1$  和  $m_2$ ,沿同一直线向同一方向运动,速度分别是  $v_1$  和  $v_2$  且  $v_2 > v_1$ . 当 B 追上 A 时发生碰撞,碰撞后速度分别是  $v_1'$  和  $v_2'$ . 在碰撞过程中,A 受到的作用力是  $F_1$ ,B 受到的作用力是  $F_2$ ,利用动量定理对两物体进行分析:对 A 有  $F_1\Delta t = m_1v_1' - m_1v_1$ ,对 B 有  $F_2\Delta t = m_2v_2' - m_2v_2$ ,根据牛顿第三定律有  $F_1 = -F_2$ ,得  $m_1v_1' - m_1v_1 = -(m_2v_2' - m_2v_2)$ , $m_1v_1' + m_2v_2' = m_1v_1 + m_2v_2$ .

## 典型示例

**示例 1** 质量为 3 kg 的小球 A 在光滑水平面上以 6 m/s 的速度向右运动,恰遇上质量为 5 kg、以 4 m/s 的速度向左运动的小球 B,碰撞后 B 球恰好静止,求碰撞后 A 球的速度。(结果保留两位有效数字)

**【解析】** 两球在光滑水平面上运动,碰撞过程中系统所受合外力为零,系统动量守恒.取 A 球初速度方向为正方向,根据动量守恒定律,有

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

$$\text{解得 } v_A' = \frac{m_A v_A + m_B v_B}{m_A} \approx -0.67 \text{ m/s}$$

其中负号表示 A 球向左运动.

**【答案】** 0.67 m/s,方向向左

**示例 2** 花样滑冰是技巧与艺术性相结合的一个冰上运动项目,在音乐伴奏下,运动员在冰面

上表演各种技巧和舞蹈动作,极具观赏性.甲、乙两运动员均以大小为 1 m/s 的速度沿同一直线相向运动.相遇时彼此用力推对方,此后甲以大小为 1 m/s、乙以大小为 2 m/s 的速度向各自原方向的反方向运动,推开时间极短,忽略冰面的摩擦,则甲、乙运动员的质量之比是 ( )

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

**【解析】** 以甲初速度的方向为正方向,甲、乙推开对方的过程中,满足动量守恒定律,有  $m_{\text{甲}} v_0 - m_{\text{乙}} v_0 = -m_{\text{甲}} v_1 + m_{\text{乙}} v_2$ ,代入数据可

$$\text{得 } \frac{m_{\text{甲}}}{m_{\text{乙}}} = \frac{3}{2}, \text{ 故选 D.}$$

**【答案】** D

## 备考攻略

**攻略 1** 处理动量守恒问题的步骤:选择系统和过程→判断是否满足动量守恒的条件→选择正方向,确定初、末态系统内各物体的动量→列动量守恒定律的表达式求解.

**攻略 2** 系统的动量守恒并不是系统内各物体的动量都不变,而是系统内各物体的动量的矢量和不变,各物体的动量是变化的.

# 实验攻略 7 验证动量守恒定律实验中速度的测量方法

## 通关攻略

### 1. 实验解读

验证动量守恒定律的常见实验方案是气垫导轨上滑块碰撞类型和斜槽末端小球碰撞类型,还有一些其他方案,比如弹簧弹射小球类型、硬币撞击类型、悬球对撞类型等.实验过程中,质量的测量可以利用天平直接测量,速度的测量是实验中的关键,因为直接测量速度的条件要求较高,往往通过间接测量获得速度.

### 2. 实验方法

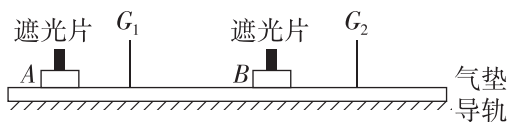
(1)利用光电门测速度:记录挡光片的宽度  $\Delta x$  以及光电计时器显示的挡光时间  $\Delta t$ ,利用公式  $v =$

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} \text{ 计算出速度.}$$

(2)利用转化法测速度:①根据平抛运动规律,将速度的测量转化为位移的测量,有落到水平面上测水平位移、落到竖直面上测下落高度、落到斜面上测下落长度等类型;②根据水平面上动摩擦因数(即加速度)相同,将速度的测量转化为位移的测量;③根据悬球上升过程机械能守恒,将速度的测量转化为角度的测量或者上升高度的测量.

**示例 1** 如图所示为验证动量守恒定律的实验装置,气垫导轨置于水平桌面上, $G_1$  和  $G_2$  为两个光电门,A、B 均为弹性滑块,质量(含遮光片)分别为  $m_A$ 、 $m_B$ ,且  $m_A$  大于  $m_B$ ,两遮光片沿运动方向的宽度均为  $d$ ,实验过程如下:

- ①调节气垫导轨成水平状态;
- ②轻推滑块 A,测得 A 通过光电门  $G_1$  的遮光时间为  $t_1$ ;
- ③A 与 B 相碰后,B 和 A 先后经过光电门  $G_2$  的遮光时间分别为  $t_2$  和  $t_3$ .



回答下列问题:

(1) 实验中选择  $m_A$  大于  $m_B$  的目的是

(2) 利用所测物理量的符号表示动量守恒定律成立的式子为

**【解析】** (1) 为了使 A、B 碰撞后 A 不反弹,需满足 A 的质量大于 B 的质量.

(2) 碰撞前的总动量为  $p_1 = m_A v_1 = m_A \frac{d}{t_1}$ ,碰撞

后的总动量为  $p_2 = m_A v_1' + m_B v_2 = m_A \frac{d}{t_3} +$

$m_B \frac{d}{t_2}$ ,则动量守恒定律成立的表达式为

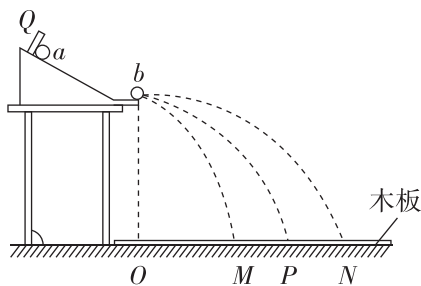
$$m_A \frac{1}{t_1} = m_A \frac{1}{t_3} + m_B \frac{1}{t_2}.$$

**【答案】** (1) 保证碰撞后滑块 A 不反弹

$$(2) m_A \frac{1}{t_1} = m_A \frac{1}{t_3} + m_B \frac{1}{t_2}$$

**示例 2** [2024·新课标卷] 某同学用如图所示的装置验证动量守恒定律.将斜槽轨道固定在水平桌面上,轨道末段水平,右侧端点在水平木板上的垂直投影为 O,木板上叠放着白纸和复写纸.实验时先将小球 a 从斜槽轨道上 Q 处由静止释放,a 从轨道右端水平飞出后落在木板

上;重复多次,测出落点的平均位置 P 与 O 点的距离  $x_P$ .将与 a 半径相等的小球 b 置于轨道右侧端点,再将小球 a 从 Q 处由静止释放,两球碰撞后均落在木板上;重复多次,分别测出 a、b 两球落点的平均位置 M、N 与 O 点的距离  $x_M$ 、 $x_N$ .



完成下列填空:

(1) 记 a、b 两球的质量分别为  $m_a$ 、 $m_b$ ,实验中须满足条件  $m_a$  \_\_\_\_\_ (选填“>”或“<”)  $m_b$ .

(2) 如果测得的  $x_P$ 、 $x_M$ 、 $x_N$ 、 $m_a$  和  $m_b$  在实验误差范围内满足关系式 \_\_\_\_\_,则验证了两小球在碰撞中满足动量守恒定律.实验中,用小球落点与 O 点的距离来代替小球水平飞出时的速度,依据是 \_\_\_\_\_.

**【解析】** (1) 为了保证小球碰撞为对心正碰,且碰后不反弹,要求两球半径相同且  $m_a > m_b$ .

(2) 如果碰撞过程中系统动量守恒,则满足关系式  $m_a v_0 = m_a v_a + m_b v_b$ ,上式两边同时乘下落时间  $t$ ,有  $m_a v_0 t = m_a v_a t + m_b v_b t$ ,可得  $m_a x_P = m_a x_M + m_b x_N$ .小球飞出后做平抛运动,由于下落高度一定,故下落时间一定,而小球在水平方向上做匀速直线运动,所以小球水平飞出时的速度与平抛运动的水平位移成正比,可以用小球落点与 O 点的距离来代替小球水平飞出时的速度,从而验证动量守恒定律.

**【答案】** (1) > (2)  $m_a x_P = m_a x_M + m_b x_N$

小球飞出后做平抛运动,由于下落高度一定,故下落时间一定,而小球在水平方向上做匀速直线运动,所以小球水平飞出时的速度与平抛运动的水平位移成正比

## 备考攻略

**攻略** 该实验聚焦“守恒条件、速度测量、数据处理、误差分析”四大主线,重点掌握斜槽平抛(经典模型)、气垫导轨(无摩擦)、数字化实验(DIS系统)三类情境,熟练运用平抛射程替代、光电门、纸带法测速度。

# 模型攻略 8 弹性碰撞和非弹性碰撞

## 通关攻略

### 1. 模型建构

按照碰撞前后的系统动能是否有损失,碰撞分为弹性碰撞和非弹性碰撞,其中系统动能损失最大的碰撞叫作完全非弹性碰撞。

### 2. 模型分析

(1)碰撞过程的特点:①碰撞相互作用的时间极短;②碰撞相互作用力极大,内力远大于外力,满足系统动量守恒的条件;③碰撞前后瞬间物体的位置可认为不变。

(2)弹性碰撞过程满足动量守恒和系统总动能不变。

(3)非弹性碰撞过程满足动量守恒,但系统总动能减少。

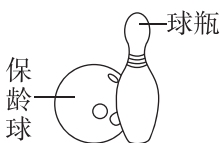
(4)完全非弹性碰撞过程满足动量守恒,碰撞后系统内各物体的速度相同,系统总动能损失最大。

## 典型示例

**示例** 如图所示,光滑水平桌面上一只质量为 5.0 kg 的保龄球,撞上一只静止、质量为 1.5 kg 的球瓶。此后球瓶以 3.0 m/s 的速度向前飞出,而保龄球以 2.0 m/s 的速度继续向前运动。

(1)求碰撞前保龄球的速度大小;

(2)通过计算判断该碰撞是弹性碰撞还是非弹性碰撞。



**【解析】** (1)设碰撞前保龄球的速度为  $v_1$ ,根据动量守恒定律有  $Mv_1 = Mv_1' + mv_2$

解得  $v_1 = 2.9 \text{ m/s}$

(2)保龄球和球瓶组成的系统初、末动能分别为

$$E_{k0} = \frac{1}{2}Mv_1^2 = 21.025 \text{ J}$$

$$E_{k1} = \frac{1}{2}Mv_1'^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = 16.75 \text{ J}$$

因为  $E_{k1} < E_{k0}$ ,所以该碰撞为非弹性碰撞。

**【答案】** (1)2.9 m/s (2)非弹性碰撞

## 备考攻略

**攻略 1** 完全非弹性碰撞的特点是碰撞后两物体合为一体或者具有共同的速度。

**攻略 2** 在一动撞一静的完全非弹性碰撞中,若两物体质量相等,此过程中损失的动能为系统初动能的一半。

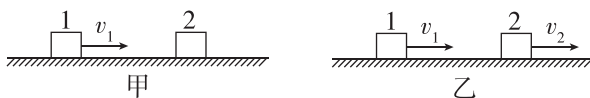
# 模型攻略 9 “动碰静”模型和“动碰动”模型

## 通关攻略

### 1. 模型建构

(1)“动碰静”模型

质量为  $m_1$  的物体以速度  $v_1$  与原来静止的质量为  $m_2$  的物体发生正碰,如图甲所示,碰撞过程属于弹性碰撞。



## (2)“动碰动”模型

质量为  $m_1$  与质量为  $m_2$  的物体分别以速度  $v_1$ 、 $v_2$  运动并发生弹性碰撞,如图乙所示.

### 2. 模型分析

#### (1)推导“动碰动”模型的碰后速度

根据动量守恒定律和机械能守恒定律有

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

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

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

#### (2)分析讨论

①当碰撞前物体 2 的速度不为 0 时,若  $m_1 = m_2$ ,则  $v_1' = v_2, v_2' = v_1$ ,两物体交换速度.

②当碰撞前物体 2 的速度为 0 时,即  $v_2 = 0$ ,则  $v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2}, v_2' = \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2}$ ,这就是“动碰静”模型的碰后速度.“动碰静”模型是“动碰动”模型的一种特例.

a. 当  $m_1 = m_2$  时,  $v_1' = 0, v_2' = v_1$ ,即碰撞后两物体交换速度.

b. 当  $m_1 > m_2$  时,  $v_1' > 0, v_2' > 0$ ,即碰撞后两物体沿同方向运动.

c. 当  $m_1 < m_2$  时,  $v_1' < 0, v_2' > 0$ ,即碰撞后质量小的物体被反弹回来.

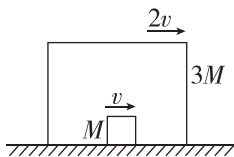
d. 当  $m_1 \gg m_2$  时,  $v_1' = v_1, v_2' = 2v_1$ ,即碰撞后后面物体的速度几乎不变,前面物体的速度为后面物体速度的 2 倍.

e. 当  $m_1 \ll m_2$  时,  $v_1' = -v_1, v_2' = 0$ ,即碰撞后质量小的物体以原速率反弹回来,质量大的物体几乎不动.

### 典型示例

**示例 1** 如图所示,一质量为  $3M$  的盒子沿光滑水平面以速度  $2v$  向右运动,盒底上表面光滑,同时在盒内有一质量为  $M$  的小物块以水平速度  $v$  向右运动.如果每一次碰撞都没有机械能损失,则 ( )

- A. 盒子与小物块最终静止  
 B. 盒子与小物块最终达到相同速度,从而做匀速运动  
 C. 第一次碰撞后,小物块相



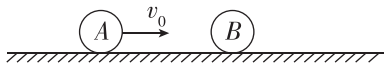
对于水平面的速度大小为  $\frac{3}{2}v$

- D. 第一次碰撞后,小物块相对于水平面的速度大小为  $\frac{5}{2}v$

**【解析】** 由于水平面光滑且每一次碰撞都没有机械能损失,盒子与小物块会一直碰撞下去,故 A、B 错误;盒子与小物块发生第一次弹性碰撞瞬间,由动量守恒定律有  $3M \times 2v + Mv = 3Mv_1 + Mv_2$ ,由机械能守恒定律有  $\frac{1}{2} \times 3M \times (2v)^2 + \frac{1}{2} Mv^2 = \frac{1}{2} \times 3Mv_1^2 + \frac{1}{2} Mv_2^2$ ,解得碰撞后盒子的速度大小为  $v_1 = \frac{3}{2}v$ ,小物块的速度大小为  $v_2 = \frac{5}{2}v$ ,故 C 错误,D 正确.

**【答案】** D

**示例 2** 如图所示,质量分别为  $m_A = 0.2 \text{ kg}$ 、 $m_B = 0.3 \text{ kg}$  的小球 A、B 均静止在光滑水平面上. 现给 A 球一个向右的初速度  $v_0 = 5 \text{ m/s}$ , 之后与 B 球发生对心碰撞. 若 A、B 两球发生的是弹性碰撞, 则碰后 A 球和 B 球的速度分别是多少?



**【解析】** 两球发生弹性碰撞, 碰撞过程系统动量守恒且碰撞前后系统的总动能不变, 以向右为正方向, 有  $m_A v_0 = m_A v_A + m_B v_B$

$$\frac{1}{2} m_A v_0^2 = \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2$$

解得  $v_A = -1 \text{ m/s}$ ,  $v_B = 4 \text{ m/s}$

负号表示方向向左

**【答案】**  $1 \text{ m/s}$ , 方向向左  $4 \text{ m/s}$ , 方向向右

### 备考攻略

**攻略 1** 因为解两个守恒的方程组非常麻烦, 浪费时间太多, 因此结果公式务必牢记:  $v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2}$ ,  $v_2' = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2}$ , 代入前必须规定正方向, 明确公式中各物理量的物理意义, 反向速度带负号计算.

**攻略 2** 解题时按“判断模型→标量定号→列双守恒方程(或套公式)→验证结果”步骤进行, 基础题可直接用公式秒杀, 综合题需拆分“碰撞前运动→碰撞→碰撞后运动”, 衔接动能定理、运动学公式求解.

## 要点攻略 10 碰撞能否真实发生的条件

### 通关攻略

#### 要点 碰撞问题遵循的三个原则

(1) 系统动量守恒, 即  $p_1 + p_2 = p_1' + p_2'$ .

(2) 系统动能不增加, 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 碰前两物体同向, 即  $v_{后} > v_{前}$ , 碰后原来在前面的物体速度一定增大, 且  $v_{前}' \geq v_{后}'$ .

② 两物体相向运动, 碰后两物体的运动方向不可能都不改变.

### 典型示例

**示例 1** (多选) 甲、乙两球在光滑水平轨道上同向运动, 已知它们的动量分别是  $p_1 = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $p_2 = 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 甲从后面追上乙并发生碰撞, 碰后乙球的动量变为  $8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 则两球质量  $m_1$  与  $m_2$  间的关系可能是 ( )

- A.  $3m_1 = m_2$       B.  $4m_1 = m_2$   
C.  $5m_1 = m_2$       D.  $6m_1 = m_2$

**【解析】** 碰前甲的速度大于乙的, 有  $\frac{p_1}{m_1} > \frac{p_2}{m_2}$ , 代

入数据解得  $\frac{m_1}{m_2} < \frac{2}{3}$ , 根据动量守恒定律有  $p_1 +$

$p_2 = p_1' + p_2'$ , 解得  $p_1' = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , 碰撞过程

系统的总动能不增加, 有  $\frac{p_1'^2}{2m_1} + \frac{p_2'^2}{2m_2} \leq \frac{p_1^2}{2m_1} +$

$\frac{p_2^2}{2m_2}$ , 代入数据解得  $\frac{m_1}{m_2} \leq \frac{3}{7}$ , 碰撞后甲的速度不