

第2讲 匀变速直线运动的规律

课标要求

通过实验,探究匀变速直线运动的特点,能用公式、图像等方法描述匀变速直线运动,理解匀变速直线运动的规律,能运用其解决实际问题,体会科学思维中的抽象方法和物理问题研究中的极限方法。

必备知识·强基固本

一、匀变速直线运动及其公式

1. 定义和分类

(1) 匀变速直线运动: 沿着一条直线, 且_____不变的运动。

(2) 分类 $\begin{cases} \text{匀加速直线运动: } a \text{ 与 } v \text{ 同向。} \\ \text{匀减速直线运动: } a \text{ 与 } v \text{ 反向。} \end{cases}$

【答案】加速度

2. 三个基本公式

(1) 速度与时间的关系式: _____。

(2) 位移与时间的关系式: _____。

(3) 速度与位移的关系式: _____。

【答案】(1) $v = v_0 + at$

(2) $x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

(3) $v^2 - v_0^2 = 2ax$

3. 两个重要推论

(1) 物体在一段时间内的平均速度等于这段时间中间时刻的瞬时速度, 还等于初、末时刻速度矢量和的一半, 即 $\bar{v} = v_{\frac{t}{2}} = \frac{v_0 + v}{2}$ 。物体在某段位移中点的速度 $v_{\frac{x}{2}} = \sqrt{\frac{v_0^2 + v^2}{2}}$ 。

(2) 任意两个连续相等的时间间隔 T 内的位移之差为一恒量, 即 $\Delta x = x_2 - x_1 = x_3 - x_2 = \cdots = x_n - x_{n-1} = aT^2$ 。可以推广得到 $x_m - x_n = (m - n)aT^2$ 。

【答案】(1) $\frac{v_0 + v}{2}$; $\sqrt{\frac{v_0^2 + v^2}{2}}$

(2) aT^2

点拨

同一段匀加速或匀减速直线运动中，位移中点的瞬时速度总大于中间时刻的瞬时速度。

二、初速度为零的匀加速直线运动的比例式

1. 初速度为 0 的匀加速直线运动，按时间等分（设相等的时间间隔为 T ），则：

(1) T 末、 $2T$ 末、 $3T$ 末、 $\cdots$ 、 nT 末的瞬时速度之比为：

$$v_1:v_2:v_3:\cdots:v_n = \underline{\hspace{2cm}}。$$

(2) T 内、 $2T$ 内、 $3T$ 内、 $\cdots$ 、 nT 内的位移之比为：

$$x_1:x_2:x_3:\cdots:x_n = \underline{\hspace{2cm}}。$$

(3) 第一个 T 内、第二个 T 内、第三个 T 内、 $\cdots$ 、第 n 个 T 内的位移之比为：

$$x_1':x_2':x_3':\cdots:x_n' = \underline{\hspace{2cm}}。$$

【答案】 (1) $1:2:3:\cdots:n$

(2) $1^2:2^2:3^2:\cdots:n^2$

(3) $1:3:5:\cdots:(2n-1)$

2. 初速度为 0 的匀加速直线运动，按位移等分（设相等的位移为 x ），则：

(1) 位移为 x 、 $2x$ 、 $3x$ 、 $\cdots$ 、 nx 时的瞬时速度之比为：

$$v_1:v_2:v_3:\cdots:v_n = \underline{\hspace{2cm}}。$$

(2) 通过前 x 、前 $2x$ 、前 $3x$ 、 $\cdots$ 、前 nx 的位移所用时间之比为：

$$t_1:t_2:t_3:\cdots:t_n = \underline{\hspace{2cm}}。$$

(3) 通过连续相同的位移所用时间之比为：

$$t_1':t_2':t_3':\cdots:t_n' = \underline{\hspace{2cm}}。$$

【答案】 (1) $1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:\cdots:\sqrt{n}$

(2) $1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:\cdots:\sqrt{n}$

(3) $1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2}):\cdots:(\sqrt{n}-\sqrt{n-1})$

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）一辆汽车以 36km/h 的速度在平直公路上匀速行驶。从某时刻起，它以 0.6m/s^2 的加速度加速， 10s 末因故突然紧急刹车，随后汽车停了下来。刹车时做匀减速运动的加速度大小是 6m/s^2 。



- (1) 汽车做匀加速直线运动时，其加速度是均匀变化的。()
- (2) 汽车做匀加速直线运动时，其在任意两段相等时间内的速度变化量相等。()
- (3) 汽车做匀减速直线运动时，其位移是均匀增加的。()
- (4) 汽车在做匀变速直线运动中，中间时刻的速度一定小于该段时间内位移中点的速度。()
- (5) 汽车因故突然紧急刹车，直至停止的过程中，第 1 个 0.5 秒内、第 2 个 0.5 秒内、…、第 5 个 0.5 秒内的位移之比为 9:7:5:3:1。()

【答案】(1) ×

(2) ✓

(3) ×

(4) ✓

(5) ×

2. 多选 (人教版必修第一册改编) 物体做匀减速直线运动直到停止，已知第 1s 末的速度是 $v_1 = 10\text{m/s}$ ，第 3s 末的速度是 4m/s ，则下列结论正确的是 ()

- A. 物体的加速度大小是 2m/s^2
- B. 物体的加速度大小是 3m/s^2
- C. 物体零时刻的速度是 13m/s
- D. 物体第 5s 末的速度大小是 2m/s

【答案】BC

3. (人教版必修第一册改编) 纯电动汽车不排放污染空气的有害气体，具有较好的发展前景。某辆电动汽车以 $v_1 = 10\text{m/s}$ 的速度做匀速直线运动，制动后能在 $s_1 = 20\text{m}$ 内停下来，如果该汽车以 $v_2 = 20\text{m/s}$ 的速度行驶，且制动时加速度大小不变，则它的制动距离应该是 ()

- A. 20m B. 40m C. 80m D. 160m

【答案】C

关键能力·核心突破

考点一 匀变速直线运动的基本规律及应用

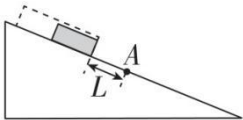
1. 常用公式的选取方法

涉及的物理量	未涉及的物理量	适宜选用的公式
$v_0、v、a、t$	x	$v = v_0 + at$
$v_0、a、t、x$	v	$x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$
$v_0、v、a、x$	t	$v^2 - v_0^2 = 2ax$
$v_0、v、t、x$	a	$x = \frac{v+v_0}{2}t$

2.两类特殊的匀减速直线运动的对比

项目	刹车类问题	双向可逆类问题
运动情况	匀减速直线运动	先做匀减速直线运动，后做反向匀加速直线运动
处理方法	可看作反向匀加速直线运动	可分过程列式，也可全过程列式
时间问题	要注意确定实际运动时间	不必考虑时间超量问题
实例	汽车刹车、飞机着陆等	竖直上抛、沿光滑斜面向上运动等

例 1 [2024·山东卷·3，3分]如图所示，固定的光滑斜面上有一木板，其下端与斜面上A点距离为*L*。木板由静止释放，若木板长度为*L*，通过A点的时间间隔为*Δt*₁；若木板长度为2*L*，通过A点的时间间隔为*Δt*₂。*Δt*₂:*Δt*₁为（ ）



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

思路点拨

题意分析	关键点拨
光滑斜面上有一木板，其下端与斜面上A点距离为 <i>L</i>	可知木板下滑距离 <i>L</i> 到达A点，用位移与时间的关系式可求所需时间 <i>t</i> ₀
若木板长度为 <i>L</i> ，通过A点的时间	可知木板长度为 <i>L</i> 时木板从静止开始下滑的距离

间隔为 Δt_1 ； 若木板长度为 $2L$ ，通过A点的时间间隔为 Δt_2	为 $2L$ ，用位移与时间的关系式可求所需时间 t_1 ， 减去 t_0 ，即得木板长度为 L 时通过A点的时间间隔 Δt_1 ；同理可得 Δt_2
--	---

【答案】A

【解析】木板在斜面上运动时，木板的加速度不变，设加速度大小为 a ，木板从静止释放到下端到达A点的过程，根据 $x = \frac{1}{2}at^2$ 可知， $L = \frac{1}{2}at_0^2$ ， $2L = \frac{1}{2}at_1^2$ ， $3L = \frac{1}{2}at_2^2$ ，又 $\Delta t_1 = t_1 - t_0$ ， $\Delta t_2 = t_2 - t_0$ ，联立解得 $\Delta t_2 : \Delta t_1 = (\sqrt{3} - 1) : (\sqrt{2} - 1)$ ，故选A。

迁移应用 1. 汽车以 20m/s 的速度在平直公路上行驶，急刹车时的加速度大小为 5m/s^2 （刹车时认为车做匀变速运动），则自驾驶员急踩刹车开始， 2s 内与 5s 内汽车的位移大小之比为（ ）

- A. 4:5 B. 5:4 C. 4:3 D. 3:4

【答案】D

【解析】 2s 内汽车的位移 $x_1 = v_0t + \frac{1}{2}at^2 = (20 \times 2 - \frac{1}{2} \times 5 \times 4)\text{m} = 30\text{m}$ ，汽车速度减为0的时间 $t_0 = \frac{\Delta v}{a} = \frac{0-20}{-5}\text{s} = 4\text{s}$ ，刹车 5s 内的位移等于刹车 4s 内的位移， $x_2 = \frac{0-v_0^2}{2a} = \frac{0-400}{2 \times (-5)}\text{m} = 40\text{m}$ ，所以 2s 内与 5s 内汽车的位移大小之比为3:4，故D正确。

迁移应用 2. 多选 一物体以 5m/s 的初速度在光滑斜面上向上做匀减速运动，其加速度大小为 2m/s^2 ，设斜面足够长，经过 t 时间物体位移的大小为 4m ，则时间 t 可能为（ ）

- A. 2s B. 3s C. 4s D. $\frac{5+\sqrt{41}}{2}\text{s}$

【答案】CD

【解析】规定初速度方向为正方向，当物体的位移为 4m 时，根据 $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ ，得 $4\text{m} = 5t - \frac{1}{2} \times 2t^2$ ，解得 $t_1 = 1\text{s}$ ， $t_2 = 4\text{s}$ ；当物体的位移为 -4m 时，根据 $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ ，得 $-4\text{m} = 5t - \frac{1}{2} \times 2t^2$ ，解得 $t_3 = \frac{5+\sqrt{41}}{2}\text{s}$ ，故选C、D。

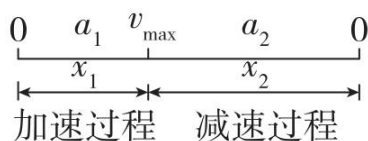
视野拓展

“ $0 \rightarrow v \rightarrow 0$ ”模型

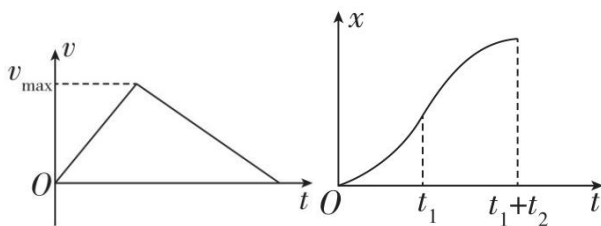
1. 模型特征

- ① 物体的初速度、末速度均为零。
- ② 先以大小为 a_1 的加速度做匀加速直线运动，速度达到最大值 $v_{\max}$ ，接着以大小为 a_2 的加速度做匀减速直线运动，最终速度减为零。
- ③ 每阶段的运动均适用匀变速直线运动规律。

2. 模型图例



- (1) 每段匀变速直线运动的 $v-t$ 图线均为斜率不为零的直线。
- (2) 每段匀变速直线运动的 $x-t$ 图线均为抛物线。



3. 解题规律

- (1) 两段运动的平均速度相同， $\bar{v}_1 = \bar{v}_2 = \frac{0+v_{\max}}{2}$ 。
- (2) 三个比例式
 - ① 由速度与时间的关系式 $v_{\max} = a_1 t_1$ 、 $v_{\max} = a_2 t_2$ ，推导可得 $\frac{a_1}{a_2} = \frac{t_2}{t_1}$ 。
 - ② 由速度与位移的关系式 $v_{\max}^2 = 2a_1 x_1$ 、 $v_{\max}^2 = 2a_2 x_2$ ，推导可得 $\frac{a_1}{a_2} = \frac{x_2}{x_1}$ 。
 - ③ 由平均速度公式得 $x_1 = \frac{v_{\max} t_1}{2}$ 、 $x_2 = \frac{v_{\max} t_2}{2}$ ，推导可得 $\frac{x_1}{x_2} = \frac{t_1}{t_2}$ 。

例2 [2024·山东滨州模拟] **多选** 在一次救灾中，一辆救灾汽车由静止开始做匀变速直线运动，刚运动了8s，由于前方突然有巨石滚下，堵在路中央，所以驾驶员紧急刹车，汽车匀减速运动经4s停在巨石前。则关于汽车的运动情况，下列说法错误的是（ ）

- A. 加速、减速中的加速度大小之比 $a_1:a_2 = 2:1$
- B. 加速、减速中的平均速度大小之比 $\bar{v}_1:\bar{v}_2 = 1:1$

- C. 加速、减速中的位移之比 $x_1:x_2 = 4:1$
- D. 加速、减速中的加速度大小之比 $a_1:a_2 = 1:2$

【答案】AC

【解析】设汽车加速结束时的速度为 v ，则加速、减速中的加速度大小之比 $a_1:a_2 = \frac{v}{t_1}:\frac{v}{t_2} = 1:2$ ，A 错误，D 正确；加速、减速中的平均速度大小之比 $\bar{v}_1:\bar{v}_2 = \frac{v}{2}:\frac{v}{2} = 1:1$ ，B 正确；加速、减速中的位移之比 $x_1:x_2 = (\bar{v}_1 t_1):(\bar{v}_2 t_2) = 2:1$ ，C 错误。

考点二 匀变速直线运动重要推论和比例式的应用

解决匀变速直线运动问题的常用方法

常用方法	适用情况	解决办法
逆向思维法	末速度为零的匀减速直线运动	看成反向的初速度为零的匀加速直线运动
比例法	常用于初速度为零的匀加速直线运动且运动具有等时性或等距离性	由连续相等时间（或距离）的比例关系求解
逐差法	适用于“纸带”类问题	由 $\Delta x = aT^2$ 求加速度
中间时刻速度法	常用于“等分”的运动，把运动按时间（或距离）等分之后求解	根据中间时刻的速度为该段位移的平均速度来求解问题
图像法	常用于加速度变化的变速运动	由图像的斜率、面积等条件判断

考向 1 匀变速直线运动几个重要推论的应用

例 3 [2023·山东卷·6, 3 分]如图所示，电动公交车做匀减速直线运动进站，连续经过 R 、 S 、 T 三点，已知 ST 间的距离是 RS 的两倍， RS 段的平均速度是 10m/s ， ST 段的平均速度是 5m/s ，则公交车经过 T 点时的瞬时速度为（ ）



- A. 3m/s B. 2m/s C. 1m/s D. 0.5m/s

【答案】C

【解析】解法一设电动公交车通过 R 、 S 、 T 三点的速度分别为 v_R 、 v_S 、 v_T ，通过 RS 段和 ST 段的平均速度分别为 $\bar{v}_{RS}$ 、 $\bar{v}_{ST}$ ，依题意，由匀变速直线运动规律有 $\bar{v}_{RS} =$

$$\frac{v_R + v_S}{2} = 10 \text{m/s} \text{①}$$

$$\bar{v}_{ST} = \frac{v_S + v_T}{2} = 5 \text{m/s} \text{②}$$

$$x_{RS} = \bar{v}_{RS} \cdot t_{RS} \text{③}$$

$$x_{ST} = \bar{v}_{ST} \cdot t_{ST} \text{④}$$

$$x_{ST} = 2x_{RS} \text{⑤}$$

$$\text{由①②③④⑤联立可得 } t_{ST} = 4t_{RS} \text{⑥}$$

设匀减速直线运动的加速度大小为 a ，则

$$v_R = v_T + 5at_{RS} \text{⑦}$$

$$v_S = v_T + 4at_{RS} \text{⑧}$$

$$\text{联立①⑦⑧式，整理可得 } 9at_{RS} = 20 - 2v_T \text{⑨}$$

$$\text{联立②⑧式，整理可得 } 4at_{RS} = 10 - 2v_T \text{⑩}$$

$$\text{⑨⑩两式相除得 } \frac{9at_{RS}}{4at_{RS}} = \frac{20 - 2v_T}{10 - 2v_T}, \text{ 即 } \frac{10 - v_T}{5 - v_T} = \frac{9}{4}, \text{ 解得 } v_T = 1 \text{m/s}, \text{ C 正确。}$$

解法二设电动公交车通过 R 、 S 、 T 三点的速度分别为 v_R 、 v_S 、 v_T ，通过 RS 段和 ST 段的平均速度分别为 $\bar{v}_{RS}$ 、 $\bar{v}_{ST}$ ，依题意，设匀减速直线运动的加速度大小为 a ，

$$\text{由匀变速直线运动规律有 } \bar{v}_{RS} = \frac{v_R + v_S}{2} = 10 \text{m/s} \text{①}$$

$$\bar{v}_{ST} = \frac{v_S + v_T}{2} = 5 \text{m/s} \text{②}$$

$$v_R^2 - v_S^2 = 2ax_{RS} \text{③}$$

$$v_S^2 - v_T^2 = 2ax_{ST} \text{④}$$

$$x_{ST} = 2x_{RS} \text{⑤}$$

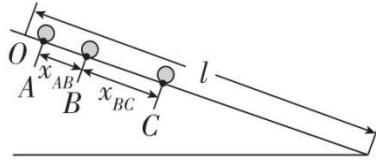
$$\text{联立③④⑤式，得 } \frac{v_R^2 - v_S^2}{v_S^2 - v_T^2} = \frac{x_{RS}}{x_{ST}} = \frac{1}{2} \text{⑥}$$

$$\text{联立①②⑥式，得 } v_R = v_T + 10 \text{m/s}$$

$$v_S = 10 \text{m/s} - v_T, \frac{v_R - v_S}{v_S - v_T} = \frac{1}{4}$$

解得 $v_T = 1 \text{m/s}$ ，C 正确。

迁移应用 3. [2024·安徽合肥模拟]从固定斜面上的 O 点每隔 0.1s 由静止释放一个同样的小球，释放后小球做匀加速直线运动。某一时刻，拍下小球在斜面滚动的照片，如图所示，测得小球相邻位置间的距离 $x_{AB} = 4\text{cm}$ ， $x_{BC} = 8\text{cm}$ 。已知 O 点距离斜面底端的长度为 $l = 35\text{cm}$ ，由以上数据可以得出（ ）



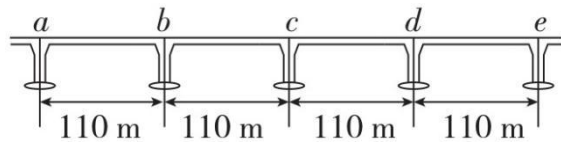
- A. 小球的加速度大小为 12m/s^2
- B. 小球在 B 点的速度大小为 1.2m/s
- C. 该照片是 A 位置的小球释放 0.3s 后拍摄的
- D. 斜面上最多有 5 个小球在滚动

【答案】D

【解析】小球的加速度大小为 $a = \frac{\Delta x}{T^2} = \frac{4 \times 10^{-2}}{0.1^2} \text{m/s}^2 = 4\text{m/s}^2$ ，A 错误；小球在 B 点的速度大小为 $v_B = \frac{x_{AB} + x_{BC}}{2T} = 0.6\text{m/s}$ ，B 错误；小球到达 B 点运动的时间 $t_B = \frac{v_B}{a} = \frac{0.6}{4} \text{s} = 0.15\text{s}$ ，该照片是 A 位置的小球释放 $0.15\text{s} - 0.1\text{s} = 0.05\text{s}$ 后拍摄的，C 错误；小球在斜面上运动的总时间为 $t = \sqrt{\frac{2l}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.35}{4}} \text{s} \approx 0.42\text{s}$ ，斜面上最多有 5 个小球在滚动，D 正确。

考向 2 初速度为零的匀加速直线运动的几个比例式的应用

例 4 [2024·广东广州模拟]多选 如图为港珠澳大桥上四段 110m 的等跨钢箱连续梁桥，若汽车从 a 点由静止开始做匀加速直线运动，通过 ab 段的时间为 t ，则（ ）

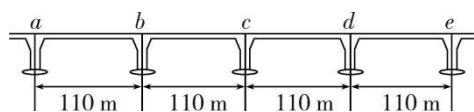


- A. 通过 be 段的时间为 $2t$
- B. ae 段的平均速度等于 b 点的瞬时速度
- C. 该汽车的加速度为 $\frac{110}{t^2}$
- D. 通过 de 段的时间为 $(2 - \sqrt{3})t$

【答案】BD

【解析】由于 ab 段和 be 段位移之比为 $1:3$ ，根据初速度为零的匀加速直线运动的比例关系可知，通过这两段位移的时间相等，所以通过 be 段的时间为 t ，故 A 错误；由于 b 点对应 ae 的中间时刻，所以 ae 段的平均速度等于 b 点的瞬时速度，故 B 正确；汽车在 ab 段有 $l_{ab} = \frac{1}{2}at^2$ ，所以 $a = \frac{220}{t^2}$ ，故 C 错误；根据初速度为零的匀加速直线运动的比例关系可得 $\frac{t_{ab}}{t_{de}} = \frac{1}{2-\sqrt{3}}$ ，所以 $t_{de} = (2 - \sqrt{3})t_{ab} = (2 - \sqrt{3})t$ ，故 D 正确。

变式. 多选 如图所示为港珠澳大桥上四段 110m 的等跨钢箱连续梁桥，若汽车从 a 点由静止开始做匀加速直线运动，通过 ab 段的时间为 t 。则（ ）



- A. 通过 bc 段的时间也为 t
- B. 通过 ae 段的时间为 $2t$
- C. 汽车通过 b 、 c 、 d 、 e 时的速度之比为 $1:2:3:4$
- D. 汽车通过 b 、 c 、 d 、 e 时的速度之比为 $1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:2$

【答案】BD

【解析】根据初速度为零的匀加速直线运动的特点可知，通过 x 、 $2x$ 、 $3x$ 、 $\dots$ 位移所用时间之比为 $t_1:t_2:t_3:\dots = 1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:\dots$ ，所以汽车通过 bc 段的时间为 $(\sqrt{2} - 1)t$ ，汽车通过 ae 段的时间为 $2t$ ，故 A 错误，B 正确； x 末、 $2x$ 末、 $3x$ 末、 $\dots$ 的瞬时速度之比为 $v_1:v_2:v_3:\dots = 1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:\dots$ ，所以汽车通过 b 、 c 、 d 、 e 时的速度之比为 $1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:2$ ，故 C 错误，D 正确。