## 第4讲　万有引力与航天

一、开普勒行星运动定律

1．开普勒第一定律：所有的行星绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在椭圆的一个焦点上．

2．开普勒第二定律：对任意一个行星来说，它与太阳的连线在相等的时间内扫过相等的面积．

3．开普勒第三定律：所有行星的轨道的半长轴的三次方跟公转周期的二次方的比值都相等，表达式：＝*k*.

二、万有引力定律

1．公式：*F*＝，其中*G*＝6.67×10－11 N·m2/kg2，叫引力常量．

2．适用条件：只适用于质点间的相互作用．

3．理解

(1)两质量分布均匀的球体间的相互作用，也可用本定律来计算，其中*r*为两球心间的距离．

(2)一个质量分布均匀的球体和球外一个质点间的万有引力的计算也适用，其中*r*为质点到球心间的距离．

[深度思考]

1.如图1所示的球体不是均匀球体，其中缺少了一规则球形部分，如何求球体剩余部分对质点*P*的引力？

图1

答案　求球体剩余部分对质点*P*的引力时，应用“挖补法”，先将挖去的球补上，然后分别计算出补后的大球和挖去的小球对质点*P*的引力，最后再求二者之差就是阴影部分对质点*P*的引力．

2．两物体间的距离趋近于零时，万有引力趋近于无穷大吗？

答案　不是．当两物体无限接近时，不能再视为质点．

三、宇宙速度

1．三个宇宙速度

|  |  |
| --- | --- |
| 第一宇宙速度(环绕速度) | *v*1＝7.9 km/s，是人造卫星在地面附近绕地球做匀速圆周运动的速度 |
| 第二宇宙速度(脱离速度) | *v*2＝11.2 km/s，使物体挣脱地球引力束缚的最小发射速度 |
| 第三宇宙速度(逃逸速度) | *v*3＝16.7 km/s，使物体挣脱太阳引力束缚的最小发射速度 |

2．第一宇宙速度的理解：人造卫星的最大环绕速度，也是人造卫星的最小发射速度．

3．第一宇宙速度的计算方法

(1)由*G*＝*m*得*v*＝ .

(2)由*mg*＝*m*得*v*＝.

1．判断下列说法是否正确．

(1)地面上的物体所受地球引力的大小均由*F*＝*G*决定，其方向总是指向地心．(　√　)

(2)只有天体之间才存在万有引力．(　×　)

(3)只要已知两个物体的质量和两个物体之间的距离，就可以由*F*＝*G*计算物体间的万有引力．(　×　)

(4)发射速度大于7.9 km/s，小于11.2 km/s时，人造卫星围绕地球做椭圆轨道运动．(　√　)

2．(2016·全国Ⅲ卷·14)关于行星运动的规律，下列说法符合史实的是(　　)

A．开普勒在牛顿定律的基础上，导出了行星运动的规律

B．开普勒在天文观测数据的基础上，总结出了行星运动的规律

C．开普勒总结出了行星运动的规律，找出了行星按照这些规律运动的原因

D．开普勒总结出了行星运动的规律，发现了万有引力定律

答案　B

3．静止在地面上的物体随地球自转做匀速圆周运动．下列说法正确的是(　　)

A．物体受到的万有引力和支持力的合力总是指向地心

B．物体做匀速圆周运动的周期与地球自转周期相等

C．物体做匀速圆周运动的加速度等于重力加速度

D．物体对地面压力的方向与万有引力的方向总是相同

答案　B

4．(人教版必修2P48第3题)金星的半径是地球的0.95倍，质量为地球的0.82倍，金星表面的自由落体加速度是多大？金星的第一宇宙速度是多大？

答案　8.9 m/s2　7.3 km/s

解析　根据星体表面忽略自转影响，重力等于万有引力知*mg*＝

故＝×()2

金星表面的自由落体加速度

*g*金＝*g*地×0.82×()2 m/s2＝8.9 m/s2

由万有引力充当向心力知

＝得*v*＝

所以＝ ＝ ≈0.93

*v*金＝0.93×7.9 km/s≈7.3 km/s.

命题点一　万有引力定律的理解和应用

1．地球表面的重力与万有引力

地面上的物体所受地球的吸引力产生两个效果，其中一个分力提供了物体绕地轴做圆周运动的向心力，另一个分力等于重力．(1)在两极，向心力等于零，重力等于万有引力；(2)除两极外，物体的重力都比万有引力小；(3)在赤道处，物体的万有引力分解为两个分力*F*向和*mg*刚好在一条直线上，则有*F*＝*F*向＋*mg*，所以*mg*＝*F*－*F*向＝－*mRω*.

2．地球表面附近(脱离地面)的重力与万有引力

物体在地球表面附近(脱离地面)时，物体所受的重力等于地球表面处的万有引力，即*mg*＝，*R*为地球半径，*g*为地球表面附近的重力加速度，此处也有*GM*＝*gR*2.

3．距地面一定高度处的重力与万有引力

物体在距地面一定高度*h*处时，*mg*′＝，*R*为地球半径，*g*′为该高度处的重力加速度．

例1　(多选)如图2所示，两质量相等的卫星*A*、*B*绕地球做匀速圆周运动，用*R*、*T*、*E*k、*S*分别表示卫星的轨道半径、周期、动能、与地心连线在单位时间内扫过的面积．下列关系式正确的有(　　)

图2

A．*TA*>*TB* B．*E*k*A*>*E*k*B*

C．*SA*＝*SB* D.＝

答案　AD

解析　由＝＝*mR*和*E*k＝*mv*2可得*T*＝2π ，*E*k＝，因*RA*>*RB*，则*TA*>*TB*，*E*k*A*<*E*k*B*，A对，B错；由开普勒定律可知，C错，D对．

例2　由中国科学院、中国工程院两院院士评出的2012年中国十大科技进展新闻，于2013年1月19日揭晓，“神九”载人飞船与“天宫一号”成功对接和“蛟龙”号下潜突破7 000米分别排在第一、第二．若地球半径为*R*，把地球看做质量分布均匀的球体．“蛟龙”下潜深度为*d*，“天宫一号”轨道距离地面高度为*h*，“蛟龙”号所在处与“天宫一号”所在处的加速度之比为(　　)

A. B.

C. D.

　把地球看做质量分布均匀的球体．

答案　C

解析　令地球的密度为*ρ*，则在地球表面，重力和地球的万有引力大小相等，有：*g*＝*G*.由于地球的质量为：*M*＝*ρ*·π*R*3，所以重力加速度的表达式可写成：*g*＝＝＝π*GρR*.根据题意有，质量分布均匀的球壳对壳内物体的引力为零，故在深度为*d*的地球内部，受到地球的万有引力即为半径等于(*R*－*d*)的球体在其表面产生的万有引力，故“蛟龙号”的重力加速度*g*′＝π*Gρ*(*R*－*d*)．所以有＝.根据万有引力提供向心力*G*＝*ma*，“天宫一号”的加速度为*a*＝，所以＝，＝，故C正确，A、B、D错误．

万有引力的“两点理解”和“两个推论”

1．两物体相互作用的万有引力是一对作用力和反作用力．

2．地球上的物体受到的重力只是万有引力的一个分力．

3．万有引力的两个有用推论

(1)推论1：在匀质球壳的空腔内任意位置处，质点受到球壳的万有引力的合力为零，即Σ*F*引＝0.

(2)推论2：在匀质球体内部距离球心*r*处的质点(*m*)受到的万有引力等于球体内半径为*r*的同心球体(*M*′)对其的万有引力，即*F*＝*G*.

1．(2015·海南单科·6)若在某行星和地球上相对于各自的水平地面附近相同的高度处、以相同的速率平抛一物体，它们在水平方向运动的距离之比为2∶，已知该行星质量约为地球的7倍，地球的半径为*R*.由此可知，该行星的半径约为(　　)

A.*R* B.*R* C．2*R* D.*R*

答案　C

解析　平抛运动在水平方向上为匀速直线运动，即*x*＝*v*0*t*，在竖直方向上做自由落体运动，即*h*＝*gt*2，所以*x*＝*v*0，两种情况下，抛出的速率相同，高度相同，所以＝＝，根据公式*G*＝*mg*可得*R*2＝，故＝ ＝2，解得*R*行＝2*R*，故C正确．

2．有一星球的密度跟地球密度相同，但它表面处的重力加速度是地球表面处重力加速度的4倍，则该星球的质量将是地球质量的(忽略其自转影响)(　　)

A. B．4倍

C．16倍 D．64倍

答案　D

解析　天体表面的重力加速度*g*＝，又知

*ρ*＝＝，

所以*M*＝，

故＝()3＝64.

命题点二　天体质量和密度的估算

天体质量和密度常用的估算方法

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 使用方法 | 已知量 | 利用公式 | 表达式 | 备注 |
| 质量的计算 | 利用运行天体 | *r*、*T* | *G*＝*mr* | *M*＝ | 只能得到中心天体的质量 |
| *r*、*v* | *G*＝*m* | *M*＝ |
| *v*、*T* | *G*＝*m* *G*＝*mr* | *M*＝ |
| 利用天体表面重力加速度 | *g*、*R* | *mg*＝ | *M*＝ |  |
| 密度的计算　 | 利用运行天体 | *r*、*T*、*R* | *G*＝*mr* *M*＝*ρ*·π*R*3 | *ρ*＝当*r*＝*R*时*ρ*＝ | 利用近地卫星只需测出其运行周期 |
| 利用天体表面重力加速度 | *g*、*R* | *mg*＝*M*＝*ρ*·π*R*3 | *ρ*＝ |  |

例3　(多选)公元2100年，航天员准备登陆木星，为了更准确了解木星的一些信息，到木星之前做一些科学实验，当到达与木星表面相对静止时，航天员对木星表面发射一束激光，经过时间*t*，收到激光传回的信号，测得相邻两次看到日出的时间间隔是*T*，测得航天员所在航天器的速度为*v*，已知引力常量*G*，激光的速度为*c*，则(　　)

A．木星的质量*M*＝

B．木星的质量*M*＝

C．木星的质量*M*＝

D．根据题目所给条件，可以求出木星的密度

　区分两个时间*t*、*T*的区别．

答案　AD

解析　航天器的轨道半径*r*＝，木星的半径*R*＝－，木星的质量*M*＝＝；知道木星的质量和半径，可以求出木星的密度，故A、D正确，B、C错误．

计算中心天体的质量、密度时的两点区别

1．天体半径和卫星的轨道半径

通常把天体看成一个球体，天体的半径指的是球体的半径．卫星的轨道半径指的是卫星围绕天体做圆周运动的圆的半径．卫星的轨道半径大于等于天体的半径．

2．自转周期和公转周期

自转周期是指天体绕自身某轴线运动一周所用的时间，公转周期是指卫星绕中心天体做圆周运动一周所用的时间．自转周期与公转周期一般不相等．

3．过去几千年来，人类对行星的认识与研究仅限于太阳系内，行星“51 peg b”的发现拉开了研究太阳系外行星的序幕．“51 peg b”绕其中心恒星做匀速圆周运动，周期约为4天，轨道半径约为地球绕太阳运动半径的，该中心恒星与太阳的质量比约为(　　)

A. B．1 C．5 D．10

答案　B

解析　根据万有引力提供向心力，有*G*＝*mr*，可得*M*＝，所以恒星质量与太阳质量之比为＝＝()3×()2≈1，故选项B正确．

4．据报道，天文学家新发现了太阳系外的一颗行星．这颗行星的体积是地球的*a*倍，质量是地球的*b*倍．已知近地卫星绕地球运动的周期约为*T*，引力常量为*G*.则该行星的平均密度为(　　)

A. B. C. D.

答案　C

解析　万有引力提供近地卫星绕地球运动的向心力：*G*＝*m*，且*ρ*地＝，由以上两式得*ρ*地＝.而＝＝，因而*ρ*星＝.

命题点三　卫星运行参量的比较与计算

1．物理量随轨道半径变化的规律

2．极地卫星和近地卫星

(1)极地卫星运行时每圈都经过南北两极，由于地球自转，极地卫星可以实现全球覆盖．

(2)近地卫星是在地球表面附近环绕地球做匀速圆周运动的卫星，其运行的轨道半径可近似认为等于地球的半径，其运行线速度约为7.9 km/s.

(3)两种卫星的轨道平面一定通过地球的球心．

例4　(多选)(2015·天津理综·8)*P*1、*P*2为相距遥远的两颗行星，距各自表面相同高度处各有一颗卫星*s*1、*s*2做匀速圆周运动．图3中纵坐标表示行星对周围空间各处物体的引力产生的加速度*a*，横坐标表示物体到行星中心的距离*r*的平方，两条曲线分别表示*P*1、*P*2周围的*a*与*r*2的反比关系，它们左端点横坐标相同．则(　　)

图3

A．*P*1的平均密度比*P*2的大

B．*P*1的“第一宇宙速度”比*P*2的小

C．*s*1的向心加速度比*s*2的大

D．*s*1的公转周期比*s*2的大

　①*a*与*r*2成反比；②它们左端点横坐标相同．

答案　AC

解析　由题图可知两行星半径相同，则体积相同，由*a*＝*G*可知*P*1质量大于*P*2，则*P*1密度大于*P*2，故A正确；第一宇宙速度*v*＝ ，所以*P*1的“第一宇宙速度”大于*P*2，故B错误；卫星的向心加速度为*a*＝，所以*s*1的向心加速度大于*s*2，故C正确；由＝*m*(*R*＋*h*)得*T*＝ ，故*s*1的公转周期比*s*2的小，故D错误．

利用万有引力定律解决卫星运动的技巧

1．一个模型

天体(包括卫星)的运动可简化为质点的匀速圆周运动模型．

2．两组公式

*G*＝*m*＝*mω*2*r*＝*mr*＝*ma*

*mg*＝(*g*为天体表面处的重力加速度)

3．*a*、*v*、*ω*、*T*均与卫星的质量无关，只由轨道半径和中心天体质量共同决定，所有参量的比较，最终归结到半径的比较．

5．如图4，甲、乙两颗卫星以相同的轨道半径分别绕质量为*M*和2*M*的行星做匀速圆周运动，下列说法正确的是(　　)

图4

A．甲的向心加速度比乙的小

B．甲的运行周期比乙的小

C．甲的角速度比乙的大

D．甲的线速度比乙的大

答案　A

解析　由万有引力提供向心力得*G*＝*m*＝*mω*2*r*＝*ma*＝*mr*，变形得：*a*＝，*v*＝ ，*ω*＝ ，*T*＝2π ，只有周期*T*和*M*成减函数关系，而*a*、*v*、*ω*和*M*成增函数关系，故选A.

6．(多选)据天文学家研究发现，月球正在以每年3.8 cm的“速度”远离地球，地月之间的距离从“刚开始”的约2×104 km拉大到目前的约38×104 km,100万年前的古人类看到的月球大小是现在的15倍左右，随着时间推移，月球还会“走”很远，最终离开地球的“视线”，假设地球和月球的质量不变，不考虑其他星球对“地—月”系统的影响，已知月球环绕地球运动的周期为27 d(天)，＝4.36，＝3.87，以下说法正确的是(　　)

A．随着时间的推移，月球在离开地球“视线”之前的重力势能会缓慢增大

B．月球“刚开始”环绕地球运动的线速度大小约为目前的15倍

C．月球“刚开始”环绕地球运动的周期约为8 h

D．月球目前的向心加速度约为“刚开始”的倍

答案　AC

解析　月球在离开地球“视线”之前要克服万有引力做功，所以重力势能会缓慢增大，A正确．根据万有引力充当向心力得*v*＝ ，所以刚开始时*v*′＝ *v*＝4.36*v*，B错误．根据万有引力充当向心力得*T*＝ ，所以刚开始时*T*′＝*T*＝ h≈8 h，故C正确．根据万有引力充当向心力得＝*ma*，所以目前的向心加速度为*a*＝*a*′＝*a*′，D错误．

命题点四　卫星变轨问题分析

1．速度：如图5所示，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*.

图5

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，经过*B*点加速度也相同．

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，则*E*1<*E*2<*E*3.

例5　(2016·天津理综·3改编)如图6所示，我国发射的“天宫二号”空间实验室已与“神舟十一号”飞船完成对接．假设“天宫二号”与“神舟十一号”都围绕地球做匀速圆周运动，为了实现飞船与空间实验室的对接，下列措施可行的是(　　)

图6

A．使飞船与空间实验室在同一轨道上运行，然后飞船加速追上空间实验室实现对接

B．使飞船与空间实验室在同一轨道上运行，然后空间实验室减速等待飞船实现对接

C．飞船先在比空间实验室半径小的轨道上加速，加速后飞船逐渐靠近空间实验室，两者速度接近时实现对接

D．飞船先在比空间实验室半径小的轨道上减速，减速后飞船逐渐靠近空间实验室，两者速度接近时实现对接

答案　C

解析　若使飞船与空间实验室在同一轨道上运行，然后飞船加速，所需向心力变大，则飞船将脱离原轨道而进入更高的轨道，不能实现对接，选项A错误；若使飞船与空间实验室在同一轨道上运行，然后空间实验室减速，所需向心力变小，则空间实验室将脱离原轨道而进入更低的轨道，不能实现对接，选项B错误；要想实现对接，可使飞船在比空间实验室半径小的轨道上加速，然后飞船将进入较高的空间实验室轨道，逐渐靠近空间实验室后，两者速度接近时实现对接，选项C正确；若飞船在比空间实验室半径较小的轨道上减速，则飞船将进入更低的轨道，不能实现对接，选项D错误．

7．嫦娥三号携带有一台无人月球车，重3吨多，是当时我国设计的最复杂的航天器．如图7所示为其飞行轨道示意图，则下列说法正确的是(　　)

图7

A．嫦娥三号的发射速度应该大于11.2 km/s

B．嫦娥三号在环月轨道1上*P*点的加速度大于在环月轨道2上*P*点的加速度

C．嫦娥三号在环月轨道2上运行周期比在环月轨道1上运行周期小

D．嫦娥三号在动力下降段中一直处于完全失重状态

答案　C

解析　在地球表面发射卫星的速度大于11.2 km/s时，卫星将脱离地球束缚，绕太阳运动，故A错误；根据万有引力提供向心力*G*＝*ma*得*a*＝，由此可知在环月轨道2上经过*P*的加速度等于在环月轨道1上经过*P*的加速度，故B错误；根据开普勒第三定律＝*k*，由此可知，轨道半径越小，周期越小，故嫦娥三号在环月轨道2上运行周期比在环月轨道1上运行周期小，故C正确；嫦娥三号在动力下降段中，除了受到重力还受到动力，故不是完全失重状态，故D错误．

8．(多选)某航天飞机在*A*点从圆形轨道Ⅰ进入椭圆轨道Ⅱ，*B*为轨道Ⅱ上的一点，如图8所示．关于航天飞机的运动，下列说法中正确的有(　　)

图8

A．在轨道Ⅱ上经过*A*的速度小于经过*B*的速度

B．在轨道Ⅱ上经过*A*的动能小于在轨道Ⅰ上经过*A*的动能

C．在轨道Ⅱ上运动的周期小于在轨道Ⅰ上运动的周期

D．在轨道Ⅱ上经过*A*的加速度小于在轨道Ⅰ上经过*A*的加速度

答案　ABC

解析　轨道Ⅱ为椭圆轨道，根据开普勒第二定律，航天飞机与地球的连线在相等的时间内扫过的面积相等，可知近地点的速度大于远地点的速度，故A正确．根据开普勒第三定律，航天飞机在轨道Ⅰ和轨道Ⅱ上满足＝，又*R*>*a*，可知*T*Ⅰ>*T*Ⅱ，故C正确．航天飞机在*A*点变轨时，主动减小速度，所需要的向心力小于此时的万有引力，做近心运动，从轨道Ⅰ变换到轨道Ⅱ，又*E*k＝*mv*2，故B正确．无论在轨道Ⅰ上还是在轨道Ⅱ上，*A*点到地球的距离不变，航天飞机受到的万有引力一样，由牛顿第二定律可知向心加速度相同，故D错误.

“嫦娥”探月发射过程的“四大步”

一、探测器的发射

典例1　我国已于2013年12月2日凌晨1∶30分使用长征三号乙运载火箭成功发射“嫦娥三号”．火箭加速是通过喷气发动机向后喷气实现的．设运载火箭和“嫦娥三号”的总质量为*M*，地面附近的重力加速度为*g*，地球半径为*R*，万有引力常量为*G*.

(1)用题给物理量表示地球的质量．

(2)假设在“嫦娥三号”舱内有一平台，平台上放有测试仪器，仪器对平台的压力可通过监控装置传送到地面．火箭从地面发射后以加速度竖直向上做匀加速直线运动，升到某一高度时，地面监控器显示“嫦娥三号”舱内测试仪器对平台的压力为发射前压力的，求此时火箭离地面的高度．

答案　见解析

解析　(1)在地面附近，*mg*＝*G*，解得：*M*地＝.

(2)设此时火箭离地面的高度为*h*，选仪器为研究对象，设仪器质量为*m*0，火箭发射前，仪器对平台的压力

*F*0＝*G*＝*m*0*g*.

在距地面的高度为*h*时，仪器所受的万有引力为*F*＝*G*

设在距离地面的高度为*h*时，平台对仪器的支持力为*F*1，根据题述和牛顿第三定律得，*F*1＝*F*0

由牛顿第二定律得，*F*1－*F*＝*m*0*a*，*a*＝

联立解得：*h*＝

二、地月转移

典例2　(多选)如图9是“嫦娥三号”飞行轨道示意图，在地月转移段，若不计其他星体的影响，关闭发动机后，下列说法正确的是(　　)

图9

A．“嫦娥三号”飞行速度一定越来越小

B．“嫦娥三号”的动能可能增大

C．“嫦娥三号”的动能和引力势能之和一定不变

D．“嫦娥三号”的动能和引力势能之和可能增大

答案　AC

解析　在地月转移段“嫦娥三号”所受地球和月球的引力之和指向地球，关闭发动机后，“嫦娥三号”向月球飞行，要克服引力做功，动能一定减小，速度一定减小，选项A正确，B错误．关闭发动机后，只有万有引力做功，“嫦娥三号”的动能和引力势能之和一定不变，选项C正确，D错误．

三、绕月飞行

典例3　(多选)典例2的题图是“嫦娥三号”飞行轨道示意图．假设“嫦娥三号”运行经过*P*点第一次通过近月制动使“嫦娥三号”在距离月面高度为100 km的圆轨道Ⅰ上运动，再次经过*P*点时第二次通过近月制动使“嫦娥三号”在距离月面近地点为*Q*、高度为15 km，远地点为*P*、高度为100 km的椭圆轨道Ⅱ上运动，下列说法正确的是(　　)

A．“嫦娥三号”在距离月面高度为100 km的圆轨道Ⅰ上运动时速度大小可能变化

B．“嫦娥三号”在距离月面高度100 km的圆轨道Ⅰ上运动的周期一定大于在椭圆轨道Ⅱ上运动的周期

C．“嫦娥三号”在椭圆轨道Ⅱ上运动经过*Q*点时的加速度一定大于经过*P*点时的加速度

D．“嫦娥三号”在椭圆轨道Ⅱ上运动经过*Q*点时的速度可能小于经过*P*点时的速度

答案　BC

解析　“嫦娥三号”在距离月面高度为100 km的圆轨道上运动是匀速圆周运动，速度大小不变，选项A错误．由于圆轨道的轨道半径大于椭圆轨道半长轴，根据开普勒定律，“嫦娥三号”在距离月面高度100 km的圆轨道Ⅰ上运动的周期一定大于在椭圆轨道Ⅱ上运动的周期，选项B正确．由于在*Q*点“嫦娥三号”所受万有引力大，所以“嫦娥三号”在椭圆轨道Ⅱ上运动经过*Q*点时的加速度一定大于经过*P*点时的加速度，选项C正确．“嫦娥三号”在椭圆轨道上运动的引力势能和动能之和保持不变，*Q*点的引力势能小于*P*点的引力势能，所以“嫦娥三号”在椭圆轨道Ⅱ上运动到*Q*点的动能较大，速度较大，所以“嫦娥三号”在椭圆轨道Ⅱ上运动经过*Q*点时的速度一定大于经过*P*点时的速度，选项D错误．

四、探测器着陆

典例4　“嫦娥三号”探测器着陆是从15 km的高度开始的，由着陆器和“玉兔”号月球车组成的“嫦娥三号”月球探测器总重约3.8 t．主减速段开启的反推力发动机最大推力为7 500 N，不考虑月球和其他天体的影响，月球表面附近重力加速度约为1.6 m/s2，“嫦娥三号”探测器在1 s内(　　)

A．速度增加约2 m/s B．速度减小约2 m/s

C．速度增加约0.37 m/s D．速度减小约0.37 m/s

答案　B

解析　根据题述，不考虑月球和其他天体的影响，也就是不考虑重力，由牛顿第二定律，－*F*＝*ma*，解得

*a*≈－2 m/s2，根据加速度的意义可知“嫦娥三号”探测器在1 s内速度减小约2 m/s，选项B正确．

题组1　万有引力定律的理解与应用

1．关于行星运动定律和万有引力定律的建立过程，下列说法正确的是(　　)

A．第谷通过整理大量的天文观测数据得到行星运动规律

B．开普勒指出，地球绕太阳运动是因为受到来自太阳的引力

C．牛顿通过比较月球公转的向心加速度和地球赤道上物体随地球自转的向心加速度，对万有引力定律进行了“月地检验”

D．卡文迪许在实验室里通过几个铅球之间万有引力的测量，得出了引力常量的数值

答案　D

2．理论上已经证明：质量分布均匀的球壳对壳内物体的万有引力为零．现假设地球是一半径为*R*、质量分布均匀的实心球体，*O*为球心，以*O*为原点建立坐标轴*Ox*，如图1所示．一个质量一定的小物体(假设它能够在地球内部移动)在*x*轴上各位置受到的引力大小用*F*表示，则选项所示的四个*F*随*x*变化的关系图中正确的是(　　)

图1

答案　A

解析　因为质量分布均匀的球壳对壳内物体的万有引力为零，则在距离球心*x*处(*x*≤*R*)物体所受的引力为*F*＝＝＝*G*π*ρmx*∝*x*，故*F*－*x*图线是过原点的直线；当*x*>*R*时，*F*＝＝＝∝，故选项A正确．

3．一卫星绕某一行星表面附近做匀速圆周运动，其线速度大小为*v*.假设宇航员在该行星表面上用弹簧测力计测量一质量为*m*的物体重力，物体静止时，弹簧测力计的示数为*N*.已知引力常量为*G*，则这颗行星的质量为(　　)

A. B. C. D.

答案　B

解析　设卫星的质量为*m*′

由万有引力提供向心力，得*G*＝*m*′ ①

*m*′＝*m*′*g* ②

由已知条件：*m*的重力为*N*得

*N*＝*mg* ③

由③得*g*＝，代入②得：*R*＝

代入①得*M*＝，故A、C、D错误，B项正确．

4．(多选)(2015·新课标全国Ⅰ·21)我国发射的“嫦娥三号”登月探测器靠近月球后，先在月球表面附近的近似圆轨道上绕月运行；然后经过一系列过程，在离月面4 m高处做一次悬停(可认为是相对于月球静止)；最后关闭发动机，探测器自由下落．已知探测器的质量约为1.3×103 kg，地球质量约为月球的81倍，地球半径约为月球的3.7倍，地球表面的重力加速度大小约为9.8 m/s2.则此探测器(　　)

A．在着陆前的瞬间，速度大小约为8.9 m/s

B．悬停时受到的反冲作用力约为2×103 N

C．从离开近月圆轨道到着陆这段时间内，机械能守恒

D．在近月圆轨道上运行的线速度小于人造卫星在近地圆轨道上运行的线速度

答案　BD

解析　在星球表面有＝*mg*，所以重力加速度*g*＝，地球表面*g*＝＝9.8 m/s2，则月球表面*g*′＝＝×≈*g*，则探测器重力*G*＝*mg*′＝1 300××9.8 N≈2×103 N，选项B正确；探测器做自由落体运动，末速度*v*＝≈ m/s≈3.6 m/s，选项A错误；关闭发动机后，仅在月球引力作用下机械能守恒，而离开近月轨道后还有制动悬停，所以机械能不守恒，选项C错误；在近月圆轨道运动时万有引力提供向心力，有＝，所以*v*＝＝＜ ，即在近月圆轨道上运行的线速度小于人造卫星在近地圆轨道上运行的线速度，选项D正确．

题组2　中心天体质量和密度的估算

5．一卫星绕火星表面附近做匀速圆周运动，其绕行的周期为*T*.假设宇航员在火星表面以初速度*v*水平抛出一小球，经过时间*t*恰好垂直打在倾角*α*＝30°的斜面体上，如图2所示．已知引力常量为*G*，则火星的质量为(　　)

图2

A. B.

C. D.

答案　B

解析　以*M*表示火星的质量，*r*0表示火星的半径，*g*′表示火星表面附近的重力加速度，火星对卫星的万有引力提供向心力，有*G*＝*m*()2*r*0，在火星表面有*G*＝*m*′*g*′；平抛小球速度的偏转角为60°，tan 60°＝，联立以上各式解得*M*＝，B正确．

6．(2014·新课标全国Ⅱ·18)假设地球可视为质量均匀分布的球体．已知地球表面重力加速度在两极的大小为*g*0，在赤道的大小为*g*，地球自转的周期为*T*，引力常量为*G*.地球的密度为(　　)

A. B.

C. D.

答案　B

解析　物体在地球的两极时，*mg*0＝*G*，物体在赤道上时，*mg*＋*m*()2*R*＝*G*，又*V*＝π*R*3，联立以上三式解得地球的密度*ρ*＝.故选项B正确，选项A、C、D错误．

7．(多选)如图3所示，飞行器*P*绕某星球做匀速圆周运动，星球相对飞行器的张角为*θ*，下列说法正确的是(　　)

图3

A．轨道半径越大，周期越长

B．轨道半径越大，速度越大

C．若测得周期和张角，可得到星球的平均密度

D．若测得周期和轨道半径，可得到星球的平均密度

答案　AC

解析　设星球质量为*M*，半径为*R*，飞行器绕星球转动半径为*r*，周期为*T*.由*G*＝*mr*知*T*＝2π，*r*越大，*T*越大，选项A正确；由*G*＝*m*知*v*＝ ，*r*越大，*v*越小，选项B错误；由*G*＝*mr*和*ρ*＝得*ρ*＝，又＝sin ，所以*ρ*＝，所以选项C正确，D错误．

8．我国月球探测计划“嫦娥工程”已经启动，科学家对月球的探索会越来越深入．

(1)若已知地球半径为*R*，地球表面的重力加速度为*g*，月球绕地球运动的周期为*T*，月球绕地球的运动近似看做匀速圆周运动，试求出月球绕地球运动的轨道半径．

(2)若宇航员随登月飞船登陆月球后，在月球表面高度为*h*的某处以速度*v*0水平抛出一个小球，小球飞出的水平距离为*x*.已知月球半径为*R*月，引力常量为*G*，试求出月球的质量*M*月．

答案　(1) 　(2)

解析　(1)设地球质量为*M*，根据万有引力定律及向心力公式得*G*＝*M*月()2*r*，*G*＝*mg*

联立解得*r*＝

(2)设月球表面处的重力加速度为*g*月，小球飞行时间为*t*，根据题意得*x*＝*v*0*t*，*h*＝*g*月*t*2

*G*＝*m*′*g*月

联立解得*M*月＝.

题组3　卫星运行参量的比较和计算

9．(多选)2011年中俄联合实施探测火星计划，由中国负责研制的“萤火一号”火星探测器与俄罗斯研制的“福布斯—土壤”火星探测器一起由俄罗斯“天顶”运载火箭发射前往火星．已知火星的质量约为地球质量的，火星的半径约为地球半径的.下列关于火星探测器的说法中正确的是(　　)

A．发射速度只要大于第一宇宙速度即可

B．发射速度只有达到第三宇宙速度才可以

C．发射速度应大于第二宇宙速度而小于第三宇宙速度

D．火星探测器环绕火星运行的最大速度为地球第一宇宙速度的

答案　CD

解析　根据三个宇宙速度的意义，可知选项A、B错误，选项C正确；已知*M*火＝，*R*火＝，则＝ ∶＝.

10．(多选)(2015·广东理综·20)在星球表面发射探测器，当发射速度为*v*时，探测器可绕星球表面做匀速圆周运动；当发射速度达到 *v*时，可摆脱星球引力束缚脱离该星球．已知地球、火星两星球的质量比约为10∶1，半径比约为2∶1，下列说法正确的有(　　)

A．探测器的质量越大，脱离星球所需要的发射速度越大

B．探测器在地球表面受到的引力比在火星表面的大

C．探测器分别脱离两星球所需要的发射速度相等

D．探测器脱离星球的过程中，势能逐渐增大

答案　BD

解析　由牛顿第二定律得*G*＝*m*，解得*v*＝ ，所以*v*＝× ＝ ，所以探测器脱离星球的发射速度与探测器的质量无关，A错误；因为地球与火星质量与半径的比值不同，所以C错误；探测器在地球表面受到的引力*F*1＝，在火星表面受到的引力为*F*2＝，所以*F*1∶*F*2＝＝5∶2，B正确；探测器脱离星球的过程中，引力做负功，引力势能逐渐增大，D正确．

11．嫦娥工程分为三期，简称“绕、落、回”三步走．我国发射的“嫦娥三号”卫星是嫦娥工程第二阶段的登月探测器，经变轨成功落月．若该卫星在某次变轨前，在距月球表面高度为*h*的轨道上绕月球做匀速圆周运动，其运行的周期为*T*.若以*R*表示月球的半径，忽略月球自转及地球对卫星的影响，则(　　)

A．“嫦娥三号”绕月球做匀速圆周运动时的线速度大小为

B．物体在月球表面自由下落的加速度大小为

C．在月球上发射月球卫星的最小发射速度为

D．月球的平均密度为

答案　B

解析　“嫦娥三号”卫星绕月球做匀速圆周运动，轨道半径*r*＝*R*＋*h*，则线速度*v*＝，A错误．由＝*m*(*R*＋*h*)，＝*mg*月，可得物体在月球表面自由下落的加速度*g*月＝，B正确．因月球上卫星的最小发射速度为最大环绕速度，有＝，又＝*m*(*R*＋*h*)，可得*v*＝ ，C错误．由＝*m*(*R*＋*h*)，*ρ*＝，*V*＝π*R*3，可得月球的平均密度*ρ*＝，D错误．

题组4　卫星变轨问题分析

12．如图4所示，“嫦娥三号”探测器发射到月球上要经过多次变轨，最终降落到月球表面上，其中轨道Ⅰ为圆形轨道，轨道Ⅱ为椭圆轨道．下列说法正确的是(　　)

图4

A．探测器在轨道Ⅰ运行时的加速度大于月球表面的重力加速度

B．探测器在轨道Ⅰ经过*P*点时的加速度小于在轨道Ⅱ经过*P*点时的加速度

C．探测器在轨道Ⅰ的运行周期大于在轨道Ⅱ的运行周期

D．探测器在*P*点由轨道Ⅰ进入轨道Ⅱ必须点火加速

答案　C

解析　探测器在轨道Ⅰ运行时的万有引力小于在月球表面时的万有引力，根据牛顿第二定律，探测器在轨道Ⅰ运行时的加速度小于月球表面的重力加速度，故A错误；根据万有引力提供向心力有＝*ma*，距地心距离相同，则加速度相同，故探测器在轨道Ⅰ经过*P*点时的加速度等于在轨道Ⅱ经过*P*点时的加速度，故B错误；轨道Ⅰ的半径大于轨道Ⅱ的半长轴，根据开普勒第三定律，探测器在轨道Ⅰ的运行周期大于在轨道Ⅱ的运行周期，故C正确；探测器在*P*点由轨道Ⅰ进入轨道Ⅱ必须减速，故D错误．

13．(多选)2012年6月18日，神舟九号飞船与天宫一号目标飞行器在离地面343 km的近圆轨道上成功进行了我国首次载人空间交会对接．对接轨道所处的空间存在极其稀薄的大气，下面说法正确的是(　　)

A．为实现对接，两者运行速度的大小都应介于第一宇宙速度和第二宇宙速度之间

B．如不加干预，在运行一段时间后，天宫一号的动能可能会增加

C．如不加干预，天宫一号的轨道高度将缓慢降低

D．航天员在天宫一号中处于失重状态，说明航天员不受地球引力作用

答案　BC

解析　地球所有卫星的运行速度都小于第一宇宙速度，故A错误．轨道处的稀薄大气会对天宫一号产生阻力，如不加干预，其轨道会缓慢降低，天宫一号的重力势能一部分转化为动能，故天宫一号的动能可能会增加，B、C正确；航天员受到地球引力作用，此时引力充当向心力，产生向心加速度，航天员处于失重状态，D错误．