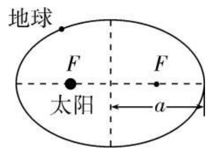
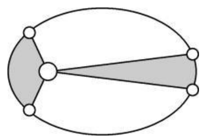
第五章 万有引力与宇宙航行
第1讲 万有引力定律与航天

课标要求

通过史实，了解万有引力定律的发现过程；知道万有引力定律；认识发现万有引力定律的重要意义；认识科学定律对人类探索未知世界的作用。

必备知识·强基固本

一、开普勒三定律

定律	内容
开普勒第一定律	 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	 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__相等
开普勒第三定律	所有行星轨道的半长轴的______跟它的公转周期的______的比值都相等，即$\frac{a^3}{T^2}=k$，k是一个对所有行星都相同的常量

【答案】面积； 三次方； 二次方

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__上，引力的大小与物体的质量m_1和m_2的乘积成__，与它们之间距离r的二次方成__。

【答案】连线； 正比； 反比

2．**公式：** $F=$__________________，其中$G=6.67\times10^{-11}\mathrm{N\cdot m^2/kg^2}$。由英国物理学家_________测定。

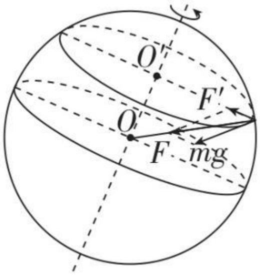
【答案】$G\frac{m_1m_2}{r^2}$； 卡文迪什

3．**适用条件：** 严格地说，公式只适用于__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。两均匀的球体可视为质点，其中r是______间的距离。一个均匀球体与球外一个质点间的万有引力也适用，其中r为球心到质点间的距离。

【答案】质点； 两球心

教材挖掘．（鲁科版必修第二册第 4 章第 2 节）

重力是因地球的吸引而产生的，请分析重力加速度g与哪些因素有关。进一步分析重力加速度g的异常变化对地下矿藏勘探工作有何价值。

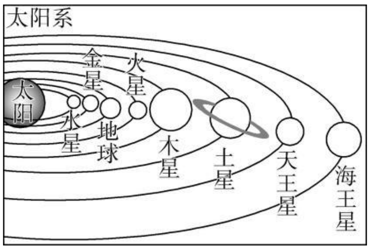


重力与万有引力分析示意图

提示：重力加速度g与地球的质量和半径有关，也与海拔高度和纬度有关。在相同纬度、相同海拔处，矿藏的分布不同，导致地下的质量分布不同。如果密度较大，则该地的g值较大，反之g值较小。

自主评价

1．依据下面小情境，判断下列说法对错。



（1） 八大行星的公转轨道都是圆，太阳位于圆的中心。（ ）

（2） 八大行星的公转是太阳的万有引力作用的结果。（ ）

（3） 在同一段时间内，地球与太阳的连线扫过的面积一定等于火星与太阳的连线扫过的面积。（ ）

（4） 对于地球绕太阳的公转和月球绕地球的公转，其轨道的半长轴的三次方跟公转周期的二次方的比$\frac{a^3}{T^2}$是相等的。（ ）

（5） 八大行星的公转运动可以看成匀速圆周运动。（ ）

【答案】（1） ×

（2） √

（3） ×

（4） ×

（5）√

2．牛顿在思考万有引力定律时就曾想，把物体从高山上水平抛出，速度一次比一次大，落点一次比一次远。如果速度足够大，物体就不再落回地面，它将绕地球运动，成为人造地球卫星。如图所示是牛顿设想的一颗卫星，它沿椭圆轨道运动。下列说法正确的是（ ）

A. 地球的球心与椭圆的中心重合

B. 卫星在近地点的速率小于在远地点的速率

C. 卫星在远地点的加速度小于在近地点的加速度

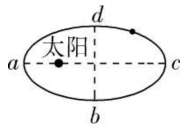
D. 卫星与椭圆中心的连线在相等的时间内扫过相等的面积

【答案】C

关键能力·核心突破

考点一 开普勒行星运动定律的理解和应用

1．**开普勒第二定律的应用**某行星沿椭圆轨道绕太阳运行，如图所示，在这颗行星的轨道上有a、b、c、d四个点，a、c在长轴上，b、d在短轴上。若该行星的运动周期为T，则该行星（ ）



A. 从a到b的运动时间等于从c到d的运动时间

B. 从d经a到b的运动时间等于从b经c到d的运动时间

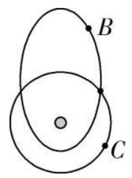
C. 从a到b的时间$t_{ab} > \frac{T}{4}$

D. 从c到d的时间$t_{cd} > \frac{T}{4}$

【答案】D

【解析】根据开普勒第二定律可知，该行星从a到b的运动时间小于从c到d的运动时间，同理可知，该行星从d经a到b的运动时间小于从b经c到d的运动时间，A、B 错误；该行星从a经b到c的时间和从c经d到a的时间均为$\frac{T}{2}$，可得$t_{ab} = t_{da} < \frac{T}{4}$，$t_{bc} = t_{cd} > \frac{T}{4}$，C 错误，D 正确。

2．**开普勒行星运动定律的应用**如图所示，B为绕地球沿椭圆轨道运行的卫星，椭圆轨道的半长轴为a，运行周期为T_B；C为绕地球沿圆轨道运动的卫星，圆轨道的半径为r，运行周期为T_C。下列说法中正确的是（ ）



A. 地球位于B卫星轨道的一个焦点上，位于C卫星轨道的圆心上

B. 卫星B和卫星C运动的速度大小均不变

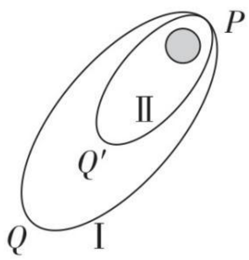
C. $\frac{a^3}{T_B^2}=\frac{r^3}{T_C^2}$，该比值的大小与地球和卫星有关

D. $\frac{a^3}{T_B^2}\neq\frac{r^3}{T_C^2}$，该比值的大小不仅与地球有关，还与太阳有关

【答案】A

【解析】由开普勒第一定律可知，地球位于B卫星轨道的一个焦点上，位于C卫星轨道的圆心上，A 正确；由开普勒第二定律可知，卫星B绕地球转动时速度大小在不断变化，卫星C的速度大小不变，B 错误；由开普勒第三定律可知$\frac{a^3}{T_B^2}=\frac{r^3}{T_C^2}=k$，比值的大小仅与地球质量有关，C、D 错误。

3．[2024・山东济南三模]**开普勒第三定律的应用** 2024 年 3 月 20 日，“鹊桥二号”中继星由长征八号遥三运载火箭在中国文昌航天发射场成功发射升空。如图所示，“鹊桥二号”临近月球时，先在周期为 24 小时的环月大椭圆冻结轨道Ⅰ上运行一段时间，而后在近月点P变轨，进入周期为 12 小时的环月大椭圆冻结轨道Ⅱ。已知轨道Ⅰ的近月点P距离月球表面的高度为h_1，远月点Q距离月球表面的高度为h_2，月球半径为R，$\sqrt[3]{\frac{1}{4}}\approx 0.6$，忽略地球引力的影响，则轨道Ⅱ的远月点$Q'$距离月球表面的高度为（ ）



A. $\frac{3h_2-2h_1-4R}{5}$　　　　B. $\frac{3h_2-2h_1-8R}{5}$

C. $\frac{3h_2-3h_1-4R}{5}$　　　　D. $\frac{3h_2-3h_1-8R}{5}$

【答案】A

【解析】“鹊桥二号”在两个轨道上运动时，根据开普勒第三定律有$\frac{(\frac{2R+h_1+h}{2})^3}{T_2^2}=\frac{(\frac{2R+h_1+h_2}{2})^3}{T_1^2}$，解得$h=\frac{3h_2-2h_1-4R}{5}$，故选A。

核心提炼

开普勒行星运动定律的理解

（1）开普勒行星运动定律也适用于其他天体的运动，例如月球、人造卫星绕地球的运动。

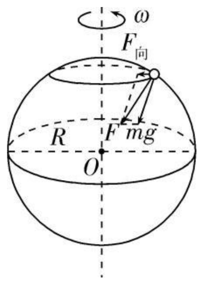
（2）开普勒第三定律$\frac{a^3}{T^2}=k$中，k值只与中心天体的质量有关，不同的中心天体k值不同。

（3）微元法解读开普勒第二定律：行星在近日点、远日点时的速度方向与两点连线垂直，若行星在近日点、远日点到太阳的距离分别为a、b，取足够短的时间Δt，则行星在Δt时间内的运动可看作匀速直线运动，由$S_a=S_b$知$\frac{1}{2}v_a\cdot\Delta t\cdot a=\frac{1}{2}v_b\cdot\Delta t\cdot b$，可得$v_a=\frac{v_b b}{a}$。行星到太阳的距离越远，行星的运动速率越小，反之越大。

考点二 万有引力定律的理解及应用

1.万有引力与重力的关系

地球对物体的万有引力F表现为两个效果：一是重力mg，二是提供物体随地球自转的向心力$F_{向}$。

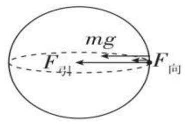
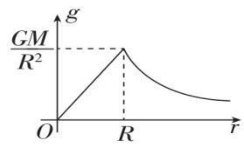


（1）在赤道上：$G\frac{Mm}{R^2}=mg_1+m\omega^2R$。

（2）在两极上：$G\frac{Mm}{R^2}=mg_0$。

（3）在一般位置：万有引力$G\frac{Mm}{R^2}$等于重力mg与向心力$F_{向}$的矢量和。越靠近南、北两极，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$\frac{GMm}{R^2}=mg$。

2.不同位置处重力加速度的比较

<table>
<tr><th colspan="2">地面</th><th>地下（忽略星球的自转）</th><th>天上</th></tr>
<tr><td colspan="2">
</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>两极（或不计自转）</td><td>赤道</td><td rowspan="2">$g=\frac{GMr}{R^3}=\frac{GM}{R^3}(R-h)$（$h$指深度）</td><td rowspan="2">$g=\frac{GM}{r^2}=\frac{GM}{(R+h)^2}$（$h$指高度）</td></tr>
<tr><td>$g=\frac{GM}{R^2}$</td><td>$g=\frac{GM}{R^2}-R\omega_{自}^2$</td></tr>
</table>

3.地球不因自转而瓦解的最小密度

地球以$T=24\mathrm{h}$的周期自转，不发生瓦解的条件是赤道上的物体受到的万有引力大于或等于该物体做圆周运动所需的向心力，即$\frac{GMm}{R^2}\geq m(\frac{2\pi}{T})^2R$，根据质量与密度的关系，有$M=\frac{4}{3}\pi\rho R^3$，所以地球的密度应为

$\rho\geq\frac{3\pi}{GT^2}=18.9\mathrm{kg/m^3}$，即最小密度为$\rho_{\min}=18.9\mathrm{kg/m^3}$。地球平均密度约为$\rho_0=5.5\times10^3\mathrm{kg/m^3}$，足以保证地球处于稳定状态。

4.万有引力的理解及推论

（1）两点理解

①两物体间的万有引力是一对作用力和反作用力。

②地球上（两极除外）的物体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$\sum F_{引}=0$。

②推论 2：在匀质球体内部距离球心r处的质点（质量为m）受到的万有引力等于球体内半径为r的同心球体（质量为M'）对其的万有引力，即$F=G\frac{M'm}{r^2}$。

例 1 将地球看成一个半径为R的圆球，在北极用弹簧测力计将一个物体（可视为质点）竖直悬挂，物体静止时，弹簧测力计弹力大小为F_1；在赤道，用弹簧

测力计将同一物体竖直悬挂，物体静止时，弹簧测力计弹力大小为F_2。已知地球自转周期为T，则该物体的质量为（ ）

A. $\frac{F_1T^2}{4\pi^2R}$　　　　B. $\frac{F_2T^2}{4\pi^2R}$

C. $\frac{(F_1-F_2)T^2}{4\pi^2R}$　　　　D. $\frac{(F_2-F_1)T^2}{4\pi^2R}$

【答案】C

【解析】设地球质量为M，物体质量为m，在北极处，万有引力等于重力，即等于弹簧测力计的示数，有$F_1=\frac{GMm}{R^2}$，在赤道处，万有引力与重力的合力提供向心力，所以有$\frac{GMm}{R^2}-mg=m\cdot(\frac{2\pi}{T})^2\cdot R$，$mg=F_2$，联立解得$m=\frac{(F_1-F_2)T^2}{4\pi^2R}$，故选 C。

迁移应用 1．假设将来的某一天，航天员驾驶宇宙飞船，登陆某一行星，该行星是质量分布均匀的球体。通过测量发现，某一物体在该行星两极处的重力为G_0，在该行星赤道处的重力为 $0.75G_0$，则此物体在该行星纬度为$30°$ 处随行星自转的向心力为（ ）

A. $\frac{\sqrt{3}}{12}G_0$　　B. $\frac{1}{12}G_0$　　C. $\frac{\sqrt{3}}{8}G_0$　　D. $\frac{1}{8}G_0$

【答案】C

【解析】在两极处，$G\frac{Mm}{R^2}=G_0$，在赤道上，$G\frac{Mm}{R^2}-m\omega^2R=0.75G_0$，在纬度为$30°$ 处随行星自转的向心力$F=m\omega^2R\cos30°$，联立解得$F=\frac{\sqrt{3}}{8}G_0$，故 C 正确。

迁移应用 2．有科学家正在研究架设从地面到太空的“太空梯”。若“太空梯”建在赤道上，人沿“太空梯”上升到h高度处，恰好会感到自己“飘浮”起来。已知地球的半径为R，地球表面的重力加速度为g，则地球自转角速度为（ ）

A. $\sqrt{\frac{gR}{(R+h)^3}}$　　B. $\sqrt{\frac{gR^2}{(R+h)^3}}$　　C. $\sqrt{\frac{gR^3}{(R+h)^2}}$　　D. $\sqrt{\frac{gR^3}{(R+h)^3}}$

【答案】B

【解析】在地面万有引力等于重力，有$G\frac{Mm}{R^2}=mg$，当人感到自己“飘浮”起来时，处于完全失重状态，万有引力提供向心力有$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\omega^2(R+h)$，联立解得$\omega=\sqrt{\frac{gR^2}{(R+h)^3}}$，故选 B。

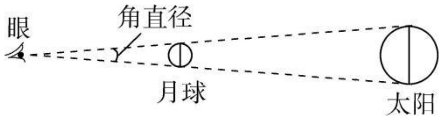
考点三 中心天体质量和密度的估算

天体质量和密度的计算

项目	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	$G\frac{Mm}{r^2}=mr\frac{4\pi^2}{T^2}$	$M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$	只能得到中心天体的质量
		r、v	$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$	$M=\frac{rv^2}{G}$	
		v、T	$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$；$G\frac{Mm}{r^2}=mr\frac{4\pi^2}{T^2}$	$M=\frac{v^3T}{2\pi G}$	
	利用天体表面重力加速度	g、R	$mg=\frac{GMm}{R^2}$	$M=\frac{gR^2}{G}$	$GM=gR^2$（黄金代换）
密度的计算	利用运行天体	r、T、R	$G\frac{Mm}{r^2}=mr\frac{4\pi^2}{T^2}$；$M=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3$	$\rho=\frac{3\pi r^3}{GT^2R^3}$；当$r=R$时$\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$	利用近地卫星只需测出其运行周期
	利用天体表面重力	g、R	$mg=\frac{GMm}{R^2}$；$M=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3$	$\rho=\frac{3g}{4\pi GR}$	—

	加速度				

例 2 [2023 • 辽宁卷 • 7，4 分]在地球上观察，月球和太阳的角直径（直径对应的张角）近似相等，如图所示。若月球绕地球运动的周期为T_1，地球绕太阳运动的周期为T_2，地球半径是月球半径的k倍，则地球与太阳的平均密度之比约为（ ）

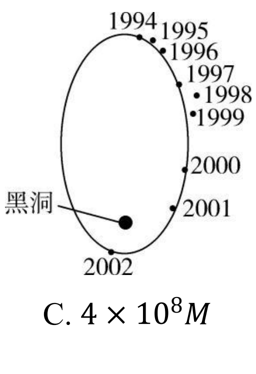


A. $k^3(\frac{T_1}{T_2})^2$　　B. $k^3(\frac{T_2}{T_1})^2$　　C. $\frac{1}{k^3}(\frac{T_1}{T_2})^2$　　D. $\frac{1}{k^3}(\frac{T_2}{T_1})^2$

【答案】D

【解析】设月球绕地球运动的轨道半径为r_1，地球绕太阳运动的轨道半径为r_2，根据$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，可得$G\frac{m_{地}m_{月}}{r_1^2}=m_{月}\frac{4\pi^2}{T_1^2}r_1$，$G\frac{m_{地}m_{日}}{r_2^2}=m_{地}\frac{4\pi^2}{T_2^2}r_2$，其中$\frac{r_1}{r_2}=\frac{R_{月}}{R_{日}}=\frac{R_{地}}{kR_{日}}$，又$\rho=\frac{m}{\frac{4}{3}\pi R^3}$，联立可得$\frac{\rho_{地}}{\rho_{日}}=\frac{1}{k^3}(\frac{T_2}{T_1})^2$，故选 D。

迁移应用 3．[2021 • 全国乙卷 • 18，6 分]科学家对银河系中心附近的恒星 S2 进行了多年的持续观测，给出 1994 年到 2002 年间 S2 的位置如图所示。科学家认为 S2 的运动轨迹是半长轴约为 1000AU（太阳到地球的距离为 1AU）的椭圆，银河系中心可能存在超大质量黑洞。这项研究工作获得了 2020 年诺贝尔物理学奖。若认为 S2 所受的作用力主要为该大质量黑洞的引力，设太阳的质量为M，可以推测出该黑洞质量约为（ ）



A. 4×10^4M　　B. 4×10^6M　　C. 4×10^8M　　D. $4\times10^{10}M$

【答案】B

【解析】地球绕太阳做匀速圆周运动，太阳对地球的万有引力提供地球做圆周运动所需向心力，有$\frac{GmM}{r^2}=mr(\frac{2\pi}{T})^2$，化简得$\frac{r^3}{T^2}=\frac{G}{4\pi^2}M$，同理 S2 绕黑洞沿椭

圆轨道运动时，轨道半长轴的三次方与周期二次方的比值与黑洞质量成正比，有$\frac{\frac{r_{S2}^3}{T_{S2}^2}}{\frac{r^3}{T^2}}=\frac{M_{黑}}{M}$，由题意知 S2 的周期约为 16 年，代入数据解得$M_{黑}\approx 4\times 10^6 M$，B 正确。

迁移应用 4．**多选** 利用引力常量G和表中选择的一些信息可以完成的估算是（ ）

信息内容
地球公转周期约 365 天
地球表面重力加速度约为 $9.8\mathrm{m/s^2}$
火星的公转周期约为 687 天
日地距离大约是 $1.5\times 10^8\mathrm{km}$
地球半径约为 6400km
地球近地卫星的周期约为 90min

A. 地球的密度　　　　B. 太阳的密度

C. 近地卫星的质量　　　　D. 火星公转的线速度

【答案】AD

【解析】对地球近地卫星有$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$，由于$\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$，解得$\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$，可估算出地球的密度，近地卫星作为环绕天体，根据题中条件无法求出其质量，A 正确，C 错误；地球绕太阳做匀速圆周运动有$G\frac{M_0 M}{r^2}=M\frac{4\pi^2}{T_0^2}r$，可得$M_0=\frac{4\pi^2 r^3}{GT_0^2}$，利用地球公转周期$T_0$、日地距离$r$只能求出太阳的质量，由于不知道太阳的半径，不能求出太阳的密度，B 错误；根据开普勒第三定律有$\frac{r^3}{T_0^2}=\frac{r_{火}^3}{T_{火}^2}$，可以估算出火星到太阳的距离，根据$v_{火}=\frac{2\pi r_{火}}{T_{火}}$可以估算出火星公转的线速度，D 正确。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 25

第 2 讲 人造卫星 宇宙速度

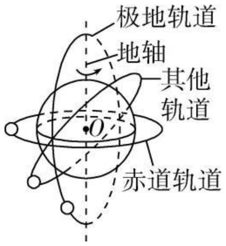
课标要求

会比较卫星运行的各物理量之间的关系；会计算人造地球卫星的环绕速度；知道第二宇宙速度和第三宇宙速度。

必备知识·强基固本

一、人造卫星

卫星运行的轨道平面一定通过地心，一般分为赤道轨道、极地轨道和其他轨道，静止卫星的轨道是赤道轨道。



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：轨道在__________附近的卫星，其轨道半径$r=R$（地球半径），运行速度$v=7.9\text{km/s}$（人造地球卫星的最大圆轨道运行速度），$T=85\text{min}$（人造地球卫星的最小周期）。近地卫星可能为极地卫星，也可能为赤道卫星。

【答案】地球表面

二、三种宇宙速度

第一宇宙速度（环绕速度）	$v_1=$__km/s，是物体在地面附近绕地球做匀速圆周运动的速度，也是人造地球卫星的最小发射速度
第二宇宙速度	$v_2=11.2\text{km/s}$，是物体挣脱__引力束缚的最小发射速度
第三宇宙速度	$v_3=16.7\text{km/s}$，是物体挣脱__引力束缚的最小发射速度

【答案】7.9； 地球； 太阳

三、经典力学和相对论

1.经典力学的适用范围：只适用于低速运动，不适用于高速运动；只适用于宏观世界，不适用于微观世界。

2.狭义相对论的三个结论

（1）运动的时钟变慢了。

（2）运动的尺子长度缩短了。

（3）运动的物体质量增大了。 以上三个结论均为相对观察者运动时产生的现象。

自主评价

依据下面小情境，判断下列说法对错。 情境 1：北斗卫星导航系统是中国自行研制的全球卫星导航系统，如图所示，该系统由静止轨道和非静止轨道卫星组网而成。

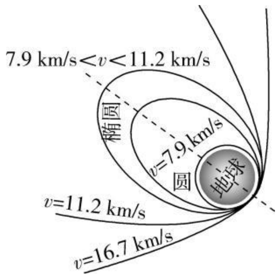
（1） 近地卫星的周期最小。（ ）

（2） 极地卫星通过地球两极，且始终和地球某一经线平面重合。（ ）

（3） 不同的同步卫星的质量不一定相同，但离地面的高度是相同的。（ ）

（4） 同步卫星的加速度与静止在赤道上物体的加速度大小相等。（ ）

情境 2：如图所示，为不同宇宙速度的卫星对应的运行轨迹示意图。



（1） 第一宇宙速度是卫星绕地球做匀速圆周运动的最小速度。（ ）

（2） 卫星的发射速度大于 7.9km/s、小于 11.2km/s 时，卫星绕地球沿椭圆轨道运行。（ ）

（3） 同步卫星的发射速度应大于 7.9km/s。（ ）

（4） 同步卫星绕地球运行的速度一定小于 7.9km/s。（ ）

（5） 若卫星的发射速度大于 11.2km/s、小于 16.7km/s 时，卫星将绕太阳运行。（ ）

（6） 月球的第一宇宙速度也是 7.9km/s。（ ）

【答案】（1） √

（2） ×

（3） √

（4） ×

（1） ×

（2） √

（3） √

（4） √

（5） √

（6） ×

关键能力·核心突破

考点一 卫星运行参量的比较与计算

考向 1 卫星运行参量的比较与计算

1.一种模型 无论是自然天体（如地球、月球）还是人造天体（如宇宙飞船、人造卫星）都可以看作质点，围绕中心天体（视为静止）做匀速圆周运动。

2.两条思路

（1）万有引力提供向心力，即$G\frac{Mm}{r^2}=ma$。

（2）天体对其表面物体的万有引力近似等于重力，则有$\frac{GMm}{R^2}=mg$或$gR^2=GM$（R、g分别是天体的半径和天体表面重力加速度），公式$gR^2=GM$应用广泛，被称为“黄金代换”。

3.地球卫星的运行参数 将卫星轨道视为圆轨道，圆周运动的圆心与中心天体中心重合。半径越小，速度越大，周期越小。

物理量	推导依据	表达式
线速度	$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$	$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$
角速度	$\frac{GMm}{r^2}=m\omega^2r$	$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$
周期	$G\frac{Mm}{r^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2r$	$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$
向心加速度	$G\frac{Mm}{r^2}=ma_{向}$	$a_{向}=\frac{GM}{r^2}$

例 1 [2022·广东卷·2，4 分]“祝融号”火星车需要“休眠”以度过火星寒冷的冬季。假设火星和地球的冬季是各自公转周期的四分之一，且火星的冬季时长约为地球的 1.88 倍。火星和地球绕太阳的公转均可视为匀速圆周运动。下列关于火星、地球公转的说法正确的是（ ）

A. 火星公转的线速度比地球的大 B. 火星公转的角速度比地球的大

C. 火星公转的半径比地球的小 D. 火星公转的加速度比地球的小

【答案】D

【解析】由题意可知$T_{火}=1.88T_{地}$，结合开普勒第三定律有$\frac{r_{火}^3}{T_{火}^2}=\frac{r_{地}^3}{T_{地}^2}$，整理可得$(\frac{r_{火}}{r_{地}})^3=(\frac{T_{火}}{T_{地}})^2$，可知$r_{火}>r_{地}$，C 错误。由$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，可见$v_{火}<v_{地}$，A 错误。由$\omega=\frac{2\pi}{T}$，可知$\omega_{火}<\omega_{地}$，B 错误。由$\frac{GMm}{r^2}=ma$，得$a=\frac{GM}{r^2}$，可见$a_{火}<a_{地}$，D 正确。

迁移应用 1．[2023·山东卷·3，3 分]牛顿认为物体落地是由于地球对物体的吸引，这种吸引力可能与天体间（如地球与月球）的引力具有相同的性质，且都满足$F\propto\frac{Mm}{r^2}$。已知地月之间的距离r大约是地球半径的 60 倍，地球表面的重力加速度为g，根据牛顿的猜想，月球绕地球公转的周期为（ ）

A. $30\pi\sqrt{\frac{r}{g}}$ B. $30\pi\sqrt{\frac{g}{r}}$ C. $120\pi\sqrt{\frac{r}{g}}$ D. $120\pi\sqrt{\frac{g}{r}}$

【答案】C

【解析】对月球，满足$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$；对地球表面一重物有$m_0g=G\frac{Mm_0}{R^2}$，且$r=60R$，联立解得$T=120\pi\sqrt{\frac{r}{g}}$，C 正确。

考向 2 静止卫星

静止卫星的六个“一定”

轨道平面一定 → 轨道平面与赤道平面共面

周期一定 → 与地球自转周期相同，即$T=24$ h

高度一定 → 由$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}(R+h)$得静止卫星离地面的高度$h=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}-R\approx 6R$(恒量)

速度一定 → $v=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}=\frac{2\pi(R+h)}{T}$

角速度一定 → 与地球自转的角速度相同

绕行方向一定 → 与地球自转的方向一致

点拨

比较卫星与地球有关的参量时可以通过比较卫星与静止卫星的参量来确定。

例 2 [2022·天津卷·3，5 分]2022 年 3 月，中国空间站“天宫课堂”再次开讲，授课期间利用了我国的中继卫星系统进行信号传输，天地通信始终高效稳定。已知空间站在距离地面 400 公里左右的轨道上运行，其运动视为匀速圆周运动，中继卫星系统中某卫星是距离地面 36 000 公里左右的地球静止轨道卫星（同步卫星），则该卫星（ ）

A. 授课期间经过天津正上空

B. 加速度大于空间站的加速度

C. 运行周期大于空间站的运行周期

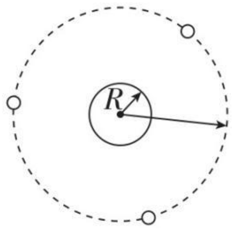
D. 运行速度大于地球的第一宇宙速度

【答案】C

【解析】该卫星是地球静止轨道卫星（同步卫星），处于赤道平面上，不可能经过天津正上空，A 错误。由万有引力提供向心力有$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}=m(\frac{2\pi}{T})^2r=$

ma，得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，$a=G\frac{M}{r^2}$，$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，由于该卫星轨道半径大于空间站轨道半径，故其加速度小于空间站的加速度，运行周期大于空间站的运行周期，第一宇宙速度是近地卫星的运行速度，则该卫星的运行速度小于地球的第一宇宙速度，B、D 错误，C 正确。

迁移应用 2．利用三颗位置适当的静止卫星，可使地球赤道上任意两点之间保持无线电通信。已知地球半径为R，自转周期为T，静止卫星离地高度约为地球半径的 5.6 倍，引力常量为G，下列说法正确的是（ ）



A. 静止卫星的运行速度大于 7.9km/s

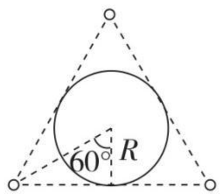
B. 三颗静止卫星的向心加速度相同

C. 根据以上数据可计算地球质量约为$\frac{4\pi^2(5.6R)^3}{GT^2}$

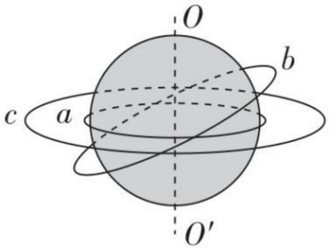
D. 若地球自转周期变小，仍仅用三颗静止卫星实现上述目的，则地球自转的最小周期为$(\frac{1}{3.3})^{\frac{3}{2}}T$

【答案】D

【解析】第一宇宙速度是航天器的最小发射速度，也是航天器围绕地球运行的最大速度，故静止卫星的环绕速度一定小于 7.9km/s，故 A 错误；三颗静止卫星向心加速度大小相等，但方向不同，故 B 错误；根据$\frac{GM_{地}m}{(6.6R)^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}(6.6R)$，得地球质量$M_{地}=\frac{4\pi^2(6.6R)^3}{GT^2}$，故 C 错误；无线电通信刚好覆盖地球的情况如图所示，则每颗卫星的覆盖角度为$120°$，根据几何关系可得轨道半径为地球半径的 2 倍，根据开普勒第三定律有$\frac{(6.6R)^3}{T^2}=\frac{(2R)^3}{T'^2}$，可得$T'=(\frac{1}{3.3})^{\frac{3}{2}}T$，故 D 正确。



迁移应用3．[2024·海南海口模拟]如图所示，a为放在赤道上相对地球静止的物体，随地球自转做匀速圆周运动，b为沿地球表面附近做匀速圆周运动的人造卫星（轨道半径约等于地球半径），c为地球静止卫星。下列关于a、b、c的说法中正确的是（ ）



A. 地球静止卫星都与c在同一个轨道上，并且它们受到的万有引力大小相等

B. a、b、c做匀速圆周运动的向心加速度大小关系为$a_a > a_b > a_c$

C. a物体所受地球的万有引力全部提供a物体随地球自转所需的向心力

D. a、b、c做匀速圆周运动的周期关系为$T_a = T_c > T_b$

【答案】D

【解析】地球静止卫星都与c在同一个轨道上，轨道半径相等，但是卫星的质量不一定相等，根据万有引力定律公式$F = G\frac{m_{地}m}{r^2}$，可知它们受到的万有引力大小不一定相等，故A错误；对于卫星b、c，由万有引力提供向心力有$G\frac{m_{地}m}{r^2} = ma$，解得$a = \frac{Gm_{地}}{r^2}$，其中$r_c > r_b$，所以$a_b > a_c$，由于a、c绕地球运动的周期相等，根据$a = r\omega^2$，其中$r_c > r_a$，可得$a_c > a_a$，所以a、b、c做匀速圆周运动的向心加速度大小关系为$a_b > a_c > a_a$，故B错误；a物体所受地球的万有引力一部分提供a物体随地球自转需要的向心力，一部分为物体的重力，故C错误；对于a、c，$T_a = T_c$，对于卫星b、c，由万有引力提供向心力有$G\frac{m_{地}m}{r^2} = mr\frac{4\pi^2}{T^2}$，解得$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_{地}}}$，其中$r_c > r_b$，所以$T_c > T_b$，即$a$、$b$、$c$做匀速圆周运动的周期关系为$T_a = T_c > T_b$，故D正确。

考点二 宇宙速度

1．**宇宙速度的理解与计算**多选 已知火星的质量约为地球质量的$\frac{1}{9}$，火星的半径约为地球半径的$\frac{1}{2}$，下列关于火星探测器的说法中正确的是（ ）

A. 发射速度应大于第二宇宙速度且小于第三宇宙速度

B. 发射速度只有达到第三宇宙速度才可以成功

C. 发射速度只要大于第一宇宙速度即可

D. 地球第一宇宙速度约为火星探测器环绕火星运行的最大速度的$\frac{3}{\sqrt{2}}$

【答案】AD

【解析】火星探测器前往火星，脱离地球引力束缚，还在太阳系内，发射速度应大于第二宇宙速度且小于第三宇宙速度，故 A 正确，B、C 错误；由$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$得$v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，已知火星的质量约为地球质量的$\frac{1}{9}$，火星的半径约为地球半径的$\frac{1}{2}$，可得火星的第一宇宙速度与地球第一宇宙速度之比约为$\frac{v_{火}}{v_{地}}=\sqrt{\frac{M_{火}}{M_{地}}\cdot\frac{R_{地}}{R_{火}}}=\sqrt{\frac{1}{9}\times\frac{2}{1}}=\frac{\sqrt{2}}{3}$，故 D 正确。

2．**宇宙速度的理解与应用**某杂志发表的一篇论文称，某科学家在银河系中心附近的一团分子气体云中发现了一个黑洞。科学研究表明，当天体的逃逸速度（逃逸速度为其第一宇宙速度的$\sqrt{2}$倍）超过光速时，该天体就是黑洞。已知某天体与地球的质量之比为k，地球的半径为R，地球的环绕速度（第一宇宙速度）为v_1，光速为c，则要使该天体成为黑洞，其半径应小于（ ）

A. $\frac{2v_1^2R}{kc^2}$　　B. $\frac{2kc^2R}{v_1^2}$　　C. $\frac{kv_1^2R}{2c^2}$　　D. $\frac{2kv_1^2R}{c^2}$

【答案】D

【解析】地球的第一宇宙速度为$v_1=\sqrt{\frac{Gm_{地}}{R}}$，则黑洞的第一宇宙速度为$v_2=\sqrt{\frac{Gkm_{地}}{r}}$，其中$\sqrt{2}v_2>c$，联立解得$r<\frac{2kv_1^2R}{c^2}$，故 D 正确，A、B、C 错误。

核心提炼

第一宇宙速度的推导

方法一：由$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v_1^2}{R}$得$v_1=\sqrt{\frac{GM}{R}}=\sqrt{\frac{6.67\times10^{-11}\times5.98\times10^{24}}{6.4\times10^6}}\mathrm{m/s}\approx7.9\times10^3\mathrm{m/s}$。

方法二：由$mg=m\frac{v_1^2}{R}$得

$v_1=\sqrt{gR}=\sqrt{9.8\times6.4\times10^6}\mathrm{m/s}\approx7.9\times10^3\mathrm{m/s}$。

第一宇宙速度是人造卫星的最小发射速度，也是人造卫星的最大环绕速度，此时人造卫星的运行周期最短，$T_{min}=2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}\approx 5075s\approx 85min$。

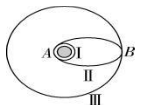
温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 26

专题突破 7 天体运动中的三类热点问题

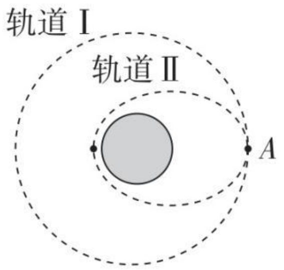
关键能力·核心突破

题型一 卫星的变轨问题

人造卫星的发射过程要经过多次变轨方可到达预定轨道，若卫星要从轨道Ⅰ变换到轨道Ⅲ，则需要在A处、B处各点火加速一次；若卫星要从轨道Ⅲ变换到轨道Ⅰ，则需要在B处、A处各制动减速一次。各种物理量的比较如表所示：

	速度关系	$v_{ⅡA}>v_{Ⅰ}>v_{Ⅲ}>v_{ⅡB}$
	加速度关系	$a_{Ⅰ}=a_{ⅡA}>a_{ⅡB}=a_{Ⅲ}$
	周期关系	$T_{Ⅰ}<T_{Ⅱ}<T_{Ⅲ}$
	能量关系	$E_{Ⅰ}<E_{Ⅱ}<E_{Ⅲ}$

例 1 [2024 • 江苏南京模拟]北京时间 2024 年 7 月 3 日 22 时 51 分，经过约 6.5 小时的出舱活动，神舟十八号乘组 3 名航天员密切协同，在空间站机械臂和地面科研人员的配合支持下，顺利完成了舱外巡检任务。空间站的运行轨道可近似看作圆形轨道Ⅰ，设地球表面重力加速度为g，地球半径为R，椭圆轨道Ⅱ为载人飞船运行轨道，两轨道相切于A点，下列说法正确的是（ ）



A. 在A点时神舟十八号经过点火加速才能从轨道Ⅰ进入轨道Ⅱ

B. 飞船在A点的加速度小于空间站在A点的加速度

C. 空间站在轨道Ⅰ上的速度小于$\sqrt{gR}$

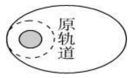
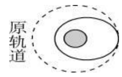
D. 轨道Ⅰ上的神舟十八号飞船想与前方的空间站对接，只需要沿运动方向加速即可

【答案】C

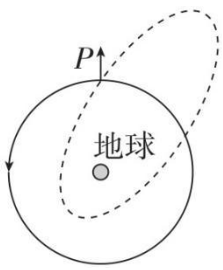
【解析】从轨道Ⅰ进入轨道Ⅱ，神舟十八号做近心运动，应在A点减速，A 错误；根据万有引力提供向心力，有$\frac{Gm_{地}m}{r^2}=ma$，解得$a=\frac{Gm_{地}}{r^2}$，所以飞船在A点的加速度等于空间站在A点的加速度，B 错误；设第一宇宙速度为v，则有$mg=\frac{mv^2}{R}$，解得$v=\sqrt{gR}$，该速度是最大的运行速度，所以空间站在轨道Ⅰ上的速度小于$\sqrt{gR}$，C 正确；轨道Ⅰ上的神舟十八号飞船只沿运动方向加速，会变到更高轨道，不能完成对接，D 错误。

总结归纳

卫星变轨的实质

两类变轨	离心运动	近心运动
示意图		
变轨起因	卫星速度突然增大	卫星速度突然减小
万有引力与向心力的大小关系	$G\frac{Mm}{r^2}<m\frac{v^2}{r}$	$G\frac{Mm}{r^2}>m\frac{v^2}{r}$
变轨结果	转变为椭圆轨道运动或在较大半径圆轨道上运动	转变为椭圆轨道运动或在较小半径圆轨道上运动

迁移应用 1．[2024·湖北卷·4，4 分]太空碎片会给航天器带来危害。设空间站在地球附近沿逆时针方向做匀速圆周运动，如图中实线所示。为了避开碎片，空间站在P点向图中箭头所指径向方向极短时间喷射气体，使空间站获得一定的反冲速度，从而实现变轨。变轨后的轨道如图中虚线所示，其半长轴大于原轨道半径。则（ ）



A. 空间站变轨前、后在P点的加速度相同

B. 空间站变轨后的运动周期比变轨前的小

C. 空间站变轨后在P点的速度比变轨前的小

D. 空间站变轨前的速度比变轨后在近地点的大

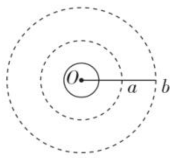
【答案】A

【解析】空间站在P点变轨前、后所受到的万有引力不变，根据牛顿第二定律可知空间站变轨前、后在P点的加速度相同，A 正确；变轨后轨道的半长轴大于原轨道半径，根据开普勒第三定律可知空间站变轨后的运动周期比变轨前的大，B 错误；由题图可知，空间站在P点沿箭头方向喷射气体，瞬间获得与箭头方向相反的速度，喷射气体前在P点的速度垂直箭头方向向左，大小不变，根据运动的合成可知，空间站变轨后在P点的速度比变轨前的大，变轨后空间站在近地点的速度最大，则空间站变轨前的速度比变轨后在近地点的小，C、D 错误。

题型二 天体的“追及”和“相遇”问题

两颗卫星在同一轨道平面内同向绕地球做匀速圆周运动，a卫星的角速度为ω_a，b卫星的角速度为ω_b。

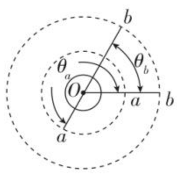
若某时刻两卫星正好同时通过地面同一点正上方，相距最近，如图甲所示。由于它们的轨道不是重合的，因此在最近和最远的问题上不能通过位移或弧长相等来处理，而是通过卫星运动的圆心角来衡量。



甲

1.角度关系

（1）当它们转过的角度之差$\Delta\theta=\theta_a-\theta_b=\omega_a\Delta t-\omega_b\Delta t=(2n-1)\pi(n=1,2,3,\cdots)$时，两卫星相距最远，如图乙所示。



乙

（2）当它们转过的角度之差$\Delta\theta=\omega_a\Delta t-\omega_b\Delta t=2n\pi(n=1,2,3,\cdots)$时，两卫星相距最近。

2.圈数关系

（1）最近：$\frac{t}{T_1}-\frac{t}{T_2}=n(n=1,2,3,\cdots)$。

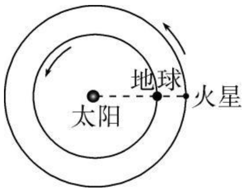
（2）最远：$\frac{t}{T_1}-\frac{t}{T_2}=\frac{2n-1}{2}(n=1,2,3,\cdots)$。

3.时间间隔

（1）相邻一次最近：$t=\frac{T_1T_2}{T_2-T_1}=\frac{T_1}{1-\frac{T_1}{T_2}}$。

（2）相邻一次最远：$t=\frac{T_1T_2}{2(T_2-T_1)}$。

例 2 [2023·湖北卷·2，4 分]2022 年 12 月 8 日，地球恰好运行到火星和太阳之间，且三者几乎排成一条直线，此现象被称为“火星冲日”。火星和地球几乎在同一平面内沿同一方向绕太阳做圆周运动。火星与地球的公转轨道半径之比约为 3∶2，如图所示。根据以上信息可以得出（ ）



A. 火星与地球绕太阳运动的周期之比约为 27∶8

B. 当火星与地球相距最远时，两者的相对速度最大

C. 火星与地球表面的自由落体加速度大小之比约为 9∶4

D. 下一次“火星冲日”将出现在 2023 年 12 月 8 日之前

【答案】B

【解析】由开普勒第三定律可知$\frac{r_{火}^3}{T_{火}^2}=\frac{r_{地}^3}{T_{地}^2}$，则$\frac{T_{火}}{T_{地}}=\sqrt{(\frac{r_{火}}{r_{地}})^3}=\sqrt{\frac{27}{8}}=\frac{3\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}$，A 错误。当火星与地球相距最远时，两者速度方向相反，相对速度$\Delta v=v_{火}+v_{地}$最大，B 正确。由$G\frac{Mm}{R^2}=mg$知$g=G\frac{M}{R^2}$，而火星和地球的质量关系、半径关系未知，故不能得出两者表面的自由落体加速度大小之比，C 错误。从此次“火星冲日”到下一次“火星冲日”所经历的时间，应满足$\frac{t}{T_{地}}-\frac{t}{T_{火}}=1$，则$t=\frac{T_{地}T_{火}}{T_{火}-T_{地}}$，由$T_{地}=1$ 年，$\frac{T_{火}}{T_{地}}=\frac{3\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}$得$T_{火}=\frac{3}{4}\sqrt{6}$年，则$t=\frac{3\sqrt{6}}{3\sqrt{6}-4}$年$>1$ 年，D 错误。

迁移应用 2．[2023·浙江 1 月选考卷·10，3 分]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，称为“行星冲日”。已知地球及各地外行星绕太阳运动的轨道半径如表：

行星名称	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星
轨道半径R/AU	1.0	1.5	5.2	9.5	19	30

则相邻两次“冲日”时间间隔约为（ ）

A. 火星 365 天　　　　B. 火星 800 天

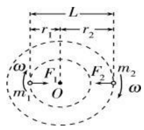
C. 天王星 365 天　　　　D. 天王星 800 天

【答案】B

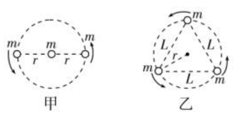
【解析】设相邻两次“冲日”时间间隔为t，则有$\frac{t}{T_{地}}-\frac{t}{T_{行}}=1$，即$t=\frac{T_{地}}{1-\frac{T_{地}}{T_{行}}}$，根据开普勒第三定律$\frac{R^3}{T^2}=k$，可得$\frac{T_{行}}{T_{地}}=\sqrt{(\frac{R_{行}}{R_{地}})^3}$，且$T_{地}=1$ 年，结合轨道半径数据可知，$t_{火}\approx 2.19$ 年，约 800 天，$t_{天}\approx 1.01$ 年，约 369 天，B 正确。

题型三 “双星、多星”模型

1.双星模型

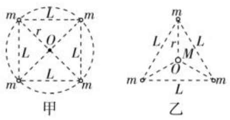
情境导图	
运动特点	转动方向、周期、角速度相同，运动半径一般不相等
受力特点	两星间的万有引力提供两星做圆周运动的向心力
解题规律	$\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_1\omega^2r_1$，$\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_2\omega^2r_2$
解题关键	$m_1r_1=m_2r_2$，$r_1+r_2=L$
结论	两颗星到圆心的距离r_1、r_2与星体质量成反比，即$\frac{m_1}{m_2}=\frac{r_2}{r_1}$
	双星的运动周期$T=2\pi\sqrt{\frac{L^3}{G(m_1+m_2)}}$

2.三星模型

情境导图	

运动特点	转动方向、周期、角速度、线速度大小均相同，圆周运动半径相等
受力特点	各星所受万有引力的合力提供做圆周运动的向心力
解题规律	图甲：$\frac{Gm^2}{r^2}+\frac{Gm^2}{(2r)^2}=ma_{\mathrm{n}}$ 图乙：$\frac{Gm^2}{L^2}\times\cos30^{\circ}\times2=ma_{\mathrm{n}}$
解题关键	图乙：$r=\frac{L}{2\cos30^{\circ}}$

3.四星模型

情境导图	
运动特点	转动方向、周期、角速度、线速度大小均相同，圆周运动半径相等
受力特点	各星所受万有引力的合力提供做圆周运动的向心力
解题规律	图甲：$\frac{Gm^2}{L^2}\times2\cos45^{\circ}+\frac{Gm^2}{(\sqrt{2}L)^2}=ma_{\mathrm{n}}$ 图乙：$\frac{Gm^2}{L^2}\times2\cos30^{\circ}+\frac{GmM}{r^2}=ma_{\mathrm{n}}$
解题关键	图甲：$r=\frac{\sqrt{2}}{2}L$；图乙：$r=\frac{L}{2\cos30^{\circ}}$

例 3 [2024 • 湖南师大附中月考]引力波的发现，证实了爱因斯坦 100 年前的预测，弥补了爱因斯坦广义相对论中最后一块缺失的“拼图”。双星的运动是产生引力波的来源之一，假设宇宙中有一双星系统由a、b两颗星体组成，这两颗星绕它们连线上的某一点在万有引力作用下做匀速圆周运动，测得a星的周期为T，a、b两颗星的距离为l，a、b两颗星的轨道半径之差为Δr。（a星的轨道半径大于b星的轨道半径）则（ ）

A. b星的周期为$\frac{l+\Delta r}{l-\Delta r}T$

B. a星的线速度大小为$\frac{\pi(l+\Delta r)}{T}$

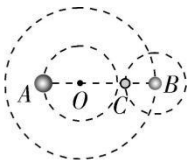
C. a、b两颗星的轨道半径之比为$\frac{l}{l+\Delta r}$

D. a、b两颗星的质量之比为$\frac{l+\Delta r}{l-\Delta r}$

【答案】B

【解析】两颗星绕它们连线上的某一点在万有引力作用下做匀速圆周运动，则角速度相同，由公式$T=\frac{2\pi}{\omega}$，可知两颗星的周期相等；由于$r_1+r_2=l$，$r_1-r_2=\Delta r$，两式联立解得$r_1=\frac{l+\Delta r}{2}$，$r_2=\frac{l-\Delta r}{2}$，a、b两颗星的轨道半径之比为$\frac{r_1}{r_2}=\frac{l+\Delta r}{l-\Delta r}$，$a$星的线速度大小为$v_1=\frac{2\pi r_1}{T}=\frac{\pi(l+\Delta r)}{T}$；由万有引力提供向心力得$\frac{Gm_1m_2}{l^2}=m_1\frac{4\pi^2}{T^2}r_1$，$\frac{Gm_1m_2}{l^2}=m_2\frac{4\pi^2}{T^2}r_2$，解得$\frac{m_1}{m_2}=\frac{r_2}{r_1}=\frac{l-\Delta r}{l+\Delta r}$。故选 B。

迁移应用 3．中国天眼 FAST 在球状星团 M92 第一次探测到“红背蜘蛛”脉冲双星。如图，相距为L的A、B星球构成的双星系统绕O点做匀速圆周运动，其运动周期为T。C为B的卫星，绕B做匀速圆周运动的轨道半径为R，周期也为T，忽略A与C之间的引力，且A与B之间的引力远大于C与B之间的引力。引力常量为G，则（ ）



A. A、B的轨道半径之比为$\frac{L^3-R^3}{R^3}$

B. C的质量为$\frac{4\pi^2R^3}{GT^2}$

C. B的质量为$\frac{4\pi^2L^3}{GT^2}$

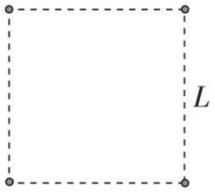
D. A的质量为$\frac{4\pi^2}{GT^2}(L^3-R^3)$

【答案】D

【解析】C绕B做匀速圆周运动，由万有引力提供向心力，有$\frac{GM_Bm_C}{R^2}=m_CR\frac{4\pi^2}{T^2}$，解得$M_B=\frac{4\pi^2R^3}{GT^2}$，故 B、C 错误；双星系统在万有引力作用下绕$O$点做匀速圆周运动，对$A$有$\frac{GM_AM_B}{L^2}=M_AR_A\frac{4\pi^2}{T^2}$，对$B$有$\frac{GM_AM_B}{L^2}=M_B(L-$

$R_A)\frac{4\pi^2}{T^2}$，解得双星的总质量$M_A+M_B=\frac{4\pi^2L^3}{GT^2}$，$A$的质量$M_A=\frac{4\pi^2L^3}{GT^2}-M_B=\frac{4\pi^2}{GT^2}(L^3-R^3)$，故 D 正确；$A$、$B$的轨道半径之比$\frac{R_A}{R_B}=\frac{M_B}{M_A}=\frac{R^3}{L^3-R^3}$，故 A 错误。

迁移应用 4．如图为一种四颗星体组成的稳定系统，四颗质量均为m的星体位于边长为L的正方形的四个顶点，四颗星体在同一平面内围绕同一点做匀速圆周运动，忽略其他星体对它们的作用，引力常量为G。下列说法中正确的是（ ）



A. 星体做匀速圆周运动的圆心不一定是正方形的中心

B. 每颗星体做匀速圆周运动的角速度均为$\sqrt{\frac{(4+\sqrt{2})Gm}{2L^3}}$

C. 若边长L和星体质量m均变为原来的两倍，星体做匀速圆周运动的加速度大小变为原来的两倍

D. 若边长L和星体质量m均变为原来的两倍，星体做匀速圆周运动的线速度大小变为原来的 4 倍

【答案】B

【解析】四颗星体在同一平面内围绕同一点做匀速圆周运动，所以圆心一定是正方形的中心，A 错误；根据万有引力提供向心力有$\sqrt{2}G\frac{m^2}{L^2}+G\frac{m^2}{(\sqrt{2}L)^2}=m\omega^2\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}L$，解得每颗星体做匀速圆周运动的角速度均为$\omega=\sqrt{\frac{(4+\sqrt{2})Gm}{2L^3}}$，B 正确；根据牛顿第二定律有$\sqrt{2}G\frac{m^2}{L^2}+G\frac{m^2}{(\sqrt{2}L)^2}=ma$，可得$a=(\frac{1}{2}+\sqrt{2})G\frac{m}{L^2}$，若边长$L$和星体质量$m$均变为原来的两倍，星体做匀速圆周运动的加速度大小变为原来的$\frac{1}{2}$，C 错误；根据$v=\omega r=\omega\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}L$，可知星体做匀速圆周运动的线速度大小为$v=\sqrt{\frac{(4+\sqrt{2})Gm}{4L}}$，则边长$L$和星体质量$m$均变为原来的两倍，星体做匀速圆周运动的线速度大小不变，D 错误。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 27