专题 12.2 动量、动量定理、及动量守恒定律（精讲精练）

第一部分、考点梳理 1

考点 1.动量、冲量、动量定理的准确理解与应用 1

考点 2.动量守恒定律的应用条件与特点 3

考点 3.应用动量守恒定律的解题步骤 3

第二部分：题型学习 4

题型一、关于动量、冲量及动量定理的综合考查 4

题型二、“微元法”在动量定理中的应用 6

题型三、关于动量守恒以及能量守恒的判断 7

题型四、小球碰撞模型 8

题型五、子弹打木块与板块模型 9

题型六、弹簧模型的综合应用 10

题型七、轨道模型的综合应用 12

题型八、验证系统动量守恒定律实验 14

第一部分、考点梳理

考点 1.动量、冲量、动量定理的准确理解与应用

1、动量、动能、动量变化量的比较

名称 / 项目	动量	动能	动量变化量
定义	物体的质量和速度的乘积	物体由于运动而具有的能量	物体末动量与初动量的矢量差
定义式	$p=mv$	$E_k=\frac{1}{2}mv^2$	$\Delta p=p'-p$
矢标性	矢量	标量	矢量
特点	状态量	状态量	过程量
关联方程	$E_k=\frac{p^2}{2m}$，$E_k=\frac{1}{2}pv$，$p=\sqrt{2mE_k}$，$p=\frac{2E_k}{v}$		

2．冲量的计算方法

(1)计算冲量可以使用定义式 I＝Ft 求解，此方法仅限于恒力的冲量，无需考虑物体的运动状态。

(2)利用 F -t 图象计算，F -t 围成的面积可以表示冲量， 该种方法可以计算变力的冲量

3、动量定理的两个重要应用即注意细节

(1)应用 I＝Δp 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 求变力的冲量，可以求出该力作用下物体动量的变化Δp，等效代换变力的冲量 I。

(2)应用Δp＝FΔt 求动量的变化

(3)动量的变化：$\Delta p = p_t - p_0$

动量是矢量，当初态动量和末态动量不在一条直线上时，动量变化由平行四边形法则进行运算．动量变化的方向与速度的改变量Δv 的方向相同．当初、末动量在一直线上时通过选定正方向，动量的变化可简化为带有正、负号的代数运算。

（典例应用 1）(多选)下列说法中正确的是(　　)

A．动能变化的物体，动量一定变化　　B．动能不变的物体，动量一定不变

C．动量变化的物体，动能一定变化　　D．动量不变的物体，动能一定不变

【答案】AD

【解析】动量是矢量，p＝mv，动能是标量，Ek＝$\frac{1}{2}$mv2，所以动能变化，则动量一定变化，A 正确；当动量的大小不变，只是方向变化时，物体的动能不变，B、C 错误；动量不变的物体，速度一定不变，则动能一定不变，D 正确。

（典例应用 2）关于冲量，下列说法中正确的是(　　)

A．冲量是物体动量变化的原因　　B．作用在静止的物体上的力的冲量一定为零

C．动量越大的物体受到的冲量越大　　D．冲量的方向就是物体运动的方向

【答案】A

【解析】力作用一段时间便有了冲量，而力作用一段时间后，物体的运动状态发生了变化，物体的动量也发生了变化，因此说冲量使物体的动量发生了变化，A 正确；只要有力作用在物体上，经历一段时间，这个力便有了冲量 I＝Ft，与物体处于什么状态无关，物体运动状态的变化是所有作用在物体上的力共同产生的效果，B 错误；物体所受冲量 I＝Ft 与物体动量的大小 p＝mv 无关，C 错误；冲量的方向与物体运动方向无关，D 错误。

（典例应用 3)一质量为 m 的物体放在光滑的水平面上，今以恒力 F 沿水平方向推该物体，在相同的时间间隔内，下列说法正确的是(　　)

A．物体的位移相等　　B．物体动能的变化量相等

C．F 对物体做的功相等　　D．物体动量的变化量相等

【答案】D

【解析】物体在水平恒力作用下做匀加速直线运动，在相同的时间间隔内物体的位移逐渐增大，故 A 错误；根据动能定理得知，物体动能的变化量逐渐增大，故 B 错误；由功的公式 W＝FL 知道，在相同的时间间隔内，F 做功增大，故 C 错误；根据动量定理得：Ft＝Δp，F、t 相等，则Δp 相等，即物体动量的变化量相等，故 D 正确。

考点 2.动量守恒定律的应用条件与特点

①动量守恒的条件

(1)理想守恒：系统不受外力或所受外力的矢量和为零，则系统动量守恒.

(2)近似守恒：系统受到的外力矢量和不为零，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矢量和为零时，系统在该方向上动量守恒.

②在应用动量守恒定律处理问题时,要注意“四性”

系统性	研究对象是相互作用的两个或多个物体组成的系统
相对性	应用中，p1、p2、…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、…必须是系统中各物体在相互作用后同一时刻的动量，不同时刻的动量不能相加
矢量性	对于作用前后物体的运动方向都在同一直线上的问题，应先选取正方向，凡是与选取的正方向一致的动量为正值，相反的为负值
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，而且适用于接近光速、微观领域

考点 3.应用动量守恒定律的解题步骤

1．明确研究对象和力的作用时间，即要明确要对哪个系统，对哪个过程应用动量守恒定律。

2．分析系统所受外力、内力，判定系统动量是否守恒。

3．分析系统初、末状态各质点的速度，明确系统初、末状态的动量。

4．规定正方向，列出两个状态下系统的动量守恒式；根据需要也可以列出两个状态下系统的能量守恒式；

5．解方程。如解出两个答案或带有负号要说明其意义。

（典例应用 4）(2017·全国卷Ⅰ)将质量为 1.00 *kg* 的模型火箭点火升空，50 *g* 燃烧的燃气以大小为 600 *m/s*

的速度从火箭喷口在很短时间内喷出。在燃气喷出后的瞬间，火箭的动量大小为(喷出过程中重力和空气阻力可忽略)(　　)

A．30 kg·m/s　　B．5.7×10^2 kg·m/s　　C．6.0×10^2 kg·m/s　　D．6.3×10^2 kg·m/s

【答案】A

【解析】由于喷气时间短，且不计重力和空气阻力，则火箭和燃气组成的系统动量守恒。

燃气的动量：p1＝mv＝0.05×600 kg·m/s＝30 kg·m/s，

则火箭的动量：p2＝p1＝30 kg·m/s，选项 A 正确。

第二部分：题型学习

题型一、关于动量、冲量及动量定理的综合考查

例 1.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，使他悬挂起来，已知弹性安全带从开始绷直到拉伸至最长的缓冲时间是 1.2 s，安全带长 5 m，g 取 10 m/s^2，则安全带所受的平均冲力的大小为(　　)

A．500 N　　B．1 100 N　　C．600 N　　D．100 N

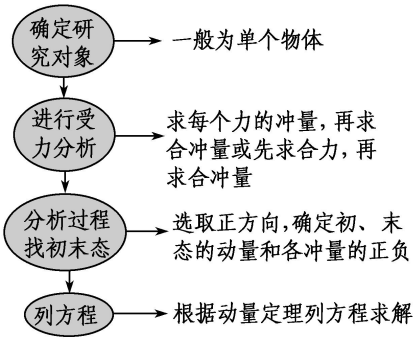
【答案】B

【解析】人下落为自由落体运动，下落到底端时的速度为：$v_0=\sqrt{2gh}=\sqrt{2\times10\times5}$ m/s＝10 m/s；

重力的冲量 $I_G=mgt=600\times1.2$ N·s＝720 N·s；

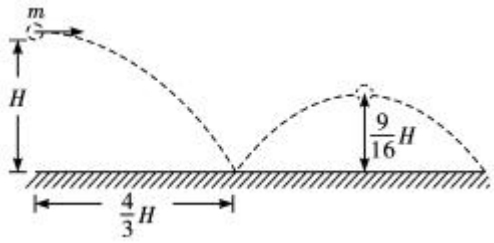
取人为研究对象，在人和安全带相互作用的过程中，人受到重力 mg 和安全带给的冲力 F，取 F 方向为正方向，由动量定理得：$Ft-mgt=0-(-mv_0)$。所以 $F=mg+\frac{mv_0}{t}=600\text{ N}+\frac{60\times10}{1.2}$ N＝1 100 N。

方法总结：用动量定理解题的基本思路



例 2.如图所示，一质量为 m 的小球（可视为质点）从离地面高 H 处水平抛出，第一次落地时的水平位移为$\frac{4}{3}$H，反弹的高度为$\frac{9}{16}$H。已知小球与地面接触的时间为 t，重力加速度为 g，不计摩擦和空气阻力。下

列说法正确的是（　　）



A．第一次与地面接触的过程中，小球受到地面的平均作用力为$\frac{7m\sqrt{2gH}}{4t}$

B．第一次与地面接触的过程中，小球受到地面的平均作用力为$\frac{7m\sqrt{2gH}}{4t}+mg$

C．小球第一次落地点到第二次落地点的水平距离为 2H

D．小球第一次落地点到第二次落地点的水平距离为$\frac{3}{2}H$

【答案】BC

【解析】根据题意小球与地面间的摩擦力不计，因此小球与地面接触时受到的平均作用力为小球所受地面的支持力，规定竖直向上为正方向，对小球在竖直方向应用动量定理得：$(F_N-mg).t=mv_2-(-mv_1)..(1)$；v1，v2 分别为小球与地面接触时在竖直方向的速度大小；结合机械能守恒定律得：$v_1=\sqrt{2gH}...(2)$；

$$v_2=\sqrt{2g\frac{9}{16}H}...(3)$$

联立以上各式得：$F_N=\frac{7}{4t}m\sqrt{2gH}+mg$ 故 B 选项正确；

小球第一次落地前结合平抛运动得：
$$\frac{4}{3}H=v_0.t..(4)$$
$$H=\frac{1}{2}gt^2...(5)$$

设第一次落地到第二次落地的水平距离为 $x_/$；

$$\frac{9}{16}H=\frac{1}{2}gt_/^2...(6)$$

$$x_/=v_0.2t_/...(7)$$

联立 4、5、6、7 式得：v0=2H 故 C 对；

题型二、“微元法”在动量定理中的应用

例 3.（2016·课标 1）某游乐园入口旁有一喷泉，喷出的水柱将一质量为 M 的卡通玩具稳定地悬停在空中。为计算方便起见，假设水柱从横截面积为 S 的喷口持续以速度 v_0 竖直向上喷出；玩具底部为平板(面积略大于 S)；水柱冲击到玩具底板后，在竖直方向水的速度变为零，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：

(ⅰ)喷泉单位时间内喷出的水的质量；

(ⅱ)玩具在空中悬停时，其底面相对于喷口的高度。

【答案】(ⅰ)$\rho v_0 S$　(ⅱ)$\frac{v_0^2}{2g}-\frac{M^2g}{2\rho^2v_0^2S^2}$

【解析】(ⅰ)设Δt 时间内，从喷口喷出的水的体积为ΔV，质量为Δm，则：$\Delta m=\rho\Delta V$①

$\Delta V=v_0S\Delta t$②

由①②式得，单位时间内从喷口喷出的水的质量为：$\frac{\Delta m}{\Delta t}=\rho v_0 S$③

(ⅱ)设玩具悬停时其底面相对于喷口的高度为 h，水从喷口喷出后到达玩具

底面时的速度大小为 v。对于Δt 时间内喷出的水，由能量守恒得：

$\frac{1}{2}(\Delta m)v^2+(\Delta m)gh=\frac{1}{2}(\Delta m)v_0^2$④

在 h 高度处，Δt 时间内喷射到玩具底面的水沿竖直方向的动量变化量的大小为：

$\Delta p=(\Delta m)v$⑤

设水对玩具的作用力的大小为 F，根据动量定理有：$F\Delta t=\Delta p$⑥

由于玩具在空中悬停，由力的平衡条件得：$F=Mg$⑦

联立③④⑤⑥⑦式得：$h=\frac{v_0^2}{2g}-\frac{M^2g}{2\rho^2v_0^2S^2}$⑧

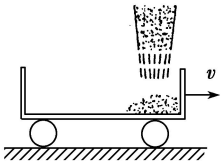
方法总结：微元法解题的思维程序

(1)隔离选择恰当微元作为突破整体研究的对象。微元(可以是一小段线段、圆弧、一小块面积、一个小体积、小质量、一小段时间……)应具有整体对象的基本特征。

(2)将微元模型化(如视作点电荷、质点、匀速直线运动、匀速转动……)并运用相关物理规律，求解这个微元与所求物体的关联。

(3)将一个微元的求解结果推广到其他微元，并充分利用各微元间的对称关系、矢量方向关系、近似极限关系，对各微元的解出结果进行叠加，以得出整体量的合理解答。

例 4、如图所示，在水平光滑的轨道上有一辆质量为 300 kg，长度为 2.5 m 的装料车，悬吊着的漏斗以恒定的速率 100 kg/s 向下漏原料，装料车以 0.5 m/s 的速度匀速行驶到漏斗下方装载原料。



(1)为了维持车速不变，在装料过程中需用多大的水平拉力作用于车上才行。

(2)车装完料驶离漏斗下方仍以原来的速度前进，要使它在 2 s 内停下来，需要对小车施加一个多大的水平制动力。

【答案】(1)50 N　(2)200 N

【解析】(1)设在Δt 时间内漏到车上的原料质量为Δm，要使这些原料获得与车相同的速度，需加力为 F，根据动量定理，有 $F\cdot\Delta t=\Delta m\cdot v$

所以 $F=\frac{\Delta m}{\Delta t}\cdot v=100\times0.5\ \text{N}=50\ \text{N}$

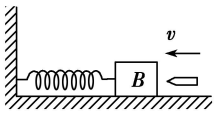
(2)车装完料的总质量为 $M=m_{车}+\frac{\Delta m}{\Delta t}\cdot t=\left(300+100\times\frac{2.5}{0.5}\right)\ \text{kg}=800\ \text{kg}$

对车应用动量定理，有 $F'\cdot t'=0-(-Mv)$

解得 $F'=\frac{Mv}{t'}=\frac{800\times0.5}{2}\ \text{N}=200\ \text{N}$

题型三、关于动量守恒以及能量守恒的判断

例 5.在如图所示的装置中，木块 B 与水平桌面间的接触是光滑的，子弹 A 沿水平方向射入木块后留在其中，将弹簧压缩到最短。若将子弹、木块和弹簧合在一起作为系统，则此系统在从子弹开始射入到弹簧被压缩至最短的整个过程中(　　)



A．动量守恒，机械能守恒　　B．动量不守恒，机械能不守恒

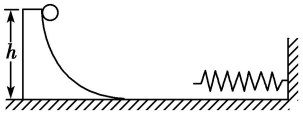
C．动量守恒，机械能不守恒　　D．动量不守恒，机械能守恒

【答案】B

【解析】子弹射入木块是瞬间完成的，这个过程相当于子弹与木块发生一次完全非弹性碰撞，动量守恒，机械能不守恒，一部分动能转化为内能，之后木块(连同子弹)压缩弹簧，将其动能转化为弹性势能，这个过程机械能守恒，但动量不守恒。由于左侧挡板的支持力的冲量作用，使系统的动量不断减少，所以整个过程中，动量和机械能均不守恒。选项 B 正确。

例 6.(多选)(2018·佛山模拟)如图所示，弹簧的一端固定在竖直墙上，质量为 m 的光滑弧形槽静止在光滑水平

面上，底部与水平面平滑连接，一个质量也为 m 的小球从槽上高 h 处由静止开始自由下滑(　　)



A．在下滑过程中，小球和槽之间的相互作用力对槽不做功

B．在下滑过程中，小球和槽组成的系统水平方向动量守恒

C．被弹簧反弹后，小球和槽都做速率不变的直线运动

D．被弹簧反弹后，小球能回到槽上高 h 处

【答案】BC

【解析】在下滑过程中，小球和槽之间的相互作用力对槽做功，选项 A 错误；在下滑过程中，小球和槽组成的系统在水平方向所受合外力为零，系统在水平方向动量守恒，选项 B 正确；小球被弹簧反弹后，小球和槽在水平方向不受外力作用，故小球和槽都做匀速运动，选项 C 正确；小球与槽组成的系统动量守恒，球与槽的质量相等，小球沿槽下滑，球与槽分离后，小球与槽的速度大小相等，小球被弹簧反弹后与槽的速度相等，故小球不能滑到槽上，选项 D 错误。

题型四、小球碰撞模型

例 7.质量相等的 A、B 两球在光滑水平面上沿一直线向同一方向运动，A 球的动量为 PA＝7kg·m／s，B 球的动量为 PB =5kg·m／s,当 A 球追上 B 球发生碰撞，则碰撞后 A、B 两球的动量可能为(　　)

A．$p_A'=6kgm/s$　　$p_B'=6kgm/s$　　B．$p_A'=3kgm/s$　　$p_B'=9kgm/s$

C．$p_A'=-2kgm/s$　　$p_B'=14kgm/s$　　D．$p_A'=-4kgm/s$　　$p_B'=17kgm/s$

【答案】A

【解析】碰撞过程两球动量守恒，故排除 D 选项，碰撞的过程满足能量不增加原则：$\frac{p_A^2}{2m}+\frac{p_B^2}{2m}\geq\frac{p_{A/}^2}{2m}+\frac{p_{B/}^2}{2m}$；

代入相关参数比较排除 BC 故本题的正确答案为 A

方法总结：处理动量守恒碰撞类问题的主要依据：

1、碰撞前后系统动量守恒：即 $P_A+P_B=P_{A/}+P_{B/}$

2、碰撞过程中能量不增加；$\frac{p_A^2}{2m}+\frac{p_B^2}{2m}\geq\frac{p_{A/}^2}{2m}+\frac{p_{B/}^2}{2m}$

3、碰撞前要求 $v_A>v_B$ 才能追上并发生碰撞：

4、碰撞后要求 $v_{A/}\leq v_{B/}$ 否则碰撞没有结束不符合实际情况

例 8.甲乙两球在水平光滑轨道上向同方向运动，已知它们的动量分别是 P1=4kg.m/s,P2=8kg.m/s,甲从后面追上乙并发生碰撞，碰后乙球的动量变为 10 kg.m/s，则二球质量 m_1 与 m_2 间的关系可能是下面的哪几（　　）

A、$2m_1=m_2$　　B、$3m_1=m_2$　　C、$4m_1=m_2$　　D、$6m_1=m_2$

【答案】BC

【解析】根据碰撞过程系统动量守恒可得：碰后甲的动量为 P1/=2kg.m/s；碰撞过程中能量不增加；

$\frac{p_1^2}{2m_1}+\frac{p_2^2}{2m_2}\geq\frac{p_{1/}^2}{2m_1}+\frac{p_{2/}^2}{2m_2}$；代入相关参数 $\frac{4^2}{2m_1}+\frac{8^2}{2m_2}\geq\frac{2^2}{2m_1}+\frac{10^2}{2m_2}$ 得：$m_2\geq 3m_1...(1)$；

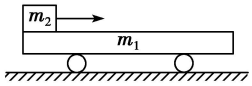
根据碰撞前要求 $v_1>v_2$　$\frac{p_1}{m_1}>\frac{p_2}{m_2}$ 带入相关参数得：$\frac{4}{m_1}>\frac{8}{m_2}$ 得：$m_2>2m_1...(2)$；

碰撞后要求 $v_{1/}\leq v_{2/}$　$\frac{p_{1/}}{m_1}\leq\frac{p_{2/}}{m_2}$ 代入相关参数得：$\frac{2}{m_1}\leq\frac{10}{m_2}$ 得 $m_2\leq 5m_1...(3)$

1、2、3 式求交集故正确答案为：BC

题型五、子弹打木块与板块模型

例 9.如图所示，质量 m1＝0.3 kg 的小车静止在光滑的水平面上，车长 L＝15 m，现有质量 m2＝0.2 kg 可视为质点的物块，以水平向右的速度 v0＝2 m/s 从左端滑上小车，最后在车面上某处与小车保持相对静止。物块与车面间的动摩擦因数μ＝0.5，g 取 10 m/s2.求：



(1)物块在车面上滑行的时间 t；

(2)要使物块不从小车右端滑出，物块滑上小车左端的速度 v0′不超过多少。

【答案】$5\sqrt{10}$m/s

【解析】(1)设物块与小车的共同速度为 v，以水平向右为正方向，根据动量守恒定律有

$m_2v_0=(m_1+m_2)v$

设物块与车面间的滑动摩擦力为 F_f，对物块应用动量定理有$-F_ft=m_2v-m_2v_0$

其中 $F_f=\mu m_2g$ 联立以上三式解得 $t=\frac{m_1v_0}{\mu(m_1+m_2)g}$

代入数据得 $t=\frac{0.3\times 2}{0.5\times(0.3+0.2)\times 10}$ s＝0.24 s。

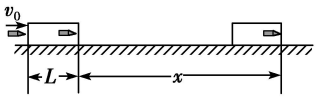
(2)要使物块恰好不从小车右端滑出，物块滑到车面右端时与小车有共同的速度 v'，则有 $m_2v_0'=(m_1+m_2)v'$

由功能关系有 $\frac{1}{2}m_2v_0'^2=\frac{1}{2}(m_1+m_2)v'^2+\mu m_2gL$

代入数据解得 $v_0'=5\sqrt{10}$ m/s

故要使物块不从小车右端滑出，物块滑上小车左端的速度 v_0'不能超过 $5\sqrt{10}$ m/s。

例题 10.(2018·福建漳州模拟)长为 L、质量为 M 的木块在粗糙的水平面上处于静止状态，有一质量为 m 的子弹(可视为质点)以水平速度 v0 击中木块并恰好未穿出。设子弹射入木块的过程时间极短，子弹受到木块的阻力恒定，木块运动的最大距离为 x，重力加速度为 g，求：



(1)木块与水平面间的动摩擦因数μ；

(2)子弹受到的阻力大小 F 阻。

【答案】$\frac{Mmv_0^2}{2(M+m)L}$。

【解析】(1)在子弹弹入木块过程的极短时间内，子弹和木块组成的系统在水平方向上动量守恒，以水平向右为正方向，则 $mv_0=(m+M)v_{共}$，

在子弹与木块共速到最终停止的过程中，由功能关系得

$\frac{1}{2}(M+m)v_{共}^2=\mu(M+m)gx$，

解得$\mu=\frac{m^2v_0^2}{2gx(M+m)^2}$。

(2)在子弹射入木块过程的极短时间内，设子弹与木块之间因摩擦产生的热量为 Q，由能量守恒定律得 $Q=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(M+m)v_{共}^2$，

又 $Q=F_{阻}L$，

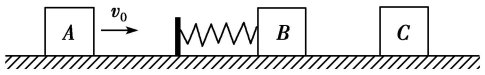
联立解得 $F_{阻}=\frac{Mmv_0^2}{2(M+m)L}$。

题型六、弹簧模型的综合应用

例 11.如图，光滑水平直轨道上有三个质量均为 m 的物块 A、B、C。B 的左侧固定一轻弹簧(弹簧左侧的挡板质量不计)。设 A 以速度 v_0 朝 B 运动，压缩弹簧；当 A、B 速度相等时，B 与 C 恰好相碰并粘接在一起，然后继续运动。假设 B 和 C 碰撞过程时间极短。求从 A 开始压缩弹簧直至与弹簧分离的过程中，

(1)整个系统损失的机械能；

(2)弹簧被压缩到最短时的弹性势能。



【答案】（1）$\Delta E=\frac{1}{16}mv_0^2$　（2）$E_p=\frac{13}{48}mv_0^2$

【解析】①因水平面光滑，则可考虑应用动能守恒定律。②A 和 B 速度相等时，A、B 与弹簧组成的系统动量守恒。③B 和 C 相碰后粘接在一起，意味着 B 和 C 发生完全非弹性碰撞，有机械能损失。

(1)从 A 压缩弹簧到 A 与 B 具有相同速度 v_1 时，对 A、B 与弹簧组成的系统，由动量守恒定律得 $mv_0=2mv_1$①

此时 B 与 C 发生完全非弹性碰撞，设碰撞后的瞬时速度为 v_2，损失的机械能为ΔE，对 B、C 组成的系统，由动量守恒和能量守恒定律得 $mv_1=2mv_2$②

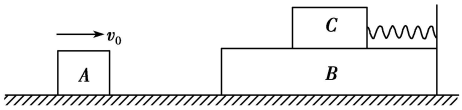
$\frac{1}{2}mv_1^2=\Delta E+\frac{1}{2}(2m)v_2^2$③联立①②③式得$\Delta E=\frac{1}{16}mv_0^2$

(2)由②式可知 $v_2<v_1$，A 将继续压缩弹簧，直至 A、B、C 三者速度相同，设此速度为 v_3，此时弹簧被压缩至最短，其弹性势能为 E_p。由动量守恒和能量守恒定律得 $mv_0=3mv_3$⑤

$\frac{1}{2}mv_0^2-\Delta E=\frac{1}{2}(3m)v_3^2+E_p$⑥

联立④⑤⑥式得 $E_p=\frac{13}{48}mv_0^2$⑦

例 12.(2018·河北石家庄质检)如图所示，光滑水平面上木块 A 的质量 $m_A=1$ kg，木块 B 的质量 $m_B=4$ kg，质量为 $m_C=2$ kg 的木块 C 置于足够长的木块 B 上，B、C 之间用一轻弹簧相拴接并且接触面光滑。开始时 B、C 静止，A 以 $v_0=10$ m/s 的初速度向右运动，与 B 碰撞后瞬间 B 的速度为 3.5 m/s，碰撞时间极短。求：



(1)A、B 碰撞后 A 的速度；

(2)弹簧第一次恢复原长时 C 的速度。

【答案】(1)−4 m/s　(2)$\frac{14}{3}$ m/s

【解析】（1)因碰撞时间极短，A、B 碰撞时，可认为 C 的速度为零，由动量守恒定律得 $m_Av_0=m_Av_A+m_Bv_B$

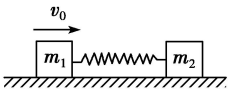
解得 $v_A=\frac{m_Av_0-m_Bv_B}{m_A}=-4$ m/s，负号表示方向与 A 的初速度方向相反。

(2)弹簧第一次恢复原长，弹簧的弹性势能为零。设此时 B 的速度为 v_B'，C 的速度为 v_C，由动量守恒定律和

机械能守恒定律有 $m_Bv_B=m_Bv_B'+m_Cv_C$

$\frac{1}{2}m_Bv_B^2=\frac{1}{2}m_Bv_B'^2+\frac{1}{2}m_Cv_C^2$　　得 $v_C=\frac{2m_B}{m_B+m_C}v_B$　　$v_C=\frac{14}{3}$ m/s

方法总结：弹簧模型特点



弹簧模型

两个(或两个以上)物体与弹簧组成的系统在相互作用的过程中：

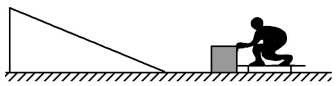
(1)在能量方面，由于弹簧的形变会具有弹性势能，系统的总动能将发生变化，若系统所受的外力和除弹簧弹力以外的内力不做功，系统机械能守恒。

(2)在动量方面，系统动量守恒。

(3)弹簧处于最长(最短)状态时两物体速度相等，弹性势能最大，系统满足动量守恒，机械能守恒。

题型七、轨道模型的综合应用

例 13.（2016·全国卷）如图，光滑冰面上静止放置一表面光滑的斜面体，斜面体右侧一蹲在滑板上的小孩和其面前的冰块均静止于冰面上。某时刻小孩将冰块以相对冰面 3 m/s 的速度向斜面体推出，冰块平滑地滑上斜面体，在斜面体上上升的最大高度为 $h=0.3$ m(h 小于斜面体的高度)。已知小孩与滑板的总质量为 $m_1=30$ kg，冰块的质量为 $m_2=10$ kg，小孩与滑板始终无相对运动。取重力加速度的大小 $g=10$ m/s^2。



(1)求斜面体的质量；

(2)通过计算判断，冰块与斜面体分离后能否追上小孩？

【答案】(1)20 kg　(2)见解析

【解析】(1)规定向右为速度正方向。冰块在斜面体上运动到最大高度时两者达到共同速度，设此共同速度为 v，斜面体的质量为 m_3。由水平方向动量守恒和机械能守恒定律得 $m_2v_{20}=(m_2+m_3)v$①

$\frac{1}{2}m_2v_{20}^2=\frac{1}{2}(m_2+m_3)v^2+m_2gh$②

式中 $v_{20}=-3$ m/s 为冰块推出时的速度。联立①②式并代入题给数据得

$m_3=20$ kg③

(2)设小孩推出冰块后的速度为 v_1，由动量守恒定律有 $m_1v_1+m_2v_{20}=0$④

代入数据得

$v_1=1$ m/s⑤

设冰块与斜面体分离后的速度分别为 v_2 和 v_3，由动量守恒和机械能守恒定律有

$m_2v_{20}=m_2v_2+m_3v_3$⑥

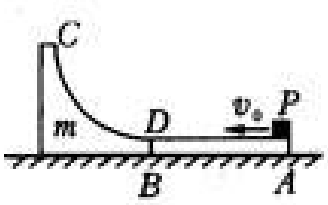
$\frac{1}{2}m_2v_{20}^2=\frac{1}{2}m_2v_2^2+\frac{1}{2}m_3v_3^2$⑦

联立③⑥⑦式并代入数据得

$v_2=1$ m/s⑧

由于冰块与斜面体分离后的速度与小孩推出冰块后的速度相同且处在后方，故冰块不能追上小孩。

例 14.（轨道模型）在光滑水平面上静置有质量均为 m 的木板 AB 和滑块 CD，木板 AB 上表面粗糙．动摩擦因数为 μ，滑块 CD 上表面是光滑的 1/4 圆弧，其始端 D 点切线水平且在木板 AB 上表面内，它们紧靠在一起，如图所示．一可视为质点的物块 P，质量也为 m，从木板 AB 的右端以初速度 v_0 滑上木板 AB,过 B 点时速度为 $v_0/2$，又滑上滑块 CD，最终恰好能滑到滑块 CD 圆弧的最高点 C 处，求：



(1）物块滑到 B 处时木板的速度 v_{AB}；　　(2）木板的长度 L；　　(3）滑块 CD 圆弧的半径 R.

【答案】（1）$v_{AB}=\frac{1}{4}v_0$（2）$L=\frac{5v_0^2}{16\mu g}$（3）$R=\frac{v_0^2}{64g}$

【解析】（1）选择 P、AB、CD 作为系统，P 滑上木板开始到 B 点作为研究过程；在水平方向动量守恒；

$mv_0=m\frac{1}{2}v_0+2m.v_{AB}...(1)$ 解得：$v_{AB}=\frac{1}{4}v_0$；

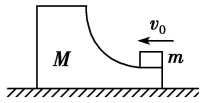
（2）结合能量守恒关系得：$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}2m.v_{AB}^2+\frac{1}{2}m(\frac{v_0}{2})^2+\mu mgL...(2)$ 解得：$L=\frac{5v_0^2}{16\mu g}$；

选择 P、CD 作为研究系统，从 P 滑上 CD 到到达最高点作为研究过程，在最高点时 P 与 CD 在水平方向共速，在水平方向应用动量守恒定律可得：$m\frac{v_0}{4}+m\frac{v_0}{2}=2m.v..(3)$

结合能量守恒关系得：$\frac{1}{2}m(\frac{v_0}{4})^2+\frac{1}{2}m(\frac{v_0}{2})^2=\frac{1}{2}2mv^2+mgR...(4)$

联立 3、4 式解得：$R=\frac{v_0^2}{64g}$；

方法总结轨道模型特点



(1)最高点：m 与 M 具有共同水平速度，且 m 不可能从此处离开轨道，系统水平方向动量守恒，系统机械能守恒。

$mv_0=(M+m)v_{共}$，$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}(M+m)v_{共}^2+mgh$。

(2)最低点：m 与 M 分离点。水平方向动量守恒，系统机械能守恒，$mv_0=mv_1+Mv_2$，$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}Mv_2^2$。

题型八、验证系统动量守恒定律实验

一、实验目的

1. 验证一维碰撞中的动量守恒.

2. 探究一维弹性碰撞的特点.

二、实验原理

在一维碰撞中，测出物体的质量 m_1、m_2，碰撞前物体的速率 v_1、v_2 和碰撞后物体的速率 v'_1、v'_2，找出碰撞前的动量 $p=m_1v_1+m_2v_2$ 及碰撞后的动量 $p'=m_1v'_1+m_2v'_2$，看碰撞前后动量是否守恒.

三、实验器材

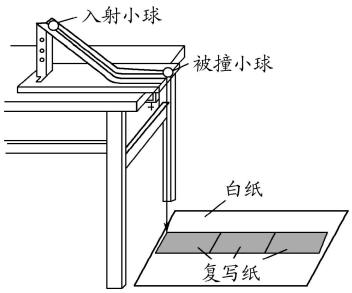
方案一：长木板、打点计时器、纸带、两个小车、橡皮泥、撞针、刻度尺、学生电源等

方案二：气垫导轨、光电计时器、天平、滑块(两个)、重物、弹簧片、细绳、弹性碰撞架、胶布、撞针、橡皮泥

方案三：大小相等、质量不同的小钢球两个，细线

方案四：斜槽，大小相等、质量不同的小钢球两个，铅垂线，白纸，复写纸，天平，刻度尺，圆规等

方案四：利用斜槽上滚下的小球验证动量守恒定律(如图所示)



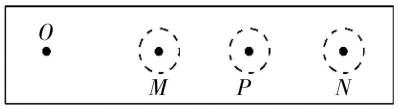
1. 测质量：用天平测出两小球的质量，并选定质量大的小球为入射小球.

2. 安装：按照如图所示安装实验装置．调整固定斜槽使斜槽底端水平.

3. 铺纸：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. 放球找点：不放被撞小球，每次让入射小球从斜槽上某固定高度处自由滚下，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. 碰撞找点：把被撞小球放在斜槽末端，每次让入射小球从斜槽同一高度自由滚下，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* 和被撞小球落点的平均位置 *N*.如图所示．



6. 验证：连接 *ON*，测量线段 *OP*、*OM*、*ON* 的长度．将测量数据填入表中，最后代入

$m_1 \cdot OP = m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON$　　看在误差允许的范围内是否成立．

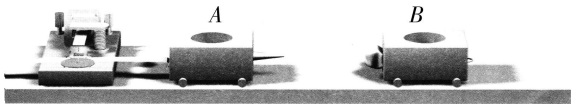
四、实验过程

方案一：在光滑桌面上两车碰撞完成一维碰撞实验(如图所示)

1. 测质量：用天平测出两小车的质量．

2. 安装：将打点计时器固定在光滑长木板的一端，把纸带穿过打点计时器，连在小车的后面，在两小车的碰撞端分别装上撞针和橡皮泥．

3. 实验：接通电源，让小车 A 运动，小车 B 静止，两车碰撞时撞针插入橡皮泥中，把两小车连接成整体运动．



4. 测速度：通过纸带上两计数点间的距离及时间由 $v=\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 算出速度．

5. 改变条件：改变碰撞条件，重复实验．

6. 验证：一维碰撞中的动量守恒．

方案二：利用气垫导轨完成一维碰撞实验(如图所示)

1. 测质量：用天平测出滑块质量．

2. 安装：正确安装好气垫导轨．

3. 实验：接通电源，利用配套的光电计时装置测出两滑块各种情况下碰撞前、后的速度(①改变滑块的质量．②改变滑块的初速度大小和方向)．

4. 验证：一维碰撞中的动量守恒．

五、误差分析

1. 系统误差：主要来源于装置本身是否符合要求.

(1)碰撞是否为一维碰撞.

(2)实验是否满足动量守恒的条件，如气垫导轨是否水平等.

2. 偶然误差：主要来源于质量 m 和速度 v 的测量.

六、注意事项

1. 碰撞的两物体应保证“水平”和“正碰”.

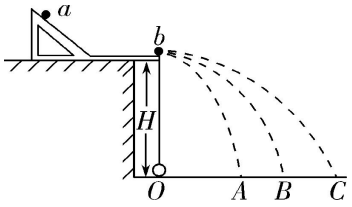
2. 若利用气垫导轨进行实验，调整气垫导轨时，注意利用水平仪确保导轨水平.

3. 若利用摆球进行实验，两小球静放时球心应在同一水平线上，且刚好接触，摆线竖直，将小球拉起后，两条摆线应在同一竖直平面内.

4. 若利用长木板进行实验，可在长木板下垫一个小木片以平衡摩擦力.

5. 若利用斜槽进行实验，入射球质量 m_1 要大于被碰球质量 m_2，即 $m_1>m_2$(防止碰后 m_1 被反弹)，且两球半径 $r_1=r_2=r$.

例 15.某同学用如图所示的装置做验证动量守恒定律的实验．先让 a 球从斜槽轨道上某固定点处由静止开始滚下，在水平地面上的记录纸上留下压痕，重复 10 次；再把同样大小的 b 球放在斜槽轨道末水平段的最右端上，让 a 球仍从固定点由静止开始滚下，和 b 球相碰后，两球分别落在记录纸的不同位置处，重复 10 次.



(1)(多选)本实验必须测量的物理量有 BE.

A. 斜槽轨道末端距水平地面的高度 H

B. 小球 a、b 的质量 m_a、m_b

C. 小球 a、b 的半径 r

D. 小球 a、b 离开斜槽轨道末端后平抛飞行的时间 t

E. 记录纸上 O 点到 A、B、C 各点的距离 OA、OB、OC

F. a 球的固定释放点到斜槽轨道末端水平部分间的高度差 h

(2)放上被碰小球 b，两球($m_a>m_b$)相碰后，小球 a、b 的落地点依次是图中水平面上的 A 点和 C 点.

(3)某同学在做实验时，测量了过程中的各个物理量，利用上述数据验证碰撞中的动量守恒，那么判断的依据是看 ma·OB 和 ma·OA＋mb·OC 在误差允许范围内是否相等.

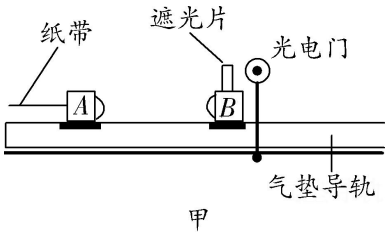
【答案】见原题

【解析】(1)B 点是不发生碰撞时 a 球的落地点，A 点是发生碰撞后 a 球的落地点，C 点是碰后 b 球的落地点．设小球 a 运动到轨道末端时的速度大小为 v_B，与球 b 发生碰撞后的瞬时速度大小为 v_A，碰后 b 球的速度大小为 v_C，本实验就是要验证关系式 $m_av_B=m_av_A+m_bv_C$ 是否成立．因为小球做平抛运动的高度相同，下落时间相同，它们在水平方向上位移与水平方向上的速度成正比，所以本实验也可以验证 $m_a\cdot OB=m_a\cdot OA+m_b\cdot OC$ 是否成立，B、E 正确．

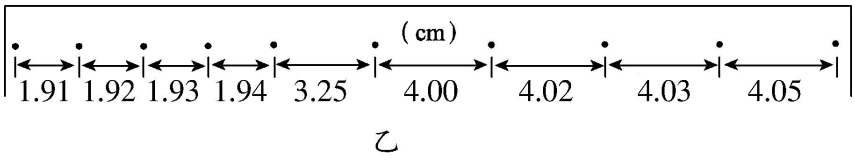
(2)两球碰撞后，a 球在水平方向上的分速度较小，下落时间相同时，落地时的水平位移也较小，所以小球 a、b 的落地点依次是图中水平面上的 A 点和 C 点．

(3)根据(1)的分析，判断两球碰撞过程中的动量是否守恒的依据是看 $m_a\cdot OB$ 和 $m_a\cdot OA+m_b\cdot OC$ 在误差允许范围内是否相等．

例 16.现利用图甲所示的装置验证动量守恒定律．在图甲中，气垫导轨上有 A、B 两个滑块，滑块 A 右侧带有一弹簧片，左侧与打点计时器(图中未画出)的纸带相连；滑块 B 左侧也带有一弹簧片，上面固定一遮光片，光电计时器(未完全画出)可以记录遮光片通过光电门的时间．



甲



乙

实验测得滑块 A 的质量 $m_1=0.310$ kg，滑块 B 的质量 $m_2=0.108$ kg，遮光片的宽度 $d=1.00$ cm；打点计时器所用交流电的频率 $f=50.0$ Hz.

将光电门固定在滑块 B 的右侧，启动打点计时器，给滑块 A 一向右的初速度，使它与 B 相碰．碰后光电计时器显示的时间为$\Delta t_B=3.500$ ms，碰撞前后打出的纸带如图乙所示．

若实验允许的相对误差绝对值($\left|\dfrac{\text{碰撞前后总动量之差}}{\text{碰前总动量}}\right|\times100\%$)最大为 5%，本实验是否在误差范围内验证了动量守恒定律？写出运算过程．

【答案】见解析

【解析】按定义，物体运动的瞬时速度大小为 v：$v=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$①

式中Δs 为物块在很短时间Δt 内走过的路程，设纸带上打出相邻两点的时间间隔为Δt_A，则

$\Delta t_A=\dfrac{1}{f}=0.02$ s②

Δt_A 可视为很短，设在 A 碰撞前后瞬时速度大小分别为 v_0、v_1，将②式和图给实验数据代入①式可得：$v_0=$

$\frac{4.00\times10^{-2}}{0.02}$m/s＝2.00 m/s③

$v_1=\frac{1.94\times10^{-2}}{0.02}$ m/s＝0.970 m/s④

设 B 在碰撞后的速度大小为 v_2，由①式有 $v_2=\frac{d}{\Delta t_B}$⑤

代入题给数据可得：v_2＝2.86 m/s⑥

设两滑块在碰撞前后的动量分别为 p 和 p'，则 $p=m_1v_0$⑦

$p'=m_1v_1+m_2v_2$⑧

两滑块在碰撞前后总动量相对误差的绝对值为$\delta_p=\left|\frac{p-p'}{p}\right|\times100\%$⑨

联立③④⑥⑦⑧⑨式并代入有关数据，

可得：$\delta_p\approx1.7\%<5\%$⑩

因此，本实验在允许的误差范围内验证了动量守恒定律.