

2024-2025 学年物理竞赛能力培优精练

专题 08 惯性力

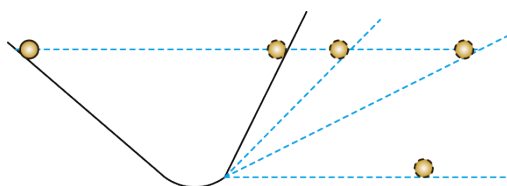
(2024·昌平竞赛) 请阅读下述文字, 完成下列小题。

牛顿运动定律包括牛顿第一定律、牛顿第二定律和牛顿第三定律, 由牛顿在 1687 年于《自然哲学的数学原理》一书中总结提出。牛顿运动定律在力学乃至整个物理学中占有重要的地位, 它是经典力学的基础。

1. 理想实验有时能更深刻地反映自然规律。伽利略设计了如图所示的理想实验, 步骤如下:

- ①减小第二个斜面的倾角, 小球在这个斜面上仍要达到原来的高度, 将运动更长的距离;
- ②两个对接的斜面, 让静止的小球沿一个斜面滚下, 小球将滚上另一个斜面;
- ③如果没有摩擦, 小球将上升到原来释放的高度;
- ④继续减小第二个斜面的倾角, 最后使它成为水平面, 小球将沿水平面持续运动。

在上述步骤中, 有的属于可靠的事实, 有的属于理想化的推论。下列有关事实和推论的分类和排序均正确的是 ()



- A. ① (事实), ②③④ (推论) B. ② (事实), ①③④ (推论)
C. ② (事实), ③①④ (推论) D. ③ (事实), ①②④ (推论)

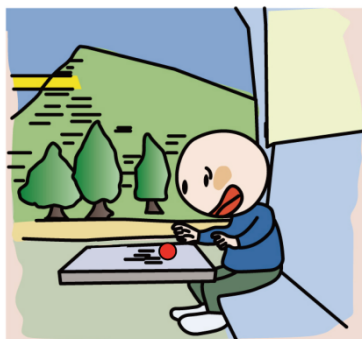
2. 下列说法不正确的是 ()

- A. 力是使物体产生加速度的原因, 所以先有作用力, 然后才有加速度
B. 要使物体获得较大的加速度, 除了增大作用力外, 还要使物体的质量尽可能小
C. 加速度的方向与物体所受合外力的方向相同, 也与物体速度变化的方向相同
D. 物体同时受到几个力的作用, 则物体的加速度等于各个力单独作用时产生的加速度的矢量和

3. 下列说法正确的是 ()

- A. 人走路时, 只有地对脚的作用力大于脚蹬地的作用力, 人才能前进
B. 以卵击石, 石头无恙而鸡蛋碎了, 说明石头对鸡蛋的作用力更大
C. 甲、乙两人拔河, 甲获胜, 说明甲对乙的拉力大于乙对甲的拉力
D. 运动员从地面上竖直跳起, 说明地面对运动员的支持力大于运动员自身重力

4. 生活中常会出现这样的情景：在匀速行驶的火车上，较光滑桌面上的苹果保持静止；但当火车加速时，桌面上的苹果却动起来了，如图所示。此时苹果在水平方向的合外力为零，为什么苹果获得加速度动起来了呢？这与牛顿运动定律似乎矛盾了。原来，牛顿运动定律是否成立，与参考系的选择有关。牛顿运动定律成立的参考系称为惯性系，牛顿运动定律不成立的参考系则称为非惯性系。在研究地面物体的运动时，一般将地面视为惯性系，相对地面做匀速直线运动的其他参考系也可视为惯性系。若选车厢为参考系，当火车匀速行驶时，车厢是惯性系，所以苹果保持静止；当火车加速时，车厢则是非惯性系，此时牛顿运动定律不成立。其实，在非惯性系中，需要引入“惯性力”来修正牛顿运动定律：有一个力 F' 作用于苹果，其方向与火车相对地面的加速度 a 的方向相反，其大小等于苹果质量 m 与加速度 a 的乘积，即 $F' = -ma$ 。修正后的牛顿运动定律既适用于惯性系，也适用于非惯性系。下列说法中不正确的是（ ）



- A. 修正前的牛顿运动定律只适用于惯性系
B. 在车厢中的观察者看来，苹果运动的方向与车厢的加速度方向相同
C. 只有在非惯性系中才能观测到“惯性力”
D. “惯性力”不是物体实际受到的力，“惯性力”不存在反作用力

【答案】1. C 2. A 3. D 4. B

【解析】1. 根据实验事实②得出实验结果：“上升的高度应略低于原来高度”→推论：如果没有摩擦，小球将上升到原来释放的高度→推论：减小第二个斜面的角度，小球在这斜面上仍要达到原来的高度→推论：继续减小第二个斜面的倾角，最后使它成水平面，小球会沿水平面一直运动下去。这是以事实为基础，一步步推论过程。

故选 C。

2. A. 根据牛顿第二定律的瞬时性可知，加速度和力是瞬时对应关系，即加速度与力是同时产生、同时变化、同时消失的，故 A 错误；

B. 根据牛顿第二定律 $F=ma$ 可知要使物体获得较大的加速度，除了增大作用力外，还要使物体的质量尽可能小，故 B 正确；

C. 加速度的方向总与合外力方向相同，也与物体速度变化的方向相同，故 C 正确；

D. 根据牛顿第二定律的独立性可知，当物体受到几个力的作用时，可把物体的加速度看成是各个力单独作用时产生的各个加速度的矢量和，故 D 正确。

本题选不正确的，故选 A。

3. A. 地对脚的力和脚蹬地的力是一对相互作用力，其大小相等，方向相反，A 错误；

B. 鸡蛋对石头的力和石头对鸡蛋的力是相互作用力，大小相等，但鸡蛋壳的抗撞击力较差，所以鸡蛋碎了，B 错误；

C. 甲乙两队拔河比赛，甲对乙的力和乙对甲的力是相互作用力，大小相等，但甲队胜是因为甲队受到地面的摩擦力大于乙队受到地面的摩擦力，C 错误；

D. 运动员能够从地面跳起是因为地面给运动员的力大于运动员自身的重力，D 正确。

故选 D。

4. A. 修正前的牛顿运动定律只适用于惯性系，A 正确；

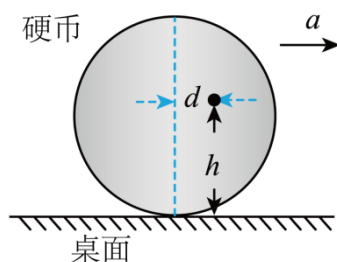
B. 在车厢中的观察者看来，苹果受到与火车相对地面的加速度 a 的方向相反的“惯性力”而运动，因此苹果运动的方向与车厢的加速度方向相反，B 错误；

C. 只有在非惯性系中才能观测到“惯性力”，C 正确；

D. “惯性力”不是物体实际受到的力，“惯性力”不存在反作用力，D 正确。

本题选不正确的，故选 B。

5. (2024 • 全国竞赛) 乘坐高铁时将硬币在桌面上立起来，已成为旅途中一项有趣的活动。假设硬币为质量分布不均匀的圆盘；硬币边缘 P 点与桌面接触，硬币重心在过 P 点的直径的右侧，它到此直径的距离为 d ，到桌面的距离为 h 。重力加速度大小为 g 。



图a

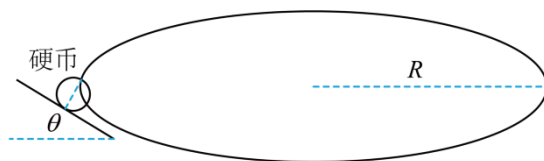
(1) 如图 a，高铁沿水平直线轨道做匀加速运动，该硬币竖直立在此高铁内的水平桌面上，硬币面和加速度方向平行。

(1. 1) 若硬币相对于桌面静止，求高铁运动的加速度 a ；

(1. 2) 若硬币与桌面的静摩擦因数为 μ ，当加速度超过多大时，硬币将滑动。

(2) 如图 b，高铁内有一倾角为 θ 的桌面，其横截面为楔形且竖直；硬币面与此横截面平行，硬币边缘

P 点仍与桌面接触，硬币重心仍在过 P 点的直径的右侧。此时高铁在水平圆轨道上匀速运行，硬币面过轨道直径，硬币重心做圆周运动的半径为 R 。已知硬币相对于桌面静止，求



图b

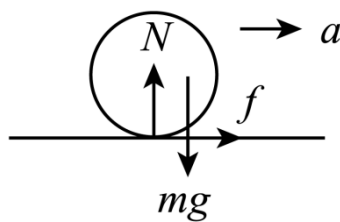
- (2. 1) 高铁在圆轨道上转动的角速度 ω ;
 (2. 2) 硬币与桌面之间的静摩擦因数的最小值。

【答案】(1) (1.1) $\frac{d}{h}g$; (1.2) μg

(2) (2.1) $\sqrt{\frac{g(h\sin\theta + d\cos\theta)}{R(h\cos\theta - d\sin\theta)}}$; (2.2) $\frac{d}{h}$

【详解】(1) (1.1) 如图 a，由牛顿第二定律知，硬币受到的静摩擦力

$$f = ma \quad (1)$$



图a

由力平衡条件知，硬币受到的支撑力

$$N = mg \quad (2)$$

以硬币重心为支点，由力矩平衡条件有

$$fh = Nd \quad (3)$$

由①②③式得

$$a = \frac{d}{h}g \quad (4)$$

(1. 2) 静摩擦力大小满足

$$f \leq \mu N \quad (5)$$

由①②⑤式得

$$a \leq \mu g \quad (6)$$

可见加速度超过 μg 时硬币将滑动。

(2) (2.1) 如图 b ，设高铁在圆轨道上转动的角速度为 ω ，以硬币和桌面的接触点为支点，由力矩平衡条件得

$$mg(h\sin\theta + d\cos\theta) = m\omega^2 R(h\cos\theta - d\sin\theta) \quad (7)$$

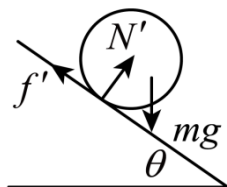


图 b

由(7)式得

$$h\cos\theta - d\sin\theta > 0$$

因此

$$\omega = \sqrt{\frac{g(h\sin\theta + d\cos\theta)}{R(h\cos\theta - d\sin\theta)}} \quad (8)$$

(2.2) 仍如图 b ，设硬币受到桌面的支撑力为 N' ，静摩擦力为 f' （解题图中只画了静摩擦力斜向上的情形）。由牛顿第二定律有

$$N'\sin\theta - f'\cos\theta = m\omega^2 R \quad (9)$$

在竖直方向受力平衡，因此有

$$N'\cos\theta + f'\sin\theta = mg \quad (10)$$

由(9)(10)式解得

$$N' = m\omega^2 R\sin\theta + mg\cos\theta \quad (11)$$

$$f' = mg\sin\theta - m\omega^2 R\cos\theta \quad (12)$$

为了保证硬币不往下或往上滑动，应有

$$|f'| \leq \mu N' \quad (13)$$

由(11)(12)(13)式得

$$\mu \geq \left| \frac{g\tan\theta - \omega^2 R}{g + \omega^2 R\tan\theta} \right| \quad (14)$$

(8)代入上式得

$$\mu \geq \frac{d}{h} \quad (15)$$

静摩擦因数 μ 的最小值为 $\frac{d}{h}$ 。

6. (2009 • 全国竞赛) 若不考虑太阳和其他星体的作用, 则地球-月球系统可看成孤立系统。若把地球和月球都看作是质量均匀分布的球体, 它们的质量分别为 M 和 m , 月心-地心间的距离为 R , 万有引力恒量为 G 。学生甲以地心为参考系, 利用牛顿第二定律和万有引力定律, 得到月球相对于地心参考系的加速度为 $a_m = G \frac{M}{R^2}$; 学生乙以月心为参考系, 同样利用牛顿第二定律和万有引力定律, 得到地球相对于月心参考系的加速度为 $a_e = G \frac{M}{R^2}$ 。这二位学生求出的地一月间的相对加速度明显矛盾, 请指出其中的错误, 并分别以地心参考系 (以地心速度作平动的参考系) 和月心参考系 (以月心速度作平动的参考系) 求出正确结果。

【答案】错误见解析, $a_e = G \frac{M+m}{R^2}$

【详解】因地球受月球的引力作用, 月球受地球的引力作用, 它们相对惯性系都有加速度, 故它们都不是惯性参考系。相对非惯性参考系, 牛顿第二定律不成立。如果要在非惯性参考系中应用牛顿第二定律, 必须引入相应的惯性力; 而这两位学生又都未引入惯性力, 所以他们得到的结果原则上都是错误的。

以地心为参考系来求月球的加速度。地心系是非惯性系, 设地球相对惯性系的加速度的大小为 a_e^* , 则由万有引力定律和牛顿第二定律有

$$G \frac{Mm}{R^2} = Ma_e^* \quad (1)$$

加速度的方向指向月球。相对地心参考系, 月球受到惯性力作用, 其大小

$$f_m^* = ma_e^* \quad (2)$$

方向指向地球, 与月球受到的万有引力的方向相同。若月球相对地心系的加速度为 a_m , 则有

$$G \frac{Mm}{R^2} + f_m^* = ma_m \quad (3)$$

由 (1)、(2)、(3) 三式, 得

$$ma_m = G \frac{M+m}{R^2} \quad (4)$$

加速度的方向指向地球。

以月心为参考系来求地球的加速度。月心系也是非惯性系, 设月球相对惯性系的加速度的大小为 a_m^* , 则由万有引力定律和牛顿第二定律有

$$G \frac{Mm}{R^2} = ma_m^* \quad (5)$$

加速度的方向指向地球。相对月心参考系, 地球受到惯性力作用, 惯性力的大小

$$f_M^* = ma_m^*, \quad (6)$$

方向指向月球，与地球受到的万有引力的方向相同。若地球相对月心系的加速度为 a_e ，则有

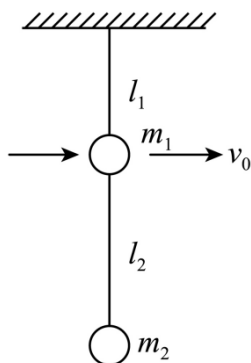
$$G \frac{Mm}{R^2} + f_e^* = ma_e \quad (7)$$

由 (5)、(6)、(7) 三式得

$$a_e = G \frac{M+m}{R^2} \quad (8)$$

加速度的方向指向月球。(4) 式与 (8) 式表明，地球相对月心系的加速度 a_e 与月球相对地心系的加速度 a_m 大小相等（方向相反），与运动的相对性一致。

7. (2019 • 全国竞赛) 长度分别为 l_1 和 l_2 的不可伸长的轻绳悬挂着质量都是 m 的两个小球 (如图所示)，它们处于静止状态，中间的小球 m_1 突然受到水平方向的冲击，瞬间获得水平向右的速度 v_0 。求此时连接 m_2 的绳上的拉力 T 。



【答案】 $T_2 = m_2 \left(g + \frac{v_0^2}{l_1} + \frac{v_0^2}{l_2} \right)$

【详解】 m_1 由于受固定于 O 点的绳 l_1 束缚，将做圆周运动，此时加速度竖直向上，指向 O 点，大小为

$$a_1 = \frac{v_0^2}{l_1}.$$

再以 m_1 为参照，小球 m_2 相对于 m_1 也做圆周运动，但此时 m_1 为非惯性系， m_2 受到竖直向下的惯性力

$$m_2 a_1 = m_2 \frac{v_0^2}{l_1}.$$

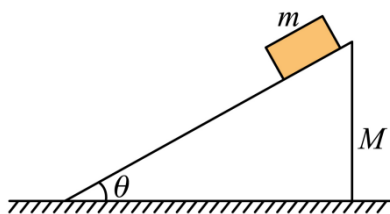
则对 m_2 有 $T_2 - m_2 g - m_2 a_1 = m_2 \frac{v_0^2}{l_2},$

解得 $T_2 = m_2 \left(g + \frac{v_0^2}{l_1} + \frac{v_0^2}{l_2} \right).$

点睛 对习惯于在惯性系中研究动力学问题的中学生而言，此题极具隐蔽性。虽然容易确定 m_2 相对于 m_1 做圆周运动，但却易忽视 m_2 相对于 m_1 的加速度并非 m_2 相对于地的加速度。本题易得到的错误答案：

$$T_2 = m_2 \left(g + \frac{v_0^2}{l_2} \right).$$

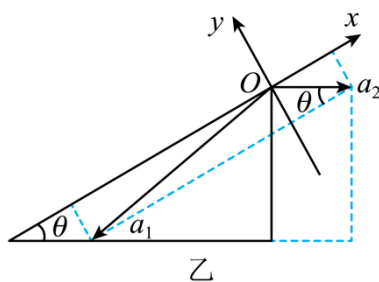
8. (2019 • 全国竞赛) 如图所示，一质量为 M 、倾角为 θ 的光滑斜面放置在光滑的水平面上，另一个质量为 m 的滑块从斜面顶端释放，试求斜面的加速度。



【答案】 $\frac{m \sin \theta \cos \theta}{M + m \sin^2 \theta} g$

【详解】方法 1：设滑块与斜面的加速度分别为 a_1 和 a_2 。

系统的位移矢量示意图如图乙所示。根据运动学规律，加速度矢量 a_1 和 a_2 也具有这样的关系。

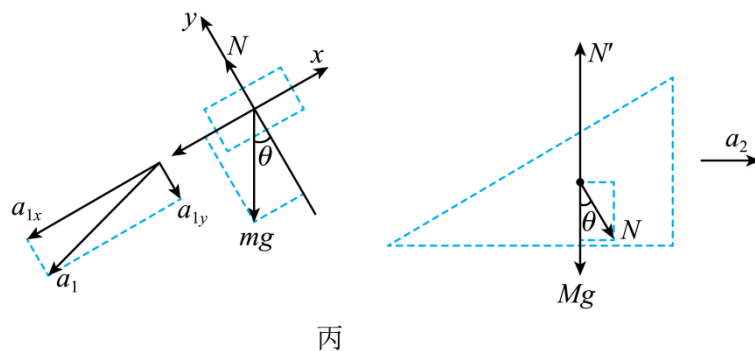


沿斜面方向、垂直斜面方向建 x 、 y 坐标，可得

$$a_{1y} = a_{2y}, \quad (1)$$

$$\text{且 } a_{1y} = a_2 \sin \theta. \quad (2)$$

隔离滑块和斜面，受力图如图丙所示。



对滑块，列 y 方向隔离方程，有

$$mg \cos \theta - N = ma_{1y}. \quad (3)$$

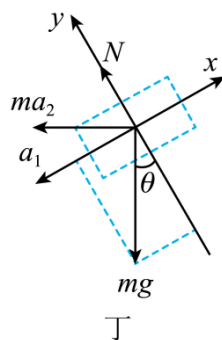
对斜面，仍沿合加速度 a_2 方向列方程，有

$$N \sin \theta = Ma_2. \quad (4)$$

解①②③④式即可得 $a_2 = \frac{m \sin \theta \cos \theta}{M + m \sin^2 \theta} g$.

方法 2 设滑块相对于斜面及斜面对地的加速度分别为 a_1 和 a_2 .

以斜面为参照，引入惯性力，则滑块的受力分析如图丁所示. 建立图丁所示的坐标，有

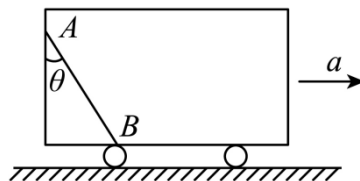


$$N + ma_2 \sin \theta - mg \cos \theta = 0.$$

同时，对斜面有 $N \sin \theta = Ma_2$.

联立上述两式可得 $a_2 = \frac{m \sin \theta \cos \theta}{M + m \sin^2 \theta} g$.

9. (2019 • 全国竞赛) 如图所示，在以一定加速度 a 行驶的车厢内，有一长为 l ，质量为 m 的棒 AB 靠在光滑的后壁上，棒与车箱底之间的动摩擦因数为 μ . 为了使棒不滑动，棒与竖直平面所成的夹角 θ 应在什么范围内？



【答案】 $\theta_{\min} = \arctan \frac{a - 2\mu g}{g}$

【详解】 如以车厢为参考系，引入惯性力后，可以把棒看成处于平衡状态，惯性力的作用点在棒的重心处，求 θ 的最大值时，棒 AB 的受力如图乙所示，这时 B 端所受摩擦力的方向水平向左，且达最大静摩擦力。以 A 点为轴，根据力矩平衡条件有

$$ma \frac{l}{2} \cos \theta + fl \cos \theta + mg \frac{l}{2} \sin \theta$$

$$= N_2 l \sin \theta .$$

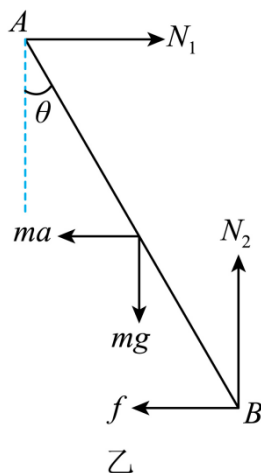
又 $N_2 = mg$, $f = \mu N_2$,

解得 $\theta_{\max} = \arctan \frac{a + 2\mu g}{g}$.

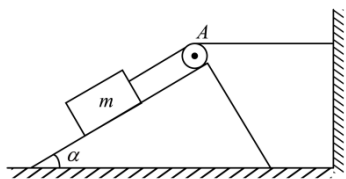
求 θ 的最小值时，棒的 B 端所受摩擦力的方向水平向右，有

$$ma \frac{l}{2} \cos \theta + mg \frac{l}{2} \sin \theta = fl \cos \theta + N_2 l \sin \theta ,$$

可解得 $\theta_{\min} = \arctan \frac{a - 2\mu g}{g}$.



10. (2019 • 全国竞赛) 如图所示，质量为 M 的光滑三角劈，倾角为 α ，在其顶点固定一个小滑轮，摩擦不计。一个质量为 m 的物块用绳子连接，绳子另一端固定在竖直墙上，物块跨过滑轮放在三角劈上。求系统加速运动时三角劈的加速度 a_M 。



【答案】 $a_M = \frac{mg \sin \alpha}{M + 2m(1 - \cos \alpha)}$

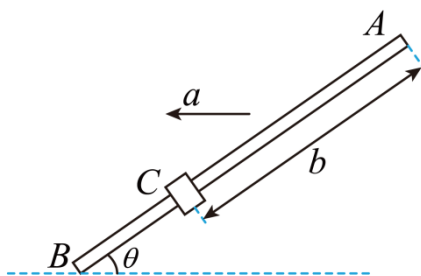
【详解】设绳中的张力为 T ， m 相对于 M 的加速度为 a' ，由几何关系易知 $a' = a_M$ 。

对 m ，以 M 为参照（非惯性系），有 $mg \sin \alpha + ma_M \cos \alpha - T = ma'$ 。

对 m 与 M 构成的系统，在水平方向上，有 $T = Ma_M + m(a_M - a' \cos \alpha)$ 。

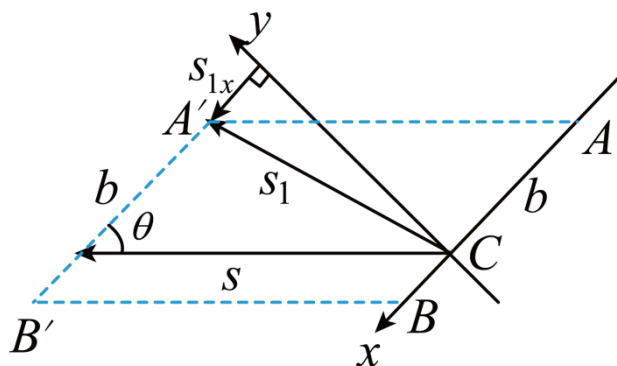
解得 $a_M = \frac{mg \sin \alpha}{M + 2m(1 - \cos \alpha)}$ 。

11. (2019 • 全国竞赛) 如图所示，与水平面成 θ 角的棒上有一滑套 C ，可以无摩擦地在棒上滑动，开始时与棒的 A 端相距 b ，相对棒静止。当棒保持倾角 θ 不变地沿水平面做匀加速运动，加速度为 a （且 $a > g \tan \theta$ ）时，求滑套 C 从棒的 A 端滑出所经历的时间。



【答案】 $t = \sqrt{\frac{2b}{a \cos \theta - g \sin \theta}}$

【详解】方法 1 定性绘出符合题意的运动过程图，如图所示。



s 表示棒的位移， s_1 表示滑套的位移。沿棒与垂直棒建立直角坐标后， s_{1x} 表示 s_1 在 x 方向上的分量。不难看出：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/128035051031007014>