第4讲　圆周运动　天体的运动

source:si_idp756717744;FounderCES目标要求source:si_idp756730928;FounderCES　1*.*会分析常见圆周运动的向心力来源，并会处理圆周运动的问题。2*.*知道开普勒定律，掌握万有引力定律，会分析天体的运动规律，会比较卫星的运行参量。

考点一　圆周运动

1*.*圆周运动的三种临界情况

(1)接触面滑动临界：*F*f=*F*fmax。

(2)接触面分离临界：*F*N=0。

(3)绳恰好绷紧：*F*T=0；绳恰好断裂：*F*T达到绳子可承受的最大拉力。

2*.*常见的圆周运动及临界条件

(1)水平面内的圆周运动

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 水平面内 | 动力学方程 | 临界情况示例 |
| 水平转盘上的物体 | *F*f=*mω*2*r* | 恰好发生滑动 |
| 圆锥摆模型 | *mg*tan *θ*=*mrω*2 | 恰好离开接触面 |

(2)竖直面及倾斜面内的圆周运动

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 轻绳模型 | 最高点：*F*T+*mg*=*m* | 恰好通过最高点，绳的拉力恰好为0 |
| 轻杆模型 | 最高点：*mg*±*F*=*m* | 恰好通过最高点，杆对小球的力等于小球的重力 |
| 带电小球在叠加  场中的圆周运动    等效法 | 关注六个位置的动力学方程，最高点、最低点、等效最高点、等效最低点，最左边和最右边位置 | 恰好通过等效最高点，恰好做完整的圆周运动 |
| 倾斜转盘上的物体 | 最高点：*mg*sin *θ*±*F*f= *mω*2*r*  最低点*F*f-*mg*sin *θ*=*mω*2*r* | 恰好通过最低点 |

例1　(2023·全国甲卷·17)一质点做匀速圆周运动，若其所受合力的大小与轨道半径的*n*次方成正比，运动周期与轨道半径成反比，则*n*等于(　　)

A.1 B.2 C.3 D.4

例2　(2024·江苏卷·8)生产陶瓷的工作台匀速转动，台面上掉有陶屑，陶屑与台面间的动摩擦因数处处相同(台面足够大)，则(　　)



A*.*越靠近台面边缘的陶屑质量越大

B*.*越靠近台面边缘的陶屑质量越小

C*.*陶屑只能分布在圆台边缘

D*.*陶屑只能分布在某一半径的圆内

例3　(2024·江苏常州市联盟学校调研)磁性圆盘竖直放置，绕固定的水平轴匀速转动，一铁质小物块吸附在距离圆盘中心*r*处，相对于圆盘静止，则小物块(　　)



A.在最高点一定受四个力作用

B.在转一圈的过程中，圆盘对小物块的弹力的冲量为0

C.在转一圈的过程中，圆盘对小物块的摩擦力的冲量方向为竖直向上

D.小物块从圆周的最高点运动到最低点的过程中，摩擦力对小物块做正功

例4　(2024·江苏无锡市四校调研)如图所示的装置中，光滑水平杆固定在竖直转轴上，小圆环A和轻弹簧套在杆上，弹簧两端分别固定于竖直转轴和环A，细线穿过光滑小孔*O*，两端分别与环A和小球B连接，线与水平杆平行，环A的质量为*m*=0*.*1 kg，小球B的质量为2*m*。现使整个装置绕竖直轴以角速度*ω*=5 rad/s匀速转动，细线与竖直方向的夹角为37°。缓慢加速后使整个装置以角速度2*ω*匀速转动，细线与竖直方向的夹角为53°，此时弹簧弹力与角速度为*ω*时大小相等，已知重力加速度*g*=10 m/s2，sin 37°=0*.*6，cos 37°=0*.*8，求：



(1)装置转动的角速度为*ω* 时，细线*OB*的长度*s*；

(2)装置转动的角速度为2*ω*时，弹簧的弹力大小*F*；

(3)装置转动的角速度由*ω*增至2*ω*过程中，细线对小球B做的功*W*。

考点二　万有引力与宇宙航行

1*.*开普勒定律理解

(1)根据开普勒第二定律，行星在椭圆轨道上运动时，相等时间内扫过的面积相等，则*v*1*r*1=*v*2*r*2；



(2)根据开普勒第三定律，=*k*，若为椭圆轨道，则*r*为半长轴，若为圆轨道，则*r*=*R*；

(3)运行过程中行星的机械能守恒，即*E*k1+*E*p1=*E*k2+*E*p2。

2*.*万有引力定律*F*=

(1)*r*为两质点之间的距离或两个均匀球体的球心间的距离；

(2)*G*为引力常量，由物理学家卡文迪什测出。

3*.*天体质量和密度的计算



4*.*卫星的发射、运行及变轨

|  |  |
| --- | --- |
| 在地面附近静止 | 忽略自转：*G*=*mg*，故*GM*=*gR*2(黄金代换式) |
| 考虑自转：  两极：*G*=*mg*  赤道：*G*=*mg*0+*mω*2*R* |
| 卫星的发射 | 地球的第一宇宙速度：*v*===7.9 km/s是最小的发射速度和最大的环绕速度 |
| (天体)卫星在圆轨道上运行 | *G*=*F*n=  “轨高速低周期大” |
| 变轨 | (1)由低轨变高轨，瞬时点火加速，稳定在高轨道上时速度较小、动能较小、机械能较大；由高轨变低轨，反之  (2)卫星经过两个轨道的相切点，加速度相等，外轨道的速度大于内轨道的速度  (3)根据开普勒第三定律，半径(或半长轴)越大，周期越长 |

例5　(2024·新课标卷·16)天文学家发现，在太阳系外的一颗红矮星有两颗行星绕其运行，其中行星GJ1002c的轨道近似为圆，轨道半径约为日地距离的0*.*07倍，周期约为0*.*06年，则这颗红矮星的质量约为太阳质量的(　　)

A*.*0*.*001倍 B*.*0*.*1倍

C*.*10倍 D*.*1 000倍

例6　(2024·江苏苏锡常镇四市二模)如图所示，人造地球卫星A、B绕地球做匀速圆周运动，若用*T*、*v*、*a*、*E*分别表示卫星的周期、速度、加速度、机械能这些物理量的大小，则下列关系一定正确的是(　　)



A.*T*A<*T*B B.*v*A<*v*B

C.*a*A<*a*B D.*E*A<*E*B

例7　(2024·安徽卷·5)2024年3月20日，我国探月工程四期鹊桥二号中继星成功发射升空。当抵达距离月球表面某高度时，鹊桥二号开始进行近月制动，并顺利进入捕获轨道运行，如图所示，轨道的半长轴约为51 900 km。后经多次轨道调整，进入冻结轨道运行，轨道的半长轴约为9 900 km，周期约为24 h。则鹊桥二号在捕获轨道运行时(　　)



A*.*周期约为144 h

B*.*近月点的速度大于远月点的速度

C*.*近月点的速度小于在冻结轨道运行时近月点的速度

D*.*近月点的加速度大于在冻结轨道运行时近月点的加速度

#### 答案精析

例1　C　［质点做匀速圆周运动，根据题意设周期*T*=，质点所受合外力等于质点圆周运动的向心力，根据*F*合=*F*n=*mr*，联立可得*F*n=*r*3，其中为常数，故题中*n*=3，故选C。］

例2　D　［与台面相对静止的陶屑做匀速圆周运动，静摩擦力提供向心力，当静摩擦力为最大静摩擦力(可近似认为最大静摩擦力等于滑动摩擦力)时，半径最大，设为*r*，根据牛顿第二定律可得*μmg*=*mω*2*r*，解得*r*=，*μ*与*ω*均一定，故*r*与陶屑质量无关且为定值，即陶屑只能分布在某一半径的圆内，故A、B、C错误，D正确。］

例3　C　［在最高点小物块可能受到重力、弹力、磁力三个力的作用，重力提供向心力，故A错误；在转一圈的过程中，圆盘对小物块的弹力不为0，冲量不为0，故B错误；

在转一圈的过程中，根据动量定理可知，合力冲量为0，磁力与弹力的合力冲量为0，重力与摩擦力的合力冲量也为0，则圆盘对小物块的摩擦力的冲量方向为竖直向上，故C正确；

小物块从最高点运动到最低点的过程中，动能不变，合外力做功为0，弹力、磁力不做功，重力做正功，则摩擦力对小物块做负功，故D错误。］

例4　(1)0*.*25 m　(2)2 N　(3) J

解析　(1)当装置转动的角速度为*ω*时，对小球B分析，在竖直方向由平衡条件有*F*T1cos 37°=2*mg*

在水平方向由牛顿第二定律有*F*T1sin 37°=2*mω*2*s*sin 37°

解得*s*==0*.*25 m

(2)装置转动的角速度为2*ω*时，设*OB*的长度为*s'*，则对小球B在竖直方向由平衡条件有*F*T2cos 53°=2*mg*

在水平方向由牛顿第二定律有

*F*T2sin 53°=2*m*(2*ω*)2*s'*sin 53°

解得*s'*=

设细线总长度为*L*，则装置转动的角速度为*ω*时对圆环A满足*F*T1-*F*=*mω*2(*L*-*s*)

装置转动的角速度为2*ω*时，对圆环A有

*F*T2+*F*=*m*(2*ω*)2(*L*-*s'*)

解得*F*=2 N

(3)装置转动的角速度由*ω*增至2*ω*过程中，小球B的重力势能变化量为

Δ*E*p=2*mg*(*s*cos 37°-*s'*cos 53°)

动能变化量为Δ*E*k=×2*m*［(2*ωs'*sin 53°)2-(*ωs*sin 37°)2］

解得细线对小球B做的功为

*W*=Δ*E*p+Δ*E*k= J。

例5　B　［设红矮星质量为*M*1，行星质量为*m*1，轨道半径为*r*1，行星绕红矮星运行周期为*T*1；太阳的质量为*M*2，地球质量为*m*2，地球到太阳距离为*r*2，地球公转周期为*T*2；根据万有引力提供向心力有*G*=*m*1*r*1

*G*=*m*2*r*2

联立得=()3·()2

由于轨道半径约为日地距离的0*.*07倍，周期约为0*.*06年，得≈0*.*1，故选B。］

例6　A　［人造卫星所受万有引力提供圆周运动的向心力，有*G*=*m*=*m*()2*r*=*ma*，卫星的周期为*T*=2π，因*r*A<*r*B，则*T*A<*T*B，故A正确；卫星的线速度为*v*=，因*r*A<*r*B，则*v*A>*v*B，故B错误；卫星的加速度为*a*=，因*r*A<*r*B，则*a*A>*a*B，故C错误；卫星的机械能为动能和引力势能之和，因两个卫星的质量关系未知，则机械能无法比较，故D错误。］

例7　B　［根据开普勒第三定律有=，可知鹊桥二号在捕获轨道运行周期*T*2=*T*1≈288 h，A错误；根据开普勒第二定律可知，近月点的速度大于远月点的速度，B正确；

从捕获轨道到冻结轨道，鹊桥二号在近月点进行近月制动减速，在捕获轨道运行时近月点的速度大于在冻结轨道运行时近月点的速度，C错误；

鹊桥二号在两轨道的近月点所受的万有引力相同，根据牛顿第二定律可知，在捕获轨道运行时近月点的加速度等于在冻结轨道运行时近月点的加速度，D错误。］