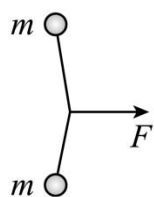


专题 03 牛顿运动定律（解析版）

近 5 年（2018-2022）高考物理试题分类解析

1、（2022·全国乙卷·T15）如图，一不可伸长轻绳两端各连接一质量为 m 的小球，初始时整个系统静置于光滑水平桌面上，两球间的距离等于绳长 L 。一大小为 F 的水平恒力作用在轻绳的中点，方向与两球连线垂直。当两球运动至二者相距 $\frac{3}{5}L$ 时，它们加速度的大小均为

()



A. $\frac{5F}{8m}$

B. $\frac{2F}{5m}$

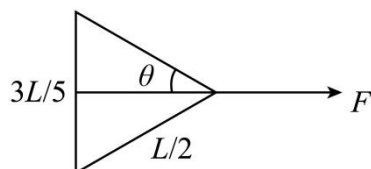
C. $\frac{3F}{8m}$

D. $\frac{3F}{10m}$

【答案】A

【解析】

当两球运动至二者相距 $\frac{3}{5}L$ 时，，如图所示



由几何关系可知

$$\sin \theta = \frac{\frac{3L}{5}}{\frac{L}{2}} = \frac{3}{5}$$

设绳子拉力为 T ，水平方向有

$$2T \cos \theta = F$$

解得

$$T = \frac{5}{8}F$$

对任意小球由牛顿第二定律可得

$$T = ma$$

解得

$$a = \frac{5F}{8m}$$

故 A 正确，BCD 错误。

故选 A。

2、(2022 • 全国甲卷 • T19) 如图，质量相等的两滑块 P、Q 置于水平桌面上，二者用一轻弹簧水平连接，两滑块与桌面间的动摩擦因数均为 μ 。重力加速度大小为 g 。用水平向右的拉力 F 拉动 P，使两滑块均做匀速运动；某时刻突然撤去该拉力，则从此刻开始到弹簧第一次恢复原长之前 ()



- A. P 的加速度大小的最大值为 $2\mu g$
- B. Q 的加速度大小的最大值为 $2\mu g$
- C. P 的位移大小一定大于 Q 的位移大小
- D. P 的速度大小均不大于同一时刻 Q 的速度大小

【答案】AD

【解析】

设两物块的质量均为 m ，撤去拉力前，两滑块均做匀速直线运动，则拉力大小为

$$F = 2\mu mg$$

撤去拉力前对 Q 受力分析可知，弹簧的弹力为

$$T_0 = \mu mg$$

AB. 以向右为正方向，撤去拉力瞬间弹簧弹力不变为 μmg ，两滑块与地面间仍然保持相对滑动，此时滑块 P 的加速度为

$$-T_0 - \mu mg = ma_{P1}$$

解得

$$a_{P1} = -2\mu g$$

此刻滑块 Q 所受的外力不变，加速度仍为零，滑块 P 做减速运动，故 PQ 间距离减小，弹簧的伸长量变小，弹簧弹力变小。根据牛顿第二定律可知 P 减速的加速度减小，滑块 Q 的合外力增大，合力向左，做加速度增大的减速运动。

故 P 加速度大小的最大值是刚撤去拉力瞬间的加速度为 $2\mu mg$ 。

Q 加速度大小最大值为弹簧恢复原长时

$$-\mu mg = ma_{Qm}$$

解得

$$a_{Qm} = -\mu g$$

故滑块 Q 加速度大小最大值为 μg ，A 正确，B 错误；

C. 滑块 PQ 水平向右运动，PQ 间的距离在减小，故 P 的位移一定小于 Q 的位移，C 错误；

D. 滑块 P 在弹簧恢复到原长时的加速度为

$$-\mu mg = ma_{p2}$$

解得

$$a_{p2} = -\mu g$$

撤去拉力时，PQ 的初速度相等，滑块 P 由开始的加速度大小为 $2\mu g$ 做加速度减小的减速运动，最后弹簧原长时加速度大小为 μg ；滑块 Q 由开始的加速度为 0 做加速度增大的减速运动，最后弹簧原长时加速度大小也为 μg 。分析可知 P 的速度大小均不大于同一时刻 Q 的速度大小，D 正确。

故选 AD。

3、(2022 • 湖南卷 • T9) 球形飞行器安装了可提供任意方向推力的矢量发动机，总质量为 M 。

飞行器飞行时受到的空气阻力大小与其速率平方成正比（即 $F_{\text{阻}} = kv^2$ ， k 为常量）。当发动机关闭时，飞行器竖直下落，经过一段时间后，其匀速下落的速率为 10m/s ；当发动机以最大推力推动飞行器竖直向上运动，经过一段时间后，飞行器匀速向上的速率为 5m/s 。重力加速度大小为 g ，不考虑空气相对于地面的流动及飞行器质量的变化，下列说法正确的是（ ）

A. 发动机的最大推力为 $1.5Mg$

B. 当飞行器以 5m/s 匀速水平飞行时，发动机推力的大小为 $\frac{\sqrt{17}}{4}Mg$

C. 发动机以最大推力推动飞行器匀速水平飞行时，飞行器速率为 $5\sqrt{3}\text{m/s}$

D. 当飞行器以 5m/s 的速率飞行时，其加速度大小可以达到 $3g$

【答案】BC

【解析】

A. 飞行器关闭发动机，以 $v_1=10\text{m/s}$ 匀速下落时，有

$$Mg = kv_1^2 = k \times 100$$

飞行器以 $v_2=5\text{m/s}$ 向上匀速时，设最大推力为 F_m

$$F_m = Mg + kv_2^2 = Mg + k \times 25$$

联立可得

$$F_m = 1.25Mg, \quad k = \frac{Mg}{100}$$

A 错误；

B. 飞行器以 $v_3=5\text{m/s}$ 匀速水平飞行时

$$F = \sqrt{(Mg)^2 + (kv_3)^2} = \frac{\sqrt{17}}{4} Mg$$

B 正确；

C. 发动机以最大推力推动飞行器匀速水平飞行时

$$f = \sqrt{F_m^2 - (Mg)^2} = \frac{3}{4} Mg = kv_4^2$$

解得

$$v_4 = 5\sqrt{3}\text{m/s}$$

C 正确；

D. 当飞行器最大推力向下，以 $v_5=5\text{m/s}$ 的速率向上减速飞行时，其加速度向下达到最大值

$$F_m + Mg + kv_5^2 = Ma_m$$

解得

$$a_m = 2.5g$$

D 错误。

故选 BC。

4、(2022·浙江6月卷·T1) 下列属于力的单位是 ()

A. $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$

B. $\text{kg} \cdot \text{m/s}$

C. $\text{kg} \cdot \text{m}^2\text{s}$

D.

$\text{kg} \cdot \text{s/m}^2$

【答案】A

【解析】

根据牛顿第二定律有

$$F = ma$$

则力的单位为

$$\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$$

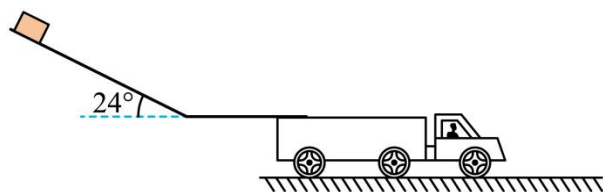
故选 A。

5、(2022·浙江6月卷·T19) 物流公司通过滑轨把货物直接装运到卡车中，如图所示，倾斜滑轨与水平面成 24° 角，长度 $l_1 = 4\text{m}$ ，水平滑轨长度可调，两滑轨间平滑连接。若货物从倾斜滑轨顶端由静止开始下滑，其与滑轨间的动摩擦因数均为 $\mu = \frac{2}{9}$ ，货物可视为质点(取 $\cos 24^\circ = 0.9$ ， $\sin 24^\circ = 0.4$ ，重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$)。

(1) 求货物在倾斜滑轨上滑行时加速度 a_1 的大小；

(2) 求货物在倾斜滑轨末端时速度 v 的大小；

(3) 若货物滑离水平滑轨末端时的速度不超过 2m/s ，求水平滑轨的最短长度 l_2 。



【答案】(1) 2m/s^2 ；(2) 4m/s ；(3) 2.7m

【解析】

(1) 根据牛顿第二定律可得

$$mg \sin 24^\circ - \mu mg \cos 24^\circ = ma_1$$

代入数据解得

$$a_1 = 2\text{m/s}^2$$

(2) 根据运动学公式

$$2a_1l_1 = v^2$$

解得

$$v = 4\text{m/s}$$

(3) 根据牛顿第二定律

$$\mu mg = ma_2$$

根据运动学公式

$$-2a_2l_2 = v_{\max}^2 - v^2$$

代入数据联立解得

$$l_2 = 2.7\text{m}$$

6、(2022·浙江1月卷·T19) 第24届冬奥会将在我国举办。钢架雪车比赛的一段赛道如图1所示，长12m水平直道AB与长20m的倾斜直道BC在B点平滑连接，斜道与水平面的夹角为 15° 。运动员从A点由静止出发，推着雪车匀加速到B点时速度大小为8m/s，紧接着快速俯卧到车上沿BC匀加速下滑(图2所示)，到C点共用时5.0s。若雪车(包括运动员)可视为质点，始终在冰面上运动，其总质量为110kg， $\sin 15^\circ = 0.26$ ，求雪车(包括运动员)

- (1) 在直道AB上的加速度大小；
- (2) 过C点的速度大小；
- (3) 在斜道BC上运动时受到的阻力大小。

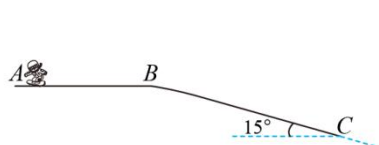


图1



图2

【答案】(1) $a_1 = \frac{8}{3}\text{m/s}^2$; (2) 12m/s; (3) 66N

【解析】

(1) AB段

$$v_1^2 = 2a_1x_1$$

解得

$$a_1 = \frac{8}{3}\text{m/s}^2$$

(2) AB 段

$$v_1 = a_1 t_1$$

解得

$$t_1 = 3s$$

BC 段

$$x_2 = v_1 t_2 + \frac{1}{2} a_2 t_2^2$$

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

过 C 点的速度大小

$$v = v_1 + a_2 t_2 = 12\text{m/s}$$

(3) 在 BC 段有牛顿第二定律

$$mg \sin \theta - F_f = ma_2$$

解得

$$F_f = 66\text{N}$$

7、2021 浙江卷第 4 题. 2021 年 5 月 15 日, 天问一号着陆器在成功着陆火星表面的过程中, 经大气层 290s 的减速, 速度从 $4.9 \times 10^3 \text{m/s}$ 减为 $4.6 \times 10^2 \text{m/s}$; 打开降落伞后, 经过 90s 速度进一步减为 $1.0 \times 10^2 \text{m/s}$; 与降落伞分离, 打开发动机减速后处于悬停状态; 经过对着陆点的探测后平稳着陆。若打开降落伞至分离前的运动可视为竖直向下运动, 则着陆器 ()



- A. 打开降落伞前, 只受到气体阻力的作用
- B. 打开降落伞至分离前, 受到的合力方向竖直向上
- C. 打开降落伞至分离前, 只受到浮力和气体阻力的作用

D. 悬停状态中，发动机喷火的反作用力与气体阻力是平衡力

【答案】B

【解析】

A. 打开降落伞前，在大气层中做减速运动，则着陆器受大气的阻力作用以及火星的引力作用，选项 A 错误；

B. 打开降落伞至分离前做减速运动，则其加速度方向与运动方向相反，加速度方向向上，则合力方向竖直向上，B 正确；

C. 打开降落伞至分离前，受到浮力和气体的阻力以及火星的吸引力作用，选项 C 错误；

D. 悬停状态中，发动机喷火的反作用力是气体对发动机的作用力，由于还受到火星的吸引力，则与气体的阻力不是平衡力，选项 D 错误。

故选 B。

8、2020 全国 1 卷第 11 题

11.我国自主研制了运-20 重型运输机。飞机获得的升力大小 F 可用 $F = kv^2$ 描写， k 为系数； v 是飞机在平直跑道上的滑行速度， F 与飞机所受重力相等时的 v 称为飞机的起飞离地速度，已知飞机质量为 $1.21 \times 10^5 \text{ kg}$ 时，起飞离地速度为 66 m/s ；装载货物后质量为 $1.69 \times 10^5 \text{ kg}$ ，装载货物前后起飞离地时的 k 值可视为不变。

(1) 求飞机装载货物后的起飞离地速度；

(2) 若该飞机装载货物后，从静止开始匀加速滑行 1521 m 起飞离地，求飞机在滑行过程中加速度的大小和所用的时间。

【答案】(1) $v_2 = 78 \text{ m/s}$ ；(2) 2 m/s^2 ， $t = 39 \text{ s}$

【解析】(1) 空载起飞时，升力正好等于重力： $kv_1^2 = m_1g$

满载起飞时，升力正好等于重力： $kv_2^2 = m_2g$

由上两式用比例法解得： $v_2 = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} \cdot v_1 = \frac{13}{11} \times 66 \text{ m/s} = 78 \text{ m/s}$

或公式法解由 $m_1g = kv_1^2$ 解得 $k = \frac{m_1g}{v_1^2} = 277.78$ ，由 $kv_2^2 = m_2g$ 解得 $v_2 = \sqrt{\frac{m_2g}{k}} = 78 \text{ m/s}$ 。

代入 $m_2g = kv_2^2$ ，得 $v_2 = \sqrt{\frac{m_2g}{k}}$ ，代入数据解得 $v_2 = 78 \text{ m/s}$

(2) 满载货物的飞机做初速度为零的匀加速直线运动，所以 $v_2^2 - 0 = 2ax$

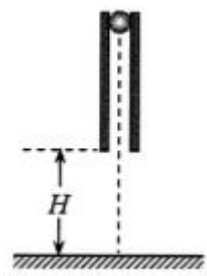
解得： $a = 2\text{m/s}^2$

由加速的定义式变形得： $t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{v_2 - 0}{a}$ 解得： $t = 39\text{s}$

9、2020 全国 2 卷第 12 题

12.如图，一竖直圆管质量为 M ，下端距水平地面的高度为 H ，顶端塞有一质量为 m 的小球。圆管由静止自由下落，与地面发生多次弹性碰撞，且每次碰撞时间均极短；在运动过程中，管始终保持竖直。已知 $M=4m$ ，球和管之间的滑动摩擦力大小为 $4mg$ ， g 为重力加速度的大小，不计空气阻力。

- (1) 求管第一次与地面碰撞后的瞬间，管和球各自的加速度大小；
- (2) 管第一次落地弹起后，在上升过程中球没有从管中滑出，求管上升的最大高度；
- (3) 管第二次落地弹起的上升过程中，球仍没有从管中滑出，求圆管长度应满足的条件。



【答案】(1) $a_1=2g$ ， $a_2=3g$ ；(2) $H_1 = \frac{13}{25}H$ ；(3) $L \geq \frac{152}{125}H$

【解析】(1) 管第一次落地弹起的瞬间，小球仍然向下运动。设此时管的加速度大小为 a_1 ，方向向下；球的加速度大小为 a_2 ，方向向上；球与管之间的摩擦力大小为 f ，由牛顿运动定律有

$$Ma_1 = Mg + f \quad ①$$

$$ma_2 = f - mg \quad ②$$

联立①②式并代入题给数据，得 $a_1=2g$ ， $a_2=3g$ ③

(2) 管第一次碰地前与球的速度大小相同。由运动学公式，碰地前瞬间它们的速度大小均为

$$v_0 = \sqrt{2gH} \quad ④$$

方向均向下。管弹起的瞬间，管的速度反向，球的速度方向依然向下。

设自弹起时经过时间 t_1 ，管与小球的速度刚好相同。取向上为正方向，由运动学公式

$$v_0 - a_1 t_1 = -v_0 + a_2 t_1 \quad (5)$$

联立③④⑤式得 $t_1 = \frac{2}{5} \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (6)$

设此时管下端的高度为 h_1 ，速度为 v 。由运动学公式可得 $h_1 = v_0 t_1 - \frac{1}{2} a_1 t_1^2 \quad (7)$

$$v = v_0 - a_1 t_1 \quad (8)$$

由③④⑥⑧式可判断此时 $v > 0$ 。此后，管与小球将以加速度 g 减速上升 h_2 ，到达最高点。

由运动学公式有 $h_2 = \frac{v^2}{2g} \quad (9)$

设管第一次落地弹起后上升的最大高度为 H_1 ，则 $H_1 = h_1 + h_2 \quad (10)$

联立③④⑥⑦⑧⑨⑩式可得 $H_1 = \frac{13}{25} H \quad (11)$

易错点：

没有考虑速度相等前和速度相等后两个阶段运动情况不同，直接用公式 $H = \frac{v^2}{2a}$ 算最大高度。

(3) 设第一次弹起过程中球相对管的位移为 x_1 。在管开始下落到上升 H_1 这一过程中，由动能定理有

$$Mg(H - H_1) + mg(H - H_1 + x_1) - 4mgx_1 = 0 \quad (12)$$

联立⑪⑫式并代入题给数据得 $x_1 = \frac{4}{5} H \quad (13)$

同理可推得，管与球从再次下落到第二次弹起至最高点的过程中，球与管的相对位移 x_2 为

$$x_2 = \frac{4}{5} H_1 \quad (14)$$

设圆管长度为 L 。管第二次落地弹起后的上升过程中，球不会滑出管外的条件是 $x_1 + x_2 \leq L \quad (15)$

联立⑪⑬⑭⑮式， L 应满足条件为 $L \geq \frac{152}{125} H \quad (16)$

10、2020 全国 3 卷第 12 题

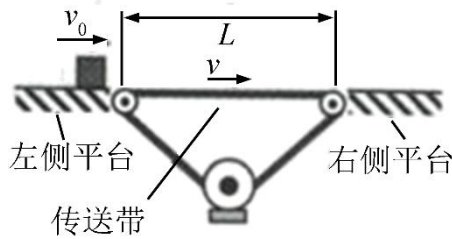
12. 如图，相距 $L = 11.5 \text{ m}$ 的两平台位于同一水平面内，二者之间用传送带相接。传送带向右匀速运动，其速度的大小 v 可以由驱动系统根据需要设定。质量 $m = 10 \text{ kg}$ 的载物箱（可视为质点），以初速度 $v_0 = 5.0 \text{ m/s}$ 自左侧平台滑上传送带。载物箱与传送带间的动摩擦因数 $\mu = 0.10$ ，

重力加速度取 $g=10\text{m/s}^2$ 。

(1)若 $v=4.0\text{ m/s}$ ，求载物箱通过传送带所需的时间；

(2)求载物箱到达右侧平台时所能达到的最大速度和最小速度；

(3)若 $v=6.0\text{m/s}$ ，载物箱滑上传送带 $\Delta t=\frac{13}{12}\text{s}$ 后，传送带速度突然变为零。求载物箱从左侧平台向右侧平台运动的过程中，传送带对它的冲量。



【答案】(1)2.75s；(2) $v_1=\sqrt{2}\text{m/s}$ ， $v_2=4\sqrt{2}\text{m/s}$ ；(3)0

【解析】(1)传送带的速度为 $v=4.0\text{m/s}$ 时，载物箱在传送带上先做匀减速运动，设其加速度为 a ，由牛顿第二定律有： $\mu mg=ma$ ①

设载物箱滑上传送带后匀减速运动的距离为 x_1 ，由运动学公式有 $v^2-v_0^2=-2ax_1$ ②

联立①②式，代入题给数据得 $x_1=4.5\text{m}$ ； ③

因此，载物箱在到达右侧平台前，速度先减小至 v ，然后开始做匀速运动，设载物箱从滑上传送带到离开传送带所用的时间为 t_1 ，做匀减速运动所用的时间为 t_2 ，由运动学公式有

$$v=v_0-at_2 \quad ④$$

$$t_1=t_2+\frac{L-x_1}{v} \quad ⑤$$

联立①③④⑤式并代入题给数据有 $t_1=2.75\text{s}$ ； ⑥

(2)当载物箱滑上传送带后一直做匀减速运动时，到达右侧平台时的速度最小，设为 v_1 ，当载物箱滑上传送带后一直做匀加速运动时，到达右侧平台时的速度最大，设为 v_2 。由动能定理有

$$-\mu mgL=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_0^2 \quad ⑦$$

$$\mu mgL=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_0^2 \quad ⑧$$

由⑦⑧式并代入题给条件得 $v_1=\sqrt{2}\text{m/s}$ ， $v_2=4\sqrt{2}\text{m/s}$ ⑨

(3)传送带的速度为 $v = 6.0\text{m/s}$ 时, 由于 $v_0 < v < v_2$, 载物箱先做匀加速运动, 加速度大小仍 a 。设载物箱做匀加速运动通过的距离为 x_2 , 所用时间为 t_3 , 由运动学公式有

$$v = v_0 + at_3 \quad (10)$$

$$v^2 - v_0^2 = 2ax_2 \quad (11)$$

联立①⑩⑪式并代入题给数据得 $t_3 = 1.0\text{s}$ ⑫ $x_2 = 5.5\text{m}$ ⑬

因此载物箱加速运动 1.0s 、向右运动 5.5m 时, 达到与传送带相同的速度。此后载物箱与传送带共同匀速运动 $(\Delta t - t_3)$ 的时间后, 传送带突然停止, 设载物箱匀速运动通过的距离为

x_3 有 $x_3 = v(\Delta t - t_3)$ ⑭

由①⑫⑬⑭式可知 $\frac{1}{2}mv^2 > \mu mg(L - x_2 - x_3)$

即载物箱运动到右侧平台时速度大于零, 设为 v_3 , 由运动学公式有,

$$v_3^2 - v^2 = -2a(L - x_2 - x_3) \quad (15)$$

设载物箱通过传送带的过程中, 传送带对它的冲量为 I , 由动量定理有 $I = m(v_3 - v_0)$

代题给数据得 $I = 0$

11、2020 江苏省卷第 5 题

5.中欧班列在欧亚大陆开辟了“生命之路”, 为国际抗疫贡献了中国力量.某运送防疫物资的班列由 40 节质量相等的车厢组成, 在车头牵引下, 列车沿平直轨道匀加速行驶时, 第 2 节对第 3 节车厢的牵引力为 F .若每节车厢所受摩擦力、空气阻力均相等, 则倒数第 3 节对倒数第 2 节车厢的牵引力

为 ()

- A. F B. $\frac{19F}{20}$ C. $\frac{F}{19}$ D. $\frac{F}{20}$

【答案】5. C

【解析】第 2 节对第 3 节车厢的牵引力为 $F = 38ma$

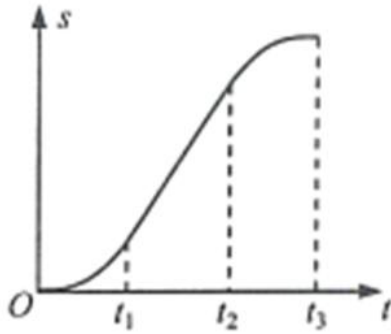
倒数第 3 节对倒数第 2 节车厢的牵引力 $F' = 2ma$

所以 $\frac{F'}{F} = \frac{1}{19}$, C 正确。

12、2020 山东卷第 1 题

1.一质量为 m 的乘客乘坐竖直电梯下楼, 其位移 s 与时间 t 的关系图像如图所示。乘客所受

支持力的大小用 F_N 表示，速度大小用 v 表示。重力加速度大小为 g 。以下判断正确的是
()



- A. $0 \sim t_1$ 时间内, v 增大, $F_N > mg$ B. $t_1 \sim t_2$ 时间内, v 减小, $F_N < mg$
C. $t_2 \sim t_3$ 时间内, v 增大, $F_N < mg$ D. $t_2 \sim t_3$ 时间内, v 减小, $F_N > mg$

【答案】D

【解析】A. 由于 $s-t$ 图像的斜率表示速度, 可知在 $0 \sim t_1$ 时间内速度增加, 即乘客的加速度向下, 处于失重状态, 则 $F_N < mg$, 选项 A 错误;

B. 在 $t_1 \sim t_2$ 时间内速度不变, 即乘客的匀速下降, 则 $F_N = mg$, 选项 B 错误;

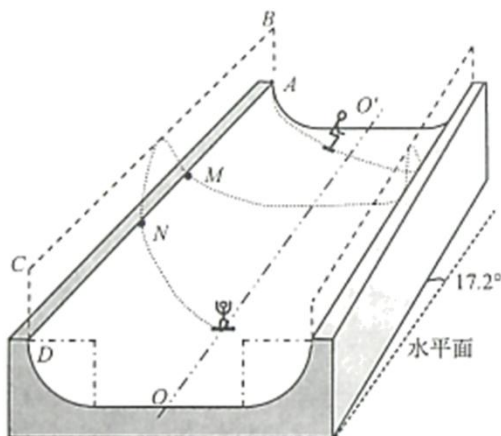
CD. 在 $t_2 \sim t_3$ 时间内速度减小, 即乘客的减速下降, 超重, 则 $F_N > mg$, 选项 C 错误, D 正确; 故选 D。

13、2020 山东卷第 16 题

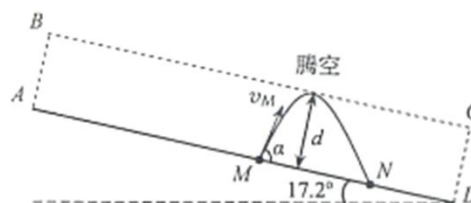
16. 单板滑雪 U 型池比赛是冬奥会比赛项目, 其场地可以简化为如图甲所示的模型: U 形滑道由两个半径相同的四分之一圆柱面轨道和一个中央的平面直轨道连接而成, 轨道倾角为 17.2° 。某次练习过程中, 运动员以 $v_M = 10 \text{ m/s}$ 的速度从轨道边缘上的 M 点沿轨道的竖直切面 ABCD 滑出轨道, 速度方向与轨道边缘线 AD 的夹角 $\alpha = 72.8^\circ$, 腾空后沿轨道边缘的 N 点进入轨道。图乙为腾空过程左视图。该运动员可视为质点, 不计空气阻力, 取重力加速度的大小 $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\sin 72.8^\circ = 0.96$, $\cos 72.8^\circ = 0.30$ 。求:

(1) 运动员腾空过程中离开 AD 的距离的最大值 d ;

(2) M、N 之间的距离 L 。



图甲



图乙

【答案】(1)4.8 m; (2)12 m

【解析】(1)在 M 点, 设运动员在 $ABCD$ 面内垂直 AD 方向的分速度为 v_1 , 由运动的合成与分解规律得

$$v_1 = v_M \sin 72.8^\circ \quad (1)$$

设运动员在 $ABCD$ 面内垂直 AD 方向的分加速度为 a_1 , 由牛顿第二定律得

$$mg \cos 17.2^\circ = ma_1 \quad (2)$$

由运动学公式得 $d = \frac{v_1^2}{2a_1} \quad (3)$

联立①②③式, 代入数据得 $d = 4.8 \text{ m} \quad (4)$

(2)在 M 点, 设运动员在 $ABCD$ 面内平行 AD 方向的分速度为 v_2 , 由运动的合成与分解规律得

$$v_2 = v_M \cos 72.8^\circ \quad (5)$$

设运动员在 $ABCD$ 面内平行 AD 方向的分加速度为 a_2 , 由牛顿第二定律得

$$mg \sin 17.2^\circ = ma_2 \quad (6)$$

设腾空时间为 t , 由运动学公式得 $t = \frac{2v_1}{a_1} \quad (7)$

$$L = v_2 t + \frac{1}{2} a_2 t^2 \quad (8)$$

联立①②⑤⑥⑦⑧式, 代入数据得 $L = 12 \text{ m} \quad (9)$

14、2020 上海等级考第 15 题

15、质量 $m = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 的质子在粒子加速器中被加速为动能 $E_k = 1.6 \times 10^{-10} \text{ J}$. 某同学根据 $E_k = \frac{1}{2} mv^2$ 算出质子的速度 $4.38 \times 10^8 \text{ m/s}$ (计算无误)。此速度值不合理之处是_____，说明理由_____。

[答案]速度超过光速，牛顿运动定律只能适用于宏观、低速的情况

【解析】速度接近或等于光速， $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 不再适用。速度超过光速也不可能。

[考察知识]牛顿运动定律的应用。

[核心素养]科学思维(数据分析和质疑能力，这个能力的考察是以往三维目标里没有的!)

15、2020 年 7 月浙江第 1 题

1. 国际单位制中电荷量的单位符号是 C，如果用国际单位制基本单位的符号来表示，正确的是 ()

A. $F \cdot V$

B. $A \cdot s$

C. J/V

D.

$N \cdot m/V$

【答案】B

【解析】根据电荷量公式 $q=It$ 可知，电流 I 的单位是 A，时间 t 的单位是 s，故用国际单位制的基本单位表示电量的单位为 $A \cdot s$ ，故 B 正确，ACD 错误。故选 B。

16、2020 浙江第 20 题

20. 如图 1 所示，有一质量 $m = 200\text{kg}$ 的物件在电机的牵引下从地面竖直向上经加速、匀速、匀减速至指定位置。当加速运动到总位移的 $\frac{1}{4}$ 时开始计时，测得电机的牵引力随时间变化的 $F-t$ 图线如图 2 所示， $t = 34\text{s}$ 末速度减为 0 时恰好到达指定位置。若不计绳索的质量和空气阻力，求物件：

(1) 做匀减速运动的加速度大小和方向；

(2) 匀速运动的速度大小；

(3) 总位移的大小。



图 1

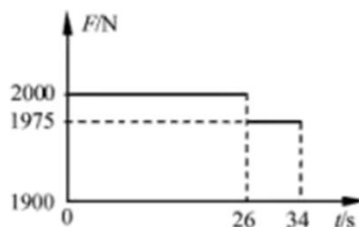


图 2

【答案】(1) 0.125m/s^2 ，竖直向下；(2) 1m/s ；(3) 40m

【解析】(1) 由图 2 可知 0~26s 内物体匀速运动，26s~34s 物体减速运动，在减速运动过程根据牛顿第二定律有 $mg - F_T = ma$

根据图 2 得此时 $F_T=1975\text{N}$ ，则有 $a = g - \frac{F_T}{m} = 0.125\text{m/s}^2$ ，方向竖直向下。

(2)结合图 2 根据运动学公式有 $v = at_2 = 0.125 \times (34 - 26)\text{m/s} = 1\text{m/s}$

(3)根据图像可知匀速上升的位移 $h_1 = vt_1 = 1 \times 26\text{m} = 26\text{m}$

匀减速上升的位移 $h_2 = \frac{v}{2}t_2 = \frac{1}{2} \times 8\text{m} = 4\text{m}$

匀加速上升的位移为总位移的 $\frac{1}{4}$ ，则匀速上升和减速上升的位移为总位移的 $\frac{3}{4}$ ，则有

$$h_1 + h_2 = \frac{3}{4}h$$

所以总位移为 $h=40\text{m}$ 。

17. 2019 年全国 2 卷 16 题. 物块在轻绳的拉动下沿倾角为 30° 的固定斜面向上匀速运动，

轻绳与斜面平行。已知物块与斜面之间的动摩擦因数为 $\frac{\sqrt{3}}{3}$ ，重力加速度取 10m/s^2 。若

轻绳能承受的最大张力为 $1\ 500\ \text{N}$ ，则物块的质量最大为

A. 150kg B. $100\sqrt{3}\ \text{kg}$ C. $200\ \text{kg}$ D. $200\sqrt{3}\ \text{kg}$

【答案】16. A

【解析】牛顿定律 $F_m = mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta$ ，代入数据得 $m = 150\text{kg}$ ，A 正确。

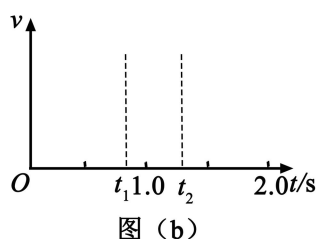
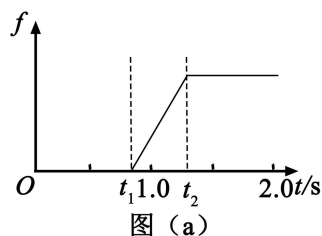
18.2019 年全国 2 卷 25 题. (20 分)

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 $100\ \text{m}$ 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 $1\ \text{s}$ 内的位移为 $24\ \text{m}$ ，第 $4\ \text{s}$ 内的位移为 $1\ \text{m}$ 。

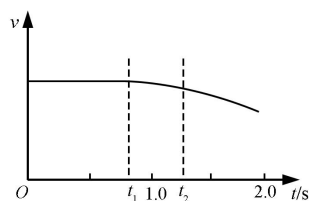
(1) 在图 (b) 中定性画出从司机发现警示牌到刹车系统稳定工作后汽车运动的 $v-t$ 图线；

(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

$$v_3 = v_2 - 3a\Delta t \quad \text{⑤}$$

$$2as_4 = v_3^2 \quad \text{⑥}$$

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

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

$$\text{或者 } a = \frac{288}{25} \text{ m/s}^2, \quad v_2 = 29.76 \text{ m/s} \quad \text{⑧}$$

(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

$$f_1 = ma \quad \text{⑨}$$

在 $t_1 \sim t_2$ 时间内，阻力对汽车冲量的大小为

$$I = \frac{1}{2} f_1 (t_2 - t_1) \quad \text{⑩}$$

由动量定理有

$$I' = mv_1 - mv_2 \quad \text{⑪}$$

由动量定理，在 $t_1 \sim t_2$ 时间内，汽车克服阻力做的功为

$$W = \frac{1}{2} mv_1^2 - \frac{1}{2} mv_2^2 \quad \text{⑫}$$

联立⑦⑨⑩⑪⑫式，代入已知数据解得

$$v_1 = 30 \text{ m/s} \quad \text{⑬}$$

$$W = 1.16 \times 10^5 \text{ J} \quad \text{⑭}$$

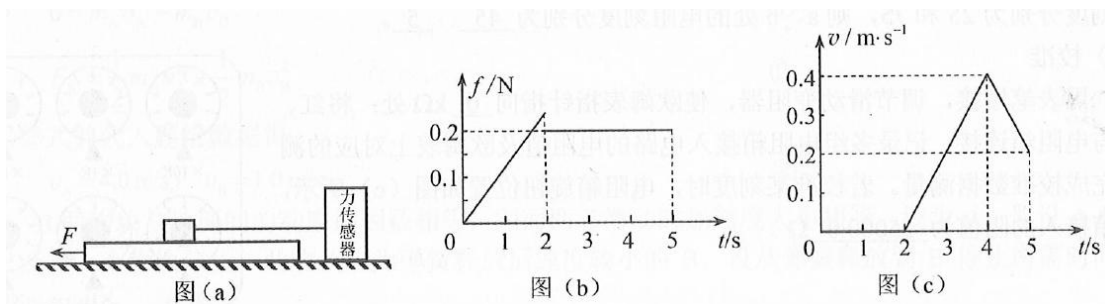
从司机发现警示牌到汽车停止，汽车行驶的距离 s 约为

$$s = v_1 t_1 + \frac{1}{2} (v_1 + v_2) (t_2 - t_1) + \frac{v_2^2}{2a} \quad \text{⑮}$$

联立⑦⑬⑮，代入已知数据解得

$$s = 87.5 \text{ m} \quad \text{⑯}$$

19. 2019年全国3卷20题. 如图 (a)，物块和木板叠放在实验台上，物块用一不可伸长的细绳与固定在实验台上的力传感器相连，细绳水平。 $t=0$ 时，木板开始受到水平外力 F 的作用，在 $t=4 \text{ s}$ 时撤去外力。细绳对物块的拉力 f 随时间 t 变化的关系如图 (b) 所示，木板的速度 v 与时间 t 的关系如图 (c) 所示。木板与实验台之间的摩擦可以忽略。重力加速度取 $g=10 \text{ m/s}^2$ 。由题给数据可以得出



- A. 木板的质量为1 kg
 B. 2 s~4 s内, 力 F 的大小为0.4 N
 C. 0~2 s内, 力 F 的大小保持不变
 D. 物块与木板之间的动摩擦因数为0.2

【答案】20. AB

【解析】 $t=4\text{s}\sim 5\text{s}$, 外力撤去, 只受摩擦力 $f = 0.2\text{N}$, 从图象知, 加速度 $a = 0.2\text{m/s}^2$.

根据牛顿定律

$$f = ma, \text{得 } m = 1\text{kg}, \text{A正确};$$

2 s~4 s内, 从图象知, 加速度 $a = 2\text{m/s}^2$, 根据牛顿定律

$$F - f = ma, \text{得 } F = 0.4\text{N}, \text{B正确};$$

20. 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 $f = kr^2v^2$, 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 $a = g - \frac{kr^2v^2}{m}$

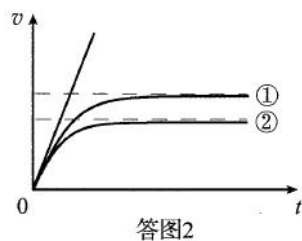
当加速度为零时，雨滴趋近于最大速度 v_m

雨滴质量 $m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$

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

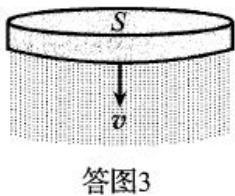
b. ①

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。

21. 2019 年天津卷 9 (1) 题. 第 26 届国际计量大会决定, 质量单位“千克”用普朗克常量 h 定义, “国际千克原器”于 2019 年 5 月 20 日正式“退役” h 的数值为 6.63×10^{-34} , 根据能量子定义, h 的单位是_____, 该单位用国际单位制中的力学基本单位表示, 则为_____。

【答案】 9. (18 分)

(1) $\text{J} \cdot \text{s}$ $\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}$

【解析】 根据 $\varepsilon = h\nu$, 得 $h = \frac{\varepsilon}{\nu}$, 所以 h 的单位是 $\frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{J} \cdot \text{s}$ 。

根据 $W = Fx$ 和 $F = ma$, $1\text{J} = 1\text{N} \cdot \text{m} = 1\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 \cdot \text{m} = 1\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$, 所以 $1\text{J} \cdot \text{s} = 1\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}$

22. 2019 年天津卷 10 题. (16 分) 完全由我国自行设计、建造的国产新型航空母舰已完成多次海试, 并取得成功。航母上的舰载机采用滑跃式起飞, 故甲板是由水平甲板和上翘甲板两部分构成, 如图 1 所示。为了便于研究舰载机的起飞过程, 假设上翘甲板 BC 是与水平甲板 AB 相切的一段圆弧, 示意如图 2, AB 长 $L_1 = 150\text{ m}$, BC 水平投影 $L_2 = 63\text{ m}$, 图中 C 点切线方向与水平方向的夹角 $\theta = 12^\circ$ ($\sin 12^\circ \approx 0.21$)。若舰载机从 A 点由静止开始做匀加速直线运动, 经 $t = 6\text{ s}$ 到达 B 点进入 BC 。已知飞行员的质量 $m = 60\text{ kg}$, $g = 10\text{ m/s}^2$ 。



图 1

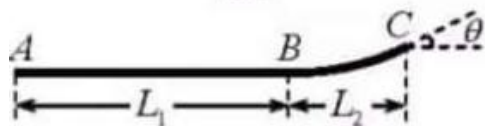


图 2

求: (1) 舰载机水平运动的过程中, 飞行员受到的水平力所做功 W ;
(2) 舰载机刚进入 BC 时, 飞行员受到竖直向上的压力 F_N 多大。

【答案】 10. (16 分)

(1) 舰载机由静止开始做匀加速直线运动, 设其刚进入上翘甲板时的速度为 v , 则有

$$\frac{v}{2} = \frac{L_1}{t} \quad (1)$$

根据动能定理，有

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - 0 \quad (2)$$

联立①②式，代入数据，得

$$W = 7.5 \times 10^4 \text{ J} \quad (3)$$

(2) 设上翘甲板所对应的圆弧半径为 R ，根据几何关系，有

$$L_2 = R \sin \theta \quad (4)$$

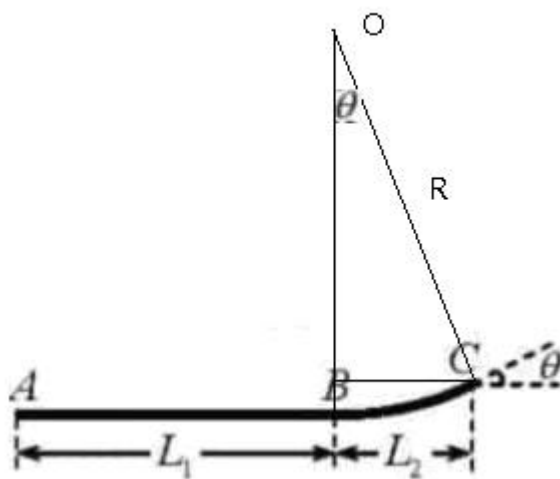
由牛顿第二定律，有

$$F_N - mg = m \frac{v^2}{R} \quad (5)$$

联立①④⑤式，代入数据，得

$$F_N = 1.1 \times 10^3 \text{ N} \quad (6)$$

【解析】求圆弧半径为 R ，如下图， $R \sin \theta = L_2$ ，所以 $R = \frac{L_2}{\sin \theta} = \frac{63}{0.12} \text{ m} = 300 \text{ m}$



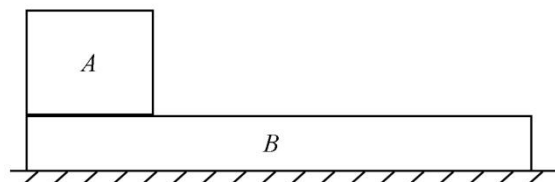
另外解法： $L_1 = \frac{1}{2}at^2$ ，得 $a = \frac{2L_1}{t^2} = \frac{2 \times 150}{36} \text{ m/s}^2 = \frac{25}{3} \text{ m/s}^2$

$$v^2 = 2aL_1 = 2 \times \frac{25}{3} \times 150 (\text{m/s})^2 = 2500 (\text{m/s})^2$$

根据动能定理，功 $W = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 60 \div 2500 J = 7.5 \times 10^4 J$

23. 2019年江苏卷15题. (16分) 如图所示，质量相等的物块A和B叠放在水平地面上，左边缘对齐. A与B、B与地面间的动摩擦因数均为 μ . 先敲击A，A立即获得水平向右的初速度，在B上滑动距离L后停下. 接着敲击B，B立即获得水平向右的初速度，A、B都向右运动，左边缘再次对齐时恰好相对静止，此后两者一起运动至停下. 最大静摩擦力等于滑动摩擦力，重力加速度为g. 求：

- (1) A被敲击后获得的初速度大小 v_A ;
- (2) 在左边缘再次对齐的前、后，B运动加速度的大小 a_B 、 a_B' ;
- (3) B被敲击后获得的初速度大小 v_B .



【解答】15. (1) 由牛顿运动定律知，A加速度的大小 $a_A = \mu g$

匀变速直线运动 $2a_AL = v_A^2$

解得 $v_A = \sqrt{2\mu gL}$

(2) 设A、B的质量均为 m

对齐前，B所受合外力大小 $F = 3\mu mg$

由牛顿运动定律 $F = ma_B$ ，得 $a_B = 3\mu g$

对齐后，A、B所受合外力大小 $F' = 2\mu mg$

由牛顿运动定律 $F' = 2ma_B'$ ，得 $a_B' = \mu g$

(3) 经过时间 t ，A、B达到共同速度 v ，位移分别为 x_A 、 x_B ，A加速度的大小等于 a_A

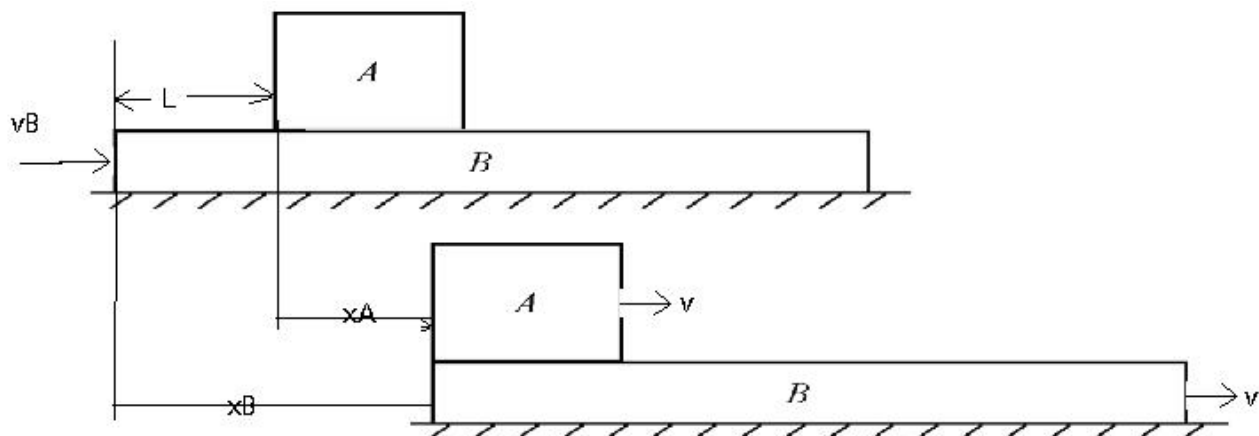
则 $v = a_At$ ， $v = v_B - a_Bt$

$x_A = \frac{1}{2}a_At^2$ ， $x_B = v_Bt - \frac{1}{2}a_Bt^2$

且 $x_B - x_A = L$

解得 $v_B = 2\sqrt{2\mu gL}$

【解析】从B获得速度 v_B 到A、B速度相等并且A到B的边缘，示意图如下：

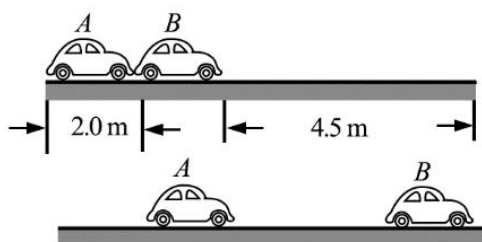


从上图可以看出： $x_B - x_A = L$

24. 2018 年全国卷第 24 题

24. (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 $2.0 \times 10^3\text{ kg}$ 和 $1.5 \times 10^3\text{ kg}$ ，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

$$v_B'^2 = 2a_B s_B \quad \text{②}$$

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

$$\mu m_A g = m_A a_A \quad ④$$

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

$$v_A'^2 = 2a_A s_A \quad ⑤$$

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

$$m_A v_A = m_A v_A' + m_B v_B' \quad ⑥$$

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

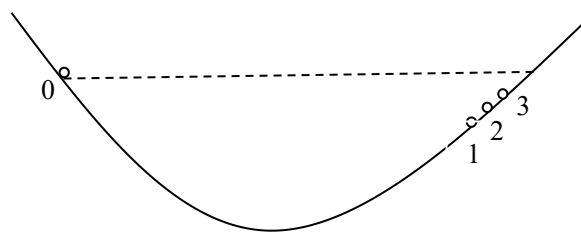
25. 2018 年北京第 19 题. 伽利略创造的把实验

假设和逻辑推理相结合的科学方法，有力地促进了人类科学认识的发展。利用如图所示的装置做如下实验：小球从左侧斜面上的 O 点由静止释放后沿斜面向下运动，并沿右侧斜面上升。

斜面上先后铺垫三种粗糙程度逐渐减低的材料

时，小球沿右侧斜面上升到的最高位置依次为 1、2、3。根据三次实验结果的对比，可以得到的最直接的结论是

- A. 如果斜面光滑，小球将上升到与 O 点等高的位置
- B. 如果小球不受力，它将一直保持匀速运动或静止状态
- C. 如果小球受到力的作用，它的运动状态将发生改变
- D. 小球受到的力一定时，质量越大，它的加速度越小



【解析】从实验可以得到，斜面的阻力越小，小球上升的位置越高，如果不受阻力，就会升到相等的高度，其它选项都不是由实验直接得到的，A 正确，BCD 错误。

【答案】A

26. 2018 年北京第 20 题. 根据高中所学知识可知，做自由落体运动的小球，将落在正下方位置。但实际上，赤道上方 200m 处无初速下落的小球将落在正下方位置偏东约 6cm 处，这一现象可解释为，除重力外，由于地球自转，下落过程小球还受到一个水平向东的“力”，

该“力”与竖直方向的速度大小成正比，现将小球从赤道地面竖直上抛，考虑对称性，上升过程该“力”水平向西，则小球

- A. 到最高点时，水平方向的加速度和速度均为零
- B. 到最高点时，水平方向的加速度和速度均不为零
- C. 落地点在抛出点东侧
- D. 落地点在抛出点西侧

【答案】20. D

【解析】到最高点时，水平方向的加速度为零，因为该“力”与竖直方向的速度大小成正比。速度不为零，因为上升过程该“力”水平向西。

因为上升过程向西加速运动，则下落过程向西减速运动，所以落地点在抛出点西侧。
