高考必刷题®

合订本

理想树

狂K重难点

直击题核 破障速通

- 重难考点 37 个
- 核心考试 74 个
- 典例剖析 83 个

物理



扫码获取精讲视频

10分钟破解一个重难点

目录 contents

第 1 章　直线运动　（正文）（对点练）

重难 1　运动情境多过程问题 …… （425）（4）
重难 2　匀变速直线运动推论的应用 …… （425）（3）
重难 3　追及相遇问题 …… （427）（11）

第 2 章　相互作用

重难 4　静态平衡问题 …… （428）（20）
重难 5　共点力下的动态平衡问题 …… （429）（24）

第 3 章　运动和力的关系

重难 6　连接体模型 …… （433）（38）
重难 7　板块模型问题 …… （433）（36）
重难 8　传送带模型 …… （435）（35）

第 4 章　曲线运动

重难 9　平抛运动与斜面、曲面的结合 …… （437）（49）
重难 10　斜抛运动模型 …… （438）（48）
重难 11　水平面与竖直平面内的物体转动模型 …… （438）（52）

第 5 章　万有引力与航天

重难 12　估算天体质量和密度 …… （441）（60）
重难 13　卫星变轨模型 …… （441）（66）
重难 14　卫星追赶模型 …… （442）（67）

第 6 章　机械能守恒定律的应用

重难 15　动能定理的实际应用 …… （443）（76）
重难 16　机械能守恒问题 …… （444）（78）
重难 17　弹簧类问题 …… （447）（79）

第 7 章　动量　动量守恒定律

重难 18　动量定理的应用 …… （449）（90）
重难 19　动量守恒定律的综合应用 …… （449）（93）
重难 20　物体系统的多过程问题 … （451）（98）

第 8 章　机械振动与机械波

重难 21　振动和波的综合问题 …… （453）（111）

第 9 章　静电场

重难 22　电场的性质 …… （455）（124）
重难 23　电场图像问题 …… （458）（134）
重难 24　带电粒子在电场中的运动 …… （459）（137）

第 10 章　恒定电流

重难 25　电路的动态分析、故障分析和含容电路 …… （462）（148）

第 11 章　磁　场

重难 26　安培力作用下的导体运动问题 …… （464）（157）
重难 27　带电粒子在有界磁场中的运动问题 …… （464）（162）
重难 28　带电粒子在复合场中的运动 …… （467）（164）
重难 29　现代科学仪器结构 …… （469）（167）

第 12 章　电磁感应

重难 30　楞次定律的应用 …… （472）（174）
重难 31　法拉第电磁感应定律的应用 …… （473）（177）
重难 32　电磁感应中的“杆+导轨”模型 …… （474）（181）
重难 33　电磁感应中的线框模型 …… （479）（182）

第 13 章　交变电流

重难 34　变压器问题 …… （482）（195）

第 14 章　热　学

重难 35　气体实验定律和热力学定律的综合应用 …… （484）（214）

第 15 章　光　学

重难 36　光的折射和全反射的综合应用 …… （486）（225）

第 16 章　近代物理

重难 37　光电效应 …… （488）（232）

第1章 直线运动

重难1▸运动情境多过程问题

链接练习册 P4T8

考法1 0-v-0 模型

重难解读

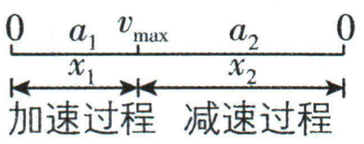
1. 题目特征

①物体的初速度、末速度均为零.

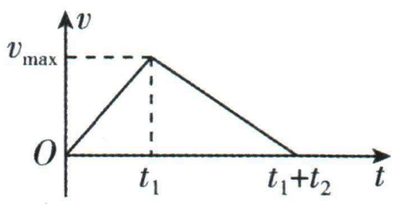
②先以大小为 a_1 的加速度做初速度为零的匀加速直线运动,速度达到最大值 v_{max};接着以大小为 a_2 的加速度做匀减速直线运动,最终速度减为零.

③每个阶段的运动均适用匀变速直线运动规律.

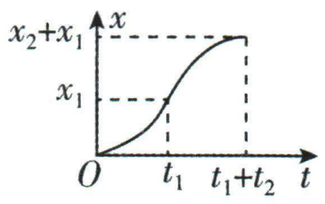
2. 模型图例



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.



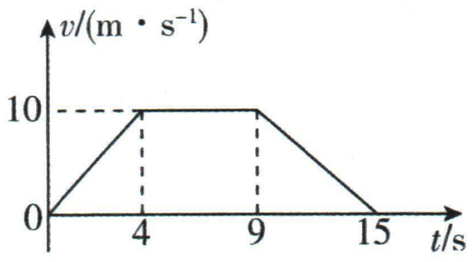
3. 解题规律

①两段运动的平均速度相同,$\bar{v}_1=\bar{v}_2=\dfrac{0+v_{max}}{2}$.

②两段运动的位移之比 $\dfrac{x_1}{x_2}=\dfrac{t_1}{t_2}$.

③运用逆向思维,把第二段匀减速直线运动看作反方向的匀加速直线运动,易得两段运动的加速度大小之比 $\dfrac{a_1}{a_2}=\dfrac{t_2}{t_1}$.

例1 [安徽滁州 2025 期中]2024 年 2 月 24 日晚,某市举办了元宵烟火晚会,为完成拍摄任务,摄影组采用了无人机全程拍摄,无人机在地面上由静止开始竖直起飞. 经历匀加速直线运动、匀速直线运动及匀减速直线运动三个运动过程,15 s 后悬停在距离地面某一高度处. 其速度 v 随时间 t 变化的关系如图所示,则下列说法正确的是 (　　)



A. 匀速运动阶段的位移大小为 90 m

B. 匀加速阶段和匀减速阶段的加速度大小之比为 3∶2

C. 悬停处距离地面的高度为 20 m

D. 匀加速阶段和匀减速阶段的平均速度大小之比为 2∶3

解析 (提示:该模型中间虽然加了一段匀速直线运动,但是依然符合 0-v-0 模型特征)v-t 图线与时间轴围成的面积代表位移,则匀速运动阶段的位移大小为 $x_2=vt_2=10\times5\ m=50\ m$,故 A 错误;$v$-$t$ 图像的斜率代表加速度,则匀加速阶段和匀减速阶段的加速度大小之比为 $\dfrac{a}{a'}=\dfrac{t'}{t}=3∶2$,故 B 正确;悬停处距离地面的高度 $h=\dfrac{5+15}{2}\times10\ m=100\ m$(提示:无人机全程上升的高度等于 v-t 图线与时间轴所围梯形的面积),故 C 错误;根据平均速度公式 $\bar{v}=\dfrac{v_0+v}{2}$ 可知,0-v-0 模型中匀加速阶段和匀减速阶段平均速度相同,可知两段的平均速度大小之比为 1∶1,故 D 错误.

答案 B

重难2▸匀变速直线运动推论的应用

链接练习册 P3T5

考法2 初速度为零的匀加速直线运动模型

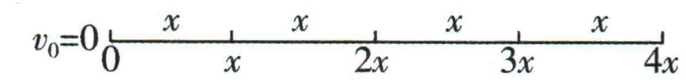
1. 题目特征

①初速度为零的匀加速直线运动.

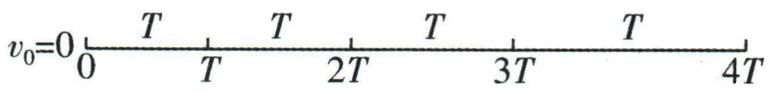
②匀减速直线运动减速到速度为零.

2. 模型图例

①按位移段划分(x 为等分位移).



②按时间段划分(T 为等分时间间隔).



3. 常用推论

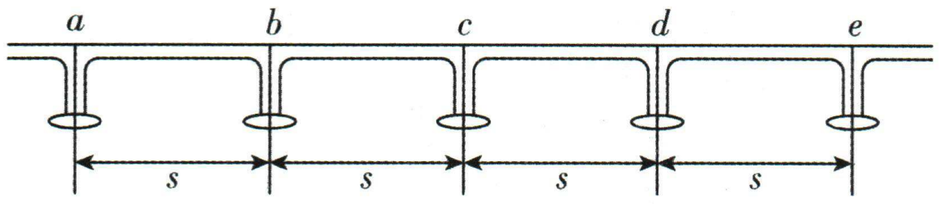
①从静止开始运动，通过连续相等的位移所用时间之比 $t_1 : t_2 : t_3 : \cdots : t_n = 1 : (\sqrt{2}-1) : (\sqrt{3}-\sqrt{2}) : \cdots : (\sqrt{n}-\sqrt{n-1})$.

②从静止开始运动，通过连续相等的位移后的瞬时速度之比 $v_x : v_{2x} : v_{3x} : \cdots : v_{nx} = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \cdots : \sqrt{n}$.

③从静止开始运动，在连续相等的时间间隔内通过的位移之比 $x_1 : x_2 : x_3 : \cdots : x_n = 1 : 3 : 5 : \cdots : (2n-1)$.

④从静止开始运动，通过连续相等的时间间隔后瞬时速度之比 $v_1 : v_2 : v_3 : \cdots : v_n = 1 : 2 : 3 : \cdots : n$.

例 2 [安徽合肥六校 2025 期中]合肥轨道交通 8 号线一期工程是安徽省首条全自动运行的地铁线路. 列车在一次运行测试中，从 a 点开始做匀减速直线运动，通过连续四段相等的位移 s，运动到 e 点时速度减为零，列车可视为质点. 下列说法正确的是 (　　)



A. 列车通过 a、b、c、d 点时的速度大小之比为 $4 : 3 : 2 : 1$

B. 列车通过 ae 段的平均速度等于通过 c 点的瞬时速度

C. 列车通过 ab 段和 de 段的平均速度大小之比为 $(2-\sqrt{3}) : 1$

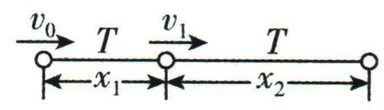
D. 列车通过 ac 段和 ce 段所用时间之比为 $(\sqrt{2}-1) : 1$

解析 (提示：根据逆向思维法解题)运用逆向思维，将列车的运动看作反向的匀加速直线运动，根据速度—位移公式 $v^2 = 2ax$ 可知，列车通过 a、b、c、d 点时的速度大小之比为 $2 : \sqrt{3} : \sqrt{2} : 1$，A 错误；$c$ 点是位移的中点，不是时间的中点，故列车通过 ae 段的平均速度不等于通过 c 点的瞬时速度，B 错误；根据初速度为零的匀变速直线运动通过相等位移所用时间规律可知，列车通过 ab 段和 de 段的时间之比为 $(2-\sqrt{3}) : 1$，根据平均速度的公式 $\overline{v} = \frac{x}{t}$，可知平均速度大小之比为 $1 : (2-\sqrt{3})$，C 错误；根据初速度为零的匀变速直线运动通过相等位移所用时间规律可知，列车通过 ac 段和 ce 段所用时间之比为 $(\sqrt{2}-1) : 1$，D 正确.

答案 D

考法 3　匀变速直线运动中逐差法的应用

做匀变速直线运动的物体，在任意两个连续相等的时间 T 内的位移差是个常量，即 $\Delta x = aT^2$，如图所示.



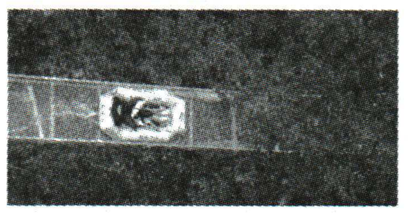
1. 判断物体是否做匀变速直线运动

如果 $\Delta x = x_2 - x_1 = x_3 - x_2 = \cdots = x_n - x_{n-1} = aT^2$ 成立，则 a 为一恒量，说明物体做匀变速直线运动.

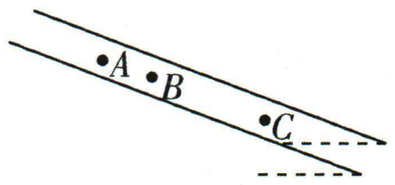
2. 利用 $\Delta x = aT^2$，可求得 $a = \frac{\Delta x}{T^2}$.

3. 如果题目条件没有给定加速度或不涉及速度时使用该公式比较方便.

例 3 [重庆名校联盟 2025 期中](多选)一漂流艇(可视为质点)从玻璃直滑道(如图甲所示)的斜面顶端由静止开始匀加速滑下，依次经过斜面上的 A、B、C 三点，将玻璃直滑道简化成如图乙所示的模型，已知 $x_{AB} = 6\ \text{m}$，$x_{BC} = 8\ \text{m}$，漂流艇通过这两段距离的时间都是 2 s. 则 (　　)



甲



乙

A. 漂流艇的加速度大小为 $0.5\ \text{m/s}^2$

B. 漂流艇通过 B 点时的速度大小为 $7\ \text{m/s}$

C. B 点距斜面顶端的距离为 $12.25\ \text{m}$

D. B 点距斜面顶端的距离为 $49\ \text{m}$

解析 (提示：题中已知连续相同时间内的位移，可以根据逐差法计算加速度大小)根据逐差法，漂流艇的加速度大小为 $a = \frac{x_{BC}-x_{AB}}{T^2} = \frac{8-6}{2^2}\ \text{m/s}^2 = 0.5\ \text{m/s}^2$，故 A 正确；漂流艇通过 B 点时的速度大小等于漂流艇通过 AC 段的平均速度大小，则 $v_B = \frac{x_{AB}+x_{BC}}{2T} = \frac{6+8}{2\times 2}\ \text{m/s} = 3.5\ \text{m/s}$，故 B 错误；$B$ 点距斜面顶端的距离为 $x_B = \frac{v_B^2}{2a} = \frac{3.5^2}{2\times 0.5}\ \text{m} = 12.25\ \text{m}$，故 C 正确，D 错误.

答案 AC

重难3▸追及相遇问题

链接练习册 P11T3

考法4 追及相遇问题的分析方法

直线运动中的追及相遇问题实质是研究两物体能否在相同的时刻到达相同的空间位置的问题. 按初速度的大小关系主要分为两大类:速度小者追速度大者、速度大者追速度小者.

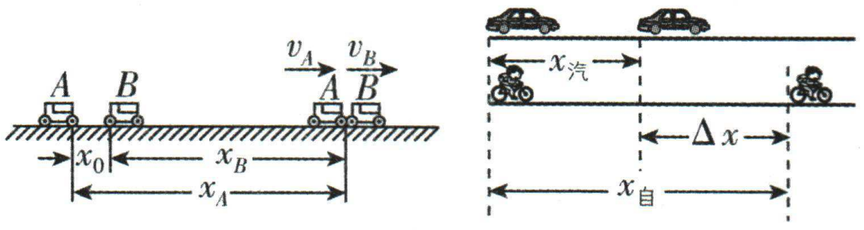
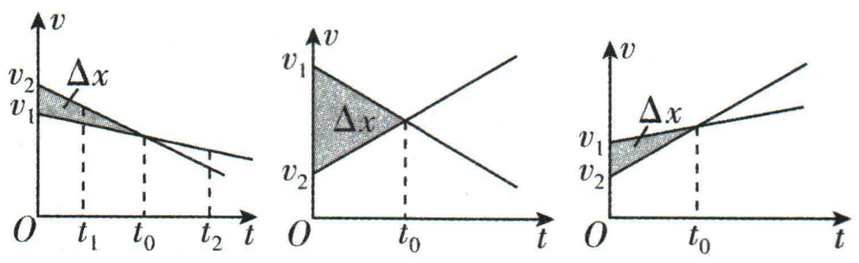
重难解读

1. 分析追及相遇问题的思路

注意抓住一个条件、用好两个关系.

一个条件	速度相等	这是两物体能否追上(或相撞)、距离最大、距离最小的临界点,是解题的切入点
两个关系	时间关系、位移关系	画示意图找出两物体位移之间的关系是解题的突破口

2. 分析追及相遇问题的方法总结

物理分析法	抓住“两物体能否同时到达空间某位置”这一关键,认真审题,建立物体运动情景图,分析两物体的速度大小关系,利用速度相等时两物体的位置关系,判断能否追上、二者相距最近或最远时的距离 
图像法	将两者的 $v-t$ 图像画在同一坐标系中,然后利用图线与坐标轴所围面积分析,判断相距最远、最近还是相遇. 提醒:利用 $v-t$ 图像解题的前提条件是两个物体的出发点明确 
数学函数方程判断法	设经过时间 t,二者间的距离 $\Delta x=x_B+x_0-x_A$,假设追上,$\Delta x=0$,方程中 $\Delta=b^2-4ac$,$\Delta<0$,追不上;$\Delta=0$,恰好追上,方程有一解;$\Delta>0$,方程有两解,也可以利用函数极值求解二者距离最大值或最小值

【注意】(1)若被追赶的物体做匀减速直线运动,一定要注意判断追上前该物体是否已经停止运动;

(2)解决问题时要注意二者是否同时出发、是否从同一地点出发.

例4 [甘肃兰州一中2025期中]某一长直的赛道上,一辆赛车前方200 m处有一安全车正以10 m/s的速度匀速前进,这时赛车从静止出发以2 m/s^{2}的加速度追赶. 求:

(1)赛车出发3 s末的瞬时速度大小;

(2)赛车追上安全车所需的时间及追上时的速度大小;

(3)追上之前两车的最大距离.

解析 (1)赛车出发3 s末的瞬时速度大小为 $v_1=a_1t_1=2\times3\ \text{m/s}=6\ \text{m/s}$.

(2)设经 t_2 时间追上安全车,由位移关系得 $v_0t_2+200\ \text{m}=\frac{1}{2}a_1t_2^2$,

解得 $t_2=20\ \text{s}$,

此时赛车的速度 $v=a_1t_2=2\times20\ \text{m/s}=40\ \text{m/s}$.

(3)方法一:物理分析法

当两车速度相等时,两车相距最远,

由 $v_0=a_1t_3$ 得两车速度相等时经过的时间 $t_3=\frac{v_0}{a_1}=\frac{10}{2}\ \text{s}=5\ \text{s}$,

追上之前两车最远相距 $\Delta s_{max}=v_0t_3+200\ \text{m}-\frac{1}{2}a_1t_3^2=\left(10\times5+200-\frac{1}{2}\times2\times5^2\right)\ \text{m}=225\ \text{m}$.

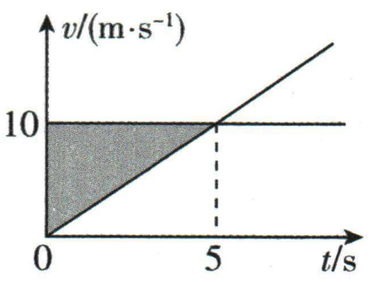
方法二:二次函数法

$\Delta s=v_0t+200-\frac{1}{2}a_1t^2=10t+200-t^2(\text{SI})$,

当 $t=\frac{-b}{2a}=\frac{-10}{2\times-1}\ \text{s}=5\ \text{s}$ 时,Δs 有极值,两车相距最远,将 $t=5\ \text{s}$ 代入解得 $\Delta s_{max}=225\ \text{m}$.

方法三:图像法

从图像可知,当赛车速度等于安全车速度时,即 $v_0=a_1t=10\ \text{m/s}$,得 $t=5\ \text{s}$ 时相距最远,



$\Delta s_{max}=v_0t-\frac{v_0}{2}t+200\ \text{m}=225\ \text{m}$.

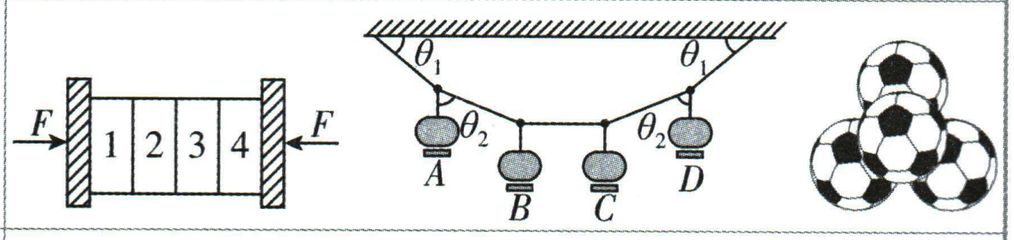
答案 (1)6 m/s (2)20 s 40 m/s (3)225 m

第2章 相互作用

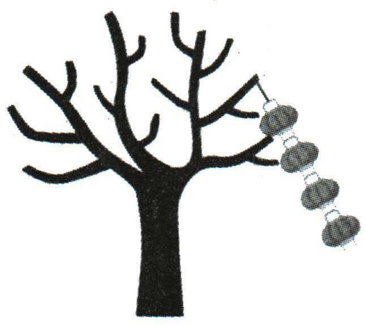
重难4▸静态平衡问题

链接练习册 P20T4

考法1 整体法与隔离法

题目特征	①研究对象包含多个物体； ②通常各个物体具有相同的运动状态(加速度相同)
图例	
用法	①将两个或两个以上的物体组成的系统作为一个整体来研究的分析方法； ②不涉及系统内力时，优先选用整体法； ③分析系统内各物体(各部分)之间的相互作用时，需选用隔离法，一般隔离受力较少的物体

例1 [湖北部分重点中学2025联考](多选)国庆期间，秋风送爽，桂花飘香. 小明注意到小区里有四个固定连接起来的大灯笼被吹起来处于静止状态，如图所示，悬挂最上面灯笼的绳子与竖直方向的夹角为30°，灯笼序号自上往下依次标记为1、2、3、4，灯笼质量均为m，每个灯笼所受的风力相等，风向水平，重力加速度大小为g，则 (　　)



A. 每根绳与竖直方向的夹角均相同

B. 四个灯笼所受到的风力之和等于$4mg$

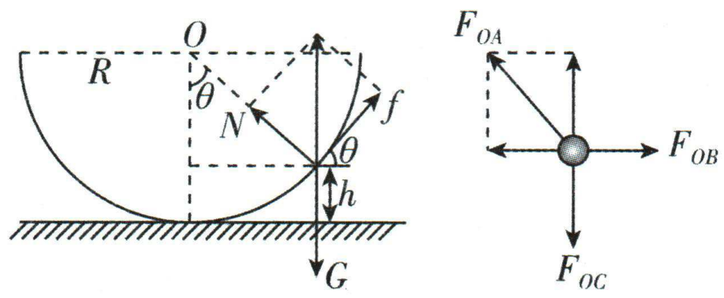
C. 2号灯笼与3号灯笼之间的作用力等于$\frac{4\sqrt{3}}{3}mg$

D. 若再挂上一个同样的灯笼，最上面灯笼的绳子与竖直方向夹角会变化

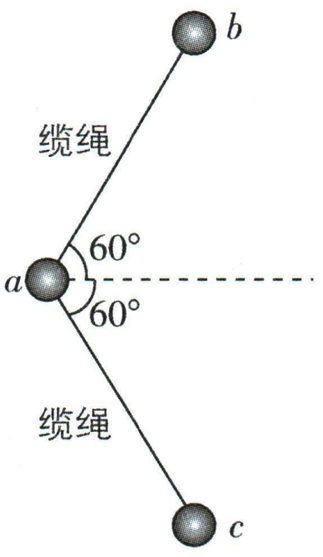
解析 假设每个灯笼所受的风力大小均为f，对4个灯笼的整体受力分析可知$\tan 30°=\frac{4f}{4mg}$(提示：先对整体受力分析)，可得四个灯笼所受到的风力之和为$4f=\frac{4\sqrt{3}}{3}mg$，故B错误；对下面的n个灯笼($n=3$、2、1)整体分析(提示：可以将几个灯笼组合为整体受力分析)，可知$\tan\alpha=\frac{nf}{nmg}=\tan 30°$，可得$\alpha=30°$，即每根绳与竖直方向的夹角均相同，故A正确；以3、4号灯笼为整体受力分析，2号灯笼与3号灯笼之间的作用力大小为$T_{23}=\frac{2mg}{\cos 30°}=\frac{4\sqrt{3}}{3}mg$，故C正确；若再挂上一个同样的灯笼，对下面的4个灯笼整体分析，可知$\tan\beta=\frac{4f}{4mg}=\tan 30°$，可得$\beta=30°$，则最上面灯笼的绳子与竖直方向夹角不会变化，故D错误.

答案 AC

考法2 合成法与分解法

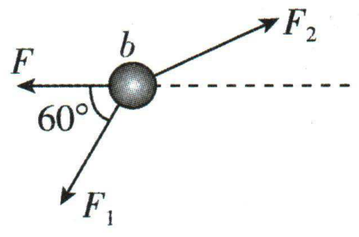
题目特征	①物体受到三个共点力的作用而平衡； ②这三个力非平行(或非共线)
图例	
用法	合成法：以任意两个力为邻边作平行四边形，求这两个力的合力，合力一定与第三个力大小相等、方向相反. 分解法：将物体所受三个力中任意一个力按力的效果分解，即以这个力为对角线作出平行四边形，其分力和其他两个力满足平衡条件

例2 [安徽2025联考]水中一货轮a由于动力出现故障，无法动弹. 现在由两个拖船b和c拉着a一起沿图中虚线方向匀速行驶. 两水平缆绳(不计重力)与虚线的夹角均为60°且保持不变，如图所示. 忽略水的流动，水对a、b和c的阻力大小均为F，方向与其运动方向相反，则b船发动机动力大小为 (　　)



A. $\frac{\sqrt{21}}{3}F$　　B. $\sqrt{3}F$　　C. $\frac{3}{2}F$　　D. $3F$

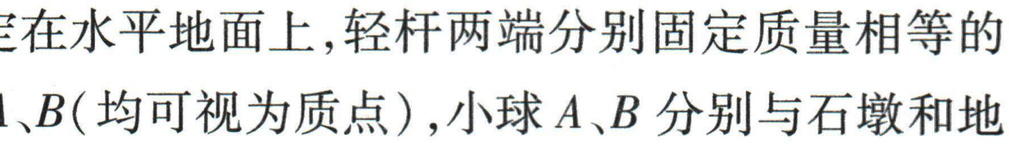
解析 a在水的阻力F和两缆绳拉力作用下运动，三力互成120°，根据矢量合成可知缆绳拉力$F_1=F$，两拖船对称，对b分析受力，如图所示，b在阻力F、缆绳拉力F_1和动力F_2作用下匀速运动，则F_2大小等于阻



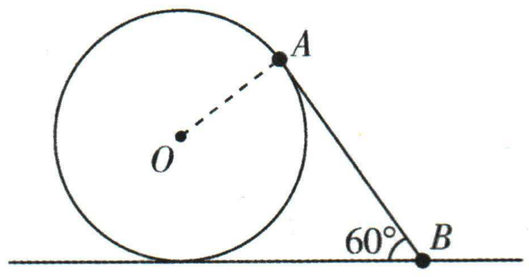
力 F 和缆绳拉力 F_1 的合力，即 $F_2=2F\cdot\cos 30°=\sqrt{3}F$，故选 B.

答案 B

考法3 正交分解法

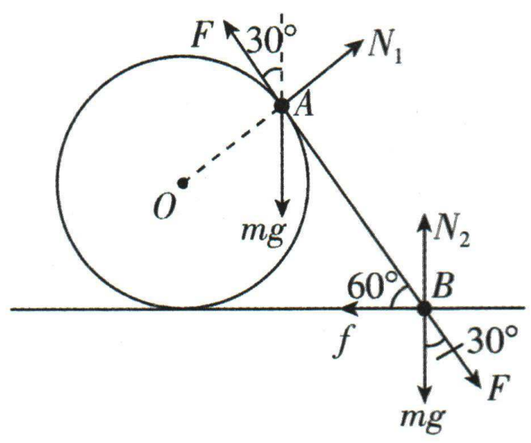
题目特征	①物体受到四个或四个以上共点力的作用而平衡； ②常常有两个或两个以上的力相互垂直
图例	
用法	①建立坐标轴时，一般选共点力作用线的交点作为坐标轴的原点，并尽可能使较多的力落在坐标轴上，这样可以减少需要分解的力的数目，简化运算过程； ②将不在坐标轴上的各力沿 x、y 两坐标轴依次分解为相互垂直的两个分力； ③x、y 两坐标轴上各分力的合力为零，即 $F_x=F_{x1}+F_{x2}+F_{x3}+\cdots=0$、$F_y=F_{y1}+F_{y2}+F_{y3}+\cdots=0$

例3 [河南、江西2025联考]如图所示，光滑球形石墩固定在水平地面上，轻杆两端分别固定质量相等的小球 A、B(均可视为质点)，小球 A、B 分别与石墩和地面接触，小球 A 与石墩球心 O 的连线恰好与轻杆垂直，轻杆与水平地面的夹角为 60°. 轻杆被释放后，小球 B 恰好处于静止状态，重力加速度大小为 g，认为最大静摩擦力等于滑动摩擦力. 则小球 B 与地面间的动摩擦因数为 (　　)



A. $\frac{\sqrt{3}}{2}$　　B. $\frac{\sqrt{3}}{7}$　　C. $\frac{\sqrt{3}}{3}$　　D. $\frac{1}{2}$

解析 分别对小球 A、B 分析



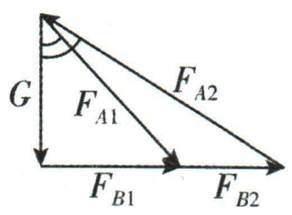
根据平衡条件，对 A 正交分解(提示：受到四个力及以上平衡时优先选择正交分解法)得：$N_1=mg\cdot\sin 30°=\frac{1}{2}mg$，$F=mg\cos 30°=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$，对 B 正交分解得：$N_2=mg+F\cos 30°=\frac{7}{4}mg$，$f=F\sin 30°=\frac{\sqrt{3}}{4}mg$，又 $f=\mu N_2$，联立解得 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{7}$，故选 B.

答案 B

重难5▸共点力下的动态平衡问题

链接练习册 P24T20

考法4 矢量三角形法

题目特征	图例	用法
物体所受三个力满足： ①其中一个力为恒力(大小、方向均不变)； ②另一个力方向不变，大小可变； ③第三个力大小、方向均可变		把代表两个分矢量的有向线段首尾相连，则合矢量就从第一个矢量的起点指向第二个矢量的末端，第三个矢量与合矢量等大反向，形成一个矢量三角形以替代共点力示意图

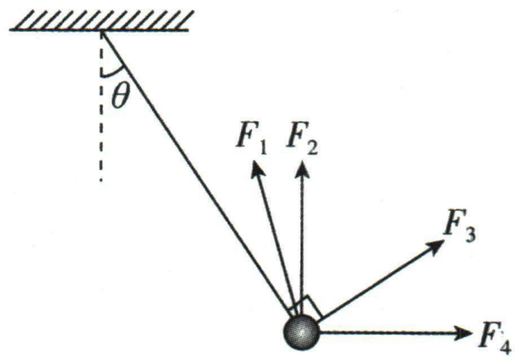
例4 [安徽皖江名校2025联考](多选)如图所示，一根细线系着一个质量为 m 的小球，细线上端固定在天花板上，用力 F 拉小球，小球平衡后细线与竖直方向的夹角为 θ. 现改变拉力 F 的方向与大小，并保持 θ 角不变，其中拉力 F 的方向可能为图中 F_1、F_2(竖直向上)、F_3(垂直于细线方向)、F_4(水平向右)中的一个，已知重力加速度为 g，则下列说法正确的是(　　)

A. 拉力方向可能为 F_1

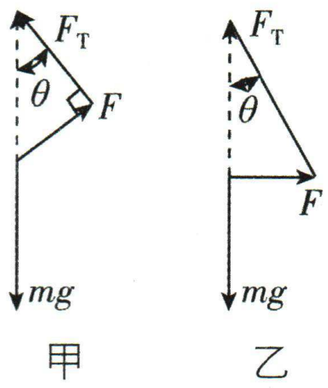
B. 拉力方向可能为 F_2

C. F_3 是所有可能方向中 F 的最小值，即 $mg\sin\theta$

D. 若拉力方向为 F_4，其值为 $\frac{mg}{\tan\theta}$

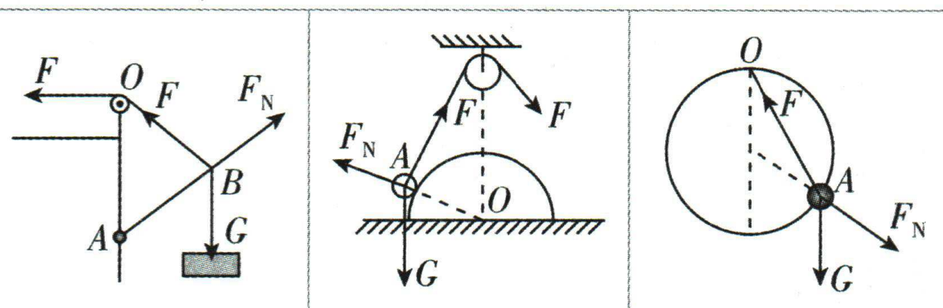
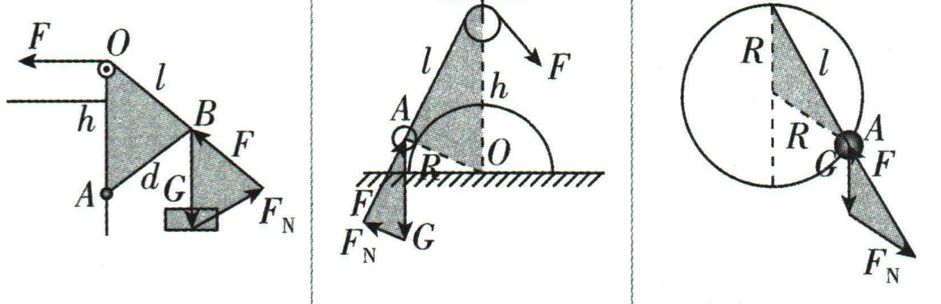


解析 根据对小球的受力分析可知，此时细线伸直但是细线上不一定有张力，若拉力 F 等于重力，即 F 可能沿 F_2 方向，故 B 正确；根据受力分析可知，细线的拉力指向左上方，故拉力不可能是 F_1，故 A 错误；根据矢量三角形法则可知，当拉力 F 与细线拉力方向垂直时，拉力 F 最小，如图甲所示，此时的拉力最小为 $F=mg\sin\theta$，故 C 正确；图乙所示为当拉力水平向右时的受力示意图，此时的拉力为 $F=mg\tan\theta$，故 D 错误.

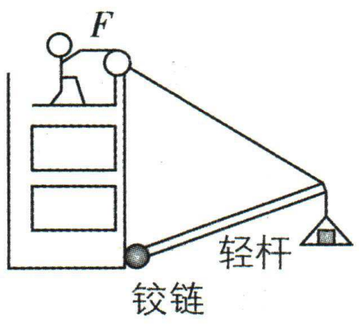


答案 BC

考法5 相似三角形法

题目特征	物体所受三个共点力满足： ①其中一个力为恒力(大小、方向均不变)； ②另外两个力同时发生变化； ③通常三个力中没有相互垂直的两个力
受力分析图示	
力的相似三角形图示	
平衡关系	$\frac{G}{h}=\frac{F_N}{d}=\frac{F}{l}$　　$\frac{G}{h}=\frac{F_N}{R}=\frac{F}{l}$　　$\frac{G}{R}=\frac{F_N}{R}=\frac{F}{l}$
用法	先正确分析物体的受力，画出受力分析图，将三个力首尾相连构成闭合三角形，再寻找与力的三角形相似的几何三角形，利用相似三角形的性质，建立比例关系，把力的大小变化问题转化为几何三角形边长的变化问题进行讨论

例5 [辽宁沈阳东北育才学校2025期中](多选)如图所示，居民足不出户，送食物人员不与他直接接触，将食物放在吊盘中，居民自行通过细绳搭在光滑定滑轮上将带铰链的轻杆缓慢上拉，从而取得食物. 在轻杆被缓慢上拉到取到食物前的过程中 (　　)



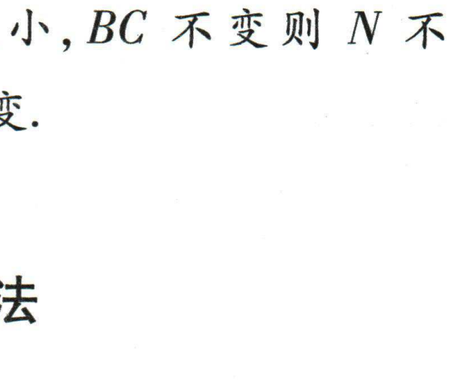
A. 此人手上所受的拉力 F 始终减小

B. 此人手上所受的拉力 F 始终不变

C. 轻杆所受压力先减小，后增大

D. 轻杆所受压力大小始终不变

解析 对结点 C 受力分析，如图所示，缓慢上拉过程中，三个力平衡，将三个力组成首尾相接的闭合三角形，力三角形与几何三角形 ABC 相似，根据相似三角形对应边比值相等，有 $\frac{mg}{AB}=\frac{F}{AC}=\frac{N}{BC}$(提示：根据图示几何关系确定好比例关系)，因上拉过程 mg、AB 不变，AC 减小，则 F 减小，即此人手上所受的拉力减小，BC 不变则 N 不变，即轻杆所受压力大小始终不变.



答案 AD

考法6 辅助圆(正弦定理)法

1. 题目特征

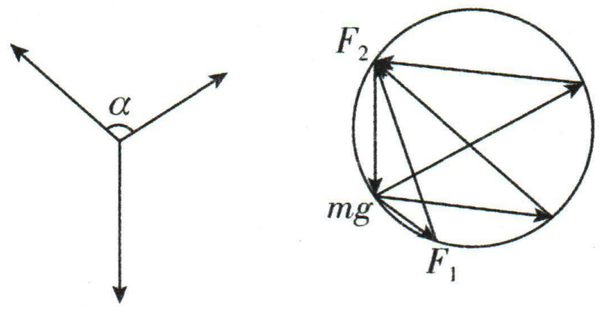
物体所受三个力满足：

①其中一个力为恒力(大小、方向均不变).

②另外两个力大小、方向都在改变，但动态平衡时两个力的夹角不变.

重难解读

2. 应用图例

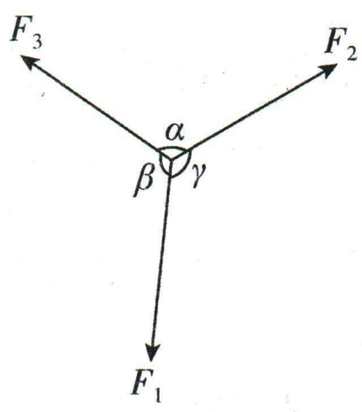


3. 常用方法

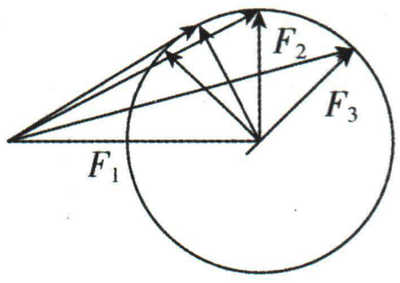
画出受力分析图，将三个力的矢量首尾相连构成闭合三角形，以不变的力为弦作圆，在辅助圆中可画出两力夹角不变的力的矢量三角形.

4. 正弦定理(拉密定理)法

如图所示，在同一平面内，当三个共点力的合力为零时，其中每一个力与其他两个力夹角的正弦值的比值均相等，即有 $\frac{F_1}{\sin\alpha}=\frac{F_2}{\sin\beta}=$

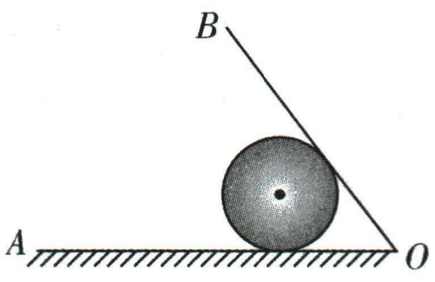


$\frac{F_3}{\sin\gamma}$，根据角度的变化，确定两个变力大小的变化情况.



【注意】当物体只受三个力作用，其中一个力是恒力（大小和方向均不变），另一个力的大小不变方向改变，第三个力大小、方向均变化时，可以根据大小不变方向改变的力方向的变化画出圆，该力作为半径，对应连接构成三角形.

例6 [天津红桥区2025期末]（多选）如图所示，将两块光滑平板OA、OB固定连接，构成顶角为60°的楔形槽，楔形槽内放置一质量为m的光滑小球，整个装置保持静止，初始时OA板在水平地面上，现使楔形槽绕O点顺时针缓慢转动至OA板竖直，则转动过程中（　　）



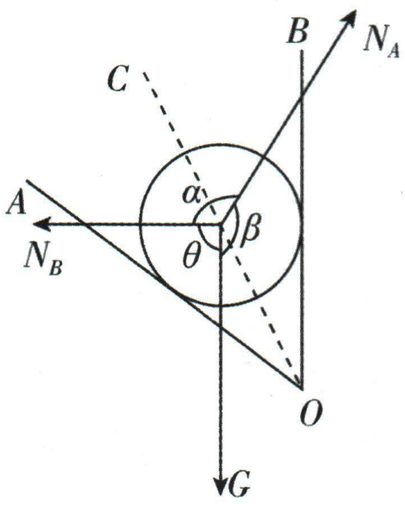
A. 初始时OA板对小球的作用力最大

B. 转过30°时OA板对小球的作用力最大

C. 转过60°时OB板对小球的作用力最大

D. 转过90°时OB板对小球的作用力最大

解析 转动过程中某时刻的受力分析如图所示，则缓慢转动过程中，小球受力平衡，根据正弦定理可知$\frac{G}{\sin\alpha}=\frac{N_A}{\sin\theta}=\frac{N_B}{\sin\beta}$，因为转动过程中，$\alpha=120°$不变，小球重力$G$不变，则比值$\frac{G}{\sin\alpha}$不变；$\theta$角由60°增大到150°，$\beta$角由180°减小到90°，$\sin\theta$先增大后减小，$\sin\beta$一直增大，所以$N_A$先增大后减小，$N_B$一直增大；当$\theta=90°$时，即转过30°角时，$\sin\theta$最大，即$N_A$最大；当$\beta=90°$时，即转过90°角时，$\sin\beta$最大，即$N_B$最大，B、D正确，A、C错误.



答案 BD

考法7　解析法

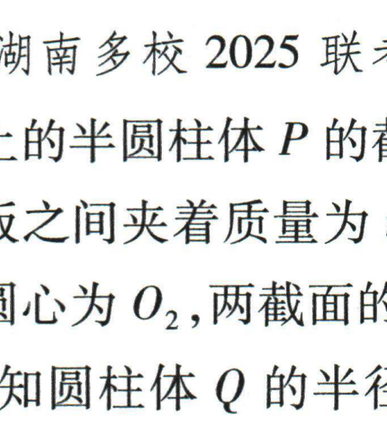
1. 题目特征

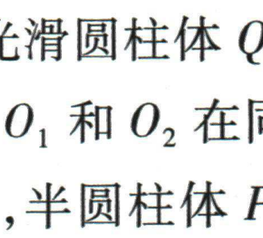
①物体受到多个力（三个或三个以上）处于动态平衡过程.

②一般能够通过矢量三角形或正交分解求解得到每个力随某个角度变化的解析式.

重难解读

2. 图例



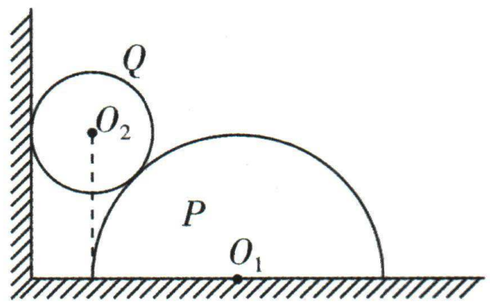


3. 用法

①画出受力分析图.

②假设一个角度，利用受力平衡得到某个力的解析式，当物体受力动态变化时，根据题目中角度的变化或某个力变化的条件，分析函数表达式.

例7 [湖南多校2025联考]（多选）如图所示，静止在地面上的半圆柱体P的截面对应的圆心为O_1，P和竖直挡板之间夹着质量为m的光滑圆柱体Q，Q的截面圆的圆心为O_2，两截面的圆心O_1和O_2在同一竖直面内. 已知圆柱体Q的半径为R，半圆柱体P的半径为$2R$，O_1到竖直挡板的距离为$3R$，重力加速度为g，下列说法正确的是（　　）



A. 半圆柱体P受到三个力作用

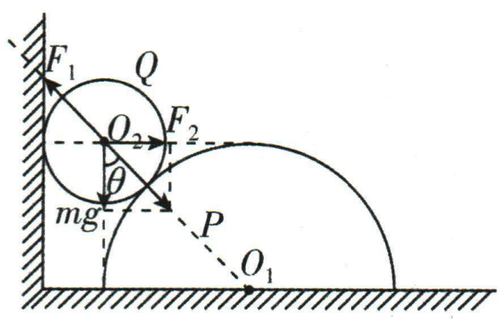
B. 在图示位置圆柱体Q受到半圆柱体P的支持力大小为$\frac{3\sqrt{5}mg}{5}$

C. 在图示位置圆柱体Q受到竖直挡板的作用力大小为$\frac{\sqrt{5}mg}{5}$

D. 若将半圆柱体P缓慢右移少许，整个系统仍静止，圆柱体Q受到半圆柱体P的支持力和竖直挡板的作用力都变大

解析 对半圆柱体P受力分析，受自身重力、地面的支持力、地面的摩擦力和Q的压力共4个力作用，故A错误；设O_1O_2连线与竖直方向夹角为θ，对Q受力分析，如图，根据平衡条件，可得$F_1\cos\theta=mg$，$F_2=mg\tan\theta$，由几何关系（提示：求解力的矢量三角形需要知道角度，可以先根据题中几何关系求角度），可知$\cos\theta=\frac{\sqrt{(3R)^2-(2R)^2}}{2R+R}=\frac{\sqrt{5}}{3}$，$\tan\theta=$

$\frac{2R}{\sqrt{(3R)^2-(2R)^2}}=\frac{2\sqrt{5}}{5}$，解得 $F_1=\frac{3\sqrt{5}mg}{5}$，$F_2=\frac{2\sqrt{5}mg}{5}$，故 B 正确，C 错误；若将半圆柱体 P 缓慢右移少许，则 θ 增大，整个系统仍静止，根据前面选项分析可知圆柱体 Q 受到半圆柱体 P 的支持力 F_1 和竖直挡板的作用力 F_2 都变大，故 D 正确.



答案 BD

考法 8 全反力与摩擦角

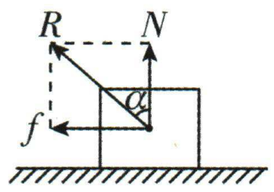
1. 题目特征

①物体受到多个力(三个或三个以上)处于动态平衡过程.

②用常规正交分解法分析比较复杂，计算量较大.

重难解读

2. 图例



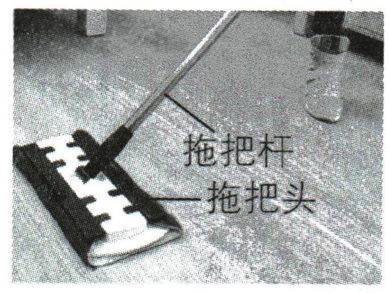
3. 用法

①把支持力 N 与摩擦力 f 合成为一个力 R，这个力就是全反力.

②设全反力 R 与支持力 N 的夹角为 α，称为摩擦角，$\tan\alpha=\frac{\mu F_N}{F_N}=\mu$.

③当各个主动力的合力 $F_{合}$ 的作用线落在摩擦角(锥)之内或者与其边界重合时，则无论此合力有多大，总有全反力与之平衡，所以物体必定处于静止状态，这就是自锁现象.

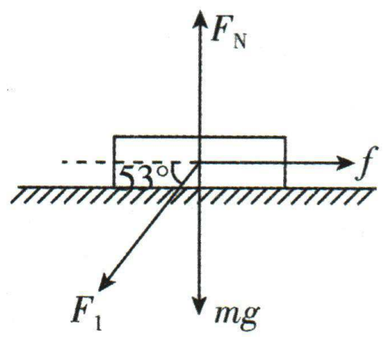
例 8 [江西南丰一中 2024 阶段测试]某同学做家务时，使用拖把清理地板，如图所示. 假设拖把头的质量为 1 kg，拖把杆的质量不计，拖把杆与水平地面成 53°角. 当对拖把头施加一个方向沿拖把杆向下、大小为 10 N 的力 F_1 时，恰好能推动拖把头向前匀速运动. 重力加速度 g 取 10 m/s^2，sin 53°=0.8，cos 53°=0.6.



(1)求拖把头与地板间的动摩擦因数 μ.

(2)当拖把静止时，对拖把头施加一个方向沿拖把杆向下的力 F_2，拖把杆与地面的夹角为 θ. 当 θ 大于某一值时，无论 F_2 多大，都不能推动拖把头，求此时的 $\tan\theta$ 值.(为方便起见，本问可忽略拖把头的重力，且认为最大静摩擦力等于滑动摩擦力)

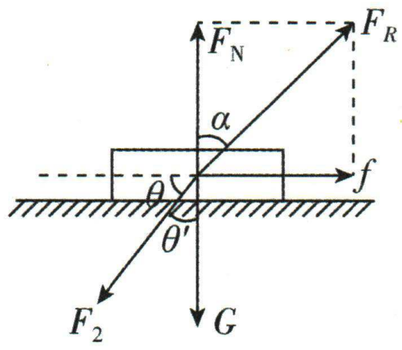
解析 (1)对拖把头受力分析，如图所示.



拖把头做匀速直线运动，水平方向和竖直方向受力平衡，在水平方向上有 $F_1\cos 53°=f$，在竖直方向上有 $F_N=mg+F_1\sin 53°$，且 $f=\mu F_N$，联立解得 $\mu=\frac{1}{3}$.

(2)忽略拖把头的重力，若不能推动拖把头，需满足 $F_2\cos\theta\leqslant\mu F_2\sin\theta$，即 $\tan\theta\geqslant\frac{1}{\mu}=3$ 时无论对拖把头施加一个沿拖把杆向下的多大的力，都不能推动拖把头.(提示：以上是常规正交分解求解，下面用用法③分析)

摩擦角解法：如图所示.



全反力 F_R 与竖直方向的夹角为 α，只要推力 F_2 与竖直方向的夹角 $\theta'\leqslant\alpha$，那么无论推力 F_2 多大，都不能推动拖把头，综上所述，可得 $\tan\left(\frac{\pi}{2}-\theta\right)\leqslant\mu=\frac{1}{3}$，整理可得 $\tan\theta\geqslant 3$.

答案 (1)$\frac{1}{3}$　(2)3

第3章 运动和力的关系

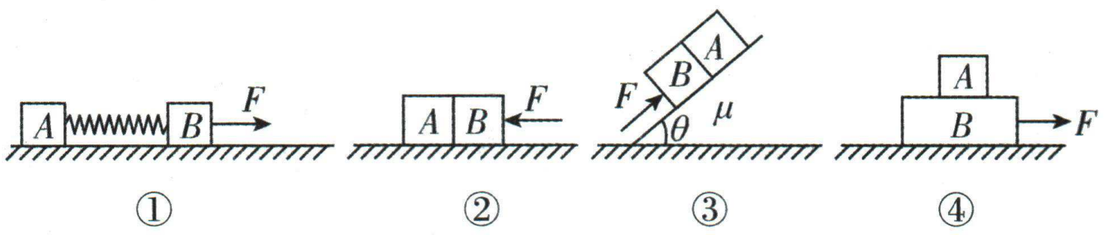
重难6▸连接体模型

链接练习册 P38T16

考法1 整体法与隔离法处理连接体问题

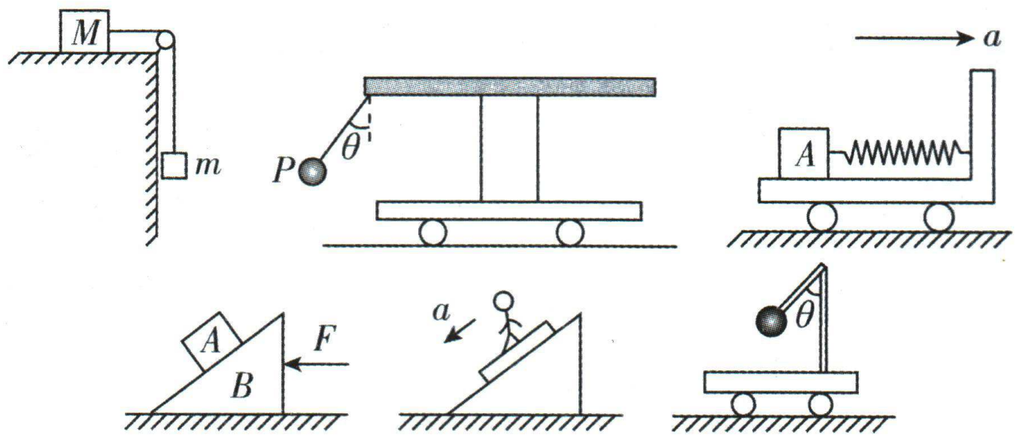
1. 若 A、B 加速度相同，可直接用结论求解 A、B 间作用力 T，此结论对光滑或粗糙（动摩擦因数相同）的斜面、地面都适用，可扩展到多个物体.

重难解读



分析①②④整体：$F=(m_A+m_B)a$；隔离受力少的 A：$T=m_Aa$，可得结论 $T=\dfrac{m_A}{m_A+m_B}F$. 分析③整体：$F-(m_A+m_B)g\sin\theta-\mu(m_A+m_B)g\cos\theta=(m_A+m_B)a$；隔离受力少的 A：$T-m_Ag\sin\theta-\mu m_Ag\cos\theta=m_Aa$，依然可得 $T=\dfrac{m_A}{m_A+m_B}F$.

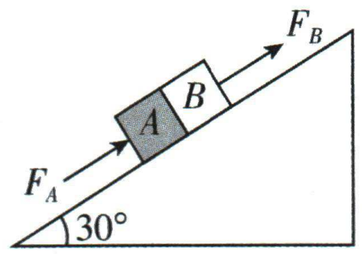
2. 图例（连接体问题都适用）



3. 常用处理方法

	整体法	隔离法
方法简述	将加速度相同的几个物体作为一个整体分析的方法	将系统中的某一物体隔离出来单独分析的方法
选择原则	求系统整体的加速度或所受的合外力	求系统内物体之间的作用力
注意	受力分析时不考虑系统内物体间的相互作用	通常隔离受力个数少的物体研究

例1 [河北石家庄二中2025期末]（多选）如图，物块 A、B 并排静止放在倾角为 30° 的固定斜面上，F_A 和 F_B 分别作用于 A、B，随时间 t（单位：s）的变化规律分别为 $F_A=(5+4t)$ N 和 $F_B=(20-2t)$ N，初始时 F_A 和 F_B 的方向均沿斜面向上. 已知两物块与斜面的动摩擦因数均为 $\mu=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$，质量分别为 $m_A=2$ kg、$m_B=4$ kg，重力加速度 g 取 10 m/s²，设最大静摩擦力等于滑动摩擦力，下列说法正确的是（　　）



A. $t=0$ 时，A 所受摩擦力方向沿斜面向上

B. $t=3$ s 时，A、B 间相互作用力为 0

C. 5～25 s 内 B 所受摩擦力一直增大

D. 25 s 后 A、B 一起沿斜面向上做变加速运动

解析 （提示：对 A、B 组成的系统使用整体法）$t=0$ 时，有 $F_A=5$ N，$F_B=20$ N，由于 $F_A+F_B=25$ N $<(m_A+m_B)g\sin30°=30$ N，即两物块处于静止状态，A 所受摩擦力方向沿斜面向上，故 A 正确；$t=3$ s 时，有 $F_A'=17$ N，$F_B'=14$ N，由于 $F_A'+F_B'=31$ N $<(m_A+m_B)g\sin30°+\mu(m_A+m_B)g\cos30°=75$ N，即两物块处于静止状态，由于 $F_A'=17$ N $<m_Ag\sin30°+\mu m_Ag\cos30°=25$ N，则 A、B 间相互作用力为 0，故 B 正确；当 A、B 与斜面恰好发生相对滑动时，有 $(5+4t+20-2t)$ N $=(m_A+m_B)g\sin30°+\mu(m_A+m_B)g\cos30°$，解得 $t=25$ s，当 A 与斜面间的摩擦力达到最大静摩擦力时，有 $(5+4t')$ N $=m_Ag\sin30°+\mu m_Ag\cdot\cos30°$，解得 $t'=5$ s，所以 5～25 s 内，对 A、B 整体有 $(5+4t+20-2t)$ N $+f_B=(m_A+m_B)g\sin30°+\mu m_Ag\cos30°$，则 5～25 s 内 B 所受摩擦力先向上减小，后反向增大，故 C 错误，D 正确.

答案 ABD

重难7▸板块模型问题

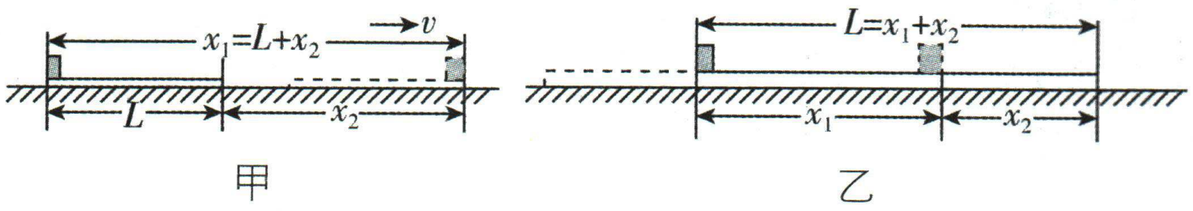
链接练习册 P36T8

考法2 水平板块模型的处理方法

1. 题目特征：一个物体在另一个物体上，两者之间存在摩擦力且有相对运动. 问题涉及两个物体、多个过程，两物体的运动时间、速度、位移间有一定的关系.

重难解读

2. 位移关系：滑块由木板一端运动到另一端的过程中，滑块和木板同向运动时，位移之差 $\Delta x=x_1-x_2=L$（板长）；滑块和木板反向运动时，位移之和 $\Delta x=x_2+x_1=L$.

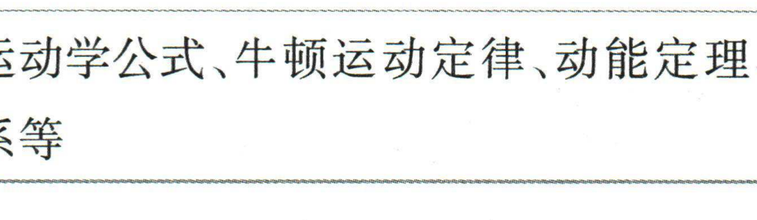


甲　　乙

3. 常用处理方法

运动状态	板块速度不相等	板块速度相等瞬间	板块共速运动
处理方法	隔离法	假设法	整体法
具体步骤	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，再用隔离法算出其中一个物体“所需要”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	①两者速度达到相等的瞬间，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，二者共速是滑块滑离木板的临界条件		
相关知识	运动学公式、牛顿运动定律、动能定理、功能关系等		

例 2 [广东佛山 2025 联考]如图，足够长、质量 $m_Q=1\ \text{kg}$ 的木板 Q 静止在水平面上，质量 $m_P=1\ \text{kg}$ 的小滑块 P(可视为质点)静止在木板左端，滑块与木板间的动摩擦因数 $\mu_1=0.5$，木板与水平面间的动摩擦因数 $\mu_2=0.2$. 从零时刻起，对滑块施加方向与水平面成 $\theta=53°$ 斜向右上方的恒定外力 $F=7.5\ \text{N}$，经过时间 $t=2.4\ \text{s}$ 撤去此力. 已知 $\sin 53°=0.8$，$\cos 53°=0.6$，取 $g=10\ \text{m/s}^2$，则：



(1)求撤去外力前，滑块的加速度大小；

(2)求木板的最大速度；

(3)求木板运动的时间.

解析 (1)撤去外力前，由于 $f=\mu_1(m_Pg-F\sin\theta)<f_{地}=\mu_2(m_Qg+m_Pg-F\sin\theta)$，可知木板处于静止状态；撤去外力前，以滑块为对象，根据牛顿第二定律可得 $F\cos\theta-f=m_Pa_P$，又 $f=\mu_1N=\mu_1(m_Pg-F\sin\theta)$(提示：摩擦力不等于 μ_1m_Pg)，联立解得滑块的加速度大小为 $a_P=2.5\ \text{m/s}^2$.

(2)经过时间 $t=2.4\ \text{s}$ 撤去力 F，此时滑块的速度大小为 $v_P=a_Pt=6\ \text{m/s}$，撤去力 F 后(提示：撤去 F 后支持力发生变化，摩擦力大小也发生变化)，分别对滑块和木板，根据牛顿第二定律可得 $\mu_1m_Pg=m_Pa'_P$，$\mu_1m_Pg-\mu_2(m_Q+m_P)g=m_Qa_Q$，解得滑块和木板的加速度大小分别为 $a'_P=5\ \text{m/s}^2$，$a_Q=1\ \text{m/s}^2$，设经过 t_1 时间，滑块和木板达到共速，则有 $v_{共}=v_P-a'_Pt_1=a_Qt_1$，解得 $t_1=1\ \text{s}$，$v_{共}=1\ \text{m/s}$，可知木板的最大速度为 $1\ \text{m/s}$.

(3)共速后，由于 $\mu_2=0.2<\mu_1=0.5$，可知滑块和木板保持相对静止一起做匀减速运动，加速度大小为 $a'=\dfrac{\mu_2(m_Q+m_P)g}{m_Q+m_P}=2\ \text{m/s}^2$，共速后到停下所用时间为 $t_2=\dfrac{v_{共}}{a'}=0.5\ \text{s}$，则木板运动的时间为 $t_{板}=t_1+t_2=1.5\ \text{s}$.

答案 (1)$2.5\ \text{m/s}^2$　(2)$1\ \text{m/s}$　(3)$1.5\ \text{s}$

考法 3　倾斜板块模型的处理方法

此类问题的处理方法与水平面上的板块模型类似，但是需要考虑滑块与木板的重力沿斜面的分力对运动的影响.

重难解读

1. 不受外力牵引类(图甲)

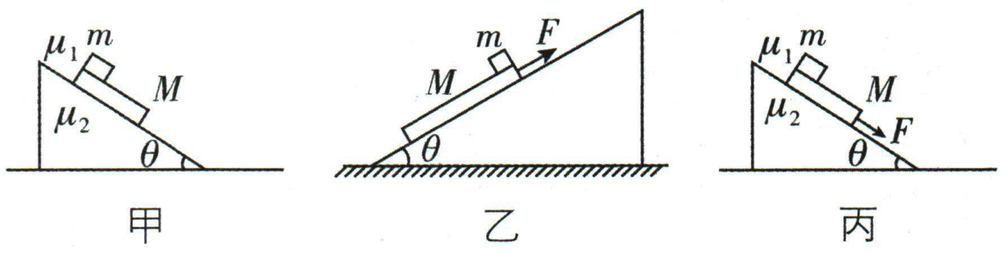
①$\mu_2<\mu_1$(上面比下面粗糙)，则二者不会相对滑动. 斜面光滑时二者一起做匀加速运动；

②$\mu_2>\mu_1$(下面比上面粗糙)，则会相对滑动.

2. 受外力牵引类

①斜面上的板块受到向上的牵引力(作用在 M 上)，如图乙所示，两者保持相对静止向上滑动的条件为 $(M+m)g(\mu_2\cos\theta+\sin\theta)<F<(\mu_1+\mu_2)(M+m)\cdot g\cos\theta$.

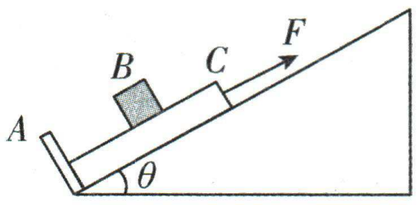
②斜面上的板块受到向下的牵引力 F，如图丙所示，对 m 分析，加速度范围在 $g\sin\theta-\mu_1g\cos\theta<a<g\sin\theta+\mu_1g\cos\theta$ 内时，板块可保持相对静止.



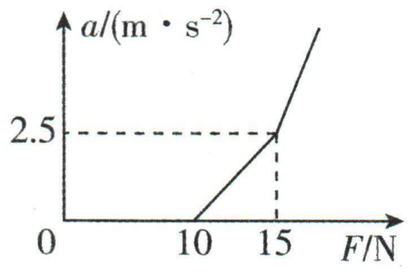
甲　　乙　　丙

例 3 [江苏扬州新华中学 2025 月考]如图甲所示，光滑斜面上有固定挡板 A，斜面上叠放着小物块 B 和薄木

板 C,木板下端位于挡板 A 处,整体处于静止状态. 木板 C 受到逐渐增大的沿斜面向上的拉力 F 作用时,木板 C 的加速度 a 与拉力 F 的关系图像如图乙所示,已知最大静摩擦力等于滑动摩擦力,重力加速度 g 取 10 m/s^2,则由图像可知下列说法正确的是　　(　　)



甲



乙

A. 10 N<F<15 N 时物块 B 和木板 C 相对滑动

B. 木板和物块两者间的动摩擦因数不可求出

C. 由题目条件可求木板 C 的质量

D. F>15 N 时物块 B 和木板 C 相对滑动

解析　由题图乙可知,当 10 N<F<15 N 时物块 B 和木板 C 相对静止,当 F>15 N 时木板的加速度变大,可知此时物块 B 和木板 C 发生了相对滑动,故 A 错误,D 正确;对木板和物块的整体分析,当 F_1=10 N 时,a=0,则 $F_1=(M+m)g\sin\theta$,当 F_2=15 N 时,a=2.5 m/s^2,则 $F_2-(M+m)g\sin\theta=(M+m)a$,联立方程可得 $M+m$=2 kg、$\sin\theta=\frac{1}{2}$,但是不能求解木板 C 的质量,故 C 错误;当 F_2=15 N 时,a=2.5 m/s^2,此时物块和木板开始发生相对滑动,此时物块和木板之间的摩擦力达到最大,则对物块分析,有 $\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta=ma$,联立方程可得 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{2}$,故 B 错误.

答案　D

重难 8▸传送带模型

链接练习册 P35T2

考法 4　水平传送带问题

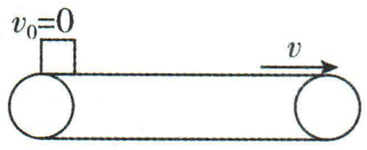
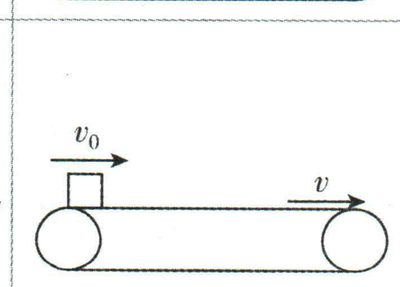
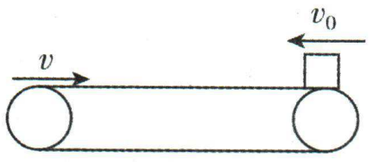
一个物体以初速度 v_0($v_0\geqslant0$)在另一个匀速运动的物体上运动的力学系统可看成传送带模型.

(1)当传送带水平时,应特别注意摩擦力的突变和物体运动状态的变化.

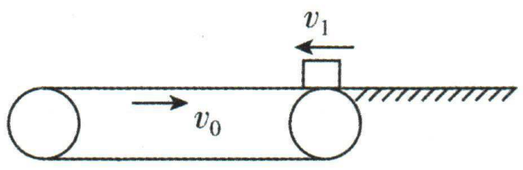
(2)求解的关键在于对物体所受的摩擦力进行正确的分析判断. 静摩擦力达到最大值,是物体恰好保持相对静止的临界状态;滑动摩擦力只存在于发生相对运动的物体之间,因此两物体的速度相同时,滑动摩擦力要发生突变(滑动摩擦力变为零或变为静摩擦力).

重难解读

(3)滑块在水平传送带上运动常见的三种情境

项目	图示	滑块可能的运动情况
情境 1		①可能一直加速; ②可能先加速后匀速
情境 2		①$v_0>v$ 时,可能一直减速,也可能先减速再匀速; ②$v_0<v$ 时,可能一直加速,也可能先加速再匀速
情境 3		①传送带较短时,滑块一直减速到达左端; ②传送带较长时,滑块还要被传送带传回右端. 其中 $v_0>v$ 时返回速度为 v,当 $v_0<v$ 时返回速度为 v_0

例 4　[天津重点校 2025 期末](多选)如图所示,绷紧的水平传送带始终以恒定速度 v_0=4 m/s 顺时针运行,小物块以 v_1=6 m/s 的初速度从传送带右端滑上传送带. 已知物块与传送带间的动摩擦因数为 0.2,传送带的长度为 10 m,重力加速度 g 取 10 m/s^2,考虑小物块滑上传送带到离开传送带的过程,下列说法正确的是　　(　　)



A. 小物块从传送带右端滑离传送带

B. 小物块滑离传送带时的速度大小为 6 m/s

C. 小物块在传送带上留下的划痕长度为 21 m

D. 小物块从滑上传送带到滑离传送带经历的时间为 6.25 s

解析　物块在传送带上的加速度 $a=\mu g$=2 m/s^2,向左减速到零的时间 $t_1=\frac{v_1}{a}$=3 s,向左运动的最大距离 $x_1=\frac{v_1}{2}t_1$=9 m<10 m,故小物块不会从左端滑离传送带,应从右端滑离传送带,故 A 正确;物块向左减速到零后,向右加速,但因为 $v_1>v_0$,当物块速度和传送带速度相同时,不再受摩擦力,之后物块将做匀速直线运动,以 4 m/s 的速度从传送带离开,故 B 错误;速度为零的物块向右加速到 4 m/s 用时 $t_2=\frac{v_0}{a}$=2 s,这段时

间内向右运动的距离 $x_2=\frac{v_0}{2}t_2=4$ m，向左运动过程，划痕长度 $l_1=v_0t_1+x_1=21$ m，向右运动过程，划痕长度 $l_2=v_0t_2-x_2=4$ m，总划痕长度 $l=l_1+l_2=25$ m，故 C 错误；小物块在传送带上做匀速直线运动的时间 $t_3=\frac{x_1-x_2}{v_0}=1.25$ s，小物块从滑上传送带到滑离传送带经历的时间 $t=t_1+t_2+t_3=6.25$ s，故 D 正确.

答案 AD

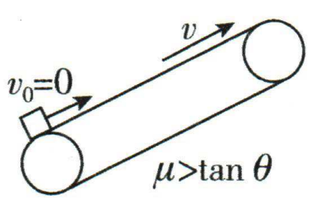
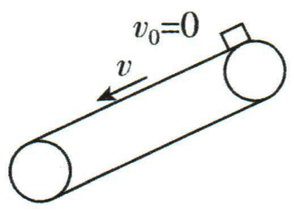
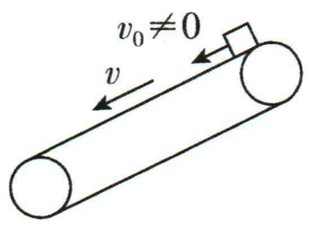
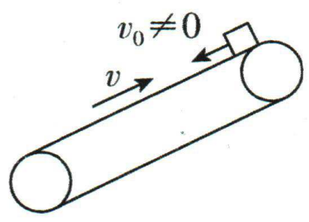
考法 5 倾斜传送带模型



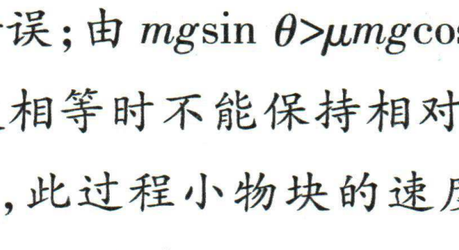
1. 对于倾斜传送带，除了要注意摩擦力的突变和物体运动状态的变化外，还要注意物体与传送带之间的动摩擦因数与传送带倾角的关系. ①若 $\mu\geqslant\tan\theta$，且物体能与传送带共速，则共速后物体做匀速运动；②若 $\mu<\tan\theta$，且物体能与传送带共速，则共速后物体相对于传送带做匀变速运动.

2. 求解的关键在于根据物体和传送带之间的相对运动情况，确定摩擦力的大小和方向. 当物体的速度与传送带的速度相等时，物体所受的摩擦力有可能发生突变.

3. 滑块在倾斜传送带上运动常见的四个情境

项目	图示	滑块可能的运动情况
情境 1		①可能一直加速 ②可能先加速后匀速
情境 2		①可能一直加速 ②可能先加速后匀速 ③可能先以 a_1 加速后以 a_2 加速
情境 3		①可能一直加速 ②可能先加速后匀速 ③可能先以 a_1 加速后以 a_2 加速 ④可能一直减速 ⑤可能先减速后匀速
情境 4		①可能一直加速 ②可能一直匀速 ③可能先减速后反向加速 ④可能一直减速

例 5 [安徽芜湖一中 2025 质监]（多选）如图所示，倾角为 $\theta=37°$ 的足够长的传送带以速度 $v_1=2$ m/s 顺时针匀速转动，将一小物块（可视为质点）以 $v_2=8$ m/s 的速度从传送带的底端滑上传送带，已知小物块与传送带间的动摩擦因数 $\mu=0.5$，传送带足够长，取 $\sin37°=0.6$，$\cos37°=0.8$，g 取 10 m/s^2，下列说法正确的是（　　）



A. 小物块向上滑行的最远距离为 3.2 m

B. 小物块刚滑上传送带时的加速度大小为 2 m/s^2

C. 小物块在传送带上运动的时间为 3.6 s

D. 小物块在传送带上留下的痕迹长度为 9 m

解析 根据题意可知，开始阶段，小物块的速度大于传送带速度，由牛顿第二定律有 $mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_1$，解得小物块刚滑上传送带时的加速度大小为 $a_1=10$ m/s^2，故 B 错误；由 $mg\sin\theta>\mu mg\cos\theta$ 可知，当小物块与传送带速度相等时不能保持相对静止，小物块继续向上减速到 0，此过程小物块的速度小于传送带的速度，由牛顿第二定律有 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_2$，解得 $a_2=2$ m/s^2，小物块向上滑行的最远距离为 $x=\frac{v_2^2-v_1^2}{2a_1}+\frac{v_1^2}{2a_2}=\left(\frac{8^2-2^2}{2\times10}+\frac{2^2}{2\times2}\right)$ m$=4$ m，故 A 错误；小物块在第一阶段和第二阶段运动的时间分别为 $t_1=\frac{v_2-v_1}{a_1}=\frac{8-2}{10}$ s$=0.6$ s，$t_2=\frac{v_1}{a_2}=\frac{2}{2}$ s$=1$ s，之后以 $a_2=2$ m/s^2 向下做匀加速直线运动，根据运动学规律有 $x=\frac{1}{2}a_2t_3^2=4$ m，解得 $t_3=2$ s，故小物块在传送带上运动的时间为 $t=t_1+t_2+t_3=3.6$ s，故 C 正确；由运动学公式知，第一阶段物块运动的位移为 $x_1=\frac{v_1+v_2}{2}t_1=\frac{2+8}{2}\times0.6$ m$=3$ m，传送带运动的位移为 $v_1t_1=2\times0.6=1.2$ m，物块向上超前传送带运动的距离为 1.8 m，同理可得，第二阶段物块运动的位移为 $x_2=\frac{v_1}{2}t_2=\frac{2}{2}\times1$ m$=1$ m，传送带运动的位移为 $v_1t_2=2\times1$ m$=2$ m，物块向上落后传送带运动的距离为 1 m，第三阶段传送带运动的位移为 $v_1t_3=2\times2$ m$=4$ m，物块向下超前传送带运动的距离为 8 m，故小物块在传送带上留下的痕迹长度为 8 m+1 m=9 m，故 D 正确.

答案 CD

第4章 曲线运动

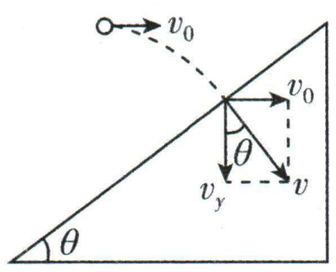
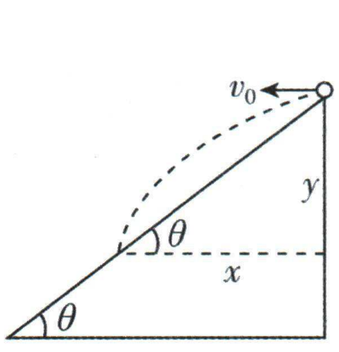
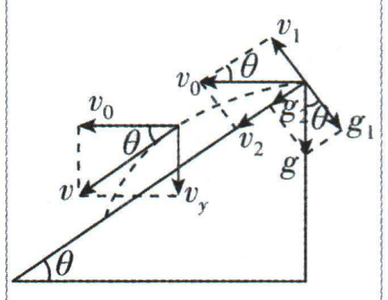
重难9▸平抛运动与斜面、曲面的结合

链接练习册 P49T4

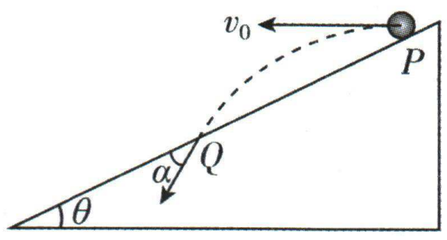
考法1 平抛运动与斜面结合问题

斜面上的平抛运动问题是一种常见的情境，在解决这类问题时需要运用平抛运动的位移和速度规律；充分运用斜面倾角，利用几何关系找出位移和速度与水平方向夹角的关系. 常见的模型如下：

重难解读

题目特征	图例	用法
垂直落在斜面上的平抛		分解速度： $\tan\theta=\frac{v_0}{v_y}=\frac{v_0}{gt}$ 水平：$v_x=v_0$ 竖直：$v_y=gt$ 合速度：$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$
从斜面抛出又落在斜面上的平抛		分解位移： $\tan\theta=\frac{y}{x}=\frac{gt}{2v_0}$ 水平：$x=v_0t$ 竖直：$y=\frac{1}{2}gt^2$ 合位移：$s=\sqrt{x^2+y^2}$
从离斜面顶端抛出至离斜面最远		沿垂直斜面和平行斜面的方向同时分解 v_0 和 g. 离斜面最远的距离 $d=\frac{v_0^2\sin\theta\tan\theta}{2g}$ 离斜面最远的时间 $t=\frac{v_0\tan\theta}{g}$

例1 [江苏盐城2025联考]如图所示，从倾角为 θ 的足够长的斜面顶端 P 以速度 v_0 抛出一个小球，落在斜面上 Q 点处，小球落在斜面上的速度与斜面的夹角为 α，若把初速度变为 $2v_0$，则 （　　）



A. PQ 间距一定为原来间距的2倍

B. 空中的运动时间变为原来的 $\sqrt{2}$ 倍

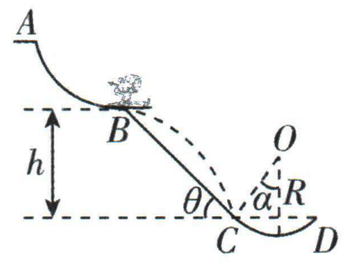
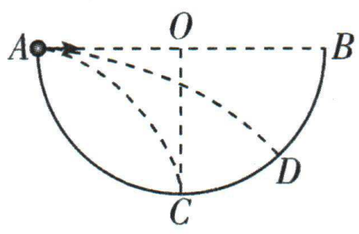
C. 夹角 α 将变大

D. 夹角 α 将不变

解析 小球从抛出到落到斜面上，有 $\tan\theta=\frac{y}{x}=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}$（提示：分解位移），可得 $t=\frac{2v_0\tan\theta}{g}$，若把初速度变为 $2v_0$，则小球在空中的运动时间变为原来的2倍，根据 $y=\frac{1}{2}gt^2$，可知小球下落高度变为原来的4倍，根据几何关系可知 PQ 间距一定为原来间距的4倍，故A、B错误；根据平抛运动推论：平抛运动的合速度与水平方向夹角的正切值是位移与水平方向夹角正切值的2倍，则有 $\tan(\alpha+\theta)=2\tan\theta$，由于 θ 不变，则夹角 α 将不变（提示：平抛运动常用结论），故C错误，D正确.

答案 D

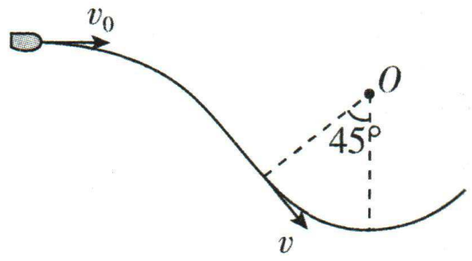
考法2 平抛运动与曲面结合问题

题目特征	图例	用法
无碰撞进入圆弧轨道		进入圆弧轨道时，速度方向确定（沿圆弧轨道切线方向）
撞击圆弧轨道某一位置		速度反向延长线一定不过圆心

例2 [福建龙岩十二校2025期中](多选)“刀削面”是我国传统面食制作手法之一. 操作手法是一手托面，一手拿刀，将面削到开水锅里，如图甲所示. 某次削面的过程可简化为图乙，面片（可视为质点）以初速度 $v_0=3\ \mathrm{m/s}$ 水平飞出，正好沿锅边缘的切线方向掉入锅中，锅的截面可视为圆心在 O 点的圆弧，锅边缘与圆心的连线和竖直方向的夹角为45°，不计空气阻力，取重力加速度为 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$，下列说法正确的是 （　　）



甲



乙

A. 面片在空中运动的竖直位移为 0.45 m

B. 面片运动到锅边缘时的速度大小为 4 m/s

C. 若面片落入锅中后可沿锅内曲面匀速下滑，则面片所受合力为零

D. 若面片落入锅中后可沿锅内曲面匀速下滑，则所受摩擦力减小

解析 面片沿锅边缘的切线方向掉入锅中，则 $\tan 45°=\frac{v_y}{v_0}$，且 $v_y=gt$，解得 $t=0.3$ s，面片在空中运动的竖直位移为 $y=\frac{1}{2}gt^2=0.45$ m，故 A 正确；面片运动到锅边缘时的速度大小为 $v=\frac{v_0}{\cos 45°}=3\sqrt{2}$ m/s，故 B 错误；若面片落入锅中后可沿锅内曲面匀速下滑，速度方向在改变，则存在加速度，合力不为零，故 C 错误；若面片落入锅中后可沿锅内表面匀速下滑，设面片和圆心的连线与竖直方向的夹角为 θ，则面片所受摩擦力大小为 $f=mg\sin\theta$，θ 逐渐减小，面片所受摩擦力大小逐渐减小，故 D 正确.

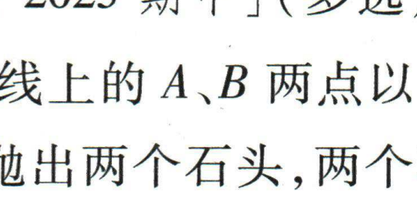
答案 AD

重难 10▸斜抛运动模型

链接练习册 P48T4

考法 3 斜抛运动模型

把运动分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的竖直上抛运动.

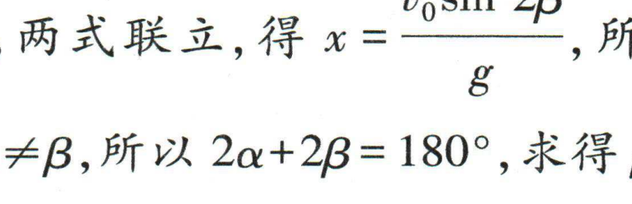


(1) 速度公式：$v_x=v_{0x}=v_0\cos\theta$；$v_y=v_{0y}-gt=v_0\sin\theta-gt$.

(2) 位移公式：$x=v_0\cos\theta\cdot t$；$y=v_0\sin\theta\cdot t-\frac{1}{2}gt^2$.

(3) 当 $v_y=0$，$v=v_{0x}=v_0\cos\theta$，物体到达最高点，竖直方向的位移最大，为 $h_{max}=\frac{v_{0y}^2}{2g}=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}$.

例 3 [山东泰安 2025 期中](多选)如图所示，从位于同一条水平直线上的 A、B 两点以大小相等的速度 $v_0=10$ m/s 同时抛出两个石头，两个石头飞行轨迹不同，但每一个石头恰好落在另一个石头的抛出点. 已知石头在 A 点的抛射角为 $\alpha=75°$，石头在 B 点的抛射角为 β，重力加速度 g 取 10 m/s^2，则下列说法中正确的是 (　　)



A. 两个石头抛出点之间的距离为 5 m

B. 两个石头抛出点之间的距离为 10 m

C. 角度 $\beta=30°$

D. 角度 $\beta=15°$

解析 设从 A 点抛出的石头在空中运动的时间为 t_1，则 $2v_0\sin\alpha=gt_1$，设两个石头抛出点之间的距离为 x，则 $x=v_0\cos\alpha\cdot t_1$，两式联立，得 $x=\frac{v_0^2\sin 2\alpha}{g}$，代入数据，得 $x=5$ m，故 A 正确，B 错误；设从 B 点抛出的石头在空中运动的时间为 t_2，则 $2v_0\sin\beta=gt_2$，$x=v_0\cos\beta\cdot t_2$，两式联立，得 $x=\frac{v_0^2\sin 2\beta}{g}$，所以 $\sin 2\alpha=\sin 2\beta$，因 $\alpha\neq\beta$，所以 $2\alpha+2\beta=180°$，求得 $\beta=15°$，故 C 错误，D 正确.

答案 AD

重难 11▸水平面与竖直平面内的物体转动模型

链接练习册 P52T3

考法 4 水平面内的物体转动问题



重难解读

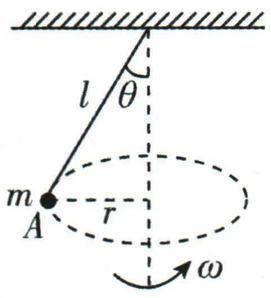
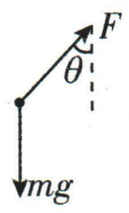
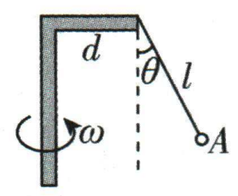
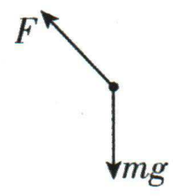
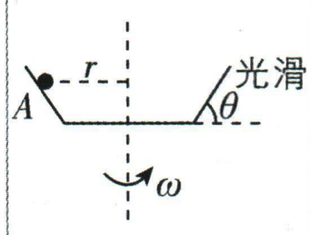
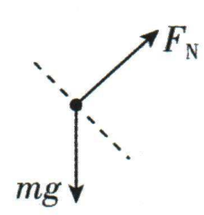
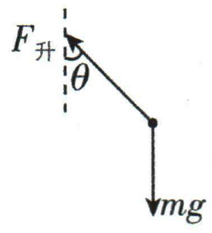
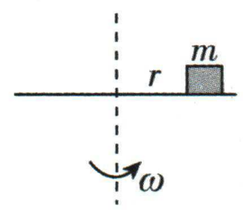
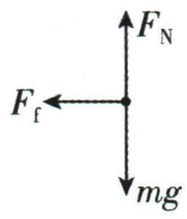
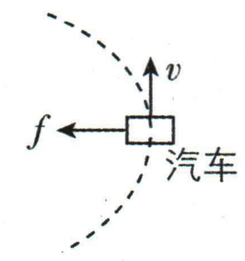
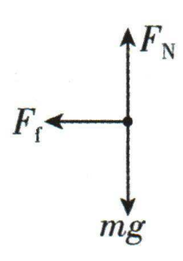
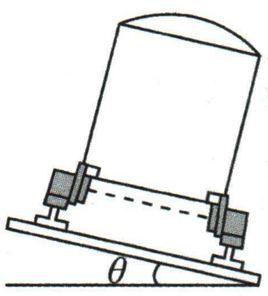
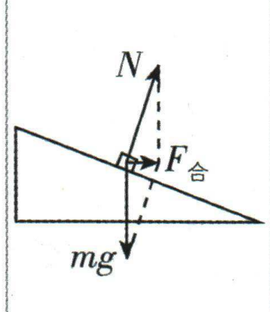
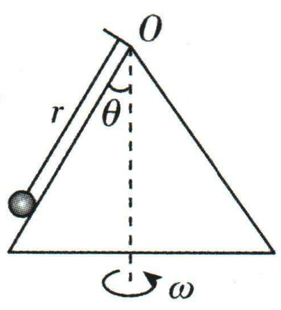
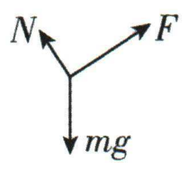
解答水平面内物体的转动问题的关键：

(1) 确定做圆周运动的物体所处的平面(水平面)；

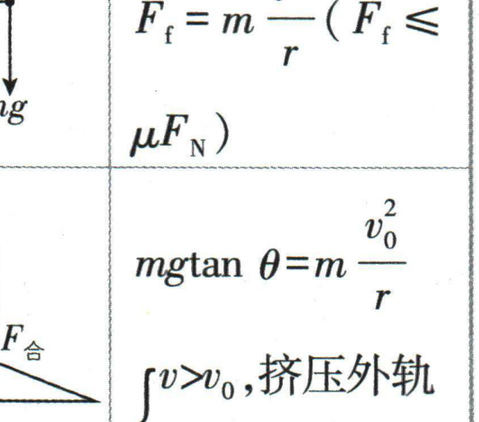
(2) 准确分析向心力的来源及方向(水平指向圆心)；

(3)求出轨道半径;

(4)列出动力学方程求解.

题目特征	实例	受力分析	原理与应用
圆锥摆模型			$mg\tan\theta=m\omega^2 r$ $r=l\sin\theta$
			$mg\tan\theta=m\omega^2 r$ $r=d+l\sin\theta$
			$mg\tan\theta=m\omega^2 r$
			$mg\tan\theta=m\omega^2 r$
摩擦力模型			$F_N=mg$ $F_f=m\omega^2 r$ ($F_f\leqslant\mu F_N$)
火车、汽车转弯			$F_N=mg$ $F_f=m\frac{v^2}{r}$ ($F_f\leqslant\mu F_N$)
			$mg\tan\theta=m\frac{v_0^2}{r}$ $\begin{cases}v>v_0,\text{挤压外轨}\\v<v_0,\text{挤压内轨}\end{cases}$
圆锥筒模型			临界条件: 支持力 N 恰好为零,此时 $F\cos\theta=mg$ $F\sin\theta=m\omega^2\cdot r\sin\theta$

例4 [安徽A10联盟2025联考](多选)如图所示,可视为质点、质量相等的A、B两球套在粗细均匀的光滑水平直杆上.分别用长度相等的两轻质细线,一端连接小球,另一端固定在竖直细杆上.现让整个装置绕竖直细杆匀速转动,下列判断正确的是 (　　)



A. 两细线上的拉力大小一定不等

B. 两细线上的拉力大小一定相等

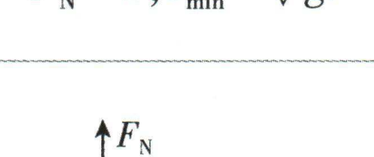
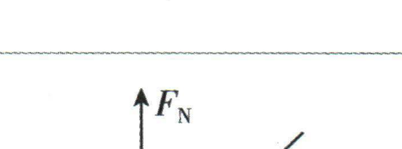
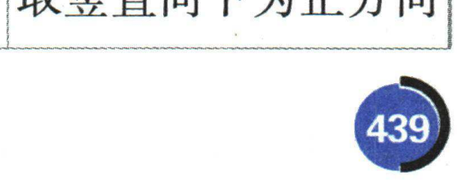
C. 若A球不受杆的弹力,则B球也不受杆的弹力

D. 若B球不受杆的弹力,则A球受到杆的弹力方向竖直向下

解析 设细线长为L,细线与竖直方向的夹角为θ,细线的拉力为F,则$F\sin\theta=mL\sin\theta\omega^2$,即$F=mL\omega^2$,由此判断两细线上的拉力大小相等,A错误,B正确;由于两球所受重力相等,两细线拉力大小相等,若A球不受杆的弹力,即A球上细线的竖直分力等于重力,则B球上细线拉力的竖直分力小于重力,则杆对B球的弹力方向竖直向上,C错误;若B球不受杆的弹力,即B球上细线的竖直分力等于重力,则A球上细线拉力的竖直分力大于重力,则杆对A球的弹力方向竖直向下,D正确.

答案 BD

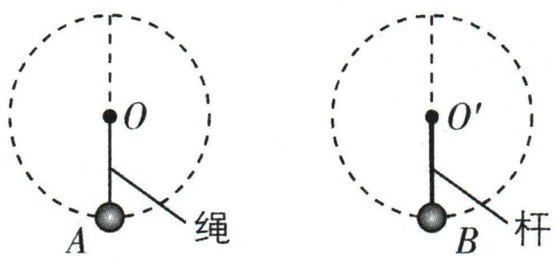
考法5 绳模型与杆模型

		绳模型	杆模型
模型图例		最高点无支撑 	最高点有支撑 
最高点	受力特征	单向约束:重力、弹力,弹力方向向下或等于零	双向约束:重力、弹力,弹力方向向下、等于零或向上
	受力示意图		
	力学特征	$mg+F_N=m\frac{v^2}{r}$	$mg\pm F_N=m\frac{v^2}{r}$
	临界特征	$F_N=0$,$v_{min}=\sqrt{gr}$	$F_N=mg$,$v=0$
	在最高点的F_N-v^2图像	 取竖直向下为正方向	 取竖直向下为正方向

续表

	绳模型	杆模型
过最高点条件	$v\geqslant\sqrt{gr}$	$v\geqslant0$
速度和弹力关系讨论分析	①能过最高点时，$v\geqslant\sqrt{gr}$，$F_N+mg=m\frac{v^2}{r}$，绳、轨道对球产生弹力 F_N； ②不能过最高点时，$v<\sqrt{gr}$，在到达最高点前小球已经脱离了圆轨道做斜抛运动，或在圆心高度以下做往复运动	①当 $v=0$ 时，$F_N=mg$，F_N 为支持力，沿半径背离圆心； ②当 $0<v<\sqrt{gr}$ 时，$mg-F_N=m\frac{v^2}{r}$，F_N 背离圆心，随 v 的增大而减小； ③当 $v=\sqrt{gr}$ 时，$F_N=0$； ④当 $v>\sqrt{gr}$ 时，$F_N+mg=m\frac{v^2}{r}$，F_N 指向圆心并随 v 的增大而增大

例5 [湖南常德2025联考](多选)如图甲、乙所示，在长度均为1 m的轻质细绳和轻质细杆的一端固定质量均为1 kg的小球A、B，另一端分别固定在O、O'点，现让A、B两小球分别绕O、O'点在竖直平面内做圆周运动，小球均可视为质点，不计空气阻力，重力加速度g取10 m/s^2. 下列说法正确的是 (　　)



甲　　乙

A. A球做圆周运动在最高点的最小速度为$\sqrt{10}$ m/s

B. B球做圆周运动在最高点的最小速度为$\sqrt{10}$ m/s

C. 某次A、B两球运动到最高点对绳、杆的作用力大小均为2 N，则此时A、B两球经过最高点时的速度大小一定相等

D. A球在最低点和最高点受到绳的拉力差值大小为60 N

解析 A球与细绳相连，则恰好能到最高点时有$mg=m\frac{v_1^2}{L}$，解得$v_1=\sqrt{10}$ m/s，故A正确；B球与杆相连，则运动到最高点时的最小速度为0，故B错误；某次A、B两球运动到最高点对绳、杆的作用力大小均为2 N，若都为拉力，则有$mg+F=m\frac{v^2}{L}$，可知此时A、B两球经过最高点时的速度大小一定相等，若杆的作用力为支持力，则有$mg-F=m\frac{v'^2}{L}$，此时两球经过最高点的速度大小不相等，故C错误；设A球在最低点受到绳的拉力为F_1，则$F_1-mg=m\frac{v_A^2}{L}$，在最高点受到绳的拉力为F_2，则$F_2+mg=m\frac{v_A'^2}{L}$，A球从最低点运动到最高点，根据动能定理有$-mg\times2L=\frac{1}{2}mv_A'^2-\frac{1}{2}mv_A^2$，联立解得$A$球受到绳的拉力差值大小为$F_1-F_2=6mg=60$ N，故D正确.

答案 AD

第5章 万有引力与航天

重难12▸估算天体质量和密度

链接练习册 P60T4

考法1 两种方法破解天体的质量和密度问题

1. 万重思路(万有引力提供重力)

已知天体表面的重力加速度 g 和天体半径 R.

①由 $G\frac{Mm}{R^2}=mg$,得天体质量 $M=\frac{gR^2}{G}$.

②天体密度 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3g}{4\pi GR}$.

2. 万向思路(万有引力提供向心力)

已知卫星绕中心天体做匀速圆周运动的轨道半径 r 和周期 T.

①由 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$,得 $M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$.

②若已知天体的半径 R,则天体的密度 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3\pi r^3}{GT^2R^3}$.

③若卫星绕天体表面运行,可认为轨道半径 r 等于天体半径 R,则天体密度 $\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$,故只要测出卫星环绕天体表面运动的周期 T,就可以估算出中心天体的密度.

例1 [广东深圳外国语学校2025月考]已知中国天宫空间站的高度是地球半径 R 的 n 倍,空间站运行周期是 T,引力常量是 G,将地球看成是一个质地均匀的球体,利用以上数据求出的物理量正确的是 (　　)

A. 地球的质量 $M=\frac{4\pi^2}{GT^2}n^3R^3$

B. 地球的密度 $\rho=\frac{3\pi(1+n)^3}{GT^2}$

C. 空间站的线速度 $v=\frac{2\pi nR}{T}$

D. 空间站的加速度 $a=\frac{4\pi^2nR}{T^2}$

解析 根据万有引力定律有 $G\frac{Mm}{(n+1)^2R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}(n+1)R$(提示:万向思路),解得地球质量为 $M=\frac{4\pi^2}{GT^2}(n+1)^3R^3$,故A错误;地球的密度为 $\rho=\frac{M}{V}$,其中 $M=\frac{4\pi^2}{GT^2}(n+1)^3R^3$,$V=\frac{4}{3}\pi R^3$,代入上式,可得 $\rho=\frac{3\pi(1+n)^3}{GT^2}$,故B正确;根据 $v=\frac{2\pi r}{T}$,可得空间站的线速度 $v=\frac{2\pi(n+1)R}{T}$,故C错误;根据 $a=\frac{4\pi^2}{T^2}r$,可得空间站的加速度 $a=\frac{4\pi^2(n+1)R}{T^2}$,故D错误.

答案 B

重难13▸卫星变轨模型

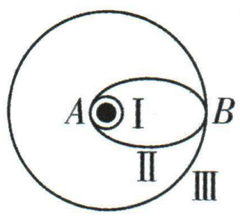
链接练习册 P66T4

考法2 抓住五点破解卫星变轨模型

重难解读

1. 题目特征

给出相交的三个轨道:近地圆轨道Ⅰ、椭圆轨道Ⅱ、远地圆轨道Ⅲ.



2. 解题要点

①在近地圆轨道 A 点(近地点)点火加速,进入椭圆轨道Ⅱ;在椭圆轨道 B 点(远地点)将做近心运动,点火加速才能进入圆轨道Ⅲ. 相反的过程需要点火减速.

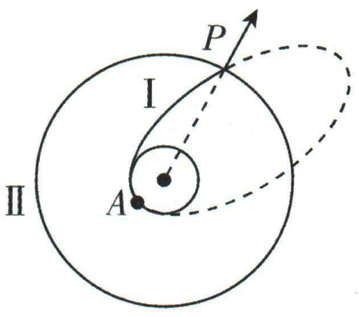
②加速度:卫星在轨道Ⅰ或轨道Ⅱ上经过 A 点时加速度相同,在轨道Ⅱ或轨道Ⅲ上经过 B 点时的加速度也相同.

③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上经过 A 点和 B 点时的速率分别为 v_A、v_B,则 $v_A>v_1>v_3>v_B$.

④周期:设卫星在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ轨道上的运行周期分别为 T_1、T_2、T_3,则有 $T_1<T_2<T_3$.

⑤机械能:在一个确定的圆(椭圆)轨道上机械能守恒. 若卫星在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ轨道的机械能分别为 E_1、E_2、E_3,则 $E_1<E_2<E_3$.

例2 [江苏淮安2025一模]如图所示,为使沿椭圆轨道Ⅰ运动的飞行器变轨到圆轨道Ⅱ上做匀速圆周运动,可在 P 点沿图示箭头方向喷射气体实现. 已知椭圆轨道的长轴是圆轨道半径的2倍. 则飞行器 (　　)



A. 在轨道Ⅰ上从 A 点到 P 点,机械能逐渐增大

B. 在轨道Ⅱ上运行的速度大小小于在轨道Ⅰ上经过 P 点的速度大小

C. 在轨道Ⅱ上运行周期大于在轨道Ⅰ上运行周期

D. 在轨道Ⅱ上运行的加速度大小小于在轨道Ⅰ上经过 P 点的加速度大小

解析 飞行器在轨道Ⅰ上运行时，只受万有引力作用，机械能守恒，即从 A 点到 P 点，机械能不变，故 A 错误；根据卫星的变轨原理可知，在轨道Ⅰ上经过 P 点时速度应沿斜线方向斜向右上，在 P 点沿箭头方向喷气实现变轨，飞行器减速变轨到圆轨道Ⅱ上，所以在轨道Ⅱ上运行的速度大小小于在轨道Ⅰ上经过 P 点的速度大小，故 B 正确；由于Ⅱ轨道半径等于Ⅰ轨道半长轴，根据开普勒第三定律可知，卫星在Ⅱ轨道运行周期等于Ⅰ轨道的运行周期，故 C 错误；根据牛顿第二定律 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$，所以 $a=\frac{GM}{r^2}$，则在轨道Ⅱ上运行的加速度大小等于在轨道Ⅰ上经过 P 点的加速度大小，故 D 错误.

答案 B

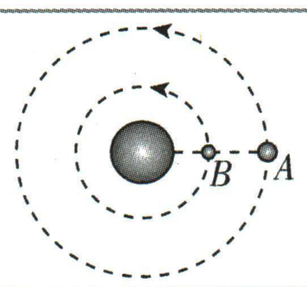
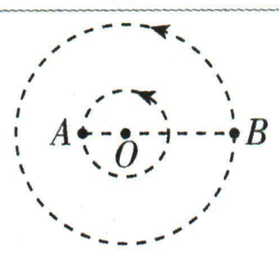
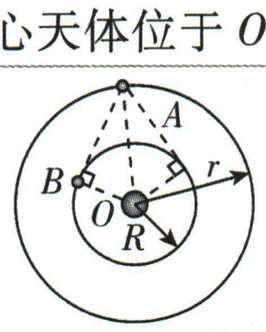
重难 14▸卫星追赶模型

链接练习册 P67T7

考法 3 天体“追及”问题的处理方法

重难解读

1. 常见的几种位置

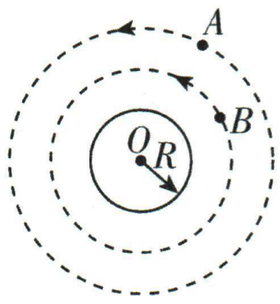
相距最近	两同心转动的卫星，位于同一直径上且在圆心的同侧	
相距最远	两同心转动的卫星，位于同一直径上且在圆心的异侧	（中心天体位于 O 处）
某个特定位置	两个星体与中心天体的连线成特定角度	

2. 同向运动中的追赶

①题目特征

a. 初始位置和末位置已知.

b. 两个天体在同一个平面内做同方向的圆周运动.



②解题要点

a. 找出从初状态到末状态，运动快的天体比运动慢的天体多走过的圈数或角度.

b. 通过 $(\omega_B-\omega_A)t=\theta$（某一角度）或 $\frac{t}{T_B}-\frac{t}{T_A}=n$（圈数）列式.

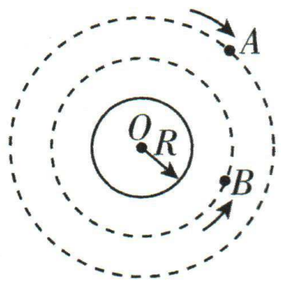
3. 反向运动中的相遇

①题目特征

a. 两个天体围绕一个中心天体运动.

b. 初始位置和末位置已知.

c. 两个天体在同一个平面反方向运动.



②解题要点

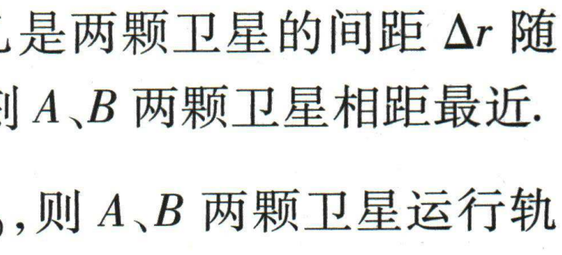
a. 判断初、末位置.

b. 通过 $(\omega_A+\omega_B)t=\theta$（某一角度）或 $\frac{t}{T_A}+\frac{t}{T_B}=n$（圈数）列式.

4. 不在同一平面内的相遇

①题目特征

a. 两个天体围绕一个中心天体运动.



b. 初始位置和末位置已知.

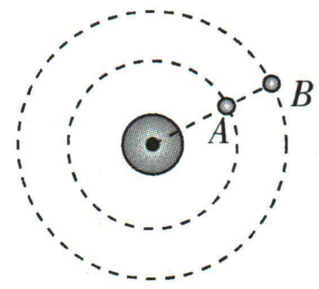
c. 两个天体在不同平面内做圆周运动.

②解题要点

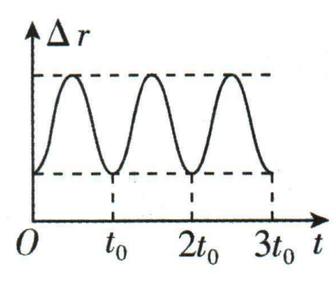
a. 判断初、末位置.

b. 从初、末位置具备的条件列式.

例 3 [河南五市 2024 一模]如图甲所示，A、B 两颗卫星在同一平面内围绕中心天体做匀速圆周运动，且绕行方向相同，图乙是两颗卫星的间距 Δr 随时间 t 的变化图像，$t=0$ 时刻 A、B 两颗卫星相距最近. 已知卫星 A 的周期 $T_A=\frac{7}{8}t_0$，则 A、B 两颗卫星运行轨道半径之比为 （ ）



甲



乙

A. 1∶2　　B. 1∶4　　C. 1∶7　　D. 1∶8

解析 $0\sim t_0$ 时间内，A、B 两卫星转过的角度关系为 $\frac{2\pi}{T_A}t_0-\frac{2\pi}{T_B}t_0=2\pi$，又 $T_A=\frac{7}{8}t_0$，解得 $T_B=7t_0$，根据开普勒第三定律有 $\frac{r_A^3}{T_A^2}=\frac{r_B^3}{T_B^2}$，可得 $\frac{r_A}{r_B}=\frac{1}{4}$，故选 B.

答案 B

|第6章| 机械能守恒定律的应用

重难15▸动能定理的实际应用

链接练习册 P76T7

考法1 动能定理求变力做功的问题

1. 问题特征

①某个力大小或方向在变，无法用恒力做功的公式求解做功.

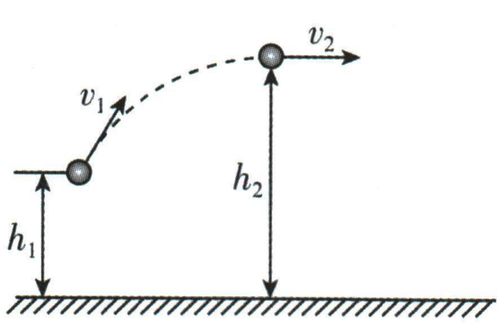
②其他力做功容易求，且初、末状态动能容易找到.

2. 解题方法

①根据初、末速度，找出初、末动能的变化.

②列式 $W_{变}+W_{恒}=\frac{1}{2}mv_{末}^2-\frac{1}{2}mv_{初}^2$.

例1 [广东珠海2025一模]网球运动员在离地面 h_1 高度处将网球以大小为 v_1 的速度斜向上击出，空气阻力的影响不可忽略，网球经过一段时间后升到最高点，此时网球离地面高度为 h_2，速度大小为 v_2. 已知网球质量为 m，重力加速度为 g. 则 (　　)



A. 网球从被击出到运动至最高点的过程，机械能守恒

B. 网球从被击出到运动至最高点的过程，减少的动能全部转化为增加的重力势能

C. 网球在其轨迹最高点时重力的功率等于零

D. 网球从被击出到运动至最高点的过程，克服空气阻力做功为 $\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_2^2$

解析 网球从被击出到运动至最高点的过程，要克服空气的阻力做功，机械能不守恒，A错误；网球从被击出到运动至最高点的过程，减少的动能一部分转化为重力势能，另一部分用来克服空气阻力做功，B错误；在最高点时，速度 v_2 沿水平方向，竖直方向的速度为 $v_y=0$，重力功率 $P=Fv=mgv_y=0$，C正确；由动能定理可知 $-mg(h_2-h_1)-W_f=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$，解得 $W_f=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_2^2-mg(h_2-h_1)$，D错误.

答案 C

考法2 应用动能定理解决往复运动

1. 问题特征

①物体的运动具有重复性、往返性.

②重复次数往往是无限的，难以确定.

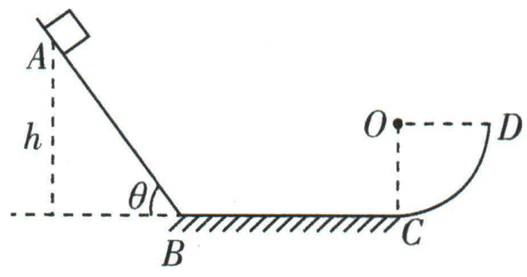
重难解读

2. 解题方法

①分析初、末状态.

②用全程的动能定理列式或是找出数据的规律，根据等比数列或是等差数列的关系列式.

例2 [湖北新高考联考协作体2024联考]如图所示，$ABCD$ 为竖直平面内固定轨道，其中 AB 光滑，BC 为长度 $L=4$ m 的粗糙水平面，CD 为光滑的四分之一圆弧，半径 $R=0.8$ m. 一个质量 $m=2.5$ kg 的物体，从斜面上 A 点由静止开始下滑，A 点距离水平面 BC 的高度 $h=1.8$ m，物体与水平面 BC 间的动摩擦因数 $\mu=0.2$，轨道在 B、C 两点平滑连接. 当物体到达 D 点时，继续竖直向上运动. 不计空气阻力，g 取 10 m/s^2. 求：



(1)物体运动到 B 点时的速度大小 v_B；

(2)物体能到达 D 点上方，距离 D 点的最大高度差 H；

(3)物体最终停止的位置到 B 点的距离 x.

解析 (1)物体由 A 点运动到 B 点，根据动能定理得 $mgh=\frac{1}{2}mv_B^2$，代入数据解得 $v_B=6$ m/s.

(2)方法一：物体由 A 点运动到 D 上方最高点，根据动能定理得 $mg(h-H-R)-\mu mgL=0$，代入数据解得 $H=0.2$ m.

方法二：物体由 B 点运动到 D 上方最高点，根据动能定理得 $-mg(H+R)-\mu mgL=0-\frac{1}{2}mv_B^2$，代入数据解得 $H=0.2$ m.

(3)从物体开始下滑到最终停止，根据动能定理得 $mgh-\mu mgs=0$，代入数据解得 $s=9$ m，由于 $s=2L+$

x(m),所以物体最终停止的位置到B点的距离为$x=1$ m.

答案 (1)6 m/s　(2)0.2 m　(3)1 m

考法3　分段或全过程应用动能定理解决多过程问题

1. 问题特征

①物体的运动包含几个不同的过程.

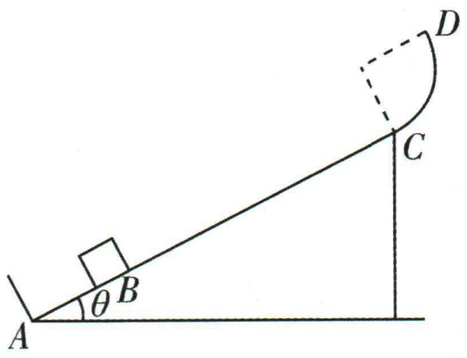
②可选取某段过程或全过程进行分析.

2. 解题方法

①整体分析或分段分析.

②找出对应过程的做功情况和初、末动能,根据动能定理列式求解.

例3 [山东名校联盟2024联考](多选)如图所示,一个斜面体固定在水平地面上,斜面体A端固定一与斜面垂直的挡板,斜面AB段光滑、BC段粗糙,BC段长为L.$\frac{1}{4}$光滑圆轨道与斜面体在C点相切.质量为m的小物块(可看作质点)从B点开始以一定的初速度沿斜面向上运动,小物块滑上圆轨道后恰好不脱离圆轨道,之后物块原路返回与挡板碰撞后又沿斜面向上运动,到达C点时速度为零.已知物块与斜面BC段的动摩擦因数为0.2,最大静摩擦力等于滑动摩擦力,斜面倾角$\theta=37°$,重力加速度为g,不计物块碰撞挡板时的机械能损失,$\sin 37°=0.6$,$\cos 37°=0.8$.下列说法正确的是(　　)



A. 小物块第一次到达C点时的速度大小为$\frac{4}{5}\sqrt{gL}$

B. 圆轨道的半径为$\frac{1}{5}L$

C. 小物块从B点开始运动时的初速度为$\frac{3}{5}\sqrt{6gL}$

D. 小物块在斜面BC段滑行的最大路程为$\frac{15}{4}L$

解析 (提示:本题中小物体的运动包含光滑直轨道上的运动、粗糙直轨道上的运动、光滑圆轨道上的运动,不考虑中间过程,分别应用动能定理)设小物块从B点开始运动时的初速度为v_B,研究小物块从B点开始运动至C点速度为零的过程,由动能定理可得$-mgL\sin 37°-3\mu mgL\cos 37°=0-\frac{1}{2}mv_B^2$,解得$v_B=\frac{3}{5}\sqrt{6gL}$,C正确;研究小物块从$B$点开始运动到第一次到达$C$点的过程,由动能定理可得$-mgL\sin 37°-\mu mgL\cos 37°=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_B^2$,解得$v_C=\frac{4}{5}\sqrt{gL}$,A正确;依题意,小物块恰好不脱离圆轨道,分析可知,物块到达圆心等高处速度为0,小物块由C点运动到该处,根据动能定理可得$-mgR\cos 37°=0-\frac{1}{2}mv_C^2$,联立解得$R=\frac{2}{5}L$,B错误;依题意有$mg\sin 37°=0.6mg>\mu mg\cos 37°=0.16mg$,可知小物块最终将在$A$、$B$之间做往复运动,设小物块在斜面$BC$段滑行的最大路程为$s$,分析全过程,由动能定理可得$-\mu mgs\cos 37°=0-\frac{1}{2}mv_B^2$,解得$s=\frac{27}{4}L$,D错误.

答案 AC

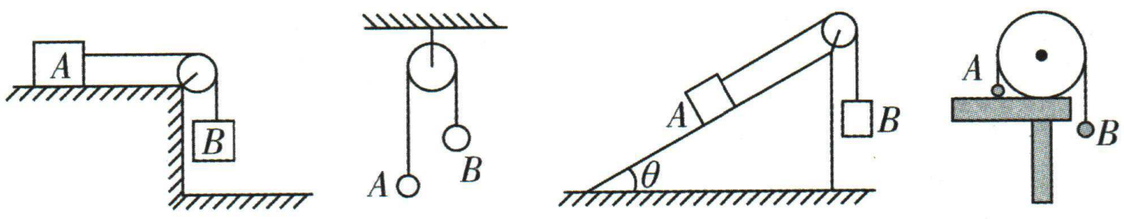
考法4　绳连(速度大小相等)的机械能守恒

1. 题目特征

①两个物体用轻绳连接且速率相等.

②不计摩擦,系统的机械能守恒.

③单个物体机械能不守恒.



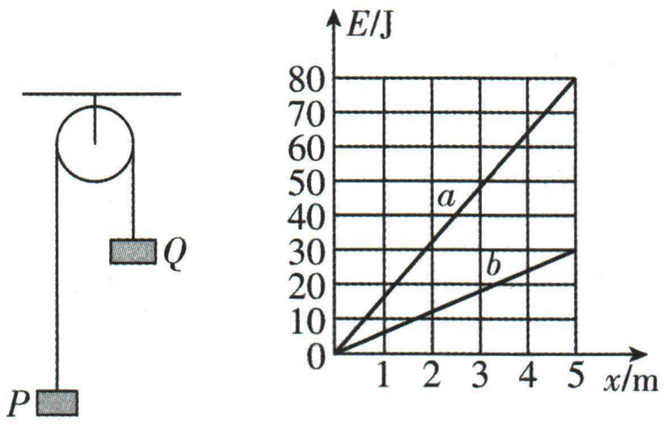
2. 解题方法

①找到两物体初、末状态下的动能和重力势能.

②根据$\Delta E_k=-\Delta E_p$或$\Delta E_A=-\Delta E_B$列式.

例4 [湖北部分学校2025联考](多选)如图甲所示,轻质光滑定滑轮固定在天花板上,物体P和Q用足够长、不可伸长的轻绳相连,悬挂在定滑轮上,质量$m_P<m_Q$,$t=0$时刻将两物体由静止释放,取$t=0$时刻物体P所在水平面为参考平面,物体P的动能和机械能随运动距离的变化情况如图乙所示,不计空气阻

力,两物体均可视为质点. 取重力加速度大小 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$,下列说法正确的是　　(　　)



甲　　乙

A. 图线 b 表示物体 P 的动能变化

B. 物体 P 的质量为 2 kg

C. 物体 P 运动的距离为 5 m 时,Q 的重力势能减小了 180 J

D. 物体 P 运动的距离为 5 m 时,两物体动能之和为 150 J

解析 物体 P 向上运动,动能和重力势能都增大,所以机械能的增加量大于动能的增加量,则图线 a 是机械能随运动距离的变化情况,图线 b 是动能随运动距离的变化情况,A 正确;由题图乙可知,物体 P 上升 5 m 时,它的机械能增加了 80 J,动能增加了 30 J,说明它的重力势能增加了 50 J,根据 $E_{\mathrm{p}}=m_Pgh$,解得 $m_P=1\ \mathrm{kg}$,B 错误;物体 P 上升 5 m 时,它的动能为 30 J,根据 $E_{\mathrm{k}}=\frac{1}{2}m_Pv^2$,解得 $v=2\sqrt{15}\ \mathrm{m/s}$,根据机械能守恒定律有 $m_Qgh=m_Pgh+\frac{1}{2}(m_Q+m_P)v^2$(提示:轻绳连接的两物体线速度大小相等),解得 $m_Q=4\ \mathrm{kg}$,物体 P 运动的距离为 5 m 时,物体 Q 的重力势能减小了 200 J,C 错误;物体 P 运动的距离为 5 m 时,两物体动能之和 $E_{\mathrm{k}总}=\frac{1}{2}(m_Q+m_P)v^2=150\ \mathrm{J}$,D 正确.

答案 AD

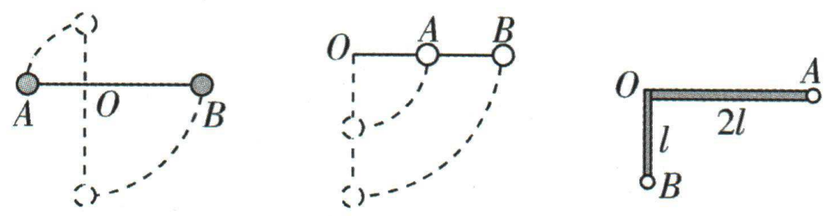
考法5　杆连(角速度相等)的机械能守恒

1. 题目特征

①两个物体用轻杆连接且运动过程中角速度相等.

②不计摩擦,系统机械能守恒.

③单个物体机械能不守恒.



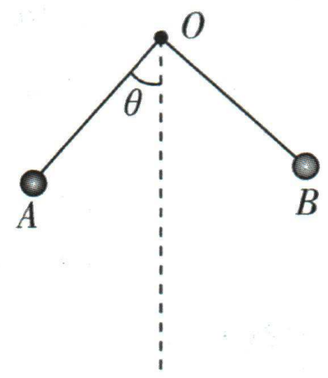
2. 解题方法

①根据角速度相等找到两个物体速度的关系.

②找到两物体初、末状态下的动能和重力势能.

③根据 $\Delta E_{\mathrm{k}}=-\Delta E_{\mathrm{p}}$ 或 $\Delta E_A=-\Delta E_B$ 列式.

例5 [湘豫名校 2025 联考](多选)如图,质量分别为 $4m$、$3m$ 的小球 A、B 固定在质量不计的等腰直角支架两端,$AO=BO=L$,支架可绕着固定点 O 在竖直平面内无摩擦地转动,系统静止时,AO 与竖直方向的夹角为 $\theta=37°$. 现将小球 A 拉到与 O 等高处由静止释放,已知重力加速度大小为 g,$\sin 37°=\frac{3}{5}$,$\cos 37°=\frac{4}{5}$,下列说法正确的是　　(　　)



A. 当 $\theta=45°$时,小球 B 的速度大小为 $\sqrt{2gL}$

B. 小球 A 运动到最低点时,A 的速度为 $\sqrt{\frac{2gL}{7}}$

C. 小球 A 运动到最低点的过程中,支架对小球 A 做的功为 $\frac{27mgL}{7}$

D. 小球 B 到达最高点时,AO 与竖直方向夹角为 $\beta=16°$

解析 当小球 A 从与 O 等高处释放后,由于受到重力作用,它会开始下落,同时带动小球 B 上升. 整个过程中,能量守恒,以 O 点所在水平面为零势能面,初始状态时,小球 A 的重力势 $E_{\mathrm{pA1}}=0$,小球 B 的重力势能 $E_{\mathrm{pB1}}=-3mgL$,当达到 $\theta=45°$状态时,小球 A 的重力势能与小球 B 的重力势能分别为 $E_{\mathrm{pA2}}=-4mgL\cos 45°$,$E_{\mathrm{pB2}}=-3mgL\sin 45°$,当达到 $\theta=45°$状态时,由于等腰直角支架的关系,有 $v_A=v_B=v$(提示:杆连接体旋转时角速度大小相同,且二者旋转半径相同,故线速度大小也相等),小球 A 的动能与小球 B 的动能分别为 $E_{\mathrm{kA2}}=\frac{1}{2}\cdot 4mv^2=2mv^2$,$E_{\mathrm{kB2}}=\frac{3}{2}mv^2$,由能量守恒定律 $E_{\mathrm{pA1}}+E_{\mathrm{pB1}}=E_{\mathrm{pA2}}+E_{\mathrm{pB2}}+E_{\mathrm{kA2}}+E_{\mathrm{kB2}}$,得 $0+(-3mgL)=(-4mgL\cos 45°)+(-3mgL\sin 45°)+2mv^2+\frac{3}{2}mv^2$,整理得 $v=\sqrt{\frac{7\sqrt{2}-6}{7}gL}$,故 A 错误;小球 A 运动到最低点

时,小球 A 的重力势能与小球 B 的重力势能分别为 $E_{pA3}=-4mgL$,$E_{pB3}=0$,小球 A 运动到最低点时,A、B 的速度为 v_1,小球 A 的动能与小球 B 的动能分别为 $E_{kA3}=\frac{1}{2}\cdot 4mv_1^2=2mv_1^2$,$E_{kB3}=\frac{3}{2}mv_1^2$,由能量守恒定律得 $E_{pA1}+E_{pB1}=E_{pA3}+E_{pB3}+E_{kA3}+E_{kB3}$,联立以上方程整理得 $v_1=\sqrt{\frac{2gL}{7}}$,故 B 正确;小球 A 运动到最低点的过程中,支架对小球 A 做的功为 W,有 $0+W=-4mgL+2mv_1^2$,得 $W=-\frac{24}{7}mgL$,故 C 错误;设小球 B 到达最高点时,AO 与竖直方向夹角为 β,此时 A、B 的速度均为 $v_2=0$,动能为 0,小球 A 的重力势能与小球 B 的重力势能分别为 $E_{pA4}=-4mgL\cos\beta$,$E_{pB4}=3mgL\sin\beta$,由能量守恒定律有 $0+(-3mgL)=(-4mgL\cos\beta)+3mgL\sin\beta$,得 $3=4\cos\beta-3\sin\beta$,代入 $\beta=16°$ 检验以上等式得 $4\cos(90°-2\times37°)-3\sin(90°-2\times37°)=3$,故 D 正确.

答案 BD

考法 6 关联速度系统的机械能守恒

1. 题目特征

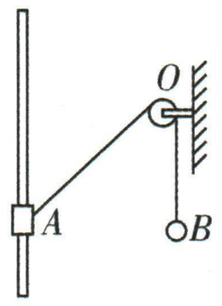
①两个物体通过轻绳或轻杆连接.

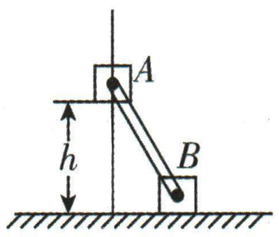
②两个物体的速率和角速度均不相等,但沿绳或沿杆方向速度相等.

重难解读

③不计摩擦,系统机械能守恒.

④单个物体机械能不守恒.





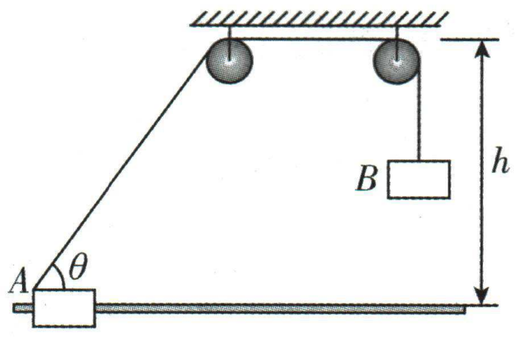
2. 解题方法

①沿绳(或沿杆)方向的分速度大小相等,找出两物体的速度关系.

②找到两物体初、末状态下的动能和重力势能.

③根据 $\Delta E_k=-\Delta E_p$ 或 $\Delta E_A=-\Delta E_B$ 列式.

例 6 [陕西汉中 2024 一模]如图所示,物块 A 套在光滑水平杆上,连接物块 A 的轻质细线与水平杆间所成夹角为 $\theta=53°$,细线跨过同一高度上的两光滑定滑轮与质量相等的物块 B 相连,定滑轮顶部离水平杆距离为 $h=0.8$ m,现将物块 B 由静止释放,物块 A、B 均可视为质点,重力加速度 g 取 10 m/s^2,$\sin 53°=0.8$,不计空气阻力,则 (　　)



A. 物块 A 与物块 B 速度大小始终相等

B. 物块 A 能达到的最大速度为 2 m/s

C. 物块 B 下降过程中,重力始终大于细线拉力

D. 当物块 A 经过左侧滑轮正下方时,物块 B 的速度最大

解析 根据题意可知,物块 A 与物块 B 速度关系为 $v_A\cos\theta=v_B$,两物块速度不相等,当物块 A 经过左侧滑轮正下方时,有 $v_B=v_A\cos 90°=0$,故 A、D 错误;当物块 A 运动到左侧滑轮正下方时,物块 B 下降的距离最大,物块 A 的速度最大,根据机械能守恒定律有 $m_Bg\left(\frac{h}{\sin 53°}-h\right)=\frac{1}{2}m_Av^2$,解得 $v=2$ m/s,故 B 正确;由上述分析可知,当物块 A 经过左侧滑轮正下方时,物块 B 的速度为 0,则物块 B 向下先加速后减速,则物块 B 减速下降过程中,重力会小于细线拉力,故 C 错误.

答案 B

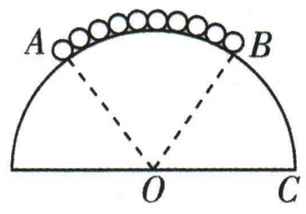
考法 7 链条类(或液体类)机械能守恒

1. 题目特征

①绳索或链条连接类物体.

②运动过程中重心位置变化.

③只有重力做功,机械能守恒.



2. 解题方法

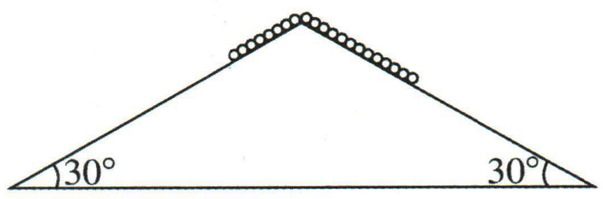
①整体或分段.

②确定前后两种状态下重心的位置.

③根据 $\Delta E_k=-\Delta E_p$ 列式.

重难解读

例 7 [河北石家庄部分学校 2024 三调]如图所示,两侧倾角均为 30°的斜劈固定在水平地面上,将质量为 m、长为 L 的光滑金属链条放在斜劈顶端,左右两侧链条长度之比为 1∶2. 已知两斜面的长度均为 $2L$,两侧链条与斜劈的截面在同一竖直平面内. 重力加速度为 g. 某时刻将链条由静止释放,当链条下端到达斜劈底端时,重力的功率为 (　　)



A. $\frac{\sqrt{11gL}}{6}mg$　　B. $\frac{\sqrt{11gL}}{3}mg$

C. $\frac{\sqrt{13gL}}{6}mg$　　D. $\frac{\sqrt{22gL}}{3}mg$

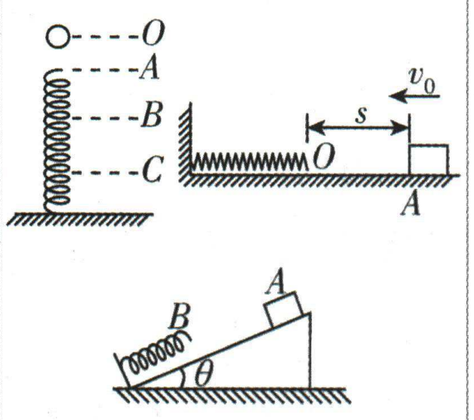
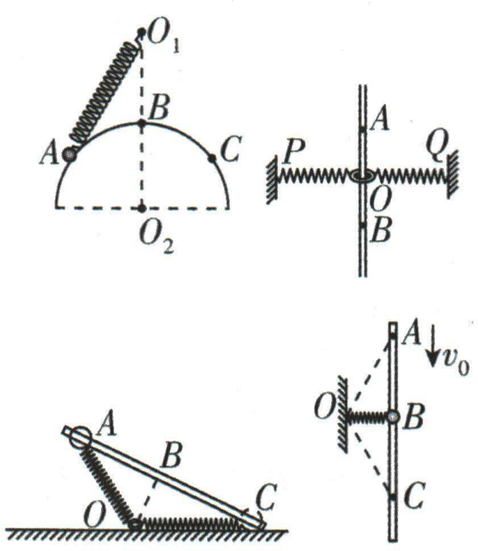
解析 链条从静止至左侧斜面上的链条完全滑到右端的过程中，用分段法可得重力做功为 $W_1=\frac{2}{3}mg\cdot\frac{L}{3}\sin 30°=\frac{1}{9}mgL$，然后链条下端到达斜劈底端这一过程，对整体分析可得重力做功为 $W_2=mg\cdot L\sin 30°=\frac{1}{2}mgL$，设链条下端运动至底端的速度为 v，由机械能守恒可得 $W_1+W_2=\frac{1}{2}mv^2$（提示：注意无摩擦，只存在重力势能和动能的转化），解得 $v=\frac{\sqrt{11gL}}{3}$，由此可得重力做功的功率为 $P=mgv\sin 30°=\frac{\sqrt{11gL}}{6}mg$，A 正确.

答案 A

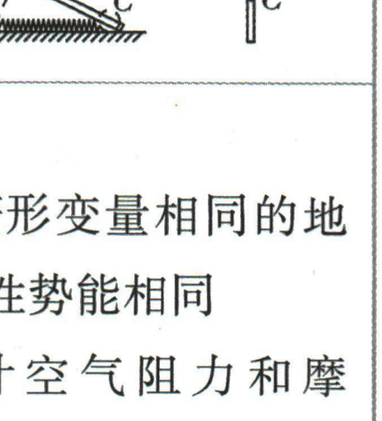
重难 17▸弹簧类问题

链接练习册 P79T4

考法 8　单个小球弹簧模型

题目特征	①只包含一个小球和弹簧 ②小球沿弹簧轴线运动	①运动系统包含一个小球和弹簧 ②小球的运动方向和弹簧不在一条轴线上
图例		
解题方法	①小球接触弹簧以后的单向运动过程加速度在变，往往为简谐运动 ②合力为零时往往为小球速度最大的时刻 ③不计空气阻力和摩擦，小球和弹簧组成的系统机械能守恒	①弹簧形变量相同的地方，弹性势能相同 ②不计空气阻力和摩擦，小球和弹簧组成的系统机械能守恒 ③沿速度方向合力为零时，小球的速度最大

例 8 [山东新高考联合质量测评 2025 联考]（多选）如图所示，半径为 R 的光滑圆环固定在竖直面内，O 为圆环的圆心，O、D 两点等高. 轻弹簧一端固定在圆环的最低点 A，另一端连接圆环上的带孔小球，小球质量为 m. 小球自圆环的最高点 B 由静止释放，经过 C 点时弹簧恰好恢复到原长，经过 E 点时弹簧的长度为 R. 已知弹簧的原长为 $\frac{3R}{2}$，劲度系数为 $\frac{2mg}{R}$，重力加速度为 g，不计空气阻力. 在小球下滑过程中，下列说法正确的是（　　）



A. 小球经过 C 点时的动能为 $\frac{7}{8}mgR$

B. 小球经过 E 点时的重力势能可能最小

C. 小球经过 E 点时的动能为 $\frac{3mgR}{2}$

D. 小球的动能与弹簧的弹性势能之和始终增大

解析 小球和弹簧组成的系统满足机械能守恒，在小球下滑过程中，小球的重力势能一直减小，所以小球的动能与弹簧的弹性势能之和始终增大，故 D 正确；设 BC 的高度差为 h，根据几何关系可得 $\frac{h}{BC}=\frac{BC}{AB}$，其中 $AB=2R$，$BC^2=AB^2-AC^2=(2R)^2-\left(\frac{3R}{2}\right)^2=\frac{7}{4}R^2$，解得 $h=\frac{7}{8}R$，从 B 到 C 的过程，根据系统机械能守恒可得 $\frac{1}{2}mv_C^2=mgh+\Delta E_{弹}>mgh=\frac{7}{8}mgR$，故 A 错误；由于在 B 点时，弹簧的伸长量为 $x_1=2R-\frac{3}{2}R=\frac{1}{2}R$，在 E 点时，弹簧的压缩量为 $x_2=\frac{3}{2}R-R=\frac{1}{2}R$，可知在 B 点和 E 点弹簧的弹性势能相等（提示：B 点和 E 点弹簧的伸长量和压缩量相

等),从 B 到 E 的过程,根据系统机械能守恒可得 $\frac{1}{2}mv_E^2=mgh_{BE}$,其中 $\frac{h_{BE}}{BE}=\frac{BE}{AB}$,$AB=2R$,$BE^2=AB^2-AE^2=(2R)^2-R^2=3R^2$,联立解得小球经过 E 点时的动能为 $\frac{1}{2}mv_E^2=\frac{3mgR}{2}$,由于小球在 E 点具有一定的动能,所以 E 点不是小球运动过程的最低点,则小球经过 E 点时的重力势能不可能最小,故 B 错误,C 正确.

答案 CD

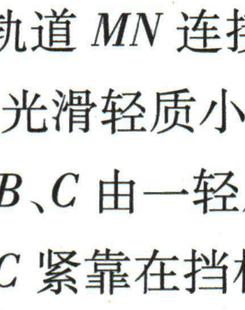
考法 9 两个小球(连接体)和弹簧模型

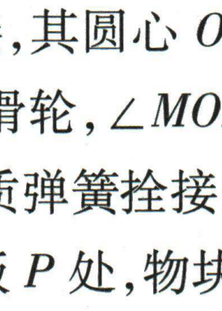
1. 题目特征

①包含弹簧和两个物体构成的连接体.

②一个物体与弹簧相连,两个物体的速度不一定相同.

重难解读





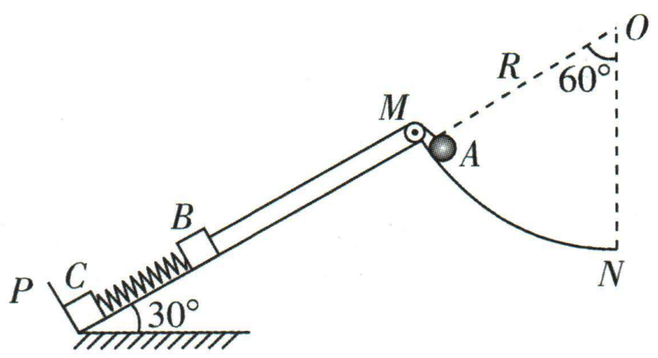
2. 解题要点

①用关联速度分析两个物体的速度关系.

②不受摩擦和空气阻力时,两个物体和弹簧组成的系统机械能守恒.

③弹簧形变量相同时,弹性势能相同.

例 9 [湖北孝感 2025 联考](多选)如图所示,挡板 P 固定在倾角为 30°的斜面左下端,斜面右上端 M 与半径为 R 的圆弧轨道 MN 连接,其圆心 O 在斜面的延长线上,M 点有一光滑轻质小滑轮,$\angle MON=60°$,质量均为 m 的小物块 B、C 由一轻质弹簧拴接(弹簧平行于斜面),其中物块 C 紧靠在挡板 P 处,物块 B 用跨过滑轮的轻质细绳与质量为 $4m$、大小可忽略的小球 A 相连,初始时刻小球 A 锁定在 M 点,细绳与斜面平行,且恰好绷直而无张力,B、C 处于静止状态. 某时刻解除对小球 A 的锁定,当小球 A 沿圆弧运动到最低点 N 时(物块 B 未到达 M 点),物块 C 对挡板的作用力恰好为 0,已知重力加速度为 g,不计一切摩擦,下列说法正确的是 (　　)



A. 弹簧的劲度系数为 $\frac{2mg}{R}$

B. 小球 A 到达 N 点时的速度大小为 $\sqrt{\frac{3}{5}gR}$

C. 小球 A 到达 N 点时物块 B 的速度大小为 $\sqrt{\frac{9}{19}gR}$

D. 小球 A 由 M 点运动到 N 点的过程中,小球 A 和物块 B 组成的系统的机械能之和先增大后减小

解析 设弹簧的劲度系数为 k,初始时刻弹簧的压缩长度为 x_1,则 B 沿斜面方向受力平衡,则 $mg\cdot\sin 30°=kx_1$,小球 A 沿圆弧运动到最低点 N 时,物块 C 即将离开挡板,设弹簧的拉伸长度为 x_2,则 C 沿斜面方向受力平衡,则 $mg\sin 30°=kx_2$,易得 $x_1=x_2$,当小球 A 沿圆弧运动到最低点 N 时,B 沿斜面运动的位移为 $s_B=R$,所以 $x_1+x_2=R$,解得 $x_1=x_2=\frac{R}{2}$,$k=\frac{mg}{R}$,故 A 错误;设小球 A 到达 N 点时的速度大小为 v,对 v 进行分解,在沿绳子方向的速度大小 $v'=v\cos 30°$,由于沿绳子方向的速度大小处处相等(提示:注意轻绳连接体沿绳方向的速度相等),所以此时 B 的速度大小也为 v',对 A、B、C 和弹簧组成的系统,在整个过程中,只有重力和弹簧弹力做功,且 A 在 M 点和 N 点时,弹簧的形变量相同,故弹性势能不变,弹簧弹力做功为 0,重力对 A 做正功,对 B 做负功,A、B、C 和弹簧组成的系统机械能守恒,可知 $4mgR(1-\cos 60°)-mg(x_1+x_2)\sin 30°=\frac{1}{2}\times 4mv^2+\frac{1}{2}mv'^2$,解得 $v=\sqrt{\frac{12}{19}gR}$、$v'=\sqrt{\frac{9}{19}gR}$,故 B 错误,C 正确;小球 A 由 M 点运动到 N 点的过程中,A、B、C 和弹簧组成的系统机械能守恒,C 一直处于静止状态,C 的机械能不变,弹簧一开始处于压缩状态,之后变为原长,然后开始拉伸,则弹性势能先减小后增大,故小球 A 和物块 B 组成的系统的机械能之和先增大后减小,故 D 正确.

答案 CD

第7章　动量　动量守恒定律

重难18▸动量定理的应用

链接练习册 P90T2

考法1　动量定理在流体冲击问题中的应用

研究对象	流体类:液体流、气体流等,通常已知密度 ρ	
	微粒类:电子流、光子流、尘埃等,通常给出单位体积内粒子数 n	
分析步骤	①构建“柱状”模型:沿流速 v 的方向选取一段小柱体,其横截面积为 S	
	②微元研究	小柱体的体积 $\Delta V=vS\Delta t$ 小柱体的质量 $m=\rho\Delta V=\rho vS\Delta t$ 小柱体的粒子数 $N=nvS\Delta t$ 小柱体的动量 $p=mv=\rho v^2S\Delta t$
	③列出方程,应用动量定理 $F\Delta t=\Delta p$ 研究	

例1 [辽宁省实验中学2025期中]雨打芭蕉是中国古代文学中常见的抒情意象,为估算雨滴撞击芭蕉叶产生的平均压强 p,小华同学将一圆柱形的量杯置于院中,测得一段时间 t 内杯中水面上升的高度为 h,查询得知当时雨滴下落的速度为 v,水的密度为 ρ. 设雨滴竖直下落到水平的芭蕉叶上后以原来的速率竖直反弹. 则由于雨滴撞击而产生的平均压强 p 为(　　)

重难解读

A. $\rho v\frac{h}{t}$　　B. $2\rho v\frac{h}{t}$

C. $\rho v^2\frac{h}{t}$　　D. $2\rho v^2\frac{h}{t}$

解析 单位时间内 $\Delta h=\frac{h}{t}$,在芭蕉叶上 ΔS 的面积上,Δt 时间内降落的雨滴质量为 $m=\rho\Delta S\Delta h\Delta t=\rho\Delta S\cdot\frac{h}{t}\Delta t$,设雨滴下落时的速度方向为正方向,雨滴受到的撞击力为 F,根据动量定理 $F\Delta t=-mv-mv=-2\rho v\Delta S\frac{h}{t}\Delta t$,解得 $F=-2\rho v\Delta S\frac{h}{t}$,根据牛顿第三定律可知,芭蕉叶上 ΔS 的面积受到的撞击力的大小为 $F'=2\rho v\Delta S\frac{h}{t}$,因此平均压强为 $p=\frac{F'}{\Delta S}=2\rho v\frac{h}{t}$,故选 B.

答案 B

重难19▸动量守恒定律的综合应用

链接练习册 P93T4

考法2　碰撞模型

1. 碰撞现象满足的规律

(1)动能不增加,即 $\frac{p_1^2}{2m_1}+\frac{p_2^2}{2m_2}\geqslant\frac{p_1'^2}{2m_1}+\frac{p_2'^2}{2m_2}$.

重难解读

(2)速度要合理:

①若两物体同向运动,则碰前应有 $v_{后}>v_{前}$;碰后原来在前的物体速度一定增大,若碰后两物体同向运动,则应有 $v'_{前}\geqslant v'_{后}$.

②若两物体相向运动,碰后两物体的运动方向不可能都不改变.

2. 是否为弹性碰撞的判断

弹性碰撞遵循的规律是动量守恒定律和机械能守恒定律,确切地说是碰撞前后系统动量守恒、动能不变.

(1)题目中明确告诉物体间的碰撞是弹性碰撞.

(2)题目中明确说是弹性小球、光滑钢球或分子(原子等微观粒子)之间的碰撞.

3. 碰撞问题解题策略

(1)抓住碰撞的特点和不同种类碰撞满足的条件,列出相应方程求解.

(2)可熟记一些公式,例如“一动碰一静”模型中,两球发生弹性正碰后的速度满足:

$$v_1'=\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}v_1,\ v_2'=\frac{2m_1}{m_1+m_2}v_1.$$

(3)熟记弹性正碰的一些结论.

①当两球质量相等时,两球碰撞后交换速度.

②当 $m_1\gg m_2$,且 $v_2=0$ 时,碰后质量大的速率不变,质量小的速率为 $2v_1$.

③当 $m_1\ll m_2$,且 $v_2=0$ 时,碰后质量小的球以原速率反弹.

4. 完全非弹性碰撞问题

碰后两小球成为一体，速度相等，机械能损失最多. 质量为 m_1、速度为 v_1 的小球与质量为 m_2、速度为 v_2 的小球发生完全非弹性碰撞，则有

$$\begin{cases} m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)v \\ \Delta E=\dfrac{1}{2}m_1v_1^2+\dfrac{1}{2}m_2v_2^2-\dfrac{1}{2}(m_1+m_2)v^2 \end{cases}$$

可得 $v=\dfrac{m_1v_1+m_2v_2}{m_1+m_2}$，$\Delta E=\dfrac{m_1(v_1-v_2)^2}{2\left(1+\dfrac{m_1}{m_2}\right)}$.

(1)碰前相对速度越大，能量损失越多；

(2)两球质量相差越多，能量损失越多，即 m_1 越大于 m_2，或 m_2 越大于 m_1，则能量损失越多，且损失的能量 ΔE 转变为使物体产生永久形变时耗散的能量(内能).

例 2 [江苏无锡一中 2025 月考]质量相等的 A、B 两球在光滑水平面上，沿同一直线、同一方向运动，A 球的动量为 $p_A=9\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，$B$ 球的动量为 $p_B=3\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$. 当 A 球追上 B 球时发生碰撞，则碰撞后 A、B 两球的动量可能的值是 (　　)

A. $p_A'=6\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，$p_B'=6\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$

B. $p_A'=8\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，$p_B'=4\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$

C. $p_A'=2\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，$p_B'=14\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$

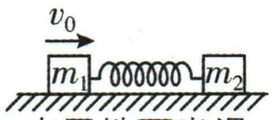
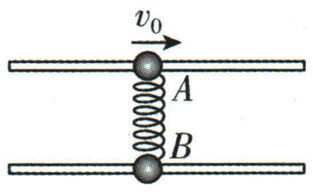
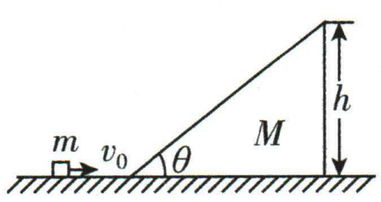
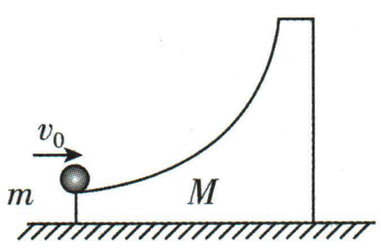
D. $p_A'=-4\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，$p_B'=8\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$

解析 设两球质量均为 m，碰撞前总动量 $p=p_A+p_B=12\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，碰撞前总动能为 $E_k=\dfrac{p_A^2}{2m_A}+\dfrac{p_B^2}{2m_B}=\dfrac{9^2}{2m}+\dfrac{3^2}{2m}(\text{J})=\dfrac{45}{m}(\text{J})$；若 $p_A'=6\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，$p_B'=6\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，则碰撞后总动量 $p'=p_A'+p_B'=12\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，碰撞后总动能为 $E_k'=\dfrac{p_A'^2}{2m_A}+\dfrac{p_B'^2}{2m_B}=\dfrac{6^2}{2m}+\dfrac{6^2}{2m}(\text{J})=\dfrac{36}{m}(\text{J})<\dfrac{45}{m}(\text{J})$，满足动量守恒和总动能不增加原则，故 A 正确；若碰撞后 $p_A'=8\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，$p_B'=4\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，可知碰撞后 A 的速度大于 B 的速度，不符合速度合理性，故 B 错误；若碰撞后 $p_A'=2\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，$p_B'=14\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，则碰撞后总动量 $p'=p_A'+p_B'=16\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，不满足动量守恒，故 C 错误；若碰撞后 $p_A'=-4\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，$p_B'=8\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，则碰撞后总动量为 $p'=p_A'+p_B'=4\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$，不满足动量守恒，故 D 错误.

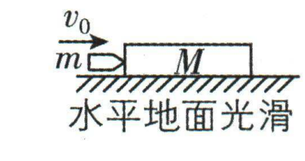
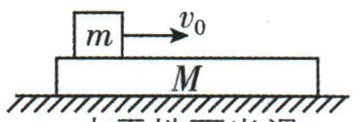
答案 A

考法 3 碰撞的拓展模型

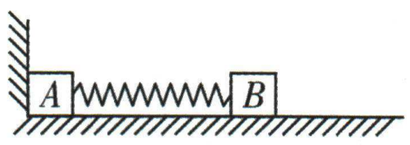
重难解读

模型	模型示例	模型特点
“滑块—弹簧”模型	水平地面光滑 平行且光滑的水平杆	①弹簧处于最长(最短)状态时两物体速度相同，弹性势能 E_{pm} 最大(相当于完全非弹性碰撞，两物体减少的动能转化为弹簧的弹性势能). 系统动量守恒，$m_1v_0=(m_1+m_2)v_{共}$；系统机械能守恒，$\dfrac{1}{2}m_1v_0^2=\dfrac{1}{2}(m_1+m_2)v_{共}^2+E_{pm}$ ②弹簧恢复原长时，弹性势能为零，系统动能最大(相当于弹性碰撞). 系统动量守恒，$m_1v_0=m_1v_1+m_2v_2$；系统机械能守恒，$\dfrac{1}{2}m_1v_0^2=\dfrac{1}{2}m_1v_1^2+\dfrac{1}{2}m_2v_2^2$(相当于完成了弹性碰撞)
“滑块—斜(曲)面”模型	 接触面均光滑	①上升到最大高度：m 与 M 具有共同水平速度 $v_{共}$，此时 m 的竖直速度 $v_y=0$. 系统水平方向动量守恒，$mv_0=(M+m)v_{共}$；系统机械能守恒，$\dfrac{1}{2}mv_0^2=\dfrac{1}{2}(M+m)v_{共}^2+mgh$，其中 h 为滑块上升的最大高度，不一定等于弧形轨道的高度(相当于完全非弹性碰撞，系统减少的动能转化为 m 的重力势能) ②返回最低点：m 与 M 分离点. 水平方向动量守恒，$mv_0=mv_1+Mv_2$；系统机械能守恒，$\dfrac{1}{2}mv_0^2=\dfrac{1}{2}mv_1^2+\dfrac{1}{2}Mv_2^2$(相当于完成了弹性碰撞)

续表

模型	模型示例	模型特点
“滑块—木板”模型(子弹打木块模型)	水平地面光滑 水平地面光滑	①若子弹未射穿木块或滑块未从木板上滑下,当两者速度相等时木块或木板的速度最大,两者的相对位移(子弹射入木块的深度)取得极值(相当于完全非弹性碰撞) ②系统的动量守恒,但机械能不守恒,摩擦力与两者相对位移的乘积等于系统减少的机械能,即 $\Delta E=Q=F_f s=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(M+m)v^2$

例3 [黑龙江省实验中学2025月考](多选)如图所示,物块A、B由轻弹簧相连,置于光滑水平地面上,轻弹簧处于压缩状态并被锁定,物块A与墙壁接触,物块B的质量为4 kg. 某时刻解除锁定,物块A离开墙壁后,物块B的最大速度为4 m/s,最小速度为1 m/s,则下列说法正确的是 (　　)



A. 运动过程中物块A的最大速度为$v_m=5$ m/s

B. 物块A的质量为2 kg

C. 从解除锁定到物块A离开墙壁的过程中,墙壁对A的冲量大小为16 N·s

D. 在物块A离开墙壁后弹簧的最大弹性势能为12 J

解析 由题意可知,弹簧处于压缩状态,释放后恢复原长时,A刚好离开墙壁,此时B速度最大,则物块A离开墙壁瞬间物块B的速度为$v_0=4$ m/s,物块B的速度最小值为$v_B=1$ m/s,物块B的速度最小时,弹簧第一次恢复原长,物块A的速度最大,取向右为正方向,根据动量守恒定律和机械能守恒定律得$m_Bv_0=m_Av_m+m_Bv_B$,$\frac{1}{2}m_Bv_0^2=\frac{1}{2}m_Av_m^2+\frac{1}{2}m_Bv_B^2$,解得$m_A=2.4$ kg,$v_m=5$ m/s,故A正确,B错误;从解除锁定到物块A离开墙壁的过程中,对B应用动量定理可得$I=m_Bv_0-0=16$ N·s,对A应用动量定理可得$I_{墙}-I=0$,解得$I_{墙}=16$ N·s,故从解除锁定到物块A离开墙壁的过程中,墙壁对A的冲量大小为16 N·s,故C正确;分析从物块A离开墙壁后物块A、B的运动过程,弹性势能最大时物块A、B的共同速度为$v_{共}$,根据动量守恒定律得$m_Bv_0=(m_A+m_B)v_{共}$,解得$v_{共}=2.5$ m/s,根据机械能守恒定律得$\frac{1}{2}m_Bv_0^2=E_p+\frac{1}{2}(m_A+m_B)v_{共}^2$,解得$E_p=12$ J,故D正确.

答案 ACD

重难20▸物体系统的多过程问题

●链接练习册P98T5

考法4　三种力学规律的选用



1. 力学解题的三大观点

观点		规律	数学表达式
动力学观点	力的瞬时作用	牛顿第二定律	$F_{合}=ma$
		牛顿第三定律	$F=-F'$
能量观点	力的空间积累作用	动能定理	$W_{合}=E_{k2}-E_{k1}$
		机械能守恒定律	$E_{k1}+E_{p1}=E_{k2}+E_{p2}$
动量观点	力的时间积累作用	动量定理	$F_{合}t=mv'-mv$
		动量守恒定律	$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$

2. 选用原则

(1)单个物体

①若其中涉及时间的问题,应选用动量定理;

②若涉及位移的问题,应选用动能定理;

③若涉及加速度的问题,只能选用牛顿第二定律.

(2)多个物体组成的系统

优先考虑两个守恒定律,若涉及碰撞、爆炸、反冲等问题,应选用动量守恒定律,然后再根据能量关系分析解决.

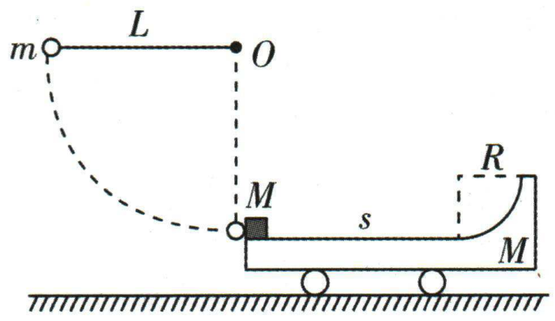
例4 [安徽2024·14,14分]如图所示,一实验小车静止在光滑水平面上,其上表面有粗糙水平轨道与光

滑四分之一圆弧轨道,圆弧轨道与水平轨道相切于圆弧轨道最低点. 一物块静止于小车最左端,一小球用不可伸长的轻质细线悬挂于 O 点正下方,并轻靠在物块左侧. 现将细线拉直到水平位置,由静止释放小球,小球运动到最低点时与物块发生弹性碰撞. 碰撞后,物块沿小车上的轨道运动. 已知细线长 $L=1.25$ m,小球质量 $m=0.20$ kg,物块、小车质量均为 $M=0.30$ kg,小车上的水平轨道长 $s=1.0$ m,圆弧轨道半径 $R=0.15$ m. 小球、物块均可视为质点,不计空气阻力,重力加速度 g 取 10 m/s^2.

(1)求小球运动到最低点与物块碰撞前,所受拉力的大小;

(2)求小球与物块碰撞后的瞬间,物块速度的大小;

(3)为使物块能进入圆弧轨道,且在上升阶段不脱离小车,求物块与水平轨道间的动摩擦因数 μ 的取值范围.



解析 (1)小球从释放到运动到最低点,根据机械能守恒定律有 $mgL=\frac{1}{2}mv_0^2$,

根据牛顿第二定律,对小球有 $F-mg=m\frac{v_0^2}{L}$,

解得 $F=6$ N.

(2)小球与物块发生弹性碰撞,设碰后小球速度为 v_1,物块速度为 v_2,根据动量守恒定律、能量守恒定律有

$$mv_0=mv_1+Mv_2,$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}Mv_2^2,$$

联立解得 $v_2=4$ m/s.

(3)物块在小车上运动时,物块与小车组成的系统水平方向合外力为零,则水平方向上动量守恒,物块在上升阶段不脱离小车,则物块上升到圆弧轨道最高点时,两者速度相同,物块与水平轨道间动摩擦因数 μ 取得最小值,根据动量守恒定律、能量守恒定律有

$$Mv_2=2Mv_3,$$

$$\frac{1}{2}Mv_2^2=\frac{1}{2}\cdot 2Mv_3^2+\mu_1 Mgs+MgR,$$

解得 $\mu_1=0.25$;

物块恰能进入圆弧轨道,则物块恰好运动到圆弧轨道底端时与小车共速,此时,物块与水平轨道间动摩擦因数 μ 取得最大值,根据动量守恒定律、能量守恒定律有

$$Mv_2=2Mv_4,$$

$$\frac{1}{2}Mv_2^2=\frac{1}{2}\cdot 2Mv_4^2+\mu_2 Mgs,$$

解得 $\mu_2=0.4$,

综上所述,要使物块能够滑上圆弧轨道且不脱离小车,物块与水平轨道间的动摩擦因数的取值范围为

$0.25\leqslant\mu\leqslant0.4$.

答案 (1)6 N　(2)4 m/s　(3)$0.25\leqslant\mu\leqslant0.4$

第8章 机械振动与机械波

重难21▸振动和波的综合问题

链接练习册 P111T1

考法1 波的多解问题

1. 造成波传播问题多解的主要因素

(1)周期性

①时间周期性:时间间隔 Δt 与周期 T 的关系不明确.

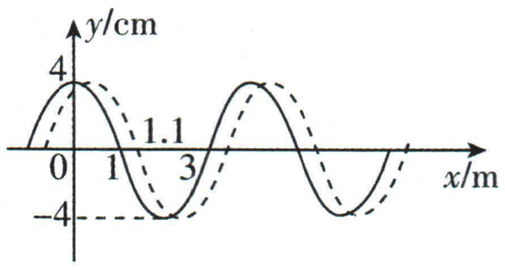
②空间周期性:波传播距离 Δx 与波长 λ 的关系不明确.

(2)双向性

①传播方向双向性:波的传播方向不确定.

②振动方向双向性:质点振动方向不确定.

例1 [江西等三省G20示范高中2025联考]如图所示,一列横波沿 x 轴方向传播,实线表示某时刻的波形图,虚线表示 $\Delta t=0.2$ s 后的波形图,则该波在介质中传播的速度可能是多少?



解析 由图示知,波长 $\lambda=4$ m. 若波沿 x 轴正方向传播,$\Delta t=0.2$ s 内波传播的距离至少为 $\Delta x_1=0.1\ \text{m}=\frac{1}{40}\lambda$,则沿 x 轴正方向传播的距离 $x_1=\left(n+\frac{1}{40}\right)\lambda(n=0,1,2,3,\cdots)$,故波在介质中传播的速度 $v_1=\frac{x_1}{\Delta t}=20\left(n+\frac{1}{40}\right)$ m/s$(n=0,1,2,3,\cdots)$(提示:波形向前匀速平移);若波沿 x 轴负方向传播,$\Delta t=0.2$ s 内波传播的距离至少为 $\Delta x_2=3.9\ \text{m}=\frac{39}{40}\lambda$,则沿 x 轴负方向传播的距离 $x_2=\left(n+\frac{39}{40}\right)\lambda(n=0,1,2,3,\cdots)$,故波在介质中传播的速度 $v_2=\frac{x_2}{\Delta t}=20\left(n+\frac{39}{40}\right)$ m/s$(n=0,1,2,3,\cdots)$.

答案 若波沿 x 轴正方向传播,$v_1=20\left(n+\frac{1}{40}\right)$ m/s$(n=0,1,2,3,\cdots)$;若波沿 x 轴负方向传播,$v_2=20\left(n+\frac{39}{40}\right)$ m/s$(n=0,1,2,3,\cdots)$.

考法2 波的干涉现象中加强点、减弱点的判断方法

1. 公式法

波的干涉现象中,某质点的振动是加强还是减弱,取决于该点到两相干波源的距离之差 Δr.

(1)当两波源频率相同、振动情况完全相同时

①若 $\Delta r=n\lambda(n=0,1,2,\cdots)$,则振动加强;

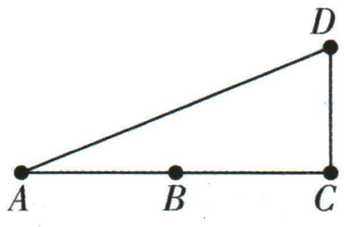
②若 $\Delta r=(2n+1)\frac{\lambda}{2}(n=0,1,2,\cdots)$,则振动减弱.

(2)当两波源频率相同、振动情况完全相反(即相位差为 π)时

①若 $\Delta r=(2n+1)\frac{\lambda}{2}(n=0,1,2,\cdots)$,则振动加强;

②若 $\Delta r=n\lambda(n=0,1,2,\cdots)$,则振动减弱.

例2 [山东百校大联考2025月考]如图所示,某种介质水平面上有 A、B、C、D 四个点,A、B、C 三点共线且 CD 垂直于 AC,$CD=5$ m,$AC=12$ m,B 为 AC 中点. 在 A、C 两点装有可上下振动的振动发生器,振动发生器振动可在介质面上激起机械波. $t=0$ 时刻,A、C 点的两个振动发生器开始振动,其振动方程均为 $x=2\sin\frac{\pi}{2}t$(m),观察发现 D 比 B 早振动了0.5 s,忽略波传播过程中振幅的变化,下列说法正确的是 (　　)



A. 两振动发生器激起的机械波的波长为4 m

B. 在 $t=8$ s 时,D 处的位移为 $2\sqrt{2}$ m

C. 在0~8 s时间内质点 D 运动的路程为 $(16-\sqrt{2})$ m

D. 两波叠加后 B 处为振动减弱区,D 处为振动加强区

解析 由振动方程可知 $T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi}{\frac{\pi}{2}}$ s$=4$ s,根据几何关系可知,D 距离波源 C 比 B 近1 m,由于 D 比 B 早振动0.5 s,则有 $v=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{1}{0.5}$ m/s$=2$ m/s,根据 $v=\frac{\lambda}{T}$,结合上述解得 $\lambda=8$ m,故A错误;波源 C 产生的波传到 D 点需要时间 $t_1=\frac{CD}{v}=2.5$ s,波源 A 产生的波传到 D 点需要时间 $t_2=\frac{AD}{v}=\frac{\sqrt{AC^2+CD^2}}{v}=6.5$ s,所以当 $t=8$ s 时,D 点在 C 波源产生的波的影响下振动了 $t-t_1=5.5$ s,在 A 波源产生的波的影响下振动了 $t-t_2=1.5$ s,将上述时间分别代入振动方程,将两个位移相加解出此时 D 点位移为 $x=2\sin\left(\frac{\pi}{2}\times5.5\right)$(m)+

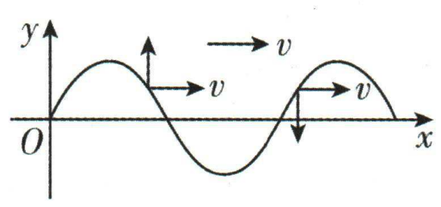
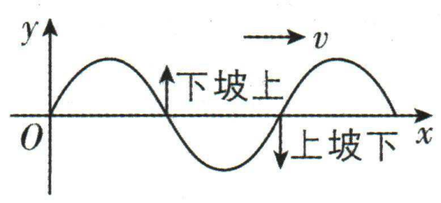
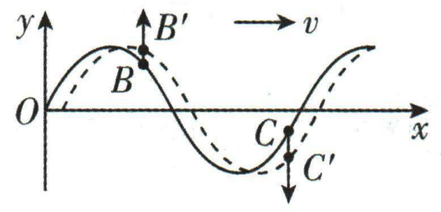
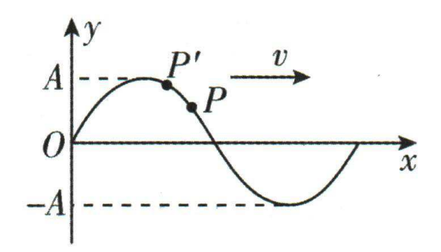
$2\sin\left(\frac{\pi}{2}\times1.5\right)(m)=2\sqrt{2}$ m，故B正确；结合上述可知，在0~8 s时间内，质点D在A波源产生的波的影响下振动时间与周期的关系为1.5 s$=\frac{3}{8}T$，质点D在C波源产生的波的影响下，振动的时间与周期的关系为5.5 s$=\frac{11}{8}T=T+\frac{3}{8}T$，由于$AD-CD=8$ m$=\lambda$，两波同时到达D点后，D点为振动加强点，结合上述可知，8 s时D点位移为$x=2\sqrt{2}$ m，则在0~8 s时间内质点D运动的总路程为$s=4A+2A+(2A-x)=(16-2\sqrt{2})$ m，故C错误；B点到两波源距离相同，两列波叠加后为振动加强区，D点到两波源距离相差8 m，等于波长，故两列波叠加后也为振动加强区，故D错误.

答案 B

考法3 振动与波的综合

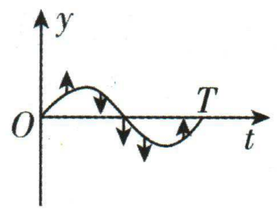
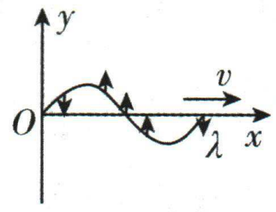
1. 波的传播方向与质点振动方向的互判

重难解读

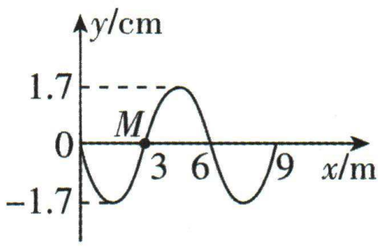
同侧法	波形图上某点表示传播方向和振动方向的箭头在图线同侧	
上下坡法	沿波的传播方向，“上坡”时质点向下振动，“下坡”时质点向上振动	
微平移法	将波形沿传播方向进行微小的平移，再由对应同一x坐标的两波形曲线上的点来判断质点振动方向	
带动法	根据波的形成特点，靠近波源的点能带动它邻近的离波源稍远的点，可判断某质点的振动方向	

2. 振动图像和波的图像的比较

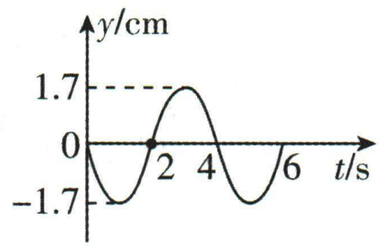
续表

比较项目	振动图像	波的图像
振动方向的判断	（看下一时刻的位移）	（同侧法等，见上表）
Δt后的图形	随时间推移，图像延伸，但已有形状不变	随时间推移，图像沿波的传播方向平移，原有波形做周期性变化
联系	(1)纵坐标均表示质点的位移； (2)纵坐标的最大值均表示振幅； (3)波在传播过程中，各质点都在各自的平衡位置上下振动	

例3 [天津南开区2025期末](多选)“地震预警”是指在地震发生以后，抢在地震波传播到受灾地区前，向受灾地区提前几秒至数十秒发出警报，通知目标区域从而实现预警. 科研机构为此对波的特性展开研究. 如图甲所示为所研究的一列沿x轴传播的简谐横波在$t=0$时刻的波形图，$x=3$ m处的质点M的振动图像如图乙所示. 下列说法正确的是 (　　)



甲



乙

A. 波沿x轴负方向传播

B. 0~7 s波传播的距离为21 m

C. 0~7 s质点M通过的路程为11.9 cm

D. 质点M的振动方程是$y=-1.7\sin 0.5\pi t$(cm)

解析 由振动图像可知，$t=0$时刻质点M沿y轴负方向振动，结合波形图可知波沿x轴正方向传播，A错误；由波形图可知，波长$\lambda=6$ m，由振动图像可知，周期$T=4$ s，则波速$v=\frac{\lambda}{T}=\frac{6}{4}$ m/s$=1.5$ m/s，可知0~7 s波传播的距离为$x=vt=10.5$ m，B错误；0~7 s质点M通过的路程为$s=\frac{7}{4}\times4A=7\times1.7$ cm$=11.9$ cm，C正确；因$\omega=\frac{2\pi}{T}=0.5\pi$，可知质点$M$的振动方程是$y=-A\sin\omega t=-1.7\sin 0.5\pi t$(cm)，D正确.

答案 CD

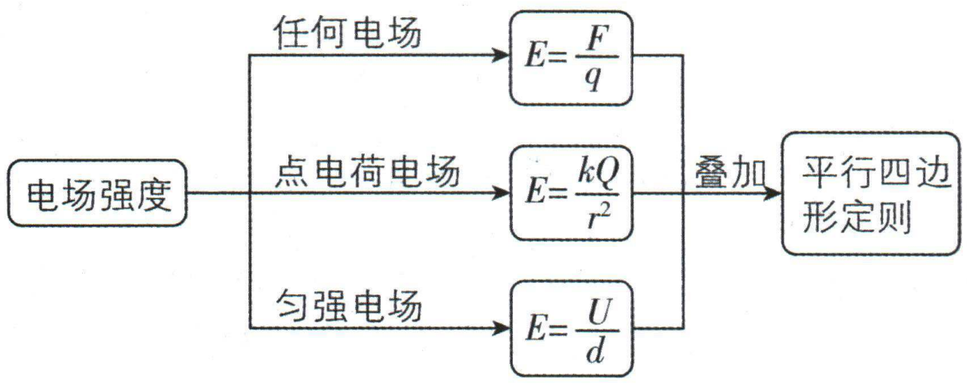
第9章 静电场

重难22▸电场的性质

链接练习册 P124T5

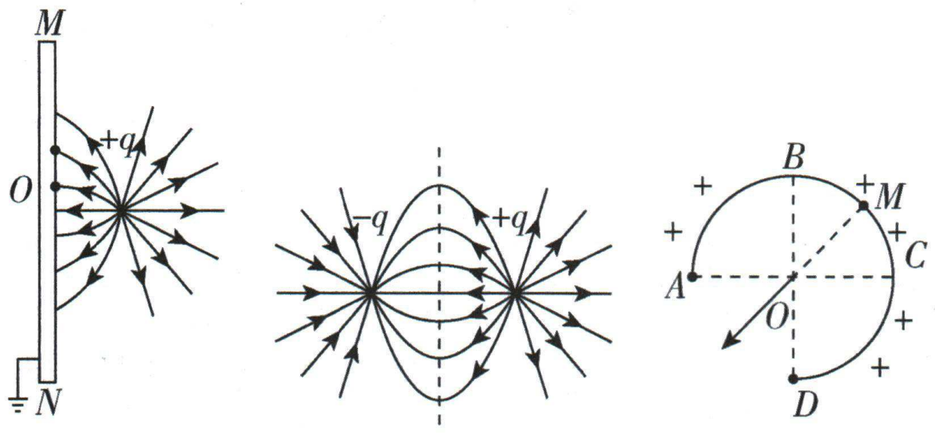
考法1 电场强度的求解

1. 求解电场强度的常规方法



2. 计算电场强度的几种特殊方法

(1)等效法:保证效果相同,利用对称性将复杂情境变换为简单或熟悉的情境. 如一个点电荷$+q$与一个无限大薄金属板MN形成的电场,可等效为两个等量异种点电荷形成的电场(如图甲、乙所示)的一部分.



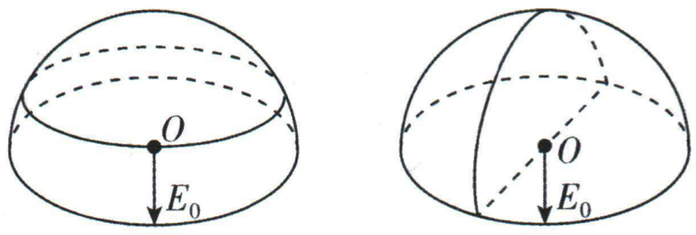
甲　　乙　　丙

(2)对称法:空间上对称分布的电荷形成的电场具有对称性. 如图丙所示,均匀带电的$\frac{3}{4}$球壳在O点产生的场强,等效为弧BC在O点产生的场强,弧BC在O点产生的场强方向与弧BC的中点M在O点产生的场强方向相同.

(3)填补法:将有缺口的带电圆环(圆面)补全为圆环(圆面),再根据整体的电场情况求解缺口处电场情况.

(4)微元法:将带电体分成许多元电荷,每个元电荷看成点电荷,先根据库仑定律求出每个元电荷产生的场强,再结合对称性和场强叠加原理求出合场强.

例1 [河北衡水二中2025检测](多选)一半径为R的半球面均匀带有正电荷Q,电荷Q在球心O处产生的场强大小$E_0=\frac{kQ}{R^2}$,方向如图所示. 把半球面分为表面积相等的上、下两部分,如图甲所示,上、下两部分电荷在球心O处产生电场的场强大小分别为E_1、E_2;把半球面分为表面积相等的左、右两部分,如图乙所示,左、右两部分电荷在球心O处产生电场的场强大小分别为E_3、E_4,则 (　　)

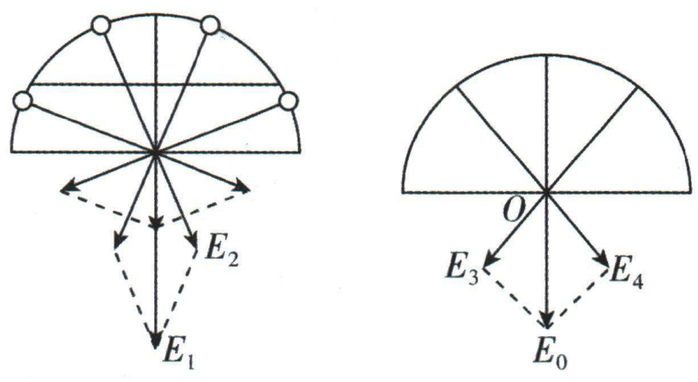


甲　　乙

A. $E_1>\frac{kQ}{2R^2}$　　B. $E_2>\frac{kQ}{2R^2}$

C. $E_3>\frac{kQ}{2R^2}$　　D. $E_4<\frac{kQ}{2R^2}$

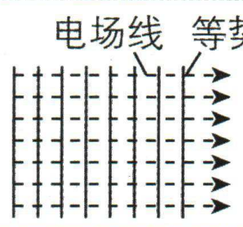
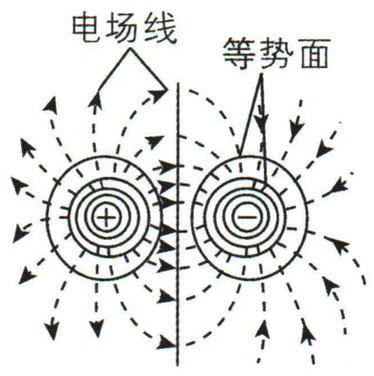
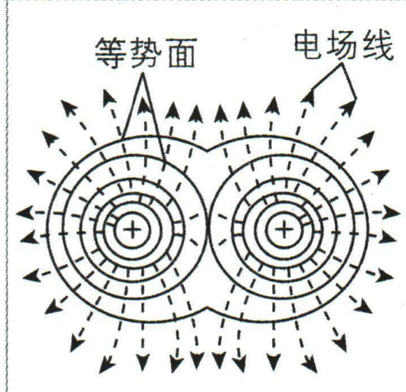
解析 根据点电荷电场强度公式$E=k\frac{Q}{r^2}$,且电荷只分布在球的表面,对于题图甲,虽然表面积相同,但由于间距不同(提示:根据微元法和对称法可知E_1、E_2方向如图(a)),则上、下两部分电荷在球心O处产生电场的场强大小关系为$E_1>E_2$,方向相同;因电荷Q在球心O处产生的场强大小$E_0=\frac{kQ}{R^2}$,又由于$E_0=E_1+E_2$,得$E_1>\frac{kQ}{2R^2}$,$E_2<\frac{kQ}{2R^2}$,A正确,B错误;对于题图乙,半球面分为表面积相等的左、右两部分,则根据电场的叠加可知:左侧部分电荷在O点产生的场强与右侧部分电荷在O点产生的场强大小相等,即$E_3=E_4$(提示:根据微元法和对称法可知E_3、E_4方向如图(b)). 由于方向不共线,由合成法则可知,$E_3=E_4>\frac{kQ}{2R^2}$,C正确,D错误.



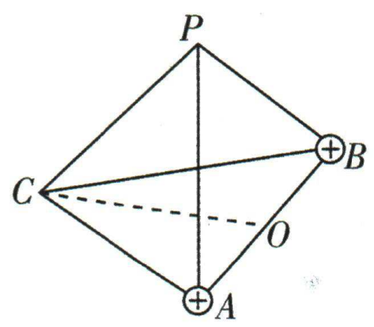
图(a)　　图(b)

答案 AC

考法2 几种常见的电场线和等势线(面)的应用

电场	等势线(面)示意图	重要描述	
		电场线	等势面(线)
匀强电场		平行且等间距的直线	垂直于电场线的一簇平面
正点电荷的电场		直线,起于正电荷,终止于无穷远,且离场源电荷越远,场强越小;与场源电荷等距的各点组成的球面上场强大小相等,方向不同	以点电荷为球心的一簇球面,离场源电荷越远,电势越低,且为正值;离场源电荷越近,等差等势面越密
等量异种点电荷的电场		二者连线上:中点场强最小且不等于零,由连线的一端到另一端,场强先减小再增大; 中垂线上:中点场强最大,且场强方向相同,都是与中垂线垂直,由正电荷指向负电荷	二者连线上由正电荷到负电荷电势逐渐降低,中点电势为零;连线的中垂线上电势处处相等,且为零
等量同种正点电荷的电场		二者连线上:中点场强最小且为零 中垂线上:由中点至无穷远处,场强先增大再减小至零,必有一个位置场强最大	二者连线上,中点的电势最低,且不为零;中垂线上,中点的电势最高

例2 [山东济南历城二中2025月考]如图所示,在正四面体$P-ABC$中,O是底面AB边的中点,若在A、B两点分别固定一个带正电、电荷量都为Q的点电荷.下列说法中正确的是 (　　)



A. P点的电场强度与C点的电场强度相同

B. P、C两点的电势相等,所以PC是一条等势线

C. 将带正电的试探电荷q从O点沿着OC移动到C点,电荷的电势能逐渐增加

D. 沿OC方向,电场强度先增大后减小

解析 P点的场强方向沿OP方向,C点的场强方向沿OC方向,两点的场强方向不同,A错误;因为$P-ABC$为正四面体,故P、C两点在AB的中垂面上且到AB的距离相同,故P、C的电势相等,但PC不是一条等势线(提示:等量同种正点电荷的等势面像花生壳,P、C在同一等势面上但是PC的连线不是等势线),B错误;根据等量正点电荷周围电场线的分布特点,将带正电的试探电荷从O点沿OC移到C点的过程中,电场力一直做正功,电势能一直减小,C错误;根据电场的叠加原理,可知O点的电场强度为0,无穷远处电场强度为0,且C点电场强度不为0,因此沿OC方向,电场强度先增加后减少,D正确.

答案 D

考法3 电场力做功及电势能相关问题

1. 电势高低及电势能大小的判断与比较

重难解读

(1)电势高低的判断方法

电势高低的五种判断方法	看电场线方向	沿电场线方向电势逐渐降低
	场源电荷的正负	取离场源电荷无限远处电势为零,正电荷周围电势为正值,负电荷周围电势为负值;靠近正电荷处电势高,靠近负电荷处电势低
	找等势点	当两个点不在同一条电场线上时可以先找目标点的等势点与另一点的电势的大小关系
	点电荷电势的代数和	在电荷量为 Q 的点电荷产生的电场中,将无限远处的电势规定为零时,距离该点电荷 r 处的电势为 $k\frac{Q}{r}$,其中 k 为静电力常量,多个点电荷产生的电场中某点的电势,等于每个点电荷单独存在时该点的电势的代数和
	电势差与电势的关系	根据 $U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$,将 W_{AB}、q 的正负号代入,由 U_{AB} 的正负判断 φ_A、φ_B 的高低

(2)电势能大小的比较方法

判断电势能变化的三种方法	做功法	根据静电力做功:静电力做正功,电势能减少;静电力做负功,电势能增加
	结论法	根据 $E_p=q\varphi$:正电荷在电势越高处电势能越大;负电荷在电势越高处电势能越小
	守恒思想	其他能与电势能相互转化,若其他能增大则电势能减小,若其他能减小则电势能增大

2. 电场线、等势面及带电粒子的运动轨迹的综合问题

解决该类问题应熟练掌握以下知识及规律:

(1)带电粒子所受合力(往往仅为电场力)指向轨迹曲线的内侧;

(2)某点速度方向为轨迹上该点的切线方向;

(3)电场线或等差等势面密集的地方场强大;

(4)电场线垂直于等势面;

(5)沿着电场线方向电势降低得最快;

(6)电场力做正功,电势能减小;电场力做负功,电势能增大.

3. 与电场力做功相关的问题

(1)电场力做功的计算方法

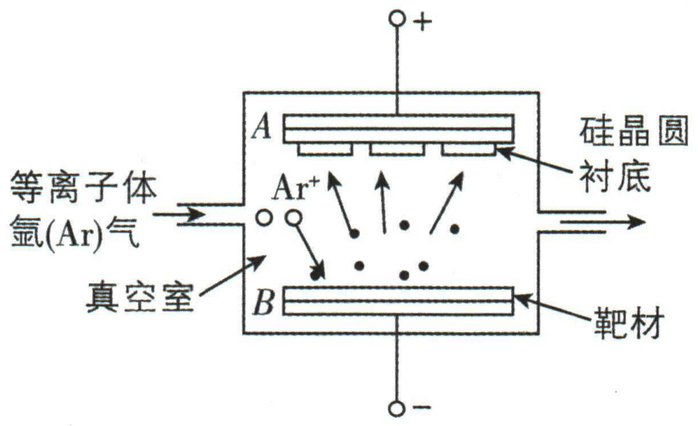
①$W_{AB}=qU_{AB}$(普遍适用);②$W=qEx\cos\theta$(适用于匀强电场);③$W_{AB}=-\Delta E_p=E_{pA}-E_{pB}$(从能量角度求解);④$W_{电}+W_{非电}=\Delta E_k$(由动能定理求解).

(2)电场中的功能关系

①只有电场力做功,电势能与动能之和保持不变.

②若只有电场力和重力做功,电势能、重力势能、动能之和保持不变,即电势能与机械能之和保持不变.

例3 [广东佛山2025一模]如图所示为某半导体气相溅射沉积镀膜法的原理图,在真空室中,接电源正极的电容器上极板处放置待镀膜的硅晶圆,接电源负极的下极板处放置镀膜靶材. 等离子体氩气从左端进入真空室中的电场(可认为离子初速度为零),带正电的氩离子(Ar^+)在电场力作用下加速轰击靶材,使得靶材原子溅射到上方硅晶圆衬底上,从而实现硅晶圆镀膜. 已知Ar的相对原子质量大于He的相对原子质量,不考虑离子间相互作用,则离子在电场中的运动过程,下列说法正确的是(　　)



A. Ar^+的电势能增大

B. 若Ar^+换为He^+则获得的动量变小

C. 若Ar^+换为He^+则获得的动能变小

D. 等离子体中的负电荷从高电势向低电势运动

解析 电场力对Ar^+做正功,Ar^+的电势能减小,故A错误;根据 $qU=\frac{1}{2}mv^2$,解得 $mv=\sqrt{2qUm}$,Ar^+与He^+两

离子所带电荷量相等，Ar 的相对原子质量大于 He 的相对原子质量，可知若将 Ar^+ 换为 He^+，则获得的动量变小，故 B 正确；根据 $qU=E_k$，由于 Ar^+ 与 He^+ 两离子所带电荷量相等，可知若将 Ar^+ 换为 He^+，则获得的动能不变，故 C 错误；等离子体中的负电荷在电场力作用下将向上偏转，可知负电荷从低电势向高电势运动，故 D 错误.

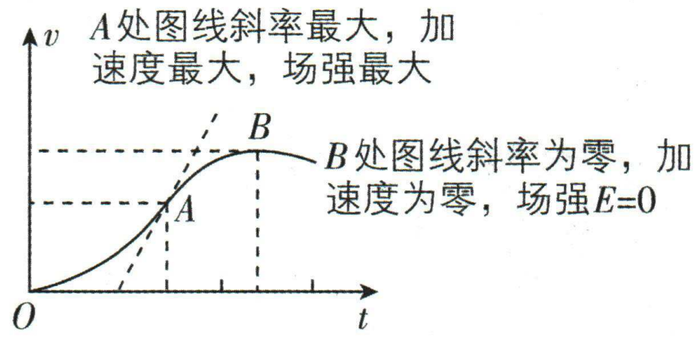
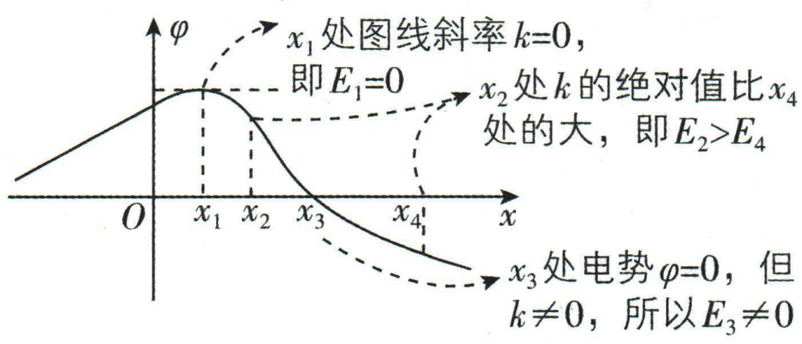
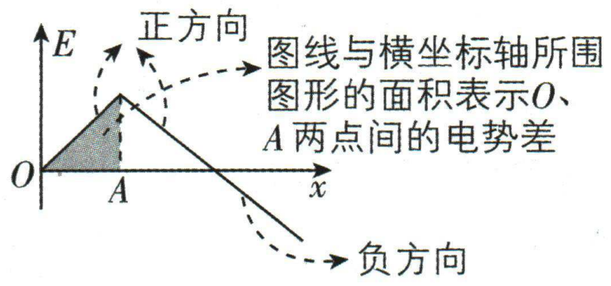
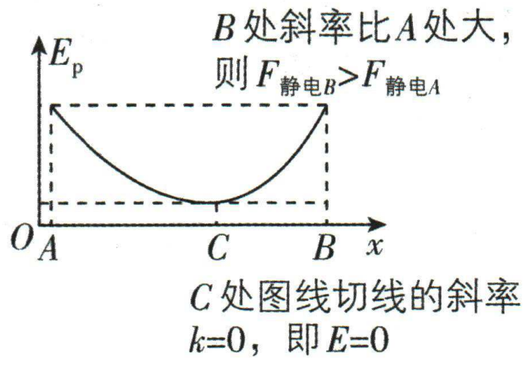
答案 B

重难 23▸电场图像问题

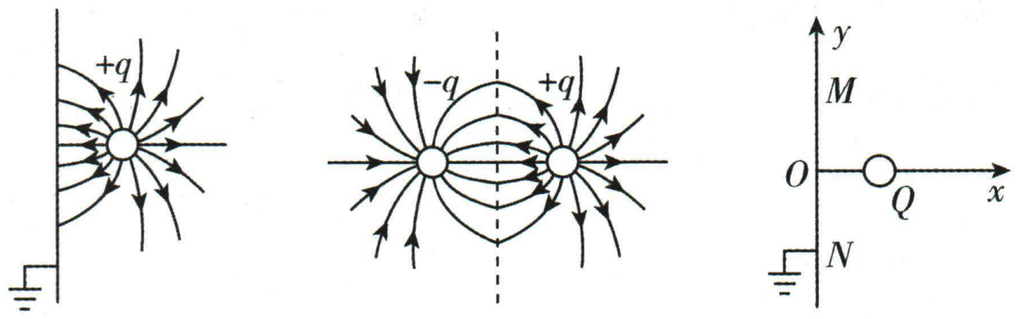
链接练习册 P134T5

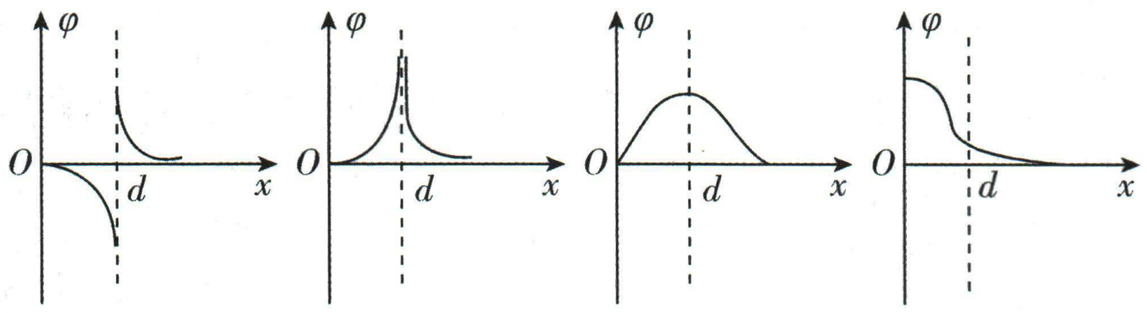
重难解读

考法 4 电场图像问题

图像种类	示例	分析方法
$v-t$ 图像		根据电荷在电场中运动的 $v-t$ 图像的速度变化、斜率变化（即加速度变化），确定电荷所受静电力的方向与静电力的大小变化情况，进而确定电场强度的方向、电势的高低及电势能的变化
$\varphi-x$ 图像		（1）电场强度的大小等于 $\varphi-x$ 图线切线的斜率大小，电场强度为零处，$\varphi-x$ 图线存在极值，其切线的斜率为零； （2）在 $\varphi-x$ 图像中可以直接判断各点电势的大小，并可根据电势大小关系确定电场强度的方向. 也可根据斜率的正负判定场强方向； （3）在 $\varphi-x$ 图像中分析电荷移动时电势能的变化，可用 $W_{AB}=q(\varphi_A-\varphi_B)$，进而分析 W_{AB} 的正负，然后作出判断
$E-x$ 图像（电场强度—位置图像）		（1）根据 $E-x$ 图像中 E 的正负确定电场强度的方向，再画出对应电场线的方向，根据 E 的大小变化，确定电场的强弱分布； （2）$E-x$ 图线与横坐标轴所围图形的面积表示电势差； （3）在与粒子运动相结合的题目中，可进一步确定粒子的电性、动能变化、电势能变化等
E_p-x 图像		（1）由 E_p-x 图像可以判断粒子在某一位置电势能的大小，进而确定电势能的变化情况，根据电势能的变化可以判断静电力做功情况，结合带电粒子的运动可以确定静电力的方向； （2）若电场方向与 x 轴重合时，E_p-x 图像的斜率 $k=\dfrac{E_{p2}-E_{p1}}{x_2-x_1}=\dfrac{\Delta E_p}{\Delta x}=\dfrac{-W_{静电}}{\Delta x}=-F_{静电}$，即图像的斜率绝对值和正负分别表示静电力的大小和方向

例 4 [湖南长沙长郡中学 2025 期末]已知点电荷和无限大接地金属平板的电场分布（如图甲）与等量异种点电荷连线的垂直平分线右侧的电场分布（如图乙）完全相同. 按图丙所示建立平面直角坐标系，沿 y 轴放置一接地的无限大金属板，在 $(d,0)$ 处放置一电荷量为 Q 的正点电荷，取无穷远处电势为零. 则 x 轴上的电势分布图像正确的是 （　　）





A　　B　　C　　D

解析 金属板接地，电势为0，则坐标原点处的电势为0，又因为无穷远处的电势为0，则 x 轴上距坐标原点足够远处的电势也接近0. 结合题述可知，x 轴上点电荷左侧位置的电场方向沿 x 轴负方向，右侧位置的电场方向沿 x 轴正方向，正点电荷所在位置的电势为正无穷大，又因为沿电场方向电势降低，则从正点电荷向两侧移动，电势均降低，故选B.

答案 B

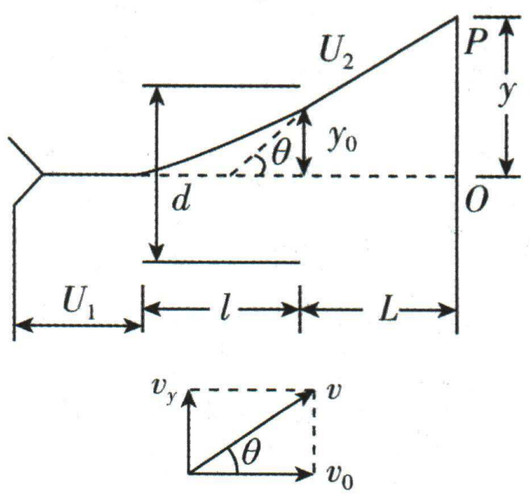
重难24▸带电粒子在电场中的运动

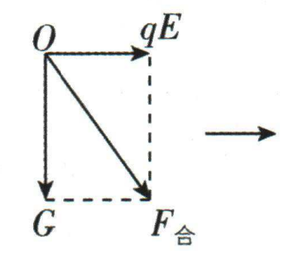
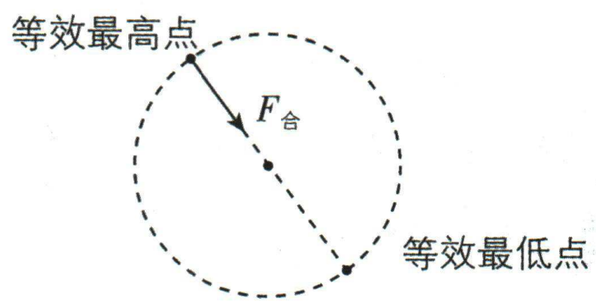
链接练习册 P137T7

考法5 带电粒子在电场中的运动

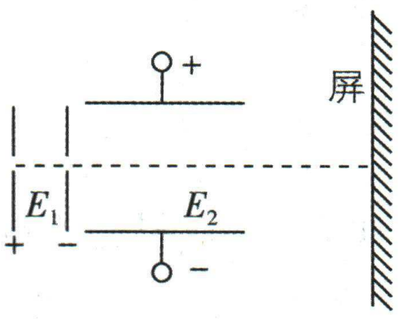
重难解读

续表

常见运动	受力特点	分析方法
变速直线运动	合外力 $F_{合}\neq 0$，且与初速度方向在同一条直线上	(1)匀强电场中 ①用动力学观点分析 $a=\frac{F_{合}}{m}$，$E=\frac{U}{d}$，$v^2-v_0^2=2ad$ ②用功能观点分析 $W=qEd=qU=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$ (2)非匀强电场中 $W=q\overline{U}=E_{k2}-E_{k1}$
带电粒子在匀强电场中的偏转运动(类平抛)	只受电场力，且进入电场时 $v_0\perp E$	运动的分解： 偏转角：$\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{qU_2l}{mdv_0^2}=\frac{U_2l}{2U_1d}=\frac{2y_0}{l}$  侧移距离：$y_0=\frac{qU_2l^2}{2mdv_0^2}=\frac{U_2l^2}{4dU_1}$ $y=y_0+L\tan\theta=\left(\frac{l}{2}+L\right)\tan\theta$

常见运动	受力特点	分析方法
带电体在电场和重力场的叠加场中的圆周运动	受重力和匀强电场的电场力	等效重力法： 将重力与电场力进行合成，如图所示，则 $F_{合}$ 为等效重力场中的“重力”，$g'=\frac{F_{合}}{m}$ 为等效重力场中的“等效重力加速度”，$F_{合}$ 的方向等效为“重力”的方向，即在等效重力场中的竖直向下方向   等效最高点和等效最低点：在“等效重力场”中做圆周运动的小球，过圆心作 $F_{合}$ 的平行线，交于圆周上的两点，此两点为等效最高点和等效最低点

例5 [安徽蚌埠2025期中](多选)如图，氘核 ${}_1^2\mathrm{H}$，氦核 ${}_2^4\mathrm{He}$(已知Z原子核 ${}_q^m\mathrm{Z}$)两种粒子从同一位置无初速度地飘入电场线水平向右的加速电场 E_1，之后进入电场线竖直向下的匀强电场 E_2 发生偏转，最后打在屏上. 整个装置处于真空中，不计粒子重力及其相互作用，则 (　　)



A. 偏转电场 E_2 对氘核与氦核做功之比为1∶2

B. 两种粒子打到屏上时的速度大小一样大

C. 两种粒子运动到屏上所用时间不相同

D. 两种粒子一定打到屏上的同一位置

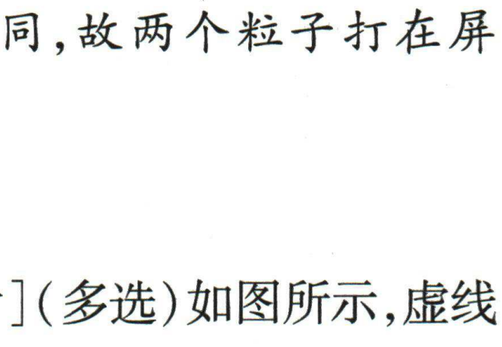
解析 带电粒子在加速电场中加速，由动能定理可知 $qE_1d=\frac{1}{2}mv_0^2$，解得水平方向速度为 $v_0=\sqrt{\frac{2E_1dq}{m}}$，粒子在偏转电场中运动的时间 $t=\frac{L}{v_0}$，在偏转电场中的纵向速度 $v_y=at$，$a=\frac{qE_2}{m}$，解得 $v_y=\sqrt{\frac{qE_2^2L^2}{2mE_1d}}$，纵向位移 $y=\frac{1}{2}at^2$，解得 $y=\frac{E_2L^2}{4E_1d}$，偏转角 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}$，解得 $\tan\theta=\frac{E_2L}{2E_1d}$，即位移与比荷无关，与速度无关，则两种粒子的偏转位移相同，速度的偏向角相同，偏转电场对两种粒子做功 $W=qE_2y$，做功之比为 1∶2，故 A 正确；粒子离开偏转电场后做匀速直线运动，粒子打到屏上时的速度等于粒子离开偏转电场时的速度 $v=\frac{v_0}{\cos\theta}$，因两粒子的比荷相等，则 v_0 相同，又 θ 相同，则 v 相同（提示：v_0 和 v_y 都与比荷有关，两种粒子的比荷相同，因此 v_0 和 v_y 都相同），故 B 正确；粒子打到屏上的时间取决于横向速度 v_0，因横向速度 v_0 相同，则两种粒子运动到屏上所用时间相同，故 C 错误；因两粒子由同一点射入偏转电场，且偏转位移相同，离开偏转电场时的速度相同，故两个粒子打在屏上的位置一定相同，故 D 正确.

答案 ABD

例 6 [重庆渝北中学 2024 月考]（多选）如图所示，虚线 MN 下方存在着方向水平向左、范围足够大的匀强电场. AB 为绝缘光滑且固定的四分之一圆弧轨道，轨道半径为 R，O 为圆心，B 位于 O 点正下方. 一质量为 m、电荷量为 q 的带正电小球，以初速度 v_A 竖直向下从 A 点沿切线进入半圆轨道内侧，沿轨道运动到 B 处以速度 v_B 射出. 已知重力加速度为 g，匀强电场场强大小 $E=\frac{3mg}{4q}$，$\tan 37°=0.75$，空气阻力不计，下列说法正确的是 （ ）

A. 从 A 到 B 过程中，小球的机械能一直减少

B. 从 A 到 B 过程中，小球对轨道的压力先减小后增大



C. 在 A、B 两点的速度大小满足 $v_A<v_B$

D. 从 B 点抛出后，小球速度的最小值为 $\frac{4}{5}\sqrt{v_A^2+\frac{1}{2}gR}$

解析 从 A 到 B 过程中，电场力一直做负功，小球的机械能一直减小，故 A 正确；带正电小球所受静电力水平向左，设静电力和重力的合力（即等效重力）与竖直方向夹角为 θ，则有 $\tan\theta=\frac{qE}{mg}=\frac{3}{4}$，解得 $\theta=37°$，即等效重力方向与竖直方向夹角为 37°偏左下方，所以从 A 到 B 过程中，小球速度先增大后减小，对轨道的压力先增大后减小，故 B 错误；B 点比 A 点更靠近等效最低点（提示：等效最低点为小球运动速度最大的位置，越靠近等效最低点，小球的运动速度越大），所以 $v_A<v_B$，故 C 正确；从 A 到 B，由动能定理得 $mgR-EqR=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2$，解得 $v_B=\sqrt{v_A^2+\frac{1}{2}gR}$，之后小球做斜抛运动，在垂直于等效场方向上的分速度即为最小速度，则 $v_{min}=\frac{4}{5}v_B=\frac{4}{5}\sqrt{v_A^2+\frac{1}{2}gR}$，故 D 正确.

答案 ACD

考法 6 带电粒子在交变电场中的运动问题

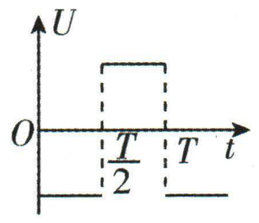
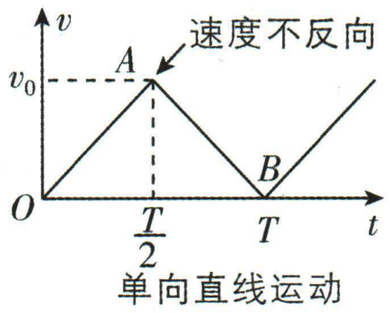
（1）此类题型一般有三种情况：一是粒子做单向直线运动（一般用牛顿运动定律求解）；二是粒子做往返运动（一般分段研究）；三是粒子做偏转运动（一般根据交变电场的特点分段研究）.

重难解读

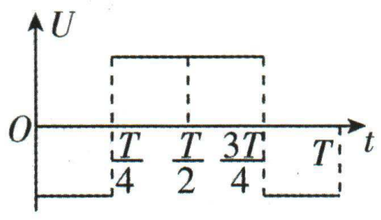
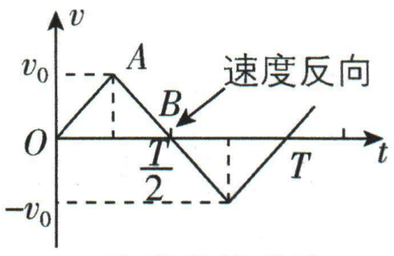
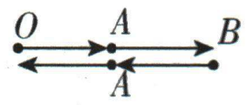
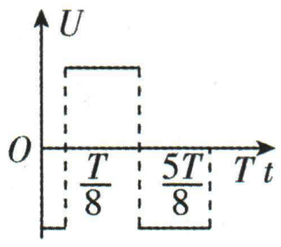
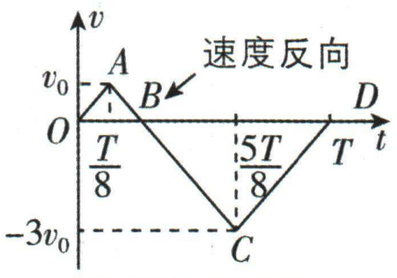
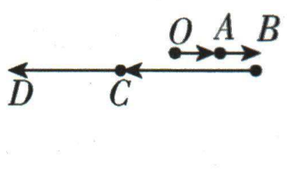
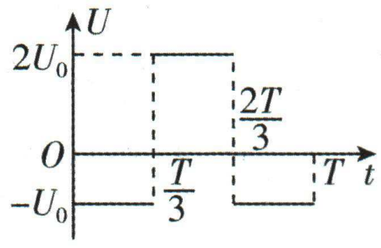
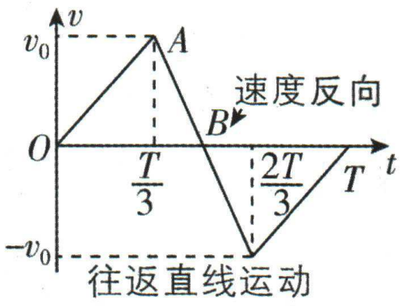
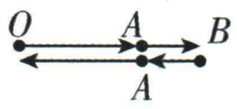
（2）分析时从两条思路出发：一是力和运动的关系，根据牛顿第二定律及运动学规律分析；二是功能关系.

（3）注重全面分析（分析受力特点和运动特点），抓住粒子的运动具有周期性和在空间上具有对称性的特征，求解粒子运动过程中的速度、位移、做功或确定与物理过程相关的边界条件.

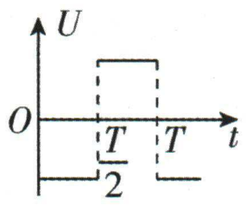
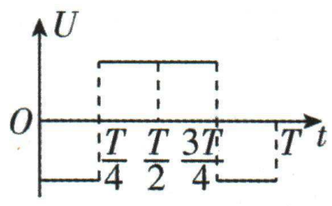
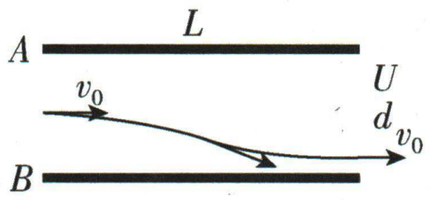
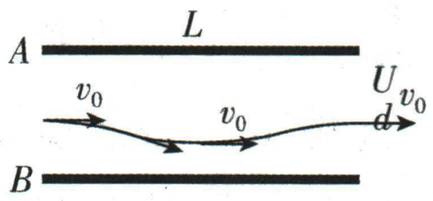
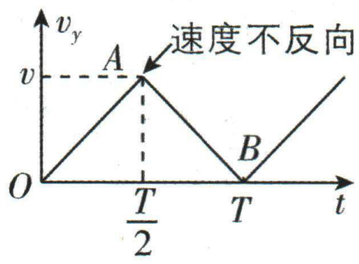
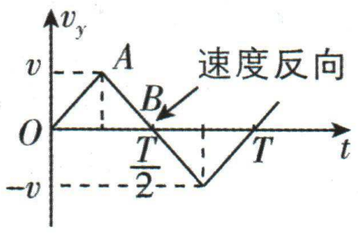
（4）交变电场中的直线运动

$U-t$ 图像	$v-t$ 图像	轨迹图
	 单向直线运动	

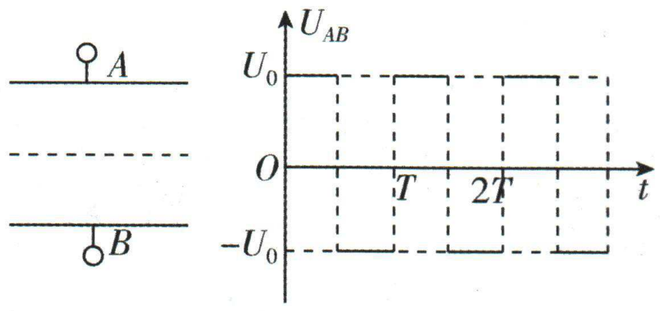
续表

$U-t$ 图像	$v-t$ 图像	轨迹图
	 往返直线运动	
	 往返直线运动	
	 往返直线运动	

(5)交变电场中的偏转(带电粒子的重力不计)

$U-t$ 图像		
轨迹图		
v_y-t 图像		

例7 [辽宁沈阳五校协作体2025月考]如图所示,一对平行金属板长为L,两板间距为d,两板间所加交变电压为U_{AB},交变电压的周期$T=\frac{L}{2v_0}$,大量质量为m、电荷量为e的电子先后从平行板左侧以速度v_0沿两板的中线持续不断地进入平行板之间,已知所有电子都能穿过平行板,且最大偏距的电子刚好从极板的边缘飞出,不计重力和电子间的相互作用,则 ( )



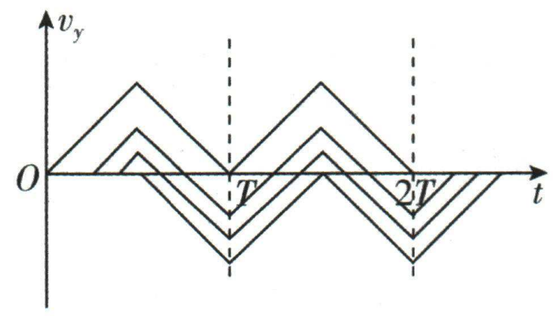
A. 所有电子在极板间运动的时间均为T

B. 所有电子离开电场时的动能都不相同

C. $t=\frac{T}{4}$时刻进入电场的电子,在两板间运动时最大侧位移为$\frac{d}{16}$

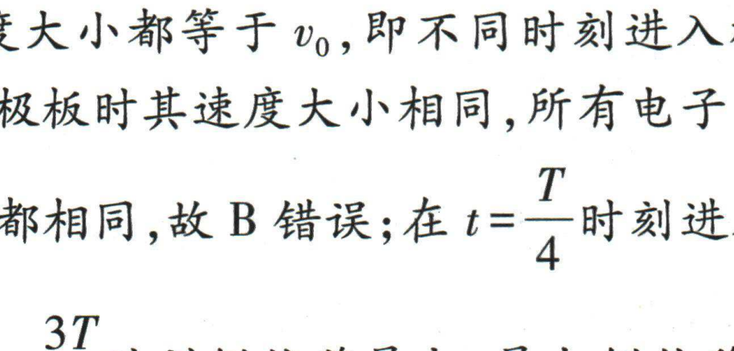
D. $t=\frac{T}{8}$时刻进入电场的电子,在两板间运动时最大侧位移为$\frac{d}{4}$

解析 电子进入电场后做类平抛运动,在两板间的运动时间为$t=\frac{L}{v_0}=2T$,故A错误;不同时刻进入电场的电子竖直方向分速度随时间变化的关系图像如图甲所示(提示:解决带电粒子在交变电场中的运动问题时注意画$v-t$图像)



甲

由图看出,所有电子离开电场时竖直方向分速度$v_y=0$,速度大小都等于v_0,即不同时刻进入极板间的电子离开极板时其速度大小相同,所有电子离开电场时的动能都相同,故B错误;在$t=\frac{T}{4}$时刻进入电场的电子,在$t=\frac{3T}{4}$时刻侧位移最大,最大侧位移为$y_{max}=2\cdot\frac{1}{2}a\left(\frac{T}{4}\right)^2=\frac{aT^2}{16}$,在$t=0$时刻进入电场的电子侧位移最大为$\frac{1}{2}d$,则有$\frac{1}{2}d=4\cdot\frac{1}{2}a\left(\frac{T}{2}\right)^2$,联立得$y_{max}=\frac{d}{16}$,故C正确;在$t=\frac{T}{8}$时刻进入电场的电子在垂直极板方向的速度—时间图像如图乙所示,



乙

在$t=\frac{15T}{8}$时刻侧位移最大,最大侧位移为$y'_{max}=4\cdot\frac{1}{2}a\left(\frac{3T}{8}\right)^2-2\cdot\frac{1}{2}a\left(\frac{T}{8}\right)^2=\frac{17aT^2}{64}=\frac{17}{64}d$,故D错误.

答案 C

第10章 恒定电流

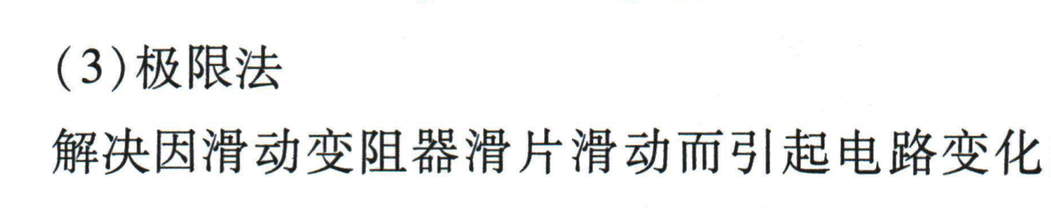
重难25▸电路的动态分析、故障分析和含容电路

链接练习册 P148T10

考法1 电路的动态分析

1. 电路动态分析的方法

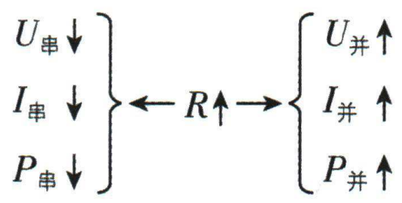
(1)程序法



(2)“串反并同”结论法

①所谓“串反”,即某一电阻增大时,与它串联或间接串联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将减小,反之则增大.

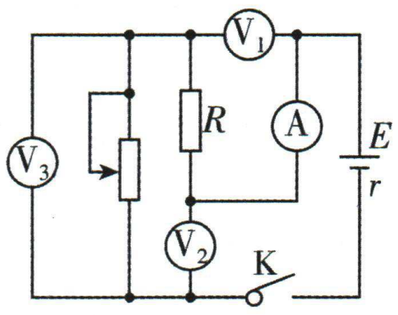
②所谓“并同”,即某一电阻增大时,与它并联或间接并联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将增大,反之则减小.



(3)极限法

解决因滑动变阻器滑片滑动而引起电路变化的问题,可将滑动变阻器的滑片分别滑至两个极端,使其接入电路的电阻最大或电阻为零去讨论.

例1 [广西南宁2024开学考]如图所示,电路中定值电阻 R 的阻值大于电源内阻 r 的阻值,各电表均为理想电表. 闭合电键后,将滑动变阻器滑片向下滑动,电压表 V_1、V_2、V_3 示数变化量的绝对值分别为 ΔU_1、ΔU_2、ΔU_3,电流表A示数变化量的绝对值为 ΔI,则 (　　)



A. $\frac{\Delta U_2}{\Delta I}$ 变小

B. $\frac{\Delta U_3}{\Delta I}$ 不变

C. V_1、V_2、A示数均变大

D. 电源输出功率先增大后减小

解析 根据公式 $U_2=E-Ir$,可得 $\frac{\Delta U_2}{\Delta I}=r$,电源内阻不变,所以 $\frac{\Delta U_2}{\Delta I}$ 不变(提示:滑动变阻器和定值电阻是串联关系,V_2 测量路端电压,V_1 测定值电阻两端的电压,V_3 测滑动变阻器两端的电压),故A错误;根据公式 $U_3=E-I(R+r)$,可得 $\frac{\Delta U_3}{\Delta I}=R+r$,为一定值,故B正确;将滑动变阻器滑片向下滑动,总电阻减小,由公式 $I=\frac{E}{R_{外}+r}$,$U=E-Ir$,可知总电流增大,路端电压减小,电路中 V_1 测量 R 两端的电压,由 $U_1=IR$,可知 V_1 的示数变大,V_2 测量的是路端电压,示数减小,电流表A测量的是总电流,示数变大,故C错误;当外电路电阻等于内阻时,电源输出功率最大,依题意,定值电阻 R 的阻值大于电源内阻 r 的阻值,所以将滑动变阻器滑片向下滑动,外电阻减小,并且始终大于内阻,故电源的输出功率会一直增加,故D错误.

答案 B

考法2 电路故障分析

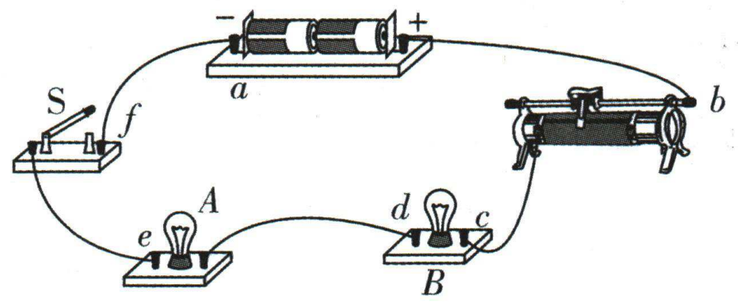
1. 选用电压表排查电路故障,一般不用电流表.

2. 用电压表判断电路故障的方法

(1)断路故障的判断:将电压表与电源并联,若有电压,再逐段与电路并联,若电压表指针偏转,则该段电路中可能有断点.

(2)短路故障的判断:将电压表与电源并联,若有电压,再逐段与电路并联,若电压表示数为零,则该并联段电路被短路;若电压表示数不为零,则该并联段电路没有被短路或不完全被短路.

例2 [广东部分学校2025联考]某兴趣小组在实验室连接的实验电路如图所示,闭合开关S后发现小灯泡 A、B 都不亮,该小组的同学利用多用电表的电压挡来排查电路故障,测得 ab、ac、ad、ae 间的电压都相等(不为零),测得 af 间电压为零,由此可以判断出造成电路故障的可能原因是 (　　)



A. 开关S接触不良

B. 小灯泡A、B的灯丝都断了

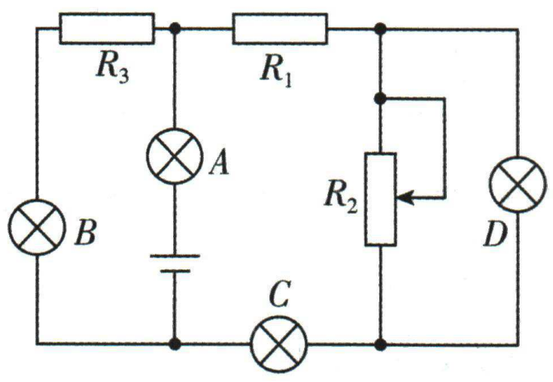
C. 滑动变阻器断路

D. 小灯泡A、B中有一个灯丝断了

解析 测得ab、ac、ad、ae间的电压都相等(不为零),分别能够说明电源、滑动变阻器、B灯泡、A灯泡都是好的,测得af间电压为零,说明开关处断路,故选A.

答案 A

例3 [山东济宁一中2025月考]如图所示电路中,由于某处出现了故障,导致电路中的B、D两灯变亮,A、C两灯变暗,故障的原因可能是 ( )



A. R_1短路　　B. R_2断路

C. R_2短路　　D. R_3短路

解析 A灯在干路上,A灯变暗,说明电路总电流变小,则电路总电阻变大,说明电路中的故障的原因只能是某个元件出现断路,而不会是出现短路,故A、C、D错误;若R_2断路,则外电阻变大,电路总电流变小,A灯变暗,A灯两端电压减小,则B灯和R_3串联支路电压增大,该支路电流增大,B灯变亮,则通过R_1和C灯的电流减小,C灯变暗,R_1和C灯两端电压都减小,则D灯两端电压增大,D灯变亮,故选B.

答案 B

考法3 含容电路的分析

1. 电路简化

把电容器所在的支路稳定时视为断路,简化电路时可以去掉,求电荷量时再在相应位置补上.

2. 电容器两端的电压

(1)电容器所在的支路稳定时没有电流,与之串联的电阻两端无电压,相当于导线.

(2)电容器两端的电压等于与之并联的电阻两端的电压.

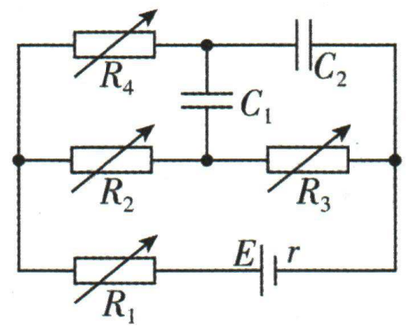
3. 电容器的电荷量及变化

(1)电路中电流、电压的变化可能会引起电容器的充、放电.若电容器两端电压升高,电容器将充电;若电压降低,电容器将通过与它连接的电路放电.

(2)如果变化前后极板带电的电性相同,通过所连导线的电荷量为$|Q_1-Q_2|$.

(3)如果变化前后极板带电的电性相反,通过所连导线的电荷量为Q_1+Q_2.

例4 [北京2025开学考]如图所示的电路中,电源电动势为E,内电阻为r,R_1、R_2、R_3和R_4为四个可变电阻.要使电容器C_1和C_2所带的电荷量都减少,下列措施中可行的是 ( )



A. 仅减小R_1　　B. 仅减小R_2

C. 仅减小R_3　　D. 仅减小R_4

解析 (提示:电流只能从电源正极经R_1、R_2、R_3回到电源负极,因此R_4相当于导线,C_1并联在R_2两端,C_2并联在R_2和R_3两端)仅减小R_1,则电路总电阻减小,根据闭合电路欧姆定律可知,电路总电流增大,路端电压减小,则R_2、R_3的电压均增大,由于电容器C_1的电压等于R_2的电压,电容器C_2的电压等于R_2与R_3的电压之和,所以两个电容器的电压都增大,所带的电荷量都增加,故A错误;仅减小R_2,则电路总电阻减小,根据闭合电路欧姆定律可知,电路总电流增大,路端电压减小,由于R_1、R_3的电压均增大,则R_2、R_3的电压之和减小,所以两个电容器的电压都减小,所带的电荷量都减少,故B正确;仅减小R_3,则电路总电阻减小,根据闭合电路欧姆定律可知,电路总电流增大,路端电压减小,由于R_1、R_2的电压均增大,则R_2与R_3的电压之和减小,所以电容器C_1电压增大,电容器C_1所带的电荷量增加,电容器C_2电压减小,电容器C_2所带的电荷量减少,故C错误;仅减小R_4,电路中电流和电压不改变,所以电容器的电压和所带的电荷量都不改变,故D错误.

答案 B

第11章 磁 场

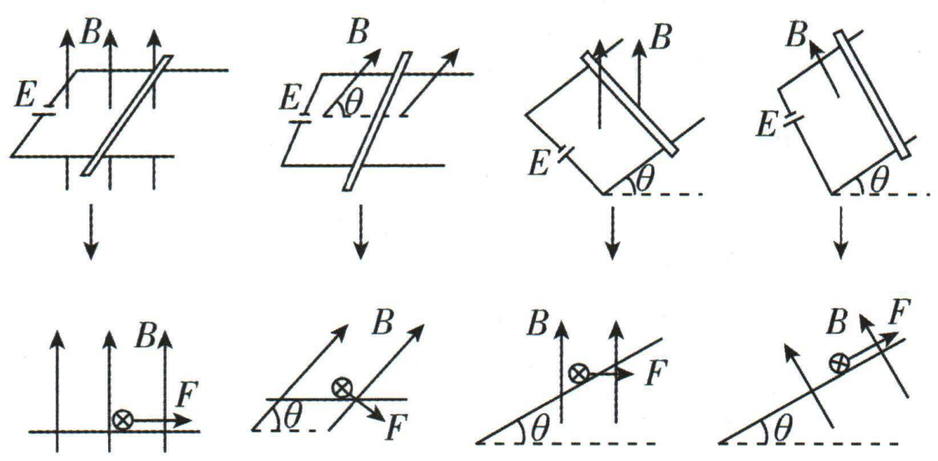
重难26▸安培力作用下的导体运动问题

链接练习册 P157T4

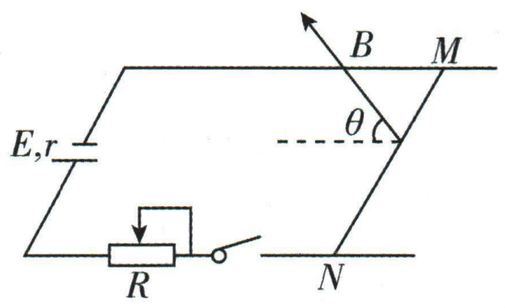
考法1 安培力作用下的平衡及变速问题

这类题目的难点是题图往往为立体图,安培力的方向不易确定等,因此解题时一定要先把立体图转化为平面图.

常见情形如下.



例1 [河南郑州部分学校2025阶段考](多选)如图所示,水平平行、间隔 $L=1$ m 的金属导轨左侧接有电动势 $E=6$ V、内阻为 $r=2$ Ω 的电源,导轨上接有最大阻值为22 Ω 的滑动变阻器,开始时滑动变阻器的滑片处在最大阻值处,导轨右侧有一与导轨垂直、长度 $L=1$ m、质量 $m=0.22$ kg 的导体棒,整个轨道处在与导轨平面成 $\theta=53°$ 角的匀强磁场中,磁感应强度大小为 $B=2$ T. 已知导体棒与导轨间的动摩擦因数为 $\mu=0.5$,导轨及导体棒电阻不计,最大静摩擦力等于滑动摩擦力,$\sin 53°=0.8$,重力加速度 g 取 10 m/s^2,则闭合开关后 (　　)



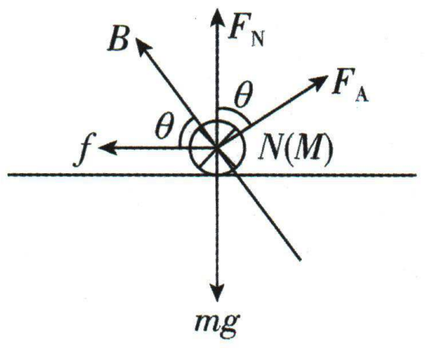
A. 导体棒 MN 受到的安培力大小为 0.4 N

B. 导体棒 MN 对导轨的压力大小为 1.9 N

C. 导体棒 MN 与导轨间的摩擦力大小为 0.95 N

D. 缓慢滑动滑动变阻器的滑片,当变阻器的阻值为 10 Ω 时,导体棒 MN 恰好要滑动

解析 对导体棒受力分析,如图(提示:将立体图转化为平面图),由闭合电路欧姆定律,可得电路中的电流为 $I=\dfrac{E}{R+r}=0.25$ A,导体棒 MN 受到的安培力大小为 $F_A=BIL=0.5$ N,故 A 错误;由平衡条件 $F_A\sin\theta=f$,$F_A\cos\theta+F_N=mg$,解得导体棒 MN 受到导轨的支持力大小为 $F_N=1.9$ N,由牛顿第三定律可得,导体棒 MN 对导轨的压力大小为 1.9 N,导体棒 MN 与导轨间的摩擦力大小为 $f=0.4$ N,故 B 正确,C 错误;当变阻器的阻值为 10 Ω 时,由欧姆定律 $I'=\dfrac{E}{R'+r}=0.5$ A,此时导体棒受到的安培力大小为 $F'_A=BI'L=1$ N,当导体棒 MN 恰好要滑动时,满足 $F''_A\sin\theta=f$,$F''_A\cos\theta+F_N=mg$,其中 $f=\mu F_N$,联立解得 $F''_A=1$ N,因为 $F''_A=F'_A$,所以缓慢滑动滑动变阻器的滑片,当变阻器的阻值为 10 Ω 时,导体棒 MN 恰好要滑动,故 D 正确.

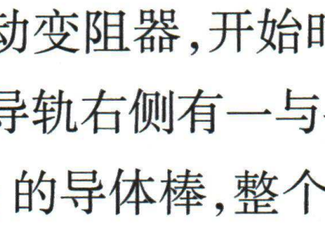
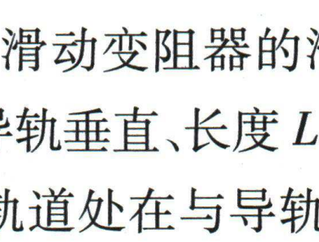
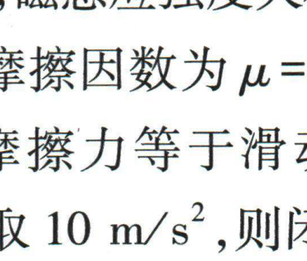


答案 BD

重难27▸带电粒子在有界磁场中的运动问题

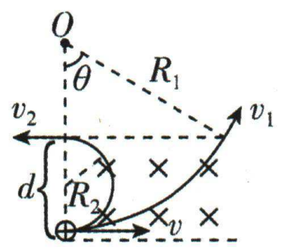
链接练习册 P162T3

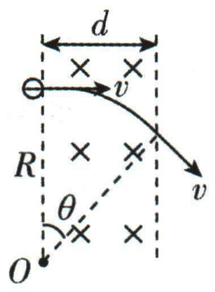
考法2 带电粒子在有界磁场中的运动问题

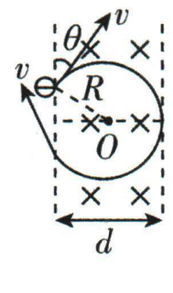
边界特点	示例	磁场中的运动的半径、时间
直线边界	 图(a)　 图(b)　 图(c)　粒子进出磁场具有对称性	图(a)中粒子在磁场中运动的时间 $t=\dfrac{T}{2}=\dfrac{\pi m}{Bq}$ 图(b)中粒子在磁场中运动的时间 $t=\left(1-\dfrac{\theta}{\pi}\right)T=\left(1-\dfrac{\theta}{\pi}\right)\dfrac{2\pi m}{Bq}=\dfrac{2m(\pi-\theta)}{Bq}$,半径 $R=\dfrac{d}{2\sin\theta}$ 图(c)中粒子在磁场中运动的时间 $t=\dfrac{\theta}{\pi}T=\dfrac{2\theta m}{Bq}$,半径 $R=\dfrac{d}{2\sin\theta}$

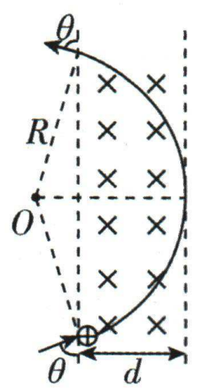
重难解读

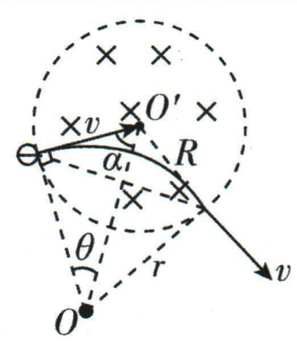
续表

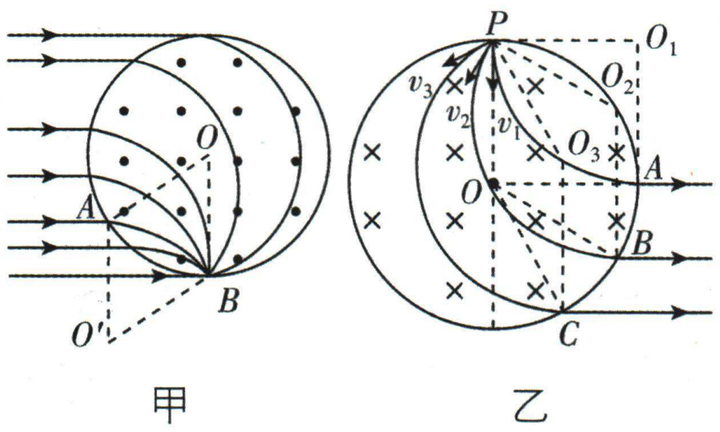
<table>
<tr><th>边界特点</th><th>示例</th><th>磁场中的运动的半径、时间</th></tr>
<tr><td>平行边界</td><td>

$d=R_1(1-\cos\theta)$
$d=2R_2$
图(a)


$d=R\sin\theta$
图(b)


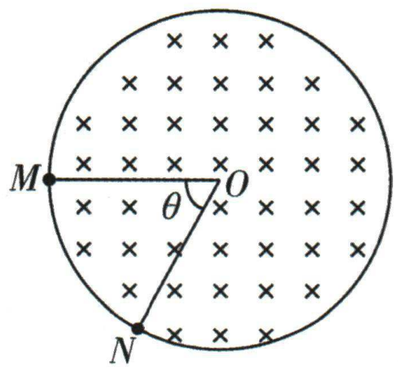
$d=R(1+\cos\theta)$
图(c)


$d=R(1-\cos\theta)$
图(d)
平行边界存在临界条件,图(a)中粒子在磁场中运动的时间
$t_1=\frac{\theta m}{Bq}, t_2=\frac{T}{2}=\frac{\pi m}{Bq}$
图(b)中粒子在磁场中运动的时间 $t=\frac{\theta m}{Bq}$
图(c)中粒子在磁场中运动的时间
$t=\left(1-\frac{\theta}{\pi}\right)T=\left(1-\frac{\theta}{\pi}\right)\frac{2\pi m}{Bq}=\frac{2m(\pi-\theta)}{Bq}$
图(d)中粒子在磁场中运动的时间 $t=\frac{\theta}{\pi}T=\frac{2\theta m}{Bq}$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">圆形边界</td><td>

沿径向射入圆形磁场的粒子必沿径向射出,运动具有对称性</td><td rowspan="2">粒子做圆周运动的半径 $r=\frac{R}{\tan\theta}$
粒子在磁场中运动的时间 $t=\frac{\theta}{\pi}T=\frac{2\theta m}{Bq}$
$\theta+\alpha=90°$
(1)带电粒子的会聚
如图甲所示,大量的同种带正电的粒子,速度大小相同,平行入射到圆形磁场区域,如果轨迹圆半径与磁场圆半径相等($R=r$),则所有的带电粒子将从磁场圆的最低点 B 点射出(会聚)
(2)带电粒子的发散
如图乙所示,有界圆形磁场的磁感应强度为 B,圆心为 O,从 P 点有大量质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子,以大小相等的速度 v 沿不同方向射入有界磁场,不计粒子的重力及粒子间相互作用,如果带正电粒子轨迹圆半径与有界圆形磁场半径相等,则所有粒子射出磁场的方向平行(发散)
(3)规律总结
平行线与过汇聚点(发散点)的直径垂直</td></tr>
<tr><td>

甲　　乙</td></tr>
</table>

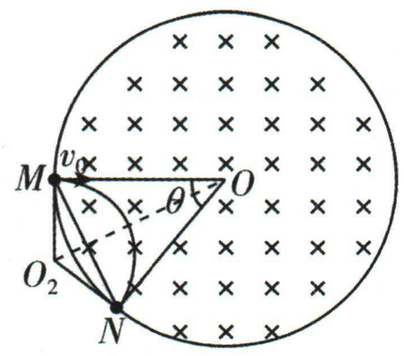
例2 [广西柳州2024模拟]如图所示,以 O 为圆心、半径为 R 的圆形区域内存在垂直圆面向里、磁感应强度为 B 的匀强磁场,一粒子源位于圆周上的 M 点,可向磁场区域内垂直磁场沿各个方向发射质量为 m、电荷量为 $-q$ 的粒子,这些粒子的速率不相等,不计粒子的重力,N 为圆周上另一点,半径 OM 和 ON 间的夹角为 θ,且满足 $\tan\frac{\theta}{2}=0.5$.



(1)若其中甲粒子以某一速率沿 MO 方向射入磁场,恰能从 N 点离开磁场,求甲粒子的速率;

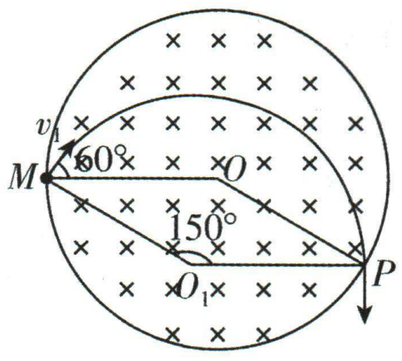
(2)若乙粒子沿与 MO 成60°角斜向上方射入磁场,且乙粒子做圆周运动的半径正好等于磁场区域的半径 R,求乙粒子在磁场中运动的时间.

解析 (1)甲粒子以速率 v_0 沿 MO 方向射入磁场,在磁场中做匀速圆周运动,恰好从 N 点离开磁场,其运动轨迹如图所示(提示:在圆形磁场中粒子速度方向指向磁场圆心入射,则射出磁场时的速度方向的反向延长线一定也过圆心),设甲粒子运动轨迹半径为 r,由牛顿第二定律可得



$qv_0B=m\dfrac{v_0^2}{r}$，由图中几何关系可得 $r=R\tan\dfrac{\theta}{2}$，解得甲粒子的速度 $v_0=\dfrac{qBR}{2m}$.

(2)乙粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动，洛伦兹力提供向心力，乙粒子沿与 MO 成 60°角方向射入磁场，设乙粒子从区域边界 P 射出，其运动轨迹如图所示，由图中几何关系可知乙粒子运动轨迹所对应的圆心角为 $\alpha=150°$，乙粒子在磁场中的运动时间 $t=\dfrac{\alpha}{360°}T$，乙粒子运动周期 $T=\dfrac{2\pi m}{Bq}$，解得 $t=\dfrac{5m\pi}{6qB}$.

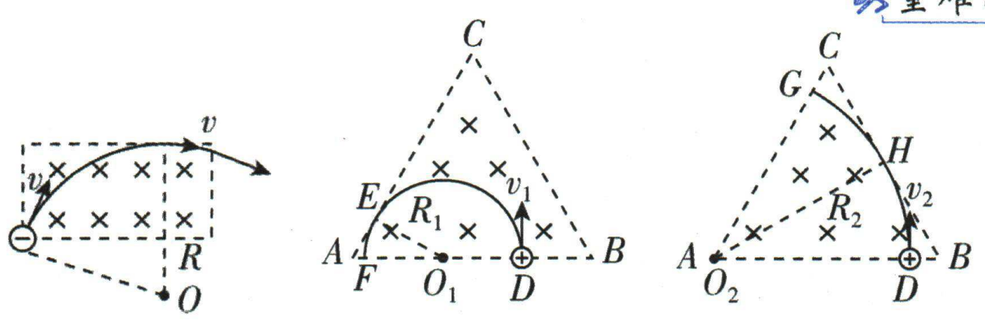


答案 (1)$\dfrac{qBR}{2m}$　(2)$\dfrac{5m\pi}{6qB}$

考法3 临界与多解问题

1. 带电粒子在磁场中运动的临界问题

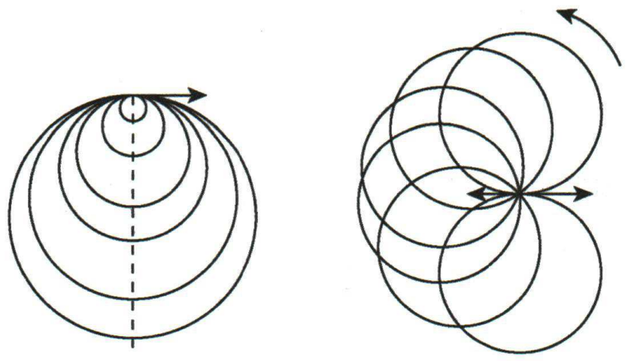
重难解读



甲　　乙　　丙

由于边界的限制，粒子的运动常常出现临界问题. 一般临界的位置都在圆与磁场边界相切处. 如图甲中运动轨迹与磁场上边界相切，粒子从右边射出；图乙中运动轨迹与磁场边界 AC 相切，粒子从边界 AB 射出；图丙中运动轨迹与 BC 边相切，粒子从 AC 边射出等.

临界条件的确定可通过放缩圆法或旋转圆法确定. 放缩圆法用于解决速度方向不变而大小变化的情况；旋转圆法用于解决速度大小不变而方向变化的情况.

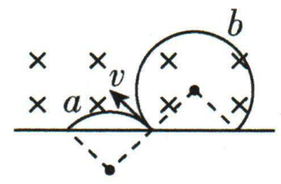
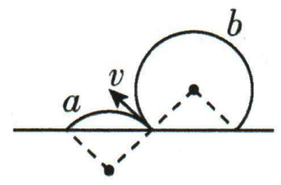
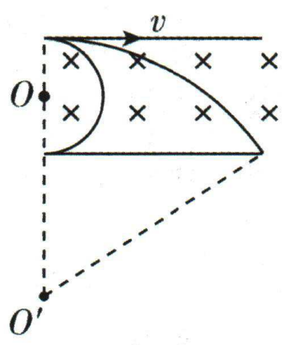
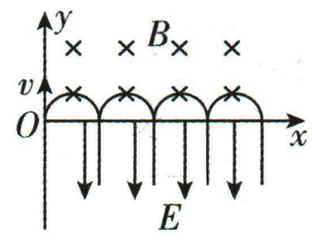


两种思路	一是以定理、定律为依据，先求出所研究问题的一般规律和一般解的形式，再分析、讨论处于临界条件时的特殊规律和特殊解
	二是直接分析、讨论临界状态，找出临界条件，从而通过临界条件求出临界值

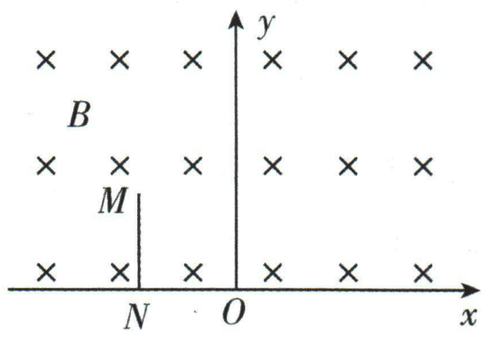
续表

两种方法	物理方法	(1)利用临界条件求极值；(2)利用边界条件求极值；(3)利用矢量图求极值
	数学方法	(1)利用三角函数求极值；(2)利用二次方程的判别式求极值；(3)利用不等式的性质求极值；(4)利用图像法等
从关键词找突破口	许多临界问题，题干中常用“恰好”“最大”“至少”“不相撞”“不脱离”等词语对临界状态给以暗示，审题时，一定要抓住这些特定的词语挖掘其隐藏的规律，找出临界条件	

2. 带电粒子在有界匀强磁场中运动的多解问题

类型	分析	图例
带电粒子电性不确定	带电粒子可能带正电，也可能带负电，初速度相同时，正、负粒子在磁场中运动轨迹不同，形成多解	 如带正电，其轨迹为 a；如带负电，其轨迹为 b
磁场方向不确定	只知道磁感应强度大小，而未具体指出磁感应强度方向，由于磁感应强度方向不确定而形成多解	 粒子带正电，若磁感应强度方向垂直纸面向里，其轨迹为 a，若磁感应强度方向垂直纸面向外，其轨迹为 b
临界状态不唯一	带电粒子飞越有界磁场时，可能穿过磁场飞出，也可能转过 180°从入射界面一侧反向飞出，于是形成多解	
运动具有周期性	带电粒子在部分是电场、部分是磁场的空间中运动时，运动往往具有周期性，因而形成多解	

例3 [湖南长沙雅礼中学2025月考](多选)如图所示,xOy坐标系中荧光屏MN垂直x轴放置,第一、二象限存在垂直纸面向里的匀强磁场,O点有一粒子放射源,能向第一、二象限各个方向均匀发射一系列速率均为v_0、比荷均为k的带正电粒子,其中沿x轴正方向射入的粒子经偏转后刚好打在荧光屏上的M点,粒子打在荧光屏上后立即被屏吸收(左右两侧面均可吸收).已知荧光屏的长度为L,磁感应强度大小为$B=\dfrac{v_0}{kL}$,不计粒子的重力,忽略粒子间的相互作用,则下列说法正确的是 (　　)



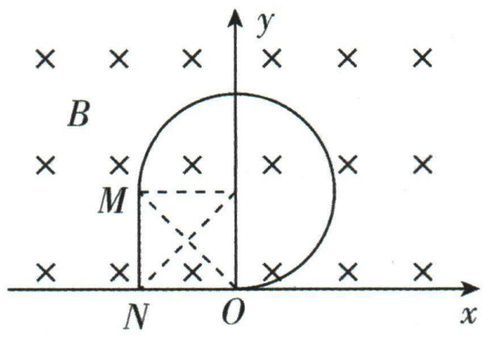
A. 荧光屏到O点的距离为$2L$

B. 沿y轴正方向射入的粒子运动到荧光屏所需时间为$\dfrac{\pi L}{2v_0}$

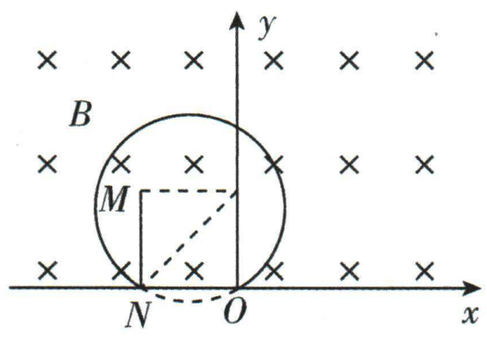
C. 被荧光屏接收的粒子在磁场中运动的最长时间与最短时间之比为5∶1

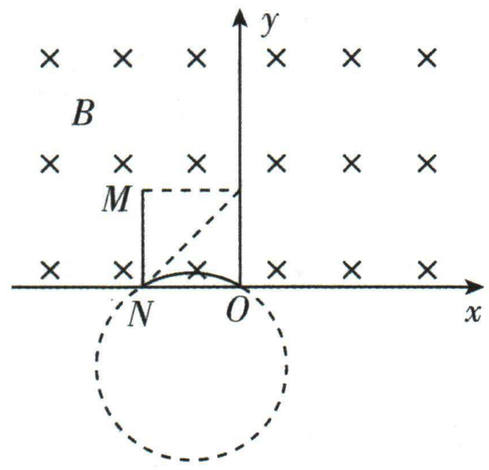
D. 被荧光屏右侧面和左侧面接收的粒子数之比为3∶2

解析 根据洛伦兹力提供向心力有$qv_0B=m\dfrac{v_0^2}{r}$,解得$r=L$,沿x轴正方向射入的粒子经偏转后刚好打在荧光屏上的M点(提示:此题属于旋转圆模型,让下图中的轨迹圆逆时针转起来即可求解),轨迹如图,



根据几何关系可知$ON=L$,故A错误;沿y轴正方向射入的粒子恰好经过M点,则沿y轴正方向射入的粒子运动到荧光屏所需的时间为$t=\dfrac{1}{4}\times\dfrac{2\pi r}{v_0}=\dfrac{\pi L}{2v_0}$,故B正确;粒子在磁场中运动的最长时间、最短时间轨迹如图,





根据几何关系可知对应圆心角分别为300°、60°,则运动时间分别为$t_1=\dfrac{300}{360}T$,$t_2=\dfrac{60}{360}T$,则时间之比为5∶1,故C正确;由几何关系可知,粒子入射时与x轴正方向角度为0~30°时,被左侧光屏吸收,入射角度为90°~150°时,粒子被右侧光屏吸收,则被荧光屏右侧面和左侧面接收的粒子数之比为2∶1,故D错误.

答案 BC

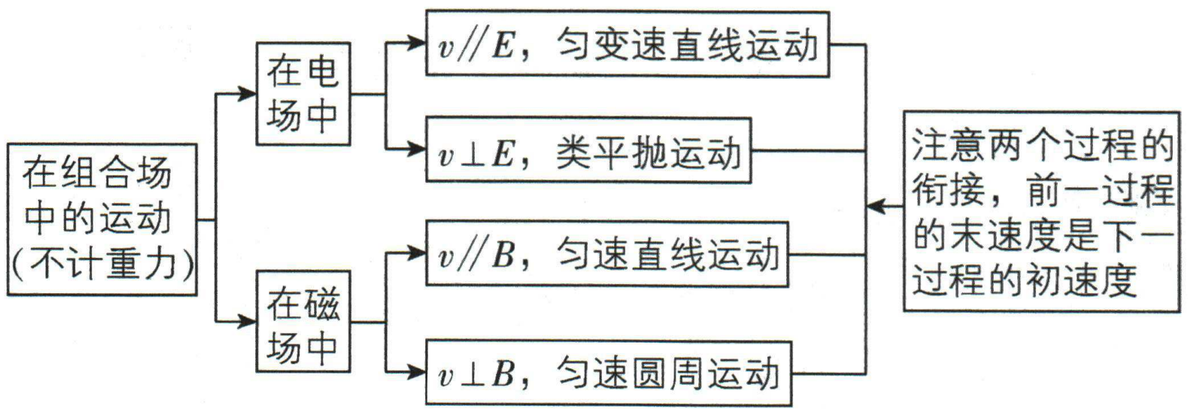
重难28 带电粒子在复合场中的运动

链接练习册 P164T8

考法4 带电粒子在组合场中的运动

重难解读

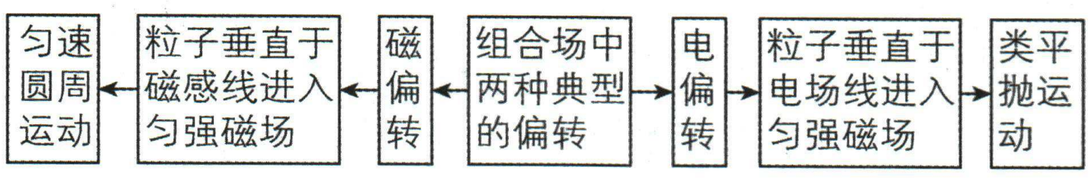
1. 电偏转和磁偏转的比较



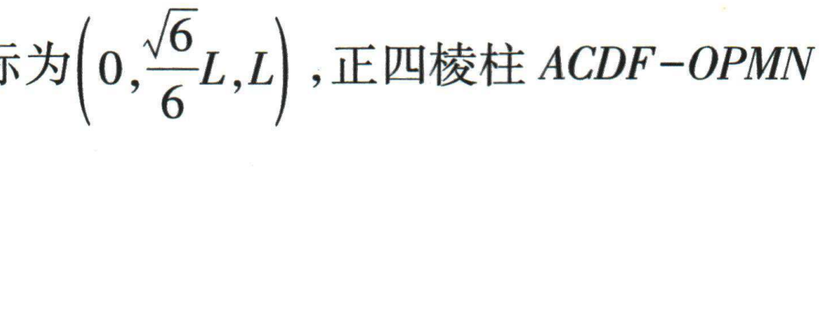
2. 解题步骤

(1)分阶段(分过程)按照时间顺序和进入不同的区域分成几个不同的阶段;

(2)受力分析和运动分析,主要涉及两种典型运动;



(3)选用规律



例4 [广东六校2025联考]如图所示,三维坐标系$Oxyz$内存在着正四棱柱空间区域,正四棱柱的截面$OPMN$水平且与$ACDF-IJGH$的两个底面平行,其中A点的坐标为$\left(0,\dfrac{\sqrt{6}}{6}L,0\right)$,$C$点的坐标为$\left(0,\dfrac{\sqrt{6}}{6}L,L\right)$,正四棱柱$ACDF-OPMN$空间处

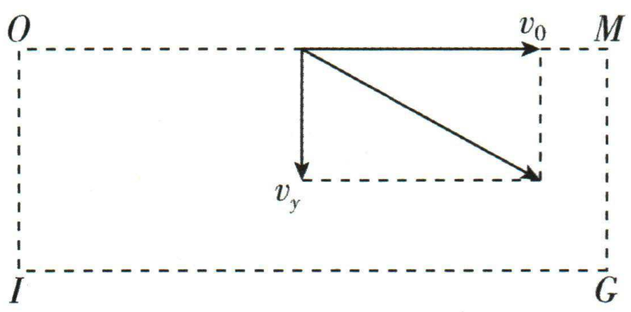
于沿 y 轴负方向的匀强电场中，*OPMN*–*IJGH* 空间处于沿 y 轴负方向的匀强磁场中，质量为 m、电荷量为 $+q$ 的粒子以速度 v_0 从 A 点沿 AD 方向射出，经电场偏转后恰好从截面 *OPMN* 的中心进入磁场区域，不计粒子的重力.

(1)求匀强电场的电场强度大小；

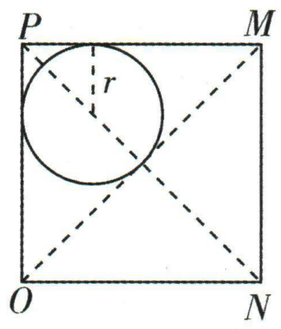
(2)若粒子恰好未从四棱柱的侧面飞出，求匀强磁场的磁感应强度 B 的大小.

解析 (1)粒子在电场中做类平抛运动，沿 AD 方向有 $\frac{\sqrt{2}}{2}L=v_0t$，沿 y 轴方向有 $\frac{\sqrt{6}}{6}L=\frac{1}{2}at^2$，沿 y 轴方向的加速度 $a=\frac{qE}{m}$，解得匀强电场的电场强度大小为 $E=\frac{2\sqrt{6}mv_0^2}{3qL}$.

(2)粒子到达 *OPMN* 的中心，如图甲所示，平行于正四棱柱底面的分速度大小始终为 v_0，带电粒子在平行于正四棱柱底面的方向上做匀速圆周运动，恰好不从四棱柱的侧面飞出，作出圆轨迹如图乙所示(提示：立体空间模型考虑降维法转化为二维平面模型)



甲



乙

由几何关系可得 $r+\frac{r}{\cos 45°}=\frac{\sqrt{2}}{2}L$，解得粒子做圆周运动的半径 $r=\frac{2-\sqrt{2}}{2}L$，由洛伦兹力提供粒子做圆周运动的向心力，可得 $qv_0B=m\frac{v_0^2}{r}$，解得 $B=\frac{(2+\sqrt{2})mv_0}{qL}$.

答案 (1)$\frac{2\sqrt{6}mv_0^2}{3qL}$　(2)$\frac{(2+\sqrt{2})mv_0}{qL}$

考法5　带电粒子在叠加场中的运动

1. 静止或匀速直线运动：当带电粒子在叠加场中所受合外力为零时，将处于静止状态或匀速直线运动状态.

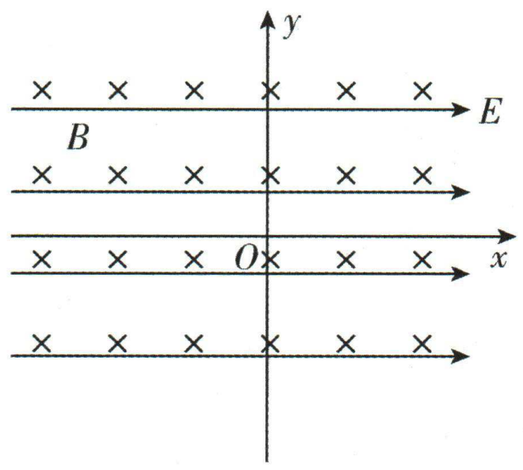
2. 匀速圆周运动：当带电粒子所受的重力与电场力大小相等、方向相反时，带电粒子在洛伦兹力的作用下，在垂直于匀强磁场的平面内做匀速圆周运动.

重难解读

3. 一般的曲线运动：当带电粒子所受合外力的大小和方向均变化，且与初速度方向不在同一条直线上时，粒子做非匀变速曲线运动，这时粒子运动轨迹既不是圆弧，也不是抛物线，此时，可使用配速法求解.

例5 [黑龙江哈尔滨 2025 二模]如图所示，在竖直面内建立直角坐标系，x 轴水平向右，y 轴竖直向上，空间中存在水平向右的匀强电场 E 和垂直于纸面向内的匀强磁场 B，已知电场强度 $E=5$ V/m，磁感应强度 $B=0.5$ T. 在坐标原点向该平面内射出一质量为 $m=1\times10^{-6}$ kg、电荷量为 $q=2\times10^{-6}$ C 的带正电微粒(可视为点电荷，重力不可忽略)，微粒恰能在 xOy 坐标平面内做直线运动. (g 取 10 m/s^2)

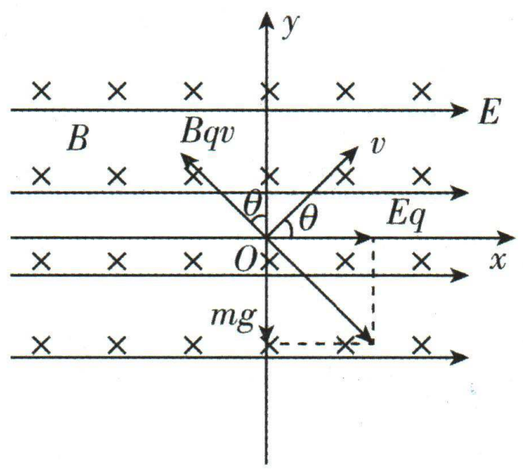
(1)求微粒发射时的速度大小和方向；



(2)如果发射微粒时电场方向改为竖直向上，大小不变，求微粒距 y 轴最远时的位置坐标；

(3)如果发射微粒时撤去电场，则微粒运动的最大速度是多少？速度最大时微粒与 x 轴的距离是多少？

解析 (1)微粒做匀速直线运动，受力如图所示，



带电微粒所受重力为 $mg=1\times10^{-6}\times10$ N$=1\times10^{-5}$ N，

受电场力为 $Eq=5\times2\times10^{-6}$ N$=1\times10^{-5}$ N，

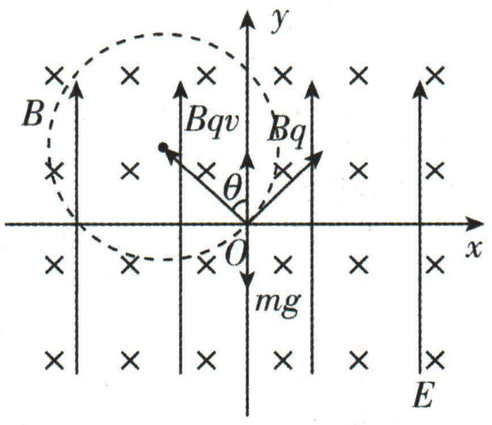
设速度方向与 x 轴正方向夹角为 θ，则 $\tan\theta=\frac{Eq}{mg}=1$，

则 $\theta=45°$，

洛伦兹力 $f=qvB=\frac{Eq}{\sin\theta}$，

$v=10\sqrt{2}$ m/s.

(2)若电场方向竖直向上，大小不变，则重力与电场力平衡，粒子在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动，受力和运动如图



由洛伦兹力提供向心力得 $qvB=m\frac{v^2}{r}$，

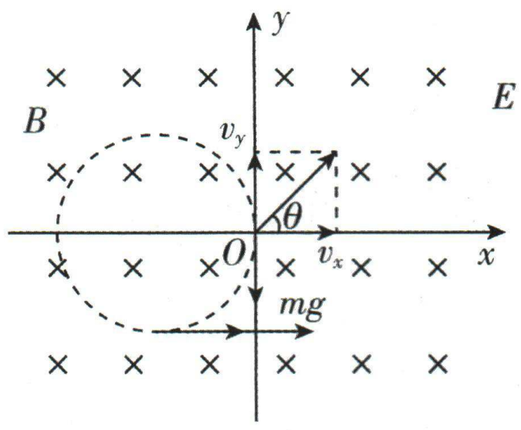
解得半径 $r=10\sqrt{2}$ m，

微粒运动到距 y 轴最远处时，横坐标 $x=-(r+r\sin\theta)=-10(1+\sqrt{2})$ m，

纵坐标 $y=r\cos\theta=10$ m，

则此时微粒的位置坐标为 $[-10(1+\sqrt{2})\text{ m},10\text{ m}]$.

(3)若释放微粒时撤去电场,将微粒在 O 点的速度 v 分解为 v_x 和 v_y,如图所示,则 $v_x = v\cos\ \theta = 10\ \text{m/s}$, $v_y = v\sin\ \theta = 10\ \text{m/s}$,沿 y 轴正方向的洛伦兹力 $f_y = qv_xB = 1\times10^{-5}\ \text{N} = mg$,则微粒的一个分运动:沿 x 轴正方向以 v_x 做匀速直线运动;另外一个分运动以 v_y 做逆时针方向匀速圆周运动,则运动到最低点时,两分运动速度同向,此时微粒速度达到最大 $v_{max} = v_x + v_y = 20\ \text{m/s}$,根据动能定理可得 $mgd = \frac{1}{2}mv_{max}^2 - \frac{1}{2}mv^2$,则 $d = 10\ \text{m}$.



答案 (1)$v = 10\sqrt{2}\ \text{m/s}$,速度方向与 x 轴正方向夹角为 45° (2)$[-10(1+\sqrt{2})\ \text{m}, 10\ \text{m}]$ (3)20 m/s,10 m

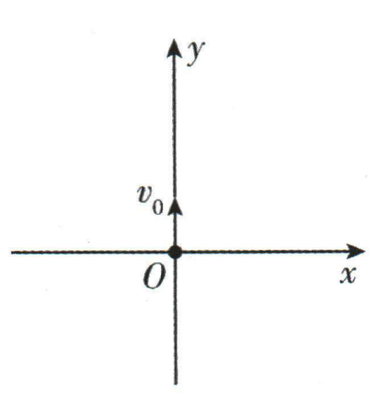
考法6 带电粒子在交变电、磁场中的运动

1. 解决带电粒子在交变电、磁场中的运动问题的基本思路

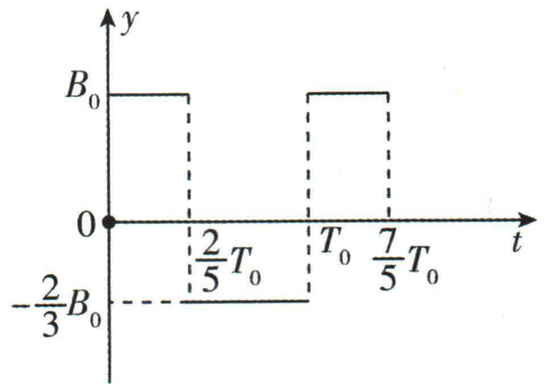
先读题看图	看清并且明白场的变化情况
受力分析	分析粒子在不同的变化场区的受力情况
过程分析	分析粒子在不同时间段内的运动情况
找衔接点	找出衔接相邻两过程的物理量
选规律	联立不同阶段的方程求解

关键点:带电粒子在交变磁场中运动的阶段要先计算出运动周期和交变周期间的倍数关系,以便确定转过的角度.

例6 [河北邯郸部分学校2025月考]如图甲所示,平面直角坐标系 xOy 的第一象限(含坐标轴)内有垂直平面周期性变化的均匀磁场(未画出),规定垂直 xOy 平面向里的磁场方向为正,磁场变化规律如图乙所示,已知 $t=0$ 时磁感应强度大小为 B_0,不计粒子重力及磁场变化影响. 某一带负电的粒子质量为 m、电荷量为 q,在 $t=0$ 时从坐标原点沿 y 轴正向射入磁场中,将磁场变化周期记为 T_0,要使粒子在 $t=T_0$ 时距 y 轴最远,则 T_0 的值为 ( )



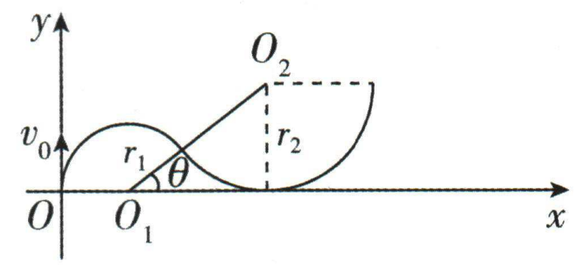
甲



乙

A. $\frac{143\pi m}{72qB_0}$ B. $\frac{2\pi m}{qB_0}$ C. $\frac{3\pi m}{qB_0}$ D. $\frac{143\pi m}{144qB_0}$

解析 粒子在磁场中做匀速圆周运动,0~$\frac{2}{5}T_0$ 时间内,有 $qv_0B_0 = m\frac{v_0^2}{r_1}$,解得 $r_1 = \frac{mv_0}{qB_0}$,周期为 $T_1 = \frac{2\pi r_1}{v_0} = \frac{2\pi m}{qB_0}$,$\frac{2}{5}T_0 \sim T_0$ 时间内,有 $qv_0\times\frac{2}{3}B_0 = m\frac{v_0^2}{r_2}$,解得 $r_2 = \frac{3mv_0}{2qB_0} = 1.5r_1$,周期为 $T_2 = \frac{2\pi r_2}{v_0} = \frac{3\pi m}{qB_0} = 1.5T_1$,要求在 T_0 时,粒子距 y 轴最远(提示:磁场只存在于第一象限内,粒子在 $t=T_0$ 时距 y 轴最远,说明粒子在此期间内没有离开第一象限),作出粒子运动轨迹如图,根据几何关系,可得 $\sin\theta = \frac{r_2}{r_1+r_2} = 0.6$,解得 $\theta = 37°$,则 0~$\frac{2}{5}T_0$ 时间内粒子做圆周运动转过的圆心角为 $\pi-\theta = 143°$,可得 $\frac{2}{5}T_0 = \frac{143°}{360°}T_1$,联立解得 $T_0 = \frac{143\pi m}{72qB_0}$,故选 A.



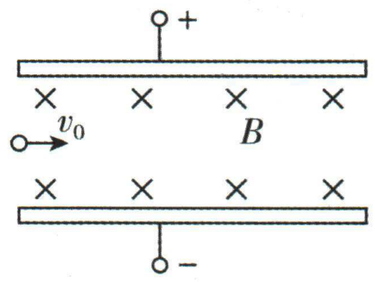
答案 A

重难29▸现代科学仪器结构

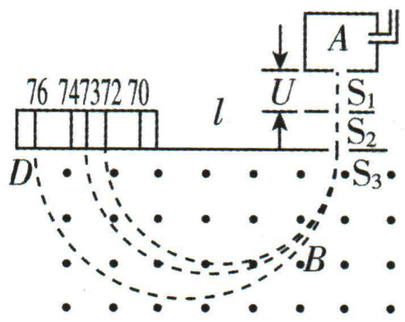
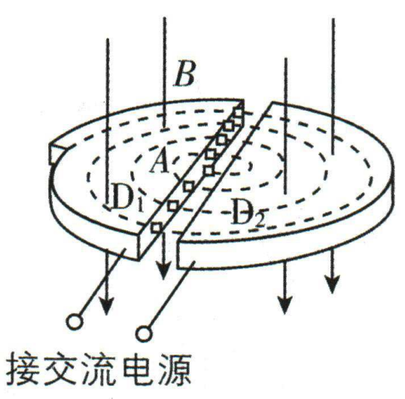
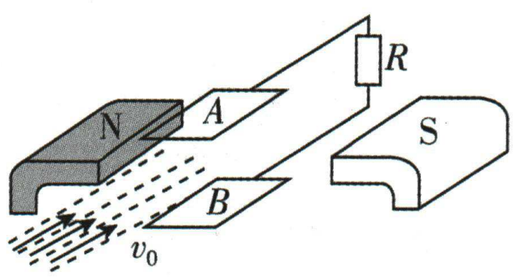
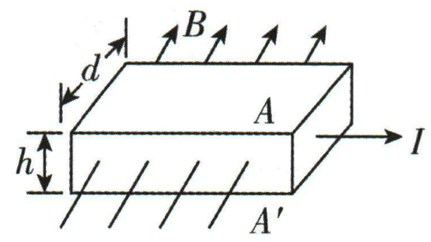
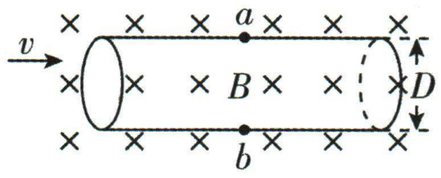
链接练习册 P167T8

重难解读

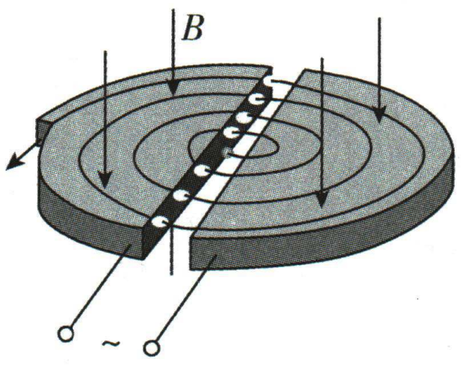
考法7 几种常见仪器的工作原理

仪器	构造	原理示意图	工作原理
速度选择器	平行金属板间存在互相垂直的电场、磁场		带电粒子能够沿直线匀速通过速度选择器的条件是 $qvB = qE$,即 $v = \frac{E}{B}$;速度选择器只能选择粒子的速度,不能选择粒子的电性、电荷量、质量

续表

仪器	构造	原理示意图	工作原理
质谱仪	由粒子源、加速电场、偏转磁场、照相底片等组成		带电粒子由静止被加速电场加速,在磁场中做匀速圆周运动 (1)加速电场:$qU=\frac{1}{2}mv^2$ (2)偏转磁场:$qvB=\frac{mv^2}{r}$,$l=2r$;由以上两式可得 $r=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$,$m=\frac{qr^2B^2}{2U}$,$\frac{q}{m}=\frac{2U}{B^2r^2}$
回旋加速器	两个半圆D形金属盒,D形盒的缝隙处接交流电源,D形盒处于匀强磁场中		交变电流的周期和粒子做匀速圆周运动的周期相等,带电粒子在做圆周运动过程中每次经过D形盒缝隙都会被电场加速 最大动能:由 $qv_mB=\frac{mv_m^2}{R}$、$E_{km}=\frac{1}{2}mv_m^2$ 得 $E_{km}=\frac{q^2B^2R^2}{2m}$,对于给定的粒子,其获得的最大动能由磁感应强度 B 和D形盒半径 R 决定,与加速电压无关 总时间:粒子在磁场中运动一个周期,被电场加速两次,每次增加动能 qU,加速次数 $n=\frac{E_{km}}{qU}$,粒子在磁场中运动的总时间 $t=\frac{n}{2}T=\frac{E_{km}}{2qU}\cdot\frac{2\pi m}{qB}=\frac{\pi BR^2}{2U}$
磁流体发电机	等离子体(即高温下电离的气体,含有大量的正、负带电粒子)喷入匀强磁场		等离子体射入,受洛伦兹力偏转,使两极板带正、负电荷,两极电压为 U 时稳定,有 $q\frac{U}{d}=qv_0B$,故 $U=v_0Bd$ 电源正、负极判断:根据左手定则可判断出图中的 B 板是发电机的正极
霍尔元件	匀强磁场中放置一矩形截面的载流导体,磁场方向与电流方向垂直		导体在与磁场、电流方向都垂直的方向上出现电势差,即霍尔电压 U,稳定时有 $qvB=q\frac{U}{h}$,$I=nqvS$,$S=hd$,联立得 $U=\frac{BI}{nqd}=k\frac{BI}{d}$,其中 $k=\frac{1}{nq}$ 称为霍尔系数 电势高低的判断:如图所示,若金属导体中的电流 I 向右时,载流子是电子,根据左手定则可知其下表面 A' 的电势高
电磁流量计	非磁性材料制成的圆形导管,处于匀强磁场中,导电液体充满导管		稳定时有 $\frac{U}{D}q=qvB$,所以 $v=\frac{U}{DB}$,液体流量 $Q=vS=\frac{U}{DB}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2=\frac{\pi UD}{4B}$ 电势高低的判断:根据左手定则可得 $\varphi_a>\varphi_b$

例7 [河北市级联考2025期中](多选)如图所示,回旋加速器D形盒半径为 R,狭缝宽为 d,所加匀强磁场的磁感应强度可调,所加高频交变电源电压的频率为 f. 质量为 m、电荷量为 q 的质子从左半盒的圆心附近由静止出发,经加速、偏转等过程,达到最大动能后由导向板处射出,忽略质子在狭缝加速运动的时间. α粒子的质量为 $4m$、电荷量为 $2q$. 下列说法中正确的是 (　　)



A. 加速质子时,磁场的磁感应强度为 $\frac{\pi mf}{q}$

B. 质子经过加速获得的最大动能为 $2\pi^2mf^2R^2$

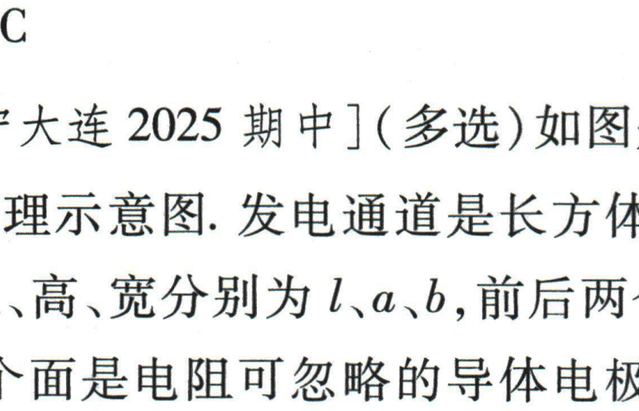
C. 用该加速器加速 α 粒子时，需要将磁场的磁感应强度调为 $\frac{4\pi mf}{q}$

D. 用该加速器加速 α 粒子时，粒子经过加速获得的最大动能为 $4\pi^2mf^2R^2$

解析 由题意可知质子在磁场中运动的周期 $T=\frac{1}{f}$，质子在磁场中运动时由洛伦兹力提供向心力，有 $qvB=m\frac{v^2}{r}$，粒子运动周期为 $T=\frac{2\pi r}{v}$，联立解得 $B=\frac{2\pi mf}{q}$，故 A 错误；当质子的运动半径为 R 时速度最大，即动能最大，有 $v_m=2\pi fR$，所以此时质子的动能 $E_{kmax1}=\frac{1}{2}mv_m^2=2\pi^2mf^2R^2$，故 B 正确；由题意可知 α 粒子在磁场中运动的周期 $T=\frac{1}{f}$，α 粒子在磁场中运动时，由洛伦兹力提供向心力，有 $2qvB'=4m\frac{v^2}{r}$，粒子运动周期为 $T=\frac{2\pi r}{v}$，联立解得 $B'=\frac{4\pi mf}{q}$，故 C 正确；当 α 粒子的运动半径为 R 时速度最大，即动能最大，有 $v_m'=2\pi fR$，所以此时 α 粒子的动能 $E_{kmax2}=\frac{1}{2}\times4mv_m'^2=8\pi^2mf^2R^2$，故 D 错误.

答案 BC

例 8 [辽宁大连 2025 期中]（多选）如图是磁流体发电机工作原理示意图. 发电通道是长方体结构，其中空部分的长、高、宽分别为 l、a、b，前后两个面是绝缘体，上下两个面是电阻可忽略的导体电极，这两个电极与负载电阻 R 相连. 发电通道处于匀强磁场中，磁感应强度为 B，方向如图所示. 发电通道内有电阻率为 ρ 的高温等离子电离气体沿通道以速度 v 向右流动，运动的电离气体受到磁场作用，使发电通道上下表面间产生了电势差. 下列说法正确的是 （ ）



A. 上表面的导体电极可视为电源的负极

B. 磁流体发电机的内阻为 $\rho\frac{l}{ab}$

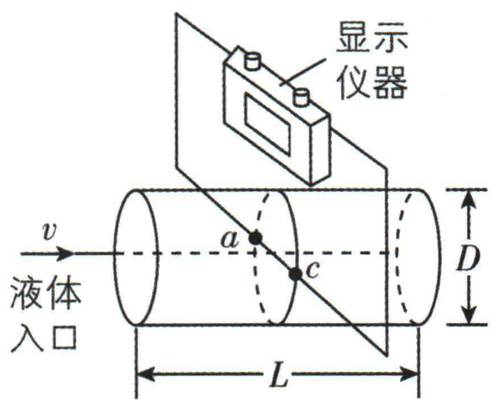
C. 作为电源，磁流体发电机的电动势为 Bav

D. 闭合开关 S，通过电阻 R 的电流为 $\frac{Bablv}{blR+\rho a}$

解析 根据左手定则可知，电离气体中正离子向上偏，负离子向下偏，上表面的导体电极可视为电源的正极，A 错误；根据电阻定律可知，发电机的内阻为 $r=\rho\frac{a}{bl}$，B 错误；当发电通道上下表面间的电势差稳定时，有 $\frac{E}{a}q=Bqv$，解得电动势 $E=Bav$，C 正确；根据闭合电路欧姆定律可知，通过电阻 R 的电流为 $I=\frac{E}{R+r}=\frac{Bablv}{blR+\rho a}$，D 正确.

答案 CD

例 9 [山东青岛二中 2025 期中]某化工厂的排污管末端安装如图所示的电磁流量计. 流量计处于方向竖直向下的匀强磁场中，其测量管由绝缘材料制成，长为 L、直径为 D，左右两端开口，在前后两个内侧面 a、c 固定有金属板作为电极. 当污水（含有大量的正、负离子）充满管口从左向右流经该测量管时，稳定后 a、c 两端的电压为 U，显示仪器显示污水流量为 Q（单位时间内排出的污水体积）. 下列说法正确的是 （ ）



A. 匀强磁场的磁感应强度 $B=\frac{\pi DU}{4Q}$

B. a 侧电势比 c 侧电势低

C. 污水中离子浓度越高，显示仪器的示数越大

D. 污水流量 Q 与 U 成正比，与 L、D 无关

解析 流量 $Q=Sv=\pi\frac{D^2}{4}v$，又因为电场力等于洛伦兹力，达到平衡时，电势差稳定，即 $qvB=qE$，$E=\frac{U}{D}$，解得 $U=BDv$，U 的大小与粒子浓度无关，联立得流量 $Q=\frac{\pi DU}{4B}$，$B=\frac{\pi DU}{4Q}$，故 A 正确，C、D 错误；磁场方向竖直向下，由左手定则，污水中的正离子聚集到 a 端，负离子聚集到 c 端，a 侧电势比 c 侧电势高，B 错误.

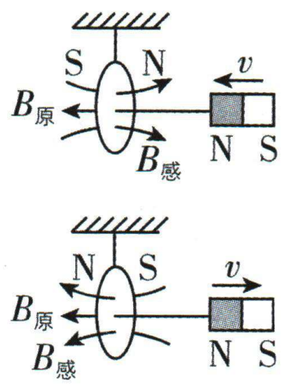
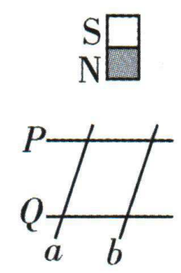
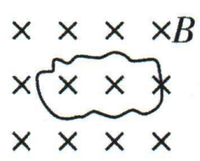
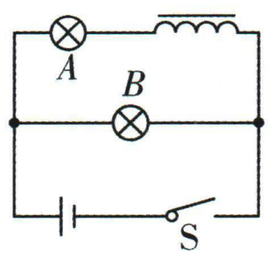
答案 A

第12章 电磁感应

重难30▸楞次定律的应用

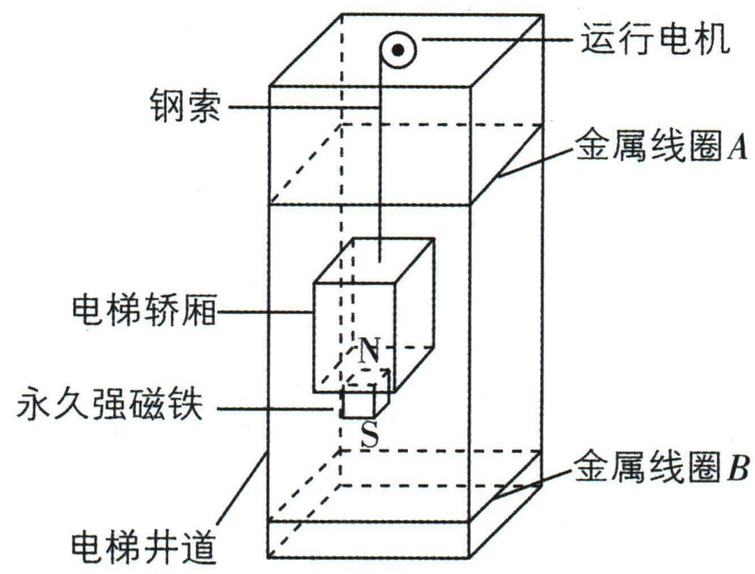
链接练习册 P174T3

考法1 楞次定律的四种应用技巧

适用情况	应用技巧	图例
回路中磁通量变化	增反减同	 磁铁靠近，$B_{感}$、$B_{原}$ 反向，二者相斥；磁铁远离，$B_{感}$、$B_{原}$ 同向，二者相吸
导体（线圈）与磁场间的相对运动	来拒去留	
回路面积有扩大或缩小的趋势	增缩减扩（注意：此结论只适用于磁感线单方向穿过回路的情境，本质是感应电流在磁场中受到安培力）	P、Q 是光滑固定导轨，a、b 是可动金属棒，磁体下移（上移），a、b 靠近（远离），使回路面积有缩小（扩大）的趋势 
		 B 增大，线圈收缩；B 减小，线圈扩张
导体自身电流发生变化（自感）	增反减同	 合上S，再断开S时，原电流减小，线圈中的感应电流方向与原电流方向相同

【说明】感应电流的效果总是反抗引起感应电流的原因.

例1 [广东深圳大学附中2024月考](多选)某同学设想的减小电梯坠落时造成伤害的一种应急安全装置如图所示，在电梯轿厢底部安装永久强磁铁，磁铁N极朝上，电梯井道内壁上铺设若干金属线圈，线圈在电梯轿厢坠落时能自动闭合，从而减小对箱内人员的伤害. 当电梯轿厢坠落到图示位置时，下列说法正确的是 (　　)



A. 从上往下看，金属线圈 A 中的感应电流沿逆时针方向

B. 从上往下看，金属线圈 B 中的感应电流沿逆时针方向

C. 金属线圈 B 对电梯轿厢下落有阻碍作用，A 没有阻碍作用

D. 金属线圈 B 有收缩的趋势，A 有扩张的趋势

解析 当电梯坠落至如图位置时，闭合线圈 A 中向上的磁场减弱，感应电流的方向从上往下看是逆时针方向，B 中向上的磁场增强，感应电流的方向从上往下看是顺时针方向，故B错误，A正确(提示：增反减同)；结合A、B项的分析可知，当电梯坠落至如图所示的位置时，闭合线圈 A、B 都在阻碍电梯下落，故C错误(提示：来拒去留)；闭合线圈 A 中向上的磁场减弱，B 中向上的磁场增强，根据楞次定律可知，线圈 B 有收缩的趋势，A 有扩张的趋势，故D正确(提示：增缩减扩).

答案 AD

重难 31▸法拉第电磁感应定律的应用

链接练习册 P177T3

考法 2　感应电动势的求解

通用公式：法拉第电磁感应定律 $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，其中 n 为线圈匝数.

(1)当 $\Delta\Phi$ 仅由 B 的变化引起时即为感生电动势，即 $E=nS\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$，其中 S 为线圈在磁场中的有效面积.

若 $B=B_0+kt$，则 $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=k$.

(2)当 $\Delta\Phi$ 仅由 S 的变化引起时即为动生电动势，$E=nB\dfrac{\Delta S}{\Delta t}=nBLv$.

(3)当 B、S 同时变化时即动生电动势和感生电动势并存，则 $\overline{E}=n\dfrac{B_2S_2-B_1S_1}{\Delta t}\neq n\dfrac{\Delta B\cdot\Delta S}{\Delta t}$. 求瞬时值时，分别求出动生电动势 E_1 和感生电动势 E_2 并进行叠加.

考法 3　动生电动势的求解

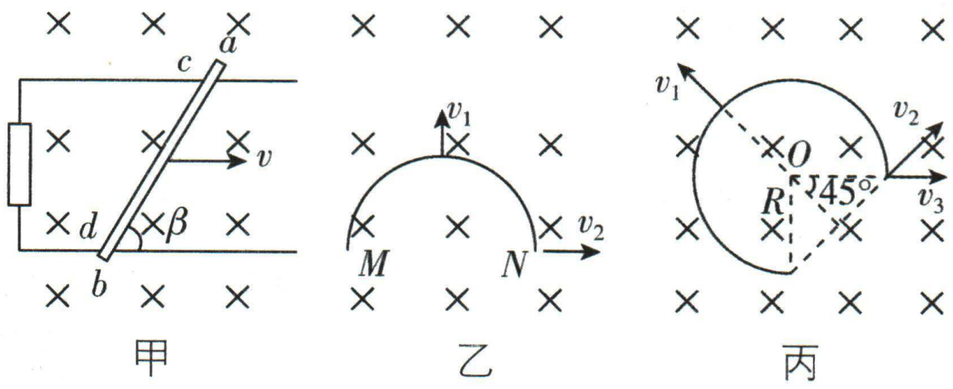
此类模型有三种情况：导体动磁场不动、磁场动导体不动、磁场与导体都动.

导体平动切割磁感线产生感应电动势(动生电动势)的计算式为 $E=Blv$，若涉及 n 匝线圈，则感应电动势为 $E=nBlv$.

(1)正交性：磁场是匀强磁场且 B、l、v 三者相互垂直.

(2)对应性：v 为平均速度，则 E 为平均感应电动势；v 为瞬时速度，则 E 为瞬时感应电动势.

(3)有效性：l 为有效切割长度，即导体与 v 垂直方向上的投影长度.



甲图：$l=cd\sin\beta$；

乙图：沿 v_1 方向运动时，$l=MN$；沿 v_2 方向运动时，$l=0$；

丙图：沿 v_1 方向运动时，$l=\sqrt{2}R$；沿 v_2 方向运动时，$l=0$；沿 v_3 方向运动时，$l=R$.

(4)相对性：速度 v 是相对于磁场的运动速度，若磁场也运动，应注意速度间的相对关系.

(5)导体棒转动切割磁感线时，速度代入导体棒的中点的速度.

如图 1，当长为 l 的导体在垂直于匀强磁场(磁感应强度为 B)的平面内，绕一端以角速度 ω 匀速转动，当导体运动 Δt 时间后，转过的弧度 $\theta=\omega\Delta t$，扫过的面积 $\Delta S=\dfrac{1}{2}l^2\omega\Delta t$，则 $E=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{B\Delta S}{\Delta t}=\dfrac{1}{2}Bl^2\omega$(或 $E=B\bar{l}v=Bl\dfrac{v_A+v_C}{2}=\dfrac{1}{2}Bl^2\omega$).

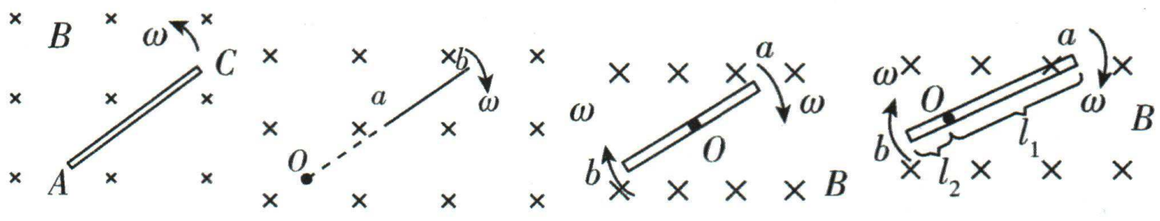
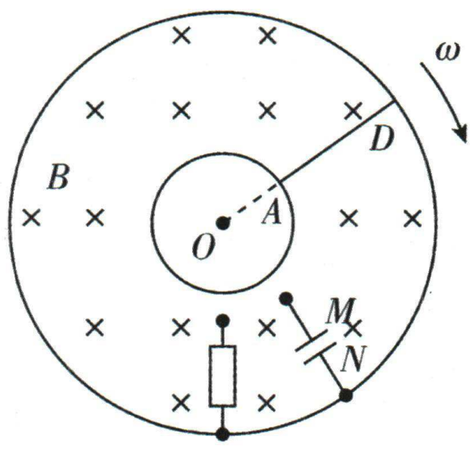


图 1　图 2　图 3　图 4

注意变式：

①图 2：$v=\dfrac{v_a+v_b}{2}=\dfrac{\omega(l_a+l_b)}{2}$，$E_2=B(l_b-l_a)\cdot\dfrac{\omega(l_a+l_b)}{2}$. ②图 3：$E_3=0$. ③图 4：$E_4=\dfrac{1}{2}B\omega(l_1^2-l_2^2)$.

例 2　[安徽六安 2024 模拟预测](多选)半径分别为 l 和 $3l$ 的同心圆形导轨固定在同一水平面内，一长为 $2l$、电阻为 R 的均匀金属棒 AD 置于圆导轨上面，DA 的延长线通过圆导轨中心 O，装置的俯视图如图所示，整个装置位于一匀强磁场中，磁感应强度的大小为 B，方向竖直向下. 在两环之间接阻值也为 R 的定值电阻和电容为 C 的电容器. 金属棒在水平外力作用下以角速度 ω 绕 O 顺时针匀速转动，在转动过程中始终与导轨保持良好接触，导轨电阻不计. 下列说法正确的是　(　　)



A. 电容器的 M 板带负电

B. 金属棒两端电压为 $4B\omega l^2$

C. 电容器所带电荷量为 $2CB\omega l^2$

D. 将金属棒转动角速度由 ω 变为 2ω，金属棒运动一周通过 R 的电荷量变为原来的 2 倍

解析　金属棒 AD 转动做切割磁感线运动，产生感应电动势，金属棒 AD 相当于电源，由右手定则可知 D 端电势高，A 端电势低，可知电容器的 M 板带负电，A 正确；金属棒 AD 转动做切割磁感线运动，产生感应电动势为 $E=B\dfrac{(3l+l)\omega}{2}\times2l=4B\omega l^2$(提示：导体棒旋转切割磁感线求感应电动势时，速度代入棒的中点的速度)，由闭合电路欧姆定律可得 $U_{DA}=E-IR=4B\omega l^2-\dfrac{4B\omega l^2}{R+R}R=2B\omega l^2$，B 错误；由电容的定义式 $C=\dfrac{Q}{U}$ 可得，电

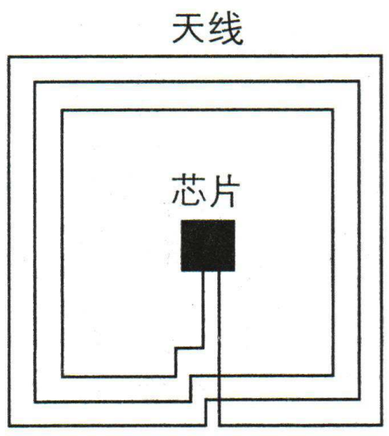
容器所带电荷量为 $Q=CU_{DA}=2CB\omega l^2$，C 正确；将金属棒转动角速度由 ω 变为 2ω，则金属棒 AD 转动产生感应电动势为 $E'=B\dfrac{(3l+l)\times 2\omega}{2}\times 2l=8B\omega l^2$，由闭合电路欧姆定律可得此时电路中的电流为 $I'=\dfrac{E'}{R+R}$，由电流的定义式 $I=\dfrac{q}{t}$ 可得，金属棒运动一周通过 R 的电荷量 $q=I't=\dfrac{8B\omega l^2}{2R}\times\dfrac{2\pi}{2\omega}=\dfrac{4\pi Bl^2}{R}$，可知金属棒运动一周通过 R 的电荷量与金属棒转动角速度 ω 无关，D 错误.

答案 AC

考法 4 感生电动势的求解

当磁感应强度 B 随时间 t 变化时，产生的是感生电动势，其求解公式为 $E=nS\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$.

例 3 [湖北 2023 · 5，4 分] 近场通信(NFC)器件应用电磁感应原理进行通讯，其天线类似一个压平的线圈，线圈尺寸从内到外逐渐变大. 如图所示，一正方形 NFC 线圈共 3 匝，其边长分别为 1.0 cm、1.2 cm 和 1.4 cm，图中线圈外线接入内部芯片时与内部线圈绝缘. 若匀强磁场垂直通过此线圈，磁感应强度变化率为 10^3 T/s，则线圈产生的感应电动势最接近 (　　)

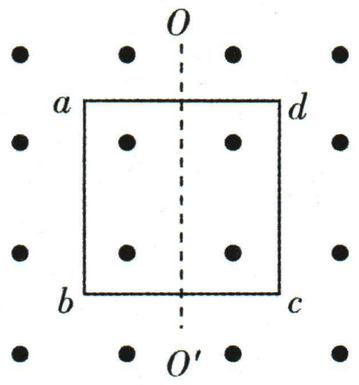


A. 0.30 V　　B. 0.44 V　　C. 0.59 V　　D. 4.3 V

解析 每一匝线圈内都产生感应电动势，且是相叠加的关系(提示：因为每匝线圈的大小不一，故无法使用 N 乘以单匝电动势的思路，且多匝线圈的电磁感应现象在本质上是单匝叠加)，根据法拉第电磁感应定律可得 $E=(S_1+S_2+S_3)\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=0.44$ V，B 正确.

答案 B

例 4 [浙江 2024 年 6 月 · 13，3 分] 如图所示，边长为 1 m、电阻为 0.04 Ω 的刚性正方形线框 $abcd$ 放在匀强磁场中，线框平面与磁场垂直。若线框固定不动，磁感应强度以 $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=0.1$ T/s 均匀增大时，线框的发热功率为 P；若磁感应强度恒为 0.2 T，线框以某一角速度绕其中心轴 OO' 匀速转动时，线框的发热功率为 $2P$，则 ab 边所受最大的安培力为 (　　)



A. $\dfrac{1}{2}$ N　　B. $\dfrac{\sqrt{2}}{2}$ N　　C. 1 N　　D. $\sqrt{2}$ N

解析 线框固定，磁感应强度均匀增大，感生电动势为 $E_1=\dfrac{\Delta B}{\Delta t}S=\dfrac{\Delta B}{\Delta t}L^2=0.1$ V，那么线框发热功率为 $P=\dfrac{E_1^2}{R}$；线框匀速转动，动生电动势有效值为 $E_2=\dfrac{\sqrt{2}}{2}BS\omega$，那么线框电功率为 $2P=\dfrac{E_2^2}{R}$，联立可得 $E_2=\sqrt{2}E_1$，ab 边受到的最大安培力为 $F_A=I_mLB=\dfrac{\sqrt{2}E_2}{R}LB$，代入数据得 $F_A=1$ N，C 正确.

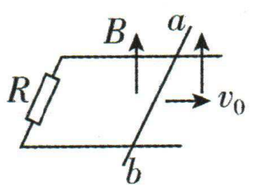
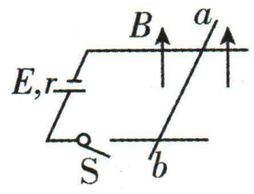
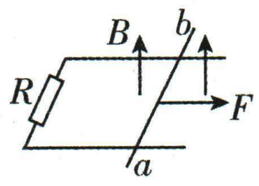
答案 C

重难 32 ▸ 电磁感应中的“杆+导轨”模型

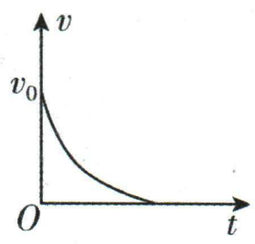
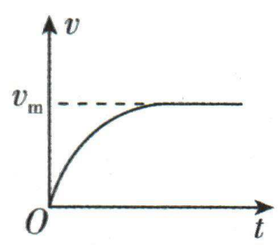
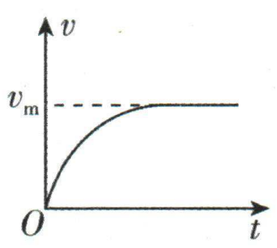
● 链接练习册 P181T4

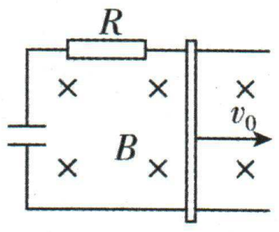
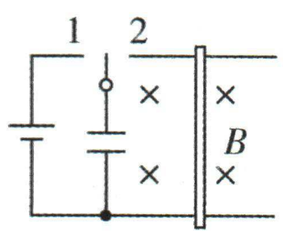
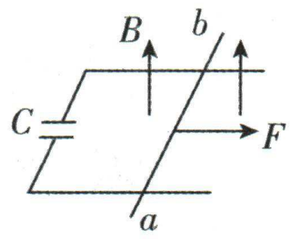
重难解读

考法 5 单杆模型

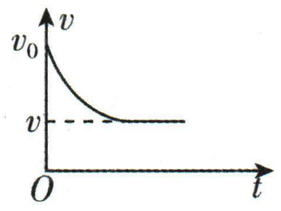
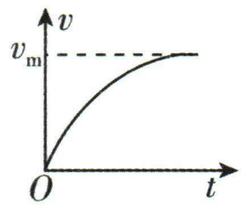
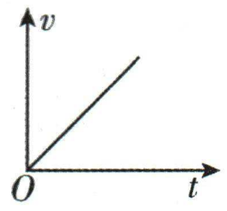
种类	阻尼式	电动式	发电式
示意图			
	质量为 m、电阻不计的单杆 ab 初速度为 v_0，两光滑平行导轨间距为 L	单杆 ab 质量为 m、电阻不计，两光滑平行导轨间距为 L	单杆 ab 质量为 m、电阻不计，两光滑平行导轨间距为 L，拉力 F 恒定

续表

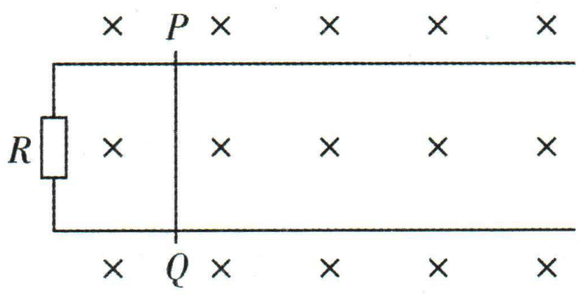
种类	阻尼式	电动式	发电式
动力学观点及收尾状态	单杆以速度 v 切割磁感线产生感应电动势 $E=BLv$，电流 $I=\frac{E}{R}=\frac{BLv}{R}$，安培力 $F=BIL=\frac{B^2L^2v}{R}$，做减速运动：$v\downarrow\Rightarrow F\downarrow\Rightarrow a\downarrow$，当 $v=0$ 时，$F=0$，$a=0$，单杆保持静止	S闭合，单杆 ab 受到的安培力 $F=\frac{BLE}{r}$，此时 $a=\frac{BLE}{mr}$，单杆 ab 速度 $v\uparrow\Rightarrow$感应电动势 $BLv\uparrow\Rightarrow I\downarrow\Rightarrow$安培力 $F=BIL\downarrow\Rightarrow$加速度 $a\downarrow$，当 $E_{感}=E$ 时，v 最大，且 $v_m=\frac{E}{BL}$	开始时 $a=\frac{F}{m}$，单杆 ab 速度 $v\uparrow\Rightarrow$感应电动势 $E=BLv\uparrow\Rightarrow I\uparrow\Rightarrow$安培力 $F_{安}=BIL\uparrow$，由 $F-F_{安}=ma$ 知 $a\downarrow$，当 $a=0$ 时，v 最大，$v_m=\frac{FR}{B^2L^2}$
图像观点			
能量观点	动能全部转化为内能：$Q=\frac{1}{2}mv_0^2$	电源输出的电能转化为动能 $W_{出}=\frac{1}{2}mv_m^2$	F 做的功一部分转化为单杆的动能，一部分产生电热：$W_F=Q+\frac{1}{2}mv_m^2$
动量观点	涉及速度 v、电荷量 q、运动时间 t、运动位移 x 时可选用动量定理 （安培力冲量 $I_{安}=\bar{B}\bar{I}L\cdot\Delta t=BqL$）		

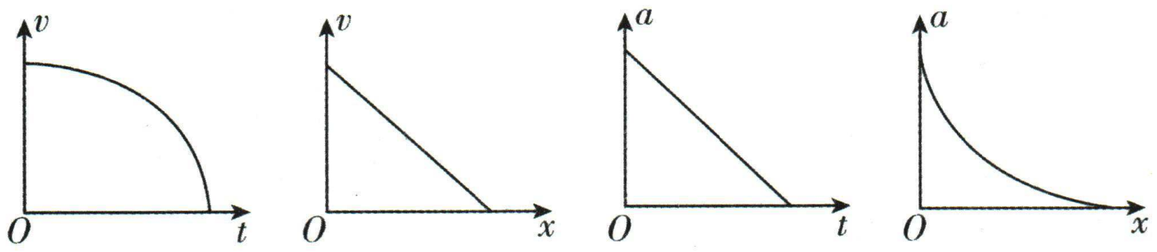
种类	无外力充电式	无外力放电式	有外力充电式
示意图	 两光滑平行导轨间距为 L，导体棒质量为 m、电阻不计，导体棒初速度为 v_0，电阻阻值为 R，电容器电容为 C	 两光滑平行导轨间距为 L，导体棒质量为 m、电阻不计，电源电动势为 E，内阻不计，电容器电容为 C	 导体棒 ab 的质量为 m、电阻不计，两光滑平行导轨间距为 L，拉力 F 恒定
动力学分析及收尾状态	安培力为阻力，导体棒做加速度减小的减速运动，最终匀速运动，此时 $I=0$，但电容器所带电荷量不为零. 对导体棒由动量定理有： $mv_0-mv=\bar{B}\bar{I}L\cdot\Delta t=BLq$ $v=\frac{mv_0}{m+B^2L^2C}$	电容器放电时，导体棒在安培力作用下开始运动，同时阻碍放电，导致电流减小，直至电流为零，此时 $U_C=BLv_m$，导体棒做加速度减小的加速运动，最终匀速运动，$I=0$. 对导体棒由动量定理有： $mv_m=\bar{B}\bar{I}L\cdot\Delta t=BL\Delta q$ $v_m=\frac{BLCE}{m+B^2L^2C}$	开始时 $a_0=\frac{F}{m}$，导体棒 ab 速度 $v\uparrow\Rightarrow$感应电动势 $E=BLv\uparrow$，经过 Δt 速度为 $v+\Delta v$，此时感应电动势 $E'=BL(v+\Delta v)$，Δt 时间内流入电容器的电荷量 $\Delta q=C\Delta U=C(E'-E)=CBL\Delta v$， 电流 $I=\frac{\Delta q}{\Delta t}=CBL\frac{\Delta v}{\Delta t}=CBLa$， 安培力 $F_{安}=BLI=CB^2L^2a$， $F-F_{安}=ma$，$a=\frac{F}{m+B^2L^2C}$，所以导体棒以恒定的加速度做匀加速运动

续表

$v-t$ 图像			

例 5 [河南部分名校 2025 二模]如图所示是我国自主研究设计的舰载机返回航母甲板时电磁减速的简化原理图. 固定在绝缘水平面上足够长的平行光滑金属导轨,左端接有定值电阻,整个装置处在竖直向下的匀强磁场中,导轨的电阻不计. 舰载机等效为电阻不计的导体棒 PQ,当导体棒 PQ 以一定初速度水平向右运动过程中,其速度 v、加速度 a 随运动时间 t 或位移 x 变化的关系图像可能正确的是 (　　)



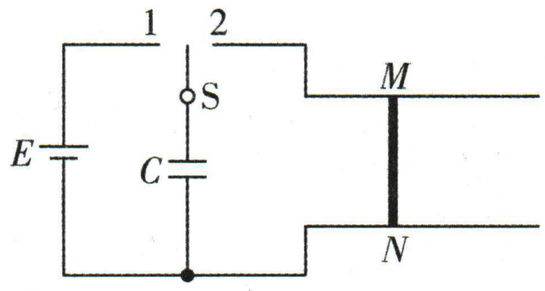


A　　B　　C　　D

解析 导体棒向右运动过程中,根据右手定则和左手定则可知,导体棒受到向左的安培力,则 $BIL=ma$、$I=\frac{E}{R}=\frac{BLv}{R}$,所以导体棒向右做减速运动,加速度大小为 $a=\frac{B^2L^2v}{mR}$,由于速度减小,则加速度减小,所以 $v-t$ 图线切线的斜率应减小(提示:加速度大小和速度大小成正比),故 A 错误;导体棒向右运动过程中,根据动量定理可得 $-B\bar{I}L\cdot\Delta t=mv-mv_0$,$\bar{I}\cdot\Delta t=\frac{BL\bar{v}}{R}\cdot\Delta t=\frac{BLx}{R}$,所以 $v=v_0-\frac{B^2L^2x}{mR}$,所以 $v-x$ 图线为倾斜直线,故 B 正确;根据 $a=\frac{B^2L^2v}{mR}$,可知,速度变化越来越慢,则加速度减小得越来越慢,即 $a-t$ 图线切线的斜率不断减小,故 C 错误;由于 v 与 x 成线性关系,则 a 与 x 成线性关系,故 D 错误.

答案 B

例 6 [福建百校联考 2024 三模](多选)我国第三艘航空母舰"福建号"采用的是电磁弹射装置,其原理可简化为如图所示,直流电源电动势为 E,储能电容器的电容为 C,固定于水平面内的两根间距为 L 的光滑平行金属导轨电阻不计,导轨间存在垂直于导轨平面的磁感应强度大小为 B 的匀强磁场(图中未画出). 金属棒 MN 可视为飞行器,质量为 m,长为 L,阻值为 R,垂直放在两导轨间处于静止状态,并与导轨良好接触. 首先开关 S 接 1,使电容器完全充电;然后将 S 接至 2,MN 开始向右运动,达到最大速度之后离开导轨. 根据上述信息可知 (　　)



A. 匀强磁场的方向应该垂直于导轨平面向下

B. MN 向右做匀加速直线运动

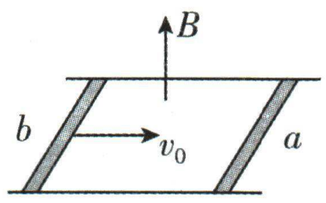
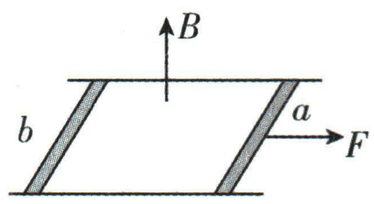
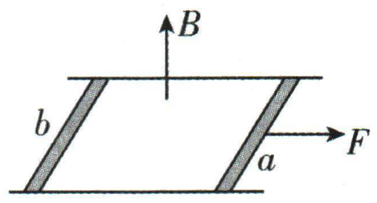
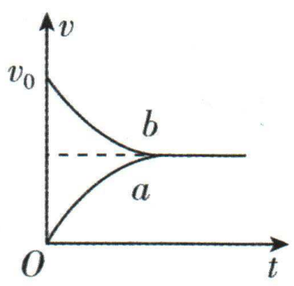
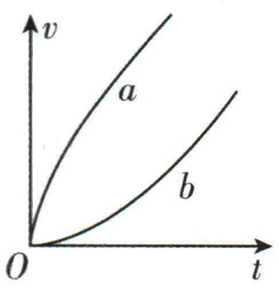
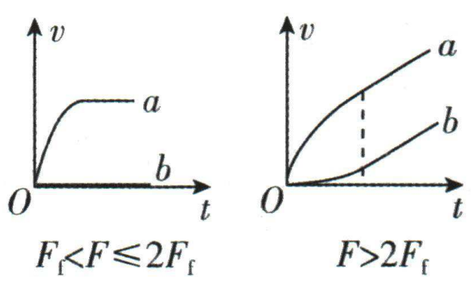
C. 开关 S 接至 2 瞬间,MN 的加速度大小为 $\frac{BLE}{mR}$

D. MN 的最大速度为 $\frac{CBLE}{m+B^2L^2}$

解析 (提示:该题目属于无外力放电式,导体棒最终做匀速运动)S 接至 2,MN 中电流方向从 M 指向 N,MN 开始向右运动,受到安培力向右,由左手定则可知,匀强磁场的方向应该垂直于导轨平面向下,故 A 正确;MN 向右做加速度减小的加速运动,最终做匀速直线运动,故 B 错误;当开关接 2 时,有 $I=\frac{E}{R}$,$F_{安}=BIL$,$F_{安}=ma$,解得 $a=\frac{BLE}{mR}$,故 C 正确;设加速过程中的平均电流为 $\bar{I}$,时间为 t,根据动量定理有 $BL\bar{I}t=mv_m-0$,其中 $\bar{I}t=\Delta q$,$\Delta q=q_0-q=CE-CU=CE-CBLv_m$,有 $v_m=\frac{BLCE}{m+B^2L^2C}$,故 D 错误.

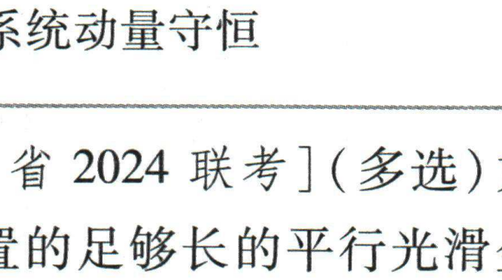
答案 AC

考法 6　等距双杆模型

	光滑的平行导轨(一杆有初速度,a、b 未相碰)	光滑的平行导轨(初速度为零,一杆受恒定水平外力)	不光滑平行导轨(初速度为零,一杆受恒定水平外力)
示意图	 质量 $m_b=m_a$ 电阻 $r_b=r_a$ 长度 $L_b=L_a$	 质量 $m_b=m_a$ 电阻 $r_b=r_a$ 长度 $L_b=L_a$	 摩擦力 $F_{fb}=F_{fa}$ 质量 $m_b=m_a$ 电阻 $r_b=r_a$ 长度 $L_b=L_a$
动力学观点及首尾状态	杆 b 受安培力做变减速运动,杆 a 受安培力做变加速运动,稳定时,两杆的加速度均为零,以相等的速度做匀速运动	开始时,两杆受安培力做变加速运动;稳定时,两杆以相同的加速度做匀加速运动	开始时,若 $F_f<F\leqslant 2F_f$,则 a 杆先变加速后匀速运动,b 杆静止;若 $F>2F_f$,a 杆先变加速后匀加速运动,b 杆先静止后变加速最后和 a 杆同时做匀加速运动,且加速度相同
图像观点			 $F_f<F\leqslant 2F_f$　　$F>2F_f$
能量观点	系统一部分动能转化为内能:$Q=-\Delta E_k$	F 做的功转化为两杆的动能和内能:$W_F=\Delta E_k+Q$	F 做的功转化为两杆的动能和内能(包括电热和摩擦热):$W_F=\Delta E_k+Q_{电}+Q_f$
动量观点	系统动量守恒	系统动量不守恒 对单杆可用动量定理	系统动量不守恒 对单杆可用动量定理

例 7　[东北三省 2024 联考](多选)如图所示,水平放置的足够长的平行光滑金属导轨 ab 和 cd 处在磁感应强度大小为 B、方向竖直向下的匀强磁场中,两导轨间距为 L. 现将质量为 $2m$ 的导体棒 ef 和质量为 m 的导体棒 gh 放置在导轨上,两导体棒的电阻均为 R、长度均为 L. $t=0$ 时刻,给导体棒 ef 水平向右、大小为 $3v_0$ 的初速度,同时也给导体棒 gh 水平向左、大小为 v_0 的初速度,若运动过程中两导体棒未发生碰撞,两导体棒始终与导轨垂直且接触良好,则下列说法正确的是　(　　)

重难解读



A. $t=0$ 时刻,两导体棒受到的安培力大小均为 $\dfrac{3B^2L^2v_0}{2R}$

B. 导体棒 gh 的速度大小为 0 时,导体棒 ef 的速度大小为 $\dfrac{5}{2}v_0$

C. 从两导体棒开始运动到速度不再变化,导体棒 gh 受到安培力的冲量大小为 $\dfrac{2}{3}mv_0$

D. 两导体棒运动过程中,回路中产生的焦耳热为 $\dfrac{16}{3}mv_0^2$

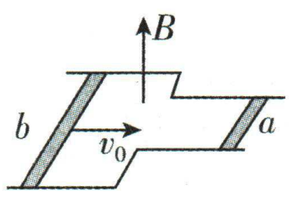
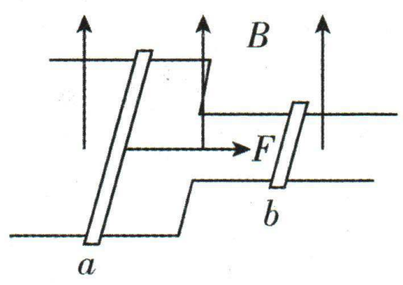
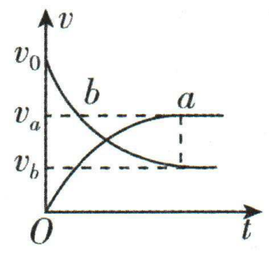
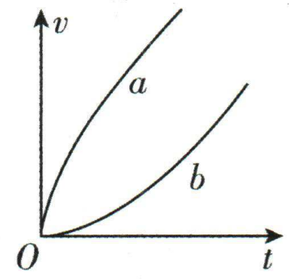
解析　$t=0$ 时刻,整个回路产生的感应电动势大小为 $E=E_1+E_2=4BLv_0$,感应电流的大小 $I=\dfrac{E}{2R}=\dfrac{2BLv_0}{R}$,两导体棒受到的安培力大小均为 $F=BIL=\dfrac{2B^2L^2v_0}{R}$,故 A 错误;导体棒 ef 和导体棒 gh 受到的安培力等大反向,导体棒 ef 和导体棒 gh 组成的系统动量守恒,当导体棒 gh 的速度为 0 时,有 $6mv_0-mv_0=2mv$,导体棒 ef 的速度为 $v=\dfrac{5}{2}v_0$,故 B 正确;(提示:运动过程中,开始阶段电流 $I=\dfrac{BL}{2R}(v_{ef}+v_{gh})$,$v_{ef}$ 和 v_{gh} 均变小,v_{gh} 先减小为 0,之后导体棒 gh 反向加速,此时电流

$I'=\frac{BL}{2R}(v_{ef}-v_{gh})$，$v_{ef}$ 变小，v_{gh} 变大，直至 $a=0$，$I'=0$，$v_{ef}=v_{gh}$，即达到共速）最终两导体棒以相同速度向右匀速运动，设此时速度为 v_1，则有 $6mv_0-mv_0=3mv_1$，解得 $v_1=\frac{5}{3}v_0$，根据动量定理可知导体棒 gh 受到的安培力的冲量 $I_{安}=\frac{5}{3}mv_0-(-mv_0)=\frac{8}{3}mv_0$，故 C 错误；对两导体棒运动过程，根据能量守恒定律可得，回路中产生的焦耳热为 $Q=\frac{1}{2}\times2m\times(3v_0)^2+\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}\times3m\times\left(\frac{5v_0}{3}\right)^2=\frac{16}{3}mv_0^2$，故 D 正确.

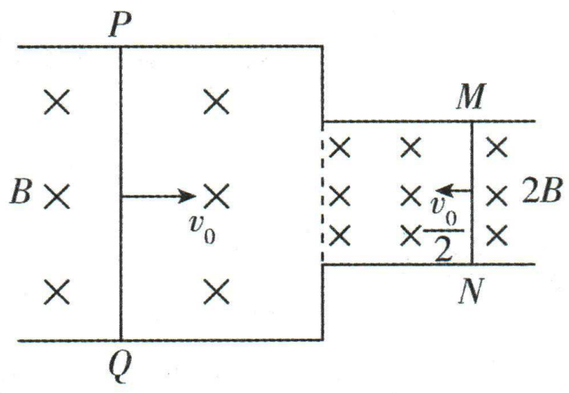
答案 BD

考法 7 不等距双杆模型

重难解读

	光滑不等距平行导轨	光滑有恒定外力不等距导轨
示意图	质量 $m_b=m_a$ 电阻 $r_b=r_a$ 长度 $L_b=2L_a$ 	质量 $m_a=m_1$ $m_b=m_2$ 长度 $l_a=l_1$ $l_b=l_2$ 
动力学观点及首尾状态	杆 b 受安培力做变减速运动，杆 a 受安培力做变加速运动，稳定时，两杆的加速度均为零，两杆分别以不同速度做匀速直线运动，此时有 $BL_av_a=BL_bv_b$，故两杆的速度之比为 $v_a:v_b=2:1$，回路中电流为零	杆 a 做加速度减小的加速运动，杆 b 做加速度增大的加速运动. 稳定时有 $l_1a_1=l_2a_2$，a_1、a_2 恒定，回路中电流恒定 $\left(a_1=\frac{F-F_{安1}}{m_1};a_2=\frac{F_{安2}}{m_2};\frac{F_{安1}}{F_{安2}}=\frac{l_1}{l_2}\right)$
图像观点		
能量观点	系统一部分动能转化为内能：$Q=-\Delta E_k$	F 做的功转化为两杆的动能和焦耳热：$W_F=\Delta E_k+Q_{电}$
动量观点	系统动量不守恒，对单杆可用动量定理	

例 8 [湖北高中名校联盟 2024 月考]（多选）如图，足够长的两根光滑平行金属导轨固定在绝缘水平面上，导轨间距分别为 $2L$ 和 L，导轨间分布着方向竖直向下的匀强磁场，磁感应强度大小分别为 B、$2B$. $t=0$ 时，导体棒 PQ、MN 在导轨上分别以大小为 v_0、$\frac{v_0}{2}$ 的速度相向运动；$t=t_0$ 时，MN 向左的速度减小为零；最终两导体棒达到稳定运动状态. 已知 PQ、MN 的质量分别为 $2m$、m，两导体棒接入回路中的电阻都为 R. 整个过程中两导体棒始终与导轨垂直并接触良好，且只在各自的一侧导轨上运动，其他电阻不计. 下列说法正确的是 （ ）



A. $t=0$ 时，导体棒 PQ 的加速度大小为 $\frac{3B^2L^2v_0}{mR}$

B. 整个运动过程，回路中产生的焦耳热为 $\frac{3}{4}mv_0^2$

C. $0\sim t_0$ 时间内，通过导体棒 PQ 的电荷量为 $\frac{mv_0}{4BL}$

D. $0\sim t_0$ 时间内，两导体棒运动路程之和为 $\frac{mv_0R}{4B^2L^2}$

解析 $t=0$ 时，两导体棒切割磁感线，回路中产生的总感应电动势为 $E=B\times2Lv_0+2BL\frac{v_0}{2}$，电流为 $I=\frac{E}{2R}$，对导体棒 PQ 有 $BI\times2L=2ma$，则 PQ 的加速度大小为 $a=\frac{3B^2L^2v_0}{2mR}$，故 A 错误；经过足够长时间，回路中最终状态总感应电动势为零，有 $B\times2Lv_1=2BLv_2$ 得 $v_1=v_2=v$，根据动量

守恒定律得 $2mv_0-m\frac{v_0}{2}=3mv$（提示：虽然轨道不等宽，但是两根棒所受外界磁场所给的安培力等大反向，系统合外力为 0，系统动量守恒），对系统由能量守恒定律得 $\frac{1}{2}\times 2mv_0^2+\frac{1}{2}m\left(\frac{1}{2}v_0\right)^2=\frac{1}{2}\times 3mv^2+Q$，解得 $Q=\frac{3}{4}mv_0^2$，故 B 正确；$0\sim t_0$ 时间内，MN 棒向左的速度为零时，由动量定理有 $-\sum 2BI\times L\Delta t=-2BLq=0-m\times\frac{v_0}{2}$，求得 $q=\frac{mv_0}{4BL}$，故 C 正确；

$0\sim t_0$ 时间内 $q=\bar{I}t=\frac{\bar{E}}{2R}t=\frac{BL\bar{v}}{2R}\cdot t=\frac{B\cdot\Delta S}{2R}=\frac{\Delta\Phi}{2R}$，其中 $\Delta\Phi=\Delta\Phi_{左}+\Delta\Phi_{右}=B\times 2Lx_1+2BLx_2$，所以 $x_1+x_2=\frac{mv_0R}{4B^2L^2}$，故 D 正确.

答案　BCD

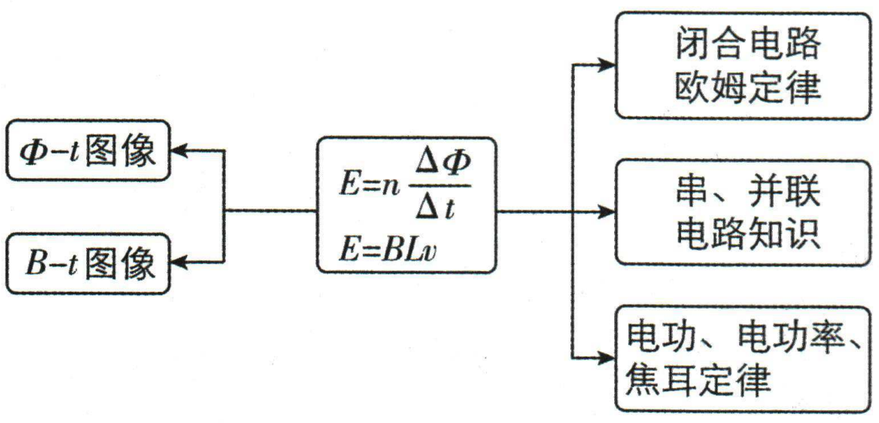
重难 33▸电磁感应中的线框模型

链接练习册 P182T6

考法 8　线框模型的图像问题

重难解读

1. 感生图像问题的处理方法



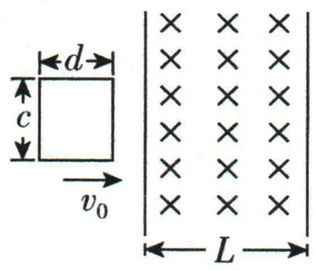
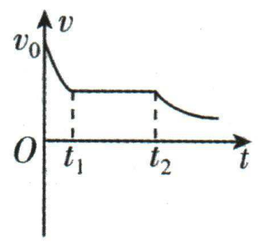
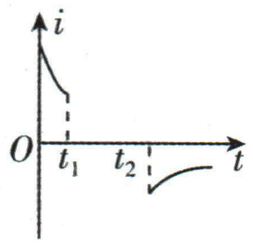
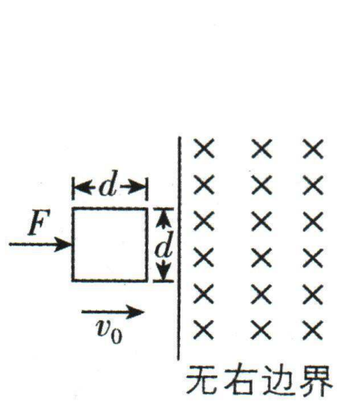
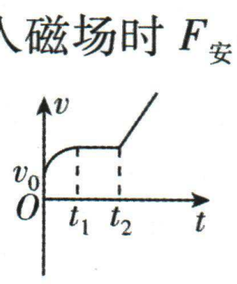
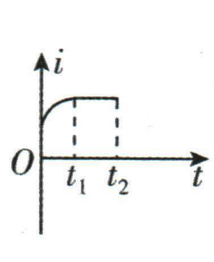
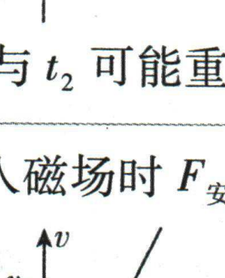
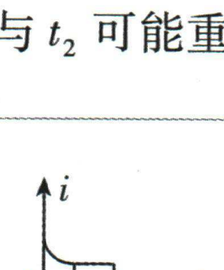
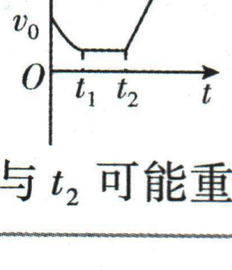
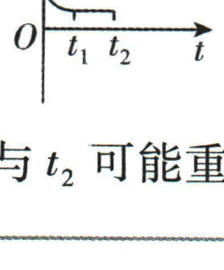
根据 $B-t$ 图像或 $\Phi-t$ 图像分析和描绘 $E-t$、$I-t$、$F_{安}-t$ 等图像.

2. 常见动生图像

首先要确定“源”，推知感应电动势（电流）大小变化的规律.

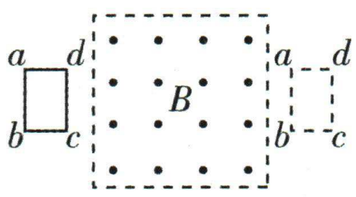
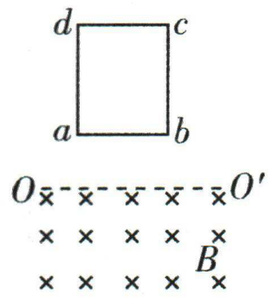
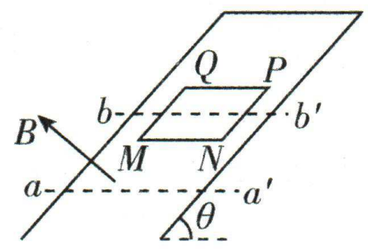
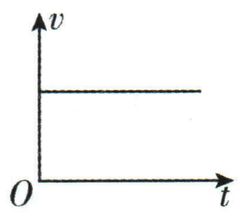
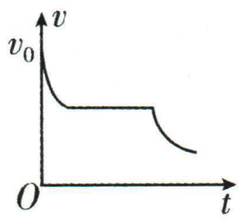
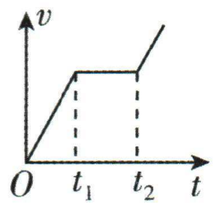
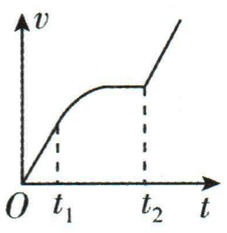
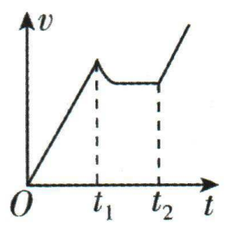
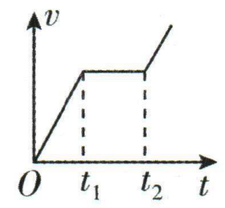
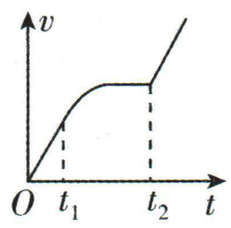
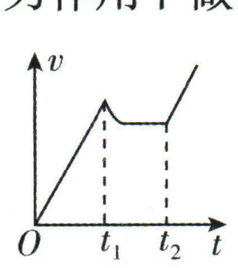
其次要确定电路和电流，用楞次定律和安培定则判断出感应电动势（或电流）的方向，从而确定其正负，以及在图像中的坐标范围. 注意正方向，磁场或磁通量方向变化时是否会导致电流方向的变化.

最后利用 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$、$I=\frac{E}{R_{总}}$、$q=I\Delta t$、$F_{安}=BIL$ 求解，分析对应图像.

类型	光滑水平面上运动的线框	运动图像（进入磁场开始计时）	电流变化图像（逆时针方向为正）	分析
不受外力	 ($d<L$)			线框进入磁场受安培力，$F_{安}=\frac{B^2c^2v}{R}=ma$，$v\downarrow$，$a\downarrow$；线框完全进入磁场后，$F_{安}=0$，$a=0$，线框匀速；线框穿出磁场再次受到安培力，$v\downarrow$，$a\downarrow$，电流方向改变，大小改变
受恒力	 无右边界	初入磁场时 $F_{安}=F$ 		线框初入磁场时，$F_{安}=F$，线框匀速进入直至线框完全进入后以 $\frac{F}{m}$ 的加速度做匀加速运动
		初入磁场时 $F_{安}<F$  t_1 与 t_2 可能重合	 t_1 与 t_2 可能重合	线框初入磁场时，$F_{安}<F$，加速，$v\uparrow$，$a\downarrow$，直至 $F_{安}=F$，v 最大，线框完全进入磁场后，$F_{安}=0$，匀加速
		初入磁场时 $F_{安}>F$  t_1 与 t_2 可能重合	 t_1 与 t_2 可能重合	线框初入磁场时，$F_{安}>F$，减速，$v\downarrow$，$a\downarrow$，直至 $F_{安}=F$，v 最小，线框完全进入磁场后，$F_{安}=0$，匀加速

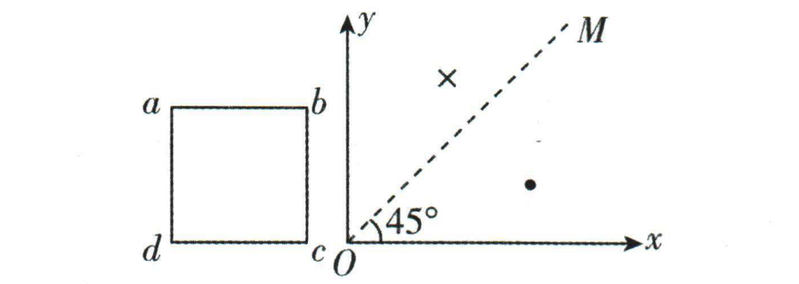
考法9 线框模型的综合问题

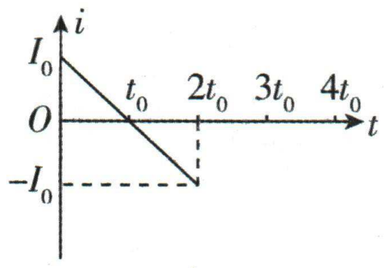
重难解读

	水平穿过磁场	从一定高度自由下落竖直穿入磁场	从距磁场上边界一定高度自由滑下穿入磁场
示例	（水平面光滑）		（斜面光滑）
动力分析	①水平匀速穿过磁场，外力 $F=F_{安}$（注意：线框全部在磁场中时无感应电流，不受安培力）②以初速度 v_0 进入磁场时，线框做加速度减小的减速运动；线框全部在磁场中无感应电流，不受安培力，做匀速直线运动；线框出磁场时做加速度减小的减速运动	①若线框进入磁场时 $mg=F_{安}$，线框将匀速进入磁场，全部进入磁场后做加速度为 g 的加速运动②若线框进入磁场时 $mg>F_{安}$，线框将做加速度减小的加速运动，当加速度为零时线框将做匀速运动，全部进入磁场后做加速度为 g 的加速运动③若线框进入磁场时 $mg<F_{安}$，线框将做加速度减小的减速运动，当加速度为零时线框将做匀速运动，全部进入磁场后做加速度为 g 的加速运动	①若线框进入磁场时 $mg\sin\theta=F_{安}$，线框将匀速进入磁场，全部进入磁场后在重力沿斜面方向的分力作用下做匀加速运动②若线框进入磁场时 $mg\sin\theta>F_{安}$，线框将做加速度减小的加速运动，当加速度为零时线框将做匀速运动，全部进入磁场后在重力沿斜面方向的分力作用下做匀加速运动③若线框进入磁场时 $mg\sin\theta<F_{安}$，线框将做加速度减小的减速运动，当加速度为零时线框将做匀速运动，全部进入磁场后在重力沿斜面方向的分力作用下做匀加速运动
能量分析	①外力做的功等于克服安培力做的功，等于焦耳热 ②线框动能全部（或部分）转化为内能（焦耳热）	减少的机械能转化为焦耳热	减少的机械能转化为焦耳热
电荷量分析	$q=\dfrac{\Delta\Phi}{R}$，安培力冲量 $I_{安}=B\bar{I}L\cdot\Delta t=BqL$		

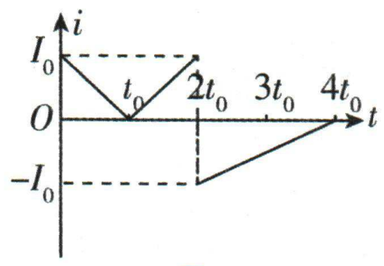
例9 [山东百师联盟2025联考]如图所示，在 $x\geqslant0$、$y\geqslant0$ 的区域中存在垂直于 xOy 平面的匀强磁场，磁感应强度大小相等，边界 OM 与 x 轴正方向的夹角为 $45°$，OM 左侧磁场向里，OM 右侧磁场向外. 正方形导线框 $abcd$ 以恒定的速度沿 x 轴正方向运动并穿过磁场区域，运动过程中 bc 边始终平行于 y 轴. 规定导线框中逆时针方向为电流的正方向. 从刚进入磁场开始计时，下列能正确反映导线框中感应电流 i 随时间 t 变

化的图像是　　(　　)

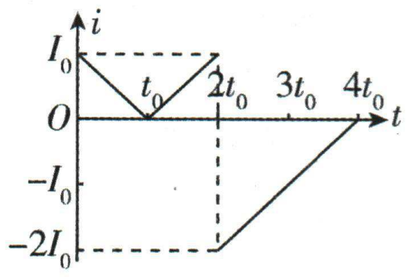




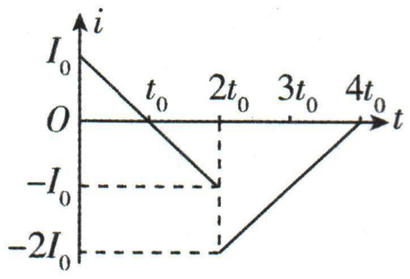
A



B



C



D

解析　设导线框的速度大小为 v，边长为 l，总电阻为 R，磁感应强度大小为 B，bc 边刚进磁场时产生感应电流 $I_0=\dfrac{Blv}{R}$，由右手定则可判断感应电流沿逆时针方向；在 $0\sim2t_0=\dfrac{l}{v}$ 时间内，如图 1 所示，bc 边被边界分为 be 和 ec 两部分，其中 $\overline{ec}=vt\tan 45°=vt$，$\overline{be}=l-\overline{ec}=l-vt$，两部分产生的感应电动势方向相反，则 $i=\dfrac{B\overline{be}v-B\overline{ec}v}{R}=\dfrac{Blv-2Bv^2t}{R}$（提示：注意两个动生电动势的叠加），当 $t>2t_0$ 时，导线框全部进入磁场，如图 2 所示，导线框被边界分为两部分，两部分都切割磁感线，且有效长度均为 af，则 $\overline{af}=l-(vt-l)\tan 45°=2l-vt$，两部分产生的感应电动势大小相等，方向均沿顺时针方向，则电流 $i=\dfrac{-2B\overline{af}v}{R}=\dfrac{-4Blv+2Bv^2t}{R}$，故选 D.

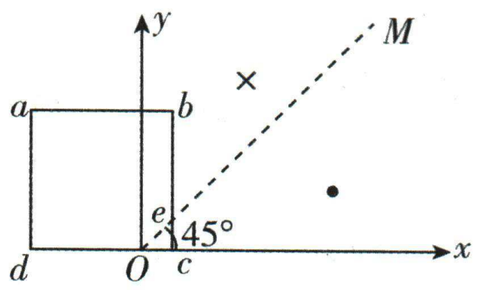


图 1

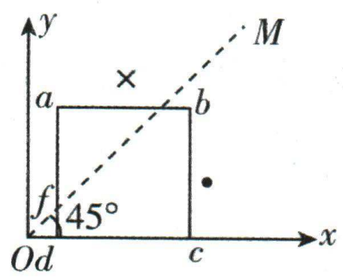
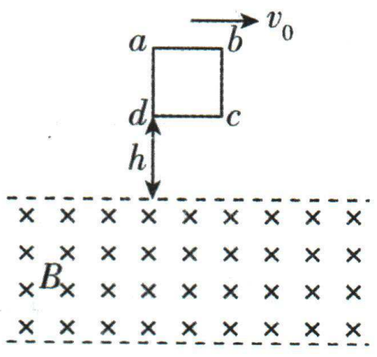


图 2

答案　D

例 10　[山西太原 2024 二模](多选)如图所示，水平平行边界内有垂直纸面向内的匀强磁场，磁感应强度 $B=2.0$ T. 正方形单匝金属线框



在磁场上方 $h=1.25$ m 处，以 5 m/s 的初速度向右水平抛出，下落过程中线框 ab 边始终与磁场边界平行，ab 边进入磁场和离开磁场时竖直方向的分速度均为 3 m/s. 线框质量为 0.1 kg，边长为 0.5 m，总阻值为 1 Ω，不计空气阻力，重力加速度 g 取 10 m/s^2. 下列说法正确的是　　(　　)

A. 匀强磁场区域的宽度为 1.3 m

B. 线框通过整个磁场区域所用时间为 0.8 s

C. 线框进入磁场的过程中，水平位移为 2.5 m

D. cd 边刚进入磁场时，克服安培力做功的功率为 5 W

解析　cd 边刚进入磁场时竖直方向的分速度为 $v_y=\sqrt{2gh}=5$ m/s，由题意，根据线框进出磁场过程的对称性可知，cd 边刚出磁场时竖直方向的分速度也为 $v_y=5$ m/s，从 ab 边刚进入磁场到 cd 边刚出磁场的过程中，线框中磁通量不变，感应电流为零，此过程线框自由下落，设匀强磁场区域的高度为 H，根据运动学规律有 $v_y^2-v_{ab}^2=2g(H-l)$，解得 $H=1.3$ m，故 A 正确；设线框通过磁场上边界的时间为 t_1，线框中的平均电流为 $\bar{I}$，根据动量定理有 $(mg-B\bar{I}l)t_1=mv_{ab}-mv_y$（提示：有安培力参与阶段的运动涉及时间注意使用动量定理），根据电流的定义可知 t_1 时间内通过线框某一截面的电荷量为 $q=\bar{I}t_1$，根据法拉第电磁感应定律、闭合电路欧姆定律综合分析可知 $q=\dfrac{\bar{E}}{R}t_1=\dfrac{\Delta\Phi}{Rt_1}\cdot t_1=\dfrac{Bl^2}{R}$，联立解得 $t_1=0.3$ s；根据运动的对称性可知，线框穿出磁场区域的时间也为 $t_1=0.3$ s，线框完全处于磁场中时，线框中没有感应电流，只受到重力作用，线框下落所用时间为 $t_2=\dfrac{v_y-v_{ab}}{g}=0.2$ s，则线框通过整个磁场区域所用时间为 $t_{总}=2t_1+t_2=0.8$ s，故 B 正确；线框进入磁场过程中，bc 边与 ad 边受到大小相等、方向相反的安培力的作用，故水平方向上受力平衡，做匀速直线运动，则线框进入磁场过程中的水平位移为 $x=v_0t_1=1.5$ m，故 C 错误；cd 边刚进入磁场时竖直方向的分速度为 v_y，此时 cd 边切割磁感线产生的感应电动势为 $E=Blv_y=5$ V，线框中的电流为 $I=\dfrac{E}{R}=5$ A，cd 边所受安培力大小为 $F=BIl=5$ N，cd 边克服安培力做功的功率为 $P=Fv_y=25$ W，故 D 错误.

答案　AB

第13章 交变电流

重难34▸变压器问题

链接练习册 P195T4

考法1 常见的变压器问题

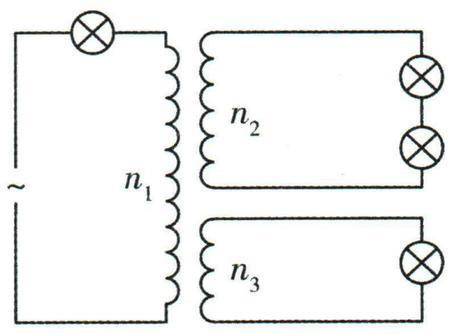
(1)原线圈电压和匝数比决定副线圈电压,有$\frac{U_1}{n_1}=\frac{U_2}{n_2}=\frac{U_3}{n_3}=\cdots=\frac{U_n}{n_n}$;

(2)副线圈功率决定原线圈功率,有$P_1=P_2+P_3+P_4+\cdots+P_n$;

(3)由以上二者可得电流关系:$n_1I_1=n_2I_2+n_3I_3+n_4I_4+\cdots+n_nI_n$.

频率关系满足$f_1=f_2=f_3=\cdots\cdots=f_n$.

例1 [河北名校联盟2024三模]如图所示,理想变压器上有三个线圈,匝数分别为n_1、n_2、n_3,线圈n_1连接正弦式交变电源和一个小灯泡,线圈n_2串联两个小灯泡,线圈n_3连接一个小灯泡.四个小灯泡完全相同,额定电压均为U_0,均正常发光,则正弦式交变电源输出电压的峰值与三个线圈的匝数比$n_1:n_2:n_3$分别为 (　　)



A. $4U_0$,1∶2∶3　　B. $4U_0$,3∶2∶1

C. $4\sqrt{2}U_0$,3∶2∶1　　D. $4\sqrt{2}U_0$,1∶2∶3

解析 根据理想变压器电压与匝数的关系有$\frac{U_1}{2U_0}=\frac{n_1}{n_2}$,$\frac{U_1}{U_0}=\frac{n_1}{n_3}$,$\frac{U_0}{2U_0}=\frac{n_3}{n_2}$,由于四个灯泡均正常发光,则电流均为额定电流,则有$I_0n_1=I_0n_2+I_0n_3$(提示:存在多个副线圈时,公式$I_1n_1=I_2n_2$不再成立),解得$n_1:n_2:n_3=3:2:1$,$U_1=3U_0$,则正弦式交变电源输出电压的有效值为$U_{有}=U_0+U_1=4U_0$,根据$U_{有}=\frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$,解得$U_{max}=4\sqrt{2}U_0$,故选C.

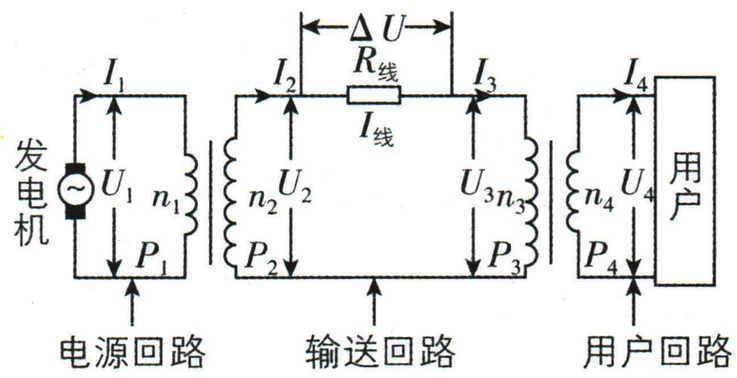
答案 C

考法2 远距离输电问题

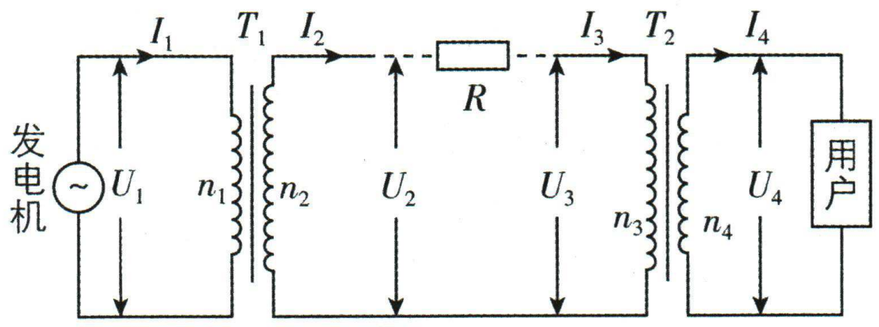
(1)电源回路中,$P_{发电机}=U_1I_1=P_1$;在输送回路中,$I_2=I_{线}=I_3$,$U_2=\Delta U+U_3$,$\Delta U=I_2R_{线}$,$\Delta P=I_2^2R_{线}$;在用户回路中,$P_4=U_4I_4=P_{用户}$;

(2)由理想变压器原理可得,$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$,$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$,$P_1=P_2$;$\frac{U_3}{U_4}=\frac{n_3}{n_4}$,$\frac{I_3}{I_4}=\frac{n_4}{n_3}$,$P_3=P_4$;

(3)由能量守恒得,$P_1=P_{损}+P_4$,$P_{损}=I_{线}^2R_{线}=\frac{\Delta U^2}{R_{线}}$.



例2 [广东六校2024联考]根据“双碳战略”,计划到2030年实现碳达峰、2060年实现碳中和.碳排放问题的治本之策是转变能源发展方式,加快推进清洁替代和电能替代,一座小型水电站向山下村镇供电的示意图如图所示,升压变压器T_1与降压变压器T_2都是理想变压器.已知发电机输出电压$U_1=250$ V,两个变压器的匝数比$n_1:n_2=1:100$,$n_3:n_4=110:1$,输电线电阻$R=20$ Ω,输电线上损失的功率为32 kW.则下列说法正确的是 (　　)



A. 输电线上损失的电压为25 000 V

B. 用户得到的电压为200 V

C. 发电机输出功率$P=1\ 000$ kW

D. 深夜,用户的用电器减少时输电线上损失的功率将变大

解析 (提示:本题需要注意三个回路,电源回路、输送回路、用户回路)依题意,输电线上损失的功率为$P_{损}=\frac{U_{损}^2}{R}$,解得$U_{损}=800$ V,故A错误;根据理想变压器原、副线圈电压与匝数的关系,有$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$,$\frac{U_3}{U_4}=\frac{n_3}{n_4}$,又$U_2=$

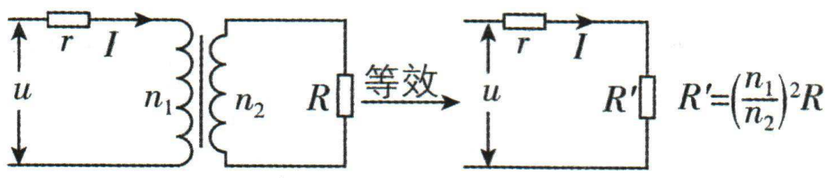
$U_{损}+U_3$，联立解得 $U_4=220$ V，故 B 错误；根据理想变压器原、副线圈电流与匝数的关系，有 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，又 $I_2=\frac{U_{损}}{R}$，发电机输出功率为 $P=U_1I_1$，联立解得 $P=1\,000$ kW，故 C 正确；深夜，用户的用电器减少时，降压变压器所在回路电阻增大，由等效电阻法知降压变压器副线圈回路的等效电阻 $R_{等}=\left(\frac{n_3}{n_4}\right)^2R_{用}$，由前面分析知 $R_{用}$ 增大，则 $R_{等}$ 增大，则 I_3 减小，由 $P_{损}=I_3^2R$ 得输电线上损失的功率将变小，故 D 错误.

答案 C

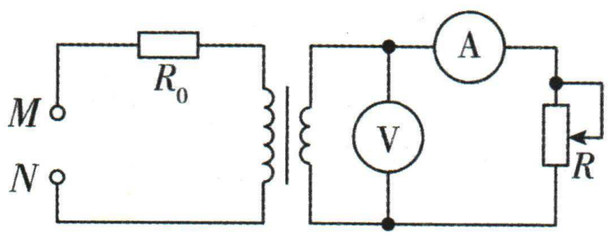
考法3 等效电阻法解决变压器的动态电路分析

重难解读

变压器的原、副线圈和负载电阻可以等效为一个电阻，且该电阻阻值 $R'=\frac{n_1^2}{n_2^2}R$，如图所示.



例3 [湖南长沙长郡中学2025调研]如图所示，M、N 端连接一个稳压交流电源，其有效值为 6 V，理想变压器的原线圈回路上接有定值电阻 $R_0=1\ \Omega$，副线圈上接有最大阻值为 10 Ω 的滑动变阻器 R，原、副线圈匝数之比 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{1}{3}$，电流表、电压表均为理想电表. 初始时，滑动变阻器 R 的滑片处于正中间位置，电流表、电压表示数分别为 I、U，现将滑片逐步上移至最上端，电流表、电压表变化量的绝对值分别为 ΔI、ΔU，下列说法正确的是 (　　)



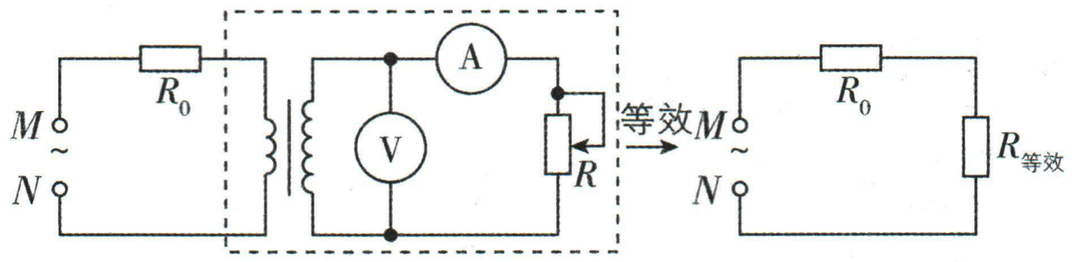
A. 滑片上移过程中电压表、电流表示数均增大

B. $\frac{\Delta U}{\Delta I}=1\ \Omega$

C. 滑动变阻器 R 的滑片处于正中间位置时，电流表示数为 1 A

D. 当滑动变阻器接入电路的阻值为 9 Ω 时，变压器输出功率最大且为 9 W

解析 由于理想变压器原线圈电路上含有电阻，则可把理想变压器和副线圈上的电阻等效为一个电阻，则电路变为简单的串联电路，如图所示，



滑片逐步上移，使 R 阻值增大，即 $R_{等效}=\frac{U_1}{I_1}=\frac{\frac{n_1}{n_2}U_2}{\frac{n_2}{n_1}I_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2R$（提示：记住等效电阻的计算公式，方便解题）增大，则总电阻增大，根据 $I_{总}=\frac{U_{MN}}{R_{总}}$ 可知总电流减小，即通过 R_0 的电流减小；根据 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$ 可知，通过电流表的电流减小，根据 $U_1=U_{MN}-U_0=U_{MN}-I_1R_0$，可知 U_1 增大，根据 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$ 可知电压表示数增大，故 A 错误；根据理想变压器的电压、电流与匝数的关系及闭合电路欧姆定律有 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1=\frac{n_2}{n_1}(U_{MN}-I_1R_0)=\frac{n_2}{n_1}\left(U_{MN}-\frac{n_2}{n_1}I_2R_0\right)=\frac{n_2}{n_1}U_{MN}-\frac{n_2^2}{n_1^2}I_2R_0$，则 $\frac{\Delta U}{\Delta I}=\frac{|\Delta U_2|}{|\Delta I_2|}=\frac{n_2^2}{n_1^2}R_0=9\ \Omega$，故 B 错误；对副线圈有 $U_2=I_2R_1$，原线圈有 $U_{MN}=I_1R_0+U_1$，又 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，联立解得 $I_2=\frac{9}{7}$ A，故 C 错误；分析可知变压器的输出功率为等效电路的功率，则 $P_{出}=P_{等效}=I_1^2R_{等效}=\frac{U_{MN}^2}{(R_0+R_{等效})^2}R_{等效}=\frac{U_{MN}^2}{\frac{(R_0-R_{等效})^2}{R_{等效}}+4R_0}$，可知当 $R_0=R_{等效}$ 时，变压器输出功率最大，结合 $R_{等效}=\frac{n_1^2}{n_2^2}R_2=\frac{1}{9}R_2$，解得 $R_2=9\ \Omega$，代入 $P_{出}=\frac{U_{MN}^2}{\frac{(R_0-R_{等效})^2}{R_{等效}}+4R_0}$ 得 $P_m=9$ W，故 D 正确.

答案 D

第14章 热 学

重难35▸气体实验定律和热力学定律的综合应用

链接练习册 P214T7

考法1 理想气体的变质量问题

1. 题目类型

(1)充气问题:选择原有气体和即将充入的气体整体作为研究对象.



重难解读

(2)抽气问题:选择每次抽气过程中抽出的气体和剩余气体整体作为研究对象,抽气过程可以看成质量不变的等温膨胀过程.

(3)灌气分装:把大容器中的剩余气体和多个小容器中的气体整体作为研究对象.

(4)漏气问题:选容器内剩余气体和漏出气体整体作为研究对象.

2. 解题方法总结

若混合前两部分或几部分气体压强不相等,不能直接应用气体实验定律列方程. 可采取下列两种方法处理此类问题:

(1)转化法:应先转化为相同压强下,再将两部分气体整体作为研究对象,然后用气体实验定律或理想气体状态方程列式求解.

(2)利用克拉伯龙方程

把压强、体积、温度分别为 p_1、V_1、T_1,p_2、V_2、T_2…的几部分理想气体进行混合,混合后气体的压强、体积、温度分别为 p、V、T,根据 $\frac{p_1V_1}{T_1}=n_1R$,$\frac{p_2V_2}{T_2}=n_2R$,…,$\frac{pV}{T}=(n_1+n_2+\cdots)R$,得 $\frac{p_1V_1}{T_1}+\frac{p_2V_2}{T_2}+\cdots=\frac{pV}{T}$,若温度不变,可得气体等温分态公式 $p_1V_1+p_2V_2+\cdots=pV$.

例1 [浙江强基联盟2024二模]自行车在生活中是一种普及程度很高的交通工具. 自行车轮胎气压过低不仅费力而且又很容易损坏内胎,轮胎气压过高会使轮胎的缓冲性能下降或发生爆胎,因此保持合适的轮胎气压对延长轮胎使用寿命和提升骑行感受至关重要. 已知某款自行车轮胎容积为 $V=1.8$ L 且保持不变,在环境温度为 27 ℃ 条件下,胎内气体压强为 $p_1=1.5\times10^5$ Pa,外界大气压强为 $p_0=1.0\times10^5$ Pa.

(1)若该车长时间骑行在温度较高的公路上使胎内气体的温度上升到 37 ℃,求此时车内气体的压强;

(2)若车胎的气门芯会缓慢漏气,长时间放置后胎内压强变为 $p_0=1.0\times10^5$ Pa,忽略气体温度与车胎容积的变化,求胎内泄漏出的气体质量占原来胎内气体质量的比例;

(3)若自行车说明书规定的轮胎标准气压在室温 27 ℃ 下为 $p=2.1\times10^5$ Pa,为使车胎内气压达标,某同学用打气筒给自行车打气. 设每打一次可打入压强为 $p_0=1.0\times10^5$ Pa、温度为 27 ℃ 的空气 90 cm^3. 请通过计算判断打气 10 次后车胎压强是否达到说明书规定的标准胎压. 假设打气过程气体的温度保持不变,车胎因膨胀而增大的体积可以忽略不计.

解析 (1)气体做等容变化,由 $\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$,得 $p_2=\frac{273+37}{273+27}\times1.5\times10^5$ Pa $\approx1.55\times10^5$ Pa.

(2)设原胎内气体做等温膨胀,由 $p_1V=p_0V_2$,得 $V_2=\frac{1.5}{1.0}\times1.8$ L $=2.7$ L,故 $\frac{\Delta m}{m}=\frac{\Delta V}{V_2}=\frac{2.7\text{ L}-1.8\text{ L}}{2.7\text{ L}}=\frac{1}{3}$(提示:注意除以 V_2 而不是 V,一定要考虑密度是否相同的问题),即有三分之一的气体泄漏.

(3)设原胎内气体做等温膨胀后压强变为 p_0 时体积变为 V_3,得 $p_1V=p_0V_3$,再将胎内气体和打气筒打入的气体看作整体一起做等温压缩,由 $p_0(V_3+10\Delta V_0)=p'V$(提示:温度不变时,可使用气体分压定律公式),$\Delta V_0=90$ cm^3,联立解得 $p'=2.0\times10^5$ Pa $<p$,故胎内气体未达标准胎压.

答案 (1)1.55×10^5 Pa (2)$\frac{1}{3}$ (3)未达标准胎压

考法2 液柱类和汽缸类问题

1. 解题思路

(1)确定研究对象

①热学研究对象(一定质量的理想气体);

②力学研究对象(汽缸、活塞或某系统).

(2)分析物理过程,确定状态参量

①对热学研究对象,分析清楚一定质量的理想气体状态变化过程及对应每一过程初、末状态,写出对应状态的状态参量,依据气体实验定律列出方程.

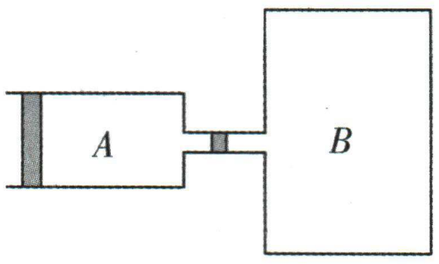
②分析力学研究对象(汽缸、活塞或某系统)的受力情况,依据力学规律列出方程求解气体压强.

(3)挖掘题目的隐含条件,如几何关系等,列出辅助方程.

(4)多个方程联立求解,注意检验求解结果的合理性.

例2 [广西部分学校2024二模]如图所示,左侧连有

一横截面积为 S 的大活塞的汽缸 A 通过细导管(容积可忽略)与汽缸 B 相连接,导管里面有一绝热活塞(质量可忽略). 大气压强为 p_0,大活塞的重力为 $\frac{1}{3}p_0S$,大活塞到汽缸 A 底部的距离为 L. 两汽缸内封闭温度为 27 ℃ 的同种理想气体. 先将整个装置顺时针缓慢转过 90°,为使细导管中绝热活塞位置不变,需要给汽缸 B 加热. 忽略一切摩擦,求:



(1)汽缸 A 中活塞下降的距离 d;

(2)汽缸 B 中气体的最终温度 T'_B.

解析 (1)旋转前后,汽缸 A 中的压强分别为 $p_A=p_0$,$p'_A=p_0+\frac{1}{3}p_0=\frac{4}{3}p_0$(提示:关联气体问题解决的关键在于分析初末状态活塞的受力情况),对汽缸 A 分析,根据玻意耳定律有 $p_ALS=p'_AL'S$,汽缸 A 中活塞下降的距离 $d=L-L'$,解得 $d=\frac{L}{4}$.

(2)对汽缸 B 中气体进行分析,末状态压强 $p'_B=p'_A=\frac{4}{3}p_0$,根据查理定律有 $\frac{p_B}{T_B}=\frac{p'_B}{T'_B}$,解得 $T'_B=400$ K,即 127 ℃.

答案 (1)$\frac{L}{4}$ (2)127 ℃

考法3 气体实验定律和热力学定律结合

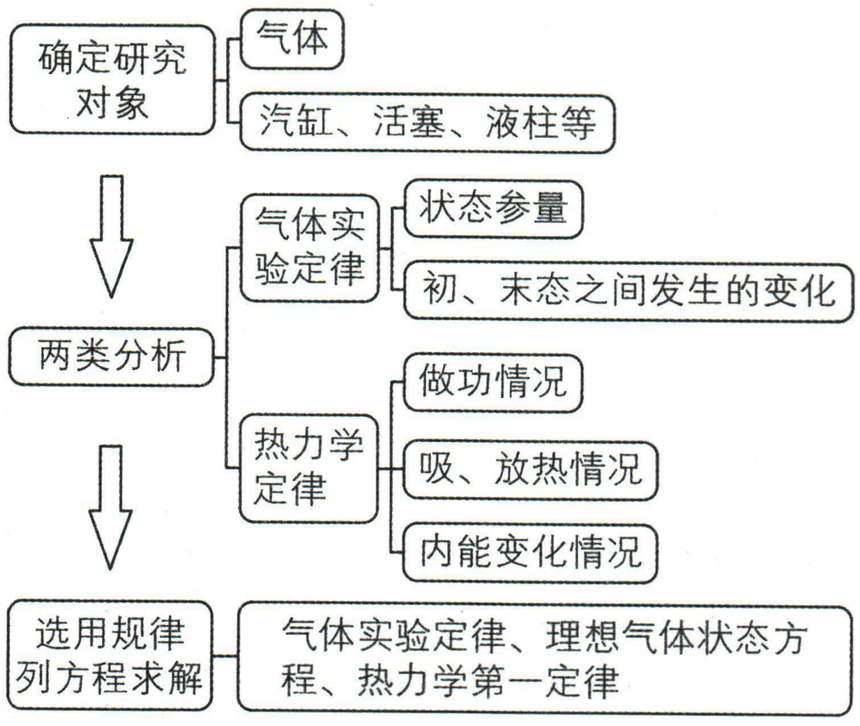
重难解读

1. 热力学第一定律的表达式:$\Delta U=Q+W$.

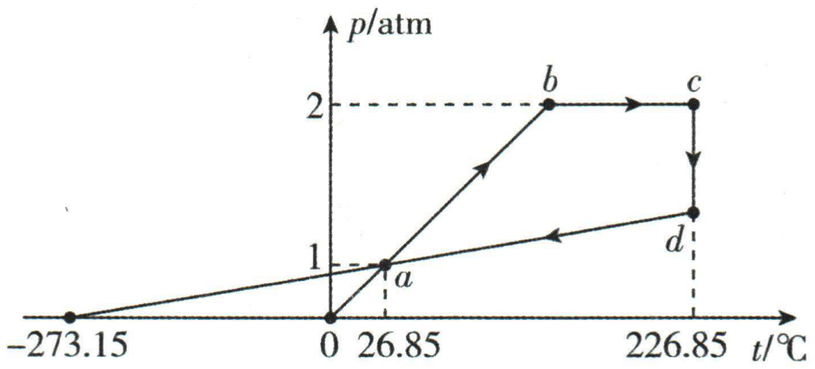
表达式中的正、负号法则:

符号	W	Q	ΔU
+	外界对物体做功	物体吸收热量	内能增加
−	物体对外界做功	物体放出热量	内能减少

2. 解决热力学第一定律与气体实验定律的综合问题的思维流程



例3 [福建2025适应考](多选)一定质量的理想气体经历 $a\to b\to c\to d\to a$ 四段状态变化过程,其 $p-t$ 图像如图所示. 其中 da 延长线与横轴的交点为 0 K,bc 和 cd 分别平行于横轴和纵轴,b、c、d 三个状态的体积关系为 $2V_c=V_b+V_d$,下列说法不正确的是 (　　)



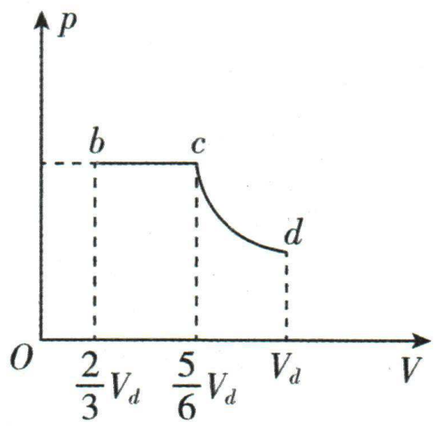
A. 从 b 到 c,单位时间碰撞单位面积器壁的分子数减少

B. c、d 两状态的体积之比为 5∶6

C. 从 b 到 c 的过程气体从外界吸收的热量小于从 c 到 d 的过程气体从外界吸收的热量

D. 从 a 到 b,气体的体积不变

解析 从 b 到 c,压强不变,温度升高,则体积变大,单位体积内分子数减少,则单位时间碰撞单位面积器壁的分子数减少,故A正确,不符合题意;d 到 a 等容过程有 $\frac{p_a}{t_a+273.15}=\frac{p_d}{t_d+273.15}$,$c$ 到 d 等温过程有 $p_cV_c=p_dV_d$,又 $p_c=p_a$,联立解得 $\frac{V_c}{V_d}=\frac{5}{6}$,故B正确,不符合题意;由 $2V_c=V_b+V_d$,$\frac{V_c}{V_d}=\frac{5}{6}$,联立解得 $V_b=\frac{2}{3}V_d$,$V_c=\frac{5}{6}V_d$,bcd 过程的 $p-V$ 图如图所示,可知 b 到 c 和 c 到 d 的体积差相等,由于 $p-V$ 图线与横坐标轴围成的面积表示气体对外界做的功,显然 $W_{bc}>W_{cd}$,从 b 到 c,气体温度升高,内能增加,根据热力学第一定律得 $\Delta U=Q_{bc}-W_{bc}>0$,从 c 到 d,气体温度不变,内能不变,根据热力学第一定律得 $\Delta U'=Q_{cd}-W_{cd}=0$,联立可得 $Q_{bc}>Q_{cd}$,故C错误,符合题意;根据 $\frac{pV}{t+273.15}=C$,得 $p=\frac{C}{V}t+\frac{273.15C}{V}$,可知图像的斜率与气体体积有关,从 a 到 b,图线的斜率增大,则气体的体积减小,故D错误,符合题意.



答案 CD

第15章 光 学

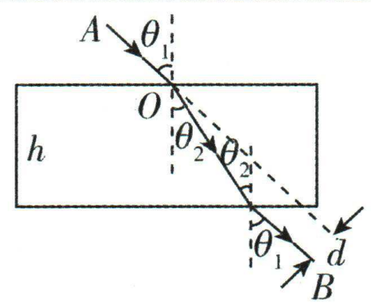
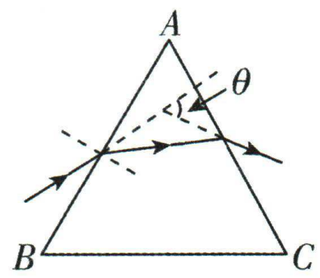
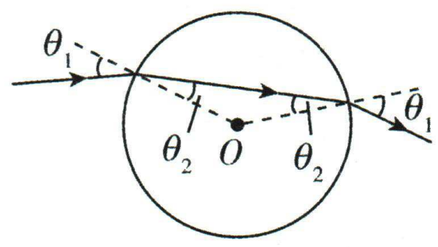
重难36 光的折射和全反射的综合应用

链接练习册 P225T8

重难解读

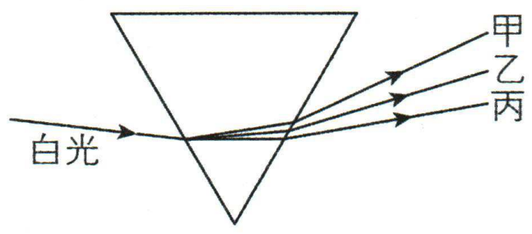
考法1 光的折射和全反射的综合应用

1. 几何光学中的常见模型

	平行玻璃砖模型	三棱镜模型	圆柱体(球)模型
模型图示			
对光路的控制特点	通过平行玻璃砖后光线不改变传播方向,但要发生侧移	通过三棱镜的光线经两次折射后,出射光线向棱镜底面偏折	圆界面的法线是过圆心的直线,光线经过两次折射后向圆心偏折
应用	测定玻璃的折射率	全反射棱镜	改变光的传播方向

2. 光的色散

(1)成因:棱镜对不同色光的折射率不同,对红光的折射率最小,红光通过棱镜后的偏折程度最小,对紫光的折射率最大,紫光通过棱镜后的偏折程度最大.

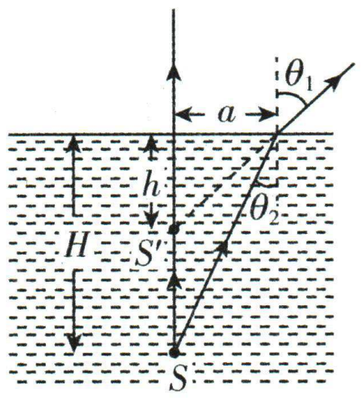


(2)根据光的偏折程度比较折射率大小

偏折程度越大,该介质对该光线的折射率越大、光线在介质中的传播速度越小、频率越高、能量越大.

3. 视深和视高

一物点 S 位于折射率为 n 的介质中 H 深处,当 θ_1 和 θ_2 都很小时,有 $\sin\theta_1 \approx \tan\theta_1 = \frac{a}{h}$,$\sin\theta_2 \approx \tan\theta_2 = \frac{a}{H}$,由折射定律可知 $n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{H}{h}$,则有 $h = \frac{H}{n}$.



同理,如果从折射率为 n 的介质中,观察正上方距界面高为 H 的物体,则有 $h' = nH$(h'为视高).

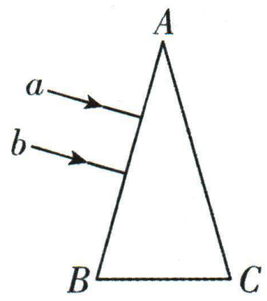
4. 求解全反射现象中光的传播时间的一般思路

(1)全反射现象中,光在同种均匀介质中的传播速度不发生变化,即 $v = \frac{c}{n}$.

(2)全反射现象中,光的传播路程应结合光路图与几何关系进行确定.

(3)利用 $t = \frac{l}{v}$ 求解光的传播时间.

例1 [云南大理2025期中]如图所示,ABC 为等腰三棱镜,$\angle A = 30°$,单色细光束 a、b 垂直 AB 面射入棱镜,到达 AC 面时,a 光能从 AC 面射出棱镜,b 光不能从 AC 面射出棱镜. 下列说法正确的是 ( )



A. 棱镜对 a 光的折射率大于对 b 光的折射率

B. 在棱镜中,a 光的传播速度大于 b 光的传播速度

C. a 光的频率大于 b 光的频率

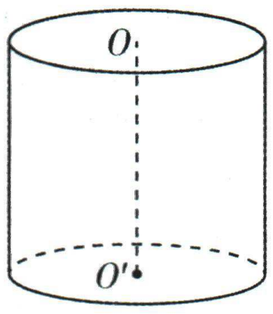
D. 在真空中,a 光的波长小于 b 光的波长

解析 据题意,a 光的临界角大于 b 光的临界角,由 $\sin C = \frac{1}{n}$ 可知,棱镜对 a 光的折射率小于对 b 光的折射率,a 光的频率小于 b 光的频率,故A、C错误;根据 $n = \frac{c}{v}$,可知在棱镜中,a 光的传播速度大于 b 光的传播速度,故B正确;根据 $\lambda = cT = \frac{c}{f}$,可知在真空中,$a$ 光的波长大于 b 光的波长,故D错误.

答案 B

例2 [安徽江淮十校2024三模]哈尔滨是中国著名的冰雪旅游城市,每年冬季都会举办盛大的冰雪节. 冰雕展则成为人们探访冬季梦幻之旅的最佳选择. 如图所示,冰雕展上有一块圆柱体冰砖,上、下底面半径为1 m,轴截面为正方形,上下底面中心连线为 OO',在 O' 处安装了一盏可视为点光源的灯,已知冰的折射率为1.3. 下列说法正确的是 ( )

A. 若光在冰砖中发生全反射的临界角为 C，则 $\sin C=\frac{3}{13}$

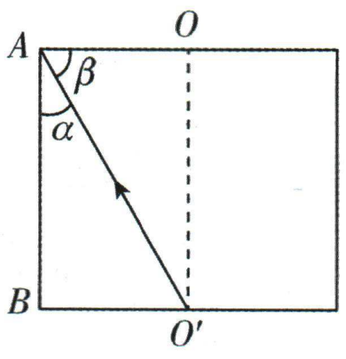


B. 由灯直接发出的光照射到冰砖侧面时能从侧面任何位置射出

C. 由灯直接发出的光照射到冰砖上表面时都能从上表面任何位置射出

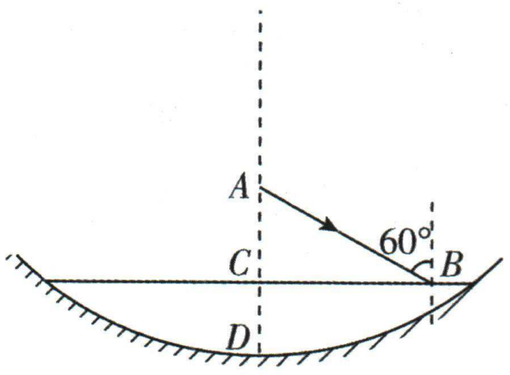
D. 从冰砖正上方沿 OO' 方向观察，点光源的视深是 $\frac{13}{20}$ m

解析 若光在冰砖中发生全反射的临界角为 C，则 $\sin C=\frac{1}{n}=\frac{10}{13}$，故 A 错误；作出发生全反射临界光路图，如图所示，在直角 $\triangle ABO'$ 中，由几何关系可知 $\sin\alpha=\frac{BO'}{AO'}=\frac{\sqrt{5}}{5}<\frac{1}{1.3}=\sin C$，故由灯直接发出的光照射到冰块上表面时都能从上表面射出，而 $\sin\beta=\frac{AB}{AO'}=\frac{2\sqrt{5}}{5}>\frac{1}{1.3}=\sin C$，故由灯直接发出的光照射到冰砖侧面时不是能从侧面任何位置射出，故 B 错误，C 正确；实深是 AB，设视深为 h，根据折射率定义式结合几何关系可知 $\frac{AB}{h}=n$，可得 $h=\frac{20}{13}$ m，故 D 错误.



答案 C

例 3 [陕西、山西、青海、宁夏 2025 适应考] 如图，半径为 R 的球面凹面镜内注有透明液体，将其静置在水平桌面上，液体中心厚度 CD 为 10 mm. 一束单色激光自中心轴上距液面 15 mm 的 A 处以 60°入射角射向液面 B 处，其折射光经凹面镜反射后沿原路返回，液体折射率为 $\sqrt{3}$. 求：

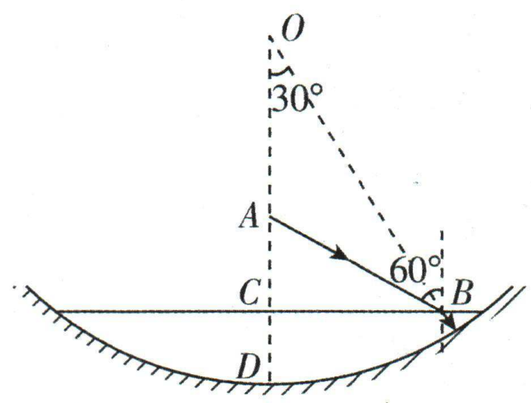


(1) 光线在 B 点进入液体的折射角；

(2) 凹面镜半径 R.

解析 (1) 根据光的折射定律 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$ 可知，光线在 B 点进入液体的折射角满足 $\sin r=\frac{\sin i}{n}=\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\sqrt{3}}=\frac{1}{2}$，可知 $r=30°$，光线在 B 点进入液体的折射角为 30°.

(2) 因折射光经凹面镜反射后沿原路返回，可知折射光线垂直于凹面镜（提示：光垂直入射到某界面处时折射光线方向不变，反射光线原路返回）. 折射光线的反向延长线过凹面镜的圆心 O，如图所示，由几何关系得 $\angle ABC=\angle COB=30°$，由题干可知 $AC=15$ mm，$CD=10$ mm，则 $BC=\frac{AC}{\tan\angle ABC}=15\sqrt{3}$ mm，$OC=\frac{BC}{\tan\angle COB}=45$ mm，由几何关系得凹面镜半径 $R=OC+CD=55$ mm.

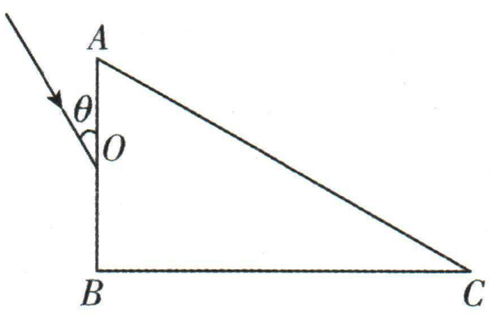


答案 (1)30° (2)55 mm

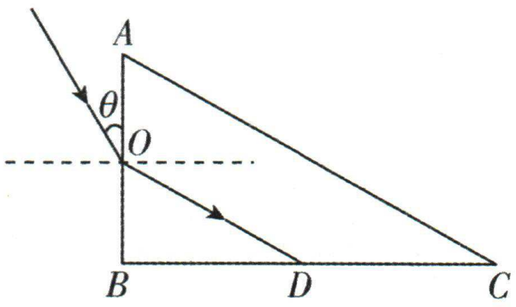
例 4 [河北市级联考 2025 期中] 如图所示为某透明介质材料制成的直角三角形柱体的截面，其中 $\angle B=90°$，$\angle BAC=60°$，一细光束由 AB 的中点 O 斜射入介质，与 AB 边成 30°角，该细光束在 O 点的折射光线与 AC 边平行. 已知 AB 的边长为 L，真空中的光速为 c. 求：

(1) 透明介质对该细光束的折射率；

(2) 细光束在柱体内的传播时间（不考虑细光束在 AC 边上的反射）.

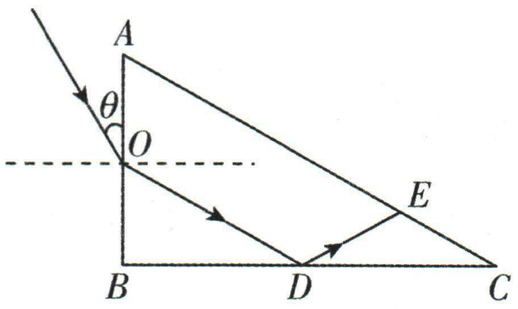


解析 (1) 光束在 O 点的光路如图所示，



光束交 BC 于 D 点，由几何关系可知光束在 O 点的入射角 $i_O=90°-\theta=60°$，在 O 点的折射角 $r_O=90°-\angle A=30°$，由折射定律有 $n=\frac{\sin i_O}{\sin r_O}=\sqrt{3}$.

(2) 由几何关系可知光束在 D 点的入射角 $i_D=60°$，$\sin i_D=\frac{\sqrt{3}}{2}>\frac{1}{n}=\frac{\sqrt{3}}{3}=\sin C$，所以光束在 D 点发生全反射，光束与 AC 交于 E 点，光路如图所示（提示：在每个交界面处都要考虑是有折射光线还是发生全反射），



由几何关系可知光线从 E 点射出柱体，$OD=2OB=L$，$DE=\frac{\sqrt{3}}{3}DC=\frac{\sqrt{3}}{3}\times\frac{BC}{2}=\frac{\sqrt{3}}{3}\times\frac{\sqrt{3}AB}{2}=\frac{1}{2}L$，由折射定律有 $v=\frac{c}{n}=\frac{\sqrt{3}c}{3}$，所以光束在柱体中传播的时间 $t=\frac{OD+DE}{v}=\frac{3\sqrt{3}L}{2c}$.

答案 (1)$\sqrt{3}$ (2)$\frac{3\sqrt{3}L}{2c}$

第16章 近代物理

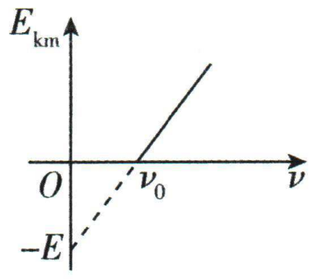
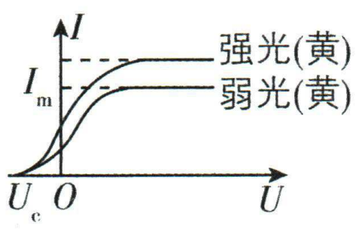
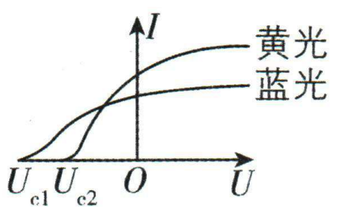
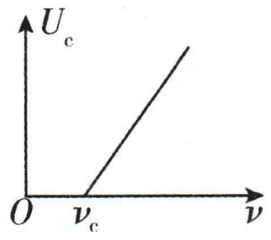
重难37▸光电效应

链接练习册 P232T2

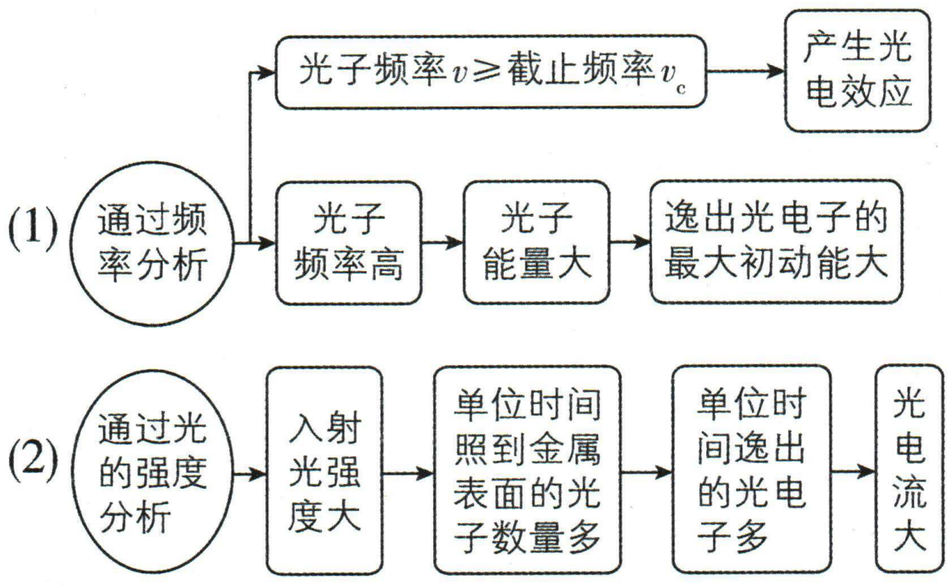
考法1 光电效应的规律及应用

重难解读

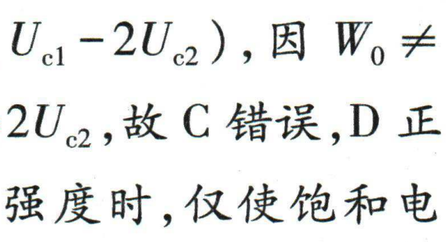
1. 光电效应图像

图像	由图像可以得到的物理量
	①极限频率:图线与 ν 轴交点的横坐标 ν_0. ②逸出功:图线与 E_{km} 轴交点的纵坐标的绝对值 $E=W_0$. ③普朗克常量:图线的斜率 $k=h$
	①遏制电压 U_c:图线与横轴交点 ②饱和光电流 I_m:电流的最大值 ③最大初动能:$E_{km}=eU_c$
	①遏制电压 U_{c1}、U_{c2}; ②饱和光电流; ③最大初动能:$E_{k1}=eU_{c1}$,$E_{k2}=eU_{c2}$
	①极限频率或截止频率 ν_c:图线与横轴的交点; ②遏止电压 U_c:随入射光频率的增大而增大; ③普朗克常量 h:等于图线斜率与电子电荷量 e 的乘积,$h=ek$. (注:此时两极之间接反向电压)

2. 光电效应问题的分析思路



例1 [河北唐山部分校2025质检]用强激光照射金属时,由于其光子密度极大,一个电子在极短时间内可以吸收2个光子,图为使用同种频率的普通光源和强激光在同一光电效应实验装置中测得的光电流与电压的关系图像,电子的电荷量为 q,图中 U_{c1} 和 U_{c2} 为已知量. 下列说法中正确的是 (　　)



A. 图线甲为普通光源照射时光电流与电压的关系图像

B. 若增强对应图线乙的光源的照射强度,U_{c2} 将要增大

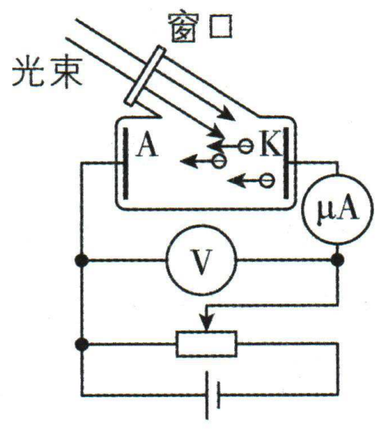
C. 图中 $U_{c1}=2U_{c2}$

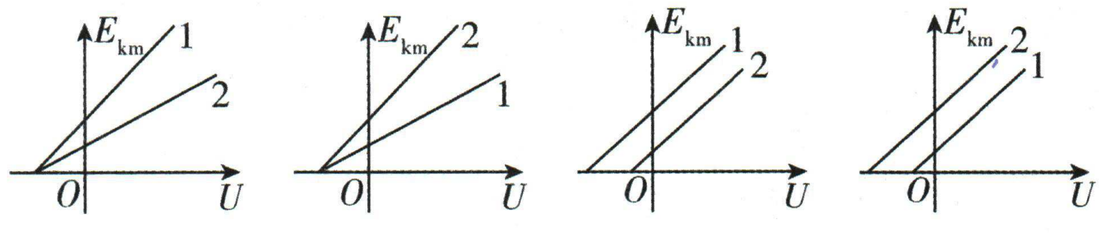
D. 由题中信息可以求出该金属的逸出功

解析 根据光电效应方程,普通光源照射时有 $h\nu=W_0+E_{km1}$,强激光照射时有 $2h\nu=W_0+E_{km2}$,可知 $E_{km2}>E_{km1}$,根据动能定理有 $-q|U_c|=0-E_{km}$,可知 E_{km} 越大,$|U_c|$ 越大,故图线甲为强激光照射时光电流与电压的关系图像,故A错误;由以上方程可得 $2h\nu=W_0+qU_{c1}$,$h\nu=W_0+qU_{c2}$,解得 $W_0=q(U_{c1}-2U_{c2})$,因 $W_0\neq0$,故 $q(U_{c1}-2U_{c2})\neq0$,可知 $U_{c1}\neq2U_{c2}$,故C错误,D正确;当增强对应图线乙的光源的强度时,仅使饱和电流增大(提示:饱和光电流取决于单位时间单位面积上的光子数,入射光频率一定时取决于光强),不影响 U_{c2},故B错误.

答案 D

例2 [江苏扬州中学2025联考]如图所示,分别用1、2两种材料作K极进行光电效应探究,其截止频率 $\nu_1<\nu_2$,保持入射光不变,则光电子到达A极时动能的最大值 E_{km} 随电压 U 变化关系的图像是(　　)





A　　B　　C　　D

解析 光电管所加电压为正向电压,则根据爱因斯坦光电效应方程可知光电子到达A极时动能的最大值 $E_{km}=Ue+h\nu-h\nu_{截止}$(提示:正、反向电压使打出的电子加速或减速),可知 $E_{km}-U$ 图像的斜率相同,均为 e,A、B错误;截止频率越大,则图像在纵轴上的截距越小,因 $\nu_1<\nu_2$,则图像C正确,D错误.

答案 C

合订本未动我，破茧成蝶！

——你的路，合订本陪你一起闯！

怎么玩

嘴替上线：如何让合订本更耀眼？相信细心的你一定能发现合订本中的提分闪光点，一句话也行！积极向上，拒绝注水！

建议范例：口号+闪光点

“我命由我不由天！刷提分助我能力进阶突破上限！@理想树-高考必刷题 快来见证我的进阶之路！”

参与方式

- 大胆开麦：小红书发笔记，带话题#合订本进化论，并@理想树-高考必刷题！
- 限时参与：即日起至2025年12月31日
- 活动奖励：

（一等奖）天选之子（10人）：理想树独家高考助力大礼包

（二等奖）刷题认证（50人）：理想树官方“吧唧”+线上平台购书代金券

扫码查看礼品

必刷“师伯”团队蹲在小红书评论区，随时接招！

——必刷编辑部

（共三册，本册不单独销售）

全科AA+初中教辅资源导航

教辅资源更新，关注公众号★全科AA+