**专题5·开普勒定律与万有引力定律**

**题型1三星一物问题**难度★考频★★★

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 备考策略  　赤道上随地球自转的物体、地球同步卫星、近地卫星的规律如表所示:   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 比较  项目 | 近地卫星  (*r*1、*ω*1、*v*1、*a*1) | 同步卫星  (*r*2、*ω*2、*v*2、*a*2) | 赤道上随地球  自转的物体  (*r*3、*ω*3、*v*3、*a*3) | | 向心力 | 万有引力 | 万有引力 | 万有引力的  一个分力 | | 轨道半径 | *r*2>*r*1=*r*3 | | | | 角速度 | 由*G*=*mω*2*r*得*ω*=,故*ω*1>*ω*2 | | 同步卫星的角速度与地球自转角速度相同,故*ω*2=*ω*3 | | *ω*1>*ω*2=*ω*3 | | | | 线速度 | 由*G*=*m*得*v*=,故*v*1>*v*2 | | 由*v*=*ωr*得*v*2>*v*3 | | *v*1>*v*2>*v*3 | | | | 向心加  速度 | 由*G*=*ma*得*a*=,故*a*1>*a*2 | | 由*a*=*ω*2*r*得  *a*2>*a*3 | | *a*1>*a*2>*a*3 | | |   　　注意不同形式的运动要寻找关联点,例如,近地卫星、同步卫星、一般卫星等都是由万有引力提供向心力,而赤道上随地球自转的物体特点是其角速度和周期与同步卫星的角速度和周期相同*.* |

题型例析

例1 [湖北2025*·*2,4分]甲、乙两行星绕某恒星做圆周运动，甲的轨道半径比乙的小。忽略两行星之间的万有引力作用，下列说法正确的是（ ）

A．甲运动的周期比乙的小 B．甲运动的线速度比乙的小

C．甲运动的角速度比乙的小 D．甲运动的向心加速度比乙的小

解析▶本题的题眼是“甲的轨道半径比乙的小”*.*

根据卫星做圆周运动的向心力等于万有引力可知，可得，，，，因，可知卫星甲、乙运动的周期，线速度关系，角速度关系，向心加速度关系，A正确.

答案A

例2 [广东2025·5,4分]一颗小行星绕太阳运行，其近日点和远日点与太阳之间的距离分别为地球和太阳之间距离的5倍和7倍。关于该小行星，下列说法正确的是（　　）

A．公转周期年

B．在该小行星在近日点的加速度是地球公转加速度的

C．从远日点到近日点，小行星受太阳引力，逐渐减小

D．从远日点到近日点，小行星线速度逐渐减小

解析▶根据题意，设地球与太阳间距离为，则小行星公转轨道的半长轴为，由开普勒第三定律有，解得年，A错误；由牛顿第二定律有，解得，可知，即小行星在近日点的加速度是地球公转加速度的，B正确；从远日点到近日点，小行星与太阳间距离减小，由万有引力定律可知，小行星受太阳引力增大，C错误；由开普勒第二定律可知，从远日点到近日点，小行星线速度逐渐增大，D错误。

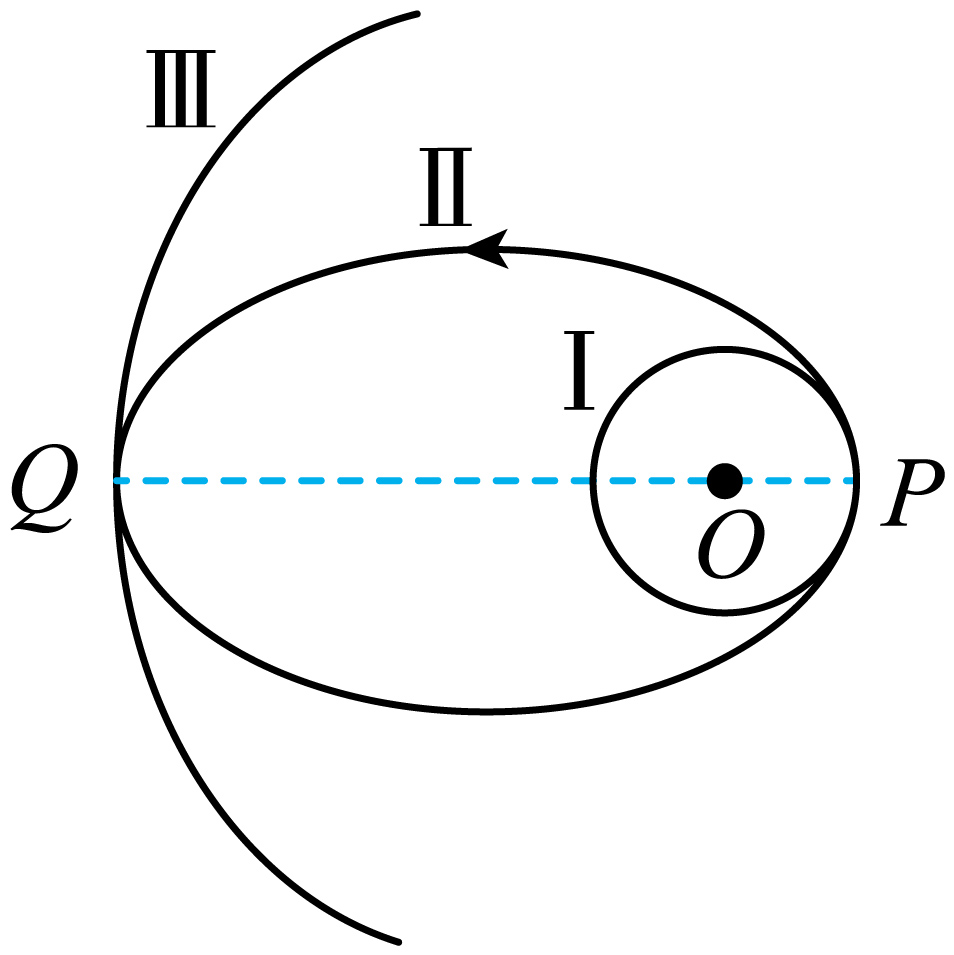
答案B

**题型2卫星追赶与变轨**难度★★考频★★★

|  |
| --- |
| 备考策略  1*.*卫星追赶  两卫星的运动方向相同,且位于和中心连线的半径上同侧时,两卫星相距最近,从运动关系上,两卫星运动的角速度满足|*ω*1*t*-*ω*2*t*|=*n*·2π(*n*=1,2,3,…)或圈数满足=*n*(*n*=1,2,3,…)*.*  当两卫星位于和中心连线的半径上两侧时,两卫星相距最远,从运动关系上,两卫星运动的角速度满足|*ω*1*t*-*ω*2*t*|=(2*n*-1)π(*n*=1,2,3,…)或圈数满足=(*n*=1,2,3,…)*.*  2*.*卫星变轨    (1)变轨原理  ①在赤道上顺地球自转方向发射可节省能量,卫星在圆轨道*Ⅰ*上运行,如图所示*.* |
| ②在*A*点(近地点)点火加速,由于速度变大,万有引力不足以提供卫星在轨道*Ⅰ*上做圆周运动的向心力,卫星做离心运动进入椭圆轨道*Ⅱ.*  ③在*B*点(远地点)再次点火加速做离心运动进入圆形轨道*Ⅲ.*  (2)变轨过程分析  ①线速度:设卫星在圆轨道*Ⅰ*和*Ⅲ*上运行时的速率分别为*v*1、*v*3,在轨道*Ⅱ*上过*A*点和*B*点时速率分别为*vA*、*vB.*在*A*点加速,则*vA*>*v*1,在*B*点加速,则*v*3>*vB*,又因*v*1>*v*3,故有*vA*>*v*1>*v*3>*vB.*  ②加速度:因为在*A*点,卫星只受到万有引力作用,故不论从轨道*Ⅰ*还是轨道*Ⅱ*上经过*A*点,卫星的加速度都相同,同理,卫星在轨道*Ⅱ*或轨道*Ⅲ*上经过*B*点的加速度也相同*.*  ③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,轨道半径分别为*r*1、*r*2(半长轴)、 |
| *r*3,由开普勒第三定律=*k*可知*T*1<*T*2<*T*3*.*  ④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,从轨道*Ⅰ*到轨道*Ⅱ*,从轨道*Ⅱ*到轨道*Ⅲ*,都需要点火加速,故*E*1<*E*2<*E*3*.* |

题型例析

例3 [江西2025*·*2,4分]如图所示，Ⅰ和Ⅱ分别为神舟二十号飞船的近地圆轨道、椭圆变轨轨道，Ⅲ为天和核心舱运行圆轨道，P、Q为变轨点。不计阻力，飞船在轨道Ⅱ上从P点到Q点运动过程中，下列选项正确的是（　　）



A．速率增大，机械能增大 B．速率减小，机械能减小

C．速率增大，机械能不变 D．速率减小，机械能不变

解析▶本题的题眼是“Ⅰ和Ⅱ分别为神舟二十号飞船的近地圆轨道、椭圆变轨轨道，Ⅲ为天和核心舱运行圆轨道”*.*

根据题意可知，飞船在轨道Ⅱ上从P点到Q点运动过程中，只有万有引力做负功，则机械能不变，动能减小，即速率减小，D正确。

答案D

例4 [河北唐山2023三模](多选)某次发射卫星时,先将卫星发射到半径为*r*1的近地圆轨道上,运行速度为*v*1,当卫星运动到*A*点时,卫星上的小型火箭发动机点火,使卫星进入椭圆轨道运行,椭圆轨道的远地点*B*与地心的距离为*r*2,卫星经过*B*点的速度为*v*2,其运行轨迹如图所示*.*则下列说法正确的是(　　)



A*.*卫星经过*B*点时的速度*v*2大于卫星在近地圆轨道上的速度*v*1

B*.*卫星在椭圆轨道上运行时经过*A*点的加速度大于经过*B*点的加速度

C*.*卫星在椭圆轨道上的运行周期为

D*.*卫星在近地圆轨道上运行时的机械能大于在椭圆轨道上运行时的机械能

解析▶本题的题眼是“发动机点火,使卫星进入椭圆轨道运行”*.*

卫星变轨到轨道半径为*r*2的圆轨道,设在该圆轨道的运行速度为*v*3,由低轨道到高轨道,需要在切点加速,则有*v*2<*v*3,根据*G*=*m*,解得*v*=*.*由于*r*1<*r*2,可知*v*1>*v*3,则有*v*1>*v*2,即卫星经过*B*点时的速度*v*2小于卫星在近地圆轨道上的速度*v*1,故A错误;在椭圆轨道的*A*、*B*两点满足*G*=*ma*,解得*a*=,由于*r*1<*r*2,可知卫星在椭圆轨道上运行时经过*A*点的加速度大于经过*B*点的加速度,故B正确;对于近地卫星有*T*1=,根据=,解得*T*2=·,故C正确;

低轨道到高轨道需要加速,高轨道卫星的机械能大于低轨道卫星的机械能*.*

卫星由低轨道变轨到高轨道时,需要在轨道的切点位置加速,可知卫星在近地圆轨道上运行时的机械能小于在椭圆轨道上运行时的机械能,D错误*.*

答案BC

**题型3万有引力定律与其他知识的综合**难度★★考频★

|  |
| --- |
| 备考策略  　在未知天体上,通常借助竖直上抛、平抛运动的规律或者牛顿第二定律、运动图像等情景命题,关键在于求解出天体表面的重力加速度,再根据万有引力定律求解未知量*.* |

题型例析

例5 [湖南岳阳2023二模]从“玉兔”登月到“祝融”探火,我国星际探测事业实现了由地月系到行星际的跨越*.*已知火星质量约为月球的9倍,半径约为月球的2倍*.*设火星表面重力加速度为*g*,月球表面重力加速度为*g'.*若在火星表面将一质量为*m*的物体竖直上抛,物体上升的最大高度为*h*;在月球表面将一质量为2*m*的物体以相同的初速度竖直上抛,物体上升的最大高度为*h'.*下列表达式正确的是(　　)

A*.g*∶*g'*=9∶2 B*.g*∶*g'*=2∶9

C*.h*∶*h'*=9∶4 D*.h*∶*h'*=4∶9

解析▶本题的题眼是“在月球表面将一质量为2*m*的物体以相同的初速度竖直上抛”*.*利用重力与万有引力关系求出重力加速度*.*

在星球表面,根据物体所受的万有引力等于重力,可得*G*=*mg*0,解得*g*0=,故==9×=,竖直上抛物体运动的最大高度为*h*0=,则==,故D正确,A、B、C错误*.*

答案D

例6 [江西鹰潭2023二模]国产大片《流浪地球》的热播,开启了人类星际移民的设想*.*如果在某宜居行星上,将一轻弹簧竖直固定在水平桌面上,将质量为*m*的物体从弹簧正上方某位置由静止释放,物体运动过程中的加速度*a*与位移*x*间的关系如图所示*.*已知该宜居行星的半径是地球半径的2倍,地球表面的重力加速度大小为*g*,忽略自转的影响,地球和该宜居行星均可视为质量分布均匀的球体,不计空气阻力,下列说法正确的是(　　)

A*.*物体下落过程中的最大动能为2*ma*0*x*0

B*.*物体下落过程中弹簧的最大压缩量为4*x*0

C*.*宜居行星的密度与地球的密度之比为

D*.*宜居行星的第一宇宙速度与地球的第一宇宙速度之比为

解析▶本题的题眼是“加速度*a*与位移*x*间的关系如图所示”和“忽略自转的影响,地球和该宜居行星均可视为质量分布均匀的球体”*.*利用运动学公式*v*2-=2*ax*可知*a*-*x*图像与坐标轴围成的图形的面积为(*v*2-)*.*

物体下落过程中,加速度为零时速度最大即动能最大,物体受到的合外力*F*=*ma*,故图线与坐标轴围成的图形的面积与*m*的乘积,就等于合外力所做的功,即为动能的增加量,求出最大动能为2*ma*0*x*0,故A正确;弹簧压缩量为2*x*0时,物体处于平衡位置,根据简谐运动的特点,之后再下降2*x*0时仍有速度,仍会再向下运动,故B错误;

不考虑自转,星球表面的万有引力等于重力*.*

由图可知,宜居行星表面的重力加速度大小为*a*0,忽略自转的影响,认为万有引力等于重力,有*a*0=,*g*=,结合*M*=*ρ*·*V*=*ρ*·π*R*3,可得宜居行星的密度与地球的密度之比为,故C错误;该宜居行星的第一宇宙速度*v*1=,地球的第一宇宙速度*v'*1=,可得宜居行星的第一宇宙速度与地球的第一宇宙速度之比为,故D错误*.*

答案A