## 万有引力定律及应用

### 考点一　开普勒定律

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 定律 | 内容 | 图示或公式 |
| 开普勒第一定律(轨道定律) | 所有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 |  |
| 开普勒第二定律(面积定律) | 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的面积相等 |  |
| 开普勒第三定律(周期定律) | 所有行星轨道的半长轴的三次方跟它的公转周期的二次方的比都相等 | ＝*k*，*k*是一个与行星无关的常量 |

技巧点拨

1．行星绕太阳的运动通常按圆轨道处理．

2．由开普勒第二定律可得*v*1·Δ*t*·*r*1＝*v*2·Δ*t*·*r*2，解得＝，即行星在两个位置的速度之比与到太阳的距离成反比，近日点速度最大，远日点速度最小．

3．开普勒第三定律＝*k*中，*k*值只与中心天体的质量有关，不同的中心天体*k*值不同．但该定律只能用在同一中心天体的两星体之间．

例题精练

1．火星和木星沿各自的椭圆轨道绕太阳运行，根据开普勒行星运动定律可知(　　)

A．太阳位于木星运行轨道的中心

B.火星和木星绕太阳运行速度的大小始终相等

C．火星与木星公转周期之比的平方等于它们轨道半长轴之比的立方

D．相同时间内，火星与太阳连线扫过的面积等于木星与太阳连线扫过的面积

答案　C

解析　由开普勒第一定律(轨道定律)可知，太阳位于木星运行轨道的一个焦点上，故A错误；火星和木星绕太阳运行的轨道不同，运行速度的大小不可能始终相等，故B错误；根据开普勒第三定律(周期定律)知，太阳系中所有行星轨道的半长轴的三次方与它的公转周期的平方的比值是一个常数，故C正确；对于太阳系某一个行星来说，其与太阳连线在相同的时间内扫过的面积相等，不同行星在相同时间内扫过的面积不相等，故D错误．

2．(多选)如图1，海王星绕太阳沿椭圆轨道运动，*P*为近日点，*Q*为远日点，*M*、*N*为轨道短轴的两个端点，运行的周期为*T*0.若只考虑海王星和太阳之间的相互作用，则海王星在从*P*经*M*、*Q*到*N*的运动过程中(　　)

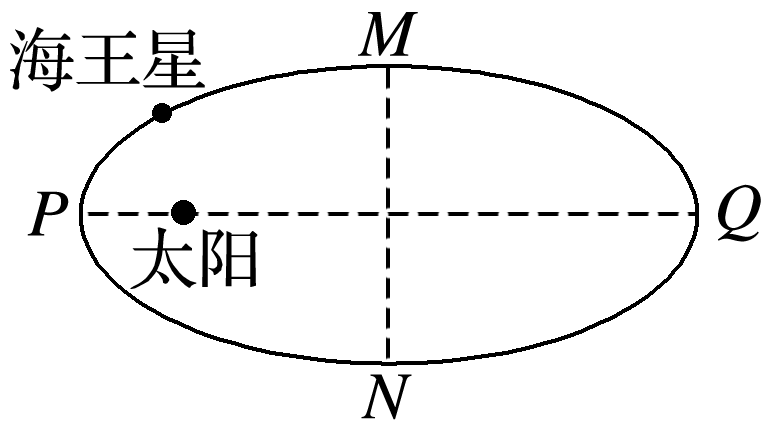


图1

A．从*P*到*M*所用的时间等于

B．从*Q*到*N*阶段，机械能逐渐变大

C．从*P*到*Q*阶段，速率逐渐变小

D．从*M*到*N*阶段，万有引力对它先做负功后做正功

答案　CD

解析　根据开普勒第二定律，行星与太阳的连线在相等时间内扫过的面积相等，所以从*P*到*M*所用的时间小于从*M*到*Q*所用的时间，而从*P*到*Q*所用的时间为，所以从*P*到*M*所用的时间小于，选项A错误；从*Q*到*N*阶段，只有万有引力对海王星做功，机械能保持不变，选项B错误；从*P*到*Q*阶段，海王星从近日点运动至远日点，速率逐渐减小，选项C正确；从*M*到*Q*阶段，万有引力做负功，从*Q*到*N*阶段，万有引力做正功，选项D正确．

### 考点二　万有引力定律

1．内容

自然界中任何两个物体都相互吸引，引力的方向在它们的连线上，引力的大小与物体的质量*m*1和*m*2的乘积成正比、与它们之间距离*r*的二次方成反比．

2．表达式

*F*＝*G*，*G*为引力常量，*G*＝6.67×10－11 N·m2/kg2，由英国物理学家卡文迪许测定．

3．适用条件

(1)公式适用于质点间的相互作用，当两个物体间的距离远大于物体本身的大小时，物体可视为质点．

(2)质量分布均匀的球体可视为质点，*r*是两球心间的距离．

技巧点拨

1．万有引力与重力的关系

地球对物体的万有引力*F*可分解为：重力*mg*；提供物体随地球自转的向心力*F*向．

(1)在赤道上：*G*＝*mg*1＋*mω*2*R*.

(2)在两极上：*G*＝*mg*0.

(3)在一般位置：万有引力*G*等于重力*mg*与向心力*F*向的矢量和．

越靠近南、北两极，向心力越小，*g*值越大．由于物体随地球自转所需的向心力较小，常认为万有引力近似等于重力，即＝*mg*.

2．星球上空的重力加速度*g*′

星球上空距离星体中心*r*＝*R*＋*h*处的重力加速度为*g*′，*mg*′＝()，得*g*′＝().所以＝().

3．万有引力的“两点理解”和“两个推论”

(1)两点理解

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(两极除外)受到的重力只是万有引力的一个分力．

(2)两个推论

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∑*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*.

例题精练

3．(万有引力公式的应用)(全国卷Ⅰ·15)火星的质量约为地球质量的，半径约为地球半径的，则同一物体在火星表面与在地球表面受到的引力的比值约为(　　)

A．0.2 B．0.4 C．2.0 D．2.5

答案　B

解析　万有引力表达式为*F*＝*G*，则同一物体在火星表面与地球表面受到的引力的比值为＝＝0.4，选项B正确．

4.如图2所示，有一个质量为*M*、半径为*R*、密度均匀的大球体．从中挖去一个半径为的小球体，并在空腔中心放置一质量为*m*的质点，则大球体的剩余部分对该质点的万有引力大小为(已知质量分布均匀的球壳对壳内物体的引力为零)(　　)

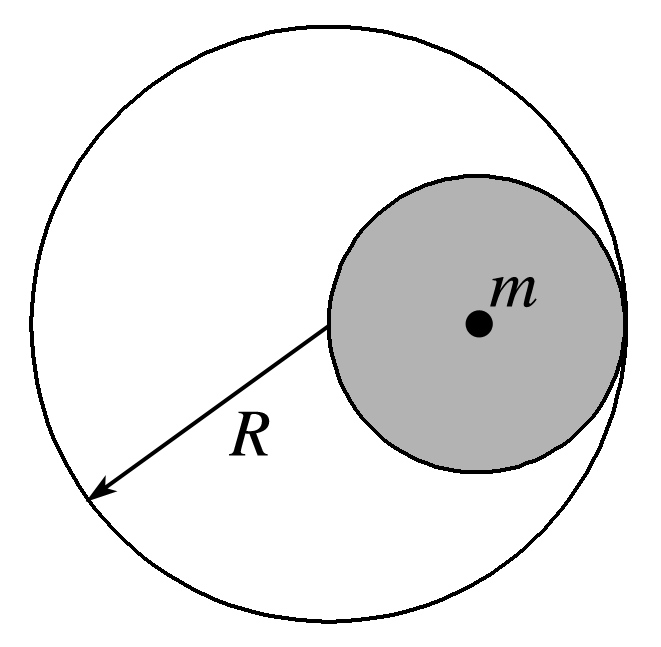


图2

A．*G* B．0

C．4*G* D．*G*

答案　D

解析　若将挖去的小球体用原材料补回，可知剩余部分对质点的万有引力等于完整大球体对质点的万有引力与挖去的小球体对质点的万有引力之差，挖去的小球体球心与质点重合，对质点的万有引力为零，则剩余部分对质点的万有引力等于完整大球体对质点的万有引力．以完整大球体球心为中心分离出半径为的球，易知其质量为*M*，则分离后的均匀球壳对质点的万有引力为零．综上可知，剩余部分对质点的万有引力等于分离出的球对其的万有引力，根据万有引力定律，*F*＝*G*＝*G*，故D正确．

### 考点三　天体质量和密度的计算

应用万有引力定律估算天体的质量、密度

(1)利用天体表面重力加速度

已知天体表面的重力加速度*g*和天体半径*R*.

①由*G*＝*mg*，得天体质量*M*＝.

②天体密度*ρ*＝＝＝.

(2)利用运行天体

测出卫星绕中心天体做匀速圆周运动的半径*r*和周期*T*.

①由*G*＝*mr*，得*M*＝.

②若已知天体的半径*R*，则天体的密度*ρ*＝＝＝.

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*ρ*＝，故只要测出卫星环绕天体表面运动的周期*T*，就可估算出中心天体的密度．

例题精练

5.2018年7月25日消息称，科学家们在火星上发现了第一个液态水湖，这表明火星上很可能存在生命．美国的“洞察”号火星探测器曾在2018年11月降落到火星表面．假设该探测器在着陆火星前贴近火星表面运行一周用时为*T*，已知火星的半径为*R*1，地球的半径为*R*2，地球的质量为*M*，地球表面的重力加速度为*g*，引力常量为*G*，则火星的质量为(　　)

A. B.

C. D.

答案　A

解析　绕地球表面运动的物体由牛顿第二定律可知：

*G*＝*mg*

同理，对绕火星表面运动的物体有：

＝*m*()2*R*1

结合两个公式可解得：*M*火＝，故A对．

6.宇航员在月球表面将一片羽毛和一个铁锤从同一高度由静止同时释放，二者几乎同时落地．若羽毛和铁锤是从高度为*h*处下落，经时间*t*落到月球表面．已知引力常量为*G*，月球的半径为*R*.求：(不考虑月球自转的影响)

(1)月球表面的自由落体加速度大小*g*月；

(2)月球的质量*M*；

(3)月球的密度*ρ*.

答案　(1)　(2)　(3)

解析　(1)月球表面附近的物体做自由落体运动，有*h*＝*g*月*t*2

月球表面的自由落体加速度大小*g*月＝

(2)不考虑月球自转的影响，有*G*＝*mg*月

得月球的质量*M*＝

(3)月球的密度*ρ*＝＝＝

7.2018年2月，我国500 m口径射电望远镜(天眼)发现毫秒脉冲星“J0318＋0253”，其自转周期*T*＝5.19 ms.假设星体为质量均匀分布的球体，已知万有引力常量为6.67×10－11 N·m2/kg2.以周期*T*稳定自转的星体的密度最小值约为(　　)

A．5×109 kg/m3 B．5×1012 kg/m3

C．5×1015 kg/m3 D．5×1018 kg/m3

答案　C

解析　脉冲星自转，边缘物体*m*恰对球体无压力时万有引力提供向心力，则有*G*＝*mr*，

又知*M*＝*ρ*·π*r*3

整理得密度*ρ*＝＝() kg/m3≈5.2×1015 kg/m3.

# 综合练习

**一．选择题（共12小题）**

1．（潍坊二模）中国首个火星探测器“天问一号”，已于2021年2月10.日成功环绕火星运动。若火星和地球可认为在同一平面内绕太阳同方向做圆周运动，运行过程中火星与地球最近时相距R0、最远时相距5R0，则两者从相距最近到相距最远需经过的最短时间约为（　　）

A．365天 B．400天 C．670天 D．800天

【分析】根据题意判断火星、地球的轨道半径，根据牛顿第二定律求解火星的周期，根据两者运动轨迹圆心角关系θ火＝θ地﹣π求得两者从相距最近到相距最远经过的最短时间。

【解答】解：由火星与地球最近时相距R0、最远时相距5R0可知：火星轨道半径为r1＝＝3R0，地球轨道半径为r2＝＝2R0



设行星质量为m，太阳质量为M，行星与太阳的距离为r，火星的周期为T1，地球的周期为T2，行星绕太阳做匀速圆周运动，万有引力提供向心力，则根据牛顿第二定律有＝mr，则T2＝



地球的周期为T2＝1年，则有＝，所以火星的周期为T1≈1.84年



两者运动轨迹圆心角关系为θ火＝θ地﹣π

设两者从相距最近到相距最远经过的最短时间为t，则θ地﹣θ火＝π＝（）t



得t≈1.095年＝1.095×365天≈400天，故ACD错误，B正确。

故选：B。

【点评】本题的解题关键在于判断火星、地球的轨道半径和两者运动轨迹圆心角的关系，可以通过画图判断。

2．（安康模拟）地球位于火星与太阳之间且三者在同一直线上时称为“火星冲日”。已知地球绕太阳做圆周运动的周期为T，火星绕太阳做圆周运动的轨道半径为地球绕太阳做圆周运动的轨道半径的n倍。则相邻两次“火星冲日”的时间差为（　　）

A．T B．T C．T D．T



【分析】行星围绕太阳做匀速圆周运动，根据开普勒第三定律，其轨道半径的三次方与周期T的平方的比值都相等；从一次行星冲日到下一次行星冲日，为地球多转动一周的时间．

【解答】解：地球绕太阳做圆周运动的周期为T，

根据开普勒第三定律，有：＝



如果两次行星冲日时间间隔为t年，则地球多转动一周，有：

（﹣）t＝2π



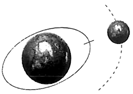
解得t＝T，故B正确，ACD错误。



故选：B。

【点评】本题考查开普勒第三定律的应用，目的是考查学生的分析综合能力。

3．（兴庆区校级期中）如图所示，某人造地球卫星绕地球做匀速圆周运动，其轨道半径为月球绕地球运转半径的，设月球绕地球运动的周期为27天，则此卫星的运转周期大约是（　　）



A．3.4天 B．1天 C．6.75天 D．9天

【分析】根据万有引力提供向心力得出周期与轨道半径的关系，从而得出卫星的周期大小。

【解答】解：根据万有引力提供向心力得＝mr，



得T＝2π，



因为人造卫星半径为月球绕地球运转半径的，



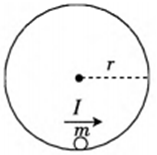
则周期为月球绕地球转动周期的，月球绕地球运动的周期为27天，则卫星的运转周期大约是3.4天，故A正确，BCD错误。



故选：A。

【点评】解决本题的关键掌握万有引力提供向心力这一理论，知道周期与轨道半径的关系。

4．（德阳模拟）2020年7月23日，中国首个火星探测器“天问一号”在海南文昌卫星发射中心发射升空。该探测器经过多次变轨，进入环火轨道，预计5月中旬，将择机开展着陆、巡视等任务，进行火星科学探测。假设在火星表面完成下面的实验：在固定的竖直光滑圆轨道内部最低点静止放置一个质量为m的小球（可视为质点），如图所示，当给小球一水平向右的瞬时冲量I时，小球恰好能在竖直平面内做完整的圆周运动。若已知圆轨道半径为r，火星的半径为R、万有引力常量为G，则火星的质量为（　　）



A． B．



C． D．



【分析】由小球刚好做完整的圆周运动，可求小球在最高点的速度，对小球从最低点到最高点根据动能定理可求火星表面的加速度，在火星表面，根据万有引力等于重力，可求出火星的质量。

【解答】解：设火星表面的重力加速度为g，小球在最高点的速度为v1，根据动量定理I＝mv得：

小球在最低点的速度：v＝①



对小球从最低点到最高点根据动能定理得：

﹣mg2r＝②



小球刚好做完整的圆周运动，在最高点有：

mg＝③



由①②③解得：g＝



在火星表面，根据万有引力等于重力得：



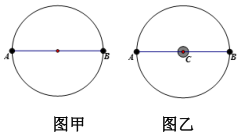
解得：M＝＝，故D正确，ABC错误。



故选：D。

【点评】本题考查了万有引力、圆周运动、动能定理等较多的基础知识，做题时要注意它们之间的联系，另外注意重力加速度是联系天体运动和其它运动的桥梁。

5．（黄埔区校级期中）黑洞是宇宙空间内存在的一种天体。黑洞的引力很大，使得视界内的逃逸速度大于光速。黑洞无法直接观测，但可以借由间接方式得知其存在，并且观测到它对其他事物的影响，双星系统中两个星球A、B的质量都是m，A、B相距L，它们正围绕两者连线上某一点做匀速圆周运动。实际观测该系统的角速度ω要大于按照力学理论计算出的角速度理论值ω0，且＝k（k＞1）。于是有人猜测这可能是受到了一颗未发现的黑洞C的影响，并认为C位于双星A、B的连线正中间，相对A、B静止，如图所示。已知万有引力常量为G，以下说法正确的是（　　）



A．在运动的过程中，A和B两颗星的角速度、线速度都相同

B．如图甲，两个星球A、B组成的双星系统角速度理论值ω0＝



C．图乙中A受到的万有引力为mω2



D．星球C的质量m（k2﹣1）



【分析】双星系统中两颗星的线速度大小相等、方向不同；双星绕两者连线的中点做圆周运动，由相互之间万有引力提供向心力，根据牛顿第二定律求解角速度；假定在以这两个星体连线为直径的球体内均匀分布着暗物质，由暗物质对双星的作用与双星之间的万有引力的合力提供双星的向心力，由此可以得到星球C的质量。

【解答】解：A、在运动的过程中，A和B两颗星的角速度相同、线速度大小相等、方向相反，故A错误；

B、分析星球AB，根据万有引力提供向心力可得：＝mrA，＝mrB，rA+rB＝L，



联立解的：ω0＝，故B错误；



C、图乙中A的轨道半径为rA＝，转动的角速度为ω，根据万有引力的合力提供向心力可得图乙中A卫星受到的万有引力为F＝mω2，故C正确；



D、设星球C的质量为M，对A卫星，根据万有引力的合力提供向心力可得：F＝+＝mω2，



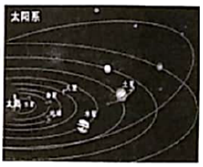
解的：M＝m（k2﹣1），故D错误。



故选：C。

【点评】本题是双星问题，要抓住双星系统的条件：角速度与周期相同，再由万有引力充当向心力进行列式计算即可。

6．（菏泽期中）如图是太阳系的部分行星围绕太阳运动的示意图，关于地球、土星围绕太阳运动的说法正确的是（　　）



A．它们围绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳位于椭圆轨道的中心

B．它们与太阳的连线在相等时间内扫过的面积都相等

C．它们轨道半长轴的三次方跟公转周期二次方的比值仅与太阳的质量有关

D．它们轨道半长轴的三次方跟公转周期二次方的比值不仅与太阳的质量有关，还与它们各自的质量有关

【分析】熟记理解开普勒的行星运动三定律：

第一定律：所有的行星围绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在所有椭圆的一个焦点上．

第二定律：对每一个行星而言，行星与太阳的连线在相同时间内扫过的面积相等．

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．

【解答】解：A、它们围绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳位于椭圆轨道的一个焦点上，故A错误；

B、对同一个行星而言，太阳与行星的连线在相同时间内扫过的面积相等，不同行星与太阳的连线在相同时间内扫过的面积不相等，故B错误；

CD、它们轨道半长轴的三次方跟公转周期二次方的比值仅与太阳的质量有关，与它们各自的质量无关，故C正确，D错误。

故选：C。

【点评】熟记开普勒行星运动三定律，并能熟练应用，注意开普勒第三定律＝K，K与中心天体有关，中心天体不一样，则K不一样。



7．（吉安期中）2020年4月10日晚，人类历史上首张黑洞照片“冲洗“完成，室女座星系团中超大质量星系Messier87中心的黑洞图象呈现在世人眼前。观察发现在两个黑洞合并过程中，由于彼此间的强大引力作用，会形成短时间的双星系统。如图所示，黑洞A．B可视为质点，它们围绕连线上O点做匀速圆周运动，且AO大于BO，不考虑其他天体的影响。下列说法正确的是（　　）



A．黑洞A的向心力大于B的向心力

B．黑洞A的线速度大于B的线速度

C．黑洞A的质量大于B的质量

D．两黑洞之间的距离越大，A的周期越小

【分析】双星靠相互间的万有引力提供向心力，具有相同的角速度和周期。根据万有引力定律和向心力公式求解，注意其中的A、B距离和各自轨道半径的关系。

【解答】解：A、双星靠相互间的万有引力提供向心力，根据牛顿第三定律可知，A对B的作用力与B对A的作用力大小相等，方向相反，则黑洞A的向心力等于B的向心力，故A错误；

C、双星靠相互间的万有引力提供向心力，具有相同的角速度，根据F＝mω2r知F、ω相等，AO大于BO，所以A的质量小，故C错误。

B、A的半径比较大，根据v＝ωr可知，黑洞A的线速度大于B的线速度。故B正确。

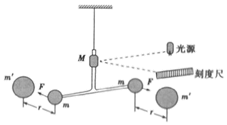
D、双星靠相互间的万有引力提供向心力，根据牛顿第二定律得：G＝＝，又rA+rB＝L，得：T＝2π，L为二者之间的距离，所以得知：两黑洞之间的距离越大，A的周期越大。故D错误。



故选：B。

【点评】该题是双星问题，是万有引力定律在天体中的应用，解决该题关键要知道双星系统的角速度是相等的，以及掌握万有引力定律和向心力公式。

8．（菏泽期中）物理学领域中具有普适性的一些常量，对物理学的发展有很大作用，引力常量G就是其中之一。1798年，卡文迪许首次利用如图所示的装置，比较精确地测量出了引力常量。下列说法错误的是（　　）



A．引力常量不易测量的一个重要原因就是地面上普通物体间的引力太微小

B．月球上的引力常量等于地球上的引力常量

C．这个实验装置巧妙地利用放大原理，提高了测量精度

D．引力常量G的大小与两物体质量的乘积成反比，与两物体间距离的平方成正比

【分析】本题考查了物理学史，1687年牛顿发现了万有引力定律，1789年卡文迪许利用他所发明的扭秤得出引力常数G，从而能称出地球的质量。

【解答】解：A、地面上普通物体间的引力太微小，这个力无法测量，故无法通过万有引力公式直接计算G，故A正确；

BD、引力常量是一个常数，与所在的位置无关，即月球上的引力常量等于地球上的引力常量，故B正确，D错误；

C、地面上普通物体间的引力太微小，扭矩引起的形变很小，通过光的反射，反射光的移动明显，利用放大原理，提高了测量精度，故C正确。

本题选错误的，故选：D。

【点评】本题考查了学生对物理学史的掌握情况，对于重要物理定律、原理涉及的物理学史部，平时要加强记忆，以免送分题反而失分。

9．（威海期末）太阳系各行星几乎在同一平面内沿同一方向绕太阳做圆周运动。当地球恰好运行到某地外行星和太阳之间，且三者几乎排成一条直线时，天文学称这种现象为“行星冲日”。已知2020年7月21日土星冲日，土星绕太阳运动的轨道半径约为地球绕太阳运动的轨道半径的9.5倍，则下一次土星冲日的时间约为（　　）

A．2021年8月 B．2022年7月 C．2023年8月 D．2024年7月

【分析】行星围绕太阳做匀速圆周运动，根据开普勒第三定律，其轨道半径的三次方与周期T的平方的比值都相等求出土星的周期；抓住地球转动的角度比土星转动的角度多2π，求出下一次土星冲日会发生的时间．

【解答】解：根据开普勒第三定律，有：＝，解得：T土＝年≈29.28年



如果两次行星冲日时间间隔为t年，则地球多转动一周，即

t﹣t＝2π



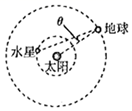
解得土星相邻两次冲日的时间间隔为：t≈1.04年

2020年7月21日土星冲日，即经过1.04年再一次出现土星冲日，可知下一次土星冲日在2021年8月。故A正确，BCD错误。

故选：A。

【点评】本题关键是结合开普勒第三定律分析（也可以运用万有引力等于向心力列式推导出），知道相邻的两次行星冲日的时间中地球多转动一周．

10．（辽宁模拟）2020年11月11日出现了难得一见的“水星凌日”现象。水星轨道在地球轨道内侧，某些特殊时刻，地球、水星、太阳会在一条直线上，这时从地球上可以看到水星就像一个小黑点一样在太阳表面缓慢移动，天文学称之为“水星凌日”。在地球上每经过N年就会看到“水星凌日”现象。通过位于贵州的“中国天眼”FAST（目前世界上口径最大的单天线射电望远镜）观测水星与太阳的视角（观察者分别与水星、太阳的连线所夹的角）θ，则sinθ的最大值为（　　）



A． B． C． D．



【分析】根据题意知道当行星处于最大视角处时，地球和行星的连线应与行星轨道相切，运用几何关系求解问题。

地球与某行星围绕太阳做匀速圆周运动，根据开普勒第三定律及角速度公式列出等式，表示出周期，然后去进行求解。

【解答】解：地球绕太阳运行周期为＝1年，设水星绕太阳运行周期为T火，在地球上每经过N年就会看到“水星凌日”现象，



2π＝（）N



解得火星周期T火＝，



最大视角的定义，即此时观察者与水星的连线应与水星轨迹相切，由三角函数可得：

sinθ＝



根据开普勒第三定律可知，



联立解得，sinθ＝，故A正确，BCD错误。



故选：A。

【点评】本题考查了万有引力定律及其应用，解题的关键是根据题干信息确定火星的运行周期，根据几何关系确定最大视角。

11．（北仑区校级期中）2020年诺贝尔物理学奖授予黑洞研究。黑洞是宇宙空间内存在的一种密度极大而体积较小的天体，黑洞的引力很大，连光都无法逃逸。在两个黑洞合并过程中，由于彼此间的强大引力作用，会形成短时间的双星系统。如图所示，黑洞A、B可视为质点，不考虑其他天体的影响，两者围绕连线上O点做匀速圆周运动，O点离黑洞B更近，黑洞A质量为m1，黑洞B质量为m2，AB间距离为L。下列说法正确的是（　　）



A．黑洞A与B绕行的向心加速度大小相等

B．黑洞A的质量m1大于黑洞B的质量m2

C．若两黑洞质量保持不变，在两黑洞间距L减小后，两黑洞的绕行周期变小

D．若两黑洞质量保持不变，在两黑洞间距L减小后，两黑洞的向心加速度变小

【分析】万有引力的双星问题，连线始终在同一条直线上，所以角速度相同，再根据万有引力提供向心力列公式进行分析。

【解答】解：A：A和B连线始终在同一条直线上，所以角速度相同，根据a＝＝ω2r，当角速度大小相同时，r越大，a越大，故A错误，



B：对A和B来说万有引力大小相同，所以F＝G＝m1ω2r1＝m2ω2r2，即半径与质量成反比，半径大的质量小，所以B错误，



C：F＝G＝m1ω2r1＝m2ω2r2，r2+r1＝L，联立可得：T＝2π，若两黑洞质量保持不变，在两黑洞间距L减小后，两黑洞的绕行周期变小，故C正确，



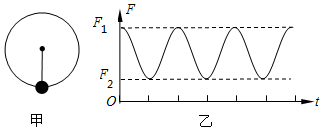
D：由C可得：T＝2π，若两黑洞质量保持不变，在两黑洞间距L减小后，两黑洞的绕行周期变小，所以角速度增大，向心加速度增大，故D错误，



故选：C。

【点评】万有引力的双星问题，需要注意两个天体的角速度相同。

12．（双流区校级一模）一宇航员到达半径为R、密度均匀的某星球表面，做了如下实验：用不可伸长的轻绳拴一质量为m的小球，上端固定于O点，如图甲所示，在最低点给小球某一初速度，使其绕O点的竖直面内做圆周运动，测得绳的拉力F大小随时间t的变化规律如图乙所示。F1＝4F2，设R、m、引力常量G和F1为已知量，忽略各种阻力。则下列说法正确的是（　　）



A．该星球表面的重力加速度为



B．卫星绕该星球的第一宇宙速度为



C．星球的密度为



D．小球过最高点的最小速度为0

【分析】对小球受力分析，在最高点和最低点时，由向心力的公式和整个过程的机械能守恒可以求得重力加速度的大小；

根据万有引力提供向心力可以求得星球的第一宇宙速度；

求得星球表面的重力加速度的大小，再由在星球表面时，万有引力和重力近似相等，可以求得星球的质量，再根据密度公式求出星球的密度；

对小球在最高点运用牛顿第二定律分析求解最小速度大小

【解答】解：A、小球在最低点时，



最高点时，



最低点到最高点的过程中由动能定理得，



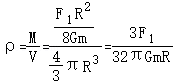
由以上可得，故A错误。



B、卫星绕星球的第一宇宙速度，故B错误。



C、由，星球密度，故C正确。



D、绳模型小球最高点速度不可能为0，故D错误。

故选：C。

【点评】根据小球做圆周运动时在最高点和最低点的运动规律，找出向心力的大小，可以求得重力加速度；知道在星球表面时，万有引力和重力近似相等，而贴着星球的表面做圆周运动时，物体的重力就作为做圆周运动的向心力。

**二．多选题（共12小题）**

13．（拉萨一模）甲、乙为两颗质量不同的地球卫星，两颗卫星轨道均可视为圆轨道，乙卫星运动的周期是甲卫星的两倍。以下判断正确的是（　　）

A．甲的角速度是乙的两倍

B．甲的加速度是乙的四倍

C．在相同时间内，甲、乙两卫星与地球球心连线扫过的面积相同

D．乙圆周运动的向心力可能比甲大

【分析】两卫星绕地球转动，为同一中心天体，所以可以利用开普勒定律进行分析求解，同时注意结合圆周运动的基本内容进行分析判断各物理量间关系。

【解答】解：A、根据T＝可知，由于乙卫星运动的周期是甲卫星的两倍，所以甲的角速度是乙的两倍，故A正确；



B、根据开普勒定律可知，＝；所以甲的半径一定小于乙的半径，则由a＝可知，甲的加速度一定小于乙加速度的四倍，故B错误；



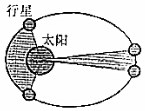
C、由于两行星的高度不同，运行速度不同，则它们在相同时间内，甲、乙两卫星与地球球心连线扫过的面积不相同，故C错误；

D、根据向心力公式可知，F＝mrω2，由于两卫星的质量不同，如果乙的质量较大，则有可能出现乙的向心力大于甲的向心力的情况，故D正确。

故选：AD。

【点评】本题也可以利用万有引力定律进行分析，在解题时要注意明确两卫星的周期不同，则其半径、角速度和线速度均不同，不能简单地认为半径相等而出现错误。

14．（正定县校级月考）关于开普勒行星运动定律，下列说法正确的是（　　）



A．所有行星围绕太阳的运动轨道都是椭圆，太阳处在椭圆的一个焦点上

B．对于任意一个行星来说，它与太阳的连线在相等的时间内扫过相等的面积

C．表达式＝k，k是一个与行星无关的常量



D．表达式＝k，T代表行星运动的自转周期



【分析】开普勒第一定律是太阳系中的所有行星围绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在所有椭圆的一个焦点上。在相等时间内，太阳和运动着的行星的连线所扫过的面积都是相等的。开普勒第三定律中的公式＝K，可知半长轴的三次方与公转周期的二次方成正比。



【解答】解：A、开普勒第一定律：所有行星围绕太阳的运动轨道都是椭圆，太阳处在椭圆的一个焦点上，故A正确

B、开普勒第二定律：对于任意一个行星来说，它与太阳的连线在相等的时间内扫过相等的面积，故B正确

C、表达式＝k，k是一个与行星无关的常量，其与太阳有关，故C正确



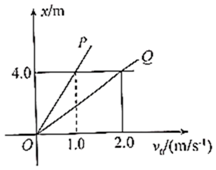
D、表达式＝k，T代表行星运动的公转周期，故D错误



故选：ABC。

【点评】熟记开普勒定律；行星绕太阳虽然是椭圆运动，但我们可以当作圆来处理，同时值得注意是周期是公转周期。

15．（山东模拟）太阳系外行星P和行星Q可能适宜人类居住，P半径是Q半径的，若分别在P和Q距地面高为h处水平抛出小球，小球平抛运动水平位移x随抛出速度v0函数图像如图所示，忽略空气阻力，忽略行星自转。下列判断正确的是（　　）



A．行星P和行星Q的第一宇宙速度之比为



B．行星P和行星Q的第一宇宙速度之比为：2



C．行星P和行星Q的密度之比为2：1

D．行星P和行星Q的密度之比为1：2

【分析】根据平抛运动的特点，写出水平位移关于水平速度的表达式，再结合图像根据斜率可求二者重力加速度间的关系，再根据万有引力提供向心力，可求P、Q第一宇宙速度之比；根据密度公式可求密度之比。

【解答】解：AB、设P、Q半径分别为RP、RQ，则，设图像的斜率分别为kP、kQ，



则kP＝s＝4s，kQ＝s＝2s，



平抛运动水平分位移为：x＝v0t ①

竖直分位移为：h＝②



由①②可得：x＝，则有：



kP＝＝4s，kQ＝＝2s



故＝



根据万有引力提供向心力得：

＝



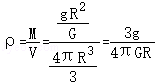
解得：v＝ M＝



故＝＝，故A正确，B错误。



CD、根据可知，ρ∝



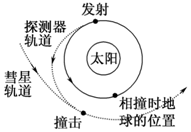
故，故D正确，C错误。



故选：AD。

【点评】本题考查了万有引力定律的应用，掌握万有引力提供向心力是解题的前提。另外注意只能求中心天体的质量不能求环绕天体的质量。

16．（兴庆区校级期中）美国宇航局发射的“深度撞击”号探测器成功撞击“坦普尔一号”彗星，实现了人类历史上第一次对彗星的“大对撞”。如图所示，假设“坦普尔一号”彗星绕太阳运行的轨道是一个椭圆，其运动周期为5.74年，则关于“坦普尔一号”彗星的下列说法中正确的是（　　）



A．绕太阳运动的角速度不变

B．近日点线速度大于远日点处线速度

C．近日点加速度大于远日点处加速度

D．其椭圆轨道半长轴的三次方与环绕周期的二次方之比和地球的圆轨道半径的三次方与公转周期的二次方之比是相同的

【分析】根据开普勒第二定律分析角速度与线速度的变化情况；由万有引力定律与牛顿第二定律分析加速度的变化情况；由开普勒第三定律分析半长轴与周期间的关系．

【解答】解：AB、根据开普勒第二定律知彗星绕太阳做椭圆运动时，彗星与太阳连线在相等时间内扫过的面积相等，要使面积相等，连线越短，在相等时间内，彗星转过的弧长越大，彗星的线速度越大，即在近日点彗星的线速度大于远日点处线速度，可知其角速度是变化的，故A错误，B正确；

C、太阳与彗星的质量不变，在近日点两者间的距离小，由万有引力定律可知，彗星受到的引力大，由牛顿第二定律可知，引力越大，加速度越大，所以彗星在近日点的加速度大于在远日点的加速度，故C正确；

D、由开普勒第三定律可知，彗星绕太阳做圆周运动时，其椭圆轨道半长轴的三次方与环绕周期的二次方之比和地球的圆轨道半径的三次方与公转周期的二次方之比是相同的，故D正确。

故选：BCD。

【点评】本题考查了开普勒定律的应用，根据开普勒第二定律可以判断出彗星在近日点与远日点时角速度与线速度的关系．

17．（南岗区校级期中）对开普勒第一定律的理解，下列说法正确的是（　　）

A．太阳系中的所有行星有一个共同的轨道焦点

B．行星的运动方向总是沿着轨道的切线方向

C．行星的运动方向总是与它和太阳的连线垂直

D．日心说的说法是正确的

【分析】依据开普勒的行星运动第一定律：所有的行星围绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在所有椭圆的一个焦点上，从而即可求解。

【解答】解：A、所有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。这是开普勒第一定律，故所有行星有一个共同的轨道焦点，故A正确；

B、行星做曲线运动，故其运动方向沿轨道的切线方向，故B正确；

C、行星的运动方向沿轨道的切线方向，但由于轨道是椭圆，故速度方向并不是总是与它和太阳的连线垂直，故C错误；

D、虽然行星绕太阳转动，但从现在的观点看地心说和日心说都是错误的，都是有其时代局限性的，故D错误。

故选：AB。

【点评】开普勒关于行星运动的定律是万有引力定律得发现的基础，是行星运动的一般规律，正确理解开普勒的行星运动定律是解答本题的关键

18．（吴兴区校级期末）下列说法正确的是（　　）

A．行星轨道的半长轴越长，公转周期越长

B．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

C．水星的半长轴最短，公转周期最大

D．太阳是静止不动的，地球和其他行星都绕太阳运动

【分析】开普勒第一定律是太阳系中的所有行星围绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在所有椭圆的一个焦点上．在相等时间内，太阳和运动着的行星的连线所扫过的面积都是相等的．开普勒第三定律中的公式．



【解答】解：A、C、根据开普勒第三定律，行星轨道的半长轴a越长，公转周期T越长，半长轴a越短，公转周期T越短。故A正确、C错误。



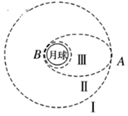
B、跟开普勒第一定律：所有行星围绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在所有椭圆的一个焦点上。故B正确。

D、运动是绝对的，静止时相对的，太阳在银河系中也是运动的，故D错误。

故选：AB。

【点评】行星绕太阳虽然是椭圆运动，但我们可以当作圆来处理，同时值得注意是周期是公转周期．

19．（湖北月考）如图所示，设月球半径为R，假设“嫦娥四号”探测器在距月球表面高度为3R的圆形轨道Ⅰ上做匀速圆周运动，运行周期为T，到达轨道的A点时点火变轨进入椭圆轨道Ⅱ，到达轨道的近月点B时，再次点火进入近月轨道Ⅲ绕月做匀速圆周运动，引力常量为G，不考虑其他星球的影响，则下列说法正确的是（　　）



A．月球的质量可表示为



B．探测器在轨道Ⅱ上B点的速率大于在探测器轨道Ⅰ的速率

C．探测器在轨道I上经过A点时的加速度等于轨道II上经过A点时的加速度

D．探测器在A点和B点变轨时都需要加速

【分析】根据万有引力提供向心力即可求出月球的质量以及加速度。

根据向心运动与离心运动的条件与特点进行分析。

【解答】解：A、探测器在距月球表面高度为3R的圆形轨道运动，则轨道半径为4R；在轨道I上运动过程中，万有引力充当向心力，故有：



解得月球质量：，故A正确；



B、由于探测器从椭圆轨道B点进入圆轨道做近心运动，所以应减速，则探测器在轨道Ⅱ上B点的速率大于在近月轨道Ⅲ上速率，由公式：，得：，所以探测器在近月轨道Ⅲ上的速率大于在探测器轨道Ⅰ的速率，则探测器在轨道Ⅱ上B点的速率大于在探测器轨道Ⅰ的速率，故B正确；



C、由公式：，得：，所以探测器在轨道I上经过A点时的加速度等于轨道II上经过A点时的加速度，故C正确；

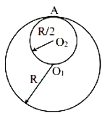


D、探测器在A点和B点都做近心运动，所以应减速，故D错误。

故选：ABC。

【点评】此题考查了万有引力定律的应用，知道万有引力提供向心力是解题的前提与关键，应用万有引力公式与牛顿第二定律即可解题。

20．（南岗区校级月考）已知物体放在质量分布均匀的球壳内部的时候受到球壳的万有引力为零，假想有一个质量分布均匀的球心为O1半径为R的星球，若将球内部挖掉一个半径为的圆心为O2的小球（A为两球切点），如图所示，在不考虑星球自转的情况下，若将一可视作质点的小物体从O2点由静止释放，则小物体将（　　）



A．由O2向A运动 B．由O2向O1运动

C．匀加速直线运动 D．变加速直线运动

【分析】根据对称性分析星球的剩余部分对小物体吸引力的方向。

分析题干信息，物体放在质量分布均匀的球壳内部的时候受到球壳的万有引力为零，利用填补法分析未挖去小球前，小物体在距球心O1距离为r处受到的引力。

同理计算剩余部分对小物体的吸引力，据此分析。

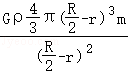
【解答】解：AB、根据对称性可知，星球的剩余部分对小物体的吸引力方向由O2指向O1，则小物体从O2点由静止释放，小物体将由O2向O1运动，故A错误，B正确；

CD、已知物体放在质量分布均匀的球壳内部的时候受到球壳的万有引力为零，设星球的密度为ρ，小物体的质量为m，未挖去小球前，小物体在距球心O1距离为r处受到的引力为：

F＝＝Gρ•，方向指向O1，



设小物体在O2O1连线上距O1距离为r处，星球挖去部分对小物体的引力为：F1＝＝Gρ•，方向指向O2



则剩余部分对小物体的吸引力为F2＝F+F1＝，方向指向O1



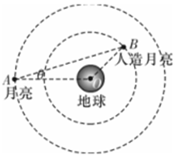
根据牛顿第二定律可知，物体的加速度：a＝＝，故C正确，D错误。



故选：BC。

【点评】此题考查了万有引力定律及其应用，属于信息题，明确物体放在质量分布均匀的球壳内部的时候受到球壳的万有引力为零，这一信息是解题的关键。

21．（河南模拟）在科学史上，有学者提出制造“人造月亮”，以解决高纬度地区的夜晚照明问题。据报道中国四川成都天府系统科学研究会曾宣布，将在2022年在成都正式升空中国制造的“人造月亮”，届时天空中将同时出现月亮和“人造月亮”。如果在将来某一时刻，月亮A、“人造月亮“B和地球（球心为O）的位置如图所示（∠BAO＝θ）。月亮和“人造月亮”绕地球的运动均可视为匀速圆周运动，设运动过程中θ的最大正弦值为p，则（　　）



A．月亮与人造月亮的轨道半径之比＝p



B．月亮与人造月亮的周期之比



C．月亮与人造月亮的线速度之比＝



D．月亮与人造月亮的向心力之比＝p2



【分析】月亮和人造月亮绕地球做匀速圆周运动，运动过程中，θ的正切值最大时，正弦值等于人造月亮与月亮半径之比。

根据万有引力提供向心力，列出线速度与轨道半径的关系式，进行分析。

开普勒第三定律列式比较周期大小。

向心力与天体质量有关。

【解答】解：A、月亮和人造月亮绕地球做匀速圆周运动，运动过程中θ的最大正弦值为p，由几何关系可知，正弦值最大时：sinθ＝＝p，故A错误；



C、根据万有引力提供向心力有：，解得线速度：v＝，则月亮与人造月亮的线速度之比：＝＝，故C正确；



B、根据开普勒第三定律可知，＝k，则月亮与人造月亮的周期之比：＝＝，故B正确；



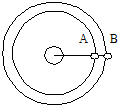
D、向心力：F＝，与天体质量有关，月亮和人造月亮的质量未知，不能比较大小，故D错误。



故选：BC。

【点评】此题考查了万有引力定律及其应用，解题的关键是根据几何关系，得到运动过程中，θ的正切值最大时，正弦值等于人造月亮与月亮半径之比。

22．（北海期中）如图，A、B两行星以不同半径、相同方向绕一恒星做匀速圆周运动，A行星的周期为T1，B行星的周期为T2，若某一时刻两行星相距最近，则（　　）



A．再经过时间T1 T2两行星相距最近

B．再经过时间两行星相距最近



C．再经过时间两行星相距最远



D．再经过时间两行星相距最远



【分析】两行星相距最近时，两行星应该在同一半径方向上；两行星相距最远时，两行星应该在同一直径上；由于A的轨道半径小，所以A的角速度大，即A转得较快；当A比B多转一圈时两行星再次相距最近；当A比B多转半圈时两行星相距最远．

【解答】解：AB、卫星绕地球做匀速圆周运动，万有引力提供向心力有：G＝mr（）2



可得周期为：T＝，半径越大周期越大，故由题意知，两卫星周期满足T1＜T2



某时刻两卫星相距最近，则可知经过时间t1两卫星再次相距最近时，A卫星比B卫星多转过2π弧度，即有：

（﹣）t1＝2π



所以可得：t1＝＝



故A错误，B正确；

CD、同理当两颗卫星经过时间t2两卫星相距最远时，A卫星比B卫星多转过π弧度，即有：

（﹣）t1＝π



所以可得：t2＝＝

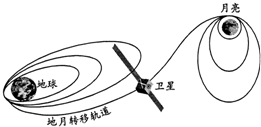


故C错误，D正确；

故选：BD。

【点评】根据几何关系得到两颗卫星相距最近和相距最远所满足的角度关系，最近时两卫星在同一半径上角度差为2π弧度，卫星相距最远时，两卫星在同一直径上，转过的角度差为π弧度，这是解决本题的关键．

23．（广东学业考试）如图是“嫦娥一号奔月”示意图，卫星发射后通过自带的小型火箭多次变轨，进入地月转移轨道，最终被月球引力捕获，成为绕月卫星，并开展对月球的探测．下列说法正确的是（　　）



A．发射“嫦娥一号”的速度必须达到第三宇宙速度

B．在绕月圆轨道上，卫星周期与卫星质量无关

C．卫星受月球的引力与它到月球中心距离的平方成反比

D．在绕月圆轨道上，卫星受地球的引力大于受月球的引力

【分析】月球在地月系中，绕月飞行没有脱离地球束缚，故发射速度小于第二宇宙速度，绕月飞行时万有引力提供圆周运动向心力，周期与环绕天体质量无关，万有引力与距离的二次方成反比，绕月飞行时向心力指向圆心．

【解答】解：A、绕月飞行仍在地球引力作用下运动，故卫星没有脱离地球束缚，其发射速度小于第二宇宙速度，故A错误；

B、根据万有引力提供圆周运动向心力知等式两边将消去卫星质量m，故其周期大小与卫星质量无关，所以B正确；



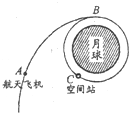
C、卫星受月球的引力为万有引力，根据万有引力定律知，其大小与卫星到月球中心距离的二次方成反比，故C正确。

D、卫星既受到地球的引力也受到月球的引力作用，其合力指向月球的中心，故卫星受到月球的引力大于受到地球的引力，故D错误。

故选：BC。

【点评】本题抓住卫星绕月球运动时万有引力提供圆周运动向心力，知道对于球体万有引力的距离从球心算起，掌握规律是解决问题的关键．

24．（阳东县校级期中）我国未来将建立月球基地，并在绕月轨道上建造空间站．如图所示．关闭发动机的航天飞机在月球引力作用下沿椭圆轨道向月球靠近，并将在椭圆的近月点B处与空间站对接．已知空间站绕月运行的轨道半径为r，周期为T，万有引力常量为G，月球的半径为R，下列描述或结论正确的是（　　）



A．航天飞机到达B处由椭圆轨道进入空间站轨道时必须减速

B．图中的航天飞机正在加速地飞向B处

C．月球的质量为M＝



D．月球的第一宇宙速度为v＝



【分析】要使航天飞机在椭圆轨道的近月点B处与空间站C对接，必须在接近B点时减速．根据开普勒定律可知，航天飞机向近月点运动时速度越来越大．月球对航天飞机的万有引力提供其向心力，由牛顿第二定律求出月球的质量M．月球的第一宇宙速度大于．



【解答】解：A、要使航天飞机在椭圆轨道的近月点B处与空间站C对接，必须在接近B点时减速。否则航天飞机将继续做椭圆运动。故A正确；

B、根据开普勒定律可知，航天飞机向近月点B运动时速度越来越大。故B正确；

C、设空间站的质量为m，由得，月球的质量M＝．故C错误；



D、D、空间站绕月圆轨道的半径为r，周期为T，其运行速度为，其速度小于月球的第一宇宙速度，所以月球的第一宇宙速度大于．故D错误。



故选：AB。

【点评】本题是开普勒定律与牛顿第二定律的综合应用，对于空间站的运动，关键抓住由月球的万有引力提供向心力，要注意知道空间站的半径与周期，求出的不是空间站的质量，而是月球的质量．

**三．填空题（共6小题）**

25．（徐汇区二模）太阳系各行星几乎在同一平面内沿同一方向绕太阳做圆周运动。当地球恰好运行到某地外行星和太阳之间，且三者几乎排成一条直线的现象，天文学称为“行星冲日”。已知火星和地球的轨道半径之比为1.5：1，则火星相邻两次冲日的时间间隔为　2.2　年。在太阳系其他8大行星中，　海王　星相邻两次冲日的时间间隔最短。

【分析】行星围绕太阳做匀速圆周运动，根据开普勒第三定律，其轨道半径的三次方与周期T的平方的比值都相等求出火星的周期；抓住相邻两次火星冲日会发生时火星转过的的角度比地球转过的的角度少2π来求解，写出某个星冲日的的时间间隔t的通式，分析是那颗星相邻两次冲日时间间隔最短。

【解答】解：由开普勒第三定律有：，解得：，代入数据得：T火≈1.84年



设火星相邻两次冲日的时间间隔t，火星转过的的角度比地球转过的的角度少2π，

即：，代入数据得：t≈2.2年



因地球能恰好运行到某地外行星和太阳之间，故行星在地球外侧，设地球外侧另一行星的周期为T外，因为地球外的行星转的较地球慢，故相邻两次冲日时地球多转过2π。

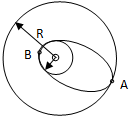
即：，解得：t＝，故T外越大，t越小，地球外侧海王星行轨道半径最大，T外最大，两次冲日时间最短。



故答案为：2.2；海王

【点评】本题关键是结合开普勒第三定律分析（也可以运用万有引力等于向心力列式推导出），知道相邻的两次行星冲日的时间两天体转过的角度差为2π。

26．（江山市校级期中）飞船沿半径为R的圆周绕地球运动其周期为T，地球半径为R0，若飞船要返回地面，可在轨道上某点A处将速率降到适当的数值，从而使飞船沿着以地心为焦点的椭圆轨道运行，椭圆与地球表面在B点相切，求飞船由A点到B点所需要的时间为　 T　。



【分析】根据开普勒第三定律，结合椭圆轨道半长轴的大小，求出飞船在椭圆轨道上的周期，从而求出飞船由A点到B点所需的时间．

【解答】解：根据题意得椭圆轨道的半长轴r＝．



根据开普勒第三定律得，＝，



因为r＝，



解得T′＝ T．



则飞船由A点到B点的运动时间t＝＝ T．



故答案为： T．



【点评】由题目的描述，飞船由A点到B点所需的时间应是椭圆轨道的半个周期．关键掌握开普勒第三定律，并能灵活运用．

27．（杨浦区期末）已知月球质量约为地球质量的，月球表面重力加速度约为地球表面重力加速度的，地球半径约为6.4×106m，则月球半径约为　1.7×106　m。嫦娥五号是中国首个实施无人月面取样返回的月球探测器，其发射初期贴着地球表面飞行的环绕速度约为7.9×103m/s，后经过约112小时奔月飞行、实施二次近月制动后进入离月球表面200km高度的环月圆轨道飞行，其速度约为　1.6×103　m/s。



【分析】在星球表面根据万有引力等于重力得到星球半径的表达式分析求解。

嫦娥五号绕星球运动过程中，根据万有引力提供向心力得到运行速度的表达式分析求解。

【解答】解：在星球表面根据万有引力等于重力可知，＝mg



解得星球的半径：R＝



已知月球质量约为地球质量的，月球表面重力加速度约为地球表面重力加速度的，地球半径约为6.4×106m，则月球的半径约为：R月＝1.7×106m



嫦娥五号绕星球运动过程中，根据万有引力提供向心力可知，



解得环绕速度：v＝



已知嫦娥五号其发射初期贴着地球表面飞行的环绕速度约为7.9×103m/s，进入离月球表面200km高度的环月圆轨道飞行时，轨道半径为R月+h＝1.9×106m

解得此时运行速度：v月＝1.6×103m/s。

故答案为：1.7×106；1.6×103。

【点评】该题考查了万有引力定律的相关知识，明确在星球表面万有引力等于重力是解题的关键。

28．（越秀区校级月考）已知万有引力常量为G，地球半径为R，同步卫星距地面的高度为h，地球的自转周期T0，地球表面的重力加速度g。某同学根据以上条件，提出一种估算地球赤道表面的物体随地球自转的线速度大小的方法：

地球赤道表面的物体随地球做圆周运动，由牛顿运动定律有＝m，又因为地球上的物体的重力约等于万有引力，有mg＝，由以上两式得：v＝



问：

（1）上面的结果是否正确　不正确　（填“正确”或“不正确”）；如果正确，理由是　地球赤道上的物体绕地球做圆周运动，不是万有引力完全提供向心力，是万有引力的一个分力提供向心力　；如果不正确，正确的解法和结果是　地球自转的周期和同步卫星的周期相等，则赤道表面的物体随地球自转的线速度为：v＝　（以上两空请根据自己的相应判断填写）；



（2）由题目给出的条件还可以估算的物理量有　同步卫星的线速度　（写一个，不需要写估算过程）。

【分析】（1）赤道上的物体随地球自转，做圆周运动，万有引力的分力提供向心力。抓住周期与地球自转周期相同，结合线速度与周期的关系求出线速度的大小。

（2）同步卫星的运行周期与地球自转周期相等，根据线速度与周期的关系可知求出同步卫星的线速度。

【解答】解：（1）上面的结果不正确。

因为地球赤道上的物体绕地球做圆周运动，不是万有引力完全提供向心力，是万有引力的一个分力提供向心力。

地球自转的周期和同步卫星的周期相等，则赤道表面的物体随地球自转的线速度为：

v＝。



（2）根据题目条件可以求出同步卫星的线速度。

同步卫星的轨道半径：r＝R+h，

则同步卫星的线速度为：v＝＝。



故答案为：（1）不正确；地球赤道上的物体绕地球做圆周运动，不是万有引力完全提供向心力，是万有引力的一个分力提供向心力；地球自转的周期和同步卫星的周期相等，则赤道表面的物体随地球自转的线速度为：v＝；（2）同步卫星的线速度。



【点评】此题考查了万有引力定律及其应用，解决本题的关键知道物体做圆周运动向心力的来源，掌握万有引力定律的两个重要理论：1、万有引力等于重力，2、万有引力提供向心力。

29．（黄浦区期末）科学家测得一行星A绕一恒星B运行一周所用的时间为1200年，A、B间距离为地球到太阳距离的100倍。设A相对于B的线速度为v1，地球相对于太阳的线速度为v2，则v1：v2＝　1：12　，该恒星质量与太阳质量之比为　25：36　。

【分析】根据线速度与周期的关系v＝，运用r和T的比值关系求解。



根据万有引力提供向心力，＝m，运用r和T的比值关系求解质量的比值。



【解答】解：行星绕恒星做匀速圆周运动，根据线速度与周期的关系可知，v＝，所以 ＝＝＝。



根据万有引力提供向心力，＝m，得M＝，＝＝＝25：36。



故答案为：1：12；25：36。

【点评】此题要知道线速度与周期的关系v＝，以及要知道万有引力提供向心力，能够根据题目的意思选择恰当的向心力的表达式。

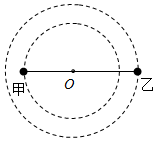


30．（涪城区校级期中）宇宙中有质量分别为m1、m2的甲、乙两颗恒星，甲、乙之间的距离为L，它们离其它天体十分遥远（不受其它天体的作用），它们绕连线上一点O以相同的角速度做匀速圆周运动，万有引力常量为G，则

（1）甲的轨道半径r1＝　L　；



（2）它们的运转周期T＝　2πL　。



【分析】甲、乙两颗恒靠相互的万有引力提供向心力，角速度相同，周期相同，根据由万有引力提供向心力可求得其半径，以及角速度，进而可求周期。

【解答】解：（1）甲、乙两颗恒靠相互的万有引力提供向心力，对两个天体，分别根据向心力公式得：

对甲：G＝m1r1ω2…①



对乙：G＝m2r2ω2…②



以r1+r2＝L…③

由以上三式解得：r1＝L



r2＝L



（2）将r1和r2的表达式分别代①和②式，可得角速度为：

ω＝。



周期为：T＝＝2πL



故答案为：（1）L．（2）2πL。



【点评】本题是双星问题，一定要抓住两个关键点：一是它们的角速度和周期相同；二是它们的半径之和等于他们的距离。

**四．计算题（共6小题）**

31．（吉安期中）某星球的半径为R，在该星球表面某一倾角为θ的山坡上以初速度v0平抛一物体，经过时间t该物体落到山坡上．求：

（1）该星球表面的重力加速度；

（2）该星球的第一宇宙速度．

【分析】（1）根据平抛运动规律列出水平方向和竖直方向的位移等式，结合几何关系求出重力加速度．

（2）忽略地球自转的影响，根据万有引力等于重力列出等式．若要使物体不再落后星球，应使物体绕着星球表面做匀速圆周运动，由万有引力定律充当向心力可求得．

【解答】解：（1）由题意可知，是要求该星球上的“近地卫星”的绕行速度，也即为第一宇宙速度．设该星球表面处的重力加速度为g，由平抛运动规律可得：

tanθ＝，



由：y＝gt2，x＝v0t，



联立解得g＝tanθ



（2）对于绕该星球做匀速圆周运动的“近地卫星”，应有：mg＝m



解得：v＝＝



答：（1）该星球表面的重力加速度是tanθ；



（2）该星球的第一宇宙速度．



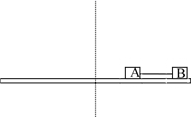
【点评】处理平抛运动的思路就是分解．重力加速度g是天体运动研究和天体表面宏观物体运动研究联系的物理量．

32．（莲湖区校级月考）如图所示，在某质量分布均匀的行星，其表面重力加速度未知，在该行星表面上有一个匀质转盘，转盘上两个质量均为m的物体A、B位于圆心的同一侧，两物体A、B到圆心的距离分别为L、2L，两物体A、B用一根轻绳连接。开始时轻绳恰好处于伸直状态，当角速度为ω时，两物体A、B刚要相对转盘发生相对滑动，两物体A、B与转盘间的动摩擦因数μ，最大静摩擦力等于滑动摩擦力。已知行星的半径为R，引力常量为G，求：

（1）两物体即将发生滑动时绳子上的拉力；

（2）此行星的密度；

（3）此行星的第一宇宙速度。



【分析】（1）当摩擦力达到最大静摩擦力时两物体即将发生滑动，此时最大静摩擦力提供向心力，应用牛顿第二定律求出重力加速度，然后应用牛顿第二定律求出绳子上的拉力。

（2）行星表面的物体受到的重力等于万有引力，根据万有引力公式求出行星的质量，然后根据密度公式求出行星的平均密度。

（3）万有引力提供向心力，应用万有引力公式与牛顿第二定律求出行星的第一宇宙速度。

【解答】解：（1）滑动摩擦力达到最大静摩擦力时两物体将发生滑动，

静摩擦力提供向心力，对两物体组成的系统，由牛顿第二定律得：

μ•2mg＝mω2L+mω2•2L，

解得：g＝，



对B，由牛顿第二定律得：T+μmg＝mω2•2L，

解得：T＝mω2L



（2）在行星表面的物体：mg＝G，



行星的平均密度：ρ＝



解得：ρ＝；



（3）卫星绕行星表面做圆周运动，万有引力提供向心力，

由牛顿第二定律得：G＝m，



解得：v＝



答：（1）两物体即将发生滑动时绳子上的拉力为；



（2）此行星的密度为；



（3）此行星的第一宇宙速度为。



【点评】本题考查了万有引力定律的应用，知道万有引力提供向心力是解题的前提，应用万有引力公式与牛顿第二定律即可解题。

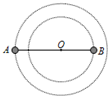
33．（广陵区校级月考）利用万有引力定律可以测量天体的质量。

（1）测地球的质量

英国物理学家卡文迪许，在实验室里巧妙地利用扭秤装置，比较精确地测量出了引力常量的数值，他把自己的实验说成是“称量地球的质量”．已知地球表面重力加速度为g，地球半径为R，引力常量为G．若忽略地球自转影响，求地球的质量．

（2）测月球的质量

所谓“双星系统”，是指在相互间引力作用下，绕连线上某点O做匀速圆周运动两个星球A和B，如图所示．在地月系统中，若忽略其它星球影响，可将月球和地球看成“双星系统”．已知月球公转周期为T，月球、地球球心间距离为L．你还可以利用（1）中提供的信息，求月球的质量．



【分析】（1）根据地球表面的物体受到的重力等于万有引力，可解得地球的质量M；



（2）双星问题，它们之间的万有引力提供向心力，它们两颗星的轨道半径的和等于它们之间的距离．求出地球和月球的总质量，再减去（1）中求出的地球质量即为月球质量．

【解答】解：（1）设地球质量为M，地球表面某物体的质量为m，忽略地球自转的影响，则有，



解得：



（2）设地球质量为M1，地球到O点的距离为r1，月球质量为M2，月球到O点的距离为r2，



又因为r1+r2＝L联立解得，



由（1）可知



解得月球质量



答：（1）地球的质量



（2）月球的质量为

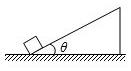


【点评】本题要掌握两个关系：星球表面的物体受到的重力等于万有引力；环绕天体绕中心天体做圆周运动所需要的向心力由万有引力提供．这两个关系可以解决天体运动的一切问题，双星问题，要注意的是它们两颗星的轨道半径的和等于它们之间的距离，不能把它们的距离当成轨道半径．

34．（海拉尔区模拟）假设某星球表面上有一倾角为θ＝37°的固定斜面，一质量为m＝2.0kg的小物块从斜面底端以速度12m/s沿斜面向上运动，小物块运动2.0s时速度恰好为零。已知小物块和斜面间的动摩擦因数μ＝0.25，该星球半径为R＝4.8×103km．（sin37°＝0.6．cos37°＝0.8），试求：

（1）该星球表面上的重力加速度g的大小；

（2）该星球的第一宇宙速度。



【分析】（1）根据速度时间公式求出匀减速直线运动的加速度，结合牛顿第二定律求出星球表面的重力加速度g。

（2）根据万有引力提供向心力，以及万有引力等于重力求出该星球的第一宇宙速度。

【解答】解：（1）对物体受力分析，由牛二律可得：﹣mgsinθ﹣μmgcosθ＝ma…①

根据速度时间关系公式，有：a＝…②



由①②代入数据求得：g＝7.5m/s2；

（2）第一宇宙速度是近地卫星的环绕速度，根据重力等于万有引力，有：

mg＝m



解得：v＝＝＝6000m/s；



答：（1）该星球表面上的重力加速度g的大小为7.5m/s2；

（2）该星球的第一宇宙速度为6000m/s。

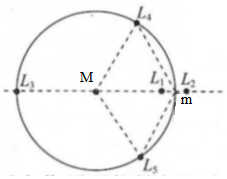
【点评】本题考查了牛顿第二定律与万有引力理论的综合运用，掌握万有引力定律的两个重要理论：1、万有引力等于重力，2、万有引力提供向心力，并能灵活运用。

35．（日照月考）拉格朗日点指在两个大天体引力作用下，能使小物体稳定的点（小物体质量相对两大天体可忽略不计）。这些点的存在由法国数学家拉格朗日于1772年推导证明的，1906年首次发现运动于木星轨道上的小行星（见脱罗央群小行星）在木星和太阳的作用下处于拉格朗日点上。在每个由两大天体构成的系统中，按推论有5个拉格朗日点，其中连线上有三个拉格朗日点，分别是L1、L2、L3，如图所示。我国发射的“鹊桥”卫星就在地月系统平衡点L2点做周期运动，通过定期轨控保持轨道的稳定性，可实现对着陆器和巡视器的中继通信覆盖，首次实现地月L2点周期轨道的长期稳定运行。设某两个天体系统的中心天体质量为M，环绕天体质量为m，两天体间距离为L，万有引力常量为G，L1点到中心天体的距离为R1，L2点到中心天体的距离为R2。求：

（1）处于L1点小物体的向心加速度；

（2）处于L2点小物体运行的线速度；

（3）若R2：L＝8：7，试求M：m的值（保留3位有效数字）。



【分析】拉格朗日点上的卫星，受两个大天体的共同引力作用，合力提供向心力。

两个大天体和拉格朗日点上的卫星，月球和卫星的角速度相等。

【解答】解：（1）L1上的卫星处在地月系统的拉格朗日点上，同时受地球和月球的万有引力作用，合力提供向心力，设L1上的卫星质量为m1，

合力提供向心力：F1＝﹣＝m1a1，则处于L1点小物体的向心加速度：a1＝﹣



（2）处在L2点小物体，同理，

合力提供向心力：F2＝+＝，则处在L2点小物体线速度：v2＝



（3）当处在L2点有卫星时，环绕天体受卫星和中心天体共同的万有引力，合力提供向心力，但由于卫星的质量远小于中心天体的质量，则环绕天体可近似认为只有中心天体的万有引力提供向心力：

F3＝＝mω2L



处在L2点有卫星合力提供向心力：F2＝+＝



根据拉格朗日点上卫星的特点，和两个大天体每时每刻都处在同一条直线上，即加速度相等。上面两式子相除，化简并将R2：L＝8：7代入计算，可得：M：m≈130

答：（1）处于L1点小物体的向心加速度为：﹣



（2）处在L2点小物体线速度为：



（3）若R2：L＝8：7，M：m的值约等于130。

【点评】处在拉格朗日点上的行星，和两大天体时刻处在同一条直线上，卫星和环绕天体角速度相等。

而且还要注意其向心力并不是简单的和某个天体之间的万有引力，而且由两个大天体共同作用的万有引力的合力提供向心力。

36．（凉州区校级期末）木星的卫星之一叫艾奥，它上面的珞珈火山喷出的岩块初速度为v0时，上升的最大高度可达h。已知艾奥的半径为R，引力常量为G，忽略艾奥的自转及岩块运动过程中受到稀薄气体的阻力，求：

（1）艾奥表面的重力加速度大小g和艾奥的质量M；

（2）距艾奥表面高度为2R处的重力加速度大小g'；

（3）艾奥的第一宇宙速度v。

【分析】（1）根据竖直上抛运动规律可求得表面的重力加速度，根据星球表面重力等于万有引力列式求解艾奥的质量；

（2）根据重力等于万有引力列式求解距艾奥表面高度为2R处的重力加速度大小；

（3）根据万有引力充当向心力，当卫星绕星球表面运行时的速度为第一宇宙速度，代入数据即可求解．

【解答】解：（1）岩块做竖直上抛运动，有：，



解得：g＝；



忽略艾奥的自转有：，



解得：M＝；



（2）距艾奥表面高度为2R处有：，



解得：；



（3）某卫星在艾奥表面绕其做圆周运动时：

mg＝m，



解得：v＝；



答：（1）艾奥表面的重力加速度大小g为，艾奥的质量M为；



（2）距艾奥表面高度为2R处的重力加速度大小g'为；



（3）艾奥的第一宇宙速度v为．



【点评】本题考查万有引力定律的应用，要注意明确星球表面的物体万有引力充当重力；而绕星球表面运行的卫星万有引力充当向心力．

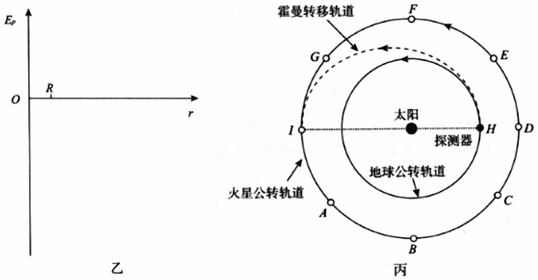
**五．解答题（共14小题）**

37．（海淀区期中）“势阱”是量子力学中的常见概念，在经典力学中也有体现。当粒子在某力场中运动，其势能函数曲线在空间某范围内存在最小值，形如陷阱，粒子很难跑出来。各种形式的势能函数只要具有这种特点，我们都可以称它为势阱，比如重力势阱、引力势阱、弹力势阱等。我国首个火星探测器被命名为“天问一号”。为了简化问题，可以认为地球和火星在同一平面上绕太阳做匀速圆周运动，火星轨道半径约为地球轨道半径的1.5倍。从地球表面向火星发射火星探测器，简单又比较节省能量的发射过程可简化为：先在地球表面使探测器加速并获得足够的动能，从而摆脱地球引力势阱的束缚，经过一系列调整使探测器成为一颗沿地球公转轨道近似为圆形运行的人造行星；然后使探测器在适当位置加速，经椭圆轨道（霍曼转移轨道）到达火星。

①已知取无限远处为引力势能零点，间距为r、质量分别m1和m2的两质点组成的系统具有的引力势能可表示为：Ep＝﹣G，式中G为引力常量且大小已知。已知地球质量为M、半径为R，在如图乙所示的坐标系中，纵轴表示引力势能，横轴表示质量为m的探测器到地心的距离r（r≥R）。请在该坐标系中定性画出地球与探测器组成的系统具有的引力势能函数曲线。静置于地面处的该探测器，至少需要获得多大速度（相对于地心，不考虑地球的自转和空气阻力及其他天体的影响），才能摆脱地球引力势阱的束缚；



②由开普勒定律可知：所有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；所有行星的轨道的半长轴的三次方跟它的公转周期的二次方的比值都相等。如图丙所示，请经过计算，判断当火星运行到哪个位置（A、B、C、D、E、F、G）附近时，在地球公转轨道上H点的探测器开始发射（即瞬间加速，加速时间可忽略），此后探测器仅在太阳引力作用下，可经霍曼转移轨道在I点到达火星。（可能需要用到的数据：≈1.40，≈1.84）



【分析】①根据探测器在地球表面的引力势能计算公式，结合功能关系进行解答；

②设地球公转轨道半径为r0，地球公转周期为T0，根据开普勒第三定律求解探测器的周期、火星的周期，根据周期的大小分析当火星运行到哪个位置附近时，在地球轨道的探测器开始加速是最合适的。

【解答】解：①探测器在地球表面的引力势能为：Ep＝﹣



静置于地面处的该探测器，至少需要获得v0的速度，才能摆脱地球引力势阱的束缚，根据能量守恒可得：

+Ep＝0



解得：v0＝；



②设地球公转轨道半径为r0，地球公转周期为T0。

霍曼转移轨道是飞行器绕太阳运动的椭圆轨道，其半长轴a1＝＝1.25r0



根据开普勒第三定律可得：＝k，



对于地球轨道和霍曼转移轨道，可得：＝



解得：T探＝T0＝1.40T0



对于地球轨道和火星轨道，有：＝



解得：T火＝T0＝1.84T0



则：≈≈0.76，即当探测器经历时间、经过半个椭圆轨道路程到达火星轨道时，火星经过的路程约是半个火星轨道的0.76倍。



因此，当火星运行到E位置附近时，在地球轨道的探测器开始加速是最合适的。

答：①静置于地面处的该探测器，至少需要获得的速度，才能摆脱地球引力势阱的束缚；



②当火星运行到E位置附近时，在地球轨道的探测器开始加速是最合适的。

【点评】本题主要是考查万有引力定律中涉及能量的计算以及开普勒第三定律的知识，关键是能够从题干中获取有用的信息，结合引力势能、功能关系、开普勒第三定律等进行分析。

38．（萧山区校级期末）有一行星，距太阳的平均距离是地球到太阳平均距离的8倍，则该行星绕太阳公转周期是多少年？

【分析】根据开普勒第三定律得出地球和该行星公转半径的三次方与周期的二次方的比值相等，列式求解．

【解答】解：由开普勒第三定律知＝恒量．



根据开普勒第三定律：

行星的运行半径R与周期T关系为：＝恒量 ①



同理，地球运行半径与周期T′（1年）关系为：＝恒量 ②



联立①②求得 T≈22.6年．

答：该行星绕太阳公转周期是22.6年．

【点评】解决本题的关键掌握开普勒第三定律，并能正确应用，也可以根据万有引力提供向心力这一思路进行求解，同时注意只有当行星均为太阳系中的行星时，才相等．



39．（舒城县校级期中）A、B两颗人造卫星在同一平面内绕地球做圆周运动，A为近地卫星，周期为T0，B离地面的高度为地球半径的3倍，试计算：

（1）B卫星的周期？

（2）从两颗卫星相距最近开始计时到两颗卫星相距最远至少经过多少时间？

【分析】（1）已知卫星A的周期，应用开普勒第三定律可以求出B的周期；

（2）当两卫星转过的圆心角之差为π时相距最远，根据周期公式分析答题．

【解答】解：（1）设A的轨道半径为R，则B的轨道半径为R+3R＝4R，

由开普勒第三定律得：＝，解得：T＝8T0；



（2）两卫星从相距最近到相距最远经历的时间为t，

则：（﹣）t＝π，解得：t＝；



答：（1）B卫星的周期为8T0；

（2）从两颗卫星相距最近开始计时到两颗卫星相距最远至少经过的时间为．



【点评】解决本题的关键掌握万有引力提供向心力这一理论，知道周期与轨道半径的关系．以及知道两颗卫星从相距最近到相距最远所转过的角度之差等于π的奇数倍．

40．（锦州校级期中）（1）开普勒行星运动第三定律指出：行星绕太阳运动的椭圆轨道的半长轴a的三次方与它的公转周期T的二次方成正比，即＝k，k是一个对所有行星都相同的常量。将行星绕太阳的运动按圆周运动处理，请你推导出太阳系中该常量k的表达式。已知引力常量为G，太阳的质量为M太。



（2）一均匀球体以角速度ω绕自己的对称轴自转，若维持球体不被瓦解的唯一作用力是万有引力，则此球的最小密度是多少？

【分析】（1）行星绕太阳的运动按圆周运动处理时，此时轨道是圆，就没有半长轴了，此时＝k应改为，再由万有引力作为向心力列出方程可以求得常量k的表达式；



（2）球体表面物体随球体自转做匀速圆周运动，球体有最小密度能维持该球体的稳定，不致因自转而瓦解的条件是表面的物体受到的球体的万有引力恰好提供向心力，物体的向心力用周期表示等于万有引力，再结合球体的体积公式、密度公式即可求出球体的最小密度。

【解答】解：（1）因行星绕太阳做匀速圆周运动，于是轨道的半长轴a即为轨道半径r。根据万有引力定律和牛顿第二定律有

G＝mr



于是有 ＝



即 k＝



所以太阳系中该常量k的表达式是。



（2）设位于赤道处的小块物质质量为m，物体受到的球体的万有引力恰好提供向心力，

这时球体不瓦解且有最小密度，

由万有引力定律结合牛顿第二定律得：GM＝mω2R



又因ρ＝



由以上两式得ρ＝。



所以球的最小密度是。



答：（1）太阳系中该常量k的表达式是．（2）若维持球体不被瓦解的唯一作用力是万有引力，则此球的最小密度是。



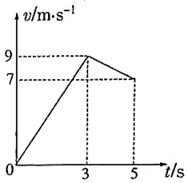
【点评】本题就是考查学生对开普勒行星运动第三定律的理解和应用，掌握住开普勒行星运动第三定律和万有引力定律即可求得结果，式中的常量k必修是相对于同一个中心天体来说的。

41．（福建模拟）上九天揽月，登月表取壤，嫦娥五号完成了中国探月的一大壮举。2020年12月2日，嫦娥五号在月球上采集1.7kg月壤样品并封装，由上升器送入预定环月轨道。如果携带已封装月壤的上升器离开月球表面的一段运动过程中，在竖直方向上先加速上升，后减速上升，其v﹣t图像如图所示。已知月球质量约为地球的，月球表面重力加速度约为地球表面的，求：



（1）月球与地球的半径之比（结果可保留根号）；

（2）加速及减速过程中，封装装置对月壤样品的作用力大小之差。



【分析】（1）根据物体在星球表面受到的重力等于万有引力列式求解。

（2）分析加速、减速过程中的加速度，根据牛顿第二定律列式求解。

【解答】解：（1）设地球质量为M，重力加速度为g，则月球质量为，重力加速度为



根据重力等于万有引力可知，地球表面：



月球表面：G



得：＝



（2）由图像得加速过程加速度大小为a1＝3m/s2，

减速过程加速度大小为a2＝1m/s2

加速上升，对月壤样品：F1﹣mg'＝ma1

减速上升，对月壤样品：mg'﹣F2＝ma2

作用力大小之差：△F＝F1﹣F2

得：△F＝6.8N。

答：（1）月球与地球的半径之比为。



（2）加速及减速过程中，封装装置对月壤样品的作用力大小之差为6.8N。

【点评】该题考查了万有引力定律及其应用，明确物体在星球表面受到的重力等于万有引力，根据牛顿第二定律列式求解是解题的关键。

42．（河西区一模）（1）牛顿发现万有引力定律之后，在卡文迪许生活的年代，地球的半径经过测量和计算已经知道约6400千米，因此卡文迪许测出引力常量G后，很快通过计算得出了地球的质量。1798年，他首次测出了地球的质量数值，卡文迪许因此被人们誉为“第一个称地球的人”。若已知地球半径为R，地球表面的重力加速度为g，万有引力常量为G，忽略地球的自转。

a．求地球的质量；

b．若一卫星在距地球表面高为h的轨道上绕地球做匀速圆周运动，求该卫星绕地球做圆周运动的周期；

（2）牛顿时代已知如下数据：月球绕地球运行的周期T、地球半径R、月球与地球间的距离60R、地球表面的重力加速度g。牛顿在研究引力的过程中，为了验证地面上物体的重力与地球吸引月球的力是同一性质的力，同样遵从与距离的平方成反比规律的猜想，他做了著名的“月地检验”：月球绕地球近似做匀速圆周运动。牛顿首先从运动学的角度计算出了月球做匀速圆周运动的向心加速度；接着他设想，把一个物体放到月球轨道上，让它绕地球运行，假定物体在地面受到的重力和在月球轨道上运行时受到的引力，都是来自地球的引力，都遵循与距离的平方成反比的规律，他又从动力学的角度计算出了物体在月球轨道上的向心加速度。上述两个加速度的计算结果是一致的，从而证明了物体在地面上所受的重力与地球吸引月球的力是同一性质的力，遵循同样规律的设想。根据上述材料：

a．请你分别从运动学的角度和动力学的角度推导出上述两个加速度的表达式；

b．已知月球绕地球做圆周运动的周期约为T＝2.4×106s，地球半径约为R＝6.4×106m，取π2＝g．结合题中的已知条件，求上述两个加速度的比值，并得出合理的结论。

【分析】（1）a．根据地球表面的物体受到的重力等于万有引力，可解得地球的质量M。



b．根据万有引力提供向心力，把地球的质量M代入，即可解得该卫星的周期。



（2）a．根据足mg＝G、，求出月球绕地球运行的向心加速度an与地面的重力加速度g的比值。



b．通过a＝r求出月球向心加速度的大小，从而求出向心加速度与地面重力加速度的比值。



【解答】解：（1）a．设地球质量为M，地球表面上的某物体质量为m：



解得：



b．万有引力提供卫星做圆周运动的向心力：



解得：



（2）a．月球绕地球做匀速圆周运动，由运动学公式：



角速度：



解得：



质量为m的物体在地面上受到的重力：



质量为m的物体在月球轨道上受到的引力：



解得：



b．由以上结果得：



代入已知数值得：＝0.96



由以上结果可以看出，在误差范围内可认为a1＝a2，这说明物体在地面上所受重力与地球吸引月球的力是同一性质的力，遵循与距离的平方成反比的规律。

答：（1）a．地球的质量是；



b．若一卫星在距地球表面高为h的轨道上绕地球做匀速圆周运动，该卫星绕地球做圆周运动的周期；



（2）a．上述两个加速度的表达式；

b．已知月球绕地球做圆周运动的周期约为T＝2.4×106s，地球半径约为R＝6.4×106m，取π2＝g．结合题中的已知条件，上述两个加速度的比值为0.96，可以得出物体在地面上所受重力与地球吸引月球的力是同一性质的力，遵循与距离的平方成反比的规律的结论。

【点评】本题要掌握两个关系：星球表面的物体受到的重力等于万有引力；环绕天体绕中心天体做圆周运动所需要的向心力由万有引力提供。这两个关系可以解决天体运动的一切问题。

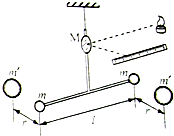
43．（宝山区校级期中）（1）关于万有引力恒量G的较为准确的测量实验，最早是由英国物理学家　卡文迪许　所做扭秤实验得到的．

（2）（多选题）为了测量石英丝极微小的扭转角，该实验装置中采取使“微小量放大”的主要措施是　AD

A．利用平面镜对光线的反射 B．增大T型架横梁的长度

C．减少石英丝的直径 D．增大刻度尺与平面镜的距离

（3）已知T型架水平横梁长度为L，质量分别为m、m′的球，位于同一水平面，当横梁处于力矩平衡状态，测得m、m′连线长度r，且与水平横梁垂直，同时测得石英丝的扭转角度为θ，由此得到扭转力矩kθ（k为扭转系数且已知），则引力常量的表达式G＝　　．



【分析】（1）英国科学家卡文迪许利用扭秤装置，第一次测出了引力常量G，引力常量G＝6.67×10﹣11N•m2/kg2．

（2）为测量石英丝极的扭转角，实验采取了“微小量放大”．当引进m′时由于物体间引力作用，使石英丝极发生微小的扭转，从而带动平面镜转动，导致经平面镜反射过来的光线发生较大变化，得出转动的角度．

（3）列出石英丝极微小的扭转力矩等于引力力矩的表达式，从而求出引力常量．

【解答】解：牛顿发现了万有引力定律F＝G ，英国科学家卡文迪许利用扭秤装置，第一次测出了引力常量G．



（2）为了测量石英丝极微小的扭转角，该实验装置中采取使“微小量放大”．利用平面镜对光线的反射，来体现微小形变的．当增大刻度尺与平面镜的距离时，转动的角度更明显．因此选项AD正确；

当增大T型架横梁的长度时，会导致石英丝更容易转动，对测量石英丝极微小的扭转角仍没有作用，故B不正确；

当减小石英丝的直径时，会导致石英丝更容易转动，对测量石英丝极微小的扭转角却没有作用，故C不正确；

故选：AD．

（3）质量分别为m和m’的球，位于同一水平面内，当横梁处于静止时，力矩达平衡状态．则有：

由 得



故答案为：（1）卡文迪许；（2）AD；（3）



【点评】1．对于物理学家的贡绩要记牢，不能张冠李戴．牛顿发现了万有引力定律，英国科学家卡文迪许第一次测出了引力常量G，不是牛顿．

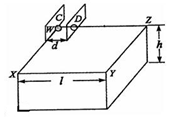
2．本题巧妙地利用光的反射将因引力产生微小转动的角度放大，同时利用力矩平衡来解题，能拓宽学生的解题思路，提高解题能力．

44．（昌江区校级期末）在某个星球上（该星球的质量是地球质量的十分之一，该星球的半径与地球相同，地球表面的重力加速度g取10m/s2。）有正方形光滑水平台面WXYZ，边长L＝2.0m，距该星球水平表h＝12.5m。C板、D板间距d＝0.2m，且垂直放置于台面，C板位于边界WX上，D板与边界WZ相交处有一小孔，小球在CD间受到沿CD方向恒力F＝2.5N的作用，在CD外的台面水平区域内小球受到大小f＝kv（v为小球的速度大小，k＝2.0N•s/m）、方向始终与速度方向垂直的水平力的作用。小球开始静止于W处，最后由XY边界离开台面。

（1）求小球离开台面运动到该星球表面的时间；

（2）求由XY边界离开台面的小球的质量范围；

（3）若小球质量m＝6.25kg，求小球离开台面时速度方向与XY的夹角。



【分析】（1）根据万有引力和重力的关系有星球半径质量关系和地球的重力加速度求得星球表面的重力加速度，根据平抛知识求得小球离开平台运动到该星球表面的时间。

（2）微粒要从XY边界离开台面，画出圆周运动的边缘轨迹，得到半径的极小值与极大值分别为R1＝，R2＝l﹣d，再根据牛顿第二定律求解质量m的范围。



（3）微粒在台面以速度v做以O点为圆心，R为半径的圆周运动，从台面边缘P点沿与XY边界成θ角飞出做平抛运动，据此分析。

【解答】解：（1）根据万有引力与重力相等有：mg＝，解得重力加速度：g＝，



根据该星球的质量是地球质量的十分之一，该星球的半径与地球相同，地球表面的重力加速度g0＝10m/s2．

可得该星球表面重力加速度g＝＝1m/s2



所以小球离开台面做平抛运动，竖直方向上自由落体，故运动时间：t＝＝s＝5s。



（2）据题意有小球在CD间做初速度为零的匀加速运动，则小球从D出来后的速度满足：



所以：v＝



小球从D出来后，在f作用下做匀速圆周运动，f充当向心力有：

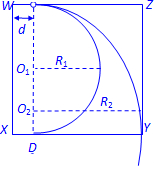
f＝kv＝m



代入v可以解得：m＝＝4r2。



如图，由题意和几何关系可得：



知R1＝＝1m，R2＝l﹣d＝1.8m



XY边界离开台面的小球的半径范围为1m＜R＜1.8m

所以可得小球的质量范围为4.0kg＜m＜12.96kg。

（3）由（2）问可得，小球离开平台的速度：＝m/s＝0.4m/s。

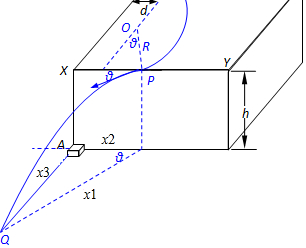


小球离开台面运动到该星球表面的水平距离x1＝v1t＝0.4×5m＝2m

小球做圆周运动的半径R＝＝m＝1.25m。



设小球离开台面时速度方向与XY的夹角为θ，如图所示：



cosθ＝＝＝，解得θ＝53°。



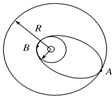
答：（1）小球离开台面运动到该星球表面的时间为5s。

（2）由XY边界离开台面的小球的质量范围为4.0kg＜m＜12.96kg。

（3）若小球质量m＝6.25kg，小球离开台面时速度方向与XY的夹角为53°。

【点评】该题考查了万有引力定律及其应用，解决本题的关键要正确分析微粒的运动情况，抓住微粒与滑块的关系，由牛顿第二定律和运动学公式、动能定理、数学知识结合进行求解。

45．（包头校级期中）如图所示，飞船沿半径为R的圆周绕地球运动，其周期为T，地球半径为R0，若飞船要返回地面，可在轨道上某点A处将速率降到适当的数值，从而使飞船沿着以地心为焦点的椭圆轨道运行，椭圆与地球表面在B点相切，求飞船由A点到B点所需要的时间．



【分析】根据开普勒第三定律，结合椭圆轨道半长轴的大小，求出飞船在椭圆轨道上的周期，从而求出飞船由A点到B点所需的时间．

【解答】解：根据题意得椭圆轨道的半长轴r＝．



根据开普勒第三定律得：＝，



因为r＝，



解得：T′＝T，



飞船由A点到B点的运动时间：t＝＝T．

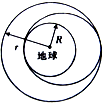


答：飞船由A点到B点所需要的时间为：T．



【点评】由题目的描述，飞船由A点到B点所需的时间应是椭圆轨道的半个周期．关键掌握开普勒第三定律，并能灵活运用．

46．（镇安县校级月考）开普勒第三定律也适用于神州七号飞船的变轨运动．如图所示，飞船与火箭分离后进入预定近地圆形轨道飞行，某一时刻飞船在近地点启动发动机加速，经过较短时间后飞船速度增大并转移到与地球表面相切的椭圆轨道，飞船在远地点再一次点火加速，将沿半径为r的圆形轨道绕地球运动，设地球的半径为R，地球表面的重力加速度为g，若不计空气的阻力，试求，神州七号从近地点运动到远地点的时间（变轨时间）．



【分析】根据万有引力提供向心力、重力等于万有引力和开普勒第三定律联合列方程即可求解．

【解答】解：当飞船沿半径为r的圆形轨道绕地球运动时，根据万有引力提供向心力，有



所以…①



根据开普勒第三定律：，有



…②



又因为：∵…③



由①②③解得：



答：神州七号从近地点运动到远地点的时间为．



【点评】此题不仅考查有引力提供向心力、重力等于万有引力的关系式，而且要理解开普勒第三定律，并会运用它来解题．

47．（太湖县期中）宇航员在月球表面附近自高度h处以初速度v0水平抛出一个小球，测出小球的水平射程为L，已知月球半径为R，万有引力常量为G．求：

（1）月球表面的重力加速度g；

（2）月球的质量M；

（3）月球的第一宇宙速度．

【分析】宇航员在月球上自高h处以初速度v0水平抛出一物体，测出物体的水平射程为L，根据水平射程和初速度求出运动的时间，根据h＝gt2求出月球表面的重力加速度大小；由g＝求得月球的质量；根据重力提供向心力求出卫星的第一宇宙速度．



【解答】解：（1）小球做平抛运动，根据分位移公式，有：

L＝v0t

h＝



联立解得：

g＝



（2）在月球表面，重力等于万有引力，故：

mg＝G



解得：

M＝＝



（3）第一宇宙速度是月表表面卫星的环绕速度，故：

mg＝m



解得：

v1＝＝＝＝



答：（1）月球表面的重力加速度g为；



（2）月球的质量M为；



（3）月球的第一宇宙速度为．



【点评】解决本题的关键知道平抛运动在水平方向上和竖直方向上的运动规律，以及掌握万有引力提供向心力以及万有引力等于重力这两个理论的运用．

48．（重庆二模）由中国科学院、中国工程院两院院士评出的2020年中国十大科技进展新闻，于2020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7000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，地球表面的重力加速度大小为g，引力常量为G．“蛟龙”下潜深度为d，天宫一号轨道距离地面高度为h．已知质量分布均匀的球壳对壳内物体的引力为零．求

（1）“天宫一号”绕地心转一周的时间是多少？

（2）“蛟龙”号所在处与“天宫一号”所在处的重力加速度之比为多少？

【分析】（1）根据万有引力提供向心力即可求出“天宫一号”的周期；

（2）根据题意知，地球表面的重力加速度等于半径为R的球体在表面产生的加速度，深度为d的地球内部的重力加速度相当于半径为R﹣d的球体在其表面产生的重力加速度，根据地球质量分布均匀得到加速度的表达式，再根据半径关系求解深度为d处的重力加速度与地面重力加速度的比值．卫星绕地球做圆周运动时，运用万有引力提供向心力可以解出高度为h处的加速度，再求其比值．

【解答】解：（1）根据万有引力提供向心力得：



地球表面的物体受到的万有引力等于重力，即：

mg＝



联立解得：T＝



（2）令地球的密度为ρ，对地球表面的物体：g＝



由于地球的质量为：M＝ρ•，所以重力加速度的表达式可写成：g＝＝＝πGρR．



根据万有引力提供向心力，“天宫一号”的加速度为



根据题意有，质量分布均匀的球壳对壳内物体的引力为零，固在深度为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，故海底的重力加速度g2＝πGρ（R﹣d）．



所以有



所以，



答：（1）“天宫一号”绕地心转一周的时间是；



（2）“蛟龙”号所在处与“天宫一号”所在处的重力加速度之比为．



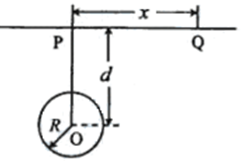
【点评】抓住在地球表面重力和万有引力相等，在地球内部，地球的重力和万有引力相等，要注意在地球内部距离地面d处所谓的地球的质量不是整个地球的质量而是半径为（R﹣d）的球体的质量．

49．（北京学业考试）如图，P、Q为某地区水平地面上的两点，在P点正下方一球形区域内储藏有石油，假定区域周围岩石均匀分布，密度为ρ；石油密度远小于ρ，可将上述球形区域视为空腔．如果没有这一空腔，则该地区重力加速度（正常值）沿竖直方向；当存在空腔时，该地区重力加速度的大小和方向会与正常情况有微小偏离．重力加速度在原竖直方向（即PO方向）上的投影相对于正常值的偏离叫做“重力加速度反常”．为了探寻石油区域的位置和石油储量，常利用P点附近重力加速度反常现象．已知引力常数为G．设球形空腔体积为V，球心深度为d（远小于地球半径），＝x，求：



（1）空腔所引起的Q点处的重力加速度反常．

（2）若在水平地面上半径L的范围内发现：重力加速度反常值在ξ与kξ（k＞1）之间变化，且重力加速度反常的最大值出现在半径为L的范围的中心，如果这种反常是由于地下存在某一球形空腔造成的，试求此球形空腔球心的深度和空腔的体积．



【分析】（1）如果将近地表的球形空腔填满密度为ρ的岩石，则该地区重力加速度便回到正常值．

根据万有引力等于重力列出等式，结合几何关系求出空腔所引起的Q点处的重力加速度反常．

（2）由第一问当中的重力加速度反常的表达式得出重力加速度反常△g′的最大值和最小值．重力加速度反常的最大值出现在半为L的范围的中心，则重力加速度反常最大值kg就是在P点！最小值g就是在Q点

重力加速度反常值在g与kg（k＞1）之间变化，带入等式求解．

【解答】解：（1）如果将近地表的球形空腔填满密度为ρ的岩石，则该地区重力加速度便回到正常值．因此，重力加速度反常可通过填充后的球形区域产生的附加引力＝m△g①来计算，式中的m是Q点的质量，M是填充后球形区域的质量，M＝ρV②．



而r是球形空腔中心O至Q点的距离r＝③



△g在数值上等于由于存在球形空腔所引起的Q点处重力加速度改变的大小．Q点处重力加速度改变的方向沿OQ方向，重力加速度反常△g′是这一改变在竖直方向上的投影△g′＝④



联立以上式子得△g′＝，⑤



（2）由⑤式得，重力加速度反常△g′的最大值和最小值分别为

（△g′）max＝⑥



（△g′）min＝⑦



由题设有（△g′）max＝kξ、（△g′）min＝ξ⑧

联立以上式子得，地下球形空腔球心的深度和空腔的体积分别为

d＝，V＝



答：（1）空腔所引起的Q点处的重力加速度反常是；



（2）此球形空腔球心的深度为，空腔的体积为．



【点评】本题考查万有引力部分的知识，逆向思维．填满岩石就回到正常值，则反常就是这部分岩石的引力引起的．

50．（上海二模）卡文迪许设计扭秤实验测定了万有引力恒量，实验中通过万有引力使石英丝扭转的办法巧妙地测量了极小的万有引力．现有学生研究用某种材料做成的圆柱体在外力矩作用下发生扭转的规律，具体做法是：做成长为L、半径为R的圆柱体，使其下端面固定，在上端面施加一个扭转力矩M，使上端面半径转过一扭转角θ，现记录实验数据如下：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 实验次数 | M/×10﹣2N•m | L/×10﹣2m | R/×10﹣4m | θ/度 |
| 1 | 1 | 5 | 5 | 5.1 |
| 2 | 2 | 5 | 5 | 10.0 |
| 3 | 2 | 10 | 5 | 19.9 |
| 4 | 2 | 10 | 10 | 5.0 |
| 5 | 3 | 10 | 5 | 30.2 |
| 6 | 3 | 15 | 5 | 44.9 |
| 7 | 4 | 20 | 15 | 8.9 |

（1）利用上表实验数据，可以采取　控制变量　法，分别研究扭转角θ与M、θ与L、θ与R的关系，进而得出θ与M、L、R的关系是　　．

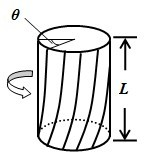


（2）用上述材料做成一个长为0.4m，半径为0.002m的圆柱体，在下端面固定，上端面受到M＝4×10﹣2N•m的扭转力矩作用下，上端面将转过的角度是　10°　．

（3）若定义扭转系数，则K与R、L的关系是　　．



（4）根据上述结果，为提高实验的灵敏度，卡文迪许在选取石英丝时，应选用长度　长　（选填“长”或“短”）一点、截面　细　一点（选填“粗”或“细”）的石英丝．



【分析】研究一个变量与多个因素有关时，应该采用控制变量法．根据实验数据找出θ与M、L、R的关系．

根据θ与M、L、R的关系求出上端面将转过的角度，根据表达式换算找出K与R、L的关系．

【解答】解：（1）研究一个变量与多个因素有关时，应该采用控制变量法．

根据实验数据得θ与M、L、R的关系是



（2）做成一个长为0.4m，半径为0.002m的圆柱体，在下端面固定，上端面受到M＝4×10﹣2N•m的扭转力矩作用下，

根据解得10°



上端面将转过的角度是解得10°

（3）根据得



＝



（4）根据上述结果＝



为提高实验的灵敏度，卡文迪许在选取石英丝时，应选用长度长一点、截面细一点的石英丝，会导致石英丝更容易转动．

故答案为：（1）控制变量；（或θ∝ML/R2）



（2）10°．

（3）（或K∝R2/L）



（4）长、细

【点评】本题运用控制变量法研究圆柱体在外力矩作用下发生扭转的规律，产生微小转动的角度放大，同时利用力矩平衡来解题，能拓宽学生的解题思路，提高解题能力．