

大题 01 牛顿运动定律与直线运动



直线运动与牛顿运动定律在高中物理中占有重要地位，在历年高考中都有体现，多以选择题、计算题的形式出现。其中与动力学相结合，借助经典的追及相遇、连接体、斜面等模型考察新情境或多过程问题比较常见。



大题典例 匀变速直线运动规律的综合应用

【例 1】（2024·河南·高三校联考阶段练习）在游乐园和主题乐园有一种大型游乐设施跳楼机，这种设施可将乘客载至高空，然后几乎以重力加速度垂直向下跌落。跳楼机在某次工作时，将游客送到塔顶后让其做自由落体运动，当其下落的高度为跳楼机下降总高度的 $\frac{3}{4}$ 时，让跳楼机开始匀减速运动，到达地面时跳楼机的速度刚好减为零。已知整个过程跳楼机运动的总时间为 $t = 11.2\text{s}$ ，取重力加速度为 $g = 9.8\text{m/s}^2$ 。求：

- （1）跳楼机做减速运动的加速度为多少；
- （2）跳楼机做减速运动的时间以及跳楼机下降的总高度分别为多少。（总高度保留三位有效数字）

【答案】（1）大小为 29.4m/s^2 ，方向竖直向上；（2） 2.8s ， $h \approx 461\text{m}$

【详解】（1）假设跳楼机自由下落的时间为 t_1 、减速的时间为 t_2 ，自由下落的高度为 h_1 、减速运动的高度为 h_2 ，减速的加速度大小为 a ，最大速度为 v 。由自由落体运动的规律得

$$v^2 = 2gh_1$$

跳楼机减速时

$$0 - v^2 = -2ah_2$$

由题意

$$h_1 = 3h_2$$

解得

$$a = 3g = 29.4\text{m/s}^2$$

- （2）由自由落体运动过程有

$$v = gt_1$$

减速运动过程有

$$0 = v - at_2$$

整理可得

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{3}{1}$$

又由题意可知

$$t_1 + t_2 = 11.2\text{s}$$

解得

$$t_1 = 8.4\text{s}、t_2 = 2.8\text{s}$$

跳楼机下降的总高度为

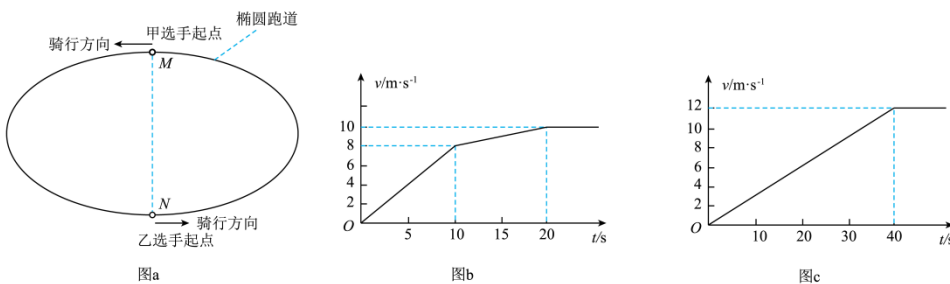
$$h = h_1 + h_2$$

解得

$$h \approx 461\text{m}$$

【例 2】（2024 上·山东济南·高三统考期末）2023 年 10 月 23 日，中国选手夺得杭州亚运会女子 3km 自行车个人追逐赛冠军。杭州亚运会自行车跑道为周长 250m 的椭圆，如图 a 所示，M、N 两点为位于椭圆轨道短轴的两端点，比赛开始后，甲、乙两名选手分别从 M、N 两点同时出发，骑行前两圈过程中甲、乙两名选手的速率随时间变化的规律分别如图 b、图 c 所示。求

- （1）甲选手骑行路程为 82.5m 时的速率；
- （2）甲选手在骑行前两圈过程中能否追上乙选手？（写出必要的计算和文字说明）



【答案】（1） $v = 9\text{m/s}$ ；（2）甲未追上乙

【详解】（1）假设甲骑行 82.5m 时处于 10–20s 的某时刻，0–10s 甲的路程为

$$S_1 = \frac{0+8}{2} \times 10 = 40\text{m} < 82.5\text{m}$$

故假设成立，10–20s 甲的加速度为

$$a_1 = \frac{10-8}{10} = 0.2 \text{ m/s}^2$$

$$S - S_1 = v_1 t - \frac{1}{2} a_1 t^2$$

解得:

$$t = 5 \text{ s}, \quad t = -85 \text{ s} \quad (\text{舍去})$$

由

$$v = v_1 + a_1 t$$

解得

$$v = 9 \text{ m/s}$$

(2) 0-40s 乙的加速度为

$$a_2 = \frac{12-0}{40} = 0.3 \text{ m/s}^2$$

甲乙速率相等需要的时间

$$t_{\text{共}} = \frac{v}{a_2} = \frac{100}{3} \text{ s}$$

甲在这段时间内通过的路程为

$$s_{\text{甲}} = 40 \text{ m} + 90 \text{ m} + v_{\text{甲}}(t_{\text{共}} - 20 \text{ s}) = \frac{790}{3} \text{ m}$$

乙在这段时间内通过的路程为

$$s_{\text{乙}} = \frac{1}{2} a_2 t_{\text{共}}^2 = \frac{500}{3} \text{ m}$$

甲乙速率相等时的路程差为

$$\Delta s = s_{\text{甲}} - s_{\text{乙}} = \frac{290}{3} \text{ m} < 125 \text{ m}$$

故甲未追上乙。

解法指导

1. 处理匀变速直线运动的常用方法

基本公式法、平均速度公式法、位移差公式法、比例法、逆向思维法、图像法等。

2. 两种匀减速直线运动的分析方法

(1) 刹车问题的分析: 末速度为零的匀减速直线运动问题常用逆向思维法, 对于刹车问题, 应先判断车停下所用的时间, 再选择合适的公式求解。

(2) 双向可逆类运动分析: 匀减速直线运动速度减为零后反向运动, 全过程加速度的大小和方向均不变, 故求解时可对全过程列式, 但需注意 x 、 v 、 a 等矢量的正负及物理意义。

3. 追及、相遇问题的解题思路和技巧

- (1) 紧抓“一图三式”，即过程示意图，时间关系式、速度关系式和位移关系式。
- (2) 速度相等往往是恰好追上(追不上)，两者间距离有极值的临界条件。
- (3) 若被追赶的物体做匀减速运动，一定要注意追上前该物体是否已停止运动。

变式训练

科研人员在保证安全的情况下进行高空坠物实验，让一小球从 45 m 高的阳台上无初速度落下，不计空气阻力。在小球刚落下时恰被楼下一智能小车发现，智能小车迅速由静止沿直线冲向小球下落处的正下方楼底，准备接住小球。已知智能小车到楼底的距离为 18 m。将小球和智能小车都看成质点，智能小车移动过程中只做匀速直线运动或匀变速直线运动， g 取 10 m/s^2 。

- (1) 智能小车至少用多大的平均速度行驶到楼底恰能接住小球；
- (2) 若智能小车在运动过程中做匀加速或匀减速运动的加速度大小相等，且最大速度不超过 9 m/s ，要求小车在楼底时已停止运动，求智能小车移动时加速度 a 的大小需满足什么条件？

【答案】 (1) 6 m/s (2) $a \geq 9 \text{ m/s}^2$

【解析】 (1) 小球自由下落过程，由运动学公式得

$$h = \frac{1}{2}gt_0^2 \quad ①$$

对智能小车运动过程，由运动学公式得 $x = vt_0$ ②

联立①②并代入数据解得 $v = 6 \text{ m/s}$ ， $t_0 = 3 \text{ s}$ 。

(2) 假设智能小车先匀加速接着匀减速运动到楼底，运动过程中的最大速度为 v_0 ，由运动学公式得

$$v = \frac{0 + v_0}{2} \quad ③$$

解得 $v_0 = 2v = 12 \text{ m/s} > v_m = 9 \text{ m/s}$

故智能小车应先加速到 $v_m = 9 \text{ m/s}$ ，再匀速，最后匀减速运动到楼底。

设匀加速、匀速、匀减速过程的时间分别为 t_1 、 t_2 、 t_3 ，位移分别为 x_1 、 x_2 、 x_3 ，由运动学公式得

$$x_1 = \frac{1}{2}at_1^2 \quad ④$$

$$x_3 = \frac{1}{2}at_3^2 \quad ⑤$$

$$x_2 = v_m t_2 \quad ⑥$$

$$v_m = at_1 = at_3 \quad ⑦$$

$$t_1 + t_2 + t_3 \leq t_0 \quad ⑧$$

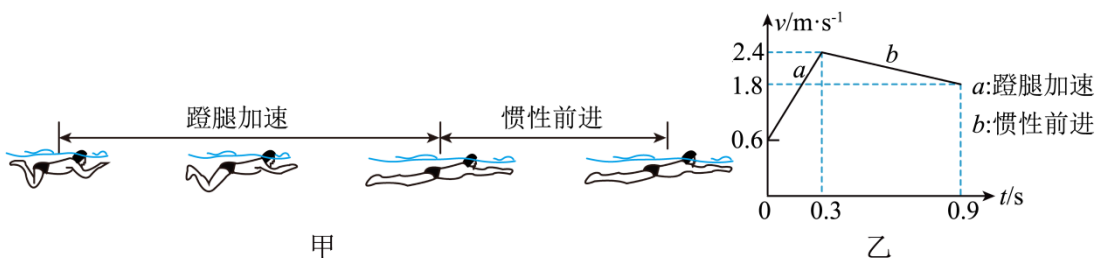
$$x_1 + x_2 + x_3 = x \quad ⑨$$

联立④~⑨式并代入数据得 $a \geq 9 \text{ m/s}^2$ 。

大题典例 牛顿运动定律的综合应用

【例 2】（2023 上·福建三明·高三校联考阶段练习）我国游泳健将覃海洋在刚结束的 2023 年杭州亚运会男子 200 米蛙泳决赛中刷新记录夺得金牌，新晋为“世界蛙王”。图甲为运动员蛙泳时某段蹬腿加速及惯性前进过程，将这两个过程简化为水平方向的匀变速运动，其 $v-t$ 图像如图乙所示，设运动员质量为 60kg ，重力加速度 g 取 10m/s^2 ，求：

- (1) 蹬腿加速过程和惯性前进过程中加速度大小；
- (2) $0\sim 0.9\text{s}$ 内运动员平均速度的大小；
- (3) 惯性前进过程中，水对运动员作用力的大小（答案保留根式）。



【答案】 (1) $a_1 = 6\text{m/s}^2$, $a_2 = 1\text{m/s}^2$; (2) $\bar{v} = 1.90\text{m/s}$; (3) $F = 60\sqrt{101}\text{N}$

【详解】 (1) $0\sim 0.3\text{s}$ 内，加速过程的加速度大小为

$$a_1 = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t_1} = 6\text{m/s}^2$$

$0.3\sim 0.9\text{s}$ 内，惯性前进的加速度大小为

$$a_2 = \frac{v_2 - v_3}{\Delta t_2} = 1\text{m/s}^2$$

(2) 解法一：

位移为

$$s = \frac{v_1 + v_2}{2} \Delta t_1 + \frac{v_2 + v_3}{2} \Delta t_2$$

由

$$\bar{v} = \frac{s}{t}$$

得

$$\bar{v} = 1.90\text{m/s}$$

解法二：

由

$$s_1 = v_1 t_1 + \frac{1}{2} a_1 t_1^2 = 0.45\text{m}$$

$$s_2 = v_2 t_2 + \frac{1}{2} a_2 t_2^2 = 1.26 \text{ m}$$

$$\bar{v} = \frac{s_1 + s_2}{t}$$

得

$$\bar{v} = 1.90 \text{ m/s}$$

(3) 惯性前进时竖直方向上运动员处于平衡状态，浮力为

$$F_1 = mg$$

水平方向上水对运动员的阻力使其减速

$$F_2 = ma_2$$

水对运动员的作用力大小

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

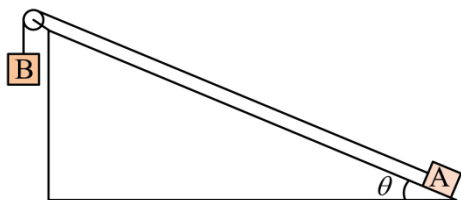
得

$$F = 60\sqrt{101} \text{ N}$$

【例 2】(2023 上·河南·高三校联考阶段练习) 如图所示，倾角 $\theta=37^\circ$ 的斜面体固定在水平地面上，绕过固定在斜面顶端轻小光滑的定滑轮的细线，一端与放在斜面底端质量为 1 kg 的物块 A 相连，另一端吊着质量为 1.5 kg 的物块 B。开始时固定物块 A，使 A、B 都处于静止状态，滑轮与物块 A 间的细线与斜面平行；由静止释放物块 A，当物块 A 向上运动的距离为斜面长度的 $\frac{1}{3}$ 时，用一个竖直向下、大小为 15 N 的恒力替换掉物块 B；当物块 A 又向上运动斜面长度的 $\frac{1}{3}$ 距离时，撤去恒力。已知物块与斜面间的动摩擦因数为 0.5 ，取重力加速度 $g=10 \text{ m/s}^2$ ， $\sin 37^\circ=0.6$ ， $\cos 37^\circ=0.8$ 。

(1) 求两物块一起运动的加速度大小。

(2) 试分析：撤去恒力后，物块 A 是否会从斜面顶端滑离？



【答案】(1) $a_1 = 2 \text{ m/s}^2$ ；(2) 不会从斜面顶端滑离

【详解】(1) 物块 B 悬挂在细线上时，设物块 A、B 运动的加速度大小为 a_1 ，根据牛顿第二定律有

$$T - m_A g \sin \theta - \mu m_A g \cos \theta = m_A a_1, \quad m_B g - T = m_B a_1$$

解得

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

(2) 设斜面长为 L ，绳断瞬间物块 A 的速度大小为 v_1 ，由运动学规律可得

$$v_1^2 = 2a_1 \times \frac{1}{3}L$$

当施加恒力时，设物块 A 的加速度大小为 a_2 ，由牛顿第二定律有

$$F - m_A g \sin \theta - \mu m_A g \cos \theta = m_A a_2$$

解得

$$a_2 = 5 \text{ m/s}^2$$

设撤去恒力时物块 A 的速度大小为 v_2 ，则有

$$v_2^2 - v_1^2 = 2a_2 \times \frac{1}{3}L$$

撤去拉力后，物块 A 的加速度大小

$$a_3 = g \sin \theta + \mu g \cos \theta = 10 \text{ m/s}^2$$

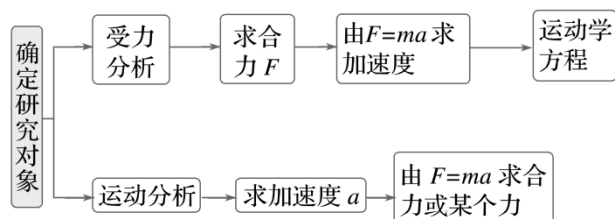
物块 A 减速上滑的最大位移

$$s = \frac{v_2^2}{2a_3} = \frac{7L}{30} < \frac{L}{3}$$

因此物块 A 不会从斜面顶端滑离。

解法指导

1. 解决动力学两类基本问题的思路



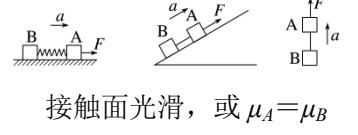
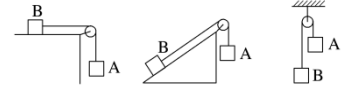
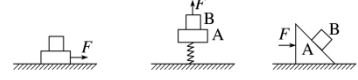
2. 连接体问题

(1) 整体法与隔离法的选用技巧

整体法的 选取原则	若连接体内各物体具有相同的加速度，且不要求物体之间的作用力
隔离法的 选取原则	若连接体内各物体的加速度不相同，或者需要求出系统内物体之间的作用力
	若连接体内各物体具有相同的加速度，且需要求出物体之间的作用力，可以先整体求加速度，后隔离求连接体内物体之间的作用力

整体法、隔离法的交替运用	
--------------	--

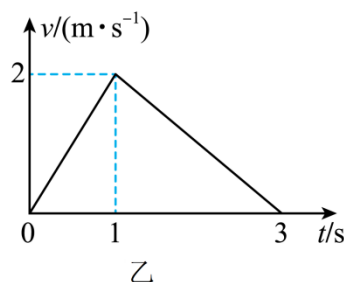
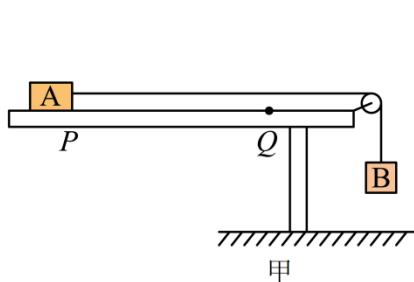
3. 常见连接体

 <p>接触面光滑，或 $\mu_A = \mu_B$</p>	三种情况中弹簧弹力、绳的张力大小相同且与接触面是否光滑无关
	常用隔离法
	常会出现临界条件

变式训练

1. (2024·江苏常州·高三联考阶段练习) 如图甲所示，物块 A、B 通过细线连接，A 在桌面上，B 悬挂在桌子边缘，细线与滑轮间无摩擦。现将物块 A 从 P 点处由静止释放，B 落地后不反弹，最终 A 停在 Q 点，物块 A 的 $v-t$ 图像如图乙所示。已知 B 的质量为 0.5 kg ，重力加速度大小 g 取 10 m/s^2 。求：

- (1) PQ 两点的距离；
- (2) 物块 A 与桌面间的动摩擦因数；
- (3) 物块 A 的质量。



【答案】 (1) 3 m ；(2) 0.1 ；(3) $\frac{4}{3}\text{ kg}$

【详解】 (1) 由 $v-t$ 图可知

$$x_{PQ} = \frac{1}{2} \times 2 \times 3\text{ m} = 3\text{ m}$$

(2) 由 $v-t$ 图可知，物块 A 在 $1\sim 3\text{ s}$ 的加速度大小

$$a_2 = 1\text{ m/s}^2$$

$1\sim 3\text{ s}$ 内，对 A 物块根据牛顿第二定律得

$$\mu m_A g = m_A a_2$$

所以

$$\mu = \frac{a_2}{g} = 0.1$$

(3) 0~1 s 内，加速度大小

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

对 A、B 物块根据牛顿第二定律得

$$T - \mu m_A g = m_A a_1$$

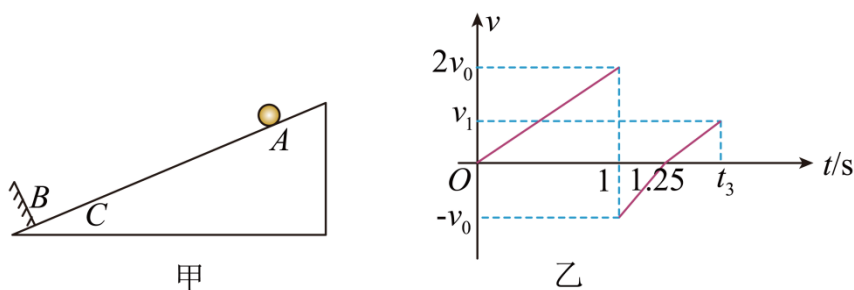
$$m_B g - T = m_B a_1$$

解得

$$m_A = \frac{4}{3} \text{ kg}$$

2. (2024·贵州贵阳·高三清华中学校考阶段练习) 如图甲所示，质量为 $m=1\text{kg}$ 小球从固定斜面上的 A 点由静止开始做加速度大小为 a_1 的运动，小球在 $t_1=1\text{s}$ 时刻与挡板 B 碰撞，然后沿着斜面做加速度大小为 a_2 的运动，在 $t_2=1.25\text{s}$ 时刻到达 C 点，接着从 C 点运动到挡板 B 点，到达挡板 B 点的时刻为 t_3 ，以上过程的 $v-t$ 图像如图乙所示 (v_0 未知)，已知 a_2 与 a_1 大小的差值为 4m/s^2 ，重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$ ，则：

- (1) 小球所受到阻力的大小为多少？
- (2) 图中 v_0 大小等于多少？
- (3) 到达挡板 B 的时刻为 t_3 为多少？



【答案】(1) 2N; (2) 2m/s; (3) $\frac{5+\sqrt{2}}{4}\text{s}$

【详解】(1) 根据图像，0~1s 时间内，有

$$mg \sin \theta - f = ma_1$$

$$2v_0 = a_1 t_1$$

1s~1.25s 时间内，有

$$mg \sin \theta + f = ma_2$$

$$v_0 = a_2 (t_2 - t_1)$$

解得

$$a_1 = 4\text{m/s}^2, \quad a_2 = 8\text{m/s}^2, \quad f = 2\text{N}$$

(2) 由于

$$2v_0 = a_1 t_1$$

解得

$$v_0 = 2\text{m/s}$$

(3) 根据图像可得, BC 间的位移大小为

$$x = \frac{v_0}{2}(t_2 - t_1)$$

解得

$$x = 0.25\text{m}$$

C 到 B , 物体运动的加速度大小为

$$a_1 = 4\text{m/s}^2$$

$$x = \frac{1}{2}a_1 t^2$$

解得

$$t = \frac{\sqrt{2}}{4}\text{s}$$

所以

$$t_3 = t + t_2 = (1.25 + \frac{\sqrt{2}}{4})\text{s} = \frac{5 + \sqrt{2}}{4}\text{s}$$

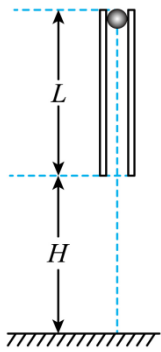


刷模拟

1. (2024 下·四川成都·高三石室中学校考开学考试) 如图所示, 一个质量为 M 、长为 L 的圆管竖直放置, 顶端塞有一个质量为 m 的弹性小球, $M=2m$, 小球和圆管间的滑动摩擦力和最大静摩擦力大小均为 $2mg$ 。圆管从下端距离地面为 H 处自由落下, 运动过程中, 圆管始终保持竖直, 每次落地后向上弹起的速度与落地时速度大小相等, 不计空气阻力, 重力加速度为 g 。求:

(1) 圆管第一次落地弹起时圆管和小球的加速度;

(2) 圆管第一次落地弹起后至第二次落地前, 若小球没有从圆管中滑出, 则 L 应满足什么条件?



【答案】(1) $a_1=2g$, 方向竖直向下, $a_2=g$, 方向竖直向上; (2) $L > \frac{4}{3}H$

【详解】(1) 圆管第一次落地弹起时, 设圆管的加速度为 a_1 , 根据牛顿第二定律有

$$2mg+Mg=Ma_1$$

解得

$$a_1=2g$$

方向竖直向下; 设小球的加速度为 a_2 , 则有

$$2mg-mg=ma_2$$

解得

$$a_2=g$$

方向竖直向上。

(2) 设圆管第一次落地时的速度大小为 v_0 , 此时小球的速度大小也为 v_0 , 则有

$$v_0^2 = 2gH$$

解得

$$v_0 = \sqrt{2gH}$$

方向竖直向下; 碰地后, 圆管的速度

$$v_1 = \sqrt{2gH}$$

方向竖直向上。取竖直向下为正方向, 设经过时间 t_1 , 小球、圆管的速度相同, 则

$$-v_1 + a_1 t_1 = v_0 - a_2 t_1$$

解得

$$t_1 = \frac{2\sqrt{2gH}}{3g}$$

设 t_1 时间内圆管的位移大小为 x_1 , 小球的位移大小为 x_2 , 则有

$$x_1 = v_1 t_1 - \frac{1}{2} a_1 t_1^2 = \frac{4}{9} H$$

$$x_2 = v_0 t_1 - \frac{1}{2} a_2 t_1^2 = \frac{8}{9} H$$

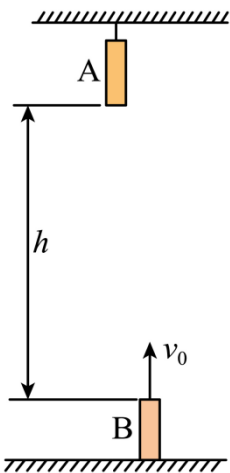
若小球刚好没有从圆管中滑出，小球与圆管的相对位移大小

$$L = x_1 + x_2 = \frac{4}{3} H$$

之后圆管与小球一起运动，加速度为 g ，方向竖直向下，则 L 应满足条件 $L > \frac{4}{3} H$ 。

2. (2024·宁夏石嘴山·高三石嘴山市第三中学校考阶段练习) 如图所示，A、B 两棒均长 1m，A 悬于高处，B 竖于地面，A 的下端和 B 的上端相距 $h=10\text{m}$ ，若 A、B 两棒同时运动，A 做自由落体运动，B 以初速度 $v_0 = 40\text{m/s}$ 做竖直上抛运动，在运动过程中都保持竖直。(取 $g = 10\text{m/s}^2$) 问：

- (1) 两棒何时开始相遇？
- (2) 两棒从开始相遇到分离的时间？



【答案】 (1) 0.25s; (2) 0.05s

【详解】 (1) 设经过时间 t 两棒开始相遇，A 棒下落位移，则有

$$h_A = \frac{1}{2} g t^2$$

B 棒上升的位移

$$h_B = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

A、B 相遇，则有

$$h_A + h_B = h$$

解得

$$t = 0.25\text{s}$$

即从开始运动经 0.25s 两棒开始相遇。

(2) 从相遇开始到两棒分离的过程中，A 棒做初速度不为零的匀加速直线运动，B 棒做匀减速直线运动，设从相遇开始到分离所需时间为 Δt ，则有

$$\left(v_A \Delta t + \frac{1}{2} g \Delta t^2\right) + \left(v_B \Delta t - \frac{1}{2} g \Delta t^2\right) = 2l$$

其中

$$v_A = gt, \quad v_B = v_0 - gt$$

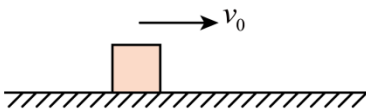
解得

$$\Delta t = 0.05s$$

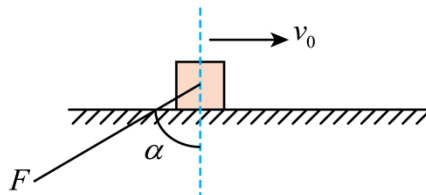
3. (2024·四川·校联考一模) 中学航模队研究航母舰载机着陆减速新方案，提出“机翼辅助式”减速模式，队员们在操场上利用跑道模拟实验，如图 (a) 所示先将一个质量为 $M = 1\text{kg}$ 的滑块 (视为质点) 以初速度 $v_0 = 12\text{m/s}$ 滑出，滑行距离为 12m 时停下；对比组给滑块装上代替机翼的质量为 $m = 0.5\text{kg}$ 减速装置，仍以相同的初速度 v_0 滑出，滑出后滑块与减速装置整体受到一个与竖直方向斜向下夹角为 α 的力 F 作用，如图 (b) 所示 (减速装置未画出)，从而获得较大的减速效果，减小滑行距离。已知重力加速度大小为 $g = 10\text{m/s}^2$ ， $\sin 53^\circ = 0.8$ ， $\cos 53^\circ = 0.6$ ，求：

(1) 滑块与跑道之间的动摩擦因数；

(2) 若已知 $F = \frac{150}{29}\text{N}$ ， $\alpha = 53^\circ$ ，则装上减速装置后滑块的减速距离大小。



图(a)



图(b)

【答案】 (1) 0.6; (2) 7.2m

【详解】 (1) 滑块运动过程中，对滑块受力分析，由牛顿第二定律有

$$\mu Mg = Ma_1$$

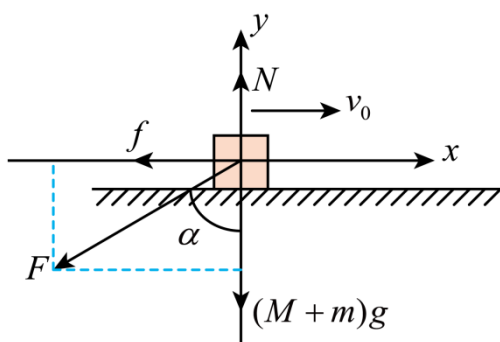
由运动学公式可得

$$v_0^2 = 2a_1 x_1$$

联立解得

$$\mu = 0.6$$

(2) 装上减速装置后，对装置和滑块整体分析，如图所示



由牛顿第二定律和力的平衡可得 x 轴

$$F \sin \alpha + f = (M + m)a_2$$

y 轴

$$N = (M + m)g + F \cos \alpha$$

又

$$f = \mu N$$

由运动学公式

$$v_0^2 = 2a_2x_2$$

联立解得

$$x_2 = 7.2\text{m}$$

4. (2024·河南·高三校联考阶段练习) 如图所示，足够高的水平桌面上， P 点的左侧光滑，右侧粗糙。物块甲与质量为 m 的钩码乙用轻质的细线连接，细线跨过桌子右侧的定滑轮，甲被控制在桌面上位于 A 点，乙悬挂在滑轮的下方。现释放甲，经过一段时间 t_0 ，甲运动到 P 点，此时甲的动能为 $\frac{mg^2t_0^2}{8}$ 。当甲运动到 P 点时，立即在乙的下方挂上另一质量为 m 的钩码丙，挂上丙的时间忽略不计，且挂上丙的前后瞬间甲、乙的速度不变，接着甲继续做匀加速直线运动，再经过一段时间 t_0 正好运动到桌子的右边缘 B 点。已知甲从 A 到 P 的加速度与从 P 到 B 的加速度相等，细线始终与桌面平行，不计定滑轮与细线和轮轴之间的摩擦力，重力加速度为 g ，求：

(1) 甲的质量以及甲与粗糙区域间的动摩擦因数；

(2) 甲从 P 到 B ，细线对甲做的功。

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/168036000022006063>