

专题一 直线运动

过关 1 匀变速直线运动



知识提炼

一、匀变速直线运动规律

①速度与时间的关系式： $v=v_0+at$ ；

②位移与时间的关系式： $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ ；

③位移与速度的关系式： $v^2-v_0^2=2ax$ 。

注意：以上各式均为矢量式，应用时应规定正方向，然后把矢量化为代数量求解，通常选初速度方向为正方向。

二、推论

1. 匀变速直线运动的质点，连续相等时间内位移差公式为 $\Delta x=x_2-x_1=x_3-x_2=\cdots=x_n-x_{n-1}=aT^2$ ，可以推广到 $x_m-x_n=(m-n)aT^2$ 。

2. 匀变速直线运动的质点，在某段时间内的中间时刻的瞬时速度，等于这段时间内的平均速度，即 $\bar{v}=v_{\frac{t}{2}}=\frac{v_0+v}{2}$ 。

3. 某段位移的中间位置的瞬时速度 $v_{\frac{x}{2}}=\sqrt{\frac{v_0^2+v^2}{2}}$ 。

提示

公式中有四个物理量，已知其中的三个可求出另一个：①若已知公式中的 $v、a、t$ ，可用 $v_0=v-at$ 求解初速度；②若已知公式中的 $v_0、v、t$ ，可用 $a=\frac{v-v_0}{t}$ 求解加速度；③若已知公式中的 $v_0、v、a$ ，可用 $t=\frac{v-v_0}{a}$ 求解时间；④若已知公式中的 $v_0、a、t$ ，可用 $v=v_0+at$ 求解 t 时刻速度。



考点突破

一、初速度为零的常见匀变速直线运动推论

1. (1) $T、2T、3T、\cdots nT$ 的速度之比为 $v_1:v_2:v_3:\cdots:v_n=1:2:3:\cdots:n$ ；

(2) $T、2T、3T、\cdots nT$ 的位移之比为 $x_1:x_2:x_3:\cdots:x_n=1:4:9:\cdots:n^2$ ；

(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 $x_1:x_{21}:x_{32}:\cdots:x_{n(n-1)}=1:3:5:\cdots:(2n-1)$ 。

2. (1) 通过 $x、2x、3x、\cdots nx$ 时的速度之比为 $v_1:v_2:v_3:\cdots:v_n=1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:\cdots:\sqrt{n}$ ；

(2) 通过 $x、2x、3x、\cdots nx$ 的时间之比为 $t_1:t_2:t_3:\cdots:t_n=1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:\cdots:\sqrt{n}$ ；

(3) 第一个 x 内、第二个 x 内、第三个 x 内、 $\cdots$ 第 n 个 x 内的时间之比为 $t_1:t_{21}:t_{32}:\cdots:t_{n(n-1)}=1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2}):\cdots:(\sqrt{n}-\sqrt{n-1})$ 。

二、解决匀变速直线运动的常用方法

方法	分析说明
基本公式法	基本公式指速度公式、位移公式、速度与位移关系式，它们均是矢量式，使用时要 规定正方向
平均速度法	1. 定义式 $\bar{v}=\frac{x}{t}$ 对任何性质的运动都适用 2. $\bar{v}=\frac{1}{2}(v_0+v)$ 只适用于匀变速直线运动
中间时刻速度法	利用 “中间时刻的速度等于这段时间内的平均速度” ，即 $v_{\frac{t}{2}}=\bar{v}$ ，该式适用于匀变速直线运动
逆向思维法	把物体所发生的物理过程逆过来加以分析的方法即逆向思维法。如：将做匀减速直线运动至速度为零的过程反向，转化为初速度为零的匀加速直线运动

(续表)

方法	分析说明
图像法	应用 $v-t$ 图像, 可把较复杂的问题转变为较简单的数学问题解决, 尤其是用图像定性分析, 可避开繁杂的计算, 快速得出答案
推论法	匀变速直线运动中, 在连续相等的时间 T 内的位移之差为一恒量, 即 $x_{n+1} - x_n = aT^2$. 对一般的匀变速直线运动问题, 若出现相等的时间间隔, 应优先考虑用 $\Delta x = aT^2$ 求解



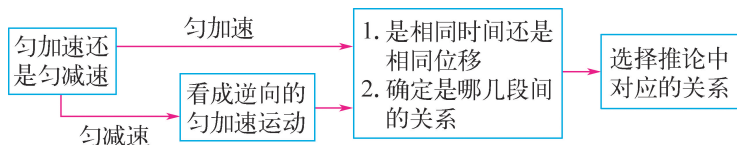
高分攻略

考向1 匀变速直线运动中的比值关系

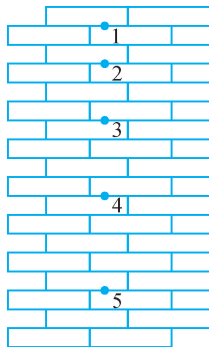
考向特征

在初速度为零的匀变速直线运动中, 判断相同位移(或时间)的速度、时间(或位移)的关系

解题攻略



例 (2025 扬州中学期初检测) 如图所示, 将一小球从竖直砖墙边的某位置由静止释放. 用频闪照相机在同一底片上多次曝光, 得到了图中 1、2、3、… 所示的小球运动过程中每次曝光的位置. 已知连续两次曝光的时间间隔均为 T , 每块砖的厚度均为 d . 根据图中的信息, 下列说法中错误的是 ()



- A. 能判定小球的下落是匀加速直线运动
- B. 小球下落的加速度为 $\frac{d}{T^2}$
- C. 小球在位置 3 时的速度为 $\frac{7d}{2T}$
- D. 位置 1 是小球释放的初始位置

答案 D

攻略展示 判断相同时间通过的位移之比: 根据相邻两段位移之差 Δx 等于恒量, 可知小球的下落是匀加速直线运动, A 正确; 根据匀变速直线运动推论, 如果位置 1 是小球释放的初始位置, 相同时间间隔内, 相邻位移之比 $x_{21} : x_{32} : x_{43} : \dots : x_{n(n-1)} = 1 : 3 : 5 : \dots : (2n-1)$, 而题图中小球下落中的相邻位移之比 $x_{21} : x_{32} : x_{43} = 2 : 3 : 4$, 因此位置 1 一定不是小球释放的初始位置, D 错误; 根据 $\Delta x = aT^2$, 可知小球下落的加速度 $a = \frac{\Delta x}{T^2} = \frac{d}{T^2}$, B 正确; 根据匀变速直线运动中的中间时刻速度法, 可知小球在位置 3 时的速度等于在位置 2 到位置 4 之间的平均速度, 在位置 3 时的速度 $v_3 = \frac{7d}{2T}$, C 正确.

易错提醒

在应用比值法时, 知道适用范围是关键, 将题目信息转化为自己熟悉的物理关系, 例如在本题中误认为位置 1 是小球释放的初始位置. 根据题目信息可判断小球下落的相邻位移之比不符合初速度为零的匀变速直线运动中的比值关系, 即位置 1 不是小球释放的初始位置.

专题二 相互作用 牛顿运动定律

过关 2 常见的力 力的合成与分解



一、三种基本性质力

项目	重力	弹力	摩擦力
产生	由于地球的吸引	两物体直接接触、接触处有形变	接触面粗糙、接触处有弹力、有相对运动或相对运动趋势
大小	$G=mg$	弹簧类物体在弹性限度内遵循胡克定律： $F=kx$ 。非弹簧类物体弹力大小应由平衡条件或动力学规律求解	滑动摩擦力用公式 $F_f=\mu F_N$ 求解，静摩擦力大小应由平衡条件或动力学规律求解
方向	竖直向下，不一定指向地心	与受力物体形变的方向相同，与施力物体形变的方向相反	与相对运动或相对运动趋势方向相反
作用点	重心：重力的等效作用点	接触面上	接触面上

二、合力范围的确定

1. 两个共点力的合力范围： $|F_1-F_2|\leq F\leq F_1+F_2$.
2. 三个共点力的合力范围：

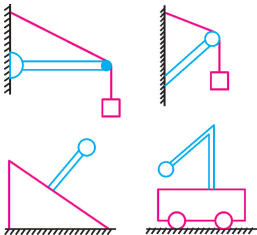
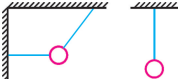
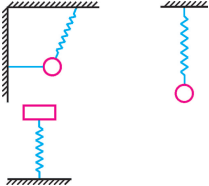
(1) 三个力同向时，其合力最大，为 $F_{\max}=F_1+F_2+F_3$.

(2) 以这三个力的大小为边，如果能组成封闭的三角形，则其合力的最小值为零，即 $F_{\min}=0$ ；如果不能，则合力的最小值为 $F_{\min}=|F_1-(F_2+F_3)|$ (F_1 为三个力中最大的力)。



考点突破

一、弹力的三种模型对比

模型		轻杆	轻绳	轻弹簧
模型图示				
模型特点	形变特点	只能发生微小形变	柔软，只能发生微小形变， 各处张力大小相等	既可伸长，也可压缩， 各处弹力大小相等
	方向特点	不一定沿杆，可以是任意方向	只能沿绳， 指向绳收缩的方向	沿弹簧轴线， 与形变方向相反
	大小计算	运用平衡方程或牛顿第二定律求解	运用平衡方程或牛顿第二定律求解	①牛顿第二定律 ②胡克定律 $F=kx$
	作用效果	可以提供拉力、推力	只能提供拉力	可以提供拉力、推力
	突变特点	可以发生突变	可以发生突变	一般 不能发生突变

物块运动的位移 $x_2 = \frac{v_{共}^2}{2a_2} = \frac{1}{4} \text{ m}$,

则物块与长木板间摩擦生成的热量

$Q = \mu_2 mg(s + x_2 - x_1) = \frac{11}{4} \text{ J}.$

解后反思

“板块”模型的三种状态的分析

状态	板、块速度不相等	板、块速度相等瞬间	板、块共速运动
方法	隔离法	假设法	整体法
步骤	对滑块和木板进行隔离分析, 弄清每个物体的受力情况与运动过程	假设两物体间无相对滑动, 先用整体法算出一起运动的加速度, 再用隔离法计算滑块的摩擦力 F_f ; 比较 F_f 与最大静摩擦力 F_{fm} 的关系, 若 $F_f > F_{fm}$, 则发生相对滑动	将滑块和木板看成一个整体, 对整体进行受力分析和运动过程分析
临界条件	①板、块速度相等的瞬间, 摩擦力可能发生突变 ②当木板的长度一定时, 滑块可能从木板滑下, 恰好滑到木板的边缘达到共同速度(相对静止)是滑块滑离木板的临界条件		
原理	运动学公式、牛顿运动定律等		

注意: (1) 求解中应注意速度是联系两个过程的纽带, 每一个过程的末速度是下一个过程的初速度. (2) 滑块和滑板的位移都是相对地的位移.

专题三 曲线运动

过关 5 运动的合成与分解

知识提炼

两个直线运动的合运动性质的判断

分运动	合运动
两个匀速直线运动	匀速直线运动
一个匀速直线运动、一个匀变速直线运动	匀变速曲线运动
两个初速度为零的匀加速直线运动	匀加速直线运动
两个初速度不为零的匀变速直线运动	如 $v_{合}$ 与 $a_{合}$ 共线, 为匀变速直线运动
	如 $v_{合}$ 与 $a_{合}$ 不共线, 为匀变速曲线运动

考点突破

渡河问题图解

问题	最短渡河时间问题	最短渡河位移问题	最小渡河船速问题
图示			

(续表)

问题	最短渡河时间问题		最短渡河位移问题	最小渡河船速问题
说明	当船体垂直河岸时,渡河时间最短,大小为 $t=\frac{d}{v_{\text{船}}}$	当 $v_{\text{水}}<v_{\text{船}}$ 时,如果满足 $v_{\text{水}}-v_{\text{船}}\cdot\cos\theta=0$,即合速度垂直河岸,渡河位移最短,等于河宽 d	当 $v_{\text{水}}>v_{\text{船}}$ 时,如果船头方向(即 $v_{\text{船}}$ 方向)与合速度方向垂直,船有最短渡河位移,为 $s_{\text{min}}=d\frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{船}}}$	在水流速度 $v_{\text{水}}$ 和船的航行方向($v_{\text{合}}$ 的方向)一定的前提下,当船头($v_{\text{船}}$ 方向)与既定航行方向垂直时,就有最小船速, $v_{\text{船min}}=v_{\text{水}}\sin\theta$

注意: (1) 渡河时间只与船垂直于河岸方向的分速度有关,与水流速度无关。(2) 船渡河位移最小值与 $v_{\text{船}}$ 和 $v_{\text{水}}$ 大小关系有关:当 $v_{\text{船}} > v_{\text{水}}$ 时,河宽即为最小位移;当 $v_{\text{船}} < v_{\text{水}}$ 时,应利用图解法求极值。

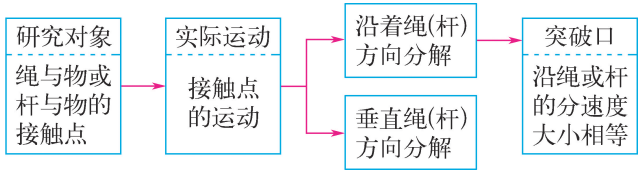
高分攻略

考向 5 关联速度问题

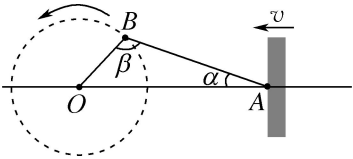
考向特征

两个物体通过绳(杆)相牵连,已知其中一个物体的速度,求另一个物体的速度

解题攻略



例 (海安高级中学月考)活塞带动飞轮转动可简化为如图所示的模型:图中 A、B、O 三处都是转轴,当活塞在水平方向上移动时,带动连杆 AB 运动,进而带动 OB 杆以 O 点为轴转动。若某时刻活塞的水平速度大小为 v ,连杆 AB 与水平方向夹角为 α ,AB 杆与 OB 杆的夹角为 β ,此时 B 点做圆周运动的线速度大小为 ()



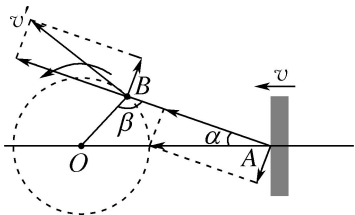
- A. $\frac{v \sin \alpha}{\sin \beta}$
- B. $\frac{v \cos \alpha}{\sin \beta}$
- C. $\frac{v \cos \alpha}{\cos \beta}$
- D. $\frac{v \sin \alpha}{\cos \beta}$

答案 B

攻略展示

确定研究对象的实际速度: 设 B 点做圆周运动的线速度大小为 v' ,此速度为 B 的实际速度,A 点速度为水平方向的 v 。

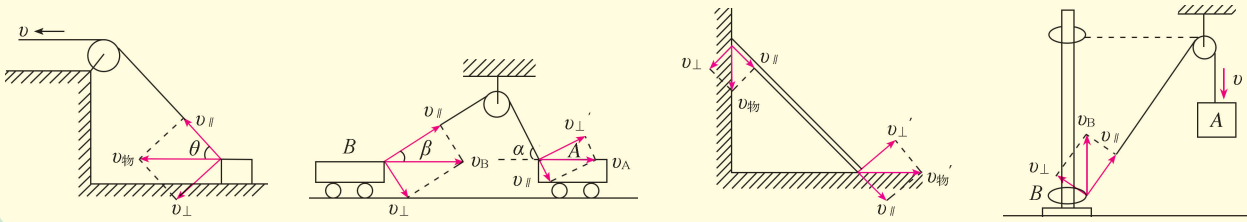
分解速度: 将合速度分解为沿杆方向的分速度和垂直杆方向的分速度(B 的分运动分别为沿杆向左和垂直于杆向上,A 的分运动分别为沿杆向左和垂直于杆向下),如图所示。



根据沿杆方向速度相等求解: B 点沿杆方向的分速度为 $v_B = v' \cos(\beta - \frac{\pi}{2}) = v' \sin \beta$, A 点沿杆方向的分速度为 $v_A = v \cos \alpha$,两者沿杆方向的分速度相等,即 $v' \sin \beta = v \cos \alpha$,则 $v' = \frac{v \cos \alpha}{\sin \beta}$,B 正确。

方法总结

四种常见的速度分解模型



专题四 万有引力与航天

过关 8 万有引力定律及其应用

知识提炼

卫星运动参量	相关方程	结论
线速度 v	$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}, v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$	卫星轨道半径越大,其线速度越小(动能越小,势能越大,机械能越大)
角速度 ω	$G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r, \omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$	卫星轨道半径越大,其角速度越小
周期 T	$G \frac{Mm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r, T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$	卫星轨道半径越大,其周期越大(频率越小)
向心加速度 a_n	$G \frac{Mm}{r^2} = ma_n, a_n = \frac{GM}{r^2}$	卫星轨道半径越大,其向心加速度越小(同一卫星所受万有引力越小)

考点突破

一、解决天体(卫星)运动的基本思路

1. 天体运动的向心力来源于天体之间的万有引力,即 $G \frac{Mm}{r^2} = ma_n = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}$.
2. 在中心天体表面或附近运动时,万有引力近似等于重力,即 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ (g 表示天体表面的重力加速度).

二、天体表面及上空的重力加速度

1. 在天体表面附近的重力加速度 g (不考虑天体自转):由 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$,得 $g = \frac{GM}{R^2}$.
2. 在天体上空距离天体中心 $r = R + h$ 处的重力加速度 g' :由 $mg' = \frac{GMm}{(R+h)^2}$,得 $g' = \frac{GM}{(R+h)^2}$.

三、中心天体质量和密度常用的估算方法

	使用方法	已知量	利用公式	表达式	备注
质量的计算	利用运行天体	$r、T$	$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$	$M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$	只能得到中心天体的质量
		$r、v$	$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$	$M = \frac{rv^2}{G}$	
		$v、T$	$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}, G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$	$M = \frac{v^3 T}{2\pi G}$	
	利用天体表面重力加速度	$g、R$	$mg = \frac{GMm}{R^2}$	$M = \frac{gR^2}{G}$	—
密度的计算	利用运行天体	$r、T、R$	$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r, M = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3$	$\rho = \frac{3\pi r^3}{GT^2 R^3}$ 当 $r = R$ 时, $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$	利用近地卫星只需测出其运行周期
	利用天体表面重力加速度	$g、R$	$mg = \frac{GMm}{R^2}, M = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3$	$\rho = \frac{3g}{4\pi GR}$	—

 **提醒:** 估算天体质量和密度时应注意的两点:(1) 利用万有引力提供向心力估算天体质量时,估算的只是中心天体的质量,并非环绕天体的质量.(2) 计算天体密度时, $V = \frac{4}{3} \pi R^3$ 中的 R 只能是中心天体的半径,只有在天体表面附近的卫星才有 $r \approx R$.

考向 8 卫星变轨问题中各物理量的变化情况

考向特征

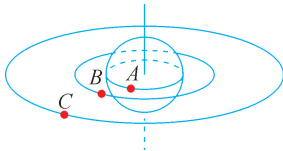
卫星做离心(或近心)运动变轨到另一轨道上,比较卫星在不同轨道的速度、加速度等

解题攻略



- 1. 由 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 判断在圆轨道上的运行速度,圆轨道与椭圆轨道间可通过点火方向判断.
- 2. 由 $a = \frac{GM}{r^2}$ 判断加速度, r 表示卫星距天体中心的距离.
- 3. 由轨道半径(半长轴)判断周期 T ,半径(半长轴)越大,周期(机械能)越大.
- 4. 机械能由轨道半径或点火方向判断.

例 (2024 南京期中)如图所示, A 是静止在赤道上的物体, B 、 C 是同一平面内两颗人造卫星. B 为绕地球表面的近地卫星, C 是地球静止卫星.下列说法中正确的是 ()



- A. 卫星 B 的速度大于地球的第一宇宙速度
- B. A 、 B 的线速度大小关系为 $v_A > v_B$
- C. 周期大小关系为 $T_C > T_B > T_A$
- D. 若卫星 B 要靠近 C 所在轨道,需要先加速

答案 D

攻略展示 根据 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 判断运行速度:第一宇宙速度是近地卫星的环绕速度,卫星 B 的运行速度大小等于地球的第一宇宙速度,故 A 错误;根据万有引力提供向心力得 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$,卫星 C 的运行轨道半径大于卫星 B 的运行轨道半径,所以卫星 C 的运行速度大小小于卫星 B 的运行速度大小,地球静止卫星 C 和静止在赤道上的物体 A 是同步的,两者角速度相等,根据 $v = r\omega$, $r_A < r_C$,知 $v_A < v_C$,则 $v_A < v_B$,故 B 错误.

由轨道半径(半长轴)判断周期 T :地球静止卫星 C 的轨道半径大于近地卫星 B 的轨道半径,根据开普勒第三定律可知 $T_C > T_B$,地球静止卫星 C 和地球赤道上的物体 A 的角速度相等,周期 $T_C = T_A$,故 C 错误.

卫星在较低轨道向后喷气进入较高轨道:若卫星 B 要靠近 C 所在轨道,需要向后喷气,即需要先加速,故 D 正确.

规律总结

变轨过程中四个运行参量之间的大小关系

速度	设卫星在圆轨道 I 和 III 上运行时的速率分别为 v_1 、 v_3 ,在轨道 II 上过 A 点和 B 点时的速率分别为 v_A 、 v_B . 在 A 点加速,进入轨道 II,则 $v_A > v_1$,在 B 点加速,进入轨道 III,则 $v_3 > v_B$,又因 $v_1 > v_3$,故有 $v_A > v_1 > v_3 > v_B$	
加速度	因为在 A 点,卫星只受到万有引力的作用,故不论在轨道 I 还是轨道 II 上经过 A 点,卫星的加速度都相同;同理,经过 B 点加速度也相同	
周期	设卫星在 I、II、III 轨道上运行的周期分别为 T_1 、 T_2 、 T_3 ,轨道半径(半长轴)分别为 r_1 、 r_2 、 r_3 ,由开普勒第三定律 $\frac{r^3}{T^2} = k$ 可知 $T_1 < T_2 < T_3$	
机械能	由轨道 I 变为轨道 II,除了动能转化为势能,还要消耗其他能量,则 $E_I < E_{II}$,同理,由轨道 II 变为轨道 III,有 $E_{II} < E_{III}$,故 $E_I < E_{II} < E_{III}$	