

第3讲 自由落体运动和竖直上抛运动 多过程问题

课标要求

通过实验，认识自由落体运动规律。结合物理学史的相关内容，认识物理实验与科学推理在物理学研究中的作用。

必备知识·强基固本

一、自由落体运动

1. 定义：物体只在__作用下从__开始下落的运动。

【答案】重力； 静止

2. 运动性质：初速度 $v_0 = 0$ 、加速度为重力加速度 g 的_____运动。

【答案】匀加速直线

3. 基本规律

(1) 速度与时间的关系式： $v = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2) 位移与时间的关系式： $h = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(3) 速度与位移的关系式： $v^2 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

【答案】(1) gt

(2) $\frac{1}{2}gt^2$

(3) $2gh$

二、竖直上抛运动

1. 运动特点：加速度为 g ，上升阶段做_____运动，下降阶段做_____运动。

【答案】匀减速直线； 自由落体

2. 基本规律

(1) 速度与时间的关系式： $v = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2) 位移与时间的关系式： $h = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(3) 速度与位移的关系式： $v^2 - v_0^2 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(4) 上升的最大高度： $H = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(5) 上升到最高点所用时间： $t = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

【答案】(1) $v_0 - gt$

(2) $v_0t - \frac{1}{2}gt^2$

(3) $-2gh$

(4) $\frac{v_0^2}{2g}$

(5) $\frac{v_0}{g}$

自主评价

1. 依据下面小情境，判断下列说法对错。

（人教版必修第一册改编）动手做一做下列实验并观察实验现象：

实验一：在教室内拿两张同样大小的纸，将其中一张揉成一个团，让纸团和另一张纸在同样的高度同时落下；

实验二：拿一块与纸团差不多大小的橡皮与纸团从同一高度同时落下；

实验三：竖直向上抛出一个纸团。

- (1) 物体在真空中一定做自由落体运动。（ ）
- (2) 由静止释放的物体只在重力作用下一定做自由落体运动。（ ）
- (3) 质量越大的物体自由落体加速度越大。（ ）
- (4) 物体由某高度从静止下落一定做自由落体运动。（ ）
- (5) 竖直上抛最高点速度为零而加速度不为零。（ ）

【答案】(1) ×

(2) ✓

(3) ×

(4) ×

(5) ✓

2. （人教版必修第一册改编）课堂中，老师在做“用直尺测同学的反应时间”实验时，若测出某同学捏住直尺时，直尺下落的高度为 20cm，那么这位同学的反应时间是(g 取 10m/s^2)（ ）

- A. $\sqrt{\frac{1}{5}}\text{s}$ B. 0.2s C. 0.8s D. 2s

【答案】B

3. （人教版必修第一册改编）悬崖跳水中，运动员从离水面 H 高处自由下落至水面所用时间为 t ，则当下落 $\frac{1}{2}t$ 时，运动员离水面的高度为（不计空气阻力）（ ）

- A. $\frac{1}{2}H$ B. $\frac{1}{4}H$ C. $\frac{3}{4}H$ D. $\frac{7}{8}H$

【答案】C

关键能力·核心突破

考点一 自由落体运动和竖直上抛运动

1.一切匀加速直线运动的公式均适用于自由落体运动，特别是初速度为零的匀加速直线运动的比例关系式，常在自由落体运动中应用。

2.竖直上抛的重要特性



(1) 对称性：如图所示，物体以初速度 v_0 竖直上抛， A 、 B 为途中的任意两点， C 为最高点。

①时间对称性：物体上升过程中从 $A \rightarrow C$ 所用时间 t_{AC} 和下降过程中从 $C \rightarrow A$ 所用时间 t_{CA} 相等，同理有 $t_{AB} = t_{BA}$ 。

②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，方向相反。

③能量对称性：物体从 $A \rightarrow B$ 和从 $B \rightarrow A$ 重力势能变化量的大小相等，均等于 mgh_{AB} 。

(2) 多解性

①在竖直上抛运动中，当物体经过抛出点上方某一位置时，可能处于上升阶段，也可能处于下降阶段，因此这类问题可能造成时间多解或者速度多解，也可能造成路程多解。

②当只知道物体与抛出点的距离关系时，物体可能在抛出点上方，也可能在抛出点下方。

考向 1 自由落体运动

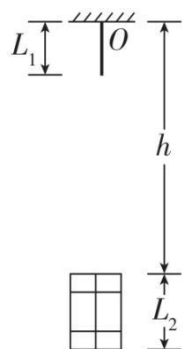
例 1 [2024·广西卷·3, 4分]让质量为 1kg 的石块 P_1 从足够高处自由下落， P_1 在下落的第 1s 末速度大小为 v_1 ，再将 P_1 和质量为 2kg 的石块绑为一个整体 P_2 ，使 P_2 从原高度自由下落， P_2 在下落的第 1s 末速度大小为 v_2 ， g 取 10m/s^2 ，则()

A. $v_1 = 5\text{m/s}$ B. $v_1 = 10\text{m/s}$ C. $v_2 = 15\text{m/s}$ D. $v_2 = 30\text{m/s}$

【答案】B

【解析】重物自由下落做自由落体运动，与质量无关，则下落 1s 后速度大小 $v_1 = v_2 = gt = 10 \times 1\text{m/s} = 10\text{m/s}$ ，故选 B。

迁移应用 1. [2024 · 辽宁沈阳模拟] 如图所示，有一根长 $L_1 = 0.5\text{m}$ 的木棍悬挂在某房顶上的 O 点，



它自由下落时经过一高为 $L_2 = 1.5\text{m}$ 的窗口，通过窗口所用的时间为 $t = 0.2\text{s}$ ，不计空气阻力，取重力加速度大小 $g = 10\text{m/s}^2$ ，则窗口上边缘离悬点 O 的距离 h 为 ()

- A. 4.55m B. 3.45m C. 2.95m D. 5.05m

【答案】A

【解析】设木棍下端和窗口上边缘对齐时，下落的时间为 t_1 ，木棍上端和窗口下边缘对齐时，下落的时间为 t_2 ，根据运动学规律有 $h - L_1 = \frac{1}{2}gt_1^2$ ， $h + L_2 = \frac{1}{2}gt_2^2$ ，又 $t_2 - t_1 = t$ ，联立解得 $h = 4.55\text{m}$ ，A 项正确。

考向 2 竖直上抛运动

例 2 气球下挂一重物，以 $v_0 = 10\text{m/s}$ 的速度匀速上升，当到达离地高度 $h = 175\text{m}$ 处时，悬挂重物的绳子突然断裂，那么重物经多长时间落到地面？落地时的速度多大？（空气阻力不计，取 $g = 10\text{m/s}^2$ ）

【答案】7s； 60m/s

【解析】解法一（分段法）：分成上升阶段和下落阶段两个过程处理。

绳子断裂后重物继续上升的时间和上升的高度分别为 $t_1 = \frac{v_0}{g} = 1\text{s}$ ， $h_1 = \frac{v_0^2}{2g} = 5\text{m}$

故重物距离地面的最大高度为 $H = h_1 + h = 180\text{m}$

重物从最高处自由下落，落地时间和落地速度大小分别为 $t_2 = \sqrt{\frac{2H}{g}} = 6\text{s}$ ， $v = gt_2 = 60\text{m/s}$

所以从绳子突然断裂到重物落地共需时间为 $t = t_1 + t_2 = 7\text{s}$ 。

解法二（全程法）：取全过程作为一个整体考虑，从绳子断裂开始计时，经时间

t 后重物落到地面，规定初速度方向为正方向，则重物在时间 t 内的位移 $h' = -$

175m ，由位移公式有 $h' = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2$

解得 $t = 7\text{s}$ （ $t = -5\text{s}$ 舍去）

所以重物落地速度为

$v = v_0 - gt = 10\text{m/s} - 10 \times 7\text{m/s} = -60\text{m/s}$

其中负号表示方向向下，与初速度方向相反，则落地速度大小为 60m/s 。

总结归纳

竖直上抛运动的研究方法

分段法	上升阶段： $v_0 > 0$ ， $a = -g$ 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，加速度为 $-g$ 的匀变速直线运动， $v = v_0 - gt$ ， $h = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2$ （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

迁移应用 2. 多选 从高为 20m 的位置以 20m/s 的初速度竖直上抛一物体， g 取 10m/s^2 ，不计空气阻力，当物体到抛出点距离为 15m 时，所经历的时间可能是（ ）

- A. 1s B. 2s C. 3s D. $(2 + \sqrt{7})\text{s}$

【答案】ACD

【解析】取竖直向上为正方向，当物体运动到抛出点上方离抛出点 15m 时，位移为 $x = 15\text{m}$ ，由位移公式得 $x = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2$ ，解得 $t_1 = 1\text{s}$ ， $t_2 = 3\text{s}$ ；当物体运动到抛出点下方离抛出点 15m 时，位移为 $x' = -15\text{m}$ ，由 $x' = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2$ ，解得 $t = (2 + \sqrt{7})\text{s}$ 或 $t = (2 - \sqrt{7})\text{s}$ （负值舍去），A、C、D 正确，B 错误。

考点二 匀变速直线运动的多过程问题

规范审题、答题

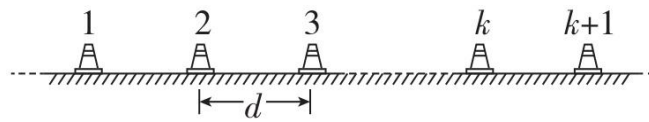
1.问题特点

一个物体的运动包含几个阶段，各阶段的运动性质不同，满足不同的运动规律，衔接处的速度是连接各阶段运动的纽带。

2.基本思路

- (1) 依据加速度不同，将物体运动分为几个阶段；
- (2) 分析判断各阶段的运动性质，画出运动示意图；
- (3) 列出各运动阶段的运动方程；
- (4) 找出衔接处的速度与各阶段间的位移、时间和加速度间的关系；
- (5) 联立求解，算出结果，并对结果进行讨论。

例 3 [2024·广西卷·13, 10 分]如图，轮滑训练场沿直线等间距地摆放着若干个定位锥筒，锥筒间距 $d = 0.9\text{m}$ ，某同学穿着轮滑鞋向右匀减速滑行。现测出他从 1 号锥筒运动到 2 号锥筒用时 $t_1 = 0.4\text{s}$ ，从 2 号锥筒运动到 3 号锥筒用时 $t_2 = 0.5\text{s}$ 。求该同学



- (1) 滑行的加速度大小；
- (2) 最远能经过几号锥筒。

【答案】

(1) **规范答题解：**根据匀变速运动某段时间内的平均速度等于中间时刻的瞬时速度（指明选用规律）

可知在 1、2 间中间时刻的速度为（指明哪个过程）

$$v_1 = \frac{d}{t_1} = 2.25\text{m/s} \text{①}$$

2、3 间中间时刻的速度为（指明哪个过程）

$$v_2 = \frac{d}{t_2} = 1.8\text{m/s} \text{②}$$

根据加速度定义式可求加速度大小为（指明选用规律）

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_1 - v_2}{\frac{t_1}{2} + \frac{t_2}{2}} \text{③}$$

$$= 1\text{m/s}^2 \text{④}$$

(2) **规范答题**设到达 1 号锥筒时的速度为 v_0

根据匀变速直线运动位移与时间的关系式得 （指明选用规律）

$$v_0t_1 - \frac{1}{2}at_1^2 = d \textcircled{5}$$

从 1 号锥筒开始到停止的过程可看成反方向的初速度为 0 的匀加速直线运动

$$v_0^2 = 2ax \textcircled{6} \quad \text{（必要的文字说明）}$$

联立⑤⑥两式代入数据解得 （写分式，联立各式，不写连等）

$$x = 3.00125\text{m} \approx 3.33d \textcircled{7}$$

故可知最远能经过 4 号锥筒。 （明确回答题中问题）

【解析】

例 3 规范审题

	关键信息	信息解读
题 干	锥筒间距 $d = 0.9\text{m}$	相邻两锥筒间位移相同
	向右匀减速滑行	加速度 a 相同
	从 1 号锥筒运动到 2 号锥筒用时 $t_1 = 0.4\text{s}$	可求 1、2 间中间时刻的速度
	从 2 号锥筒运动到 3 号锥筒用时 $t_2 = 0.5\text{s}$	可求 2、3 间中间时刻的速度
问 题	知道锥筒间距和时间，怎样求中间时刻的速度	用重要推论 $v_{\frac{t}{2}} = \bar{v}$
	知道两个中间时刻的速度 v_1 和 v_2 ，怎样求加速度	用加速度定义式 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
	要求该同学最远能经过几号锥筒，需要什么知道什么	需要求到达 1 号锥筒时的速度 v_0
	末速度为 0 的匀减速直线运动可以看成什么运动	反方向初速度为 0 的匀加速直线运动

【评分细则】共 10 分，①②③④各式 1 分，⑤⑥⑦各式 2 分。

迁移应用 3. [2024·湖北武汉二中月考]无人机在生产生活中有广泛应用。我国林业部门将无人机运用于森林防火工作中，如图所示，某架无人机执行火情察看任务，悬停在目标正上方且距目标高度为 $H_1 = 205\text{m}$ 处， $t = 0$ 时刻，它以加速

度 $a_1 = 6\text{m/s}^2$ 竖直向下匀加速运动距离 $h_1 = 75\text{m}$ 后，立即向下做匀减速直线运动直至速度为零，重新悬停在距目标高度为 $H_2 = 70\text{m}$ 的空中，然后进行拍照。重力加速度大小取 10m/s^2 ，求：



- (1) 无人机从 $t = 0$ 时刻到重新悬停在距目标高度为 $H_2 = 70\text{m}$ 处的总时间 t ；
- (2) 若无人机在距目标高度为 $H_2 = 70\text{m}$ 处悬停时动力系统发生故障，自由下落 2s 后恢复动力，要使其不落地，恢复动力后的最小加速度大小。

【答案】 (1) 9s

(2) 4m/s^2

【解析】

(1) 设无人机下降过程中最大速度为 v ，向下加速时间为 t_1 ，减速时间为 t_2 ，则由匀变速直线运动规律有 $h_1 = \frac{1}{2}a_1t_1^2$ ， $v = a_1t_1$ ， $H_1 - H_2 - h_1 = \frac{v}{2}t_2$ 联立解得 $t = t_1 + t_2 = 9\text{s}$

(2) 无人机自由下落 2s 时的速度为 $v_0 = gt' = 20\text{m/s}$ ， 2s 内向下运动的位移为 $x_1 = \frac{1}{2}gt'^2 = 20\text{m}$ ，设其向下减速的加速度大小为 a_2 时，恰好在到达地面前瞬间速度为零，此时 a_2 为最小加速度大小，则有 $H_2 - x_1 = \frac{v_0^2}{2a_2}$ ，代入数据解得 $a_2 = 4\text{m/s}^2$