



教育图书



功能学具



学生之家

基础教育行业专研品牌

30⁺年专注教育行业

全品学练考

主编 肖德好

导学案

高中物理

选择性必修第一册 RJ

浙江省

数智教辅

索取二维码
贴此处
激活享受服务

-全品AI学伴-
7×24小时有问必答
高效预复习, 吃透每一课

天津出版传媒集团
天津人民出版社

CONTENTS

目录

导学案

01

第一章 动量守恒定律

PART ONE

1 动量	107
2 动量定理	109
专题课:动量定理的应用	113
3 动量守恒定律	115
专题课:动量守恒定律的应用	118
4 实验:验证动量守恒定律	120
5 弹性碰撞和非弹性碰撞	124
6 反冲现象 火箭	127
专题课:“弹簧类”模型和“光滑圆弧(斜面)轨道”模型	130
专题课:“子弹打木块”模型和“滑块—木板”模型	133
专题课:力学规律的综合应用	135

02

第二章 机械振动

PART TWO

1 简谐运动	138
2 简谐运动的描述	141
3 简谐运动的回复力和能量	145
4 单摆	147
5 实验:用单摆测量重力加速度	150
6 受迫振动 共振	153

03

第三章 机械波

PART THREE

1 波的形成	155
2 波的描述	157
专题课:振动图像和波的图像综合应用 波的多解问题	161
3 波的反射、折射和衍射	163
4 波的干涉	165
5 多普勒效应	168

04

第四章 光

PART FOUR

1 光的折射	170
第 1 课时 折射现象与折射定律	170
第 2 课时 实验:测量玻璃的折射率	173
2 全反射	175
专题课:几何光学问题的综合分析	179
3 光的干涉	181
4 实验:用双缝干涉测量光的波长	185
5 光的衍射	187
6 光的偏振 激光	189

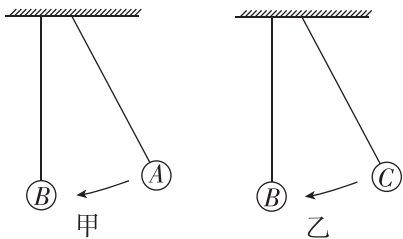
◆ 参考答案	193
--------	-----



1 动量

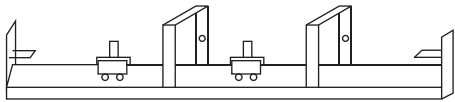
学习任务一 寻求碰撞中的不变量

[科学探究] (1)用两根长度相同的细线,分别悬挂A、B两个完全相同的钢球,且两球并排放置.拉起A球,放开后,与静止的B球发生碰撞.可以看到碰撞后A球_____,B球_____,最终摆到_____.碰撞前后,两球的速度之和_____.将上面实验中的A球换成大小相同的C球,使C球质量大于B球质量,用手拉起C球放开后撞击静止的B球.可以看到碰后B球获得_____,摆起的最大高度_____C球被拉起时的高度.碰撞前后,两球的速度之和_____,速度变化跟它们的_____有关.



(2)用实验数据验证猜想
两辆小车都放在滑轨上,用一辆运动的质量为 m_1 的小车碰撞一辆静止的质量为 m_2 的小车,碰后两辆小车粘在一起运动,小车的速度用

滑轨上的计时器测量,下表的数据是某次实验时采集的,其中 v 是运动小车碰撞前的速度, v' 是碰撞后两车的共同速度.



	m_1/kg	m_2/kg	$v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$v'/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
1	0.519	0.519	0.628	0.307
2	0.519	0.718	0.656	0.265
3	0.718	0.519	0.572	0.321
	E_{k1}/J	E_{k2}/J	$m_1 v/(\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$(m_1 + m_2) v'/(\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
1	_____	0.049	0.326	0.319
2	0.112	_____	_____	0.328
3	0.117	0.064	0.411	_____

在表中填写缺失的数据,通过分析实验数据,两辆小车碰撞前后动能之和 E_{k1} 与 E_{k2} _____ (选填“相等”或“不相等”), _____ 基本不变.

学习任务二 动量及动量的变化量

[教材链接] 阅读教材,填写相关知识.

1. 动量

- (1)定义:物体的_____和_____的乘积.
- (2)表达式: $p =$ _____.
- (3)单位:动量的单位是_____,符号是_____.

(4)方向:动量是_____,它的方向与_____的方向相同.

2. 动量的变化量

- (1)动量变化量 $\Delta p = p_2 - p_1$, Δp 是矢量,方向与 Δv 一致.
- (2)动量变化率:动量的变化量与对应的时间的比值,反映动量变化的快慢.

【辨别明理】

- (1) 动量越大, 物体的速度越大. ()
- (2) 动量相同的物体, 运动方向一定相同. ()
- (3) 动量变化量的方向一定和物体初动量的方向相同. ()

例 1 [2026 · 宁波中学高二期中] 关于动量, 以下说法正确的是 ()

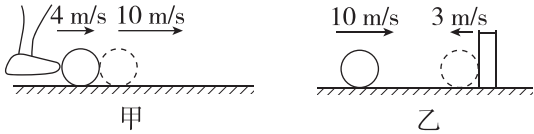
- A. 做匀速圆周运动的物体, 其动量保持不变
- B. 做匀变速直线运动的物体, 它的动量可能不变
- C. 动量相等的物体, 其速度一定相等
- D. 动量相等的物体, 其速度方向一定相同

【反思感悟】

例 2 如图所示, 在某届亚洲杯足球赛上, 一足球运动员踢一个质量为 0.4 kg 的足球.

- (1) 若开始时足球的速度是 4 m/s , 方向向右, 踢球后, 球的速度为 10 m/s , 方向仍向右 (如图甲所示), 求足球的初动量、末动量以及踢球过程中足球动量的改变量;

- (2) 若足球以 10 m/s 的速度撞向球门门柱, 然后以 3 m/s 的速度反向弹回 (如图乙所示), 求这一过程中足球的动量改变量.



【要点总结】

动量变化量 Δp 的计算遵守矢量运算法则.

- (1) 物体做直线运动的情况:

- ① 先规定正方向;
- ② 用“+”“-”表示各矢量方向;
- ③ 将矢量运算简化为代数运算.

- (2) 初、末状态动量不在一条直线上的情况:

可按平行四边形定则求得 Δp 的大小和方向, 这时 Δp 、 p_1 为邻边, p_2 为平行四边形的对角线.

学习任务三 动量与动能

【科学思维】

物理量	动量	动能
定义式	$p = mv$	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$
单位	$\text{kg} \cdot \text{m/s}$	J
性质	矢量	标量
特点	(1) 动量是可以在相互作用的物体间传递、转移的运动量 (2) v 的大小或方向变化都可使 p 发生变化	(1) 动能可以转化为内能、光能、电能等其他形式的能量 (2) 只有 v 的大小发生变化时才会使 E_k 发生变化
联系	都是状态量, 分别从不同的侧面反映和表示机械运动, $E_k = \frac{p^2}{2m}$, $p = \sqrt{2mE_k}$	
典例	匀速圆周运动中动量时刻变化, 动能不变	

例 3 [2025 · 杭州二中高二期中] 对于质量一定的物体, 下列说法正确的是 ()

- A. 速度不变, 动量可能改变
- B. 速度不变, 动能可能改变
- C. 动量变化, 动能一定变化
- D. 动能变化, 动量一定变化

【反思感悟】

例 4 [2026 · 绍兴一中高二月考] 一个质量为 50 kg 的中学生在操场上散步, 动能为 100 J . 则该中学生的动量大小为 ()

- A. $100\text{ kg} \cdot \text{m/s}$ B. $200\text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- C. $300\text{ kg} \cdot \text{m/s}$ D. $400\text{ kg} \cdot \text{m/s}$

【反思感悟】

// 随堂巩固 //

1. (对动量的理解) 下列关于动量的说法正确的是 ()

- A. 质量大的物体, 动量一定大
- B. 甲物体的动量 $p_1 = 5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 乙物体的动量 $p_2 = -10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 所以 $p_1 > p_2$
- C. 一个物体的速率改变, 它的动量一定改变
- D. 一个物体做匀速圆周运动, 它的动量不发生变化

2. (动量与动能的比较) 两辆汽车的质量分别为 m_1 和 m_2 , 沿水平方向同方向行驶且具有相等的动能, 已知 $m_1 > m_2$, 则此时两辆汽车的动量 p_1 和 p_2 的大小关系是 ()

- A. $p_1 = p_2$
- B. $p_1 < p_2$
- C. $p_1 > p_2$
- D. 无法比较

3. (动量变化量的计算) 质量为 0.2 kg 的球竖直向下以 6 m/s 的速度落至水平地面, 再以 4 m/s 的速度反向弹回. 取竖直向上为正方向, 在球与地面接触的时间内, 关于球的动量变化量 Δp 和合外力对球做的功 W , 下列说法正确的是 ()

A. $\Delta p = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}, W = -2 \text{ J}$

B. $\Delta p = -2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}, W = 2 \text{ J}$

C. $\Delta p = 0.4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}, W = -2 \text{ J}$

D. $\Delta p = -0.4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}, W = 2 \text{ J}$

4. (动量的计算) [2026 · 温州高二期中] 质量为 0.5 kg 的金属小球, 以 6 m/s 的速度水平向右抛出, 抛出后经过 0.8 s 落地, g 取 10 m/s^2 , $\sin 53^\circ = 0.8$, $\cos 53^\circ = 0.6$. 小球抛出时和刚落地时, 动量的大小、方向如何?

2 动量定理

学习任务一 冲量

[教材链接] 阅读教材, 填写相关知识.

1. 定义: _____ 与 _____ 的乘积, 即 $I = F \Delta t$. 单位: _____, 符号 _____.

2. 意义: 冲量反映了 _____ 对 _____ 的累积效应.

3. 方向: 冲量也是矢量, 冲量的方向由 _____ 的方向决定.

4. 作用效果: 使物体的 _____ 发生变化.

[辨别明理]

(1) 作用在物体上的力很大, 物体所受的冲量一定也很大. ()

(2) 作用在物体上的力的作用时间很短, 物体所受的冲量一定很小. ()

(3) 作用在两个物体上的合力大小不同, 但两个物体所受的冲量大小可能相同. ()

(4) 只要力的作用时间和力的大小的乘积相同, 物体所受的冲量一定相同. ()

例 1 [2025 · 温州高二期中] 如图所示, 一个物体在与水平方向成 θ 角的拉力 F 的作用下, 沿粗糙水平面做匀加速运动, 经过时间 t , 则 ()

A. 拉力对物体的冲量大小

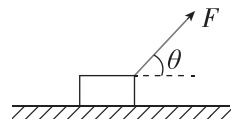
为 Ft

B. 拉力对物体的冲量大小

为 $Ft \cos \theta$

C. 摩擦力对物体的冲量大小为 $Ft \cos \theta$

D. 合外力对物体的冲量大小为零



【要点总结】

- 1. 冲量等于力和力的作用时间的乘积,即 $I=F\Delta t$,取决于力和作用时间两个因素,所以求冲量时一定要明确所求的是哪个力在哪段时间内的冲量,与物体是否运动、在该力的方向上是否有位移无关.
- 2. 冲量是矢量,力的方向不变时,冲量的方向与力的方向相同,如果力的方向是变化的,则冲量的方向与相应时间内动量变化量的方向相同.

- 3. 求合力的冲量:
 - (1)分别求出每一个力的冲量,再求各冲量的矢量和.
 - (2)如果各力的作用时间相同,可以先求出各力的合力,再由 $I=Ft$ 求合力的冲量.

学习任务二 动量定理

[教材链接] 阅读教材,填写相关知识.

- 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_____.
- 2. 表达式: $I=_____$ 或 $F(t'-t)=_____$.

【辨别明理】

- (1)合力越大,动量变化越快. ()
- (2)用力推物体,但没有推动,则该力对物体的冲量为零. ()
- (3)若物体在一段时间内动量发生了变化,则物体在这段时间内受到的合外力一定不为零. ()

- 例 2** 关于动量、冲量,下列说法正确的是 ()
- A. 物体受到的合力等于它的动量的变化率
 - B. 物体的速度大小没有变化,则它受到的合力冲量大小等于零

- C. 物体动量越大,表明它受到的合力冲量越大
- D. 物体动量的方向就是它受到的合力冲量的方向

[反思感悟] _____

【要点总结】

- 动量定理的理解
- (1)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)动量定理的表达式 $F\cdot\Delta t=\Delta p$ 是矢量式,运用它分析问题时要注意冲量、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.
 - (3)动量定理反映了合力的冲量是动量变化的原因.

学习任务三 动量定理的应用

角度一 用动量定理定性解释现象

- 例 3** 行驶中的汽车如果发生剧烈碰撞,车内的安全气囊会被弹出并瞬间充满气体.若碰撞后汽车的速度在很短时间内减小为零,关于安全气囊在此过程中的作用,下列说法正确的是 ()
- A. 增加了司机单位面积的受力大小
 - B. 减少了碰撞前后司机动量的变化量
 - C. 将司机的动能全部转换成汽车的动能
 - D. 延长了司机的受力时间并增大了司机的受力面积

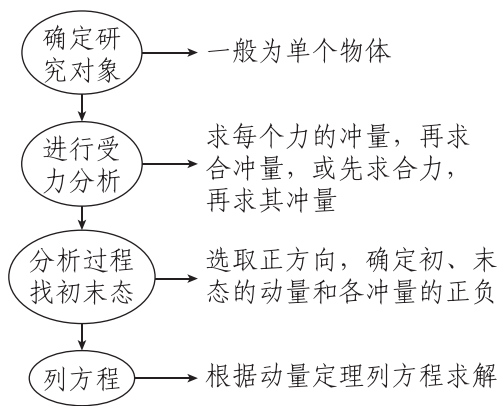
[反思感悟] _____

【要点总结】

用动量定理解释相关现象	
第一类	物体动量的变化一定时,由 $\Delta p=F\Delta t$ 知, Δt 越长, F 就越小; Δt 越短, F 就越大
第二类	作用力一定时,力的作用时间越长,物体动量的变化就越大;作用时间越短,动量的变化就越小
第三类	作用时间一定时,作用力越大,物体动量的变化就越大;作用力越小,物体动量的变化就越小

角度二 用动量定理定量计算 **解答规范**

动量定理应用的基本程序：



例 4 垒球是一项集竞技性、观赏性和娱乐性为一体的运动项目. 如图所示，一个质量为 0.18 kg 的垒球，以 25 m/s 的水平速度飞向球

棒，被球棒击打后，反向水平飞回. 若球棒与垒球的作用时间为 0.002 s ，球棒与垒球的平均作用力大小为 $6.3\times 10^3\text{ N}$ ，以沿垒球飞向球棒的方向为正方向，则下列说法正确的是 ()

- A. 球棒对垒球的冲量为 $-12.6\text{ N}\cdot\text{s}$
- B. 垒球对球棒的冲量为 $-12.6\text{ N}\cdot\text{s}$
- C. 垒球的初动量为 $-4.5\text{ kg}\cdot\text{m/s}$
- D. 垒球被击出后的速度大小为 70 m/s



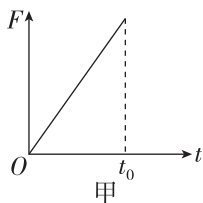
[反思感悟]

例 5 (8 分)[2026·慈溪中学高二月考] 蹦床是运动员在一张绷紧的弹性网上蹦跳、翻滚并做各种空中动作的运动项目. 一个质量为 60 kg 的运动员，从离水平网面为 3.2 m 高处自由下落，着网后沿竖直方向蹦回离水平网面为 5.0 m 高处. 已知运动员与网接触的时间为 1.2 s ，若把这段时间内网对运动员的作用力当作恒力处理，求该力的大小和方向. (g 取 10 m/s^2 ，不计空气阻力)

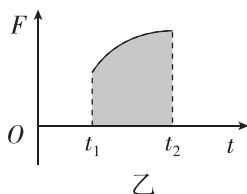
规范答题区		自评项目 (共 100 分)	自评得分
		书写工整无涂抹(20 分)	
		有必要的文字说明(20 分)	
		使用原始表达式、无代数过程(30 分)	
		有据①②得③等说明(10 分)	
		结果为数字的带有单位，求矢量的有方向说明(20 分)	

利用图像法求解变力的冲量

1. 如图甲所示,若该力的方向不变、大小随时间均匀变化,该力的冲量可以用该力在作用时间内的平均值计算,即用力的平均值 $\bar{F}$ 代替 F .



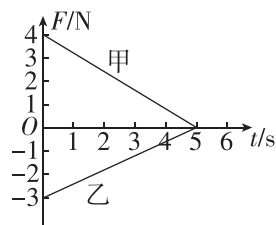
2. 利用 $F-t$ 图像的面积求解. $F-t$ 图线与 t 轴所围图形的面积表示力的冲量. 例如图乙中阴影部分的面积就表示力在时间 $\Delta t = t_2 - t_1$ 内的冲量.



示例 1 [2026·余姚中学高二月考] 甲、乙两个物体在光滑水平面上沿同一直线运动,两物体受力的 $F-t$ 图像如图所示. 关于这两

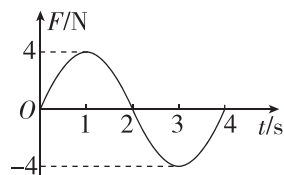
个物体的动量及动量变化量,下列说法中正确的是 ()

- A. 0~5 s 内,甲物体的动量变化量为 $10 \text{ N} \cdot \text{s}$
- B. 0~5 s 内,乙物体的动量变化量为 $7.5 \text{ N} \cdot \text{s}$
- C. 0~5 s 内,甲物体的动量一定变小
- D. 0~5 s 内,乙物体的动量一定变小



示例 2 如图所示,物体由静止开始做直线运动,0~4 s 内其所受合外力随时间变化的关系为某一正弦函数,下列说法错误的是 ()

- A. 0~2 s 内合外力的冲量一直增大
- B. 0~4 s 内合外力的冲量为零
- C. 2 s 末物体的动量方向发生改变
- D. 0~4 s 内物体的动量方向一直不变



// 随堂巩固 //

1. (对冲量的理解)[2025·宁波高二期中]

如图所示,颠球是足球运动中的一项基本功,若某次颠球中,颠出去的足球竖直向上运动之后又落回到原位置,设整个运动过程中不计足球所受阻力,以向上为正方向. 下列说法正确的是 ()

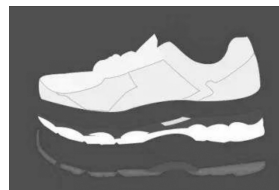


- A. 球从颠出到落回原位置,重力做的功不为零
- B. 球从颠出到落回原位置,重力的冲量为零
- C. 球上升阶段重力做功为正值
- D. 球下降阶段重力的冲量为负值

2. (用动量定理解释现象)[2026·杭州高二期中]

减震性跑步鞋通常有较柔软且弹性好的夹层鞋底帮助足部减震. 如图是某品牌跑鞋结构示意图,关于减震的分析下列说法正确的是 ()

- A. 减震跑步鞋减小了脚掌受力时间
- B. 减震跑步鞋减小了人脚与地面作用前后动量的变化量
- C. 减震跑步鞋减小了人脚与地面作用过程的作用力
- D. 减震跑步鞋减震部分吸收的能量不能再释放出来



3. (用动量定理定量计算)[2025·绍兴一中高二期中] 在一次摸高测试中,一质量为 70 kg 的同学先下蹲,再用力蹬地的同时举臂起跳,在刚要离地时其手指距地面的高度为 1.95 m;离地后身体形状近似不变,手指摸到的最大高度为 2.40 m.若从蹬地到离开地面的时间为 0.2 s,则

在不计空气阻力情况下,起跳过程中他对地面的平均压力大小约为(g 取 10 m/s^2) ()

A. 1050 N
B. 1400 N
C. 1750 N
D. 1900 N

专题课:动量定理的应用

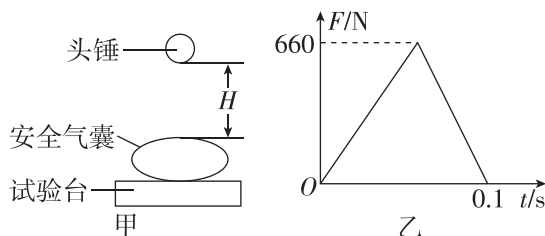
题型一 动量定理与动能定理的综合

[科学思维]

1. 动量定理揭示的是动量变化和冲量的因果关系,即合力对物体的冲量结果是引起物体动量的变化,一般涉及时间时用动量定理;
2. 动能定理揭示的是动能的变化和功的因果关系,即合力对物体做功的结果是引起物体动能的变化,一般涉及位移或路程时用动能定理.

例 1 [2025·浙江大学附属中学高二期中] 安全气囊是汽车重要的被动安全装备,能够在车辆发生碰撞时迅速充气弹出,为车内乘客提供保护.如图甲所示,在某次试验中,可视为质点的头锤从距气囊上表面高 $H=1.8 \text{ m}$ 处由静止自由落下,以头锤到气囊上表面为计时起点,气囊对其的作用力 F 随时间 t 变化的图像如图乙

所示,已知头锤质量为 $M=3.0 \text{ kg}$,重力加速度 g 取 10 m/s^2 ,下列说法正确的是 ()



- A. 头锤落到气囊上表面时的速度大小为 4 m/s
- B. 碰撞过程中 F 的冲量大小为 $6 \text{ N} \cdot \text{s}$
- C. 碰撞结束后头锤上升的最大高度为 0.8 m
- D. 碰撞过程中系统损失的机械能为 20 J

[反思感悟]

题型二 动量定理在多过程中的应用

[科学思维]

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 I_1 、 I_2 、 $\dots$ 、 I_n ,这些冲量的矢量和即外力的合冲量 $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$,根据动量定理 $I = p' - p$ 求解,分段处理时,需注意各段冲量的正负.
- (2)全过程处理法:在全过程中,第一个力的冲量 I_1 ,第二个力的冲量 I_2 , $\dots$,第 n 个力的冲量 I_n ,这些冲量的矢量和即合冲量 I ,根据 $I = p' - p$ 求解,用全过程法求解时,需注意每个力

的作用时间及力的方向.

(3)若不要求中间量,用全程法更为简便.

例 2 [2026·杭州高二期中] 如图所示,颠球练习是乒乓球运动员掌握击球的力度、手感和球感的重要方法.运动员练习中将球垂直抛出,让球连续在球拍上垂直弹起和落下.某一次乒乓球静止下落 50 cm ,被球拍击起后离开球拍竖直上升的最大高度为 88 cm .已知球与球拍的作用时间为 0.1 s ,乒乓球的质量为 2.7 g ,重力加速度 g 取 10 m/s^2 ,阻力是球重力大小的 $\frac{1}{10}$,下列

说法正确的是 ()

- A. 球拍对球的平均作用力为乒乓球重力的 84 倍
- B. 整个过程中阻力做功约为 $3.7 \times 10^{-3} \text{ J}$



- C. 球与球拍作用过程中动量变化量大小为 $3.78 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- D. 球从最高点下落至重新回到最高点的过程中重力的冲量大小约为 $2.25 \times 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{s}$

[反思感悟] _____

题型三 动量定理在流体中的应用

(一) 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	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 $\Delta m = \rho S \Delta l = \rho S v \Delta t$
	3	建立方程，应用动量定理研究这段柱状流体

例 3 [2026 · 镇海中学高二期中] 鼓浪屿原名“圆沙洲”，因岛西南有一海蚀岩洞受浪潮冲击时声如擂鼓，故自明朝起雅化为今称的“鼓浪屿”，现为中国第 52 项世界遗产项目。某次涨潮中，海浪以 5 m/s 的速度垂直撞击到一平直礁石上，之后沿礁石两侧流走，已知礁石受冲击的面积为 2 m^2 ，海水的密度为 $1.05 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，则海浪对礁石的冲击力约为 ()

- A. $1.05 \times 10^4 \text{ N}$ B. $5.25 \times 10^4 \text{ N}$
- C. $7.88 \times 10^4 \text{ N}$ D. $2.63 \times 10^5 \text{ N}$

(二) 微粒类“柱状模型”

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”，沿速度 v 的方向选取一段柱体，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 Δl ，对应的体积为 $\Delta V = S v \Delta t$ ，则微元内的粒子数 $N = n v S \Delta t$
	3	先应用动量定理研究单个粒子，建立方程，再乘 N 计算

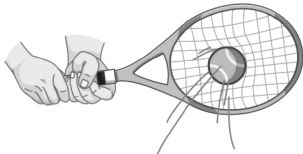
例 4 有一宇宙飞船，它的正面面积 $S = 0.98 \text{ m}^2$ ，以 $v = 2 \times 10^3 \text{ m/s}$ 的速度飞入一宇宙微粒尘区，此尘区每立方米空间内有一个微粒，微粒的平均质量 $m = 2 \times 10^{-7} \text{ kg}$ ，设微粒与飞船外壳碰撞后附着于飞船上。要使飞船速度保持不变，则飞船的牵引力应增加 ()

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

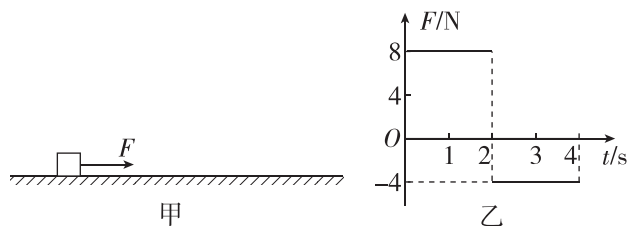
// 随堂巩固 //

1. (动量定理与动能定理的综合应用)[2025 · 湖北鄂州高二期末] 如图所示，一个质量为 0.05 kg 的网球，以 30 m/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 50 m/s ，设球拍与网球的作用时间为 0.01 s 。下列说法正确的是 ()

- A. 网球的动量变化了 $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- B. 球拍对网球的平均作用力大小为 100 N
- C. 网球的机械能变化了 85 J
- D. 球拍对网球做的功为 40 J



2. (动量定理在多过程中的应用)如图甲所示,一质量为 2 kg 的物块静置在水平地面上,现对物块施加水平方向的作用力 F , F 随时间 t 变化关系的图像如图乙所示. 物块与水平地面间的动摩擦因数为 0.1 , 重力加速度大小取 10 m/s^2 , 下列说法正确的是 ()



- A. $t=2\text{ s}$ 时物块的速度大小为 8 m/s
- B. $t=3\text{ s}$ 时物块的动量大小为 $12\text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- C. 4 s 末, 物块再次静止
- D. $0\sim 4\text{ s}$ 内, 合力的冲量大小为 $4\text{ N} \cdot \text{s}$

3. (动量定理在流体中的应用)(多选)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 ρ . 下列说法正确的是 ()

- A. 高压水枪单位时间喷出的水的质量为 $\rho\pi vD^2$



- B. 高压水枪单位时间喷

出的水的质量为 $\frac{1}{4}\rho\pi vD^2$

- C. 水柱对汽车的平均冲力大小为 $\frac{1}{4}\rho D^2 v^2$

- D. 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

3 动量守恒定律

学习任务一 相互作用的两个物体的动量改变 动量守恒定律

[教材链接] 阅读教材, 填写相关知识.

1. 系统、内力和外力

(1) 系统: _____ 相互作用的物体构成的整体.

(2) 内力: 系统 _____ 物体间的作用力.

(3) 外力: 系统 _____ 的物体施加给系统 _____ 物体的力.

2. 动量守恒定律

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

(2) 表达式: 对两个物体组成的系统, 常写成 _____ 或者 $p_1 + p_2 = p_1' + p_2'$.

(3) 动量守恒定律的应用情景

情景 1: 系统不受外力. (理想条件)

情景 2: 系统受到外力, 但外力的合力为零. (实际条件)

情景 3: 系统受到外力, 且外力的合力不为零, 但在某一方向上不受外力或所受外力合力为零时, 则系统在这一方向上动量守恒. (单向条件)

情景 4: 系统所受外力合力不为零, 但系统内力远大于外力, 外力相对来说可以忽略不计, 因而系统动量近似守恒. (近似条件)

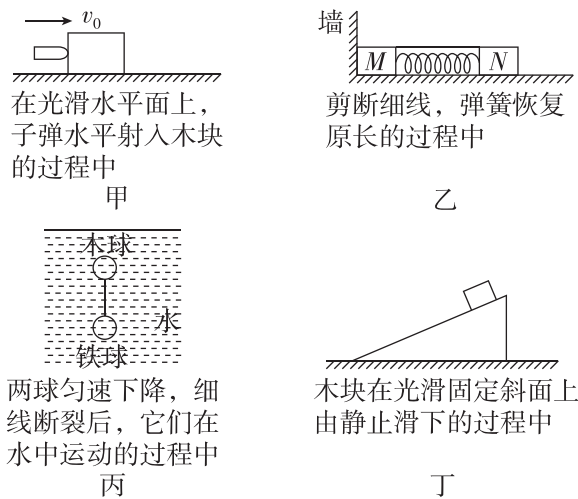
【辨别明理】

(1) 一个系统初、末状态动量大小相等, 即动量守恒. ()

(2) 系统动量守恒也就是系统总动量变化量始终为零. ()

(3) 只要系统内存在摩擦力, 动量就一定不守恒. ()

例 1 [2026·杭州高二期中] 下列四幅图所反映的物理过程中,系统动量守恒的是 ()



- A. 只有甲、乙
- B. 只有甲、丙
- C. 只有甲、丁
- D. 只有丙、丁

【要点总结】

关于动量守恒定律理解的两个误区:

(1)误认为只要系统初、末状态的动量相同,系统动量就守恒.产生误区的原因是没有正确理解动量守恒定律.系统在变化的过程中每一个时刻动量均不变,才符合动量守恒定律.

(2)误认为动量守恒定律中各物体的动量可以相对于任何参考系.出现该误区的原因是没有正确理解动量守恒定律.应用动量守恒定律时,各物体的动量必须是相对于同一惯性参考系,一般情况下,选地面为参考系.

学习任务二 动量守恒定律的应用

[科学思维]

1. 动量守恒定律的五种性质

性质	内容
矢量性	动量守恒定律的表达式是一个矢量式,其矢量性表现在:①该式说明系统的总动量在相互作用前、后不仅大小相等,方向也相同;②在求初、末状态系统的总动量 $p = p_1 + p_2 + \dots$ 和 $p' = p_1' + p_2' + \dots$ 时,要按矢量运算法则计算
相对性	在动量守恒定律中,系统中各物体在相互作用前、后的动量必须相对于同一惯性参考系,各物体的速度通常均为对地的速度
条件性	动量守恒定律的成立是有条件的,应用时一定要首先判断系统是否满足动量守恒的条件
同时性	动量守恒定律中 $p_1、p_2、\dots$ 必须是系统中各物体在相互作用前同一时刻的动量, $p_1'、p_2'、\dots$ 必须是系统中各物体在相互作用后同一时刻的动量
普适性	动量守恒定律不仅适用于两个物体组成的系统,也适用于多个物体组成的系统;不仅适用于宏观物体组成的系统,也适用于微观粒子组成的系统

2. 处理动量守恒问题的步骤

- (1)分析题目涉及的物理过程,选择合适的系统、过程,这是正确解决此类题目的关键;
- (2)判断所选定的系统、过程是否满足动量守恒定律的条件;
- (3)确定物理过程及其系统内物体对应的初、末状态的动量;
- (4)确定正方向,选取恰当的动量守恒的表达式求解.

例 2 [2026·台州中学高二期中] 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 ()

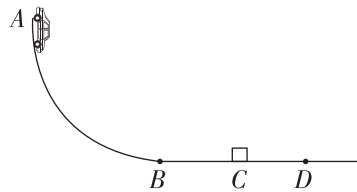
- A. 1 : 3
- B. 3 : 1
- C. 2 : 3
- D. 3 : 2

[反思感悟]

例3 [2025·天津卷] 如图所示,半径为 $R=0.45\text{ m}$ 的四分之一圆轨道 AB 竖直固定放置,与水平桌面在 B 点平滑连接. 质量为 $m=0.12\text{ kg}$ 的玩具小车从 A 点由静止释放,运动到桌面上 C 点时与质量为 $M=0.18\text{ kg}$ 的静置物块发生碰撞并粘在一起,形成的组合体匀减速滑行 $x=0.20\text{ m}$ 距离至 D 点停止. A 点至 C 点光滑,小车和物块碰撞时间极短,小车、物块及组合体均可视为质点, g 取 10 m/s^2 , 不计空气阻力. 求:

- (1) 小车运动至圆轨道 B 点时所受支持力 F_N 的大小;
- (2) 小车与物块碰撞后瞬间形成的组合体速度 v 的大小;

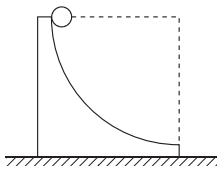
(3) 组合体与水平桌面 CD 间的动摩擦因数 μ 的值.



学习任务三 某一方向动量守恒定律的应用

例4 [2026·嘉兴高二期中] 如图所示,带有光滑四分之一圆弧轨道的物体静止在光滑的水平面上,将一小球(视为质点)从圆弧轨道的最高点由静止释放,下列说法正确的是 ()

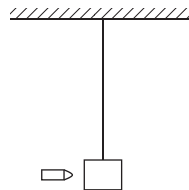
- A. 小球下滑过程中,圆弧轨道对小球的弹力不做功
- B. 小球下滑过程中,小球的重力势能全部转化为其动能
- C. 小球下滑过程中,小球和物体组成的系统动量守恒
- D. 小球下滑过程中,小球和物体组成的系统机械能守恒



例5 [2025·杭州二中高二期中] 如图所示,将一个质量为 $M=1.99\text{ kg}$ 的砂箱(可视为质点),用长为 $L=1.00\text{ m}$ 的轻绳悬挂在天花板上,一颗质量为 $m=10\text{ g}$ 的子弹水平射入砂箱(子弹

未射出,作用时间极短),砂箱发生摆动,若子弹射击砂箱时的速度为 $v=600\text{ m/s}$, g 取 10 m/s^2 , 不计空气阻力,求:

- (1) 子弹刚打入砂箱时,它们共同速度 v_1 的大小;
- (2) 子弹刚打入砂箱时,轻绳对砂箱作用力 F 的大小;
- (3) 子弹与砂箱共同上摆过程中,最大的上升高度 h .

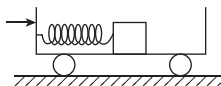


// 随堂巩固 //

1. (对动量守恒的理解) 如图所示,光滑水平地面上有一小车,一轻弹簧的一端与车厢的挡板相连,另一端与滑块相连,滑块与车厢的水平底板间有摩擦. 用力向右推动车厢,使弹簧压缩,撤去推力时滑块在车厢底板上有相对滑动. 在地面参考系(可视为惯性系)中,从撤去推力开

始,小车、弹簧和滑块组成的系统 ()

- A. 动量守恒,机械能守恒
- B. 动量守恒,机械能不守恒
- C. 动量不守恒,机械能守恒
- D. 动量不守恒,机械能不守恒

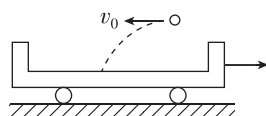


2. (动量守恒定律的简单应用) [2025·江苏南京高二期末] 《三国演义》中“草船借箭”是后人熟悉的故事. 若草船的质量为 M , 每支箭的质量为 m , 草船以速度 v_1 驶来时, 对岸士兵多箭齐发, 箭以相同的速度 v_2 水平射中草船. 假设此时草船正好停下来, 不计水的阻力, 则射出的箭的数目为 ()

- A. $\frac{(M+m)v_1}{mv_2}$ B. $\frac{Mv_1}{(M+m)v_2}$
C. $\frac{Mv_1}{mv_2}$ D. $\frac{mv_1}{Mv_2}$

3. (单一方向的动量守恒) 如图所示, 质量为 0.5 kg 的小球在距离车底面高 20 m 处以一定的初速度向左平抛, 落在以 7.5 m/s 的速度沿光滑水平面向右匀速行驶的小车中, 车底涂有一层油泥, 车与油泥的总质量为 4 kg , 设小球刚要落到车底面前的瞬时速度大小为 25 m/s , g 取 10 m/s^2 , 不计空气阻力, 则当小球与小车相对静止时, 小车的速度大小为 ()

- A. 4 m/s B. 5 m/s
C. 8.5 m/s D. $\frac{25}{3} \text{ m/s}$



专题课: 动量守恒定律的应用

题型一 多物体、多过程中动量守恒的判断

[科学思维] 多物体、多过程中动量守恒的判断注意以下两点:

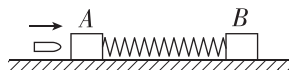
(1) 分析题意, 明确研究对象

对于多个物体、比较复杂的物理过程, 要明确在哪些阶段中, 哪些物体发生相互作用, 从而确定所研究的系统是由哪些物体组成的.

(2) 要对各阶段所选系统内的物体进行受力分析

弄清哪些是系统内部物体之间相互作用的内力, 哪些是系统外物体对系统内物体作用的外力. 在受力分析的基础上根据动量守恒定律条件, 判断能否应用动量守恒定律.

例 1 如图所示, A 、 B 用一根弹性良好的轻质弹簧连在一起, 一颗子弹水平射入置于光滑水平面上的木块 A 并立即留在其中. 则在子弹击中木块 A 至弹簧第一次被压缩至最短的过程中, 子弹、两木块和弹簧组成的系统 ()

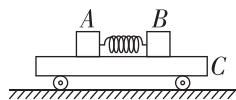


- A. 动量守恒, 机械能不守恒
B. 动量不守恒, 机械能不守恒
C. 动量守恒, 机械能守恒
D. 动量不守恒, 机械能守恒

[反思感悟]

例 2 (多选) [2025·余姚中学高二期中] 如图所示, A 、 B 两物体的质量之比为 $m_A : m_B = 5 : 2$, 它们原来静止在足够长的平板车 C 上, A 、 B 间有一根被压缩了的轻质弹簧, A 、 B 与平板车上表面间的动摩擦因数相同, 地面光滑. 当弹簧突然释放后, A 、 B 均发生相对滑动, 则有 ()

- A. A 、 B 系统动量守恒
B. A 、 B 、 C 系统动量守恒
C. 平板车向左运动
D. 平板车向右运动



题型二 多物体、多过程中动量守恒定律的应用

[科学思维] 对于多物体、多过程, 应用动量守恒定律解题时应注意:

(1) 分清作用过程中的不同阶段, 并按作用关系将系统内的物体分成几个小系统.

(2) 对不同阶段、不同的小系统准确选取初、末状态, 分别列动量守恒方程.

(3) 在研究地面上物体间相互作用的过程时, 各物体运动的速度均应取地球为参考系.

例 3 如图所示,在光滑水平面上有两个并排静止放置的木块 A、B,已知 $m_A = 0.5 \text{ kg}$, $m_B = 0.3 \text{ kg}$. 现有质量 $m_0 = 0.08 \text{ kg}$ 的小物块 C 以初速度 $v_0 = 25 \text{ m/s}$ 在 A 表面沿水平方向向右滑动,由于 C 与 A、B 间均有摩擦, C 最终停在 B 上, B、C 最后的共同速度 $v = 2.5 \text{ m/s}$. 求:

- (1) 木块 A 的最终速度的大小;
- (2) 小物块 C 滑离木块 A 时的瞬时速度的大小.



变式 如图所示,光滑水平地面上依次放置着 10 块质量均为 $m = 0.08 \text{ kg}$ 的完全相同的长直木板. 一质量 $M = 1.0 \text{ kg}$ 、大小可忽略的小铜块以初速度 $v_0 = 6.0 \text{ m/s}$ 从长木板左侧滑上木板,当铜块滑离第一块木板时,速度大小为 $v_1 = 4.0 \text{ m/s}$,铜块最终停在第二块木板上. 重力加速度 g 取 10 m/s^2 ,求:

- (1) 第一块木板的最终速度;
- (2) 铜块的最终速度. (结果保留两位有效数字)



【要点总结】

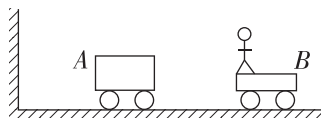
一个系统如果满足动量守恒条件,并且由两个以上的物体构成,那么在对问题进行分析时,既要注意系统总动量守恒,又要注意系统内部分物体动量守恒. 注重系统内部分物体动量守恒分析,可以使求解突破关键的未知量,增加方程个数,为问题的最终解答铺平道路.

题型三 动量守恒定律应用的临界问题

[科学思维] 在动量守恒定律的应用中,常常出现相互作用的两物体相距最近(或最远)、恰好不相撞、弹簧最长(或最短)或物体开始反向运动等临界状态,其临界条件常常表现为两物体的相对速度关系或相对位移关系,这些特定关系的判断是求解这类问题的关键.

例 4 [2026 · 镇海中学高二月考] 如图所示,在光滑水平面上有 A、B 两辆小车,水平面的左侧有一竖直墙,在小车 B 上站着一个小孩,小孩与 B 车的总质量是 A 车质量的 10 倍. 两车开始都处于静止状态,小孩把 A 车以相对于地面的速度 v 推出, A 车与墙壁碰撞后仍以原速率返回,小孩接到 A 车后,又将其以相对于地面的速度 v 推出. 每次推出后, A 车相对于地面的速度均为 v ,方向向左. 则小孩把 A 车推出几次后, A 车返回时小孩不能再接到 A 车 ()

- A. 5
- B. 6
- C. 7
- D. 8



例 5 甲、乙两小孩各乘一辆小车在光滑水平面上匀速相向行驶,速度均为 6 m/s . 甲的车上有质量为 $m = 1 \text{ kg}$ 的小球若干个,甲和他的车及所带小球的总质量为 $M_1 = 50 \text{ kg}$,乙和他的车总质量为 $M_2 = 30 \text{ kg}$. 现为避免相撞,甲不断地将小球以相对地面 16.5 m/s 的水平速度抛向乙,且被乙接住. 假设某一次甲将小球抛出且被乙接住后刚好可保证两车不相撞,此时:

- (1) 两车的速度大小各为多少?
- (2) 甲总共抛出了多少个小球?

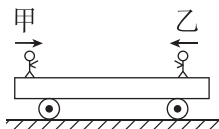
// 随堂巩固 //

1. (多物体、多过程中动量守恒的判断)(多选)
如图所示,在光滑水平面上有一辆平板车,一人手握大锤站在车上.开始时人、锤和车均静止.此人将锤抡起至最高点,此时大锤在头顶的正上方,然后,人用力使锤落下敲打车左端,如此周而复始,使大锤连续地敲打车左端,最后,人和锤都恢复至初始状态并停止敲打,不计空气阻力.在此过程中,下列说法中正确的是 ()

- A. 锤从最高点落下至刚接触车的过程中,车的动量方向先水平向右,后水平向左
- B. 锤从刚接触车的左端至锤的速度减小至零的过程中,车具有水平向左的动量,车的动量减小至零
- C. 锤从刚离开车的左端至运动到最高点的过程中,车具有水平向右的动量,车的动量先增大后减小
- D. 在任一时刻,人、锤和车组成的系统动量守恒



2. (多物体、多过程中动量守恒的应用)如图所示,甲、乙两人分别站在静止小车的左、右两端,当他俩同时相向行走时,发现小车向右运动(车与地面之间无摩擦).下列说法不正确的是 ()



- A. 乙的速度一定大于甲的速度
- B. 乙对小车的摩擦力的冲量一定大于甲对小车的摩擦力的冲量
- C. 乙的动量一定大于甲的动量
- D. 甲、乙的总动量一定不为零

3. (动量守恒定律应用中的临界问题)[2026·杭州二中高二期中] 如图所示,光滑水平轨道上放置长木板 A(上表面粗糙)和滑块 C,滑块 B 置于 A 的左端,三者质量分别为 $m_A = 2 \text{ kg}$, $m_B = 1 \text{ kg}$, $m_C = 2 \text{ kg}$. 开始时 C 静止, A、B 一起以 $v_0 = 5 \text{ m/s}$ 的速度匀速向右运动, A 与 C 发生碰撞(时间极短)后 C 向右运动,经过一段时间, A、B 再次达到共同速度一起向右运动,且恰好不再与 C 碰撞. 求 A 与 C 发生碰撞后瞬间 A 的速度大小.



4 实验:验证动量守恒定律

【实验思路】

1. 一维碰撞

两个物体碰撞前沿同一直线运动,碰撞后 _____ 运动,这种碰撞叫作一维碰撞.

2. 实验的基本思路

在一维碰撞的情况下,与物体运动有关的物理量只有物体的 _____ 和 _____.

3. 验证动量守恒定律

设两个物体的质量分别为 m_1 和 m_2 ,碰撞前的速度分别为 v_1 和 v_2 ,碰撞后的速度分别为 v_1' 和 v_2' ,若速度与我们设定的坐标轴的方向一

致,则取正值,否则取负值. 探究 $m_1 v_1 + m_2 v_2 =$ _____ 是否成立.

方案一 研究气垫导轨上滑块碰撞时的动量守恒

【实验原理】

如图甲所示. 这一实验装置不仅能保证碰撞是一维的,还可以做出多种情形的碰撞,速度的测量误差较小,这个方案是本实验的首选.



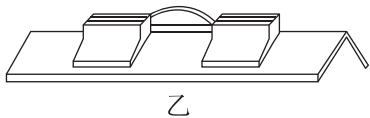
甲

【实验器材】

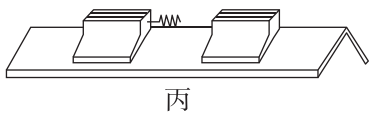
学生电源、气垫导轨、滑块、天平、光电门、光电计时器等。

【物理量的测量】

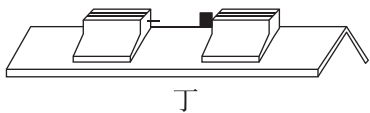
- 1. 用天平测量两个滑块的质量 m_1 、 m_2 。
- 2. 调整导轨使之处于水平状态,并使光电计时器系统正常工作。
- 3. 如图乙所示,用细线将弹簧片弯成弓形,放在两个滑块之间,并使它们静止,然后烧断细线,两滑块随即向相反的方向运动。



- 4. 记录滑块上遮光条的宽度 Δx 以及光电计时器显示的遮光时间 Δt ,利用公式 _____ 计算出两滑块相互作用前后的速度。
- 5. 如图丙所示,在一个滑块上装上弹簧,使两个滑块相互碰撞,重复步骤 4。



- 6. 如图丁所示,在两个滑块的碰撞端分别装上撞针和橡皮泥,二者相碰后粘在一起,重复步骤 4。



【数据处理】

将实验中测得的物理量填入下面表格。

($m_1 =$ _____ ; $m_2 =$ _____)

	碰撞前		碰撞后		结论
速度	v_1	v_2	v_1'	v_2'	
mv	$m_1 v_1 + m_2 v_2$		$m_1 v_1' + m_2 v_2'$		

代入实验数据,看在误差允许的范围内动量是否守恒。

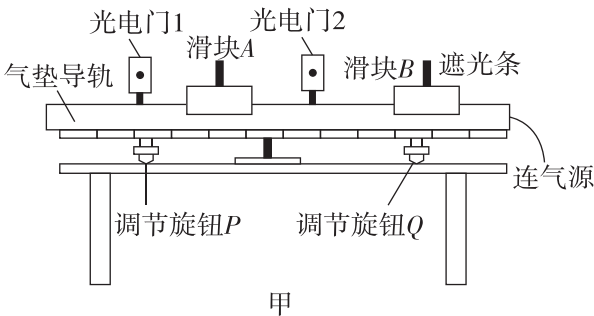
【注意事项】

- 1. 滑块速度的测量:滑块在气垫导轨上运动的速度 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$,式中 Δx 为滑块上的遮光条的宽

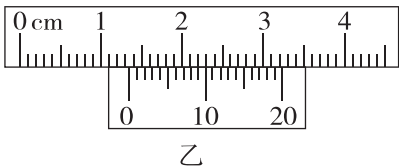
度(由仪器说明书上给出,也可以直接测量), Δt 为光电计时器显示的遮光条经过光电门的时间。

- 2. 注意速度的矢量性:规定一个正方向,碰撞前、后滑块速度的方向与正方向比较,跟正方向相同即为正值,跟正方向相反即为负值,也就是说,比较 $m_1 v_1 + m_2 v_2$ 与 $m_1 v_1' + m_2 v_2'$ 是否相等时,应该把速度的正、负号代入计算。

例 1 [2026· 余杭高级中学高二月考] 图甲是验证动量守恒定律的装置,气垫导轨上安装了 1、2 两个光电门,两滑块上均固定一相同的竖直遮光条。



- (1)用游标卡尺测得遮光条的宽度如图乙所示,其读数为 _____ mm。



- (2)实验前,接通气源后,在导轨上轻放一个滑块,给滑块一初速度,使它从轨道左端向右运动,发现滑块通过光电门 1 的时间大于通过光电门 2 的时间.为使导轨水平,可调节 Q 使轨道右端 _____ (选填“升高”或“降低”)一些。

- (3)测出滑块 A 和遮光条的总质量为 m_A ,滑块 B 和遮光条的总质量为 m_B ,遮光条的宽度用 d 表示.将滑块 A 静置于两光电门之间,将滑块 B 静止于光电门 2 右侧,推动 B,使其获得水平向左的速度,经过光电门 2 并与 A 发生碰撞且被弹回,再次经过光电门 2. 光电门 2 先后记录的挡光时间为 Δt_1 、 Δt_2 ,光电门 1 记录的挡光时间为 Δt_3 ,则实验中两滑块的质量应满足

m_A _____ m_B (选填“>”“<”或“=”), 实验需要验证的动量守恒表达式为 _____

(用题中给定的符号表示).

(4) 若实验发现碰撞过程中机械能、动量均守恒, 则 Δt_1 、 Δt_2 、 Δt_3 应满足的关系式是 _____. (填选项前的字母)

A. $\Delta t_1 + \Delta t_2 = \Delta t_3$

B. $\Delta t_2 - \Delta t_1 = \Delta t_3$

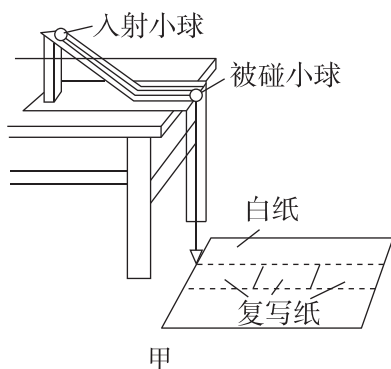
C. $\frac{1}{\Delta t_1} + \frac{1}{\Delta t_2} = \frac{1}{\Delta t_3}$

D. $\frac{1}{\Delta t_1} - \frac{1}{\Delta t_2} = \frac{1}{\Delta t_3}$

方案二 研究斜槽末端小球碰撞时的动量守恒

【实验原理】

如图甲所示, 利用平抛运动的水平方向和竖直方向的等时性和独立性特点可知, 高度相同则运动时间相同, 水平方向做匀速直线运动, 故可用水平位移替代水平初速度.



甲

【实验器材】

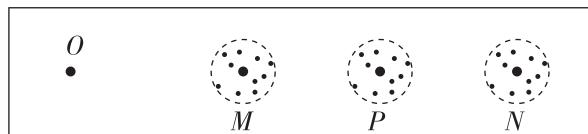
斜槽轨道、铅垂线、天平、小球、白纸、复写纸、刻度尺等.

【物理量的测量】

1. 用天平测出两个小球的质量 m_1 、 m_2 , 并选定质量大的小球为入射小球 (设 $m_1 > m_2$).
2. 按照图甲安装实验装置, 调整固定斜槽使斜槽末端水平.
3. 白纸在下, 复写纸在上, 且在适当位置铺放好. 记下铅垂线所指的位置 O .
4. 不放被碰小球, 让入射小球从斜槽上某固定高度处由静止滚下, 重复 10 次. 用圆规画尽量

小的圆把所有的小球落点圈在里面, 圆心 P 就是小球落点的平均位置.

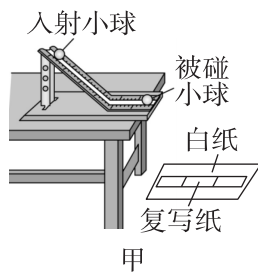
5. 把被碰小球放在斜槽末端, 让入射小球从斜槽同一高度处由静止滚下, 使它们发生碰撞, 重复实验 10 次. 用步骤 4 的方法标出碰后入射小球落点的平均位置 M 和被碰小球落点的平均位置 N , 如图乙所示.



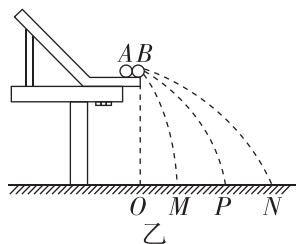
乙

6. 测量线段 OP 、 OM 、 ON 的长度. 将测量数据填入表中, 最后代入 _____, 看在误差允许的范围内此式是否成立.

例 2 [2026 · 绍兴高二期中] 在“验证动量守恒定律”实验中, 通过碰撞后做平抛运动测量速度的方法来进行实验, 实验装置如图甲所示, 实验原理如图乙所示.



甲



乙

(1) 实验室有如下 A、B、C 三个小球供此实验使用, 则入射小球应该选取 _____ (填字母代号) 进行实验;

A. 直径 $d_1 = 2$ cm, 质量 $m_1 = 24$ g

B. 直径 $d_1 = 2$ cm, 质量 $m_2 = 12$ g

C. 直径 $d_2 = 3$ cm, 质量 $m_3 = 4$ g

(2) 关于本实验, 下列说法正确的是 _____ (填字母代号);

A. 斜槽必须足够光滑且安装时末端必须保持水平

B. 小球每次都必须从斜槽上的同一位置由静止释放

C. 必须测量出斜槽末端到水平地面的高度

D. 实验中需要用到停表测量小球在空中飞行的时间