

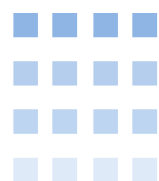
第3节：自由落体运动 竖直上抛运动 多运动过程

北京师范大学广州实验学校 冯碧云

学习目标



黄浦教研
HUANGPU JIAOYAN



1. 掌握自由落体运动和竖直上抛运动的特点。
2. 理解竖直上抛运动的对称性和多解性。
3. 灵活运用匀变速直线运动的规律处理多过程问题。

自由落体运动

1. 自由落体运动

自由落体运动

概念

物体只在重力作用下从静止开始下落的运动

规律

速度公式: $v_t = \underline{gt}$

位移公式: $s = \underline{\frac{1}{2}gt^2}$

速度—位移关系式: $v_t^2 = \underline{2gs}$

2 竖直上抛运动

竖
直
上
抛
运
动

概念

将物体以一定的初速度竖直 向上 抛出，只在 重力 作用下的运动

规律

速度公式： $v_t = \underline{v_0 - gt}$

位移公式： $s = \underline{v_0 t - \frac{1}{2}gt^2}$

速度—位移关系式： $v_t^2 - v_0^2 = \underline{-2gs}$

考点一 自由落体运动



黄浦教研
HUANGPUJIAOYAN

- 11 例 1 (2026·河北邢台高三期末) 一矿井深为 125 m, 在井口每隔相同的时间由静止释放一小球 (视为质点), 当第 11 个小球刚从井口开始下落时, 第 1 个小球恰好到达井底。不计空气阻力, 重力加速度大小 $g=10 \text{ m/s}^2$, 则与第 9 个小球相距 40 m 的
- h 5 A. 第 7 个小球 B. 第 6 个小球
C. 第 5 个小球 D. 第 4 个小球

每个小球自由落体运动的总时间为 $10t$

解析 设每个球释放时间间隔为 t , 则 $h=\frac{1}{2}g(10t)^2$, 解得 $t=0.5 \text{ s}$,

设与第 9 个小球相距 40 m 的小球下落时间为 t_1 , 则 $\frac{1}{2}gt_1^2 - \frac{1}{2}g(2t)^2 = 40 \text{ m}$, 解得 $t_1 = 3 \text{ s} = 6t$,

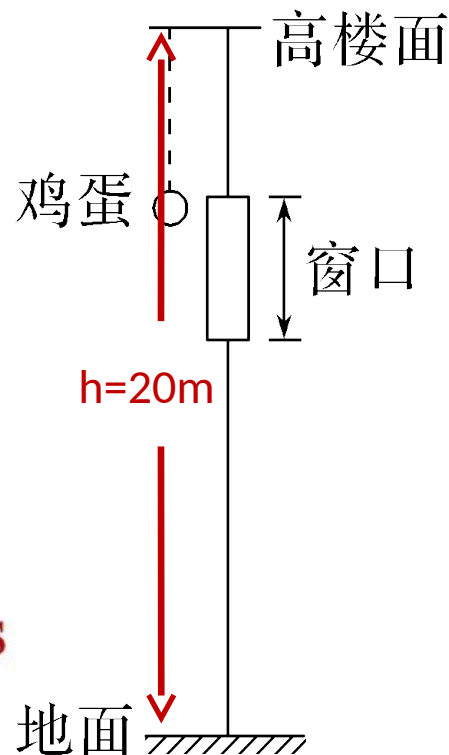
从第 1 个小球往上数, 第 5 个小球下落的时间为 $6t$, 故 C 正确。

考点一 自由落体运动



例 2 (2026·广东韶关高三月考) 某校物理兴趣小组, 为了了解高空坠物的危害, 将一个鸡蛋从离地面 20 m 高的高楼面由静止释放, 下落途中用 $\Delta t=0.2$ s 的时间通过一个窗口, 窗口的高度为 2 m, 忽略空气阻力的作用, 重力加速度 g 取 10 m/s^2 。

(1) 鸡蛋落地时的速度大小和落地前最后 1 s 内的位移大小;



解析 由速度与位移关系式 $v_t^2=2gh$, 得落地速度大小为 $v=20 \text{ m/s}$

设鸡蛋自由下落时间为 t , $t=\frac{v}{g}=2 \text{ s}$

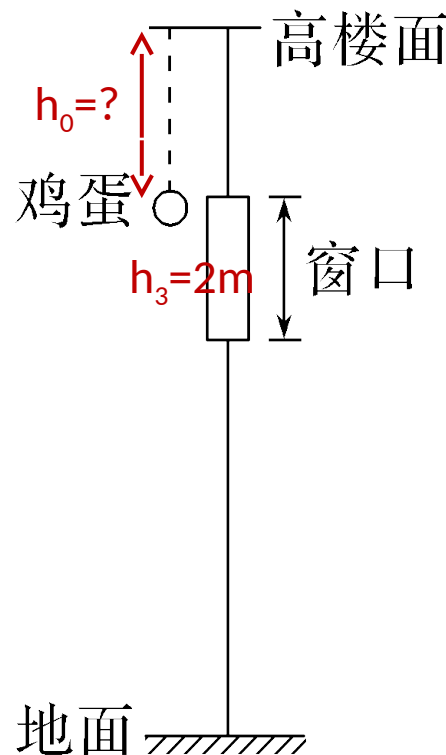
鸡蛋在第 1 s 内的位移为 $h_1=\frac{1}{2}gt_1^2=5 \text{ m}$, 最后 1 s 内的位移大小为 $h_2=h-h_1=15 \text{ m}$ 。

考点一 自由落体运动



例 2 (2026·广东韶关高三月考) 某校物理兴趣小组, 为了了解高空坠物的危害, 将一个鸡蛋从离地面 20 m 高的高楼面由静止释放, 下落途中用 $\Delta t=0.2$ s 的时间通过一个窗口, 窗口的高度为 2 m, 忽略空气阻力的作用, 重力加速度 g 取 10

(2) 高楼面离窗的上边框的高度;



解析 已知窗口的高度为 $h_3=2$ m

设楼面离窗上边框的高度为 h_0 , 鸡蛋从楼面运动到窗上边框的时间为 t_0 , 则

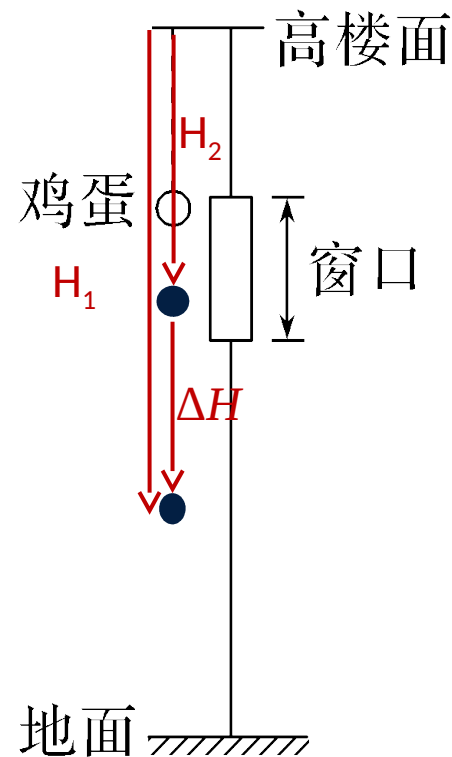
$$h_0 = \frac{1}{2}gt_0^2, h_0 + h_3 = \frac{1}{2}g(t_0 + \Delta t)^2$$

联立解得 $h_0=4.05$ m。

考点一 自由落体运动

例 2 (2026·广东韶关高三月考) 某校物理兴趣小组, 为了了解高空坠物的危害, 将一个鸡蛋从离地面 20 m 高的高楼面由静止释放, 下落途中用 $\Delta t=0.2$ s 的时间通过一个窗口, 窗口的高度为 2 m, 忽略空气阻力的作用, 重力加速度 g 取 10 m/s^2 , 求:

(3) 若每隔 $\Delta T=0.5$ s 先后释放两个鸡蛋, 试分析在鸡蛋落地前两鸡蛋之间的距离 ΔH 如何变化?



解析:落地前, 设第二个鸡蛋运动了时间 T , 则第一个鸡蛋运动了 $T+\Delta T$,

第一个鸡蛋下落高度 $H_1=\frac{1}{2}g(T+\Delta T)^2$ 第二个鸡蛋下落高度为 $H_2=\frac{1}{2}gT^2$

二者之间的距离 $\Delta H=H_1-H_2=\frac{1}{2}g\Delta t^2+g\Delta t\cdot T$

由此可知, ΔH 与 T 为一次函数关系, 故在鸡蛋落地前 ΔH 均匀增大。

1. 自由落体运动是初速度为零的匀加速直线运动，故初速度为零的匀加速直线运动的规律、比例关系及推论等规律都适用。
2. 物体由静止开始的自由下落过程才是自由落体运动，从中间截取的一段运动过程不是自由落体运动，等效于竖直下抛运动，应该用初速度不为零的匀变速直线运动规律去解决此类问题。

考点二 竖直上抛运动



对称性 (如图)

时间
对称性

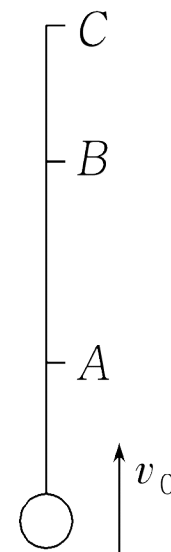
物体上升过程中从A到C所用时间 t_{AC} 和下降过程中从C到A所用时间 t_{CA} 相等, 即 $t_{AC}=t_{CA}$

速度
对称性

物体上升过程经过A点的速度与下降过程经过A点的速度大小相等, 即 $v_{A上}=-v_{A下}$

能量
对称性

物体从A到B和从B到A重力势能变化量的绝对值相等, 均等于 mgh_{AB}



考点二 竖直上抛运动

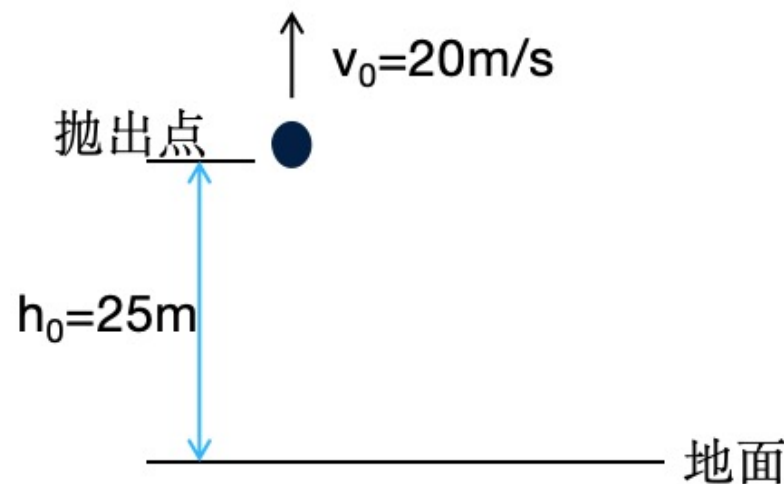


例 3 为测试一物体的耐摔性，在离地 25 m 高处，将其以 20 m/s 的速度竖直向上抛出，重力加速度 g 取 10 m/s^2 ，不计空气阻力，则物体：

(1) 经过多长时间到达最高点？

运动到最高点时速度为 $v_t=0$,

$$\text{由 } v_t = v_0 - gt_1 \text{ 得 } t_1 = -\frac{v_t - v_0}{g} = \frac{v_0}{g} = 2 \text{ s}$$





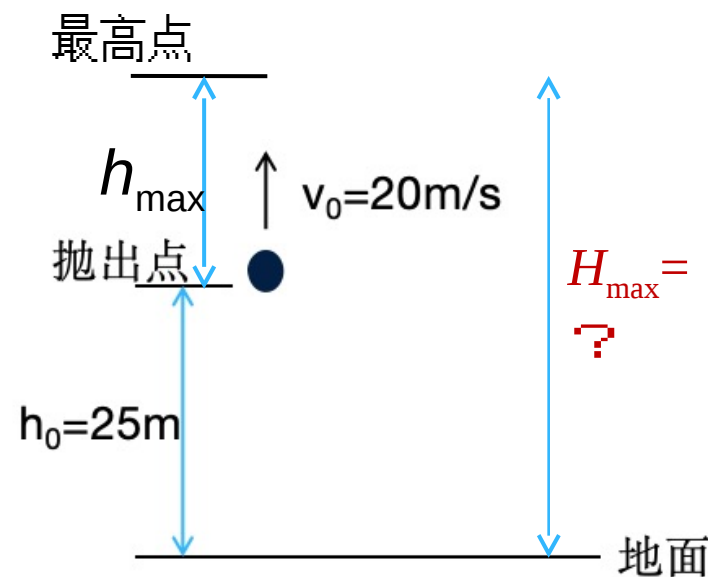
考点二 竖直上抛运动

例 3 为测试一物体的耐摔性，在离地 25 m 高处，将其以 20 m/s 的速度竖直向上抛出，重力加速度 g 取 10 m/s^2 ，不计空气阻力，则物体

(2) 抛出后离地的最大高度是多少？

$$\text{由 } v_0^2 = 2gh_{\max} \text{ 得 } h_{\max} = \frac{v_0^2}{2g} = 20 \text{ m},$$

$$\text{所以 } H_{\max} = h_{\max} + h_0 = 45 \text{ m}$$



考点二 竖直上抛运动



例 3 为测试一物体的耐摔性，在离地 25 m 高处，将其以 20 m/s 的速度竖直向上抛出，重力加速度 g 取 10 m/s^2 ，不计空气阻力，则物体

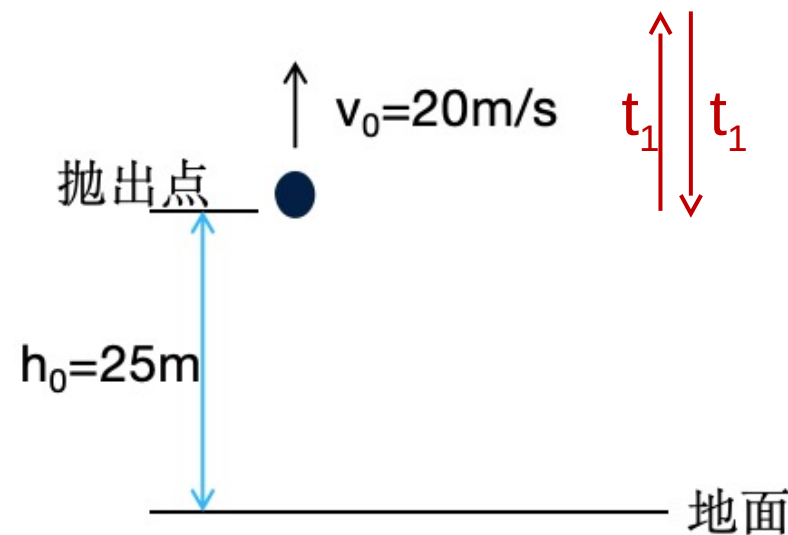
(3) 经过多长时间回到抛出点？

法一：由对称性知返回抛出点时速度向下 20 m/s，

$$t = - \frac{-v_0 - v_0}{g} = \frac{2v_0}{g} = 2t_1 = 4 \text{ s}$$

法二：已知 $h=0$ ，由 $h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$ ，

解得 $t_3=0$ (舍去)， $t_4=4 \text{ s}$



考点二 竖直上抛运动



例 3 为测试一物体的耐摔性，在离地 25 m 高处，将其以 20 m/s 的速度竖直向上抛出，重力加速度 g 取 10 m/s^2 ，不计空气阻力，则物体

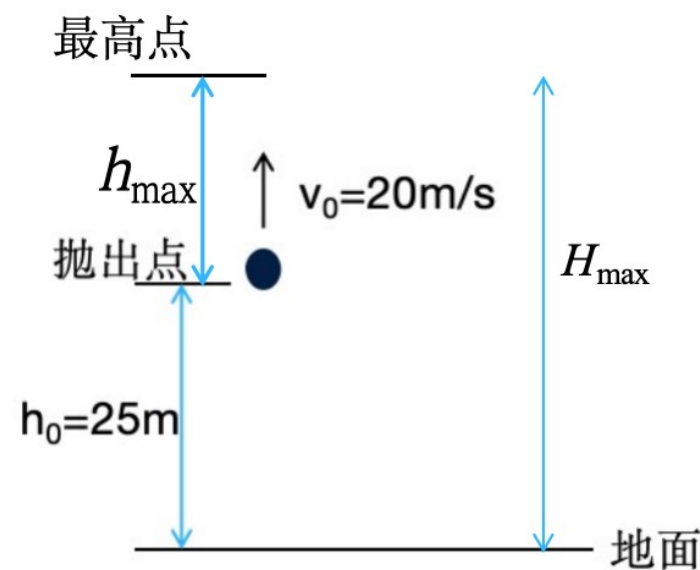
(4) 经过多长时间落到地面？**答案** 5 s

法一：分段法

由 $H_{\max} = \frac{1}{2}gt_5^2$ ，解得 $t_5 = 3 \text{ s}$ ，故 $t_{\text{总}} = t_1 + t_5 = 5 \text{ s}$

法二：全程法 全程位移为 $-h_0$

由 $-h_0 = v_0 t' - \frac{1}{2}gt^2$ 解得 $t_6 = -1 \text{ s}$ (舍去)， $t_7 = 5 \text{ s}$



考点二 竖直上抛运动



例 3 为测试一物体的耐摔性，在离地 25 m 高处，将其以 20 m/s 的速度竖直向上抛出，重力加速度 g 取 10 m/s^2 ，不计空气阻力，则物体

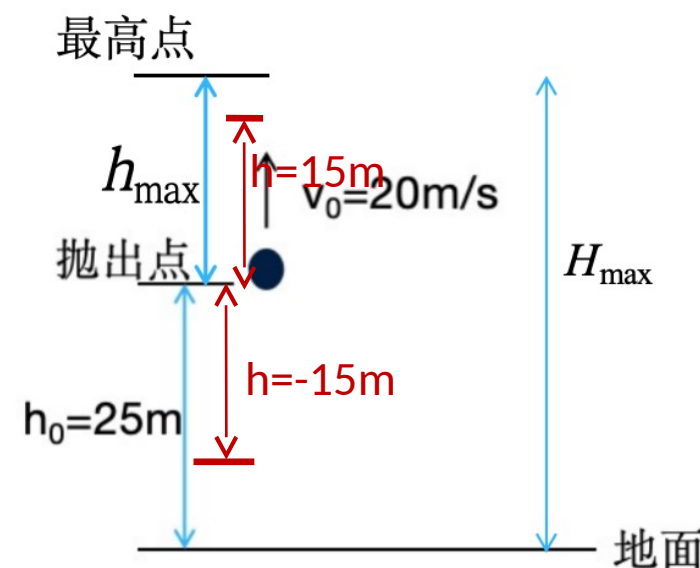
(5) 经过多长时间离抛出点 15 m **答案** 1 s 3 s $(2+\sqrt{7}) \text{ s}$

以向上为正方向 当物体在抛出点上方时， $h=15 \text{ m}$ ，

由 $h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$ ，解得 $t_8=1 \text{ s}$ ， $t_9=3 \text{ s}$ ，

当物体在抛出点下方时， $h=-15 \text{ m}$ ，

由 $h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$ ，得 $t_{10}=(2+\sqrt{7}) \text{ s}$ ， $t_{11}=(2-\sqrt{7}) \text{ s}$ (舍去)



竖直上抛运动的研究方法

分段法	上升阶段：$a=g$ 的匀减速直线运动 下降阶段：自由落体运动
全程法	初速度 v_0 向上，加速度 g 向下的匀变速直线运动，$v_t = v_0 - gt$，$h = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2$ (以竖直向上为正方向) 若 $v > 0$，物体上升，若 $v < 0$，物体下落 若 $h > 0$，物体在抛出点上方，若 $h < 0$，物体在抛出点下方

2. 竖直上抛运动的多解性：当物体经过抛出点上方某个位置时，可能处于上升阶段，也可能处于下降阶段，造成多解，在解决问题时要注意这个特性。

考点三 多运动过程



黄埔教研
HUANGPUJIAOYAN

1. 解决问题的步骤

(1) 明确选取研究对象，根据题意画出物体在各阶段运动的示意图，直观地呈现物体运动的全过程。

(2) 明确物体在各阶段的运动性质，找出题目给定的已知量、待求未知量，设出中间量。

(3) 合理选择运动学公式，列出物体在各阶段的运动方程及物体各阶段之间的关联方程。



考点三 多运动过程

2. 解决问题的关键

多运动过程的连接点的速度是联系两个运动过程的纽带，因此，对连接点速度的求解往往是解决问题的关键。



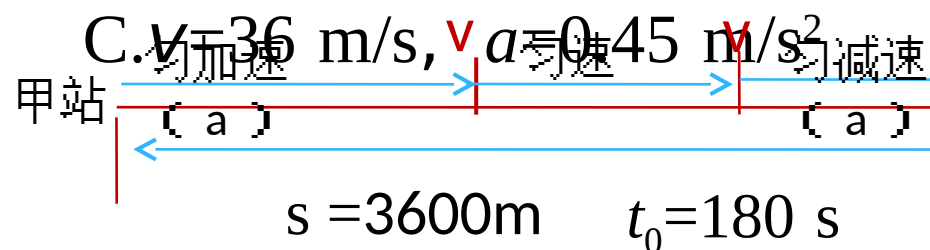
考点三 多运动过程

例 4 (多选) 某平直公路上，有相距 3 600 m 的甲、乙两公交车站，公交车从甲站匀加速出发，加速度大小为 a ，达到某一速度后匀速运动一段时间，再以大小为 a 的加速度做匀减速直线运动，到达乙站时速度恰好为零，从甲站到乙站所用时间为 180 s。则该公交车匀速运动时的速度 v 及加速度 a 的大小可能是 ()

v 是运动过程中的最大速度

A. $v=15 \text{ m/s}$, $a=0.25 \text{ m/s}^2$

B. $v=30 \text{ m/s}$, $a=0.5 \text{ m/s}^2$ 平均速度大小为 $\bar{v} = \frac{s}{t_0} = \frac{3\,600}{180} \text{ m/s} = 20 \text{ m/s}$



C. $v=36 \text{ m/s}$, $a=0.45 \text{ m/s}^2$

D. $v=45 \text{ m/s}$ 若匀速时间为 0, 则最大速度 $v_m = 2\bar{v} = 2 \times 20 \text{ m/s} = 40 \text{ m/s}$

从而可知 $20 \text{ m/s} < v < 40 \text{ m/s}$, 排除 A D

加速时间与减速时间相同，设为 t
 则有 $s = \frac{v}{2}t \times 2 + v(t_0 - 2t) = v(t_0 - t)$

将 $v=30 \text{ m/s}$ 代入，得 $t=60 \text{ s}$ ，再由 $v=at$ 得 $a=0.5 \text{ m/s}^2$

将 $v=36 \text{ m/s}$ 代入，得 $t=80 \text{ s}$ ，再由 $v=at$ 得 $a=0.45 \text{ m/s}^2$



考点三 多运动过程

例 4 (多选) 某平直公路上，有相距 3 600 m 的甲、乙两公交车站，公交车从甲站匀加速出发，加速度大小为 a ，达到某一速度后匀速运动一段时间，再以大小为 a 的加速度做匀减速直线运动，到达乙站时速度恰好为零，从甲站到乙站所用时间为 180 s。则该公交车匀速运动时的速度 v 及加速度 a 的大小可能是 ()

A. $v=15 \text{ m/s}$, $a=0.25 \text{ m/s}^2$

B. $v=30 \text{ m/s}$, $a=0.5 \text{ m/s}^2$

C. v 平均速度大小为 $\bar{v} = \frac{s}{t_0} = \frac{3\,600}{180} \text{ m/s} = 20 \text{ m/s}$

D. $v=45 \text{ m/s}$, $a=0.75 \text{ m/s}^2$

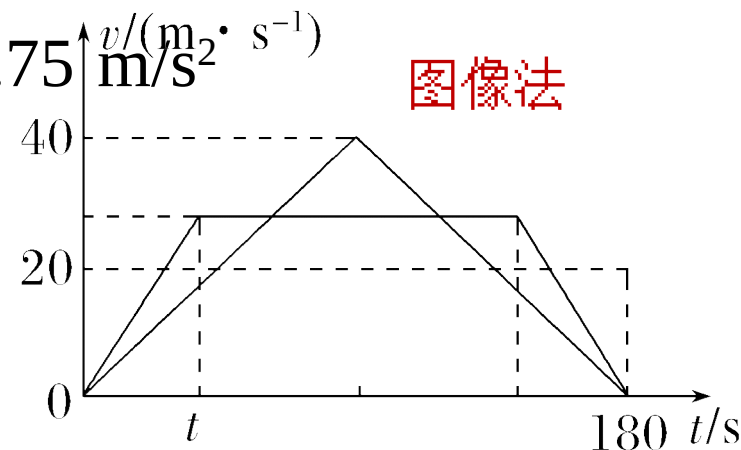
若匀速时间为 0，则最大速度 $v_m = 2\bar{v} = 2 \times 20 \text{ m/s} = 40 \text{ m/s}$

可知 $20 \text{ m/s} < v < 40 \text{ m/s}$ 加速时间与减速时间相同，设为

则有 $s = \frac{v}{2}t \times 2 + v(t_0 - 2t) = v(t_0 - t)$

代入数据求解

有没有不同思路
?



考点三 多运动过程



跟踪训练 (2026广东东莞期中) 蛟龙号是我国首台自主研发的深海载人潜水器。假设某次海试活动中,蛟龙号完成海底任务后竖直上浮,蛟龙号从静止开始,经历匀加速、匀速、匀减速至零后成功上浮到海面。已知匀加速阶段的加速度大小为 a ,匀速阶段的速度大小为 v ,若匀加速、匀速、匀减速三个阶段的运动时间相等,则蛟龙号上浮前到海面的距离为()

A. $\frac{3v^2}{2a}$

B. $\frac{2v^2}{a}$

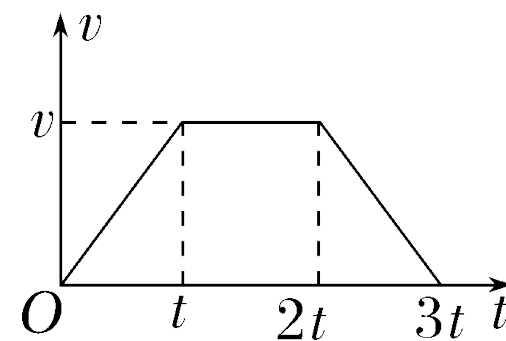
C. $\frac{v^2}{a}$

D. $\frac{5v^2}{2a}$

由 $v-t$ 图像与横轴所包围的面积表示位移

$$s = \frac{t+3t}{2} \cdot v = 2vt,$$

又 $v=at$, 则 $s = \frac{2v^2}{a}$, 故B正确。



若用常规解法如何求解?

跟踪训练



黄浦教研
HUANGPU JIAOYAN

常规解法：设每个阶段的时间均为 t ，匀加速阶段末速度 $v=at$ ，得 $t=\frac{v}{a}$ ，

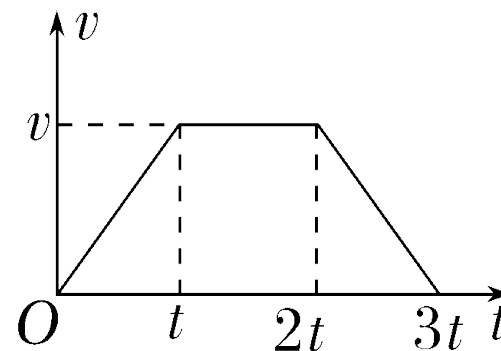
位移 $s_1=\frac{v^2}{2a}$ ；匀速阶段位移 $s_2=vt=v\cdot\frac{v}{a}=\frac{v^2}{a}$ ；匀减速阶段的位移大小等于匀加速

阶段的位移大小 $s_3=s_1=\frac{v^2}{2a}$ ，总位移 $s=s_1+s_2+s_3=\frac{v^2}{2a}+\frac{v^2}{a}+\frac{v^2}{2a}=\frac{2v^2}{a}$ ，故B正确。

图像法：由题意作出 $v-t$ 图像如图所示，

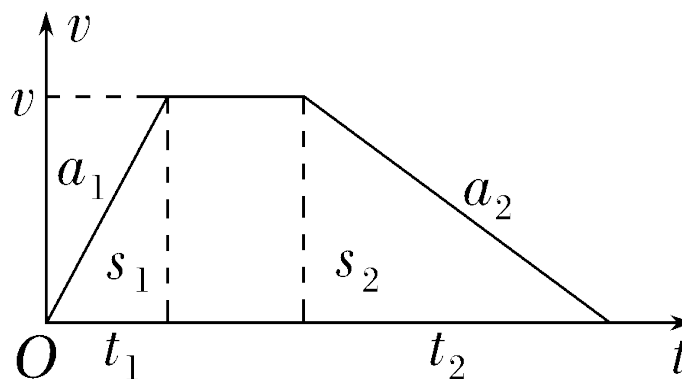
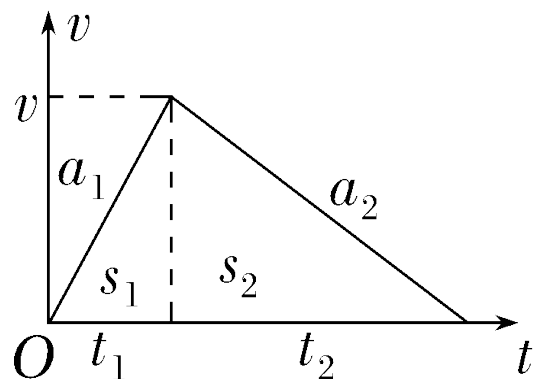
由 $v-t$ 图像与横轴所包围的面积表示位移知 $s=\frac{t+3t}{2}\cdot v=2vt$ ，

又 $v=at$ ，则 $s=\frac{2v^2}{a}$ ，故B正确。



多过程问题的处理方法

- (1) 不同过程之间衔接的关键物理量是衔接速度。
 - (2) 充分借助 $v-t$ 图像，图像反映物体运动过程经历的不同阶段，可获得的重要信息有加速度（斜率）、位移（面积）和速度。
- ① 多过程 $v-t$ 图像的“上凸”模型，如图所示。





总结提升

特点：全程初、末速度为零，匀加速直线运动过程和匀减速直线运动过程

平均速度相等。设匀加速运动的时间为 t_1 ，匀减速运动时间为 t_2 ，速度与时间关系公

式

$$v = a_1 t_1, v = a_2 t_2, \text{得} \frac{a_1}{a_2} = \frac{t_2}{t_1}$$

速度与位移关系公式：

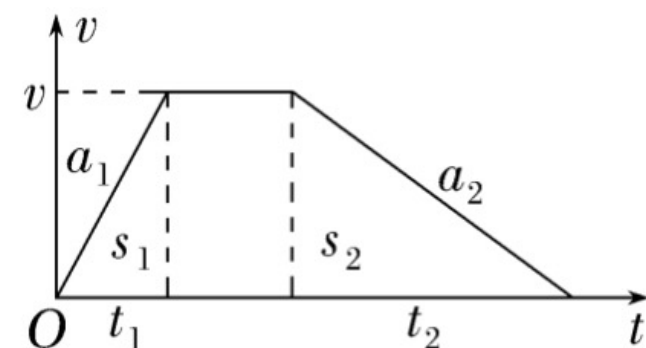
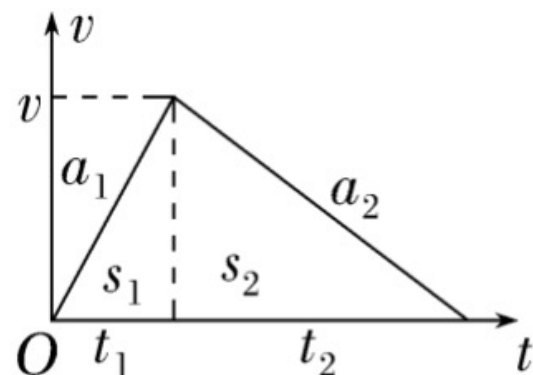
$$v^2 = 2a_1 s_1, v^2 = 2a_2 s_2, \text{得} \frac{a_1}{a_2} = \frac{s_2}{s_1}$$

平均速度与位移关系公式：

$$s_1 = \frac{v t_1}{2}, s_2 = \frac{v t_2}{2}, \text{得} \frac{t_1}{t_2} = \frac{s_1}{s_2}$$

全程的最大速度：

$$v_m = 2\bar{v} = \frac{2s}{t}$$



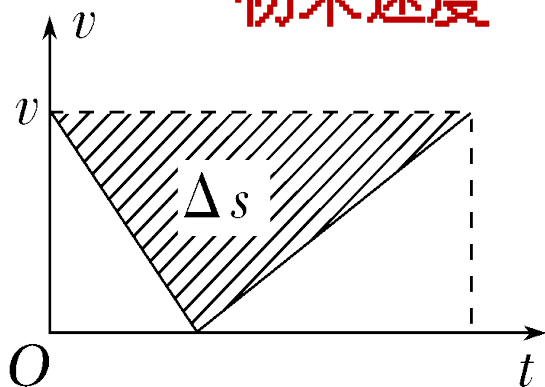
总结提升



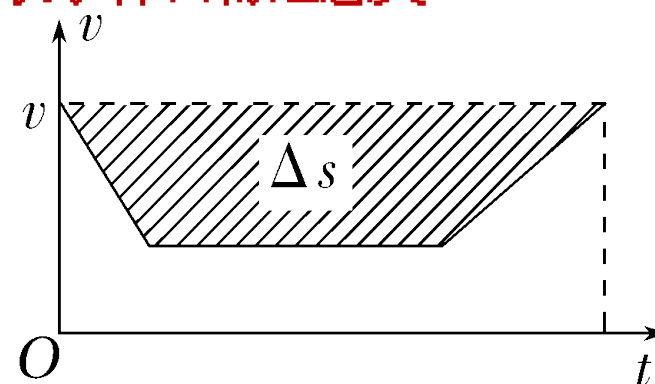
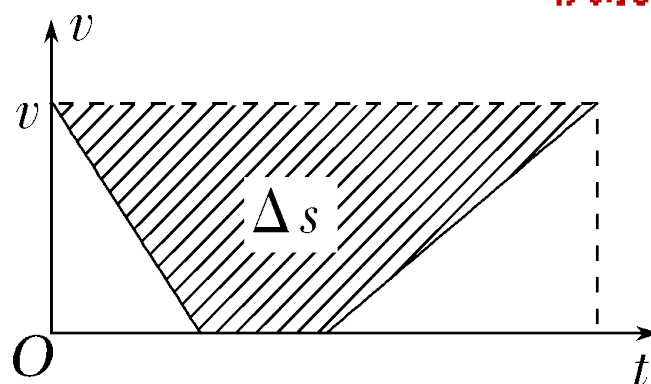
黄浦教研
HUANGPUJIAOYAN

② 多过程 $v-t$ 图像的“下凹”模型，如图所示。

初末速度一致



阴影部分表示什么物理意义？



车较之匀速行驶耽搁的距离为阴影面积表示的位移 Δs 的大小，

很多时候，图像可以直观地让我们快速找到解决问题的突破口！



黄埔教研
HUANGPUJIAOYAN

谢谢

