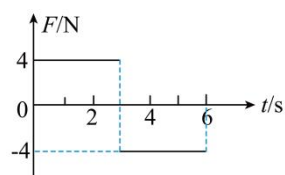


专题 16 动量（解析版）

近 5 年（2018-2022）高考物理试题分类解析

1、（2022·全国乙卷·T20）质量为 1kg 的物块在水平力 F 的作用下由静止开始在水平地面上做直线运动， F 与时间 t 的关系如图所示。已知物块与地面间的动摩擦因数为 0.2 ，重力加速度大小取 $g = 10\text{m/s}^2$ 。则（ ）



- A. 4s 时物块的动能为零
- B. 6s 时物块回到初始位置
- C. 3s 时物块的动量为 $12\text{kg} \cdot \text{m/s}$
- D. 0 ~ 6s 时间内 F 对物块所做的功为 40J

【答案】AD

【解析】

物块与地面间的摩擦力为

$$f = \mu mg = 2\text{N}$$

AC. 对物块从 0 ~ 3 内由动量定理可知

$$(F - f)t_1 = mv_3$$

即

$$(4 - 2) \times 3 = 1 \times v_3$$

得

$$v_3 = 6\text{m/s}$$

3s 时物块的动量为

$$p = mv_3 = 6\text{kg} \cdot \text{m/s}$$

设 3s 后经过时间 t 物块的速度减为 0，由动量定理可得

$$-(F + f)t = 0 - mv_3$$

即

$$-(4+2)t = 0 - 1 \times 6$$

解得

$$t = 1\text{s}$$

所以物块在 4s 时速度减为 0，则此时物块的动能也为 0，故 A 正确，C 错误；

B. 0~3 物块发生的位移为 x_1 ，由动能定理可得

$$(F - f)x_1 = \frac{1}{2}mv_3^2$$

即

$$(4 - 2)x_1 = \frac{1}{2} \times 1 \times 6^2$$

得

$$x_1 = 9\text{m}$$

3s ~ 4s 过程中，对物块由动能定理可得

$$-(F + f)x_2 = 0 - \frac{1}{2}mv_3^2$$

即

$$-(4 + 2)x_2 = 0 - \frac{1}{2} \times 1 \times 6^2$$

得

$$x_2 = 3\text{m}$$

4s ~ 6s 物块开始反向运动，物块的加速度大小为

$$a = \frac{F - f}{m} = 2\text{m/s}^2$$

发生的位移为

$$x_3 = \frac{1}{2} \times 2 \times 2^2 \text{m} = 4\text{m} < x_1 + x_2$$

即 6s 时物块没有回到初始位置，故 B 错误；

D. 物块在 6s 时的速度大小为

$$v_6 = 2 \times 2\text{m/s} = 4\text{m/s}$$

0 ~ 6s 拉力所做的功为

$$W = (4 \times 9 - 4 \times 3 + 4 \times 4) \text{J} = 40 \text{J}$$

故 D 正确。

故选 AD。

2、(2022·全国乙卷·T25) 如图 (a)，一质量为 m 的物块 A 与轻质弹簧连接，静止在光滑水平面上；物块 B 向 A 运动， $t=0$ 时与弹簧接触，到 $t=2t_0$ 时与弹簧分离，第一次碰撞结束，A、B 的 $v-t$ 图像如图 (b) 所示。已知从 $t=0$ 到 $t=t_0$ 时间内，物块 A 运动的距离为 $0.36v_0t_0$ 。A、B 分离后，A 滑上粗糙斜面，然后滑下，与一直在水平面上运动的 B 再次碰撞，之后 A 再次滑上斜面，达到的最高点与前一次相同。斜面倾角为 θ ($\sin \theta = 0.6$)，与水平面光滑连接。碰撞过程中弹簧始终处于弹性限度内。求

- (1) 第一次碰撞过程中，弹簧弹性势能的最大值；
- (2) 第一次碰撞过程中，弹簧压缩量的最大值；
- (3) 物块 A 与斜面间的动摩擦因数。

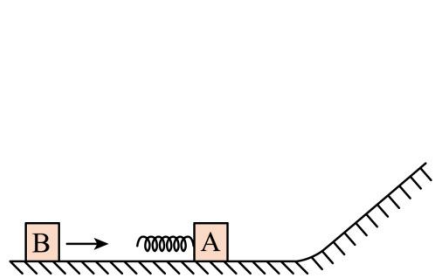


图 (a)

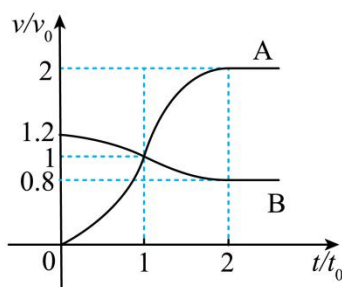


图 (b)

【答案】(1) $0.6mv_0^2$ ；(2) $0.768v_0t_0$ ；(3) 0.45

【解析】

(1) 当弹簧被压缩最短时，弹簧弹性势能最大，此时 A、B 速度相等，即 $t=t_0$ 时刻，根据动量守恒定律

$$m_B \cdot 1.2v_0 = (m_B + m)v_0$$

根据能量守恒定律

$$E_{\text{pmax}} = \frac{1}{2}m_B(1.2v_0)^2 - \frac{1}{2}(m_B + m)v_0^2$$

联立解得

$$m_B = 5m$$

$$E_{\text{pmax}} = 0.6mv_0^2$$

(2) 同一时刻弹簧对 A、B 的弹力大小相等，根据牛顿第二定律

$$F = ma$$

可知同一时刻

$$a_A = 5a_B$$

则同一时刻 A、B 的瞬时速度分别为

$$v_A = a_A t$$

$$v_B = 1.2v_0 - \frac{a_A t}{5}$$

根据位移等速度在时间上的累积可得

$$s_A = v_A t (\text{累积})$$

$$s_B = v_B t (\text{累积})$$

又

$$s_A = 0.36v_0 t_0$$

解得

$$s_B = 1.128v_0 t_0$$

第一次碰撞过程中，弹簧压缩量的最大值

$$\Delta s = s_B - s_A = 0.768v_0 t_0$$

(3) 物块 A 第二次到达斜面的最高点与第一次相同，说明物块 A 第二次与 B 分离后速度大

小仍为 $2v_0$ ，方向水平向右，设物块 A 第一次滑下斜面的速度大小为 v'_A ，设向左为正方向，

根据动量守恒定律可得

$$mv'_A - 5m \cdot 0.8v_0 = m \cdot (-2v_0) + 5mv'_B$$

根据能量守恒定律可得

$$\frac{1}{2}mv'^2_A + \frac{1}{2} \cdot 5m \cdot (0.8v_0)^2 = \frac{1}{2}m \cdot (-2v_0)^2 + \frac{1}{2} \cdot 5mv'^2_B$$

联立解得

$$v'_A = v_0$$

设在斜面上滑行的长度为 L ，上滑过程，根据动能定理可得

$$-mgL \sin \theta - \mu mgL \cos \theta = 0 - \frac{1}{2} m(2v_0)^2$$

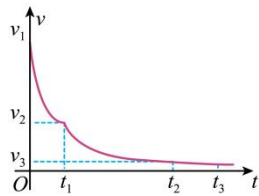
下滑过程，根据动能定理可得

$$mgL \sin \theta - \mu mgL \cos \theta = \frac{1}{2} mv_0^2 - 0$$

联立解得

$$\mu = 0.45$$

3、(2022·湖南卷·T7) 神舟十三号返回舱进入大气层一段时间后，逐一打开引导伞、减速伞、主伞，最后启动反冲装置，实现软着陆。某兴趣小组研究了减速伞打开后返回舱的运动情况，将其运动简化为竖直方向的直线运动，其 $v-t$ 图像如图所示。设该过程中，重力加速度不变，返回舱质量不变，下列说法正确的是（ ）



- A. 在 $0 \sim t_1$ 时间内，返回舱重力的功率随时间减小
- B. 在 $0 \sim t_1$ 时间内，返回舱的加速度不变
- C. 在 $t_1 \sim t_2$ 时间内，返回舱的动量随时间减小
- D. 在 $t_2 \sim t_3$ 时间内，返回舱的机械能不变

【答案】AC

【解析】

A. 重力的功率为

$$P = mgv$$

由图可知在 $0 \sim t_1$ 时间内，返回舱的速度随时间减小，故重力的功率随时间减小，故 A 正确；

B. 根据 $v-t$ 图像的斜率表示加速度可知在 $0 \sim t_1$ 时间内返回舱的加速度减小，故 B 错误；

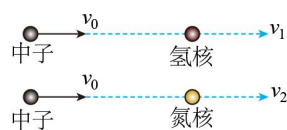
C. 在 $t_1 \sim t_2$ 时间内由图像可知返回舱的速度减小，故可知动量随时间减小。故 C 正确；

D. 在 $t_2 \sim t_3$ 时间内，由图像可知返回舱的速度不变，则动能不变，但由于返回舱高度下降，

重力势能减小，故机械能减小，故 D 错误。

故选 AC。

4、(2022·湖南卷·T4) 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

【答案】B

【解析】

设中子的质量为 m ，氢核的质量为 m ，氮核的质量为 $14m$ ，设中子和氢核碰撞后中子速度为 v_3 ，由动量守恒定律和能量守恒定律可得

$$mv_0 = mv_1 + mv_3$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_3^2$$

联立解得

$$v_1 = v_0$$

设中子和氮核碰撞后中子速度为 v_4 ，由动量守恒定律和能量守恒定律可得

$$mv_0 = 14mv_2 + mv_4$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 14mv_2^2 + \frac{1}{2}mv_4^2$$

联立解得

$$v_2 = \frac{2}{15}v_0$$

可得

$$v_1 = v_0 > v_2$$

碰撞后氢核的动量为

$$p_{\text{H}} = mv_1 = mv_0$$

氮核的动量为

$$p_{\text{N}} = 14mv_2 = \frac{28mv_0}{15}$$

可得

$$p_{\text{N}} > p_{\text{H}}$$

碰撞后氢核的动能为

$$E_{\text{kH}} = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_0^2$$

氮核的动能为

$$E_{\text{kN}} = \frac{1}{2} \cdot 14mv_2^2 = \frac{28mv_0^2}{225}$$

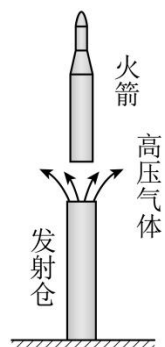
可得

$$E_{\text{kH}} > E_{\text{kN}}$$

故 B 正确，ACD 错误。

故选 B。

5、（2022·山东卷·T2）我国多次成功使用“冷发射”技术发射长征十一号系列运载火箭。如图所示，发射仓内的高压气体先将火箭竖直向上推出，火箭速度接近零时再点火飞向太空。从火箭开始运动到点火的过程中（ ）



- A. 火箭的加速度为零时，动能最大
- B. 高压气体释放的能量全部转化为火箭的动能
- C. 高压气体对火箭推力的冲量等于火箭动量的增加量
- D. 高压气体的推力和空气阻力对火箭做功之和等于火箭动能的增加量

【答案】A

【解析】

A. 火箭从发射仓发射出来，受竖直向下的重力、竖直向下的空气阻力和竖直向上的高压气体的推力作用，且推力大小不断减小，刚开始向上的时候高压气体的推力大于向下的重力和空气阻力之和，故火箭向上做加速度减小的加速运动，当向上的高压气体的推力等于向下的重力和空气阻力之和时，火箭的加速度为零，速度最大，接着向上的高压气体的推力小于向下的重力和空气阻力之和时，火箭接着向上做加速度增大的减速运动，直至速度为零，故当火箭的加速度为零时，速度最大，动能最大，故 A 正确；

B. 根据能量守恒定律，可知高压气体释放的能量转化为火箭的动能、火箭的重力势能和内能，故 B 错误；

C. 根据动量定理，可知合力冲量等于火箭动量的增加量，故 C 错误；

D. 根据功能关系，可知高压气体的推力和空气阻力对火箭做功之和等于火箭机械能的增加量，故 D 错误。

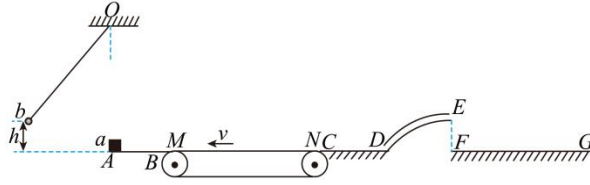
故选 A。

6、(2022·浙江 6 月卷·T20) 如图所示，在竖直面内，一质量 m 的物块 a 静置于悬点 O 正下方的 A 点，以速度 v 逆时针转动的传送带 MN 与直轨道 AB 、 CD 、 FG 处于同一水平面上， AB 、 MN 、 CD 的长度均为 l 。圆弧形细管道 DE 半径为 R ， EF 在竖直直径上， E 点高度为 H 。开始时，与物块 a 相同的物块 b 悬挂于 O 点，并向左拉开一定的高度 h 由静止下摆，细线始终张紧，摆到最低点时恰好与 a 发生弹性正碰。已知 $m = 2\text{g}$ ， $l = 1\text{m}$ ， $R = 0.4\text{m}$ ， $H = 0.2\text{m}$ ， $v = 2\text{m/s}$ ，物块与 MN 、 CD 之间的动摩擦因数 $\mu = 0.5$ ，轨道 AB 和管道 DE 均光滑，物块 a 落到 FG 时不反弹且静止。忽略 M 、 B 和 N 、 C 之间的空隙， CD 与 DE 平滑连接，物块可视为质点，取 $g = 10\text{m/s}^2$ 。

(1) 若 $h = 1.25\text{m}$ ，求 a 、 b 碰撞后瞬时物块 a 的速度 v_0 的大小；

(2) 物块 a 在 DE 最高点时，求管道对物块的作用力 F_N 与 h 间满足的关系；

(3) 若物块 b 释放高度 $0.9\text{m} < h < 1.65\text{m}$ ，求物块 a 最终静止的位置 x 值的范围（以 A 点为坐标原点，水平向右为正，建立 x 轴）。



【答案】(1) 5m/s ; (2) $F_N = 0.1h - 0.14(h \geq 1.2\text{m})$; (3) 当 $0.9\text{m} < h < 1.2\text{m}$ 时,

$$2.6\text{m} \leq x \leq 3\text{m}, \text{ 当 } 1.2\text{m} \leq h < 1.65\text{m} \text{ 时, } \left(3 + \frac{\sqrt{3}}{5}\right)\text{m} \leq x < \left(3.6 + \frac{\sqrt{3}}{5}\right)\text{m}$$

【解析】

(1) 滑块 b 摆到最低点过程中, 由机械能守恒定律

$$mgh = \frac{1}{2}mv_b^2$$

解得

$$v_b = 5\text{m/s}$$

b 与 a 发生弹性碰撞, 根据动量守恒定律和机械能守恒定律可得

$$mv_b = mv_b' + mv_0$$

$$\frac{1}{2}mv_b^2 = \frac{1}{2}mv_b'^2 + \frac{1}{2}mv_0^2$$

联立解得

$$v_0 = v_b = 5\text{m/s}$$

(2) 由 (1) 分析可知, 物块 b 与物块 a 在 A 发生弹性正碰, 速度交换, 设物块 a 刚好可以到达 E 点, 高度为 h_1 , 根据动能定理可得

$$mgh_1 - 2\mu mgl - mgH = 0$$

解得

$$h_1 = 1.2\text{m}$$

以竖直向下为正方向

$$F_N + mg = m\frac{v_E^2}{R}$$

由动能定理

$$mgh - 2\mu mgl - mgH = \frac{1}{2}mv_E^2$$

联立可得

$$F_N = 0.1h - 0.14 (h \geq 1.2\text{m})$$

(3) 当 $1.2\text{m} \leq h < 1.65\text{m}$ 时, 物块位置在 E 点或 E 点右侧, 根据动能定理得

$$mgh - 2\mu mgl - mgH = \frac{1}{2}mv_E^2$$

从 E 点飞出后, 竖直方向

$$H = \frac{1}{2}gt^2$$

水平方向

$$s = v_E t$$

根据几何关系可得

$$DF = \frac{\sqrt{3}}{5}\text{m}$$

联立解得

$$x = 3l + DF + s_1$$

代入数据解得

$$\left(3 + \frac{\sqrt{3}}{5}\right)\text{m} \leq x < \left(3.6 + \frac{\sqrt{3}}{5}\right)\text{m}$$

当 $0.9\text{m} < h < 1.2\text{m}$ 时, 从 $h_2 = 0.9\text{m}$ 释放时, 根据动能定理可得

$$mgh - \mu mgs_2 = 0$$

解得

$$s_2 = 1.8\text{m}$$

可知物块达到距离 C 点 0.8m 处静止, 滑块 a 由 E 点速度为零, 返回到 CD 时, 根据动能定理可得

$$mgH - \mu mgs_3 = 0$$

解得

$$s_3 = 0.4\text{m}$$

距离 C 点 0.6m , 综上所述可知当 $0.9\text{m} < h < 1.2\text{m}$ 时

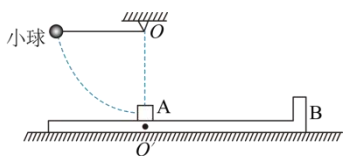
$$3l - s_3 \leq x \leq 3l$$

代入数据得

$$2.6\text{m} \leq x \leq 3\text{m}$$

7、(2022·山东卷·T18) 如图所示, “L”型平板 B 静置在地面上, 小物块 A 处于平板 B 上的 O' 点, O' 点左侧粗糙, 右侧光滑。用不可伸长的轻绳将质量为 M 的小球悬挂在 O' 点正上方的 O 点, 轻绳处于水平拉直状态。将小球由静止释放, 下摆至最低点与小物块 A 发生碰撞, 碰后小球速度方向与碰前方向相同, 开始做简谐运动 (要求摆角小于 5°), A 以速度 v_0 沿平板滑动直至与 B 右侧挡板发生弹性碰撞。一段时间后, A 返回到 O 点的正下方时, 相对于地面的速度减为零, 此时小球恰好第一次上升到最高点。已知 A 的质量 $m_A = 0.1\text{kg}$, B 的质量 $m_B = 0.3\text{kg}$, A 与 B 的动摩擦因数 $\mu_1 = 0.4$, B 与地面间的动摩擦因数 $\mu_2 = 0.225$, $v_0 = 4\text{m/s}$, 取重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$ 。整个过程中 A 始终在 B 上, 所有碰撞时间忽略不计, 不计空气阻力, 求:

- (1) A 与 B 的挡板碰撞后, 二者的速度大小 v_A 与 v_B ;
- (2) B 光滑部分的长度 d ;
- (3) 运动过程中 A 对 B 的摩擦力所做的功 W_f ;
- (4) 实现上述运动过程, $\frac{M}{m_A}$ 的取值范围 (结果用 $\cos 5^\circ$ 表示)。



【答案】(1) $v_A = 2\text{m/s}$, $v_B = 2\text{m/s}$; (2) $d = \frac{7}{6}\text{m}$; (3) $-\frac{3}{65}\text{J}$; (4)

$$\frac{3\sqrt{2}\pi}{85} < \frac{M}{m_A} < \frac{3\sqrt{2}\pi}{85(1-\sqrt{1-\cos 5^\circ})}$$

【解析】

(1) 设水平向右为正方向, 因为 O' 点右侧光滑, 由题意可知 A 与 B 发生弹性碰撞, 故碰撞过程根据动量守恒和能量守恒有

$$m_A v_0 = m_A v_A + m_B v_B$$

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

代入数据联立解得

$$v_A = -2\text{m/s} , (\text{方向水平向左})$$

$$v_B = 2\text{m/s} , (\text{方向水平向右})$$

即 A 和 B 速度的大小分别为 $v_A = 2\text{m/s}$, $v_B = 2\text{m/s}$ 。

(2) 因为 A 物体返回到 O 点正下方时, 相对地面速度为 0, A 物体减速过程根据动能定理有

$$-\mu_1 m_A g x_0 = 0 - \frac{1}{2} m_A v_A^2$$

代入数据解得

$$x_0 = 0.5\text{m}$$

根据动量定理有

$$-\mu_1 m_A g t_2 = 0 - m_A v_A$$

代入数据解得

$$t_2 = 0.5\text{s}$$

此过程中 A 减速的位移等于 B 物体向右的位移, 所以对于此过程 B 有

$$\mu_2 (m_A + m_B) g = m_B a_1$$

$$x_0 = v_B t_1 - \frac{1}{2} a_1 t_1^2$$

联立各式代入数据解得

$$t_1 = \frac{1}{3}\text{s} , t'_1 = 1\text{s} (\text{舍去})$$

故根据几何关系有

$$d = v_A t_1 + x_0$$

代入数据解得

$$d = \frac{7}{6}\text{m}$$

(3) 在 A 刚开始减速时, B 物体的速度为

$$v_2 = v_B - a_1 t_1 = 1\text{m/s}$$

在 A 减速过程中，对 B 分析根据牛顿运动定律可知

$$\mu_1 m_A g + \mu_2 (m_A + m_B) g = m_B a_2$$

解得

$$a_2 = \frac{13}{3} \text{ m/s}^2$$

B 物体停下来的时间为 t_3 ，则有

$$0 = v_2 - a_2 t_3$$

解得

$$t_3 = \frac{3}{13} \text{ s} < t_2 = 0.5 \text{ s}$$

可知在 A 减速过程中 B 先停下来了，此过程中 B 的位移为

$$x_B = \frac{v_2^2}{2a_2} = \frac{3}{26} \text{ m}$$

所以 A 对 B 的摩擦力所做的功为

$$W_f = -\mu_1 m_A g x_B = -\frac{3}{65} \text{ J}$$

(4) 小球和 A 碰撞后 A 做匀速直线运动再和 B 相碰，此过程有

$$t_0 = \frac{d}{v_A} = \frac{7}{12} \text{ s}$$

由题意可知 A 返回到 O 点的正下方时，小球恰好第一次上升到最高点，设小球做简谐振动的周期为 T ，摆长为 L ，则有

$$\frac{1}{4}T = t_0 + t_1 + t_2$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

小球下滑过程根据动能定理有

$$MgL = \frac{1}{2} Mv^2$$

小球与 A 碰撞过程根据动量守恒定律有

$$Mv = Mv_1 + m_A v_0$$

当碰后小球摆角恰为 5° 时，有

$$MgL(1 - \cos 5^\circ) = \frac{1}{2} Mv_1^2$$

联立可得

$$\frac{M}{m_A} = \frac{3\sqrt{2}\pi}{85(1 - \sqrt{1 - \cos 5^\circ})}$$

当碰后小球速度恰为 0 时，碰撞过程有

$$Mv = m_A v_0$$

则可得

$$\frac{M}{m_A} = \frac{3\sqrt{2}\pi}{85}$$

故要实现这个过程的范围为

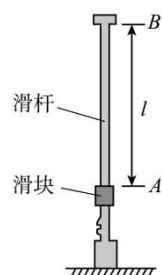
$$\frac{3\sqrt{2}\pi}{85} < \frac{M}{m_A} < \frac{3\sqrt{2}\pi}{85(1 - \sqrt{1 - \cos 5^\circ})}$$

8、(2022·广东卷·T13) 某同学受自动雨伞开伞过程的启发，设计了如图所示的物理模型。

竖直放置在水平桌面上的滑杆上套有一个滑块，初始时它们处于静止状态。当滑块从 A 处以初速度 v_0 为 10m/s 向上滑动时，受到滑杆的摩擦力 f 为 1N ，滑块滑到 B 处与滑杆发生完全非弹性碰撞，带动滑杆离开桌面一起竖直向上运动。已知滑块的质量 $m = 0.2\text{kg}$ ，滑杆的质量 $M = 0.6\text{kg}$ ，A、B 间的距离 $l = 1.2\text{m}$ ，重力加速度 g 取 10m/s^2 ，不计空气阻力。

求：

- (1) 滑块在静止时和向上滑动的过程中，桌面对滑杆支持力的大小 N_1 和 N_2 ；
- (2) 滑块碰撞前瞬间的速度大小 v_1 ；
- (3) 滑杆向上运动的最大高度 h 。



【答案】(1) $N_1 = 8\text{N}$ ， $N_2 = 5\text{N}$ ；(2) $v_1 = 8\text{m/s}$ ；(3) $h = 0.2\text{m}$

【解析】

(1) 当滑块处于静止时桌面对滑杆的支持力等于滑块和滑杆的重力，即

$$N_1 = (m + M)g = 8\text{N}$$

当滑块向上滑动过程中受到滑杆的摩擦力为 1N，根据牛顿第三定律可知滑块对滑杆的摩擦力也为 1N，方向竖直向上，则此时桌面对滑杆的支持力为

$$N_2 = Mg - f' = 5\text{N}$$

(2) 滑块向上运动到碰前瞬间根据动能定理有

$$-mgl - fl = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

代入数据解得 $v_1 = 8\text{m/s}$ 。

(3) 由于滑块和滑杆发生完全非弹性碰撞，即碰后两者共速，碰撞过程根据动量守恒有

$$mv_1 = (m + M)v$$

碰后滑块和滑杆以速度 v 整体向上做竖直上抛运动，根据动能定理有

$$-(m + M)gh = 0 - \frac{1}{2}(m + M)v^2$$

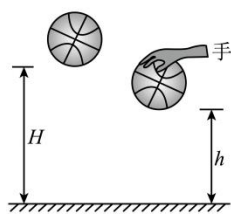
代入数据联立解得 $h = 0.2\text{m}$ 。

9、(2022·湖南卷·T14) 如图 (a)，质量为 m 的篮球从离地 H 高度处由静止下落，与地面发生一次非弹性碰撞后反弹至离地 h 的最高处。设篮球在运动过程中所受空气阻力的大小是篮球所受重力的 λ 倍 (λ 为常数且 $0 < \lambda < \frac{H-h}{H+h}$)，且篮球每次与地面碰撞的碰后速率与碰前速率之比相同，重力加速度大小为 g 。

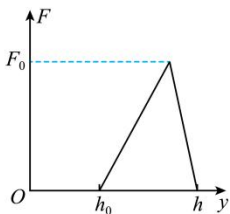
(1) 求篮球与地面碰撞的碰后速率与碰前速率之比；

(2) 若篮球反弹至最高处 h 时，运动员对篮球施加一个向下的压力 F ，使得篮球与地面碰撞一次后恰好反弹至 h 的高度处，力 F 随高度 y 的变化如图 (b) 所示，其中 h_0 已知，求 F_0 的大小；

(3) 篮球从 H 高度处由静止下落后，每次反弹至最高点时，运动员拍击一次篮球 (拍击时间极短)，瞬间给其一个竖直向下、大小相等的冲量 I ，经过 N 次拍击后篮球恰好反弹至 H 高度处，求冲量 I 的大小。



图(a)



图(b)

【答案】(1) $k = \sqrt{\frac{(1+\lambda)h}{(1-\lambda)H}}$; (2) $F_0 = \frac{2mg(1-\lambda)(H-h)}{h-h_0}$; (3) $I = m \sqrt{[H - (\frac{h}{H})^N] \cdot h \cdot [\frac{\frac{h}{H}-1}{(\frac{h}{H})^{N+1} - \frac{h}{H}}]} \cdot (1-\lambda)2g$

【解析】

(1) 篮球下降过程中根据牛顿第二定律有

$$mg - \lambda mg = ma_{\text{下}}$$

再根据匀变速直线运动的公式，下落的过程中有

$$v_{\text{下}}^2 = 2a_{\text{下}}H$$

篮球反弹后上升过程中根据牛顿第二定律有

$$mg + \lambda mg = ma_{\text{上}}$$

再根据匀变速直线运动的公式，上升的过程中有

$$v_{\text{上}}^2 = 2a_{\text{上}}h$$

则篮球与地面碰撞的碰后速率与碰前速率之比

$$k = \frac{v_{\text{上}}}{v_{\text{下}}} = \sqrt{\frac{(1+\lambda)h}{(1-\lambda)H}}$$

(2) 若篮球反弹至最高处 h 时，运动员对篮球施加一个向下的压力 F ，则篮球下落过程中根据动能定理有

$$mgh + \frac{h-h_0}{2}F_0 - \lambda mgh = \frac{1}{2}mv_{\text{下}}'^2$$

篮球反弹后上升过程中根据动能定理有

$$-mgh - \lambda mgh = 0 - \frac{1}{2}m(kv_{\text{下}}')^2$$

联立解得

$$F_0 = \frac{2mg(1-\lambda)(H-h)}{h-h_0}$$

(3) 由 (1) 问可知篮球上升和下降过程中的加速度分别为

$$a_{\text{下}} = (1-\lambda)g \text{ (方向向下)}$$

$$a_{\text{上}} = (1+\lambda)g \text{ (方向向下)}$$

由题知运动员拍击一次篮球（拍击时间极短），瞬间给其一个竖直向下、大小相等的冲量 I ，由于拍击时间极短，则重力的冲量可忽略不计，则根据动量定理有

$$I = mv$$

即每拍击一次篮球将给它一个速度 v 。

拍击第 1 次下降过程有

$$v_1^2 - v^2 = 2(1 - \lambda)gh_0$$

上升过程有

$$(kv_1)^2 = 2(1 + \lambda)gh_1$$

代入 k 后，下降过程有

$$v_1^2 - v^2 = 2(1 - \lambda)gh_0$$

上升过程有

$$hv_1^2 = 2(1 - \lambda)gHh_1$$

联立有

$$h_1 = \frac{h}{H} \left(h_0 + \frac{v^2}{2g(1 - \lambda)} \right) = \left(\frac{h}{H} \right)^1 \cdot h_0 + \left(\frac{h}{H} \right)^1 \cdot \frac{v^2}{2g(1 - \lambda)}$$

拍击第 2 次，同理代入 k 后，下降过程有

$$v_2^2 - v^2 = 2(1 - \lambda)gh_1$$

上升过程有

$$hv_2^2 = 2(1 - \lambda)gHh_2$$

联立有

$$h_2 = \frac{h}{H} \left(h_1 + \frac{v^2}{2g(1 - \lambda)} \right)$$

再将 h_1 代入 h_2 有

$$h_2 = \left(\frac{h}{H} \right)^2 \cdot h_0 + \left(\frac{h}{H} \right)^2 \cdot \frac{v^2}{2g(1 - \lambda)} + \left(\frac{h}{H} \right)^1 \cdot \frac{v^2}{2g(1 - \lambda)}$$

拍击第 3 次，同理代入 k 后，下降过程有

$$v_3^2 - v^2 = 2(1 - \lambda)gh_2$$

上升过程有

$$hv_3^2 = 2(1 - \lambda)gHh_3$$

联立有

$$h_3 = \frac{h}{H} \left(h_2 + \frac{v^2}{(1-\lambda)2g} \right)$$

再将 h_2 代入 h_3 有

$$h_3 = \left(\frac{h}{H}\right)^3 \cdot h_0 + \left(\frac{h}{H}\right)^3 \cdot \frac{v^2}{2g(1-\lambda)} + \left(\frac{h}{H}\right)^2 \cdot \frac{v^2}{2g(1-\lambda)} + \left(\frac{h}{H}\right)^1 \cdot \frac{v^2}{2g(1-\lambda)}$$

直到拍击第 N 次，同理代入 k 后，下降过程有

$$v_N^2 - v^2 = 2(1-\lambda)gh_{N-1}$$

上升过程有

$$h_N v_N^2 = 2(1-\lambda)gHh_N$$

联立有

$$h_N = \frac{h}{H} \left(h_{N-1} + \frac{v^2}{2g(1-\lambda)} \right)$$

将 h_{N-1} 代入 h_N 有

$$h_N = \left(\frac{h}{H}\right)^N \cdot h_0 + \left(\frac{h}{H}\right)^N \cdot \frac{v^2}{2g(1-\lambda)} + \left(\frac{h}{H}\right)^{N-1} \cdot \frac{v^2}{2g(1-\lambda)} + \cdots + \left(\frac{h}{H}\right)^1 \cdot \frac{v^2}{2g(1-\lambda)}$$

其中

$$h_N = H, \quad h_0 = h$$

则有

$$H = \left(\frac{h}{H}\right)^N \cdot h + \left[\frac{\left(\frac{h}{H}\right)^{N+1} - \frac{h}{H}}{\frac{h}{H} - 1} \right] \frac{v^2}{2g(1-\lambda)}$$

则

$$I = m \sqrt{\left[H - \left(\frac{h}{H}\right)^N \cdot h \right] \cdot \left[\frac{\frac{h}{H} - 1}{\left(\frac{h}{H}\right)^{N+1} - \frac{h}{H}} \right] \cdot (1-\lambda)2g}$$

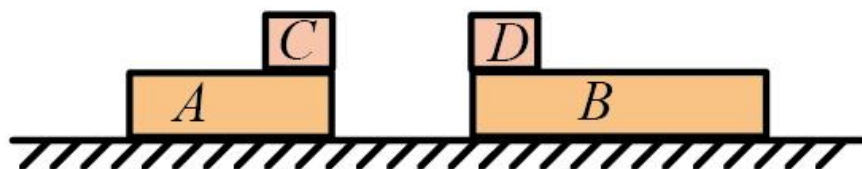
10、(2022·河北·T13)如图，光滑水平面上有两个等高的滑板 A 和 B，质量分别为 1kg 和 2kg，

A 右端和 B 左端分别放置物块 C、D，物块 C、D 的质量均为 1kg，A 和 C 以相同速度

$v_0 = 10\text{m/s}$ 向右运动，B 和 D 以相同速度 kv_0 向左运动，在某时刻发生碰撞，作用时间极

短，碰撞后 C 与 D 粘在一起形成一个新滑块，A 与 B 粘在一起形成一个新滑板，物块与滑板之间的动摩擦因数均为 $\mu = 0.1$ 。重力加速度大小取 $g = 10\text{m/s}^2$ 。

- (1) 若 $0 < k < 0.5$ ，求碰撞后滑块 C、D 形成的新滑块的速度的大小和方向；
 (2) 若 $k = 0.5$ ，从碰撞后到新滑块与新滑板相对静止，新滑块相对新滑板的位移的大小。



【答案】(1) $5(1-k)\text{m/s}$ ，方向向右；(2) 1.875m

【解析】

(1) 物块 C、D 碰撞过程中满足动量守恒，设碰撞后滑块 C、D 形成的新滑块的速度为 v ，C、D 的质量均为 $m = 1\text{kg}$ ，以向右方向为正方向，则有

$$mv_0 - m \cdot kv_0 = (m + m)v$$

解得

$$v = \frac{1-k}{2}v_0 = 5(1-k)\text{m/s} > 0$$

可知碰撞后滑块 C、D 形成的新滑块的速度大小为 $5(1-k)\text{m/s}$ ，方向向右。

(2) 若 $k = 0.5$ ，可知碰后滑块 C、D 形成的新滑块的速度为

$$v = 5(1-k)\text{m/s} = 5 \times (1-0.5)\text{m/s} = 2.5\text{m/s}$$

滑板 A、B 碰撞过程中满足动量守恒，设碰撞后滑板 A、B 形成的新滑板的速度为 v' ，以向右方向为正方向，则有

$$m_A v_0 - m_B \cdot kv_0 = (m_A + m_B)v'$$

解得

$$v' = 0$$

可知碰后新滑块相对于新滑板向右运动，新滑块向右做匀减速运动，新滑板向右做匀加速运动，设新滑块的质量为 $M_1 = 2\text{kg}$ ，新滑板的质量为 $M_2 = 3\text{kg}$ ，相对静止时的共同速度为 $v_{\text{共}}$ ，根据动量守恒可得

$$M_1 v = (M_1 + M_2)v_{\text{共}}$$

解得

$$v_{\text{共}} = 1\text{m/s}$$

根据能量守恒可得

$$\mu M_1 g s_{\text{相}} = \frac{1}{2} M_1 v^2 - \frac{1}{2} (M_1 + M_2) v_{\text{共}}^2$$

解得

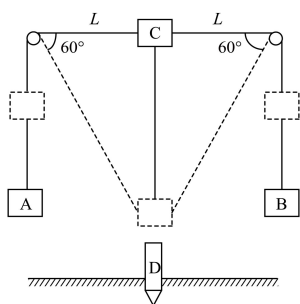
$$s_{\text{相}} = 1.875\text{m}$$

11、(2022·湖北·T16) 打桩机是基建常用工具。某种简易打桩机模型如图所示，重物 A、B 和 C 通过不可伸长的轻质长绳跨过两个光滑的等高小定滑轮连接，C 与滑轮等高（图中实线位置）时，C 到两定滑轮的距离均为 L 。重物 A 和 B 的质量均为 m ，系统可以在如图虚线位置保持静止，此时连接 C 的绳与水平方向的夹角为 60° 。某次打桩时，用外力将 C 拉到图中实线位置，然后由静止释放。设 C 的下落速度为 $\sqrt{\frac{3gL}{5}}$ 时，与正下方质量为 $2m$ 的静止桩 D 正碰，碰撞时间极短，碰撞后 C 的速度为零，D 竖直向下运动 $\frac{L}{10}$ 距离后静止（不考虑 C、D 再次相碰）。A、B、C、D 均可视为质点。

(1) 求 C 的质量；

(2) 若 D 在运动过程中受到的阻力 F 可视为恒力，求 F 的大小；

(3) 撤掉桩 D，将 C 再次拉到图中实线位置，然后由静止释放，求 A、B、C 的总动能最大时 C 的动能。



【答案】(1) $\sqrt{3}m$ ；(2) $6.5mg$ ；(3) $(4 - 2\sqrt{3})mgL$

【解析】

(1) 系统在如图虚线位置保持静止，以 C 为研究对象，根据平衡条件可知

$$m_c g = 2mg \cos 30^\circ$$

解得

$$m_c = \sqrt{3}m$$

(2) CD 碰后 C 的速度为零, 设碰撞后 D 的速度 v , 根据动量守恒定律可知

$$\sqrt{3}m\sqrt{\frac{3gL}{5}} = \sqrt{3}m \times 0 + 2mv$$

解得

$$v = \frac{3}{2}\sqrt{\frac{gL}{5}}$$

CD 碰撞后 D 向下运动 $\frac{L}{10}$ 距离后停止, 根据动能定理可知

$$0 - \frac{1}{2} \times 2mv^2 = 2mg \frac{L}{10} - F \frac{L}{10}$$

解得

$$F = 6.5mg$$

(3) 设某时刻 C 向下运动的速度为 v' , AB 向上运动的速度为 v , 图中虚线与竖直方向的夹角为 α , 根据机械能守恒定律可知

$$\frac{1}{2}m_c v'^2 + 2 \times \frac{1}{2}m(v' \cos \alpha)^2 = m_c g \frac{L}{\tan \alpha} - 2mg\left(\frac{L}{\sin \alpha} - L\right)$$

令

$$y = m_c g \frac{L}{\tan \alpha} - 2mg\left(\frac{L}{\sin \alpha} - L\right)$$

对上式求导数可得

$$\frac{dy}{d\alpha} = \sqrt{3}mgL \frac{-1}{(\sin \alpha)^2} + 2mgL \frac{\cos \alpha}{(\sin \alpha)^2}$$

当 $\frac{dy}{d\alpha} = 0$ 时解得

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

即

$$\alpha = 30^\circ$$

此时

$$y = m_c g \frac{L}{\tan \alpha} - 2mg\left(\frac{L}{\sin \alpha} - L\right) = mgL$$

于是有

$$\frac{1}{2}m_c v'^2 + 2 \times \frac{1}{2}m(v' \cos \alpha)^2 = mgL$$

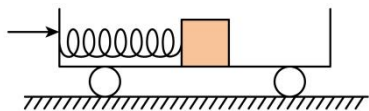
解得

$$v'^2 = \frac{gL}{\frac{3}{4} + \frac{\sqrt{3}}{2}}$$

此时 C 的最大动能为

$$E_{km} = \frac{1}{2}m_c v'^2 = (4 - 2\sqrt{3})mgL$$

12.2021 全国乙卷第 1 题 如图，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

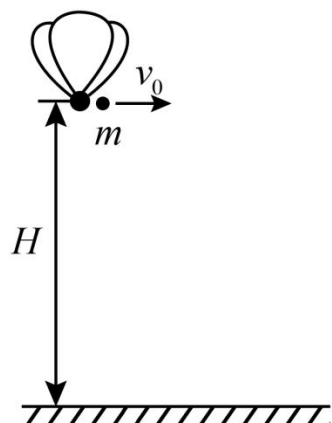
【答案】B

【解析】

因为滑块与车厢水平底板间有摩擦，且撤去推力后滑块在车厢底板上相对滑动，即摩擦力做功，而水平地面是光滑的；以小车、弹簧和滑块组成的系统，根据动量守恒和机械能守恒的条件可知撤去推力后该系统动量守恒，机械能不守恒。

故选 B。

13.2021 山东卷第 11 题 如图所示，载有物资的热气球静止于距水平地面 H 的高处，现将质量为 m 的物资以相对地面的速度 v_0 水平投出，落地时物资与热气球的距离为 d 。已知投出物资后热气球的总质量为 M ，所受浮力不变，重力加速度为 g ，不计阻力，以下判断正确的是（ ）



- A. 投出物资后热气球做匀加速直线运动
 B. 投出物资后热气球所受合力大小为 mg

C. $d = \left(1 + \frac{m}{M}\right) \sqrt{\frac{2Hv_0^2}{g} + H^2}$

D. $d = \sqrt{\frac{2Hv_0^2}{g} + \left(1 + \frac{m}{M}\right)^2 H^2}$

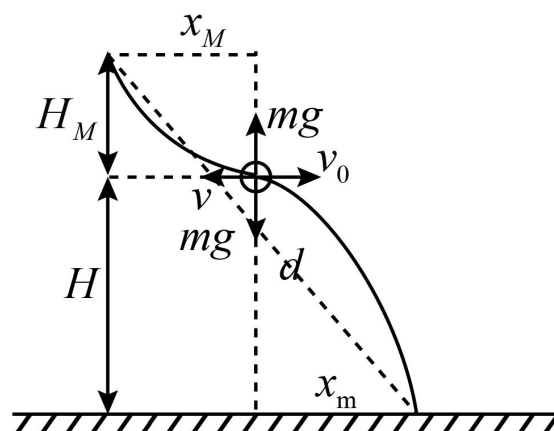
【答案】BC

【解析】AB. 热气球开始携带物资时处于静止状态，所受合外力为 0，初动量为 0，水平投出重力为 mg 的物资瞬间，满足动量守恒定律

$$Mv = mv_0$$

则热气球和物资的动量等大反向，热气球获得水平向左的速度 v ，热气球所受合外力恒为 mg ，竖直向上，所以热气球做匀加速曲线运动，A 错误，B 正确；

CD. 热气球和物资的运动示意图如图所示



热气球和物资所受合力大小均为 mg ，所以热气球在竖直方向上加速度大小为

$$a = \frac{m}{M}g$$

物资落地 H 过程所用的时间 t 内，根据 $H = \frac{1}{2}gt^2$ 解得落地时间为

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

热气球在竖直方向上运动的位移为

$$H_M = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{M}g \cdot \frac{2H}{g} = \frac{m}{M}H$$

热气球和物资在水平方向均做匀速直线运动，水平位移为

$$x_m = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$x_M = vt = \frac{m}{M}v_0 \cdot \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

根据勾股定理可知热气球和物资的实际位移为

$$d = \sqrt{(x_m + x_M)^2 + (H + H_M)^2} = \left(1 + \frac{m}{M}\right) \sqrt{\frac{2Hv_0^2}{g} + H^2}$$

C 正确，D 错误。

故选 BC。

14.2020 全国 1 卷第 1 题

1. 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

【答案】D

【解析】A. 因安全气囊充气后，受力面积增大，故减小了司机单位面积的受力大小，故 A 错误；

B. 根据 $\Delta P = mv - mv_0$ 有无安全气囊司机初动量和末动量均相同，所以动量的改变量也相同，故 B 错误；

C. 因有安全气囊的存在，司机和安全气囊接触后会有一部分动能转化为气体的内能，不能全部转化成汽车的动能，故 C 错误；

D. 因为安全气囊充气后面积增大，司机的受力面积也增大，在司机挤压气囊作用过程中由于气囊的缓冲故增加了作用时间，故 D 正确。

故选 D。

15.2020 全国 2 卷第 8 题

8. 水平冰面上有一固定的竖直挡板，一滑冰运动员面对挡板静止在冰面上，他把一质量为 4.0 kg 的静止物块以大小为 5.0 m/s 的速度沿与挡板垂直的方向推向挡板，运动员获得退行速度；物块与挡板弹性碰撞，速度反向，追上运动员时，运动员又把物块推向挡板，使其再一次以大小为 5.0 m/s 的速度与挡板弹性碰撞。总共经过 8 次这样推物块后，运动员退行速度的大小大于 5.0 m/s，反弹的物块不能再追上运动员。不计冰面的摩擦力，该运动员的质量可能为

A. 48 kg

B. 53 kg

C. 58 kg

D. 63 kg

【答案】BC

【解析】设运动员和物块的质量分别为 m 、 m_0 规定运动员运动的方向为正方向，运动员开始时静止，第一次将物块推出后，运动员和物块的速度大小分别为 v_1 、 v_0 ，则根据动量守恒定律 $0 = mv_1 - m_0v_0$

$$\text{解得 } v_1 = \frac{m_0}{m} v_0$$

物块与弹性挡板撞击后，运动方向与运动员同向，当运动员再次推出物块

$$mv_1 + m_0v_0 = mv_2 - m_0v_0$$

$$\text{解得 } v_2 = \frac{3m_0}{m} v_0$$

第 3 次推出后

$$mv_2 + m_0v_0 = mv_3 - m_0v_0$$

解得 $v_3 = \frac{5m_0}{m}v_0$

依次类推，第 8 次推出后，运动员的速度 $v_8 = \frac{15m_0}{m}v_0$

根据题意可知 $v_8 = \frac{15m_0}{m}v_0 > 5\text{m/s}$

解得 $m < 60\text{kg}$

第 7 次运动员的速度一定小于 5m/s ，则

$$v_7 = \frac{13m_0}{m}v_0 < 5\text{m/s}$$

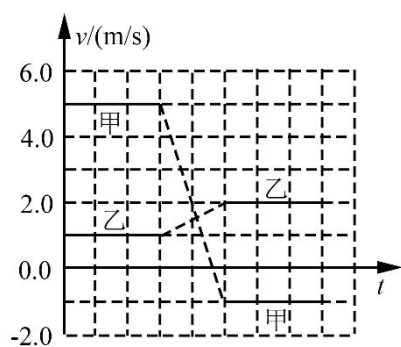
解得 $m > 52\text{kg}$

综上所述，运动员的质量满足 $52\text{kg} < m < 60\text{kg}$

AD 错误，BC 正确。故选 BC。

16.2020 全国 3 卷第 2 题

2.甲、乙两个物块在光滑水平桌面上沿同一直线运动，甲追上乙，并与乙发生碰撞，碰撞前后甲、乙的速度随时间的变化如图中实线所示。已知甲的质量为 1kg ，则碰撞过程两物块损失的机械能为（ ）



A. 3 J

B. 4 J

C. 5 J

D. 6 J

【答案】A

【解析】由 $v-t$ 图可知，碰前甲、乙的速度分别为 $v_{\text{甲}} = 5\text{m/s}$ ， $v_{\text{乙}} = 1\text{m/s}$ ；碰后甲、乙的速度分别为 $v'_{\text{甲}} = -1\text{m/s}$ ， $v'_{\text{乙}} = 2\text{m/s}$ ，甲、乙两物块碰撞过程中，由动量守恒得

$$m_{\text{甲}}v_{\text{甲}} + m_{\text{乙}}v_{\text{乙}} = m_{\text{甲}}v'_{\text{甲}} + m_{\text{乙}}v'_{\text{乙}}$$

解得 $m_Z = 6\text{kg}$

则损失的机械能为

$$\Delta E = \frac{1}{2}m_{\text{甲}}v_{\text{甲}}^2 + \frac{1}{2}m_Zv_Z^2 - \frac{1}{2}m_{\text{甲}}v_{\text{甲}}'^2 - \frac{1}{2}m_Zv_Z'^2$$

解得 $\Delta E = 3\text{J}$

故选 A。

17.2020 江苏省卷第 12 题

12.[选修 3-5] (12 分)

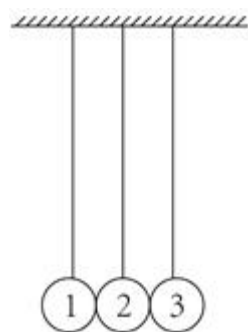
(3) 一只质量为 1.4kg 的乌贼吸入 0.1kg 的水, 静止在水中. 遇到危险时, 它在极短时间内把吸入的水向后全部喷出, 以 2m/s 的速度向前逃窜. 求该乌贼喷出的水的速度大小 v .

【解析】(3) 由动量守恒得 $mv - Mv' = 0$

解得 $v = \frac{Mv'}{m}$, 代入数据得 $v = 28\text{m/s}$

18.2020 北京卷第 13 题

13. 在同一竖直平面内, 3 个完全相同的小钢球 (1 号、2 号、3 号) 悬挂于同一高度; 静止时小球恰能接触且悬线平行, 如图所示。在下列实验中, 悬线始终保持绷紧状态, 碰撞均为对心正碰。以下分析正确的是 ()



- A. 将 1 号移至高度 h 释放, 碰撞后, 观察到 2 号静止、3 号摆至高度 h 。若 2 号换成质量不同的小钢球, 重复上述实验, 3 号仍能摆至高度 h
- B. 将 1、2 号一起移至高度 h 释放, 碰撞后, 观察到 1 号静止, 2、3 号一起摆至高度 h , 释放后整个过程机械能和动量都守恒
- C. 将右侧涂胶的 1 号移至高度 h 释放, 1、2 号碰撞后粘在一起, 根据机械能守恒, 3 号仍

能摆至高度 h

D. 将 1 号和右侧涂胶的 2 号一起移至高度 h 释放, 碰撞后, 2、3 号粘在一起向右运动, 未能摆至高度 h , 释放后整个过程机械能和动量都不守恒

【答案】D

【解析】A. 1 号球与质量不同的 2 号球相碰撞后, 1 号球速度不为零, 则 2 号球获得的动能小于 1 号球撞 2 号球前瞬间的动能, 所以 2 号球与 3 号球相碰撞后, 3 号球获得的动能也小于 1 号球撞 2 号球前瞬间的动能, 则 3 号不可能摆至高度 h , 故 A 错误;

B. 1、2 号球释放后, 三小球之间的碰撞为弹性碰撞, 且三小球组成的系统只有重力做功, 所以系统的机械能守恒, 但整个过程中, 系统所受合外力不为零, 所以系统动量不守恒, 故 B 错误;

C. 1、2 号碰撞后粘在一起, 为完全非弹性碰撞, 碰撞过程有机械能损失, 所以 1、2 号球再与 3 号球相碰后, 3 号球获得的动能不足以使其摆至高度 h , 故 C 错误;

D. 碰撞后, 2、3 号粘在一起, 为完全非弹性碰撞, 碰撞过程有机械能损失, 且整个过程中, 系统所受合外力不为零, 所以系统的机械能和动量都不守恒, 故 D 正确。

故选 D。

19.2020 天津卷第 12 题

12. 长为 l 的轻绳上端固定, 下端系着质量为 m_1 的小球 A, 处于静止状态。A 受到一个水平瞬时冲量后在竖直平面内做圆周运动, 恰好能通过圆周轨迹的最高点。当 A 回到最低点时, 质量为 m_2 的小球 B 与之迎面正碰, 碰后 A、B 粘在一起, 仍做圆周运动, 并能通过圆周轨迹的最高点。不计空气阻力, 重力加速度为 g , 求

(1) A 受到的水平瞬时冲量 I 的大小;

(2) 碰撞前瞬间 B 的动能 E_k 至少多大?

【答案】(1) $I = m_1 \sqrt{5gl}$; (2) $E_k = \frac{5gl(2m_1 + m_2)^2}{2m_2}$

【解析】(1) A 恰好能通过圆周轨迹的最高点, 此时轻绳的拉力刚好为零, 设 A 在最高点时的速度大小为 v , 由牛顿第二定律, 有 $m_1 g = m_1 \frac{v^2}{l}$ ①

A 从最低点到最高点的过程中机械能守恒, 取轨迹最低点处重力势能为零, 设 A 在最低点的

速度大小为 v_A ，有 $\frac{1}{2}m_1v_A^2 = \frac{1}{2}m_1v^2 + 2m_1gl$ ②

由动量定理，有 $I = m_1v_A$ ③

联立①②③式，得 $I = m_1\sqrt{5gl}$ ④

(2) 设两球粘在一起时速度大小为 v' ， A 、 B 粘在一起后恰能通过圆周轨迹的最高点，需满足

$$v' = v_A \text{ ⑤}$$

要达到上述条件，碰后两球速度方向必须与碰前 B 的速度方向相同，以此方向为正方向，

设 B 碰前瞬间的速度大小为 v_B ，由动量守恒定律，有 $m_2v_B - m_1v_A = (m_1 + m_2)v'$ ⑥

$$\text{又 } E_k = \frac{1}{2}m_2v_B^2 \text{ ⑦}$$

联立①②⑤⑥⑦式，得碰撞前瞬间 B 的动能 E_k 至少为 $E_k = \frac{5gl(2m_1 + m_2)^2}{2m_2}$ ⑧

20.2020 山东卷第 18 题

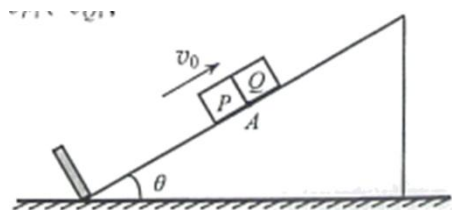
18. 如图所示，一倾角为 θ 的固定斜面的底端安装一弹性挡板， P 、 Q 两物块的质量分别为 m 和 $4m$ ， Q 静止于斜面上 A 处。某时刻， P 以沿斜面向上的速度 v_0 与 Q 发生弹性碰撞。 Q 与斜面间的动摩擦因数等于 $\tan \theta$ ，设最大静摩擦力等于滑动摩擦力。 P 与斜面间无摩擦，与挡板之间的碰撞无动能损失。两物块均可以看作质点，斜面足够长， Q 的速度减为零之前 P 不会与之发生碰撞。重力加速度大小为 g 。

(1) 求 P 与 Q 第一次碰撞后瞬间各自的速度大小 v_{P1} 、 v_{Q1} ；

(2) 求第 n 次碰撞使物块 Q 上升的高度 h_n ；

(3) 求物块 Q 从 A 点上升的总高度 H ；

(4) 为保证在 Q 的速度减为零之前 P 不会与之发生碰撞，求 A 点与挡板之间的最小距离 s 。



【答案】(1) P 的速度大小为 $\frac{3}{5}v_0$ ， Q 的速度大小为 $\frac{2}{5}v_0$ ；(2) $h_n = (\frac{7}{25})^{n-1} \cdot \frac{v_0^2}{25g}$ ($n=1, 2, 3, \dots$)；

$$(3) H = \frac{v_0^2}{18g}; (4) s = \frac{(8\sqrt{7}-13)v_0^2}{200g \sin \theta}$$

【解析】(1) P 与 Q 的第一次碰撞，取 P 的初速度方向为正方向，由动量守恒定律得

$$mv_0 = mv_{P1} + 4mv_{Q1} \quad (1)$$

$$\text{由机械能守恒定律得 } \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_{P1}^2 + \frac{1}{2} \cdot 4mv_{Q1}^2 \quad (2)$$

$$\text{联立①②式得 } v_{P1} = -\frac{3}{5}v_0 \quad (3) \quad v_{Q1} = \frac{2}{5}v_0 \quad (4)$$

故第一次碰撞后 P 的速度大小为 $\frac{3}{5}v_0$ ， Q 的速度大小为 $\frac{2}{5}v_0$

$$(2) \text{设第一次碰撞后 } Q \text{ 上升的高度为 } h_1, \text{ 对 } Q \text{ 由运动学公式得 } 0 - v_{Q1}^2 = 2 \cdot (-2g \sin \theta) \cdot \frac{h_1}{\sin \theta}$$

⑤

$$\text{联立①②⑤式得 } h_1 = \frac{v_0^2}{25g} \quad (6)$$

设 P 运动至与 Q 刚要发生第二次碰撞前的位置时速度为 v_{02} ，第一次碰后至第二次碰前，对 P 由动能定理得

$$\frac{1}{2}mv_{02}^2 - \frac{1}{2}mv_{P1}^2 = -mgh_1 \quad (7)$$

$$\text{联立①②⑤⑦式得 } v_{02} = \frac{\sqrt{7}}{5}v_0 \quad (8)$$

P 与 Q 的第二次碰撞，设碰后 P 与 Q 的速度分别为 v_{P2} 、 v_{Q2} ，由动量守恒定律得

$$mv_{02} = mv_{P2} + 4mv_{Q2} \quad (9)$$

$$\text{由机械能守恒定律得 } \frac{1}{2}mv_{02}^2 = \frac{1}{2}mv_{P2}^2 + \frac{1}{2} \cdot 4mv_{Q2}^2 \quad (10)$$

$$\text{联立①②⑤⑦⑨⑩式得 } v_{P2} = -\frac{3}{5} \times \frac{\sqrt{7}}{5}v_0 \quad (11)$$

$$v_{Q2} = \frac{2}{5} \times \frac{\sqrt{7}}{5}v_0 \quad (12)$$

$$\text{设第二次碰撞后 } Q \text{ 上升的高度为 } h_2, \text{ 对 } Q \text{ 由运动学公式得 } 0 - v_{Q2}^2 = 2 \cdot (-2g \sin \theta) \cdot \frac{h_2}{\sin \theta}$$

⑬

$$\text{联立①②⑤⑦⑨⑩⑬式得 } h_2 = \frac{7}{25} \cdot \frac{v_0^2}{25g} \quad (14)$$

设 P 运动至与 Q 刚要发生第三次碰撞前的位置时速度为 v_{03} ，第二次碰后至第三次碰前，对

P 由动能定理得

$$\frac{1}{2}mv_{03}^2 - \frac{1}{2}mv_{P2}^2 = -mgh_2 \quad (15)$$

联立①②⑤⑦⑨⑩⑬⑮式得 $v_{03} = (\frac{\sqrt{7}}{5})^2 v_0$ (16)

P 与 Q 的第三次碰撞，设碰后 P 与 Q 的速度分别为 v_{P3} 、 v_{Q3} ，

由动量守恒定律得 $mv_{03} = mv_{P3} + 4mv_{Q3}$ (17)

由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}mv_{03}^2 = \frac{1}{2}mv_{P3}^2 + \frac{1}{2} \cdot 4mv_{Q3}^2$ (18)

联立①②⑤⑦⑨⑩⑬⑮⑰⑱式得 $v_{P3} = -\frac{3}{5} \times (\frac{\sqrt{7}}{5})^2 v_0$ (19)

$$v_{Q3} = \frac{2}{5} \times (\frac{\sqrt{7}}{5})^2 v_0 \quad (20)$$

设第三次碰撞后 Q 上升的高度为 h_3 ，对 Q 由运动学公式⑩得 $0 - v_{Q3}^2 = 2 \cdot (-2g \sin \theta) \cdot \frac{h_3}{\sin \theta}$

(21)

联立①②⑤⑦⑨⑩⑬⑮⑰⑱⑳式得 $h_3 = (\frac{7}{25})^2 \cdot \frac{v_0^2}{25g}$ (22)

总结可知，第 n 次碰撞后，物块 Q 上升的高度为

$$h_n = (\frac{7}{25})^{n-1} \cdot \frac{v_0^2}{25g} \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad (23)$$

(3)当 P 、 Q 达到 H 时，两物块到此处的速度可视为零，对两物块运动全过程由动能定理得

$$0 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -(m+4m)gH - \tan \theta \cdot 4mg \cos \theta \cdot \frac{H}{\sin \theta} \quad (24)$$

解得 $H = \frac{v_0^2}{18g}$ (25)

(4)设 Q 第一次碰撞至速度减为零需要的时间为 t_1 ，由运动学公式得 $v_{Q1} = 2gt_1 \sin \theta$

(26)

设 P 运动到斜面底端时的速度为 v_{P1}' ，需要的时间为 t_2 ，由运动学公式得

$$v_{P1}' = v_{P1} + gt_2 \sin \theta \quad (27)$$

$$v_{P1}'^2 - v_{P1}^2 = 2sg \sin \theta \quad (28)$$

设 P 从 A 点到 Q 第一次碰后速度减为零处匀减速运动的时间为 t_3 $v_{02} = (-v_{P1}) - gt_3 \sin \theta$

②9

当 A 点与挡板之间的距离最小时 $t_1 = 2t_2 + t_3$ ③0

联立②⑥⑦⑧⑨⑩式，代入数据得 $s = \frac{(8\sqrt{7}-13)v_0^2}{200g\sin\theta}$ ③1

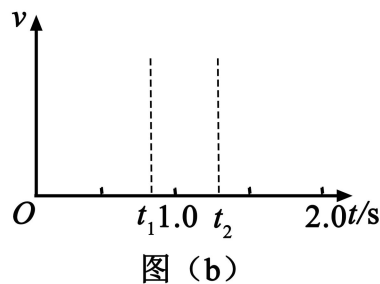
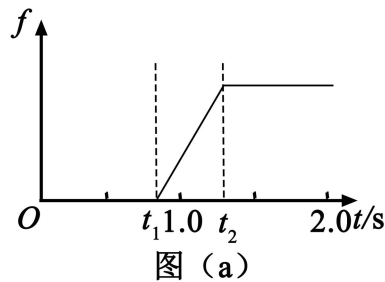
21.2019 全国 2 卷 25. (20 分)

一质量为 $m=2000\text{ kg}$ 的汽车以某一速度在平直公路上匀速行驶。行驶过程中，司机忽然发现前方 100 m 处有一警示牌。立即刹车。刹车过程中，汽车所受阻力大小随时间变化可简化为图 (a) 中的图线。图 (a) 中， $0\sim t_1$ 时间段为从司机发现警示牌到采取措施的反应时间（这段时间内汽车所受阻力已忽略，汽车仍保持匀速行驶）， $t_1=0.8\text{ s}$ ； $t_1\sim t_2$ 时间段为刹车系统的启动时间， $t_2=1.3\text{ s}$ ；从 t_2 时刻开始汽车的刹车系统稳定工作，直至汽车停止，已知从 t_2 时刻开始，汽车第 1 s 内的位移为 24 m ，第 4 s 内的位移为 1 m 。

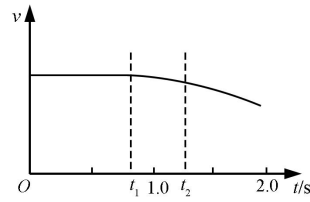
(1) 在图 (b) 中定性画出从司机发现警示牌到刹车系统稳定工作后汽车运动的 $v-t$ 图线；

(2) 求 t_2 时刻汽车的速度大小及此后的加速度大小；

(3) 求刹车前汽车匀速行驶时的速度大小及 $t_1\sim t_2$ 时间内汽车克服阻力做的功；司机发现警示牌到汽车停止，汽车行驶的距离约为多少（以 $t_1\sim t_2$ 时间段始末速度的算术平均值替代这段时间内汽车的平均速度）？



【解析】25. (1) $v-t$ 图像如图所示。



(2) 设刹车前汽车匀速行驶时的速度大小为 v_1 ，则 t_1 时刻的速度也为 v_1 ， t_2 时刻的速度也为 v_2 ，在 t_2 时刻后汽车做匀减速运动，设其加速度大小为 a ，取 $\Delta t=1\text{s}$ ，设汽车在 $t_2+n-1\Delta t$ 内的位移为 s_n ， $n=1,2,3,\dots$ 。

若汽车在 $t_2+3\Delta t \sim t_2+4\Delta t$ 时间内未停止，设它在 $t_2+3\Delta t$ 时刻的速度为 v_3 ，在 $t_2+4\Delta t$ 时刻的速度为 v_4 ，由运动学有

$$s_1 - s_4 = 3a(\Delta t)^2 \quad ①$$

$$s_1 = v_2\Delta t - \frac{1}{2}a(\Delta t)^2 \quad ② \text{代入数据得 } 24 = v_2 - a/2$$

$$v_4 = v_2 - 4a\Delta t \quad ③$$

联立①②③式，代入已知数据解得

$$v_4 = -\frac{17}{6}\text{m/s} \quad ④$$

这说明在 $t_2+4\Delta t$ 时刻前，汽车已经停止。因此，①式不成立。

由于在 $t_2+3\Delta t \sim t_2+4\Delta t$ 内汽车停止，由运动学公式

$$v_3 = v_2 - 3a\Delta t \quad ⑤$$

$$2as_4 = v_3^2 \quad ⑥$$

联立②⑤⑥，代入已知数据解得 $6.25a^2 - 122a + 576 = 0$ 解得

$$a = 8\text{ m/s}^2, \quad v_2 = 28\text{ m/s} \quad ⑦$$

$$\text{或者 } a = \frac{288}{25}\text{ m/s}^2, \quad v_2 = 29.76\text{ m/s}$$

(3) 设汽车的刹车系统稳定工作时，汽车所受阻力的大小为 f_1 ，由牛顿定律有

$$f_1 = ma$$

在 $t_1 \sim t_2$ 时间内，阻力对汽车冲量的大小为

$$I = \frac{1}{2}f_1(t_2 - t_1)$$

由动量定理有

$$I' = mv_1 - m_2 I' = mv_1 - mv_2$$

由动量定理，在 $t_1 \sim t_2$ 时间内，汽车克服阻力做的功为

$$W = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2$$

联立⑦⑨⑩和⑫式，代入已知数据解得

$$v_1 = 30 \text{ m/s}$$

$$W = 1.16 \times 10^5 \text{ J}$$

从司机发现警示牌到汽车停止，汽车行驶的距离 s 约为

$$s = v_1 t_1 + \frac{1}{2}(v_1 + v_2)(t_2 - t_1) + \frac{v_2^2}{2a}$$

联立⑦和⑬⑭，代入已知数据解得

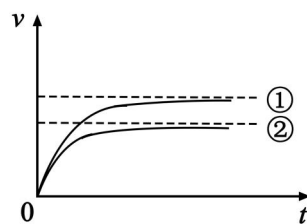
$$s = 87.5 \text{ m}$$

22.2019 年北京卷 24 题。（20 分）

雨滴落到地面的速度通常仅为几米每秒，这与雨滴下落过程中受到空气阻力有关。雨滴间无相互作用且雨滴质量不变，重力加速度为 g 。

（1）质量为 m 的雨滴由静止开始，下落高度 h 时速度为 u ，求这一过程中克服空气阻力所做的功 W 。

（2）将雨滴看作半径为 r 的球体，设其竖直落向地面的过程中所受空气阻力 $f = kr^2 v^2$ ，其中 v 是雨滴的速度， k 是比例系数。



a. 设雨滴的密度为 ρ ，推导雨滴下落趋近的最大速度 v_m 与半径 r 的关系式；

b. 示意图中画出了半径为 r_1 、 r_2 ($r_1 > r_2$) 的雨滴在空气中无初速下落的 $v-t$ 图线，其中_____对应半径为 r_1 的雨滴（选填①、②）；若不计空气阻力，请在图中画出雨滴无初速下落的 $v-t$ 图线。

（3）由于大量气体分子在各方向运动的几率相等，其对静止雨滴的作用力为零。将雨滴简化为垂直于运动方向面积为 S 的圆盘，证明：圆盘以速度 v 下落时受到的空气阻力 $f \propto v^2$ （提

示：设单位体积内空气分子数为 n ，空气分子质量为 m_0 ）。

【答案】24. （20分）

(1) 根据动能定理 $mgh - W = \frac{1}{2}mu^2$

可得 $W = mgh - \frac{1}{2}mu^2$

(2) a. 根据牛顿第二定律 $mg - f = ma$

得 $a = g - \frac{kr^2v^2}{m}$

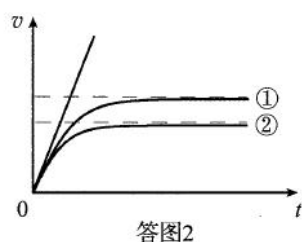
当加速度为零时，雨滴趋近于最大速度 v_m

雨滴质量 $m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$

由 $a=0$ ，可得，雨滴最大速度 $v_m = \sqrt{\frac{4\pi\rho g}{3k}}r$

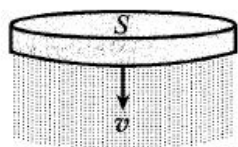
b. ①

如答图2



(3) 根据题设条件：大量气体分子在各方向运动的几率相等，其对静止雨滴的作用力为零。以下只考虑雨滴下落的定向运动。

简化的圆盘模型如答图3。设空气分子与圆盘碰撞前后相对速度大小不变。在 Δt 时间内，与圆盘碰撞的空气分子质量为 $\Delta m = Sv\Delta tnm_0$



以 F 表示圆盘对气体分子的作用力，根据动量定理，

有 $F\Delta t \propto \Delta m \times v$

得 $F \propto nm_0Sv^2$

由牛顿第三定律，可知圆盘所受空气阻力

$$f \propto v^2$$

采用不同的碰撞模型，也可得到相同结论。

23.2019年江苏卷12. [选修3-5] (12分)

12. (1) 质量为 M 的小孩站在质量为 m 的滑板上，小孩和滑板均处于静止状态，忽略滑板与地面间的摩擦。小孩沿水平方向跃离滑板，离开滑板时的速度大小为 v ，此时滑板的速度大小为_____。

- (A) $\frac{m}{M}v$ (B) $\frac{M}{m}v$ (C) $\frac{m}{m+M}v$ (D) $\frac{M}{m+M}v$

【答案】12. (1) B

【解析】动量守恒 $Mv + mv' = 0$ ，得 $v' = -\frac{Mv}{m}$ ，大小为 $\frac{M}{m}v$ ，B正确。

2018 年.全国 1 卷 14 题. 高铁列车在启动阶段的运动可看作初速度为零的匀加速直线运动，在启动阶段列车的动能

- A. 与它所经历的时间成正比 B. 与它的位移成正比
C. 与它的速度成正比 D. 与它的动量成正比

【解析】 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \max$ ，与位移 x 成正比。 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}ma^2t^2 = \frac{p^2}{2m}$ ，与速度

平方，时间平方，动量平方成正比。

【答案】14. B

24.2018 年全国 2 卷 15 题. 高空坠物极易对行人造成伤害。若一个 50 g 的鸡蛋从一居民楼的 25 层坠下，与地面的撞击时间约为 2 ms，则该鸡蛋对地面产生的冲击力约为

- A. 10 N B. 10^2 N C. 10^3 N D. 10^4 N

【解析】设 $h = 50m$ ，根据动能定理 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 和动量定理 $F - mg = \frac{mv}{\Delta t}$ 解得

$$F = 3.5 \times 10^3 N$$

【答案】15. C

25.2018 年全国 1 卷 24 题. (12 分) 一质量为 m 的烟花弹获得动能 E 后，从地面竖直升空，当烟花弹上升的速度为零时，弹中火药爆炸将烟花弹炸为质量相等的两部分，两部分获得的动能之和也为 E ，且均沿竖直方向运动。爆炸时间极短，重力加速度大小为 g ，不计空气阻力和火药的质量，求

(1) 烟花弹从地面开始上升到弹中火药爆炸所经过的时间;

(2) 爆炸后烟花弹向上运动的部分距地面的最大高度

【解答】24. (1) 设烟花弹上升的初速度为 v_0 , 由题给条件有 $E = \frac{1}{2}mv_0^2$ ①

设烟花弹从地面开始上升到火药爆炸所用的时间为 t , 由运动学公式有 $0 - v_0 = -gt$ ②

联立①②式得 $t = \frac{1}{g}\sqrt{\frac{2E}{m}}$ ③

(2) 设爆炸时烟花弹距地面的高度为 h_1 , 由机械能守恒定律有 $E = mgh_1$ ④

火药爆炸后, 烟花弹上、下两部分均沿竖直方向运动, 设炸后瞬间其速度分别为 v_1 和

v_2 . 由题给条件和动量守恒定律有 $\frac{1}{4}mv_1^2 + \frac{1}{4}mv_2^2 = E$ ⑤

$$\frac{1}{2}mv_1 + \frac{1}{2}mv_2 = 0$$
 ⑥

由⑥式知, 烟花弹两部分的速度方向相反, 向上运动部分做竖直上抛运动. 设爆

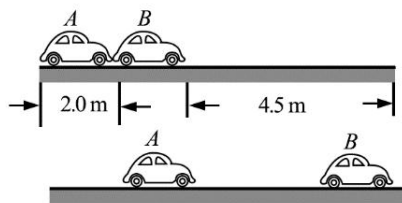
炸后烟花弹上部分继续上升的高度为 h_2 , 由机械能守恒定律有 $\frac{1}{4}mv_1^2 = \frac{1}{2}mgh_2$ ⑦

联立④⑤⑥⑦式得, 烟花弹上部分距地面的最大高度为 $h = h_1 + h_2 = \frac{2E}{mg}$ ⑧

26.2018 年全国 2 卷 24 题. (12 分)

汽车 A 在水平冰雪路面上行驶, 驾驶员发现其正前方停有汽车 B , 立即采取制动措施, 但仍然撞上了汽车 B . 两车碰撞时和两车都完全停止后的位置如图所示, 碰撞后 B 车向前滑动了 4.5 m, A 车向前滑动了 2.0 m, 已知 A 和 B 的质量分别为 2.0×10^3 kg 和 1.5×10^3 kg, 两车与该冰雪路面间的动摩擦因数均为 0.10, 两车碰撞时间极短, 在碰撞后车轮均没有滚动, 重力加速度大小 $g = 10 \text{ m/s}^2$. 求

(1) 碰撞后的瞬间 B 车速度的大小; (2) 碰撞前的瞬间 A 车速度的大小。



【解答】24. (12 分)

(1) 设 B 车质量为 m_B , 碰后加速度大小为 a_B , 根据牛顿第二定律有

$$\mu m_B g = m_B a_B \quad \text{①式中}\mu\text{是汽车与路面间的动摩擦因数。}$$

设碰撞后瞬间 B 车速度的大小为 v_B' , 碰撞后滑行的距离为 s_B 。由运动学公式有

$$v_B'^2 = 2a_B s_B \quad \text{②}$$

$$\text{联立①②式并利用题给数据得 } v_B' = 3.0 \text{ m/s} \quad \text{③}$$

(2) 设 A 车的质量为 m_A , 碰后加速度大小为 a_A 。根据牛顿第二定律有

$$\mu m_A g = m_A a_A \quad \text{④}$$

设碰撞后瞬间 A 车速度的大小为 v_A' , 碰撞后滑行的距离为 s_A 。由运动学公式有

$$v_A'^2 = 2a_A s_A \quad \text{⑤}$$

设碰撞后瞬间 A 车速度的大小为 v_A , 两车在碰撞过程中动量守恒, 有

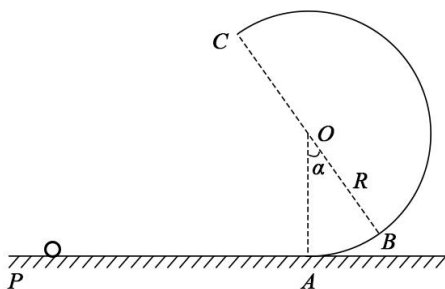
$$m_A v_A = m_A v_A' + m_B v_B' \quad \text{⑥}$$

$$\text{联立③④⑤⑥式并利用题给数据得 } v_A = 4.3 \text{ m/s} \quad \text{⑦}$$

27.2018 年全国 3 卷 25 题. (20 分)

如图, 在竖直平面内, 一半径为 R 的光滑圆弧轨道 ABC 和水平轨道 PA 在 A 点相切。 B 为圆弧轨道的最低点, C 为圆弧轨道的最高点。 O 为圆心, OA 和 OB 之间的夹角为 α , $\sin\alpha = \frac{3}{5}$, 一质量为 m 的小球沿水平轨道向右运动, 经 A 点沿圆弧轨道通过 C 点, 落至水平轨道; 在整个过程中, 除受到重力及轨道作用力外, 小球还一直受到一水平恒力的作用, 已知小球在 C 点所受合力的方向指向圆心, 且此时小球对轨道的压力恰好为零。重力加速度大小为 g 。

求：



(1) 水平恒力的大小和小球到达 C 点时速度的大小；

(2) 小球到达 A 点时动量的大小；

(3) 小球从 C 点落至水平轨道所用的时间。

【解答】25. (1) 设水平恒力的大小为 F_0 ，小球到达 C 点时所受合力的大小为 F 。由力的合

成法则有 $\frac{F_0}{mg} = \tan \alpha$ ① $F^2 = (mg)^2 + F_0^2$ ②

设小球到达 C 点时的速度大小为 v ，由牛顿第二定律得 $F = m \frac{v^2}{R}$ ③

由①②③式和题给数据得 $F_0 = \frac{3}{4}mg$ ④ $v = \frac{\sqrt{5gR}}{2}$ ⑤

(2) 设小球到达 A 点的速度大小为 v_1 ，作 $CD \perp PA$ ，交 PA 于 D 点，由几何关系得

$DA = R \sin \alpha$ ⑥ $CD = R(1 + \cos \alpha)$ ⑦

由动能定理有 $-mg \cdot CD - F_0 \cdot DA = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ ⑧

由④⑤⑥⑦⑧式和题给数据得，小球在 A 点的动量大小为 $p = mv_1 = \frac{m\sqrt{23gR}}{2}$ ⑨

(3) 小球离开 C 点后在竖直方向上做初速度不为零的匀加速运动，加速度大小为 g 。

设小球在竖直方向的初速度为 $v_{\perp}$ ，从 C 点落至水平轨道上所用时间为 t 。由运动学公式

有 $v_{\perp}t + \frac{1}{2}gt^2 = CD$ ⑩ $v_{\perp} = v \sin \alpha$ ⑪

由⑤⑦⑩⑪式和题给数据得 $t = \frac{3}{5}\sqrt{\frac{5R}{g}}$ ⑫

28.2018 年天津 9 (1) 题

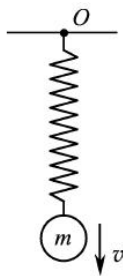
9. (1) 质量为 0.45 kg 的木块静止在光滑水平面上，一质量为 0.05 kg 的子弹以 200 m/s 的水平速度击中木块，并留在其中，整个木块沿子弹原方向运动，则木块最终速度的大小是_____ m/s 。若子弹在木块中运动时受到的平均阻力为 $4.5 \times 10^3 \text{ N}$ ，则子弹射入木块的深度为_____ m 。

【解析】动量守恒 $mv = (M + m)V$ ，解得 $V = 20m/s$

子弹射入木块的深度即相对位移为 d ，有 $fd = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}(m + M)V^2$ 解得 $d = 0.2m$

【答案】9. (1) 20 0.2

(3) 如图所示，悬挂于竖直弹簧下端的小球质量为 m ，运动速度的大小为 v ，方向向下。经过时间 t ，小球的速度大小为 v ，方向变为向上。忽略空气阻力，重力加速度为 g ，求该运动过程中，小球所受弹簧弹力冲量的大小。



【答案】

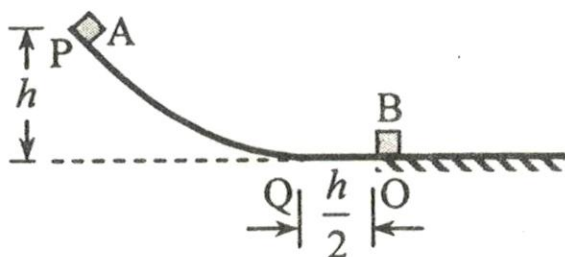
12C (3) 取向上为正方向，动量定理 $mv - (-mv) = I$ 且 $I = (\bar{F} - mg)t$

解得 $I_F = \bar{F}t = 2mv + mgt$

29.2018 年海南物理卷第 14 题

14. (16 分) 如图，光滑轨道 PQO 的水平段 $QO = \frac{h}{2}$ ，轨道在 O 点与水平地面平滑连接。一质量为 m 的小物块 A 从高 h 处由静止开始沿轨道下滑，在 O 点与质量为 $4m$ 的静止小物块 B 发生碰撞。A、B 与地面间的动摩擦因数均为 $\mu = 0.5$ ，重力加速度大小为 g 。假设 A、B 间的碰撞为完全弹性碰撞，碰撞时间极短。求

- (1) 第一次碰撞后瞬间 A 和 B 速度的大小；
- (2) A、B 均停止运动后，二者之间的距离。



【解析】14. (1) 碰撞前 A 的速度 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$, $v = \sqrt{2gh}$

$$mv = mv' + 4mV$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv'^2 + \frac{1}{2}4mV^2 \text{ 解得 } v' = \frac{m-4m}{m+4m}v, \quad V = \frac{2m}{m+4m}v$$

$$\text{解得碰撞后 A 的速度: } v' = \frac{1-4}{1+4}v = -\frac{3}{5}\sqrt{2gh}, \quad \text{B 的速度 } V = \frac{2}{5}\sqrt{2gh}$$

(2) 碰撞后 A 沿光滑轨道上升后又滑到 O, 然后向右减速滑行至停止, $\mu mgx_A = \frac{1}{2}mv'^2$,

$$\text{解得 } x_A = \frac{27}{50}h,$$

$$\text{B 沿地面减速滑行至停止, } \mu 4mgx_B = \frac{1}{2}4mV^2, \quad x_B = \frac{12}{50}h$$

因为 $x_A > x_B$, 所以会发生第 2 次碰撞。
